

Utilisation des CSR et des RDF en Europe

Synthèse bibliographique et situations administratives rencontrées sur le terrain



C4H5O2_5 2/ 9/99 THERMC 4H 50 2 0G 300.000 5000.000/1392.000 1
1.64121890E+01 1.20184883E-02-4.40468566E-06 7.30124728E-10-4.42784365E-14 2

UTILISATION DES **CSR** ET DES **RDF** EN EUROPE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET SITUATIONS ADMINISTRATIVES RENCONTREES SUR LE TERRAIN

*CSR : Combustibles Solides de récupération
RDF : Refuse-Derived Fuels*

RAPPORT FINAL

mai 2018

B. DE CAEVEL, M. LE BIHAN, F. MICHEL – RDC ENVIRONMENT



Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Utilisation des CSR et des RDF en Europe. Synthèse bibliographique et situations administratives rencontrées sur le terrain, 2018, 393 p, n°16-0250/1A
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr
- ✓ Cette étude a été réalisée par RDC Environment, avec le partenariat de RSE - Giovanni CICERI et de BIPRO – Marie DOLLHOFER, Alexander POTRYKUS, Milos MUSINOV
- ✓ La présente étude a été menée de manière conjointe avec une étude commanditée par la Direction Générale des Entreprises : « **DGE**, Benchmark européen du marché des CSR, 2018 »

© RECORD, 2018

Comité de suivi de l'étude :

Fabrice ABRAHAM – RENAULT, Gérard ANTONINI - UT Compiègne / RECORD, Hervé BEA - GROUPE TIRU, Hervé BOURVEN – SUEZ, Jean-Paul CAZALET – TOTAL, Claude CONRARD – SOLVAY, Coryse COUDRAY – EDF, Bénédicte COUFFIGNAL – RECORD, Rime EL KHATIB – MTES, Camila FREITAS-SALGUEIREDO - DGE-MINISTÈRE ECONOMIE ET DES FINANCES, Jean-François GAILLAUD - DGE-MINISTÈRE ECONOMIE ET DES FINANCES, Olivier GUERRINI – ENGIE, Hélène GUY - SECHE ENVIRONNEMENT, Sandra LE BASTARD – ADEME, Loïc LEJAY – MTES, Jean-Pierre LUTHRINGER - GT CSR (CSF EI VID) / PRAXY, Alexis MANUEL – SOLVAY, Marie-Jeanne MILHAU – SUEZ, Muriel OLIVIER - GT CSR (CSF EI VID / VEOLIA), Mathieu OURLIAC – ENGIE, Marie-Laure RABOT - EDF/EIFER, François RUELLE – RENAULT, François THIERRY - EDF

RESUME

Les RDF (Refuse Derived Fuels) sont des déchets non dangereux (DND) solides préparés en vue d'une valorisation énergétique, qu'ils proviennent de déchets ménagers et assimilés (DMA), de déchets d'activités économiques (DAE) ou de déchets de construction démolition. Le Code de l'Environnement français définit le Combustible Solide de Récupération (CSR) comme un RDF répondant à certaines exigences.

Selon les objectifs globaux de la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), les quantités de DND non inertes stockées doivent passer de 21 millions de tonnes en 2010 à 11,3 millions en 2020. Le plan déchet 2014-2025 estime que la préparation de CSR contribuera à cet objectif à hauteur de 2,5 Mt/an. La France doit ainsi se doter des capacités de production et de consommation des CSR. Par ailleurs, la France envisage les CSR comme un moyen d'améliorer la compétitivité des entreprises françaises par la diminution de la dépendance aux combustibles fossiles.

Dans ce contexte, RECORD a lancé une étude qui vise à améliorer la compréhension du marché européen des RDF et à en tirer des recommandations pour le développement de la filière française.

L'étude s'est déroulée en 3 parties :

1. Analyse globale du marché des RDF/CSR dans 10 pays européens : analyse des politiques publiques déchets et énergie, des définitions réglementaires, des normes, des soutiens et du marché ;
2. Analyse des situations administratives rencontrées sur le terrain : 13 installations utilisant des RDF ont été visitées pour étudier comment les conditions administratives s'appliquent en pratique, ainsi que les choix techniques et les modèles économiques ;
3. Synthèse et recommandations pour la France.

MOTS CLES

Combustibles Solides de Récupération, Refuse-Derived Fuels, Marché, Réglementation, Soutiens

SUMMARY

RDF (Refuse Derived Fuels) are solid non-hazardous waste prepared for energy recovery, either from municipal waste, from commercial and industrial waste or from construction and demolition waste. The French Environmental Code defines the "Combustible Solide de Récupération" (CSR) as an RDF that meets certain requirements.

According to the global objectives of the Energy Transition Law for Green Growth (LTECV), the quantities of landfilled non-inert and non-hazardous waste must decrease from 21 million tonnes in 2010 to 11.3 million tonnes in 2020. The 2014-2025 waste plan estimates that the CSR preparation will contribute to an extent of 2.5 Mt/y to this objective. France must therefore acquire the CSR production and consumption capacities. In addition, France envisages CSR as a means of improving the competitiveness of French industrials by reducing dependence on fossil fuels.

In this context, RECORD has launched a study which aims to improve the understanding of the European RDF market and to draw recommendations for the development of the French sector.

The study was divided into 3 parts:

1. Global analysis of the RDF/CSR market in 10 European countries: analysis of public waste and energy policies, regulatory definitions, standards, subsidies and of the market ;
2. Analysis of practical administrative situations: 13 facilities using RDF were visited to study how administrative conditions apply in practice, as well as technical choices and economic models;
3. Summary and recommendations for France.

KEY WORDS

Refuse-Derived Fuels, Market, Regulation, Subsidies

Sommaire

I.	Contexte, objectifs et méthodologie de l'étude.....	18
I.1.	Contexte.....	18
I.2.	Objectifs.....	18
I.3.	Méthodologie.....	19
I.4.	Composition du comité de pilotage.....	21
II.	Périmètre de l'étude et définitions.....	22
II.1.	Périmètre de l'étude.....	22
II.2.	Terminologie.....	22
II.3.	Définition du RDF normé.....	23
II.3.1.	Selon la norme EN 15359.....	23
II.3.2.	Selon les normes et réglementations nationales.....	25
II.3.3.	RDF et statut de déchet.....	28
II.3.4.	Classifications complémentaires.....	29
II.3.5.	En pratique.....	31
II.4.	Le RDF - Les combustibles de récupération non normés.....	31
II.5.	La chaîne de valeur.....	32
II.5.1.	La préparation.....	32
II.5.2.	L'utilisation du RDF.....	33
II.5.3.	La valorisation énergétique.....	40
III.	Panorama de la filière CSR dans 10 pays européens.....	42
III.1.	Les politiques publiques influençant le marché des RDF.....	42
III.1.1.	La politique de gestion des déchets.....	42
III.1.2.	La politique énergétique.....	49
III.1.3.	Conditions administratives.....	55
III.2.	Le marché de la production et de l'utilisation des RDF.....	59
III.2.1.	Le mode de traitement des déchets détournés du stockage : la place du RDF.....	59
III.2.2.	Les producteurs de RDF.....	63
III.2.3.	Typologie des installations utilisatrices de RDF et mode de valorisation.....	65
III.2.4.	Typologie des installations utilisatrices de RDF identifiées.....	67
III.3.	Conclusions.....	69
IV.	Analyse transversale des 13 installations visitées.....	70
IV.1.	Résumé des caractéristiques principales des installations.....	70
IV.2.	Historique et motivations.....	72
IV.3.	Conditions techniques.....	75
IV.4.	Conditions administratives.....	83
IV.5.	Conditions économiques.....	90

IV.6.	Facteurs clés de succès.....	96
IV.6.1.	Technologie.....	96
IV.6.2.	Modèle d'affaires	96
IV.6.3.	Politiques publiques.....	97
IV.7.	Freins, risques et leviers	98
IV.8.	Perspectives pour les sites.....	98
V.	Conclusions	99
V.1.	Typologie de CSR et de « filière » CSR.....	99
V.2.	Moteurs du développement de la production et de l'utilisation de RDF en Europe.....	102
V.3.	Cadre réglementaire	104
V.4.	Soutiens	106
VI.	Recommandations pour la France.....	108
VI.1.	Réglementations	108
VI.2.	Soutiens et taxes	112
VI.3.	Autres approfondissements.....	114
VII.	Annexe 1 : Analyse par pays.....	115
VIII.	Annexe 2 : Etudes de cas	116
VIII.1.	Attero Wijster (Pays-Bas).....	116
VIII.1.1.	Carte d'identité du site	116
VIII.1.2.	Historique et description des activités	116
VIII.1.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	119
VIII.1.4.	Conditions administratives	129
VIII.1.5.	Conditions économiques.....	131
VIII.1.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	134
VIII.1.7.	Détails sur la visite.....	135
VIII.1.8.	Annexe.....	136
VIII.2.	Linz Mitte (Autriche).....	139
VIII.2.1.	Carte d'identité du site	139
VIII.2.2.	Historique et description des activités	139
VIII.2.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	141
VIII.2.4.	Conditions administratives	152
VIII.2.5.	Conditions économiques.....	154
VIII.2.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	156
VIII.2.7.	Détails sur la visite.....	157
VIII.3.	ENEL Fusina (Italie).....	158
VIII.3.1.	Carte d'identité du site	158
VIII.3.2.	Historique et description des activités	158
VIII.3.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	160

VIII.3.4.	Conditions administratives	176
VIII.3.5.	Conditions économiques.....	180
VIII.3.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	182
VIII.3.7.	Détails sur la visite.....	183
VIII.3.8.	Annexes	184
VIII.4.	KAVG Minden (Allemagne)	188
VIII.4.1.	Carte d'identité du site	188
VIII.4.2.	Historique et description des activités	188
VIII.4.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	189
VIII.4.4.	Conditions administratives	196
VIII.4.5.	Conditions économiques.....	198
VIII.4.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	198
VIII.4.7.	Détails sur la visite.....	200
VIII.5.	MVV Korbach (Allemagne).....	201
VIII.5.1.	Carte d'identité du site	201
VIII.5.2.	Historique et description des activités	201
VIII.5.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	202
VIII.5.4.	Conditions administratives	208
VIII.5.5.	Conditions économiques.....	210
VIII.5.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	211
VIII.5.7.	Détails sur la visite.....	212
VIII.6.	Stora Enso Anjalankoski (Finlande)	213
VIII.6.1.	Carte d'identité du site	213
VIII.6.2.	Historique et description des activités	214
VIII.6.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	217
VIII.6.4.	Conditions administratives	224
VIII.6.5.	Conditions économiques.....	226
VIII.6.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	227
VIII.6.7.	Détails sur la visite.....	228
VIII.7.	A2A Ambiente S.p.A. Bergame (Italie)	229
VIII.7.1.	Carte d'identité du site	229
VIII.7.2.	Historique et description des activités	230
VIII.7.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	232
VIII.7.4.	Conditions administratives	244
VIII.7.5.	Conditions économiques.....	245
VIII.7.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	246
VIII.7.7.	Détails sur la visite.....	247
VIII.8.	TREA Giessen (Allemagne)	248

VIII.8.1.	Carte d'identité du site	248
VIII.8.2.	Historique et description des activités	248
VIII.8.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	249
VIII.8.4.	Conditions administratives.....	254
VIII.8.5.	Conditions économiques.....	255
VIII.8.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	256
VIII.8.7.	Détails sur la visite.....	257
VIII.9.	Energie Anlage Bernburg GmbH (Allemagne)	258
VIII.9.1.	Carte d'identité du site	258
VIII.9.2.	Historique et description des activités	258
VIII.9.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	260
VIII.9.4.	Conditions administratives.....	266
VIII.9.5.	Conditions économiques.....	269
VIII.9.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition.....	270
VIII.9.7.	Détails sur la visite.....	271
VIII.10.	EBS Kraftwerk Witzenhausen (Allemagne)	272
VIII.10.1.	Carte d'identité du site.....	272
VIII.10.2.	Historique et description des activités	272
VIII.10.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	273
VIII.10.4.	Conditions administratives.....	276
VIII.10.5.	Conditions économiques	278
VIII.10.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition	279
VIII.10.7.	Détails sur la visite	279
VIII.11.	Landskrona Kraft AB (Suède)	280
VIII.11.1.	Carte d'identité du site.....	280
VIII.11.2.	Historique et description des activités	281
VIII.11.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	283
VIII.11.4.	Conditions administratives.....	290
VIII.11.5.	Conditions économiques	292
VIII.11.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition	294
VIII.11.7.	Détails sur la visite	295
VIII.12.	Adven Jepua (Finlande).....	296
VIII.12.1.	Carte d'identité du site.....	296
VIII.12.2.	Historique et description des activités	296
VIII.12.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	297
VIII.12.4.	Conditions administratives.....	305
VIII.12.5.	Conditions économiques	306
VIII.12.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition	307

VIII.12.7.	Détails sur la visite	308
VIII.13.	HKW Brême Blumenthal (Allemagne)	309
VIII.13.1.	Carte d'identité du site.....	309
VIII.13.2.	Historique et description des activités	310
VIII.13.3.	Conditions techniques de fonctionnement.....	312
VIII.13.4.	Conditions administratives.....	319
VIII.13.5.	Conditions économiques	321
VIII.13.6.	Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition	323
VIII.13.7.	Détails sur la visite	323
IX.	Annexe 3 : Liste des personnes interrogées	324
X.	Bibliographie.....	325

Table des tableaux

Tableau 1: Composition du comité de pilotage (RECORD, 2018).....	21
Tableau 2: Définition du RDF normé - équivalences entre les langues (DGE, RECORD, 2018).	23
Tableau 3: Seuils de présence de métaux lourds dans les RDF pour l'octroi de la sortie de statut de déchet en Italie (compilation DGE, RECORD, 2018) (Décret ministériel n°22/2013)	26
Tableau 4: Valeurs limites de la RAL-GZ 972 (compilation DGE, RECORD, 2018) (Remondis, 2014).....	27
Tableau 5: Combustibles de substitution et RDF – équivalences entre les langues (DGE, RECORD, 2018).....	31
Tableau 6: Analyse des politiques de gestion des déchets (DGE, RECORD, 2018).....	44
Tableau 7: Quelques instruments de politique publique Déchet mis en place (DGE, RECORD, 2018).....	47
Tableau 8: Analyse des politiques énergétiques (DGE, RECORD, 2018).....	49
Tableau 9 : instruments de politique publique utilisés actuellement en lien avec le RDF dans le domaine de l'énergie (DGE, RECORD, 2018).....	53
Tableau 10: Place des RDF dans la politique énergétique (DGE, RECORD, 2018).....	54
Tableau 11 : Instruments en faveur du développement du RDF (DGE, RECORD, 2018).....	55
Tableau 12 : Statut des installations dédiées à la valorisation énergétique des RDF, dimensionnées pour un besoin en chaleur, en fonction des pays (RECORD, 2018).....	56
Tableau 13 : Place du RDF dans la politique Déchet et typologie (DGE, RECORD, 2018)	60
Tableau 14 : Capacités d'incinération des déchets au regard des politiques mises en place (DGE, RECORD, 2018).....	61
Tableau 15 : Production de RDF par pays (DGE, RECORD, 2018) (données de chaque pays, 2008-2015).....	63
Tableau 16: Utilisation des RDF (compilation DGE, RECORD, 2018) (données de chaque pays, 2013-2016).....	65
Tableau 17: Localisation des installations identifiées (RECORD, 2018).....	67
Tableau 18 : Nombre d'installations identifiées par type de chaudière (RECORD, 2018)	68
Tableau 19 : Positionnement des pays étudiés par rapport aux critères de sélection retenus (RECORD, 2018).....	69
Tableau 20 : Principales caractéristiques des 13 installations visitées (classées par date de mise en service) (RECORD, 2018).....	70
Tableau 21: Nature des combustibles remplacés en fonction des installations (RECORD, 2018).....	74
Tableau 22: Qualité des RDF (valeurs moyennes et exigences qualité) (RECORD, 2018)	75
Tableau 23: Technique d'épuration des émissions d'acides, de SOx et de NOx (RECORD, 2018).....	79
Tableau 24: Contrôle des émissions de dioxines, furannes et mercures par injection de charbon actif (RECORD, 2018).....	79
Tableau 25: Répartition des résidus de combustion entre imbrûlés, mâchefers et cendres de cyclone chaud d'une part; et cendres volantes et REFIOM d'autre part (RECORD, 2018) .	81
Tableau 26: Gestion des résidus de combustion (RECORD, 2018).....	82
Tableau 27: Valeurs limites d'émission, normalisées à 11% O ₂ (« - « signifie « pas de VLE ») (RECORD, 2018).....	86
Tableau 28 : Influence actuelle et future des quotas de CO ₂ sur le prix de l'énergie (DGE, RECORD, 2018).....	93
Tableau 29: Coûts d'investissement et nombre d'employés par MW de puissance entrante (RECORD, 2018).....	95
Tableau 30: Composition du RDF - Attero Wijster (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017).....	123

Tableau 31: Valeurs limites d'émission et moyenne annuelle - Attero Wijster (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017).....	130
Tableau 32: Caractérisation du RDF haut PCI - Attero Wijster (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017).....	138
Tableau 33: Spécifications du RDF – Linz Mitte (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017)	147
Tableau 34: Valeurs limites d'émission et valeurs observées – Linz Mitte (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017).....	152
Tableau 35 : Caractéristiques des tranches de la centrale thermique “Andrea Palladio”	158
Tableau 36: Quantités de combustible utilisées et taux de substitution (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017).....	163
Tableau 37 : Production d'électricité et taux de substitution énergétique (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017).....	165
Tableau 38: ENEL Fusina- Emissions moyennes à la cheminée (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017).....	166
Tableau 39 : Comparaison des valeurs limites d'émission avec et sans coïncinération de RDF normé (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017).....	167
Tableau 40: ENEL Fusina- Bilan matière (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)	169
Tableau 41: Bilan carbone de la substitution de charbon par du RDF normé (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017).....	170
Tableau 42 : Propriétés du RDF normé (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)	171
Tableau 43: Ecoprogetto Venezia - Mise en forme du RDF normé en pellets (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017).....	172
Tableau 44: Ecoprogetto Venezia - Propriétés des OMR entrant dans le TMB (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017).....	173
Tableau 45: Valeurs limites d'émission à Fusina et en centrale à charbon classique (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017).....	177
Tableau 46 : ENEL Fusina- Valeurs limites d'émissions pour l'effluent liquide (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017).....	178
Tableau 47: Sortie de statut de déchet des RDF en Italie - Classes autorisées (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017).....	179
Tableau 48 : Comparaison entre les seuils réglementaires de la sortie de statut de déchet et les valeurs limites actuellement établies entre Ecoprogetto et ENEL (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017).....	180
Tableau 49: ENEL Fusina- Bilan économique (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)	181
Tableau 50: ENEL Fusina- Consommation de charbon et de RDF normé par année, taux de substitution (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)	184
Tableau 51: Spécifications du RDF normé utilisé à Fusina (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)	185
Tableau 52: Valeurs limites d'émission et valeurs observées – HKW Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017).....	197
Tableau 53: Valeurs limites d'émission–17. BImSchV (compilation RECORD, 2018) (MVV, 2017)	208
Tableau 54 : Evolution des tonnages de RDF normés (PDF = package derived fuel – en pratique constitué de papier, bois et plastiques) utilisés entre 2009 et 2012 (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017).....	215
Tableau 55 : Anjalankoski- Classes de qualité du RDF normé (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017).....	225
Tableau 56: Anjalankoski- Valeurs limites d'émission (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017)	225
Tableau 57 : Facteurs d'émission par polluant (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	237

Tableau 58 : Emissions et VLE par polluant (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	237
Tableau 59: Masses de résidus de combustion - A2A Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	238
Tableau 60: Emissions de polluants dans l'eau et VLE - A2A Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	239
Tableau 61: Consommation annuelle de gaz naturel- Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	240
Tableau 62: Bergame- RDF normé – Spécifications selon la norme EN 15 359 (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	241
Tableau 63: Composition du RDF normé- Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	241
Tableau 64: Classification du RDF normé 1 – Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	243
Tableau 65: Classification du RDF normé 2- Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	243
Tableau 66 : Valeurs limites d'émissions (compilation RECORD, 2018) (TREA, 2017)	255
Tableau 67 : Bernburg- Spécifications RDF - Propriétés physiques.....	266
Tableau 68 : Bernburg- Spécifications du RDF - Propriétés chimiques.....	267
Tableau 69: Bernburg- Valeurs limites d'émission (compilation RECORD, 2018) (Tönsmeier, 2017)	268
Tableau 70 : Canalisations alimentant l'usine Solvay en vapeur (RECORD, 2018)	269
Tableau 71: Witzhausen- Valeurs limites d'émission (compilation RECORD, 2018) (B+T, 2017)	277
Tableau 72 : Spécification pour le RDF et valeurs mesurées (compilation RECORD, 2018) (Landskrona Energie, 2017).....	289
Tableau 73: Valeurs limites d'émission -Landskrona (compilation RECORD, 2018) (Landskrona Energie, 2017)	290
Tableau 74: Adven Jepua - Bilan énergétique (compilation RECORD, 2018) (Adven, 2017)....	300
Tableau 75: Adven Jepua - Bilan massique incinération (compilation RECORD, 2018) (Adven, 2017)	302
Tableau 76: Critères qualité du RDF de la technologie Reneflex (compilation RECORD, 2018) (KPA Unicon, 2017).....	303
Tableau 77 : Valeurs limites d'émissions (compilation RECORD, 2018) (Adven, 2017)	305
Tableau 78 : Spécifications pour le RDF utilisé à Brême Blumenthal (compilation RECORD, 2018) (BREWA, 2017).....	320
Tableau 79 : Valeurs limites d'émission et valeurs moyennes observées - Bremen Blumenthal (compilation RECORD, 2018) (BREWA, 2017)	320

Table des figures

Figure 1: Méthodologie de l'étude (RECORD, 2018)	19
Figure 2: Pays européens analysés dans le cadre du panorama du marché des CSR (DGE, RECORD, 2018).....	19
Figure 3 : Champ de l'étude et terminologie (DGE, RECORD, 2018).....	22
Figure 4 : Classification des CSR selon la norme EN 15359 (AFNOR, 2011 [7]).....	24
Figure 5: Seuils de qualité pour la sortie de statut de déchet des RDF en Autriche (RECORD, 2013).....	28
Figure 6: La chaîne de valeur des CSR (DGE, RECORD, 2018).....	32
Figure 7: Principe d'un incinérateur d'après (Hahnel, 1999).....	34
Figure 8: Schéma de principe d'un four à lit fluidisé bouillonnant (Antonini, 2005 [14])	35
Figure 9 : Schéma de principe d'un four à lit fluidisé circulant (Antonini, 2005 [14]).....	36
Figure 10: Réseaux de chaleur (Cerema, 2018).....	40
Figure 11: Evolution des taux de stockage, incinération et valorisation matière des déchets municipaux (DGE, RECORD, 2018) (Eurostat, 2013 à 2015) (DEFRA, 2016).....	45
Figure 12: Quantités de déchets municipaux générés (millions de tonnes) (compilation DGE, RECORD, 2018) (Eurostat, 2004 et 2014)	46
Figure 13: Quantités de déchets non dangereux et non inertes stockés par habitant en 2014 (compilation DGE, RECORD, 2018) (Eurostat, 2014).....	46
Figure 14: Instruments de politique publique Déchet - Exemple de la taxe sur le stockage des déchets non dangereux (compilation DGE, RECORD, 2018) (ADEME, 2016).....	48
Figure 15: Mix électrique dans les différents pays (compilation DGE, RECORD 2018) (IEA, 2014)	50
Figure 16 : Consommation finale d'énergie par l'industrie (compilation DGE, RECORD 2018) (IEA 2014)	51
Figure 17: Consommation finale d'énergie par l'industrie (compilation DGE, RECORD 2018) (IEA 2014)	52
Figure 18: Flux imports-exports significatifs de RDF (DGE, RECORD, 2018) (données de chaque pays, année de référence 2013-2014, 2015 ou 2016).....	62
Figure 19 : Production de RDF non normés et RDF normés (DGE, RECORD, 2018).....	64
Figure 20 : Production de RDF à partir de DAE et d'OM (DGE, RECORD, 2018).....	64
Figure 21: Quantités de RDF utilisées (DGE, RECORD, 2018).....	66
Figure 22 : Comparaison des quantités de RDF produites et des quantités de RDF utilisées par pays (compilation DGE, RECORD, 2018) (données de chaque pays, 2008-2016)	66
Figure 23: Date de mise en service des installations identifiées (RECORD, 2018)	67
Figure 24: Répartition des installations identifiées selon leur puissance (RECORD, 2018)	68
Figure 25: Répartition des installations identifiées selon la proportion de RDF utilisée (en masse) (RECORD, 2018).....	68
Figure 26: Position géographique des installations visitées (RECORD, 2018)	70
Figure 27 : Evolution des prix du pétrole en Europe (Observatoire des prix de l'énergie – APERE, données extraites en mars 2017)	73
Figure 28: Evolution du prix du gaz naturel pour les consommateurs industriels (compilation DGE, RECORD, 2018) (Eurostat, 2003-2016).....	73
Figure 29: Photo aérienne du site de Attero Wijster (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017)	117
Figure 30: Diagramme technique de l'installation Attero Wijster (Attero, 2017).....	119
Figure 31: Bilan matière et énergétique du site Attero Wijster (RECORD, 2018).....	120
Figure 32: Première extraction des métaux ferreux (RECORD, 2018).....	123
Figure 33: Mâchefers avant post-traitement (premier déferrailage effectué) (RECORD, 2018).....	123
Figure 34: Mâchefers traités certifiés en technique routière (RECORD, 2018).....	123

Figure 35 : Aire de stockage des déchets bruts (avant tri sur site) (RECORD, 2018)	126
Figure 36: Unité de digestion anaérobie (RECORD, 2018).....	126
Figure 37: Unité de production de biométhane (RECORD, 2018).....	126
Figure 38: Fraction plastiques durs recyclables (RECORD, 2018).....	127
Figure 39: Séparateur de films (RECORD, 2018).....	127
Figure 40: Films plastiques emballés à destination du recyclage (RECORD, 2018)	127
Figure 41: RDF haut PCI ("combustible secondaire") - non emballé – à destination de la cimenterie (RECORD, 2018).....	128
Figure 42: RDF destiné à l'incinération sur site (RECORD, 2018)	128
Figure 43: Diagramme technique - Ligne de tri 1 - OMR Pays-Bas (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017).....	136
Figure 44: Diagramme technique- Ligne de tri 2 - DAE Pays-Bas (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017).....	136
Figure 45: Diagramme technique- Ligne de tri 3 – Déchets importés (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017).....	137
Figure 46 : Photo aérienne du site de Linz Mitte (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017)	140
Figure 47: Diagramme technique de l'installation Linz Mitte (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017).....	141
Figure 48: Bilan matière et énergétique du site Linz Mitte (RECORD, 2018)	143
Figure 49 : RDF préparé et transféré vers le stockage (RECORD, 2018)	148
Figure 50: RDF stocké avant d'être convoyé vers l'installation de traitement thermique des déchets (RECORD, 2018).....	148
Figure 51: Aire de réception des déchets bruts, avant préparation (RECORD, 2018).....	149
Figure 52: Entrée des déchets bruts en préparation (RECORD, 2018)	150
Figure 53: Alimentation du RDF depuis le stockage jusqu'au convoyeur (RECORD, 2018)....	150
Figure 54: Alimentation du RDF dans l'installation thermique de traitement des déchets (RECORD, 2018).....	150
Figure 55: Préparation du RDF - Diagramme technique (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017)	151
Figure 56: Photo du site de ENEL Fusina "Andrea Palladio" (ENEL, 2017).....	159
Figure 57: Diagramme technique d'une centrale à charbon pulvérisé (EDF, 2017).....	160
Figure 58: Préparation du RDF normé à réception : schéma résumé (ENEL, 2017).....	161
Figure 59: ENEL Fusina - RDF normé et préparé à l'entrée dans la chaudière.....	161
Figure 60: Bilan matière et énergétique du site ENEL Fusina (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)	162
Figure 61 : Emissions – concentration moyenne annuelle en mg/Nm ³ (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017).....	168
Figure 62 : Emissions spécifiques : masses annuelles moyennes émises en g/kWh (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017).....	168
Figure 63: ENEL Fusina- Composition de l'effluent liquide (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)	170
Figure 64: Ecoprogetto Venezia- Composition du RDF normé (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017).....	171
Figure 65: Localisation de Ecoprogetto Venezia par rapport à la centrale Andrea Palladio (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)	173
Figure 66: Ecoprogetto Venezia- Préparation du RDF - Composition des déchets entrants (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)	174
Figure 67: Ecoprogetto Venezia- Préparation du RDF - Déchets entrants (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017).....	175
Figure 68: Mode d'analyse par type de polluants - ENEL Fusina (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017).....	178

Figure 69: Ecoprogetto Venezia - Procédé de préparation du RDF (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017).....	184
Figure 70 : Installation dédiée RDF Minden (RECORD, 2018).....	188
Figure 71: Diagramme technique de l'installation KAVG Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017).....	189
Figure 72: Fonctionnement de la chaudière - HKW Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017).....	191
Figure 73: Bilan matière et énergétique KAVG Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017).....	192
Figure 74: Bilan matière incinération, KAVG Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017).....	194
Figure 75: Aire de stockage du RDF à réception (RECORD, 2018).....	195
Figure 76 : Site d'incinération de RDF Korbach (compilation RECORD, 2018) (MVV, 2017)....	201
Figure 77: Diagramme technique de l'installation IHKW Korbach (compilation RECORD, 2018) (MVV, 2017).....	202
Figure 78: Bilan matière et énergétique du site IHKW Korbach (compilation RECORD, 2018) (MVV, 2017).....	203
Figure 79: Stockage de mâchefers.....	205
Figure 80: Silo cendres volantes.....	205
Figure 81: Canalisation transportant la vapeur de MVV à Continental (RECORD, 2018).....	206
Figure 82: RDF à réception (RECORD, 2018).....	206
Figure 83: Déchargement des RDF et contrôle visuel (RECORD, 2018).....	207
Figure 84: Waldeck-Frankenberg en Hesse et localisation du site dédié à l'incinération de RDF (compilation RECORD, 2018).....	207
Figure 85 - Papeterie d'Anjalankoski comprenant la papeterie et l'installation de valorisation énergétique de RDF normés (en haut) et l'installation de production de carton (en bas) (Stora Enso, 2017).....	214
Figure 86: Evolution des tonnages de RDF normés (PDF = package derived fuel – en pratique constitué de papier, bois et plastiques) utilisés entre 1996 et 2006 (Stora Enso, 2017)...	215
Figure 87 - Papeterie- Trois usines produisent de la chaleur (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017).....	216
Figure 88 - Diagramme technique de l'installation d'Anjalankoski (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017).....	217
Figure 89 - Trémie de stockage du RDF normé (RECORD, 2018).....	218
Figure 90 - Système d'approvisionnement en combustible (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017).....	218
Figure 91 - Fond de la chaudière à lit fluidisé bouillonnant (isolé de l'extérieur) (RECORD, 2018).....	219
Figure 92- Lit fluidisé bouillonnant (Valmet) - adapté à partir d'une chaudière au charbon pulvérisé (Stora Enso, 2017).....	219
Figure 93 - Photo du lit avant le nettoyage (problème d'encrassement) (Stora Enso, 2017) ...	222
Figure 94 - Combustibles d'entrée (de gauche à droite) : 1) bois recyclé 2) boues déshydratées 3) déchets internes avant broyage (RECORD, 2018).....	223
Figure 95 - Combustible d'entrée (écorce déchiquetée) (RECORD, 2018).....	223
Figure 96 - Photo de RDF (bois, plastique et papier) (RECORD, 2018).....	224
Figure 97 : Photo aérienne du site de A2A Ambiente S.p.A. de Bergame (A2A, 2017).....	231
Figure 98 - Plan du site A2A Ambiente de Bergame (A2A, 2017).....	231
Figure 99 - Diagramme des flux de déchets (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017).....	232
Figure 100 - Diagramme technique (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017).....	234
Figure 101 – Installation de valorisation énergétique des RDF normés de Bergame (A2A, 2017).....	235

Figure 102: Evolution des quantités de RDF normé consommées depuis 2011 (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	240
Figure 103: Photographie du RDF normé- Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)	241
Figure 104 : Diagramme technique du processus de préparation du RDF normé à Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017).....	242
Figure 105 - Schéma technique de l'installation RDF de Gießen (TREA I) (compilation RECORD, 2018) (TREA, 2017).....	249
Figure 106 – Conteneur de transport de mâchefers (RECORD, 2018)	252
Figure 107 - RDF dans la zone de stockage des RDF de TREA I (RECORD, 2018).....	254
Figure 108: Unité abritant la turbine et canalisations d'alimentation en vapeur (RECORD, 2018)	259
Figure 109: Diagramme technique de l'installation de Bernburg (compilation RECORD, 2018) (Tönsmeier, 2017)	260
Figure 110: Silo de stockage des cendres volantes (RECORD, 2018)	263
Figure 111: RDF dans l'aire de stockage (RECORD, 2018).....	263
Figure 112: Livraison de RDF- Bernburg (RECORD, 2018).....	265
Figure 113: Diagramme technique de l'installation de Witzenhausen (compilation RECORD, 2018) (B+T, 2017)	273
Figure 114 : RDF dans l'aire de stockage (RECORD, 2018).....	276
Figure 115: Installation dédiée à la combustion de RDF de Landskrona Energie (RECORD, 2018)	281
Figure 116: Diagramme technique de l'installation de Landskrona (compilation RECORD, 2018) (Landskrona Energie, 2017).....	283
Figure 117 : Aire de stockage des RDF (RECORD, 2018)	284
Figure 118: Landskrona- Mâchefers (RECORD, 2018)	287
Figure 119: Landskrona Energie - Photos du RDF (RECORD, 2018).....	288
Figure 120 - Schéma technique de l'installation (compilation RECORD, 2018) (KPA Unicon, 2017)	297
Figure 121 - Schéma technique de l'installation (compilation RECORD, 2018) (KPA Unicon, 2017)	298
Figure 122 :Système d'alimentation en combustible (RECORD, 2018).....	299
Figure 123 - Système d'alimentation en vapeur (RECORD, 2018).....	301
Figure 124 - RDF dans la zone de stockage des RDF (RECORD, 2018)	303
Figure 125: Installation dédiée à la combustion de RDF de Bremen Blumenthal (RECORD, 2018)	310
Figure 126: Vue aérienne de la zone industrielle de Bremen Blumenthal (compilation RECORD, 2018) (BREWA, 2017)	311
Figure 127: Diagramme technique de l'installation de Bremen Blumenthal (BREWA, 2017)...	312
Figure 128: Bremen Blumenthal - Photos du RDF (RECORD, 2018)	315
Figure 129: Plan de l'installation de préparation de RDF de AWG Bassum (AWG, 2017)	316
Figure 130: Préparation du RDF par AWG Bassum - Synoptique du procédé (compilation RECORD, 2018) (AWG, 2017).....	317
Figure 131: Procédé de préparation des RDF utilisés à Brême - Bilan massique (compilation RECORD, 2018) (AWG, 2017).....	319

Glossaire

Sigle	Définition/Explication
AVV	<i>Abfallverbrennungsverordnung</i>
CSF EI VID	Comité Stratégique de Filière Eco-Industrie, Valorisation Industrielle des Déchets
COT	Carbone Organique Total
CSR	Combustible Solide de Récupération
DAE	Déchets d'activités économiques
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs - Ministère notamment de l'Environnement du Royaume-Uni
EA	Environment Agency - Agence de l'Environnement du Royaume-Uni
EBS	Erstazbrennstoffe
ISDND	Installations de stockage des déchets non dangereux
Kt	kilotonne
Mtonnes	Millions de tonnes
MW	Megawatt
Mwe	Megawatt électrique
MWh	Megawatt heure
RDF	Refuse Derived Fuel
RSE	Bureau d'études en Italie
SRF	Solid Recovered Fuel
SSD	Sortie de statut de déchet
TMB	Traitement mécano-biologique. Les TMB allemands, anglais, autrichiens et espagnols ont notamment deux objectifs principaux : soit la production d'un déchet stabilisé destiné au stockage, soit la production d'un RDF/CSR. En France, les TMB sont plutôt orientés vers une valorisation organique.
UBA	Umweltbundesamt -Agence de l'environnement allemande
UIOM	Usine d'incinération des ordures ménagères
WRAP	Waste and Resources Action Program – Organisation anglaise
VLE	Valeurs Limites d'Emission

I. Contexte, objectifs et méthodologie de l'étude

I.1. Contexte

Les combustibles solides de récupération (CSR) sont des déchets non dangereux issus de la collecte et du tri des déchets d'activités économiques ou des déchets des ménages ayant fait l'objet d'une préparation en vue de sa valorisation énergétique. Ces combustibles peuvent être utilisés comme substituts aux combustibles fossiles dans des cimenteries, fours à chaux, centrales thermiques, unités dédiées à la valorisation énergétique des CSR ou dans des incinérateurs d'ordures ménagères.

En 2015, on estime la production française de CSR entre 230 et 800 kt¹ pour 2015. En 2015, la consommation de CSR dans les cimenteries du territoire s'élèverait à environ 275 kt, selon l'ATILH (Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques). L'usage en installations dédiées est actuellement marginal.

Pour atteindre les objectifs de réduction des quantités de déchets non dangereux non inertes stockés d'ici 2025, fixés dans la loi pour la transition énergétique et pour la croissance verte (réduction de 30% en 2020 par rapport à 2010 et de 50% en 2025), les quantités de déchets non dangereux non inertes stockés doivent passer de 21 millions de tonnes en 2010 à 11,3 millions en 2020 selon les objectifs globaux de la LTECV. Les CSR sont une des voies pour permettre la réduction des quantités stockées. Les travaux du plan déchet 2014-2025 ont estimé que la France doit détourner du stockage environ 2,5 Mt/an de refus de tri et traitement de déchets préparés sous forme de CSR [1]. Elle doit ainsi se doter des capacités de production et de consommation des CSR.

Par ailleurs, la France souhaite développer la valorisation énergétique des CSR pour contribuer à l'amélioration de la compétitivité des entreprises françaises par la diminution de la dépendance aux combustibles fossiles.

Dans d'autres pays européens, comme l'Allemagne, les CSR sont déjà produits et utilisés en quantités importantes (environ 9Mt/an en Allemagne [2] [3]). D'autres pays européens, comme l'Italie, ont mis en place des conditions permettant de considérer que certains types de CSR ne soient plus des déchets [4].

Les récentes évolutions législatives et réglementaires en France (loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, décret créant la rubrique 2971 des ICPE et arrêtés associés) sont la première étape en faveur du développement de cette filière. Les capacités de production de chaleur et d'électricité à partir de CSR sont déjà en cours de développement, notamment soutenues par l'appel à projet « Energie CSR » soutenu par l'ADEME dans le cadre du Fonds Déchets. Toutefois sa viabilité économique et des conditions qui la déterminent demeurent incertaines.

Une meilleure compréhension du marché européen des CSR ainsi que des définitions réglementaires, normes et usages dans différents pays d'Europe est nécessaire pour accélérer le développement de la filière des CSR en France.

I.2. Objectifs

Pour favoriser le développement de la filière CSR en France, RECORD lance une étude pour la réalisation d'une synthèse bibliographique et une analyse des situations administratives rencontrées sur le terrain dans le cadre des filières CSR européennes.

Il est pertinent de regarder les conditions ayant favorisé le développement des filières CSR dans d'autres pays européens (instruments de politique publique, modes de fonctionnement) pour alimenter la réflexion sur la filière française à un moment clé de sa construction. Après analyse de l'applicabilité de ces bonnes pratiques à la France, des recommandations seront formulées pour le développement de la filière française.

¹ Estimation de cette étude, sur base des données de capacités fournies par FEDEREC en 2017 (800kt) et d'un calcul à partir de la consommation des cimenteries implantées en France en 2015 (275 kt selon l'ATILH) et des imports de CSR (50 kt en 2011, dernière année identifiée).

I.3. Méthodologie

L'étude s'est organisée de janvier 2017 à mars 2018, en 3 parties.

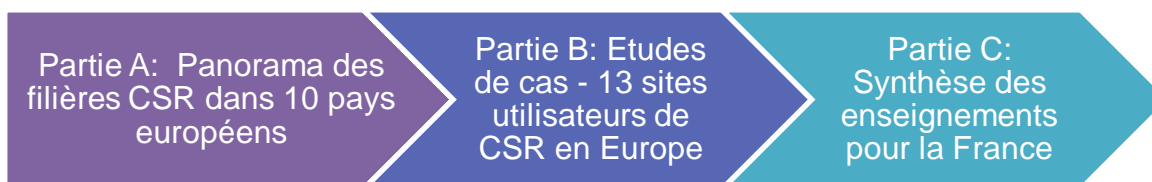


Figure 1: Méthodologie de l'étude (RECORD, 2018)

Partie A : Synthèse bibliographique

La première partie de l'étude est un benchmarking de la filière CSR dans 10 pays européens. Cette analyse a été menée de manière conjointe avec l'analyse de l'étude DGE Benchmark européen du marché des CSR, 2018. L'analyse s'est portée sur 3 aspects :

- Les contextes nationaux déchets et énergie permettant de comprendre l'état de développement et les perspectives de la filière CSR dans chaque pays. En effet, la production et l'utilisation des RDF est à la croisée de deux politiques publiques qui sont la politique déchets et la politique énergétique.
 - Politiques déchets : les objectifs de diminution du stockage, de recyclage et de valorisation des déchets fixés au niveau européen et des Etats Membres ont entraîné la mise en place d'instruments de politique publique relative à la gestion des déchets favorisant la production et l'utilisation de RDF. Ils sont donc analysés dans le cadre de cette étude.
 - Politiques énergie : Le RDF est valorisé énergétiquement par différents types d'installations. Pour identifier si des politiques énergétiques spécifiques aux RDF sont mis en place dans les pays étudiés, le contexte énergétique et les instruments de politique publique relative à l'énergie en lien avec les CSR sont analysés.
- Le cadre normatif et réglementaire de la filière CSR. L'étude s'est en particulier attachée à clarifier les définitions utilisées dans chaque pays, et à identifier les instruments de politiques publiques spécifiques aux CSR.
- Le marché des CSR. Les quantités de CSR produites, importées, exportées et utilisées ont été quantifiées. Les modes de production et d'utilisation et la provenance de CSR ont été qualifiés.

Cette analyse est réalisée pour 10 pays : Allemagne, Autriche, Belgique, Finlande, France, Italie, Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni (Angleterre) et Suède.



Figure 2: Pays européens analysés dans le cadre du panorama du marché des CSR (DGE, RECORD, 2018)

Pour réaliser cette partie A les moyens mis en œuvre sont :

- Une analyse bibliographique. Les documents étudiés sont présentés dans le chapitre « Bibliographie » ;

- Des entretiens ciblés pour clarifier des données, des réglementations et des définitions. La liste des entretiens est présentée dans le chapitre « Personnalités consultées dans le cadre de l'Étude ».

Sur la base de cette analyse par pays, une analyse transversale est réalisée afin d'alimenter la sélection des sites à visiter en partie B.

Partie B : Etudes de cas

La deuxième partie de l'étude a consisté à visiter 13 sites utilisateurs de CSR, sélectionnés en comité de pilotage.

La démarche de sélection des installations a compris les critères suivants :

- Installations utilisatrices de RDF de taille industrielle en fonctionnement depuis plusieurs années
- Au moins une installation visitée par pays jugé pertinent lors du benchmarking par pays : Allemagne, Italie, Autriche, Finlande, Suède et Pays-Bas
- Priorité donnée aux sites petits et moyens (<20 MW si possible, <50 MW) afin de favoriser la transposabilité à la France (de grandes installations sont moins probables en raison de la quantité de gisements qu'elles nécessitent)
- Priorité donnée aux sites alimentant des industriels mais visite d'au moins un site alimentant un réseau de chaleur
- Priorité donnée aux sites produisant du RDF sur place ou ayant des liens avec les producteurs de RDF afin d'obtenir des informations sur la qualité du combustible
- Priorité aux sites utilisant des RDF produits à partir de DAE, et si possible supérieurs à 12 MJ/kg
- Diversité des technologies mises en œuvre : le panel d'installations devait comprendre des lits fluidisés et des chaudière à grille et si possible une installation de gazéification. La visite d'une installation de gazéification n'a pas été possible (refus de l'installation de Lahti, pas d'autres installations pertinentes identifiées).
- Visite de quelques installations particulières intéressantes: une centrale à charbon utilisant du RDF, un site alimentant plusieurs industriels, cas d'installation adaptées à partir de chaudières existantes...

Pour chaque site, le contexte de la création du site, les conditions techniques, administratives et économiques ont été analysés. Les visites de site visent à alimenter l'étude sur les modes concrets de fonctionnement et d'organisation des acteurs sur le terrain. Elles apportent également une compréhension approfondie de la mise en œuvre des instruments de politique publique sur le terrain.

Partie C : Synthèse des enseignements

La troisième et dernière partie de l'étude consiste à synthétiser les enseignements de l'étude en identifiant les freins et leviers de développement de la filière CSR dans les pays européens et sites visités. Enfin, les bonnes pratiques transposables à la France sont dégagées pour formuler des recommandations.

I.4. Composition du comité de pilotage

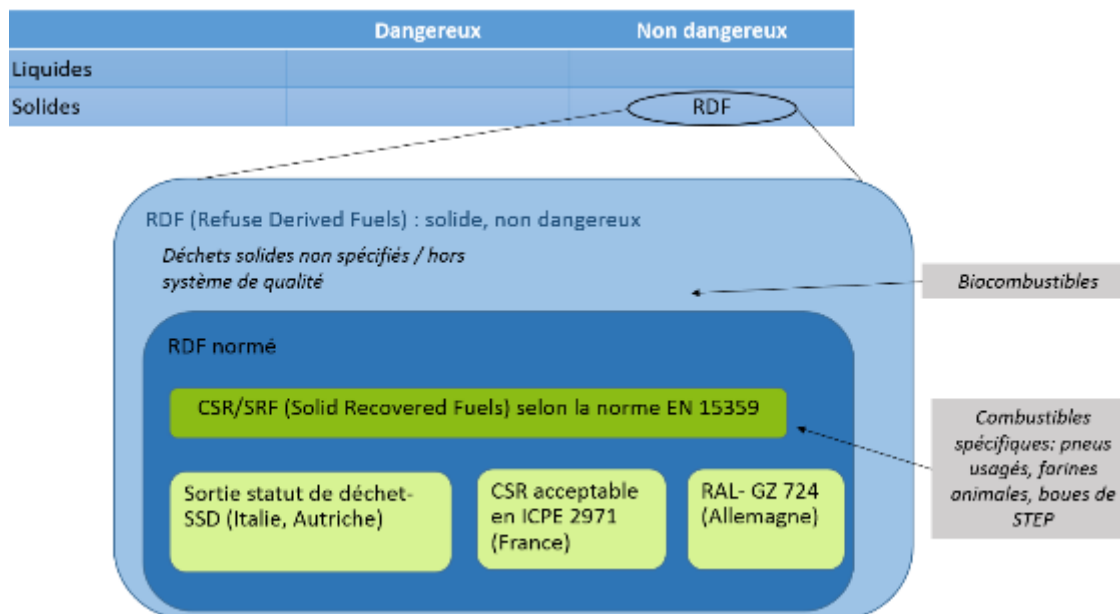
Tableau 1: Composition du comité de pilotage (RECORD, 2018)

Nom	Prénom	Organisation
ABRAHAM	Fabrice	RENAULT
ANTONINI	Gérard	RECORD/ UT COMPIEGNE
AUFFRET	Jérôme	VEOLIA
BEA	Hervé	GROUPE TIRU
BOURVEN	Hervé	SUEZ
CAZALETS	Jean-Paul	TOTAL
CONRARD	Claude	SOLVAY
COUDRAY-DECOCK	Coryse	EDF
COUFFIGNAL	Bénédicte	RECORD
DE CAEVEL	Bernard	RDC ENVIRONMENT
EL KHATIB	Rime	MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE - DGPR
FREITAS SALGUEIREDO	Camila	MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES
GAILLAUD	Jean-François	MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES
GUERRINI	Olivier	ENGIE
GUY	Hélène	OPALE ENVIRONNEMENT- GROUPE SECHE
LE BASTARD	Sandra	ADEME
LE BIHAN	Mathilde	RDC ENVIRONMENT
LEJAY	Loïc	MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
LUTHRINGER	Jean-Pierre	GT CSR du CSF EI VID
MANUEL	Alexis	SOLVAY ENERGY SERVICES
MICHEL	Frédéric	RDC ENVIRONMENT
MILHAU	Marie-Jeanne	SUEZ
OLIVIER	Muriel	GT CSR du CSF EI VID
OURLIAC	Mathieu	ENGIE
RUELLE	François	RENAULT
THIERRY	François	EDF
VILLEREZ	François	MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES

II. Périmètre de l'étude et définitions

Cette analyse a été menée de manière conjointe avec l'analyse de l'étude DGE Benchmark européen du marché des CSR, 2018.

Figure 3 : Champ de l'étude et terminologie (DGE, RECORD, 2018)



II.1. Périmètre de l'étude

Les combustibles étudiés dans cette étude sont les RDF (Refuse Derived Fuels), c'est-à-dire les **déchets non dangereux solides préparés en vue d'une valorisation énergétique, qu'ils proviennent de déchets ménagers et assimilés (DMA), de déchets d'activités économiques (DAE) ou de déchets de construction démolition.**

La notion de niveau de qualité (notamment le PCI) du combustible n'intervient pas dans le choix du périmètre de l'étude, contrairement, en particulier à la définition française du CSR (Décret n° 2016-630 du 19 mai 2016). Les combustibles spécifiques (pneus, farines animales, boues de STEP...) et les biocombustibles solides ne font pas partie de l'étude.

II.2. Terminologie

Dans cette étude, nous utilisons la terminologie suivante :

- **Le terme de RDF normé est retenu pour faire référence à des combustibles solides, préparés à partir de déchets non dangereux, et conformes de façon attestée à la norme européenne ou à une norme (ou réglementation) nationale équivalente.**

Il est préféré au terme de CSR compte tenu du périmètre géographique de l'étude, puisque le terme CSR fait habituellement référence en France au respect d'exigences de qualité spécifiques qui ne sont pas en vigueur à l'étranger, à savoir celles décrites dans l'arrêté ministériel du 23 mai 2016 pour les combustibles destinés à la production de chaleur ou d'électricité à partir de CSR dans des installations classées ICPE 2971². Le CSR selon la réglementation française rentre dans la définition du RDF normé.

Notons que les RDF normés selon la norme européenne EN 15359 peuvent être appelés CSR en français bien qu'ils ne respectent pas les exigences de l'AM du 23 mai 2016. La terminologie équivalente en anglais est SRF (Solid Recovered Fuels).

² Les CSR destinées à entrer en cimenterie ne sont pas visées par cet arrêté.

Dans certains Etats Membres, des normes, des labels de qualité (ex : RAL en Allemagne) ou des réglementations supplémentaires (ex : sortie de statut de déchet en Italie ou en Autriche) sont en vigueur. De tels combustibles font partie de la catégorie des RDF normés.

- **Le terme de RDF est réservé aux combustibles répondant à la définition établie ci-dessus (section « Périmètre de l'étude », et pour lesquels la conformité à une norme ou à une réglementation n'est pas attestée.**

La littérature et les données consultées confondent souvent les RDF normés et non normés et ne précisent que rarement si le combustible respecte ou non une norme européenne ou équivalente. En l'absence d'informations sur le respect d'une norme, les combustibles sont qualifiés de RDF dans cette étude, quel que soit leur niveau de qualité (notamment pouvoir calorifique).

II.3. Définition du RDF normé

Tableau 2: Définition du RDF normé - équivalences entre les langues (DGE, RECORD, 2018)

Langue	Norme EN 15359	Autres normes ou réglementations nationales équivalentes
Français	Combustible Solide de Récupération (CSR)	Combustible Solide de Récupération (CSR) - Décret n° 2016-630 du 19 mai 2016
Anglais	Solid Recovered Fuel (SRF)	-
Allemand	Feste Sekundärbrennstoffe	Allemagne : BPG TM , SBS TM
Italien	CSS – Combustibili Solidi Secondari	CSS- Combustibile (sortie de statut de déchet)

II.3.1. Selon la norme EN 15359

Au niveau européen, le terme Combustible Solide de Récupération (CSR) ou en anglais « Solid Recovered Fuels » (SRF) est en théorie réservé aux combustibles répondant aux exigences de la norme EN 15359 développée par le CEN/TC 343 (Spécifications et classes, décembre 2011).

Selon cette norme, les CSR doivent respecter un certain nombre de critères en lien avec :

- La nature des déchets utilisés ;
- L'existence d'un processus de préparation ;
- La classification des CSR ;
- La spécification de propriétés physiques et chimiques des CSR ;
- L'existence d'un système de gestion de la qualité.

La nature des déchets utilisés

Les CSR sont des « combustibles solides préparés à partir de déchets non dangereux ». Les déchets liquides et les déchets dangereux sont exclus des sources potentielles de déchets pour la préparation de CSR.

Les déchets combustibles uniquement constitués de biomasse tels que les broyats de bois d'emballage ne sont pas des CSR, ils sont couverts par la norme NF EN ISO 16559 (Août 2014). Cela ne concerne pas le bois de construction et de démolition qui peut faire partie des CSR.

Les combustibles spécifiques tels que les boues de stations d'épuration, les pneus ou les farines animales peuvent entrer dans la composition des CSR. Les combustibles spécifiques seuls sont souvent évoqués séparément par les producteurs et utilisateurs et ne font pas partie du champ de l'étude.

L'existence d'un processus de préparation

Les CSR doivent faire l'objet d'un processus de préparation. Ils doivent ainsi être traités, homogénéisés ou améliorés pour atteindre une qualité pouvant faire l'objet d'échanges commerciaux entre les producteurs et les utilisateurs. En particulier, les ordures ménagères non traitées ne sont pas des CSR.

Les opérations de préparation possibles sont diverses. Celles-ci confèrent aux CSR une certaine régularité (mise en forme, composition) qui leur permettent de se substituer à des combustibles classiques (fossiles ou biomasse). Elles permettent également d'augmenter la qualité des combustibles en éliminant les fractions fines et les métaux afin de réduire la quantité de sous-produits d'incinération [5]. Les procédés de préparation des CSR incluent des procédés de préparation mécanique (broyage, tri densimétrique, tri aéraulique), optiques et magnétiques (overband, courant de Foucault, NIR), mécano-biologiques...

La classification des CSR

La norme EN 15359 introduit des classes de qualité pour trois paramètres : le pouvoir calorifique inférieur (PCI) (critère économique), la teneur en chlore (critère technique conditionnant les techniques d'abattement des fumées nécessaires) et la teneur en mercure (critère environnemental). Cinq classes de qualité sont proposées pour chaque paramètre. L'enjeu de ces seuils est d'abord de proposer un système de classification simplifié. Les seuils n'introduisent pas en pratique d'exigences qualité contraignantes. [6]

Figure 4 : Classification des CSR selon la norme EN 15359 (AFNOR, 2011 [7])

Caractéristique de classification	Mesure statistique	Unité	Classes				
			1	2	3	4	5
Pouvoir calorifique inférieur (PCI)	Moyenne	MJ/kg (ar)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3

Caractéristique de classification	Mesure statistique	Unité	Classes				
			1	2	3	4	5
Chlore (Cl)	Moyenne	% (sec)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3

Caractéristique de classification	Mesure statistique	Unité	Classes				
			1	2	3	4	5
Mercure (Hg)	Valeur médiane	mg/MJ (ar)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	Percentile 80	mg/MJ (ar)	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

Source : Norme EN 15359

La spécification de propriétés physiques et chimiques de CSR

Outre les 3 paramètres obligatoires définissant sa classe, le producteur de CSR doit spécifier les paramètres suivants :

- L'origine des déchets, par exemple grâce à la liste européenne des déchets
- La forme des particules : granulés, balles, briquettes, plaquettes, flocons, poudre...
- La granulométrie
- La teneur en cendres sur sec
- La teneur en humidité à réception
- Le PCI à réception et sur produit sec
- La teneur en chacun des métaux lourds mentionnés dans la Directive incinération des déchets (Sb, As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Hg, Ni, Tl, V) ainsi que leur somme sur produit sec (Sb, As, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, V)

D'autres paramètres peuvent être spécifiés volontairement : la teneur en biomasse, le pourcentage massique des fractions de bois, papier, plastiques..., le mode de préparation des déchets, les propriétés physiques

(masse volumique apparente, la teneur en matière volatiles, la fusibilité de cendres...), les propriétés chimiques.

Cela permet aux utilisateurs de choisir les technologies de combustion adaptées.

Les CSR peuvent être préparés à partir de :

- Déchets des Activités Economiques (DAE) : plastiques, bois, pneus, papiers/cartons, résidus d'animaux, boues, textiles, résidus de broyage (automobile et DEEE)
- Déchets Ménagers et Assimilés (DMA) à condition qu'ils soient traités : encombrants, tri d'Ordures Ménagères Résiduelles (OMR), refus de tri de collecte sélective des ménages ou des entreprises, ou de mélanges de ces catégories.
- Déchets de construction et démolition, y compris le bois
- Boues de stations d'épuration (STEP)
- Pneus usagés
- ...

L'existence d'un système de gestion de la qualité

La classification des lots de CSR doit être vérifiée par au moins une mesure par lot. Un système de management de la qualité doit être en place. Les méthodes d'échantillonnage et de caractérisation sont précisées.

La norme EN 15359 laisse en revanche une grande liberté aux préparateurs de CSR en ce qui concerne :

- Le mode de collecte des déchets : séparative ou non séparative ;
- Le type d'utilisateur : cimenteries, fours à chaux, unités dédiées, coïncinération dans des centrales thermiques à charbon... Celles-ci doivent en revanche être couvertes par la Directive 2007/76 CE sur l'incinération des déchets.

La norme a été construite afin de donner une vision immédiate mais simplifiée du combustible. Les classes de qualité reposant sur 3 critères et organisées en 5 classes ne sont pas suffisantes pour permettre à un utilisateur de choisir la technologie de combustion adaptée aux CSR disponibles. Les paramètres spécifiés obligatoirement ou volontairement doivent également être utilisés. Cependant, aucun seuil de qualité n'est introduit pour ces paramètres supplémentaires.

II.3.2. Selon les normes et réglementations nationales

II.3.2.1. France

Depuis le Décret n° 2016-630 du 19 mai 2016 modifiant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, le Combustible Solide de Récupération est défini dans le Code de l'Environnement :

« Art. R. 541-8-1.-Un combustible solide de récupération est un déchet non dangereux solide, composé de déchets qui ont été triés de manière à en extraire la fraction valorisable sous forme de matière dans les conditions technico-économiques du moment, préparé pour être utilisé comme combustible dans une installation relevant de la rubrique 2971 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement. Reste un combustible solide de récupération, celui auquel sont associés des combustibles autorisés au B de la rubrique 2910. Un arrêté du ministre chargé de l'environnement fixe les caractéristiques de ces combustibles, la liste des installations où ils peuvent être préparés ainsi que les obligations auxquelles les exploitants de ces dernières installations sont soumis en vue de garantir la conformité des combustibles préparés à ces caractéristiques ».

L'arrêté du 23 mai 2016 introduit des exigences sur la qualité du CSR pouvant entrer en installations relevant de la rubrique 2971 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Par rapport à la norme européenne EN 15359, la définition française du CSR introduit donc les exigences suivantes :

- Le principe de hiérarchie des déchets ;
- PCI sur brut > 12 MJ/kg
- Caractérisation obligatoire de certaines propriétés chimiques (contre volontaire dans la norme EN 15359)

- Seuils obligatoires :
 - Mercure (Hg) : 3 mg/kg de matière sèche ;
 - Chlore (Cl) : 15 000 mg/kg de matière sèche ;
 - Brome (Br) : 15 000 mg/kg de matière sèche ;
 - Total des halogénés (brome, chlore, fluor et iode) : 20 000 mg/kg de matière sèche.

Des exigences minimales de gestion de la qualité sont décrites dans l'arrêté et le système de gestion de la qualité doit être vérifié par un organisme accrédité tous les 3 ans. Cette exigence de certification externe se distingue de la norme européenne.

II.3.2.2. Italie

En 1997, le RDF est entré dans la réglementation italienne dans le décret législatif n°22/1997 sous le nom de Combustible Dérivé de Déchets (*Combustibile Derivato da Rifiuti* – CDR). Seuls les refus de tri de déchets ménagers font partie des CDR.

En 2004, la norme UNI 9903-1 crée 3 classes de qualité pour ces RDF ménagers– CDR (qualité normale) et CDR- HQ (haute qualité) et les autres CDR. Ces classes sont reprises dans le décret n°152/06, qui accorde également la possibilité de sortie de statut de déchet pour la classe CDR-HQ.

L'arrêté du 22 décembre 2008 de la cour de justice européenne a invalidé la sortie de statut de déchet au motif que « le décret n°152/06 ne garantit pas un niveau de protection de l'environnement équivalent à celui qui découle de la réglementation communautaire sur les déchets », Par exemple, les nuisances liées au bruit, aux odeurs, à la dégradation des paysages, de la faune ou de la flore lors du stockage des CDR-Q ne sont pas prises en compte.

Le décret législatif n°205/2010 fait réviser la norme UNI 9903-1 : la norme UNI : EN 15359 entre dans la réglementation italienne.

- Le RDF normé est appelé Combustible Solide Secondaire (CSS- Combustibile Solide Secondari).
- Les deux classes CDR et CDR-Q sont abrogées. Les installations de préparation de RDF peuvent continuer à utiliser cette terminologie sauf changement significatif de qualité du combustible.
- Le champ des RDF est élargi : il dépasse le cadre des déchets ménagers et couvre également les déchets d'origine industrielle.

En pratique, le code déchet 191210 – Déchet Combustible désigne le RDF normé selon la norme européenne (Source : RSE- bureau d'études en Italie). Les RDF ne se conformant pas à la norme sont classés 191212.

Le décret N°22/2013 introduit la possibilité d'une sortie de statut de déchet pour certains RDF. Cela concerne 18 des 125 classes possibles de CSR selon la norme européenne (PCI et Cl classes 1 à 3, Hg classe 1 à 2, seuils métaux ci-dessous). Une déclaration de conformité doit être produite. La préparation doit se faire dans des installations classées normalisées EMAS ou conformes au contrôle qualité décrit dans la norme EN 15359. Le stockage ne doit pas durer plus de 6 mois. Les RDF sortis du statut de déchet ne peuvent être utilisés que dans des cimenteries de capacité >500 t/jour de clinker ou des centrales thermiques avec une puissance thermique supérieure à 50 MW. Les cimenteries utilisatrices doivent respecter les valeurs limites d'émission de la directive IED applicables à la coïncinération. Les flux se conformant à cette statut de déchet sont appelés « CSS- Combustibile ».

La sortie de statut de déchet n'est valable qu'au niveau national. Les RDF sont des déchets non-dangereux dans les autres Etats Membres.

Tableau 3: Seuils de présence de métaux lourds dans les RDF pour l'octroi de la sortie de statut de déchet en Italie (compilation DGE, RECORD, 2018) (Décret ministériel n°22/2013)

	Seuil (mg/kg sur sec)
Antimoine (Sb)	50
Arsenic (As)	5
Cadmium (Cd)	4
Chrome (Cr)	100
Cobalt (Co)	18
Manganèse (Mn)	250
Nickel (Ni)	30
Plomb (Pb)	250
Cuivre (Cu)	500

Thallium (Tl)	5
Vanadium (V)	10

Source : Décret ministériel n°22/2013

En Italie, contrairement au reste de l'Europe, le code européen des déchets 191210 – Refused Derived Fuels est utilisé uniquement si le déchet est spécifié. En pratique, il correspond donc aux SRF selon la norme EN 15359.

II.3.2.3. Allemagne

Dans la norme européenne, la dénomination CSR est traduite par *Feste Sekundärbrennstoffe*.

En 2001, la RAL-GZ 724 [8] introduit une assurance qualité pour les RDF. Deux marques protégées sont utilisées pour désigner les RDF normés :

- BPG™. Ce RDF est issu uniquement de déchets industriels ou commerciaux, qu'il s'agisse de résidus de production ou de déchets collectés séparément. Cette catégorie a également une granulométrie entre 15 et 30 mm et un PCI élevé (jusqu'à 27 MJ/kg). 3 qualités sont définies en fonction des usages visés :
 - BPG1™: centrales thermiques
 - BPG 2™ : cimenteries
 - BPG 3™ : fours à chaux
- SBS™. Ce RDF désigne une fraction à haut pouvoir calorifique issu de déchets municipaux et de déchets post-consommateurs (déchets de construction démolition). La granulométrie varie entre 15 et 30 mm. Le pouvoir calorifique peut atteindre 23 MJ/kg. 2 qualités sont définies en fonction des usages visés :
 - SBS 1™ : centrales thermiques lignite
 - SBS 2™ : cimenteries, centrales thermiques à charbon.

La RAL-GZ 724 exige un contrôle et un processus de certification externe, qui n'est pas exigé dans la norme européenne.

Tableau 4: Valeurs limites de la RAL-GZ 972 (compilation DGE, RECORD, 2018) (Remondis, 2014)

Paramètre	Unité	BPG™ 1 Centrales thermiques	BPG™ 2 Cimenteries	BPG™ 3 Fours chaux à	SBS™ 1 Centrales thermiques lignite	SBS™ 2 Cimenterie Centrales thermiques charbon
PCI	MJ/kg	16-20	20-24	23-27	13-18	18-23
Cl	%	<1,0	<1,0	<1,0	<0,7	<1,0
F	%	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
H ₂ O	%	<35	<20	<12,5	<35	<20
S	%	<0,2	<0,3	<0,3	<0,5	<0,8
Cendres	%	<20	<15	<9	<20	<15
As	mg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10
Be	mg/kg sec	<1	<1	<1	<1	<1
Cd	mg/kg sec	<9	<9	<9	<9	<9
Co	mg/kg sec	<12	<12	<12	<12	<12
Cr	mg/kg sec	<120	<120	<120	<250	<250
Cu	mg/kg sec	<400	<400	<400	<1000	<1000
Hg	mg/kg sec	<0,5	<0,5	<0,5	<1,0	<1,0
Mn	mg/kg sec	<100	<100	<100	<400	<400
Ni	mg/kg sec	<50	<50	<50	<160	<160
Pb	mg/kg sec	<100	<100	<100	<400	<400
Sb	mg/kg sec	<120	<120	<120	<120	<120
Se	mg/kg sec	<4	<4	<4	<5	<5
Sn	mg/kg sec	<70	<70	<70	<70	<70

Te	mg/kg sec	<4	<4	<4	<5	<5
Ti	mg/kg sec	<1	<1	<1	<1	<1
V	mg/kg sec	<15	<15	<15	<25	<25

Source : Remondis GmbH

II.3.2.4. Autriche

En 2010, l'Autriche a introduit la sortie de statut de déchet pour les RDF de haute qualité. Des valeurs seuils différentes sont introduites pour les combustibles préparés à partir de déchets de bois (hors champ de l'étude) et ceux préparés à partir d'autres déchets (valeurs seuils ci-dessous). En pratique, la sortie de statut de déchet est possible pour des flux ayant déjà été enregistrés selon REACH lors de leur premier usage, ce qui limite son application à des chutes de production. Le système de gestion de la qualité demandé est celui de la norme européenne. Le recycleur doit faire contrôler le respect des exigences par un expert habilité ou par un organisme spécialisé agréé. L'utilisation des combustibles sortis du statut de déchet est possible dans des installations de combustion dont la puissance est supérieure à 50 kW et dont les émissions de poussières sont limitées à 20 mg/m³.

Figure 5: Seuils de qualité pour la sortie de statut de déchet des RDF en Autriche (RECORD, 2013)

Paramètres	Seuil (mg/MJ)	
	Médiane	80ième centile
Sb	0,5	0,75
As	0,8	1,2
Pb	4	6
Cd	0,05	0,075
Cr	1,4	2,1
Co	0,7	1,05
Ni	1,6	2,4
Hg	0,02	0,03
S	200	300
Cl	100	150

Source : RECORD 2013- Sortie du statut de déchet- Transposition et pratiques dans les différents Etats membres de l'Union européenne

II.3.2.5. Finlande

En 2000, la Finlande met en place une norme (SPS 5875) qui définit la qualité et le processus de production des RDF. Des valeurs limites définissent les seuils de qualité pour 3 classes de combustibles, parfois appelés REF (Recovered Fuels).

Cette norme a été remplacée par la norme européenne.

II.3.2.6. Pays-Bas

La norme NTA 8201 d'octobre 2003 définit le système d'assurance qualité en vigueur pour les CSR destinés à l'incinération ou la coïncinération. [9] Elle a été abrogée en 2013 et remplacée par la norme européenne.

II.3.3. RDF et statut de déchet

Le RDF a en général un statut de déchet. Ce statut permet de réserver la combustion de RDF à des installations respectant les valeurs limites d'émission de l'incinération ou de la coïncinération selon la Directive IED (Industrial Emissions Directive).

En Autriche et en Italie, des critères de sortie de statut de déchet ont été introduits (voir paragraphe « Définition du RDF normé »). Ces critères constituent des exigences de qualité. Les RDF sortis du statut de déchet ont donc été classés dans la terminologie « RDF normés ».

II.3.4. Classifications complémentaires

II.3.4.1. France

FEDEREC a fait réaliser une étude [4] qui propose de compléter la norme européenne en introduisant un système de classification des CSR reposant sur 7 paramètres pertinents pour le choix des équipements de combustion et des technologies de dépollution, notamment dans le cas de chaudières dédiées :

- Le PCI
- Les teneurs en halogènes (Cl+ Br+F). Ils viennent des polymères.
- La teneur en soufre. Les élastomères (caoutchouc et pneumatiques) en contiennent beaucoup mais les origines du soufre sont diverses.
- La teneur en azote, qui détermine le besoin de DeNOx. Celle-ci provient des mousses polyuréthanes.
- Le taux de cendres. Le taux de cendres est notamment un paramètre déterminant la quantité de mâchefers produite et à éliminer. Le taux de cendres dans les CSR (10-65%) est bien plus élevé que celui de la biomasse et du charbon (8-15%).
- La masse volumique apparente
- La granulométrie

Dans une moindre mesure, l'étude indique également que les paramètres suivants sont pertinents :

- La teneur apparente en minéraux, qui a un impact sur le PCI et sur le taux de cendres mais peu d'impact sur la qualité de la combustion en elle-même.
- La teneur en mousse de polyuréthane qui augmente la formation de NOx et favorise le gonflage en condition humide ce qui augmente les coûts de transports.
- La présence de films métalliques et de métaux qui peuvent nuire à l'évacuation des cendres sous foyer et accroître la teneur en métaux lourds des fumées.
- La présence de Cd, Pb ou Cr, notamment présents dans les pigments textiles
- La teneur en biomasse, qui est plutôt favorable pour les quotas de CO₂ et peut conditionner l'octroi de certificats verts, mais réduit le PCI.

II.3.4.2. Angleterre

Le WRAP (Waste and Resources Action Program) a proposé un système de classification des combustibles dérivés de déchets (*Waste-Derived Fuels – WDF*). [10]

Le principe du système de classification se rapproche de celui de la norme européenne en définissant 3 critères principaux : économique, environnemental et technique. En revanche, au sein de chaque critère, ce n'est pas un mais plusieurs critères qui sont retenus et qui définissent des classes. L'objectif de cette classification est de proposer un système plus complet que celui de la norme européenne, qui soit également adapté aux installations de petite taille.

- Critère économique
 - Pouvoir calorifique
 - Contenu en carbone biogénique aussi appelé communément « teneur en biomasse »
 - Teneur en humidité
- Critère technique
 - Teneur en chlore
 - Teneur en cendres
 - Masse volumique
- Critère environnemental
 - Teneur en mercure
 - Teneur en cadmium
 - Teneur en autres métaux lourds

Le WRAP propose de respecter le système de gestion de la qualité et les méthodes d'analyse indiquées dans la norme EN 15359 et les normes associées.

II.3.5. En pratique

La dénomination sur le terrain doit être regardée de façon critique au regard de la norme européenne.

En juin 2013, la fédération européenne des combustibles de récupération (ERFO – European Recovered Fuel Organization) concluait que sur le terrain, la dénomination CSR (ou SRF en anglais) était réservée aux RDF de faible qualité, ce qui est contraire à l'esprit de la norme européenne. [11]

En 2015, la fédération indiquait que seule une faible part des RDF est produite en accord avec la norme EN15359 et que les terminologies CSR (ou SRF en anglais) et RDF sont fréquemment utilisés sans différenciation. [12]

En 2017, ERFO indique que le terme CSR (ou SRF en anglais) est toujours fréquemment mal employé. Il serait plutôt utilisé pour désigner la fraction à haut pouvoir calorifique issu du tri des déchets municipaux. Il n'existe pas de système de traçabilité uniforme des flux de CSR et de RDF en Europe. En fonction des Etats Membres, les mêmes codes déchet désignent des flux différents.

Dans le panorama du marché des CSR ci-dessous, la terminologie utilisée au niveau nationale a été analysée. La terminologie RDF et RDF normé présentée dans la section « Périmètre de l'étude » a été appliquée afin d'éviter d'interpréter de façon erronée le niveau de qualité des flux par le recours à une mauvaise terminologie.

II.4. Le RDF - Les combustibles de récupération non normés

Les combustibles non normés sont couverts par des terminologies non officielles.

Les WDF ont une définition plus large que celle des RDF selon le WRAP. La terminologie WDF désigne tous les déchets non dangereux pouvant être valorisés énergétiquement sans causer des impacts environnementaux supérieurs au stockage (y compris les déchets liquides ou pâteux, les biocombustibles et les combustibles spécifiques). La terminologie RDF en revanche désigne des déchets non spécifiques (mélangés) obtenus après un traitement basique des déchets ménagers, industriels et commerciaux visant à augmenter le pouvoir calorifique du déchet. [10]

Nous proposons les équivalences suivantes.

Tableau 5: Combustibles de substitution et RDF – équivalences entre les langues (DGE, RECORD, 2018)

Français	Combustibles de substitution Combustibles alternatifs	Combustibles dérivés de déchets (CDD)
Anglais	Alternative fuels	« Refuse-Derived Fuels » (RDF) « Recovered Fuels » (REF) Une distinction pourrait s'opérer entre les deux concepts selon ERFO : les RDF seraient des combustibles préparés sans cahier des charges alors que les REF seraient préparés en vue de se conformer à un cahier des charges client.
Allemand	Erstazbrennstoffe (EBS)	Sekundärbrennstoffe (SBS) Hochkalorische Fraktion (HKF)
Description	Terme générique désignant les combustibles préparés à partir de déchet dangereux ou non dangereux, solides ou liquides, à partir de biomasse ou non. Ces combustibles ne font pas partie du champ de l'étude.	Terme désignant les combustibles préparés à partir de déchets solides non dangereux, généralement en mélange. Nous utilisons le terme RDF dans cette étude.

Source : Diverses, analyse RDC Environment

La terminologie CDD ou RDF a émergé aux débuts de la filière de préparation de combustibles, lorsque celle-ci consistait principalement à améliorer la qualité d'un déchet pour lui permettre d'éviter l'enfouissement. [4]

L'émergence d'un marché pour ces combustibles a accru l'exigence de qualité en sortie. Des processus de production se sont développés pour améliorer et homogénéiser la qualité du combustible. De là a émergé la nécessité d'une nouvelle terminologie qui visait à distinguer ces combustibles améliorés des anciens RDF : la terminologie CSR ou SRF.

L'appellation RDF fait aujourd'hui référence à des combustibles solides issus de déchets de granulométries grossières sans conformité avec la norme NF EN 15359 et sans système complet de gestion de la qualité. Elle est généralement utilisée lorsqu'il n'est pas possible de désigner le combustible comme un mono-flux (bois, pneus). Elle est généralement utilisée pour des fractions à haut pouvoir calorifique permettant la substitution de combustibles fossiles.

La terminologie CDD/RDF recouvre parfois, en sus du champ des CSR :

- Certains déchets liquides dangereux, utilisés notamment en cimenterie (solvants, huiles minérales usagées) ;
- Le bois d'emballage et les résidus de production des industries papetière et forestière, en particulier dans les pays nordiques [4]. Ceux-ci sont encadrés par la norme NF EN ISO 16559 (Août 2014) ;
- Des combustibles non normés.

II.5. La chaîne de valeur

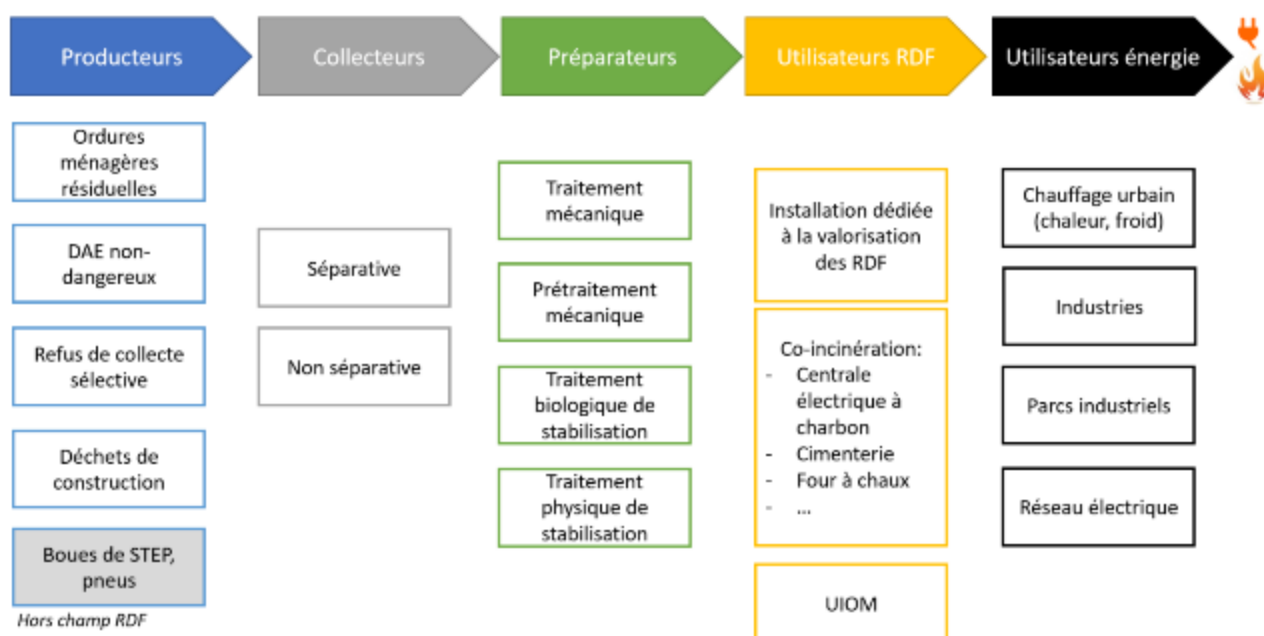


Figure 6: La chaîne de valeur des CSR (DGE, RECORD, 2018)

II.5.1. La préparation

Deux types de procédés de traitement sont utilisés pour produire les RDF :

- le tri mécano-biologique (TMB), appliqué sur la fraction résiduelle des déchets ménagers et assimilés (appelée OMR pour ordures ménagères résiduelles) ;
- le tri mécanique, qui peut être appliqué sur toutes les fractions.

Le tri mécanique peut être la première étape d'un tri mécano-biologique conduisant à la production de CSR.

Définition (ademe.fr) : Le traitement mécano-biologique (TMB) vise à recycler ou optimiser le traitement des ordures ménagères résiduelles. Il consiste en l'imbrication d'opérations mécaniques (dilacérations et tris) et d'étapes biologiques (compostage, méthanisation).

Le procédé est choisi en fonction de la nature du déchet et de l'objectif poursuivi.

Pour les OMR, il existe différentes orientations du TMB :

- TMB en vue de la stabilisation d'un résidu organique pour stockage ou élimination. C'est l'orientation choisie par les pays ayant introduit des interdictions de stockage des déchets non prétraités (Allemagne, Autriche par exemple) ;
- TMB en vue du compostage pour la valorisation agricole. C'est l'orientation choisie par la France.

Les types de procédés de préparation mis en œuvre sont [13]:

- **Le tri mécanique seul** : ce type de procédé est adapté au traitement de fractions ne contenant pas ou peu de déchets organiques (refus de collecte sélective, déchets d'activités économiques).
- **Le prétraitement mécanique avant stabilisation biologique** : la première étape du traitement est un traitement mécanique qui produit une fraction à haut pouvoir calorifique destinée à être utilisée comme RDF ; la fraction à plus bas PCI est stabilisée pour produire du biogaz et un résidu mis en décharge (ou parfois utilisé comme compost, mais c'est délicat en raison de la présence d'impuretés). L'installation est une installation de traitement mécano-biologique mais le RDF est produit uniquement par traitement mécanique. Ce type de procédé est appelé traitement mécanique dans le présent rapport.
- **Le prétraitement mécanique (ou mécano-biologique) avant incinération en UIOM** vise à retirer une fraction valorisable en RDF et les métaux et inertes avant de produire un résidu qui est valorisé en UIOM. Ce type de procédé est appelé traitement mécanique dans le présent rapport.
- **La stabilisation mécano-biologique avec un séchage biologique** vise à diminuer le contenu en eau des déchets organiques et à augmenter le pouvoir calorifique de l'ensemble du flux, pour augmenter le rendement de production de RDF ;
- **La stabilisation mécanique et physique avec un séchage thermique** a également pour objectif d'augmenter le pouvoir calorifique de l'ensemble du flux mais utilise une source de chaleur externe (fossile) pour y parvenir.

II.5.2. L'utilisation du RDF

Le RDF est utilisé dans 3 types d'installations :

- Des installations dédiées à la valorisation énergétique des RDF. Ce sont les installations prioritairement visées par cette étude.
- Des installations de coïncinération: centrales électriques à charbon, cimenteries, fours à chaux, chaudières à charbon. Les cimenteries et fours à chaux ont été exclues du champ de cette étude ;
- Des UIOM (unités d'incinération des ordures ménagères).

Les installations dédiées à la valorisation énergétique des RDF sont des installations reposant sur des technologies développées pour l'incinération des déchets non dangereux, adaptées aux caractéristiques plus homogènes des RDF et à leur plus haut PCI. Contrairement aux UIOM, les installations dédiées ne sont pas dimensionnées pour l'élimination des déchets, mais pour un besoin en chaleur d'un réseau de chauffage urbain ou d'un ou plusieurs industriels.

Les RDF peuvent entrer dans des foyers à grille comme dans des lits fluidisés.

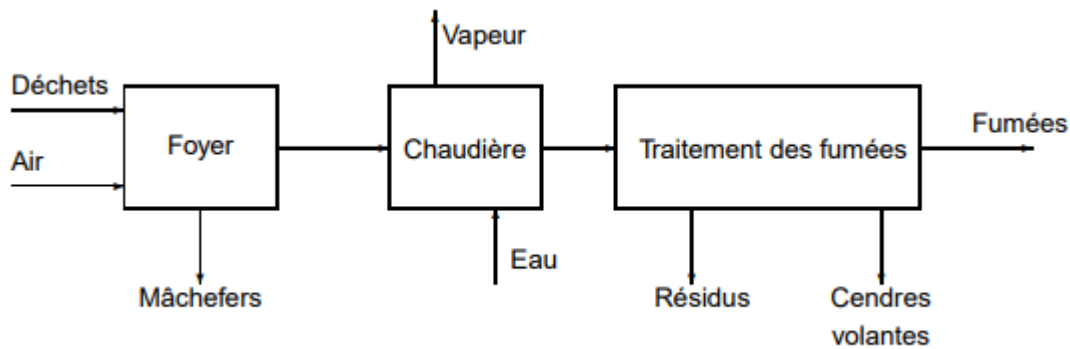


Figure 7: Principe d'un incinérateur d'après (Hahnel, 1999)

II.5.2.1. Techniques de combustion complète

La combustion est une réaction chimique d'oxydoréduction entre un combustible, ici un CSR, et un comburant, ici le dioxygène de l'air.

Une combustion est complète lorsque la totalité du combustible est consommée : elle se réalise dans des conditions d'excès d'air.

Foyers à grille adaptés à la combustion de déchets [14] : Le combustible entre sur une grille inclinée et généralement mouvante en dessous de laquelle l'air primaire de combustion est introduit. Le mouvement de la grille répartit le combustible et le fait avancer au cours de la combustion. En bas de la grille sur laquelle le combustible brûle ne restent que les mâchefers. Les foyers à grille peuvent accepter une large gamme de granulométrie de combustible, mais sont plus limités en termes de pouvoir calorifique des déchets entrants (6-18 MJ/kg) que les lits fluidisés. En effet, les déchets à haut PCI sont susceptibles d'entraîner une dégradation de la grille. Le refroidissement à eau des grilles permet d'augmenter la gamme de travail des grilles (par exemple jusqu'à 25 MJ/kg³).

Foyers à lit fluidisé adaptés à la combustion de déchets [14] : Le lit fluidisé est composé d'un milieu de fluidisation inerte, généralement du sable, dans lequel sont dispersés les déchets, qui sont au minimum prébroyés. Un courant d'air de combustion ascendant met les particules du lit et de déchets en suspension, et permet d'améliorer les transferts de matière et de chaleur. Ce type de technologie est en mesure d'accepter des pouvoirs calorifiques plus élevés (3-20 MJ/kg pour un lit fluidisé bouillonnant, 5-40 MJ/kg pour un lit fluidisé circulant selon Inova) que la technologie de foyers à grille. L'excès d'air est plus limité que pour les fours à grille (30 à 40% contre 90 à 100%), ce qui permet d'améliorer les rendements de combustion, mais le rendement global de l'installation est pénalisé par les dispositifs de préparation des déchets, de soufflage de l'air de fluidisation... La température dans le lit est limitée aux alentours de 850°C, ce qui permet de maîtriser la formation de NOx.

Deux technologies ont été principalement identifiées pour la combustion de RDF :

- Le lit fluidisé bouillonnant ou lit fluidisé dense (LFB ou BFB ou anglais) :

³ Pouvoir calorifique de la grille Dynagrate®, B&W Volund

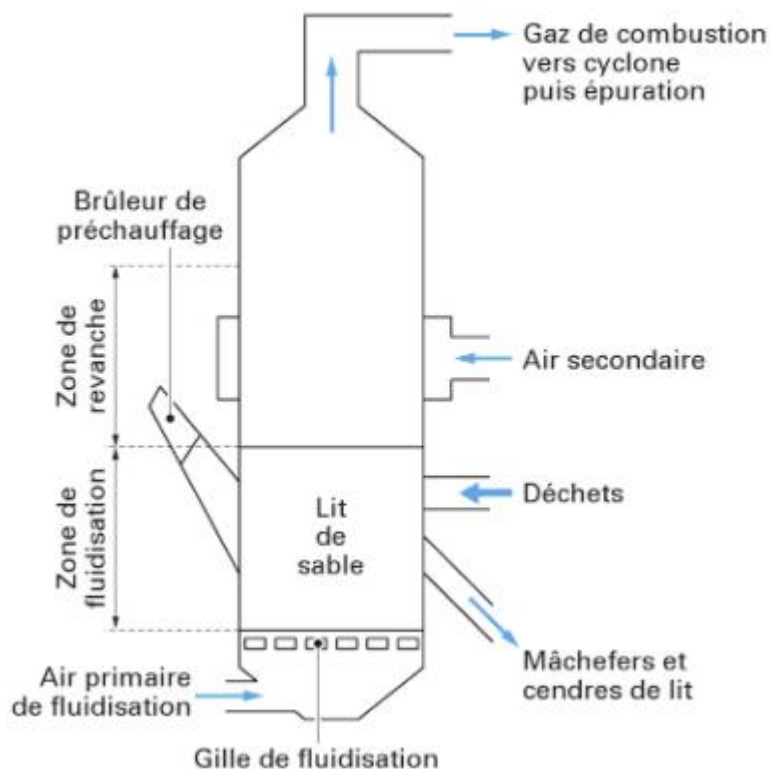


Figure 8: Schéma de principe d'un four à lit fluidisé bouillonnant (Antonini, 2005 [14])

Le lit fluidisé bouillonnant se caractérise par l'existence d'une interface clairement identifiable entre le lit et la phase gazeuse le surmontant, ce qui est permis par des vitesses d'air de fluidisation limitant l'entraînement (1 à 3 m/s). Des phénomènes de défluidisation ou de colmatage du lit sont observés, liés à la présence de métaux et à l'entraînement de fines. Ces dispositifs sont adaptés à des capacités petites à moyenne (à partir de 2 t/h soit environ 16 000 t/an et essentiellement à partir de 5 t/h soit 40 000t/an).

- Le lit fluidisé circulant (LFC ou CFB en anglais).

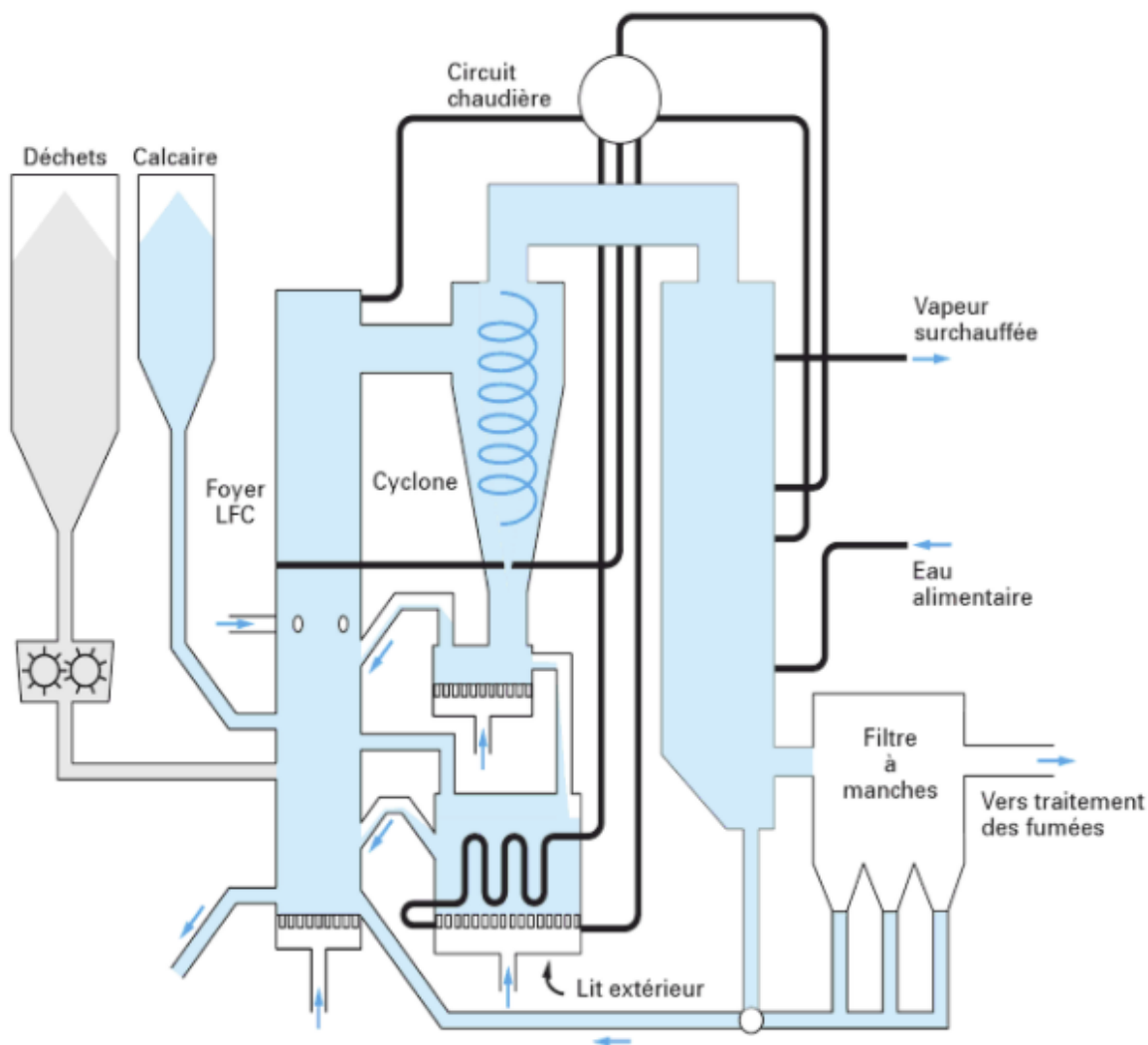


Figure 9 : Schéma de principe d'un four à lit fluidisé circulant (Antonini, 2005 [14])

Le principe de fonctionnement est proche de celui du lit fluidisé bouillonnant, mais la vitesse de fluidisation y est plus grande (de l'ordre de 4 à 8 m/s). La limite supérieure du lit n'est plus nette et l'entraînement des particules au-dessus du lit est important. Pour pallier cela, les particules entraînées sont récupérées dans un cyclone et les particules les plus grossières sont réintroduites dans le lit. Ces dispositifs sont essentiellement adaptés à des capacités élevées (typiquement > 15t/h soit 120 000 t/an).

Lorsque les RDF sont de qualité suffisante, ils peuvent également entrer dans d'autres types d'installations industrielles, en coïncinération, comme des cimenteries, des fours à chaux ou des chaudières à charbon. Les technologies utilisées sont celles utilisées dans ces secteurs, moyennant quelques adaptations de l'alimentation en combustible et/ou de l'épuration des fumées. Dans les cimenteries et les fours à chaux, les résidus de combustion font partie du produit de l'installation (clinker ou chaux), ce qui conditionne le besoin de qualité des RDF.

Cas de la combustion étagée

Source : Note de Gérard Antonini pour RECORD, Les différentes filières de conversion thermochimique des déchets, 2017 [15]

Remarquons que, par abus de langage, une incinération de déchets réalisée de façon étagée, est quelquefois assimilée à une gazéification. Ce type de combustion étagée, c'est-à-dire comprenant un premier étage semi-oxydant qui génère des imbrûlés gazeux CO, par oxydation partielle de la charge ($C + \frac{1}{2} O_2 \rightleftharpoons CO$, réaction exothermique avec : $\Delta H_{298} = - 111 \text{ kJ.mol}^{-1}$ de carbone), suivie d'un étage de postcombustion du CO, ne peut pas être assimilée à une gazéification, la réaction concernée étant exothermique. Il faut, dans ce cas, parler de combustion étagée et non pas de gazéification.

Ce type de fonctionnement permet notamment de réduire la formation de NOx.

II.5.2.2. Pyrolyse, gazéification et combustion étagée

Source : Note de Gérard Antonini pour RECORD, Les différentes filières de conversion thermochimique des déchets, 2017 [15]

On distingue, sur la base de considérations physico-thermochimiques, les différentes filières suivantes :

- La pyrolyse (pyrolyse lente et pyrolyse rapide ou pyro-gazéification),
- La combustion étagée,
- La gazéification (gazéification intégrée et gazéification de 2e génération).

La pyrolyse

La pyrolyse d'un déchet solide ou d'un CSR est sa décomposition thermique endothermique, sous l'action de la chaleur, en absence d'air ($O_2 < 1\%$), le transformant en résidu carboné (coke de pyrolyse), en liquides et en gaz, en défaut d'air et à pression atmosphérique.

On distingue la pyrolyse lente de la pyrolyse rapide, et ce, en fonction de la vitesse de chauffe appliquée au solide :

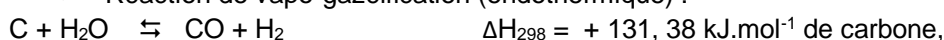
- En pyrolyse lente (vitesses de chauffe comprises entre 0,01 et 2°C/s), le produit majoritaire formé est un solide carboné (coke). Dans ce type de pyrolyse le produit visé doit être un solide. Cependant celui-ci contient la majorité des polluants initialement présents dans le déchet,
- En pyrolyse rapide, ou flash (vitesses de chauffage élevées comprises entre 100-500°C/s), le produit majoritaire formé est un gaz (incondensables et vapeurs organiques condensables). Dans ce type de pyrolyse le produit visé est un gaz combustible. On parle alors de pyro-gazéification du solide. La fraction condensable du gaz de pyro-gazéification, conduit, après condensation, à une huile de pyrolyse (cas des biomasses) ou un fuel (cas de dépolymérisation thermique des plastiques). La fraction incondensable (CO, H₂, CH₄, ...) est, en général, oxydée.

Insistons sur le fait qu'en pyrolyse lente ou en pyro-gazéification, il n'y a pas de réaction de conversion thermochimique du déchet, celui-ci étant simplement décomposé thermiquement.

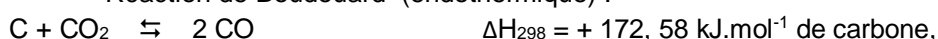
La gazéification

Contrairement à la pyrolyse ou à la pyro-gazéification, en gazéification de déchets, il y a bien des réactions de conversions chimiques à haute température de la matière en atmosphère réductrice (par exemple, réaction de vapo-gazéification, réaction de Boudouard, ...), transformant la matière en gaz de synthèse (syngaz) :

- Réaction de vapo-gazéification (endothermique) :



- Réaction de Boudouard (endothermique) :



On distingue deux modes principaux de fonctionnement en gazéification, désignés respectivement par gazéification de 1ère génération et gazéification de 2e génération.

- **Gazéification de 1^{ère} génération (ou gazéification intégrée)**

Elle se caractérise par le fait que les intrants sont convertis en chaleur, c'est-à-dire que la combustion du syngaz est réalisée de manière intégrée au procédé de gazéification. L'énergie thermochimique des intrants est donc rendue disponible sous forme de chaleur sensible des fumées. En sortie de ces procédés, on a d'une part une fraction solide correspondant aux minéraux présents dans la charge entrante, et d'autre part les fumées chaudes issues de la combustion du syngaz. L'énergie de ces fumées peut être récupérée sous forme de vapeur alimentant un groupe turbo-alternateur en production d'électricité et de chaleur. Dans certains cas, elle peut être utilisée directement dans certains procédés industriels par contact direct entre les fumées chaudes et le procédé (séchage, cuisson, ...).

Cette combustion homogène est réalisée avec un faible excès d'air ($e \sim 10-15\%$). Dans le cas de gazéification intégrée de déchets, ces procédés permettent une haute efficacité de conversion énergétique, par réduction des volumes de fumées rejetées à l'atmosphère (3500-4000 Nm³/t, contre 6 500 à 7 500 Nm³/t, en combustion conventionnelle), et ce, du fait des faibles excès d'air nécessaires à la combustion complète du syngaz (combustion homogène gaz-gaz), contrairement à l'incinération conventionnelle, mettant en jeu une combustion hétérogène, nécessitant de forts excès d'air. Cette diminution significative du volume des fumées permet en outre de réduire la taille des équipements de traitement des fumées. Cette diminution de la taille des équipements n'a cependant un impact économique significatif que dans le cas d'unités de grande capacité.

Quand le syngaz est produit à partir de déchets, les fumées doivent faire l'objet d'un traitement d'abattage, avant rejet à l'atmosphère. Celui-ci est réalisé en milieu oxydant, de façon conventionnelle. En effet, les polluants gazeux, formés en atmosphère réductrice, au sein du gazéifieur (H₂S, HCl, C_nH_m, ...), sont, oxydés en postcombustion, pour former des polluants gazeux conventionnels (SO₂, ...)

- **Gazéification de 2^e génération**

La deuxième génération de procédés de gazéification se caractérise par le fait que les intrants sont convertis en gaz de synthèse, mais l'énergie thermochimique des intrants n'est pas libérée et reste donc disponible. En sortie de ces procédés, on a d'une part un gaz de synthèse contenant l'essentiel de l'énergie thermochimique de l'intrant, et d'autre part une fraction solide correspondant aux minéraux présents dans la charge entrante, éventuellement mélangée à une quantité variable en fonction des procédés, de carbone résiduel qui n'a pas réagi.

Les syngaz peuvent être orientés vers divers usages selon les applications envisagées :

- Production électrique par combustion interne en moteur à gaz, voire en turbine à gaz. L'un des intérêts de la gazéification alimentant des moteurs à gaz pour la production d'électricité est le rendement élevé des moteurs (35 à 40%) contre autour de 20 à 25% avec une turbine à vapeur en incinération ou en gazéification intégrée.
- Combustion en process industriel (four verrier, four de cuisson, ...),
- Conversion thermochimique (production d'hydrocarbures oléfiniques et paraffiniques par procédé Fisher-Tropsch, production de SNG (Synthetic Natural Gas), par procédé de méthanation, ...) en élaboration de combustibles de substitution aux combustibles fossiles (gaz naturel ou autres combustibles),
- Valorisation sous forme matière pour la chimie ou la pétrochimie (synthèse du méthanol, production d'H₂ par conversion déplacée à la vapeur d'eau, ...)

Dans tous les cas d'applications, le syngaz produit en 2^{ème} génération doit d'abord être épuré en milieu réducteur et éventuellement comprimé. Ce type d'épuration en milieu réducteur n'est pas conventionnel, contrairement à l'épuration nécessaire en gazéification intégrée. L'épuration du syngaz représente actuellement un verrou technologique pour cette filière, compte-tenu des cahiers des charges très sévères pour l'utilisation de gaz de synthèse en moteurs, turbines à gaz et/ou réacteurs catalytiques.

Notons que la gazéification peut éventuellement être réalisée sous pression, afin d'alimenter, après épuration, soit le moteur en syngaz comprimé, soit un procédé catalytique de conversion matière sous pression.

Procédés auto-thermiques et allothermiques

La pyrolyse et/ou la gazéification étant des procédés endothermiques, il est nécessaire de leur fournir de l'énergie calorifique.

Cette énergie peut être fournie par les sous-produits de la transformation (oxydation du gaz de pyrolyse en pyrolyse lente, oxydation des incondensables en pyrolyse rapide) ou par oxydation partielle d'une fraction de la charge entrante, par ajout modéré d'air, en gazéification à l'air, son exo thermicité permettant de compenser le besoin en énergie nécessaire à l'entretien des réactions endothermiques de gazéification. On parle alors de procédés auto-thermiques.

Quand l'énergie calorifique nécessaire à la pyrolyse et/ou la gazéification est fournie depuis l'extérieur du procédé (par exemple, par une torche à plasma), on parle de procédé allo-thermique.

Techniques de gazéification au Japon [16]

- La Japon est un leader dans les technologies traditionnelles et innovantes de traitement thermique des déchets. Malgré une diversité de technologies, 84% des déchets solides municipaux au Japon sont traités par les techniques de combustion à grille traditionnelles.
- Le procédé de gazéification de première génération Ebara repose sur la combinaison d'un gazéifieur et d'un four de fusion des mâchefers. Après séparation des mâchefers et du sable, le syngaz est brûlé à une température de 1350°C ce qui permet de vitrifier les cendres. Ce procédé représente 1% du traitement thermique des déchets municipaux solides au Japon. Le plus grand site fonctionnant sur ce principe est situé en Espagne (Madorito).
- 7 installations opérées par le sidérurgiste JFE utilisent le procédé Thermoselect (2% des capacités de traitement thermique des déchets municipaux solides). Ce procédé repose sur la gazéification de seconde génération avec purification du syngaz et entraînement d'une turbine à gaz. Cette technologie ne serait plus commercialisée en raison de son coût.
- La gazéification à cendres fondues dans un four vertical est utilisée au Japon pour réduire le volume de déchets à stocker, dans un contexte de restrictions fortes des capacités de stockage des déchets. Deux fournisseurs proposent cette technique : Nippon Steel et JFE. Elle représente 6% du traitement thermique des déchets ménagers solides. Cette technique combine la gazéification et la vitrification des mâchefers par fusion des matières inorganiques. Les déchets sont préparés sous forme de RDF et mis en pellets. Les mâchefers vitrifiés sont physiquement stables et peuvent être utilisés comme matériaux de construction. La quantité d'énergie valorisée est plus faible et une source d'énergie externe doit être utilisée pour atteindre les températures de vitrification.
- La viabilité des techniques utilisées, et en particulier de la vitrification des cendres, est fortement liée au contexte de prix élevés pour le stockage au Japon, et d'interdiction de l'utilisation des mâchefers en technique routière.
- Le temps de fonctionnement des installations est plus faible au Japon (environ 80%) qu'en Europe (environ 90%, maximum 95%), la capacité nominale de traitement permettant de traiter les déchets accumulés pendant les arrêts. Cela est dû à une approche opérationnelle différente, cherchant à maximiser les quantités traitées par an, plutôt que le rendement énergétique.

II.5.3. La valorisation énergétique

II.5.3.1. Réseaux de vapeur

La vapeur d'eau est un fluide caloporteur répandu dans l'industrie notamment car :

- elle est peu chère ;
- elle peut transporter une grande quantité de chaleur par kg ;
- elle présente un coefficient de transfert thermique élevé en paroi ;
- elle a une chaleur latente élevée lors de la condensation ce qui augmente le rendement thermique des échanges de chaleur ;
- elle permet des diamètres de tuyauteries faibles.

Les paramètres vapeur sont réglés en fonction des besoins en énergie :

- La vapeur est saturée pour fournir de la chaleur ce qui permet de maximiser l'efficacité des transferts thermique. Une vapeur saturée répond à une relation entre pression et température: la pression de la vapeur est réglée en fonction de la température souhaitée par l'utilisateur de chaleur;
- La vapeur est surchauffée dans les cas suivants :
 - transport de vapeur car le coefficient de transfert thermique est médiocre à l'état surchauffé, ce qui réduit les pertes. La vapeur est resaturée avant échange de chaleur.
 - production d'électricité (pression d'environ 40 bars) afin de sécher la vapeur et d'éviter l'érosion des turbines ; et d'augmenter le rendement thermique de la turbine lors de la détente.

II.5.3.2. Réseaux de chaleur et de froid

La chaleur destinée à chauffer les habitations ou à fournir de l'eau chaude sanitaire est transportée sous forme d'eau chaude ou de vapeur d'eau.

- L'eau chaude (60-110°C) est généralement retenue pour chauffer les habitations, les bureaux, les hôpitaux ou des établissements industriels ne consommant pas de vapeur
- L'eau surchauffée (110-180°C en légère surpression) est utilisée dans les réseaux de grande taille nécessitant des températures élevées (laveries, abattoirs...).
- La vapeur (200-300°C) n'est généralement pas utilisée pour des réseaux de chaleur urbain, mais pour un usage industriel (voir ci-dessous). Le réseau de chaleur de la ville de Paris utilise toutefois la vapeur pour son réseau.

L'échange de chaleur se passe au niveau de sous-stations pour un ou plusieurs bâtiments. L'eau refroidie circule en sens inverse jusqu'à la chaufferie.

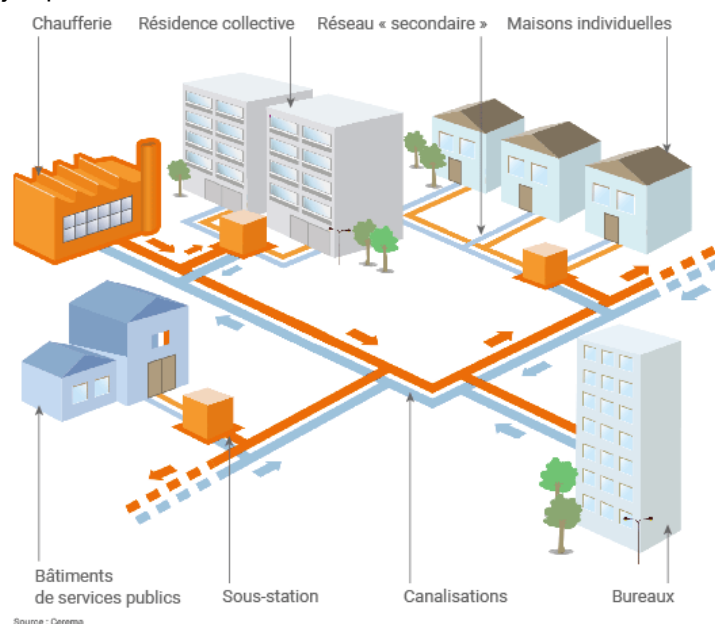


Figure 10: Réseaux de chaleur (Cerema, 2018)

Les réseaux de froid utilisant l'énergie produite à partir de déchets peuvent fonctionner selon deux principes :

- Un réseau de chaleur inversé, alimentant en frigories des bâtiments à partir d'une production centralisée d'eau froide, elle-même produite à partir de chaleur par une machine à absorption ;
- Un réseau de chaleur alimentant des machines à absorption situées au niveau des immeubles. Cette approche ne permet pas de mutualiser les équipements de production de froid mais permet de mutualiser le réseau en lui-même.

II.5.3.3. Turbines

Turbine à extraction (condensation)

Les turbines à extraction sont communes pour toutes les applications. La vapeur est extraite à différents stades de la turbine (et à différentes pressions) pour les besoins du processus industriels ou pour réchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière. L'extraction de vapeur de moyenne pression (de l'ordre de 20 bars) est possible.

La vapeur en sortie de turbine est condensée, elle ne peut pas être utilisée pour des besoins de chauffage industriel.

Il est possible de réguler et d'interrompre l'extraction pour maximiser la production d'électricité, sans production de vapeur. Ce mode est utilisé dans les centrales électriques. Ce type de turbines présente une grande flexibilité.

Turbine de contre-pression

Les turbines sans condensation ou à contre-pression sont utilisées pour les processus qui utilisent des grandes quantités de vapeur à faible pression. La pression à l'échappement (généralement basse de l'ordre de 4 bars) est contrôlée par une vanne de régulation en fonction des besoins du consommateur de vapeur.

III. Panorama de la filière CSR dans 10 pays européens

Cette analyse a été menée de manière conjointe avec l'analyse de l'étude DGE Benchmark européen du marché des CSR, 2018.

La production et l'utilisation des RDF est à la croisée de deux politiques publiques qui sont la politique déchets et la politique énergétique.

En matière de politique déchets, les objectifs européens et nationaux de diminution du stockage, de recyclage et de valorisation des déchets ont entraîné la mise en place d'instruments de politiques publiques (collecte séparative, tarification incitative, taxation, plafonnement des capacités...). Dans certains pays, les choix effectués ont favorisé la production et l'utilisation de RDF.

Par ailleurs, les politiques énergétiques (et climat) européennes et nationales visent à augmenter la part des énergies renouvelables, diminuer les consommations d'énergies fossiles et diminuer les émissions de GES. Les instruments de politiques publiques mis en oeuvre (investissements, compléments de rémunération, quotas de CO₂...) peuvent améliorer la compétitivité du RDF face aux énergies fossiles et ainsi stimuler le marché utilisateur de RDF.

Enfin le marché des RDF est présenté en termes de flux. Les quantités de RDF produites et leur origine sont quantifiées. L'utilisation du RDF et le type d'installations concernées le sont également. Dans certains pays, les capacités de traitement des déchets ne sont pas suffisantes pour gérer l'ensemble des flux générés, ce qui conduit à des exports de RDF. Les flux d'importations et exportations sont donc présentés et permettent également d'éclairer la compréhension des marchés nationaux.

III.1. Les politiques publiques influençant le marché des RDF

III.1.1. La politique de gestion des déchets

III.1.1.1. Cadre européen

La Directive Cadre Déchets (2008/98/CE) fixe le cadre commun pour la gestion des déchets et notamment la terminologie à employer. Elle introduit le principe de hiérarchie des modes de traitement des déchets : prévention, réutilisation, recyclage, valorisation (énergétique, par exemple) et élimination. Elle confirme le principe de pollueur-payeur selon lequel les coûts de la gestion des déchets sont supportés par le producteur de déchets initial. Elle impose aux autorités nationales compétentes d'établir des plans de gestion des déchets et des programmes de prévention des déchets. Elle fixe des objectifs de recyclage et de valorisation à atteindre d'ici 2020 pour les déchets ménagers et assimilés (50%).

La Directive 94/62/CE du 20 décembre 1994 du Parlement européen et du Conseil relative aux emballages et aux déchets d'emballages définit les objectifs de recyclage des emballages :

- au plus tard le 31 décembre 2008, 60 % minimum des déchets d'emballages devaient être valorisés ou incinérés dans des installations avec valorisation énergétique;
- au plus tard le 31 décembre 2008, entre 55 et 80 % des déchets d'emballage devaient être recyclés;
- au plus tard le 31 décembre 2008, les objectifs suivants devaient être atteints pour les matériaux contenus dans les déchets d'emballage:
 - 60 % pour le verre, le papier et le carton,
 - 50 % pour les métaux,
 - 22,5 % pour les plastiques,
 - 15 % pour le bois.

La Directive 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets (stockage) prévoit les critères d'acceptation des déchets en installation de stockage et introduit des objectifs de réduction de la mise en décharge par rapport à la quantité de déchets municipaux biodégradables produits en 1995 pour 2006 (75%), 2009 (50%) et 2016 (35%).

Le Package Economie Circulaire sorti fin 2015 par la Commission Européenne prévoit une révision de la Directive Cadre Déchets. Les objectifs de recyclage prévus par le Commission pour 2030 s'élèvent à 65% pour les déchets ménagers et assimilés et à 75% pour les déchets d'emballage.

La Commission prévoit d'introduire également un objectif contraignant de réduction de la mise en décharge à 10% des déchets ménagers et assimilés d'ici 2030. Les définitions et modes de calcul de ces objectifs seront précisés.

Le Règlement n°1013/2006 régit les transferts transfrontaliers de déchets.

La directive 2000/53/CE sur les véhicules hors d'usage introduit des objectifs de recyclage des VHU (95% du poids des VHU doivent être réutilisés, recyclés ou valorisés en 2015 et 85% réutilisés ou recyclés).

La Directive 2010/75/CE relative aux émissions industrielles (IED) réglemente l'incinération et la coïncinération. Elle remplace notamment la Directive Incinération 2000/76/UE et la Directive IPPC 2008/1/UE (Integrated Pollution Prevention and Control) depuis 2014. Elle définit les valeurs limites d'émission pour les installations d'incinération et de coïncinération. Elle impose le recours aux Meilleures Techniques Disponibles (MTD) décrites dans les documents BREF (Best References) produits par le JRC (Joint Research Center).

Rappel des définitions selon la directive européenne IED

«installation d'incinération des déchets»: tout équipement ou unité technique fixe ou mobile destiné spécifiquement au traitement thermique de déchets, avec ou sans récupération de la chaleur produite par la combustion, par incinération par oxydation des déchets ou par tout autre procédé de traitement thermique, tel que la pyrolyse, la gazéification ou le traitement plasmatique, si les substances qui en résultent sont ensuite incinérées;

«installation de coïncinération des déchets»: une unité technique fixe ou mobile dont l'objectif essentiel est de produire de l'énergie ou des produits matériels, et qui utilise des déchets comme combustible habituel ou d'appoint, ou dans laquelle les déchets sont soumis à un traitement thermique en vue de leur élimination par incinération par oxydation ou par d'autres procédés de traitement thermique, tels que la pyrolyse, la gazéification ou le traitement plasmatique, pour autant que les substances qui en résultent soient ensuite incinérées;

Contrairement à certaines idées reçues, la proportion de déchets et de combustibles produits n'entre pas en compte dans la définition de la coïncinération.

III.1.1.2. Orientation générale des pays

Chaque pays a mis en place une stratégie de gestion des déchets afin de diminuer le stockage des déchets et de recycler et valoriser les déchets. Les politiques mises en place sont différentes pour atteindre cet objectif.

Tableau 6: Analyse des politiques de gestion des déchets (DGE, RECORD, 2018)

Pays	Politiques de gestion des déchets
Allemagne	Année 1993 de l' interdiction de stockage des déchets à partir de 2005 → développement notamment d'installations de préparation de combustibles à base de déchets et construction d'installations de valorisation énergétique pour traiter ces combustibles.
Angleterre	Introduction en 1994 d'une taxe sur le stockage de déchets pour diminuer le stockage, objectif clé de la stratégie politique en matière de gestion des déchets. Exportations élevées de RDF pour compenser le manque d'installations de traitement.
Autriche	Années 1990-2000 : politique forte de réduction du stockage (interdiction et taxe) et de collecte séparative pour favoriser le recyclage. → Développement de la préparation des RDF.
Belgique	Fortement orienté valorisation énergétique et matière avec une réduction au maximum du stockage des déchets en s'appuyant sur plusieurs outils réglementaires dont : interdictions du stockage de certains déchets, mise en place de taxes sur l'incinération et sur le stockage , mise en place de collectes séparatives poussées à la fois pour les ménages et pour les entreprises.
Finlande	Politique de diminution du stockage par la taxe et l'interdiction. Report fort du stockage vers la valorisation énergétique.
France	Création d'une taxe sur le stockage en 1993. Politique orientée vers le recyclage. Planification des capacités d'élimination (stockage et incinération sans valorisation énergétique) depuis 1992 (départements), puis plafonnement (stockage et incinération, 2011), puis passage au niveau régional (2016).
Italie	Des objectifs en termes de réduction du stockage → Développement des TMB. Mais encore fortement dépendant du stockage et a des difficultés à augmenter ses capacités d'incinération → Export et stockage partiel des déchets préparés
Norvège	Politique de diminution du stockage par la taxe et l'interdiction. Report vers la valorisation énergétique. Une politique de gestion des déchets équilibrée entre l'incinération et le recyclage.
Pays-Bas	1995 : Interdiction du stockage des déchets incinérables et recyclables. Report vers la valorisation énergétique. Stratégie actuelle : augmenter le taux de recyclage, maintenir proche de zéro le stockage de déchets. Permettre une concurrence équitable en Europe entre les installations de traitement des déchets afin de permettre les échanges.
Suède	Année 1996 de l'interdiction de stockage de déchets combustibles et organiques en 2002 et 2005. Utilisation de la valorisation énergétique des déchets pour les réseaux de chaleur urbains. Report principal sur la valorisation énergétique. Stratégie actuelle : collecte séparative des déchets organiques.

Compte tenu des orientations de chaque pays, le report de la baisse du stockage des déchets ménagers par exemple a été différent d'un pays à l'autre. Sur ce point, on distingue trois groupes de pays (voir Figure 11):

- Le report s'est réparti entre l'incinération et la valorisation matière : Allemagne, Angleterre, Autriche, Norvège et Belgique ;
- Le report s'est fait principalement vers l'incinération : Finlande ;
- Le report s'est fait principalement vers la valorisation matière : France, Italie, Pays-Bas et Suède.

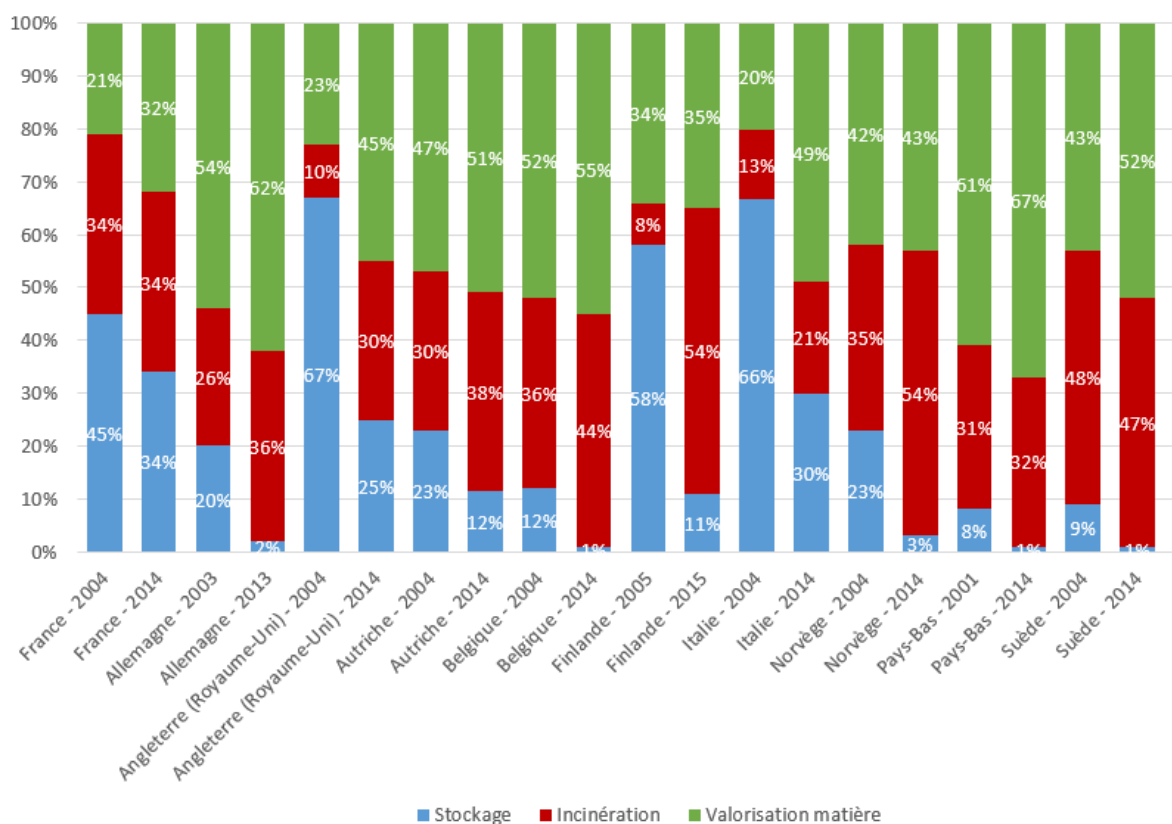
L'évolution dans le temps du traitement des déchets suite à la politique de gestion de chaque pays est différente et provient du fait que les politiques en faveur de la diminution du stockage ont été mises en place à des périodes plus ou moins lointaines dans le temps pour chaque pays.

La comparaison entre pays des tonnages de déchets non dangereux et non inertes (DAE et déchets municipaux) ramenés à la population montre les impacts sur le stockage des déchets de la politique de gestion des déchets par pays (voir Figure 13). Les Pays-Bas, l'Autriche, la Norvège, la Suède, la Belgique et

l'Allemagne stockent moins de 150 kg/hab., la France et l'Italie autour de 300 kg/hab. et le Royaume-Uni et la Finlande plus de 400 kg/hab.

Comme le précise la FNADE dans un rapport qu'elle a commandité en 2014, les résultats en termes des gestions des déchets des différents pays européens ne peuvent être comparés objectivement, compte-tenu d'une harmonisation insuffisante des données statistiques. Ainsi pour l'Allemagne par exemple, aucun déchet municipal n'est stocké sans prétraitement ce qui conduit à avoir très peu de déchets municipaux stockés (150 kt) si l'on regarde la première destination des déchets. Si la destination finale des déchets municipaux traités par un TMB est analysée, il y a alors 750 kt en plus qui sont envoyés en stockage (pris en compte dans ce graphique). Par ailleurs, en Allemagne, les déchets prétraités sont considérés comme recyclés et pour les sites multi installations, le traitement considéré est le mode de traitement prédominant (souvent le recyclage). Ce biais n'a pas pu être pris en compte dans ce graphique. L'objectif de ce graphique est donc d'abord de comparer l'évolution pays par pays sur 10 ans et non de comparer les pays entre eux.

Figure 11: Evolution des taux de stockage, incinération et valorisation matière des déchets municipaux (DGE, RECORD, 2018) (Eurostat, 2013 à 2015) (DEFRA, 2016)



Source : Données nationales de chaque pays, Eurostat

*Allemagne - Eurostat 2013 corrigées par RDC pour tenir compte des TMB. 68% de valorisation matière, 32% d'incinération, 0% de mise en décharge selon Eurostat 2015

** Angleterre - DEFRA 2016, valeurs 2014/2015 Angleterre uniquement. Autres – 2%

*** Des limites dans la comparaison des données statistiques

Figure 12: Quantités de déchets municipaux générés (millions de tonnes) (compilation DGE, RECORD, 2018) (Eurostat, 2004 et 2014)

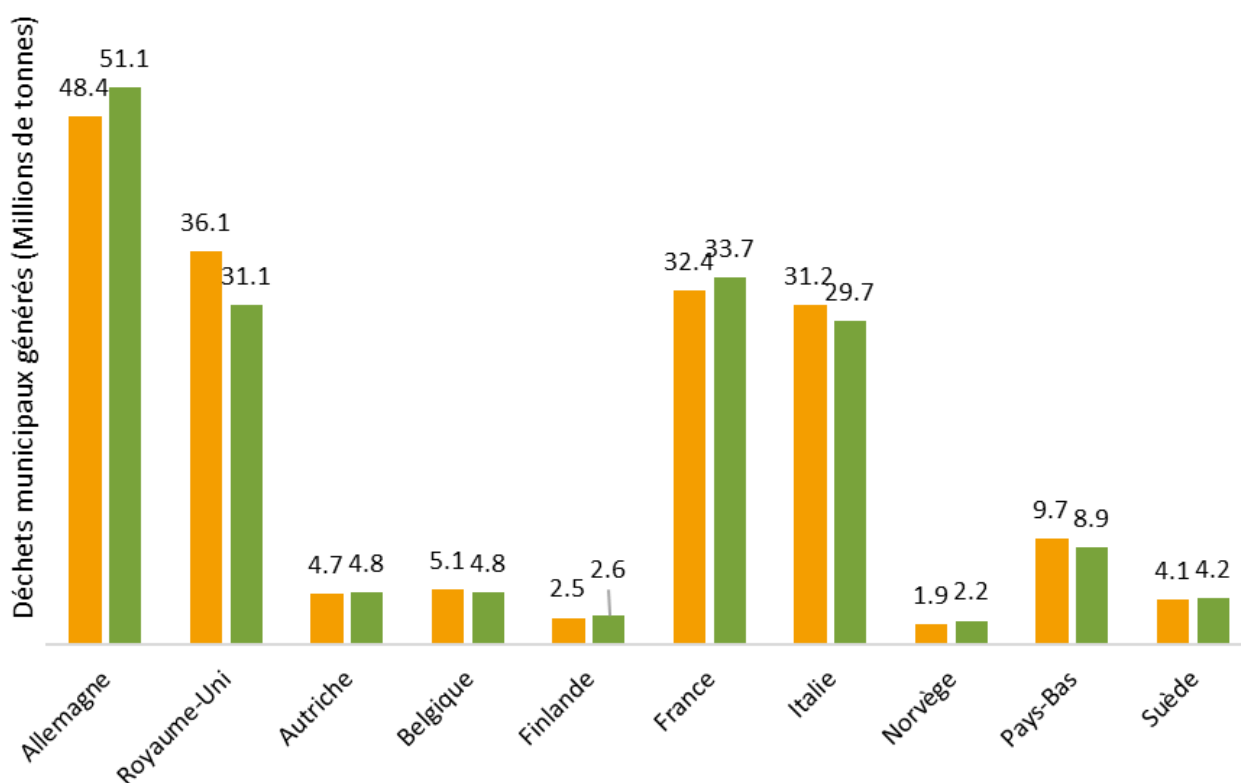
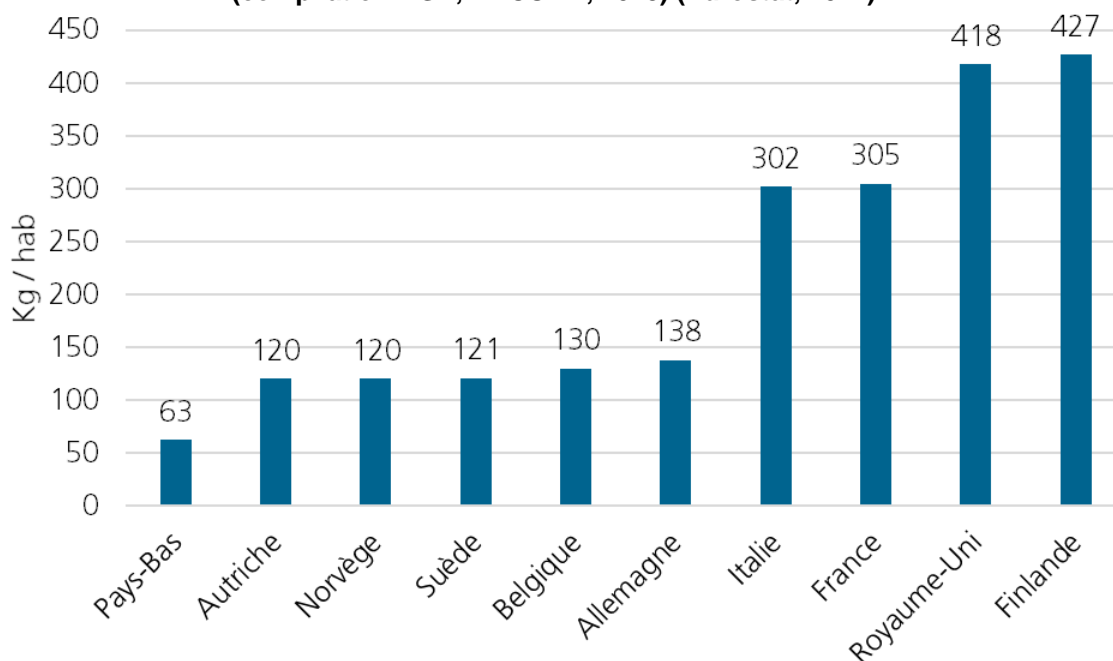


Figure 13: Quantités de déchets non dangereux et non inertes stockés par habitant en 2014 (compilation DGE, RECORD, 2018) (Eurostat, 2014)



Source : Eurostat, traitement RDC Environment

III.1.1.3. Les instruments de politique publique de la gestion des déchets utilisés

La diminution des tonnages de déchets stockés a été favorisée par la mise en place d'instruments divers de politique publique de déchets pour favoriser le recyclage et l'incinération

- Les obligations de tri à la source pour valoriser le développement du recyclage soutenu dans certains cas par la mise en place de tarification incitative au niveau des ménages ;
- Les interdictions de stockage de certains déchets (déchets organique, déchets combustibles, déchets recyclables en fonction des pays) ;
- Les taxes sur l'incinération et le stockage

Tableau 7: Quelques instruments de politique publique Déchet mis en place (DGE, RECORD, 2018)

Instruments		France	Allemagne	Angleterre	Belgique	Italie	Pays-Bas	Autriche	Finlande	Suède	Norvège
Collecte	Obligation de tri à la source des déchets industriels	X	X		X						
	Obligation de collecte séparative des biodéchets (ménages)	Prévu (2025)	X (depuis 2015)				X	X			
	Obligation de collecte séparative des biodéchets (DAE)	X (>10t/an)									
Traitement final	Taxe sur le stockage	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Taxe sur l'incinération	X			X		X (2015)	X		X (avant 2011)	X (avant 2011)
	Interdiction de stockage de certains déchets		X C Org +		X C+Org	X C	X C+Rec	X Org	X Org	X C+Org	X Org
<p><i>Note : C : Déchets combustibles, Org : Déchets organiques, Rec : Déchets recyclables</i></p>											

L'évolution des taxes sur le stockage est présentée comme un exemple d'instrument utilisé. Le type de déchets concernés est le déchet non dangereux mais certains pays sont plus restrictifs : l'Angleterre et les Pays-Bas distinguent les déchets incinérables (dits « actifs en Angleterre) et non-incinérables (dits « inertes en Angleterre) ;

De même, certains pays ont mis en place des exemptions ou des réfections de taxe sur le stockage pour certains types de déchets. Les déchets permettant l'aménagement ou la restauration des installations de stockage sont exemptés de taxe en Angleterre et en Suède. En Wallonie c'est une réfaction qui est appliquée à ce type de déchets.

Les systèmes de taxation sur le stockage et l'incinération des déchets ménagers sont des instruments de politiques publiques parmi de nombreux autres instruments.

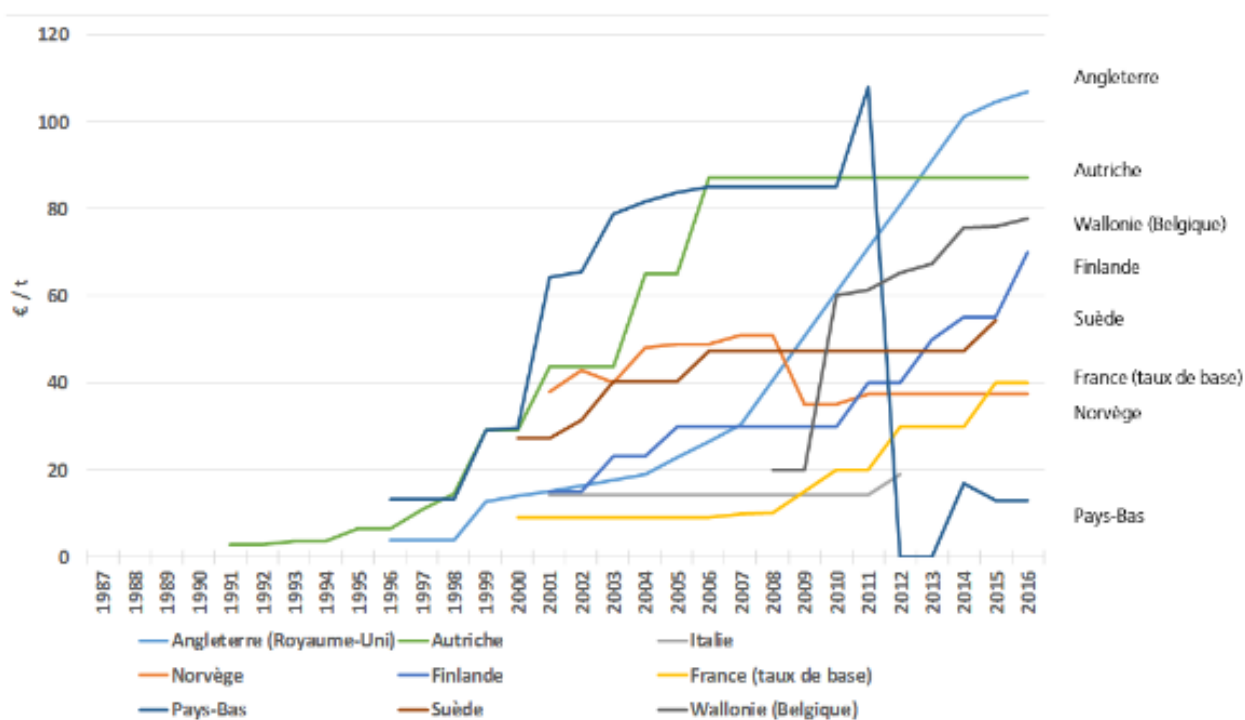
Chaque pays/région a sa propre combinaison d'instruments. Les outils les plus souvent utilisés sont la taxe sur le stockage, l'interdiction du stockage de certains déchets, la taxe sur l'incinération et la mise en place d'une tarification incitative ainsi que des aides pour accompagner les collectivités locales à la prévention et au détournement des flux du stockage et de l'incinération.

Comme le montre le graphique suivant, l'ancienneté de la mise en place d'une taxe sur le stockage varie en fonction des pays. L'Autriche, l'Angleterre et les Pays-Bas ont mis en place le système il y a 20 ans ou plus. La Wallonie a mis en place une taxe en 2007 soit récemment comparativement aux autres pays.

Il y a des pays / régions où la taxe a eu une évolution forte sur une courte durée ; c'est le cas de

- La Wallonie où la taxe a été multipliée par plus de 3 entre 2008 (20 €/t) et 2010 (60 €/t)
- L'Autriche où la taxe a été multipliée par plus de 3 entre 2000 (29.1 €/t) et 2006 (87 €/t)
- Les Pays-Bas où la taxe a été multipliée près de 3 entre 2000 (29.75 €/t) et 2006 (85€/t) ;
- L'Angleterre où la taxe a été multipliée par plus de 2 entre 2009 (50.6 €/t) et 2016 (106.8 €/t).

Figure 14: Instruments de politique publique Déchet - Exemple de la taxe sur le stockage des déchets non dangereux (compilation DGE, RECORD, 2018) (ADEME, 2016)



III.1.2. La politique énergétique

III.1.2.1. Cadre européen

La Directive 2003/87/CE établit un système d'échange de quotas d'émission de GES dans l'UE. Elle concerne les installations de combustion ou de coïncinération d'une puissance calorifique de combustion >20MW. L'incinération des déchets dangereux ou municipaux n'est pas concernée. Un plafond limite le niveau d'émissions de GES pouvant être émis par les installations couvertes par ce système. Le plafond est réduit progressivement. Dans les limites de ce plafond, les entreprises reçoivent gratuitement (activités à risque de fuite de carbone, fortement soumises à compétition internationale) ou achètent des quotas d'émission. Elles peuvent ensuite les échanger avec d'autres entreprises. À la fin de chaque année, chaque entreprise doit présenter un nombre suffisant de quotas pour couvrir toutes ses émissions sous peine de s'exposer à de lourdes amendes. Une entreprise qui a réduit ses émissions peut conserver son excédent de quotas pour couvrir ses besoins futurs ou bien les vendre à une autre entreprise.

La Directive 2009/28/EU relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables introduit des objectifs ENR par pays tenant compte du point de départ et du potentiel de développement par pays. Elle définit les règles de calcul, les instruments de soutien autorisés et les mécanismes de coopération entre Etats Membres.

La Directive 2010/75/CE relative aux émissions industrielles (IED) régleme l'incinération et la coïncinération. Elle remplace notamment la Directive Incinération 2000/76/UE et la Directive IPPC 2008/1/UE (Integrated Pollution Prevention and Control) depuis 2014. Elle définit les valeurs limites d'émission pour les installations d'incinération et de coïncinération. Elle impose le recours aux Meilleures Techniques Disponibles (MTD) décrites dans les documents BREF (Best References) produits par le JRC (Joint Research Center).

III.1.2.2. Orientation générale des pays

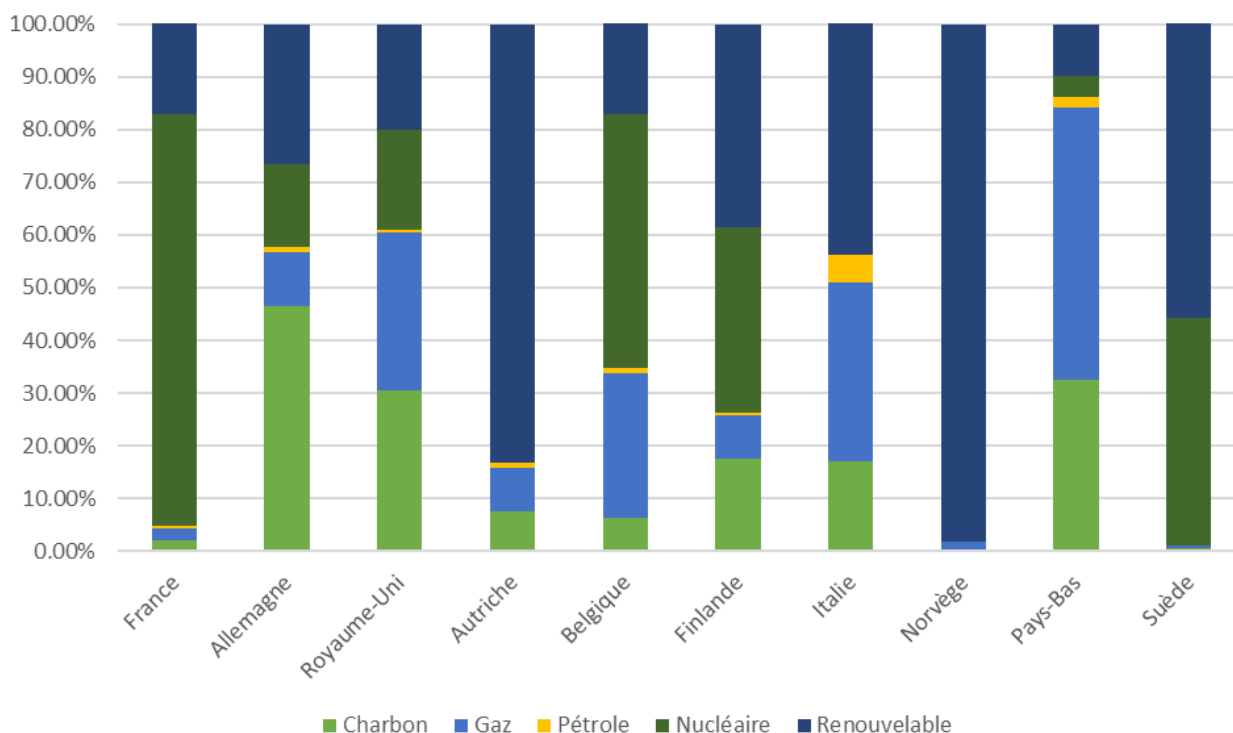
Tableau 8: Analyse des politiques énergétiques (DGE, RECORD, 2018)

Pays	Politiques énergétiques
Allemagne	Objectifs de durabilité , de compétitivité et de prix abordables. 2011: sortie du nucléaire en 2022. Politique tournée vers la cogénération depuis 2002 et depuis 2008 pour l'industrie de grande taille. Les hausses du prix de l'électricité sont essentiellement portées par les ménages.
Angleterre	Enjeux ENR forts : Objectifs de 30% d'électricité ENR en 2020 contre 20% en 2014. La transition énergétique s'appuie principalement sur la biomasse et l'éolien. L'électricité déchet et la chaleur déchet ont été soutenues.
Autriche	Objectifs : sécurité énergétique, efficacité énergétique et ENR. La biomasse est clé pour la sécurité énergétique. Depuis 1991, tous les UIOM fonctionnent en cogénération . Soutiens à l'investissement et aux dépenses de fonctionnement pour la cogénération (pour réseaux urbains et industrie).
Belgique	Politique régionale. Objectifs alignés sur les objectifs de l'UE. Soutiens à la cogénération et aux réseaux de chaleur en Wallonie comme en Flandre.
Finlande	Objectifs : sécurité énergétique (industries énergivores, climat), énergie décarbonée, compétitivité. Choix à long terme des ENR et de conserver le nucléaire. La biomasse est clé dans cette stratégie. Cogénération : >30% de la production d'électricité. Réseaux de chaleur : environ 50% de la demande en chaleur. Taxation favorable à la cogénération.
France	Objectifs LTCEV 2015 : hausse des ENR, baisse de la part du nucléaire, stratégie long terme de prix du carbone. Soutiens à la cogénération, à l'électricité renouvelable et Fonds Chaleur : réduction de taxes, aides à l'investissement et compléments de rémunération.
Italie	Objectifs : réduire les coûts , augmenter la durabilité du mix énergie, améliorer la sécurité énergétique. Soutien à l' électricité renouvelable depuis 1992, y compris à partir de déchets. Soutiens aux réseaux de chaleur urbains dans le nord (principalement énergie fossile). La stratégie actuelle est plutôt tournée vers l'électricité.
Norvège	Troisième exportateur d'énergie au monde. Objectif de neutralité carbone en 2050 (compensation incluse). Production électrique déjà largement renouvelable (hydroélectrique). Objectif : diversifier les sources , usage accru de la chaleur pour vendre l'électricité.

Pays-Bas	Enjeux forts : ENR (14% énergie finale en 2020 contre 4.5% en 2013) et sécurité énergétique (déclin du gaz). Objectifs : efficacité énergétique, compétitivité et ENR. Soutiens aux ENR compétitives . Les réseaux de chaleur fonctionnent principalement au gaz naturel.
Suède	Taxe carbone depuis 1991, niveau de taxation des secteurs non ETS le plus élevé au monde. Objectifs 2009: 0 combustible fossile pour le chauffage en 2020 , neutralité carbone en 2050. Taxation favorable à la cogénération et exemption pour les déchets . Très forte connexion des habitations collectives et bâtiments non résidentiels aux réseaux de chaleur - 93 et 83% (dont 18 % sont alimentés par les déchets).

Pour avoir une compréhension des orientations des politiques énergétiques des pays, deux informations sont présentées en particulier : le mix de production électrique et la consommation énergétique de l'industrie. Le mix électrique définit la part du thermique, du nucléaire ou encore de l'hydraulique et des autres énergies renouvelables dans la production d'électricité. Les combustibles utilisés pour produire de la chaleur dans l'industrie ou le résidentiel, ou pour les déplacements, ne sont pas inclus. Cette information permet d'identifier que parmi les 10 pays étudiés, la France, la Norvège et la Suède utilisent peu, voire pas, le charbon en 2014. Or il s'agit d'un des débouchés potentiels pour le RDF, sous forme de coïncinération, utilisé en Allemagne, en Autriche et en Italie.

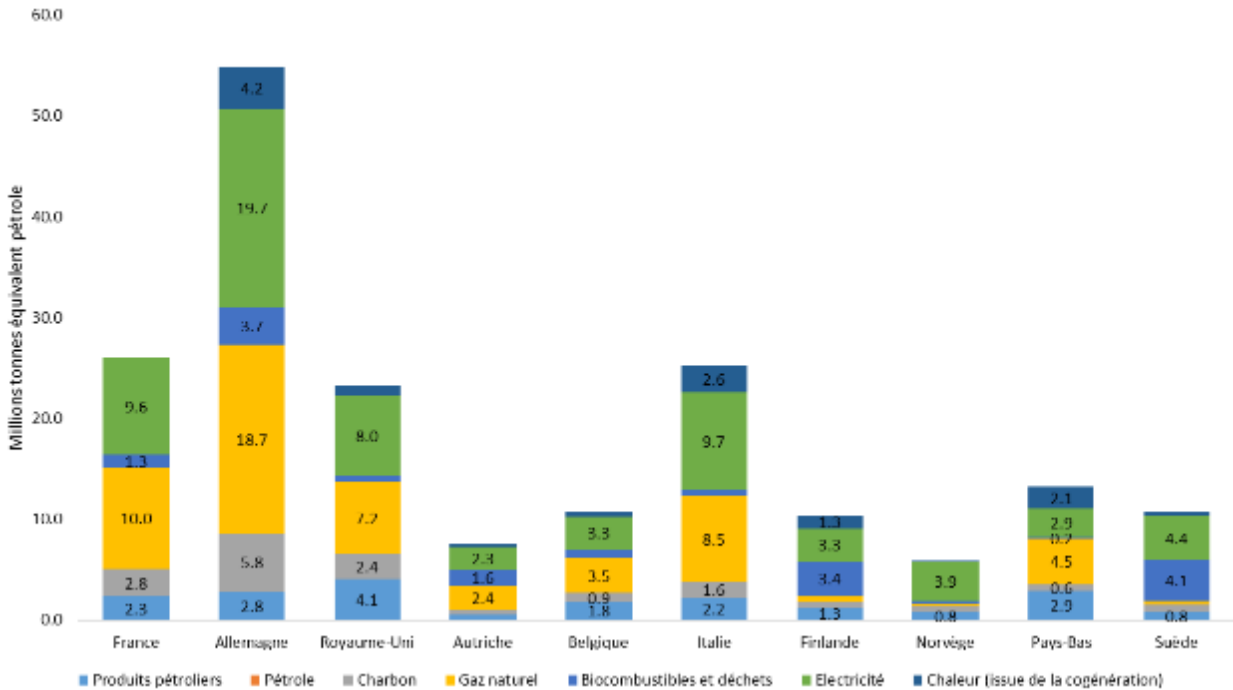
Figure 15: Mix électrique dans les différents pays (compilation DGE, RECORD 2018) (IEA, 2014)



Source : IEA 2014

La consommation énergétique de l'industrie est présentée à la fois en valeur absolue et en valeur relative. La valeur absolue montre la consommation énergétique industrielle totale de chaque pays : l'Allemagne est la première consommatrice, suivie de la France, de l'Italie et du Royaume-Uni. Cela provient à la fois du type d'industries présentes dans le pays et du poids de l'industrie dans l'économie du pays.

Figure 16 : Consommation finale d'énergie par l'industrie (compilation DGE, RECORD 2018) (IEA 2014)



Source : IEA 2014 ⁴

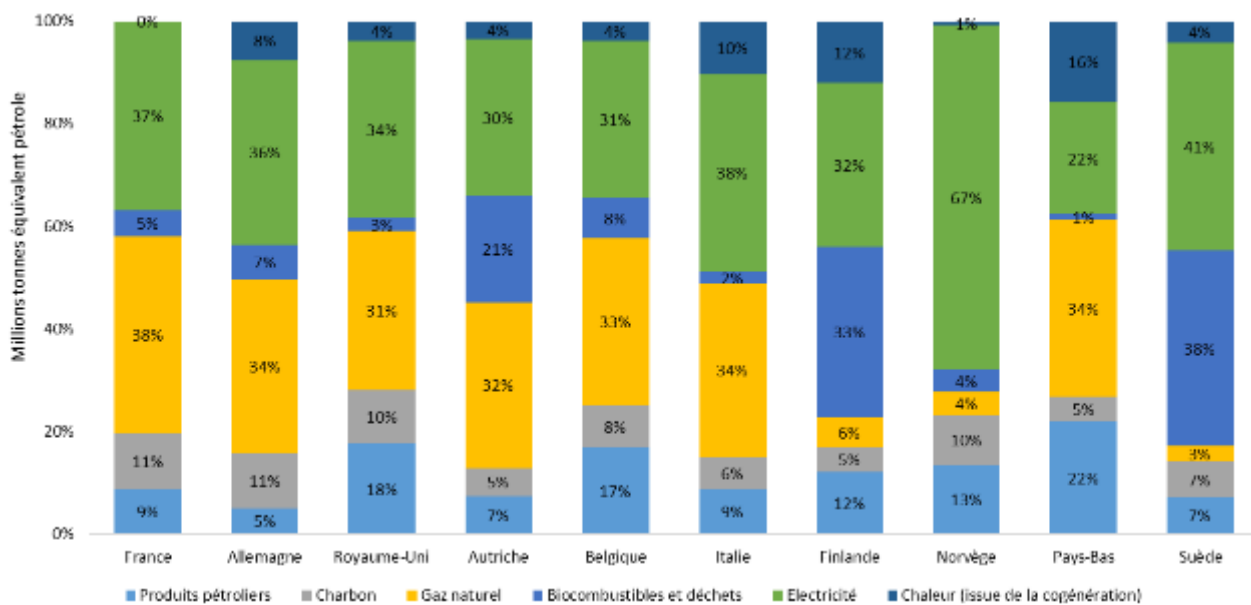
En termes de répartition des énergies utilisées, l'Autriche, la Finlande et la Suède se distinguent par une part « Biocombustibles et déchets » importante, ce qui traduit d'abord de l'importance de la biomasse vierge et des déchets de bois dans la consommation énergétique industrielle de ces pays. Dans ces pays, la biomasse, abondante, est au cœur de la stratégie énergétique, notamment pour atteindre les objectifs d'ENR.

La chaleur issue de la cogénération (et commercialisée) représente plus de 8% des consommations énergétiques industrielle en Allemagne, Italie, Finlande et aux Pays-Bas et entre 1% et 4% dans les autres pays. En France la consommation de chaleur issue de la cogénération n'est pas recensée. Cela provient peut-être dû au fait que cette chaleur est produite en interne sur les sites utilisateurs et donc non recensée.

Notons que l'électricité peut elle-même provenir de sources diverses, comme les biocombustibles et les déchets.

⁴ <https://www.iea.org/Sankey/>

Figure 17: Consommation finale d'énergie par l'industrie (compilation DGE, RECORD 2018) (IEA 2014)



Source: IEA 2014⁴

III.1.2.3. Les instruments de politique publique utilisés en lien avec le RDF

Les principaux soutiens dans le domaine de l'énergie, en lien avec l'utilisation du RDF et actuellement en vigueur, recensés dans les pays étudiés, portent sur des soutiens à la cogénération et aux énergies renouvelables. Ainsi le RDF pouvant faire partie des combustibles utilisés, il est indirectement soutenu par des instruments financiers.

Ces instruments peuvent être groupés en 2 catégories :

- des soutiens à l'investissement :
 - à la modernisation des installations de cogénération (Allemagne) ;
 - à la construction de nouvelles installations de cogénération (Autriche, Wallonie) ;
 - à la création de réseaux de chaleur (Wallonie, Norvège, France) ;
- des soutiens au fonctionnement :
 - exemptions de tout ou partie de la taxe énergie (Suède, Norvège, Finlande, Pays-Bas) ;
 - soutiens à la production d'énergie renouvelable comprise dans les déchets sous forme de compléments de rémunération pour :
 - l'électricité (Pays-Bas, Belgique).
Remarque :
1) L'Angleterre a soutenu l'électricité déchet seule jusqu'en 2014 puis jusqu'en 2015 l'électricité en cas de cogénération. Ce soutien n'a pas été renouvelé en 2017 car jugé compétitif.
2) l'Italie a soutenu l'électricité verte de 1992 à 2012, y compris la cogénération à partir de déchets dont les RDF faisaient partie.
 - la chaleur (Pays-Bas, Angleterre).

Les RDF et les déchets ont une place marginale dans la politique énergétique de tous les pays, à l'exception de la Suède pour laquelle les déchets sont stratégiques pour l'alimentation des réseaux de chaleur, et de l'Allemagne où le RDF contribue à la compétitivité de l'industrie. Le RDF constitue une opportunité pour les cimentiers dans tous les pays et pour la production d'électricité en Italie.

Tableau 9 : instruments de politique publique utilisés actuellement en lien avec le RDF dans le domaine de l'énergie (DGE, RECORD, 2018)

Pays	Investissement			Fonctionnement		
	Soutiens à la création d'installations dédiées RDF	Soutiens installations de cogénération	Soutiens à la création de réseaux de chaleur	Exemptions de tout ou partie de la taxe énergie	Electricité	Chaleur
Allemagne		X				
Angleterre						X
Autriche		X				
Belgique		X	X		X	
Finlande				X		
France	X ⁵		X		6	
Italie				X	7	
Norvège			X	X		
Pays-Bas				X	X	X
Suède			8	X		

⁵ La cogénération n'est pas éligible, exceptée en Outre Mer

⁶ Le mécanisme de complément de rémunération pour l'électricité est en cours de construction en France mais n'est pas encore en vigueur.

⁷ Jusqu'en 2012 oui.

⁸ Jusqu'en 2009 oui.

Tableau 10: Place des RDF dans la politique énergétique (DGE, RECORD, 2018)

Pays	Place des RDF non normés et des RDF normés dans la politique énergétique
Allemagne	Le contexte historique global favorable aux RDF : soutiens cogénération pour l'industrie et les réseaux de chaleur. Les déchets ne sont pas éligibles aux soutiens au fonctionnement tels que les tarifs de rachat. Le RDF contribue aujourd'hui à la compétitivité industrielle (installations non soumises à quotas CO ₂). Fort taux de substitution en cimenterie (65% de combustibles alternatifs dont 75% de RDF).
Angleterre	Le RDF a une place mineure dans la stratégie énergétique anglaise . La chaleur déchet est soutenue si les déchets contiennent de la biomasse solide. L'électricité déchet et la cogénération déchet ont été soutenues mais ne le sont plus car jugées compétitives. La biomasse et l'éolien restent les sources d'ENR prioritaires.
Autriche	La politique énergétique autrichienne est avant tout tournée vers la biomasse. Le RDF est utilisé dans une moindre mesure. Fort taux de substitution en cimenterie (76% dont 70% de RDF).
Belgique	Presque exclusivement utilisé en cimenterie et fours à chaux . Faible taux de substitution par des RDF en cimenterie par rapport aux autres pays européens. (56% dont 8 à 16% de RDF)
Finlande	Disposant d'une ressource biomasse abondante, les RDF ne sont pas clés dans la stratégie énergétique finlandaise
France	L'usage du RDF est historiquement peu développé : il est principalement utilisé par les cimentiers . Le RDF fait actuellement partie de la stratégie Déchets/Energie de la France. Les usages chaleur sont prioritaires, en substitution de combustibles fossiles, dans un double objectif ENR et compétitivité des industries. Une catégorie ICPE spécifique a été créée pour encadrer d'usage en unités de combustion CSR. Des instruments de soutiens et une réglementation ont été créés pour développer la filière.
Italie	Le RDF offre actuellement une source d'énergie dans des secteurs stratégiques comme la production d'électricité renouvelable et la cimenterie mais est encore sous-utilisé (13% de substitution en cimenterie, dont 60% de RDF) et peu mobilisé pour la production de chaleur.
Norvège	La Norvège cherche aujourd'hui à diversifier ses sources d'énergies et le déchet en est une parmi d'autres.
Pays-Bas	Le RDF n'est pas clé dans la transition énergétique en cours. Pas d'instruments identifiés.
Suède	La combustion des déchets (dont RDF) est stratégique pour l'alimentation des réseaux de chaleur urbains en Suède . La Suède a recours aux imports pour répondre à cet objectif.

Les visites des installations et l'analyse par pays nous ont appris que la politique énergétique a eu une influence plus faible que la politique déchets sur le développement des installations utilisatrices de RDF.

III.1.3. Conditions administratives

III.1.3.1. Synthèse des réglementations et des normes

Tableau 11 : Instruments en faveur du développement du RDF (DGE, RECORD, 2018)

Pays	Définition réglementaire	Valeurs limites	Normes spécifiques	Possibilité de SSD	Autorisation nécessaire pour produire du RDF normé	Limitation de la part des RDF utilisés en coïncinération
Allemagne			x			
Angleterre	En cours		Guidance			
Autriche	x	X (coïncinération)	x (coïncinération)	x		x
Belgique						
Finlande			*			
France	x	x				
Italie	x		*	x	x	
Norvège						
Pays-Bas			*	x		
Suède						

* Remplacé par la norme européenne

Normes

Quatre pays ont développé une norme propre au RDF dont deux (Allemagne et Autriche) l'utilisent actuellement alors que la Finlande, l'Italie, l'Autriche et les Pays-Bas les ont abandonnées et s'appuient maintenant sur la norme européenne. La norme autrichienne applicable aux RDF et qui introduit des teneurs maximales en métaux lourds s'applique à la coïncinération (cimenteries, centrales thermiques et autres installations), ce qui en Autriche signifie qu'elle ne s'applique pas en pratique aux installations dédiées aux RDF incinérant 100% de déchets.

Réglementation spécifique aux RDF

A l'exception de l'Italie, il n'existe aucun cadre réglementaire national spécifique aux RDF dans les pays pour lesquels des sites ont été visités.

L'Italie est un cas particulier car les installations n'ont pas de régime réglementaire particulier mais le RDF a une définition réglementaire (décret législatif n°2015/2010) : il doit répondre à la norme européenne. Les installations utilisant des RDF sont réglementées, en fonction de leur nature, selon le cadre en vigueur pour l'incinération (installations dédiées) ou la coïncinération (centrales à charbon, cimenteries utilisant des RDF). Elles font l'objet d'un permis environnemental appelé autorisation environnementale intégrée (AIE), qui peut intégrer des exigences locales supplémentaires aux exigences nationales.

Dans tous les cas, les autorités locales restent libres d'appliquer des exigences supplémentaires dans les permis environnementaux. Ce type d'exigences supplémentaires a notamment été rencontré pour

la granulométrie (Witzenhausen, Allemagne), les classes de RDF (Fusina, Italie), la qualité et l'origine des RDF (Anjalankoski, Finlande), et le contrôle qualité (Jepua, Finlande).

Des exigences supplémentaires non spécifiques aux RDF ont également été rencontrées, notamment concernant le contrôle des émissions (Linz, Autriche), ou la nécessité de caractériser les cultures alimentaires voisines à la recherche de polluants (Wijster, Pays-Bas).

Sortie de statut de déchet

Des critères de sortie de statut de déchet n'ont été développés pour les RDF qu'en Autriche et en Italie, et un cadre pourrait le permettre aux Pays-Bas. En pratique, aucun de ces 3 pays n'utilise la sortie de statut de déchet pour les RDF.

- En Autriche, la sortie de statut de déchet est possible pour des flux ayant déjà été enregistrés selon REACH lors de leur premier usage, ce qui limite son application à des chutes de production et ne concerne donc pas ce qu'on appelle communément RDF. La SSD n'est pas applicable aux RDF produits à Linz (installation visitée en Autriche).
- En Italie, la sortie de statut de déchet est introduite dans le décret n°22/2013 pour certains RDF utilisables en cimenterie ou en centrales thermiques (à certaines conditions). En pratique, nous n'avons pas d'informations indiquant que cette sortie de statut de déchet soit utilisée. Elle n'est pas utilisée à Fusina et n'est pas applicable à Bergame. Une région (Vénétie) envisage de l'exiger pour une centrale à charbon (Fusina) et à terme pour l'ensemble des RDF produits dans la région. Dans ce cas, la SSD est perçue comme un moyen pour les autorités locales d'encadrer la qualité du RDF et par là de formuler des exigences pour la protection de l'environnement et de la santé humaine. Elle n'est pas perçue par les opérateurs comme un avantage car il est peu probable que les autorités locales diminuent pour autant les valeurs limites d'émission exigées dans le permis.
- Les Pays-Bas disposent d'un cadre réglementaire pour les combustibles qui laisse la possibilité juridique d'une sortie de statut de déchet, mais une décision récente de justice a rejeté le statut de produit utilisé par une entreprise de production de RDF.

Le statut des installations : incinération vs coïncinération (définitions : cf partie III.1.1.1 p 42)

Tableau 12 : Statut des installations dédiées à la valorisation énergétique des RDF, dimensionnées pour un besoin en chaleur, en fonction des pays (RECORD, 2018)

Pays	Incinération	Coïncinération
Allemagne	X	
Angleterre	Pas d'installations concernées	
Autriche	X	
Belgique		X
Finlande		X
France		X
Italie	X	
Norvège	Pas d'installations concernées	
Pays-Bas	Pas d'installations concernées	
Suède		X

Parmi les pays pour lesquels des installations ont été visitées, on note les interprétations suivantes :

- En Autriche et aux Pays-Bas, les sites visités sont considérés comme des installations d'incinération des déchets. Au regard de l'objectif principal des installations visités, cette interprétation semble cohérente : l'objectif principal de ces installations est le traitement thermique des déchets.

- En Allemagne et en Italie (Bergame), bien que l'objectif principal soit la production d'énergie, les installations sont classées comme des installations d'incinération des déchets. En Autriche, les installations non visitées utilisant 100% de déchets et de RDF à des buts de production d'énergie sont classées comme des incinérateurs selon le ministère de l'environnement.
- En Italie (Fusina), en Finlande (Anjalankoski et Jepua) et en Suède, les installations sont considérées comme des installations de coïncinération des déchets. Cette interprétation correspond bien à l'objectif principal de l'installation : la production d'énergie.

Selon la directive IED, les installations d'incinération et de coïncinération sont soumises aux mêmes règles en ce qui concerne :

- l'obligation de recevoir une autorisation (article 4) ;
- l'obligation de contrôler les émissions dans l'air et dans l'eau.
- l'interdiction de recourir à la dilution des eaux usées en vue de respecter les VLE.
- l'obligation de prévoir un collecteur des eaux de pluie et des eaux utilisées en cas d'incendie ;
- l'interdiction de dépasser les VLE plus de 4h consécutives ou plus de 60h par an.

Les différences suivantes ont été constatées en ce qui concerne le régime réglementaire applicable à l'incinération et à la coïncinération, selon l'IED :

- L'ajout dans l'autorisation d'exploiter une liste des codes déchets pouvant entrer dans une installations d'incinération est obligatoire. Elle est optionnelle pour une installation de coïncinération (article 45).
- Les installations d'incinération sont tenus de s'assurer que la teneur en COT des cendres et mâchefers soit inférieure à 3% de leur poids sec ; ou leur perte au feu inférieure à 5% de ce poids sec (article 50). Cette exigence n'est pas reprise pour les installations de coïncinération.
- Les installations d'incinération des déchets sont exploitées de manière à ce que les fumées soient portés à une température minimale de 850°C pendant au moins 2s après la dernière injection d'air. Cette température est mesurée à proximité de la paroi interne de la chambre de combustion. L'autorité compétente peut définir un autre point de mesure représentatif. Pour les installations de coïncinération, la température de 850°C doit également être atteinte pendant au moins 2s, mais la zone de mesure (niveau d'injection d'air) n'est pas précisée : ce temps de résidence peut être atteint dans l'ensemble de la chambre de combustion, ce qui peut en pratique réduire les dimensions de l'installation et donc les coûts d'investissement.
- Les VLE d'émission qui concernent les métaux, les dioxines et les furannes sont plus basses pour la coïncinération (elles prennent les mêmes valeurs mais avec une teneur en oxygène de 6% contre 11% dans le régime d'incinération). Dans le cas où les installations de coïncinération brûlent 100% de déchets, les VLE sont identiques à celles qui prévalent pour l'incinération pour les autres polluants.

Notons, que si, dans une installation de coïncinération des déchets, plus de 40 % du dégagement de chaleur produit provient de déchets dangereux, ou si l'installation coïncinère des déchets municipaux mixtes non traités, les valeurs limites d'émission fixées dans l'annexe VI, partie 3 (c'est-à-dire les VLE applicables à l'incinération), s'appliquent. (article 46).

Enfin, les installations d'incinération ne font pas partie du mécanisme européen d'échanges de quotas de CO₂, alors que les installations de coïncinération en font partie. L'énergie utilisée par des utilisateurs soumis à quotas de CO₂ et qui a été produite par des installations d'incinération est exemptée de quotas.

Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique des installations n'est pas encadrée par la réglementation, dans aucun des pays étudiés.

Les quotas de NOx

Le régime de quotas de NOx est une spécificité réglementaire suédoise (voir détails dans la fiche Landskrona). Il incite financièrement les installations à réduire leurs émissions de NOx.

La taxation applicable aux résidus de combustion

Aux Pays-Bas et en Autriche (depuis 2012), aucune taxe à l'enfouissement ne doit être payée pour le stockage des résidus de combustion.

Il n'y a pas de taxe sur le stockage des déchets en Allemagne.

Pas d'information pour les autres pays.

La taxation incinération

Aux Pays-Bas, la taxe sur l'incinération (13€/t mise en place en 2015) s'applique uniquement aux déchets nationaux traités aux Pays-Bas. Les déchets importés et les déchets exportés ne sont pas soumis à la taxe. A titre d'exemple, à Wijster, la taxe à l'incinération est payée par l'incinérateur sur base de son bilan matière : la taxe n'est pas payée pour les matériaux récupérés avant incinération en vue du recyclage. Elle n'est pas payée ni pour les déchets importés ni pour les déchets exportés..

Influence de la taille des installations

Au niveau européen, les installations de coïncinération de moins de 20 MW ne sont pas soumises à quotas de CO₂ (Directive 2003/87/CE - ETS).

En Allemagne, selon la 17. BImSchV (ordonnance fédérale pour la protection des émissions), les installations d'incinération de moins de 50 MW bénéficient de VLE moins strictes que les installations de plus de 50 MW pour les NOx et les poussières (mais en conformité avec l'IED).

La taille des installations n'intervient pas dans d'autres dispositions réglementaires et administratives.

III.1.3.2. Synthèse des soutiens directs ou indirects au RDF

Les dispositifs de soutiens au RDF sont directs (le RDF est directement concerné) ou indirects (le RDF en tant que déchet ou combustible est concerné).

Tous les pays étudiés ont des systèmes de soutiens indirects pouvant s'appliquer aux RDF, notamment des soutiens aux réseaux de chaleur, à la mise en place de la cogénération, des certificats verts ou des compléments de rémunération pouvant s'appliquer aux RDF.

Aucun pays n'a développé un mécanisme de soutien spécifique aux RDF.

Certificats verts et compléments de rémunération

Aux Pays-Bas, le système de soutiens SDE+ à l'énergie renouvelable s'applique à la production d'électricité, de chaleur et de gaz renouvelable, et il couvre également les installations d'incinération des déchets. La mesure du carbone biogénique dans le déchet n'est pas nécessaire : la valeur moyenne nationale annuelle est utilisée (54%). Les Pays-Bas lancent un appel à projets pour un volume d'énergie renouvelable chaque année, fonctionnant sur le principe des enchères descendantes. La subvention est une prime de marché qui correspond à la différence entre le prix du marché et un coût de base qui est défini lorsque l'installation remporte la subvention. Un coût de base maximal est défini par technologie mais les installations peuvent proposer un coût moindre. Les installations demandant le moins de subsides à la quantité d'énergie renouvelable produite reçoivent les subsides en priorité. Le mécanisme favorise la concurrence entre les différentes technologies pour acquérir l'énergie renouvelable la moins chère. Le choix des technologies éligibles en fonction des appels à candidatures, ainsi que le mode de calcul des coûts de base permet de différencier les technologies en fonction de leurs coûts et laisse une place aux technologies émergentes.

En Italie, le mécanisme de certificats verts s'appliquait également aux incinérateurs. Il est terminé depuis 2016 mais les producteurs d'électricité sont tenus de racheter de l'électricité verte sur le marché s'ils n'en produisent pas suffisamment eux-mêmes et la fraction renouvelable de l'électricité produite à partir de déchets est toujours prise en compte dans ce calcul. La production de chaleur renouvelable n'est pas soutenue.

En Allemagne, aucun soutien aux énergies renouvelables n'est applicable aux installations d'incinération.

En Finlande, il n'existe pas de soutiens aux énergies renouvelables applicables aux installations incinérant des RDF.

En Autriche, seuls les déchets de papier et le bois de déconstruction non dangereux sont éligibles aux tarifs de rachat.

En Suède, seuls la biomasse et le bois déchets sont éligibles aux certificats verts pour l'électricité, y compris si ces fractions sont valorisées en mélange avec des déchets. En revanche, la fraction biomasse des déchets en mélange n'est pas éligible.

Soutiens à l'investissement

Des soutiens à l'investissement (notamment à la cogénération) ont pu être accordés à certaines installations d'Allemagne de l'Est, sans que cela soit spécifique aux RDF (relance économique). Une installation visitée a bénéficié de soutiens à l'investissement au titre de la cogénération (Witzenhausen, sud-Ouest de l'Allemagne)

Des soutiens à la R&D (35% du budget R&D) ont été accordés à Jepua (Finlande). L'existence de soutiens à la production de RDF est peu probable (ce mécanisme a été cité par un chaudiériste spécialisé mais était inconnu d'un grand producteur de RDF finlandais). L'existence de soutiens à l'investissement (à hauteur de 10%) n'a pu être confirmée.

En Autriche, en Suède, en Italie et aux Pays-Bas aucun soutien particulier à l'investissement n'a été identifié.

III.2. Le marché de la production et de l'utilisation des RDF

III.2.1. Le mode de traitement des déchets détournés du stockage : la place du RDF

Ces politiques publiques dans le domaine des déchets ont alors entraîné la construction d'installations de prétraitement et traitement des déchets détournés du stockage.

Dans cette partie nous nous intéressons à la fraction résiduelle et aux refus de tri qui n'ont pas été détournés lors de la collecte sélective.

L'Allemagne, l'Autriche, l'Angleterre et l'Italie se sont appuyés sur le développement des TMB comme solution alternative à des manques de capacité d'incinération ; leurs TMB ont deux objectifs principaux : soit la production d'un déchet stabilisé destiné au stockage, soit la production d'un RDF (Par comparaison, en France, les TMB sont plutôt orientés vers une valorisation organique). L'Allemagne et l'Autriche ont ensuite construit des installations dédiées (ou adapté des installations existantes) pour utiliser ces RDF. L'Angleterre, en manque de capacité d'incinération, a choisi d'exporter depuis 2010 des RDF vers d'autres pays européens. L'Italie exporte également les RDF produits, ou les stocke, faute d'exutoires suffisants pour la valorisation énergétique.

Pour la Belgique, la Finlande, la Norvège, les Pays-Bas et la Suède, le choix a été d'orienter les flux détournés du stockage directement vers l'incinération, ne laissant alors au RDF qu'une place marginale.

Tableau 13 : Place du RDF dans la politique Déchet et typologie (DGE, RECORD, 2018)

Pays	Place du RDF dans la politique Déchet
Allemagne	Suite à l'interdiction du stockage, la filière RDF s'est développée en soutien du développement des TMB , dans un contexte de sous-capacités d'incinération.
Angleterre	La production du RDF est une conséquence de la forte hausse de la taxe sur le stockage et du manque de capacité de valorisation énergétique. Une grande quantité est exportée.
Autriche	Suite à l'interdiction du stockage des déchets organiques, la filière RDF s'est développée en soutien du développement des TMB , dans un contexte de sous-capacités d'incinération.
Belgique	Le RDF est une solution d'appoint pour les refus de tri et n'est pas au cœur de la stratégie de gestion des déchets.
Finlande	Le RDF est une solution d'appoint pour les refus de tri et n'est pas au cœur de la stratégie de gestion des déchets.
France	Le RDF est une solution d'appoint et n'est pas au cœur de la stratégie de gestion des déchets. Cette place est amenée à changer. Compte tenu des objectifs de la LTECV sur le détournement de déchets du stockage à horizon 2025, 2,5 millions de tonnes devraient être traitées en tant que RDF.
Italie	La filière RDF s'est développée en soutien au développement des TMB, comme alternative au stockage et à la construction de nouveaux incinérateurs : il permet de diminuer la quantité de déchets à gérer.
Norvège	Le RDF est une solution d'appoint pour les refus de tri , qui n'est pas au cœur de la stratégie de gestion des déchets.
Pays-Bas	Il n'y a pas de place spécifique du RDF dans la politique déchet du pays. La préparation permet d' augmenter le recyclage . Le RDF importé est un déchet qui permet de maintenir des capacités d'incinération ouvertes .
Suède	La production de RDF est une solution d'appoint pour les refus de tri et les DAE . La combustion des déchets dont le RDF fait partie (notamment par les imports) est stratégique pour l' alimentation des réseaux de chaleur urbains .

Légende :

	1 Production de RDF suite à la mise en place d'un instrument de restriction du stockage, dans un contexte de sous-capacités d'incinération, puis valorisation dans des installations dédiées
	1bis Production massive de RDF suite à la mise en place d'un instrument de restriction du stockage, et exports. (situation temporaire)
	2 Restriction du stockage avec des capacités d'incinération suffisantes. La production de RDF est une solution d'appoint.
	2 bis Restriction du stockage avec des capacités d'incinération suffisantes. La production de RDF est une solution d'appoint. Utilisation élevée de RDF importés car surcapacités et installations compétitives.
	3 Construction de la filière comme alternative au stockage et à l'incinération

L'évolution des réglementations, le manque de coordination territoriale (Allemagne) et la crise économique ont alors entraîné des surcapacités d'incinération plus ou moins importantes dans certains pays, ce qui a créé un marché des importations et exportations. La compétitivité des pays importateurs, qui proposent des prix de traitement moins élevés, s'explique par le régime de taxe sur l'incinération (explique le retrait de la taxe en Norvège après qu'elle ait été retirée en Suède), le fait que les installations sont amorties et/ou que le modèle économique de l'installation réceptrice ne dépend pas uniquement du traitement des déchets mais également de la vente et/ou les soutiens à la production d'énergie. Les exportations et importations proviennent également d'échange entre acteurs proches des frontières des pays (optimisation des prix).

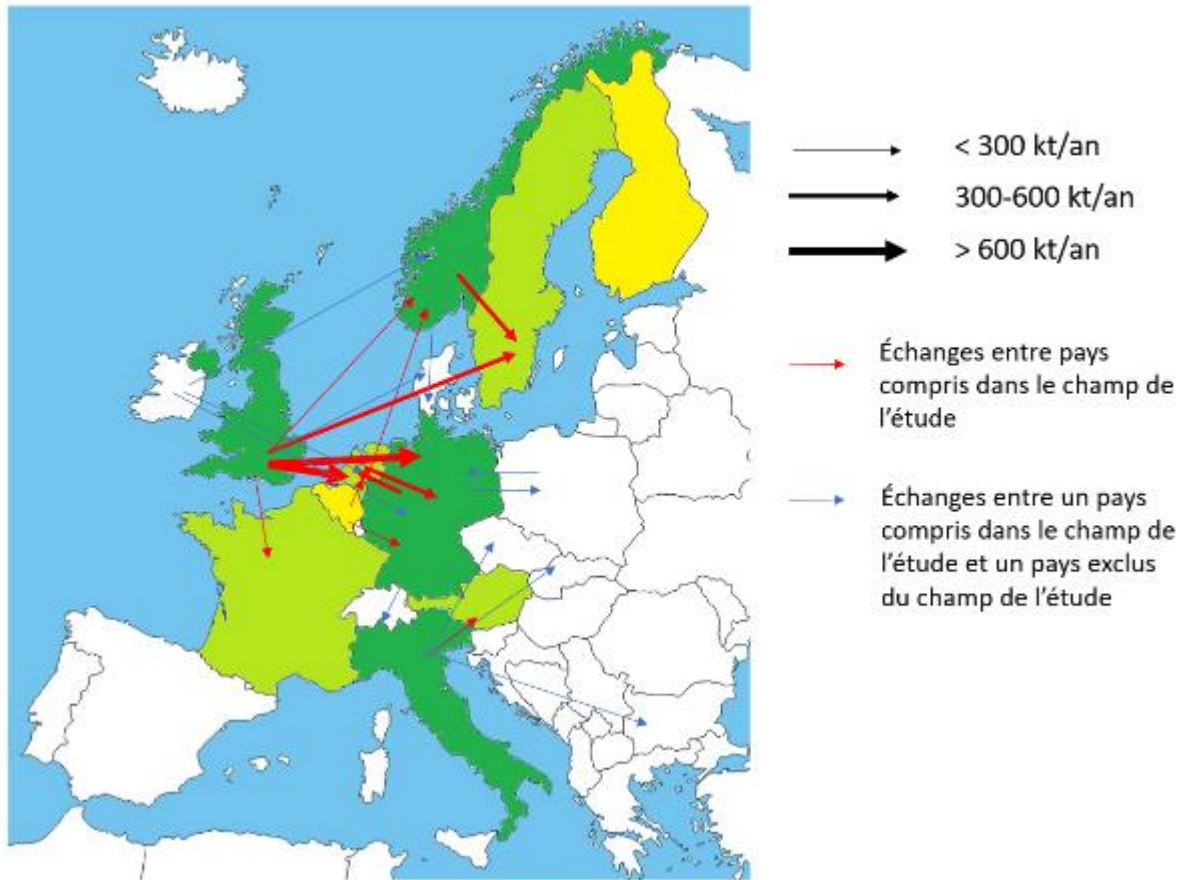
Les sur/sous capacités d'incinération des pays étudiés sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 14 : Capacités d'incinération des déchets au regard des politiques mises en place (DGE, RECORD, 2018)

Pays	Surcapacités	Equilibré	Sous-capacités
Allemagne	2006 : Sous-capacités 2017 : Surcapacités comblées par les imports		
Angleterre			Sous-capacités structurelles → TMB, stockage et exports RDF
Autriche	Quelques surcapacités		
Belgique	Quelques surcapacités Réticences aux imports		
Finlande		Equilibré compte tenu de la place du stockage	
France		Equilibré compte tenu de la place du stockage et de la planification	
Italie			Sous-capacité structurelle, surtout au Sud → TMB, stockage et exports RDF
Norvège			Sous-capacité mais en passe d'être équilibrée
Pays-Bas	Surcapacités puis stabilisation via les imports et la fermeture d'un UIOM		
Suède	Surcapacités comblées par les imports		

Les flux d'imports-exports significatifs de RDF sont représentés dans la figure suivante. Les principaux pays exportateurs sont l'Angleterre, les Pays-Bas, l'Italie, la Norvège et l'Allemagne. Les principaux importateurs sont les Pays-Bas, l'Allemagne et la Suède compte tenu des surcapacités disponibles.

Figure 18: Flux imports-exports significatifs de RDF (DGE, RECORD, 2018) (données de chaque pays, année de référence 2013-2014, 2015 ou 2016)



III.2.2. Les producteurs de RDF

La production de RDF repose sur les TMB ou sur les TM selon les pays. Comme précisé auparavant, l'Allemagne, l'Angleterre, l'Autriche, la Belgique (à un niveau marginal) et l'Italie s'appuient sur les TMB en complément des traitements mécaniques pour produire du RDF. En fonction des installations, le RDF est normé ou pas. Les données sur les RDF normés sont peu disponibles. L'Italie produit 1,76 de Mt de RDF normé et l'Allemagne entre 2 et 3 Mt. Dans tous les pays il semble y avoir des productions de RDF normé ou proche d'une norme en raison de l'utilisation de RDF en coïncinération, par les cimentiers et en fonction des pays également pour les fours à chaux, les centrales thermiques ou d'autres installations industrielles.

Tableau 15 : Production de RDF par pays (DGE, RECORD, 2018) (données de chaque pays, 2008-2015)

Pays	TMB – DMA (a)	TM – DMA (b)	TMB / TM – DMA (a) + (b)	DAE (c)	Total (a) + (b) + (c)	Dont RDF Normé
Allemagne	2 Mt- 2012	2,1Mt- 2012	4,1 Mt - 2012	4,6 Mt - 2008	8,7 Mt - 2012/2008	2 à 3 Mt
Angleterre	X*	X	2,72 Mt - 2016	0,48 Mt - 2016	3,2 Mt - 2016	0,100 Mt
Autriche	0,2 Mt - 2015	0,3 Mt - 2015	0,5 Mt - 2015	Non disponible	> 0,5 Mt - 2015	X (Non disponible)
Belgique	X	X	0,21 Mt - 2012	0,22 Mt - 2012	0,43 Mt - 2012	X (Non disponible)
Finlande	Pas de TMB	X	0,35 Mt - 2014	0,15 Mt - 2014	0,5 Mt - 2014	> 0,25 Mt
France	Marginal	X	> 0.2 Mt - 2015		> 0,2 Mt - 2015	X (Non disponible)
Italie	X	X	1,49 Mt - 2015	0,274 Mt - 2015	1,76 Mt - 2015	1,76 Mt
Norvège	Pas de TMB	X	Non disponible		Non disponible	X (Non disponible)
Pays-Bas	Pas de TMB	X	1,5 Mt - 2015		1,5 Mt - 2015	X (Non disponible)
Suède	Pas de TMB	X	0,3 à 0,4 Mt - 2012		0,4 Mt - 2012	X (Non disponible)

X : production de RDF (données quantitatives non fiabilisées)

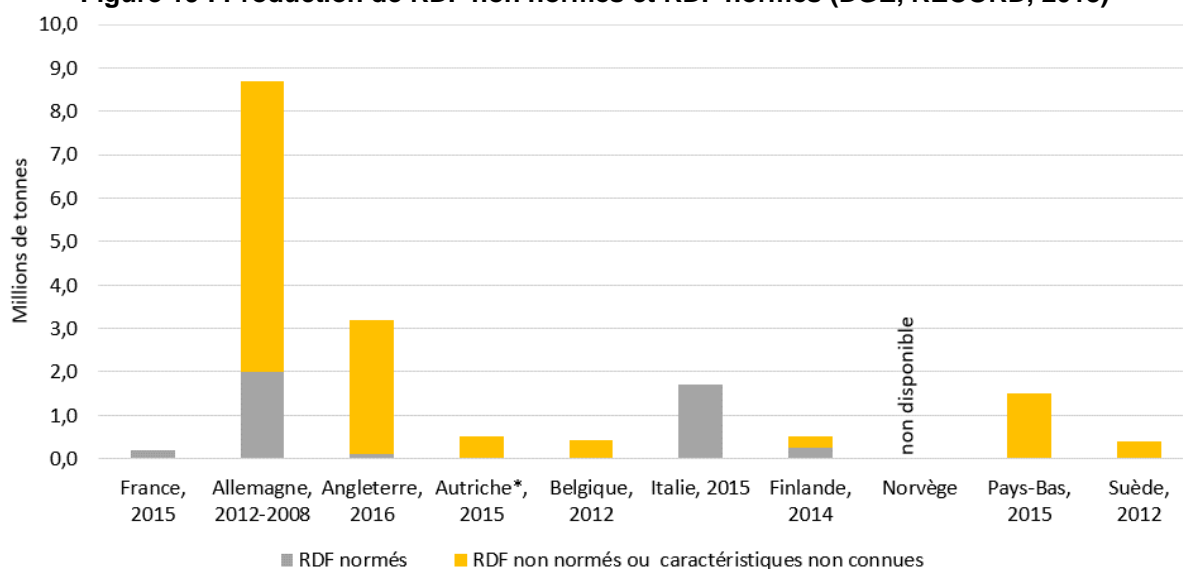
La figure suivante présente les quantités de RDF produites par pays. De manière générale, les quantités de RDF préparées à partir de DAE sont connues avec moins de précision que les quantités préparées à partir d'OM. La vision présentée dans le tableau ci-dessus est dans partielle, dans la limite des données disponibles.

L'Allemagne et l'Angleterre sont les premiers producteurs de RDF. L'Autriche produit environ autant de RDF à partir d'OMR par habitant que l'Allemagne (aucune donnée n'ayant été fiabilisée pour les RDF provenant de DAE).

L'Angleterre produit plus de 3,1 Mt de RDF avec un faible niveau de préparation, principalement destinées à l'export. L'Italie produit environ 1,8 Mt de Rdf normés, principalement à partir d'OM. Les

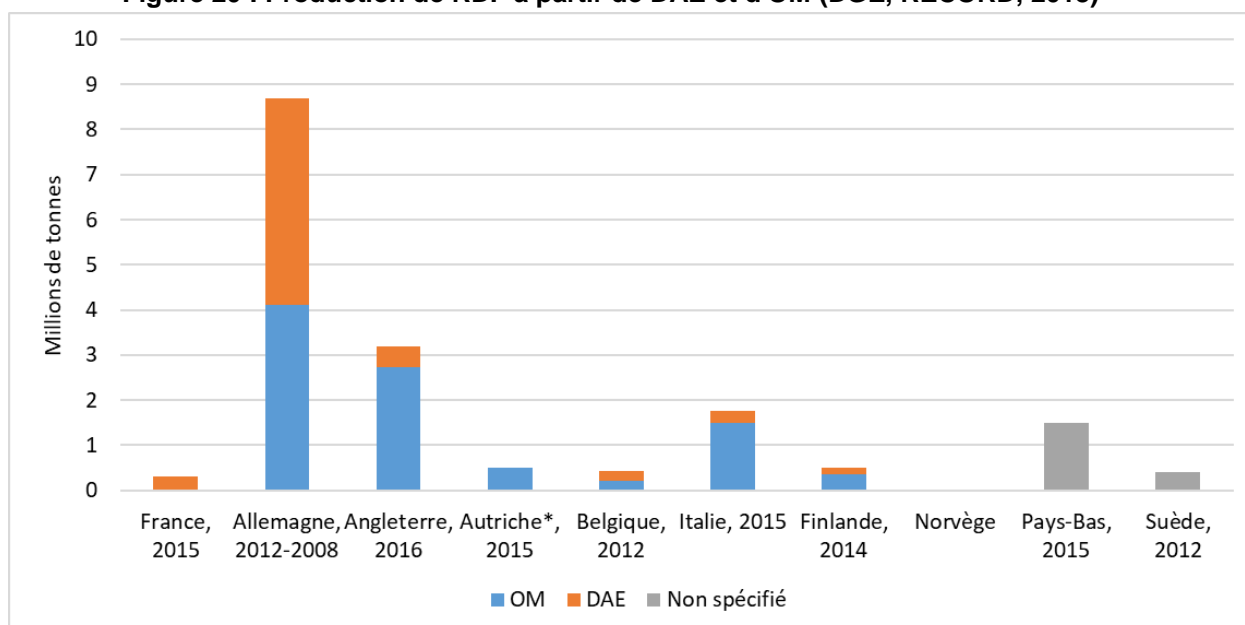
Pays-Bas préparent 1,5 Mt de déchets à partir de déchets résiduels pour en extraire la fraction recyclable avant incinération en UIOM.

Figure 19 : Production de RDF non normés et RDF normés (DGE, RECORD, 2018)



* hors DAE

Figure 20 : Production de RDF à partir de DAE et d'OM (DGE, RECORD, 2018)



III.2.3. Typologie des installations utilisatrices de RDF et mode de valorisation

Les installations utilisatrices se répartissent en deux grandes familles : l'incinération (dont l'objectif principal est la gestion des déchets) et la coïncinération (dont l'objectif principal est la production d'énergie ou de matière).

- Pour l'incinération, les installations peuvent être dédiées à l'incinération des RDF ou non dédiés (ex : incinération de RDF et de déchets en mélange non préparés). Dans l'ensemble des pays à l'exception de l'Angleterre, les UIOM incinèrent du RDF principalement pour combler des capacités non utilisées par des déchets non préparés. L'Allemagne, l'Autriche et la Finlande ont des installations dédiées pour le RDF afin d'alimenter en chaleur des réseaux urbain ou des industriels. A noter qu'en Autriche et en Allemagne, ces installations fonctionnent essentiellement en cogénération, avec quelques installations fonctionnant pour la production d'électricité ou de chaleur seule en Allemagne.
- Pour la coïncinération, les installations utilisatrices sont les cimenteries et fours à chaux (tous les pays à l'exception des Pays-Bas qui utiliseraient uniquement des combustibles spécifiques), les industries hors cimenteries et fours à chaux (Allemagne, Autriche, Belgique et Italie), ou des centrales thermiques à charbon ou à lignite (Allemagne, Autriche et Italie).

A noter qu'il n'est pas possible de distinguer le type de RDF utilisé (normé ou non normé) en fonction des installations utilisatrices.

Tableau 16: Utilisation des RDF (compilation DGE, RECORD, 2018) (données de chaque pays, 2013-2016)

Pays	Incinération	Incinération ou coïncinération (selon les pays)		Coïncinération			Total
		Installations dédiées		Industrie (hors cimenterie et fours à chaux)	Cimenteries et fours à chaux	Centrales thermiques non dédiées (charbon, lignite)	
	Chaleur industrie	Chauffage urbain					
Allemagne	1,3 Mt	4,7 Mt		(X)	2,2 Mt	0,75 Mt	9 Mt - 2015
		majoritaire					
Angleterre					0,1 Mt		0,1 Mt - 2015
Autriche	0,27 Mt	0,71 Mt		X (bois, chimie, papier)	0,33 Mt	X	1,3 Mt - 2015
		2 sites sur 4	2 sites sur 4				
Belgique	X			0,3 Mt	0,4 Mt		0,7 Mt – 2012/13
Finlande	0,30	0,10 (installations visitées)	0,25 Mt (gazéification)		X		0,65 Mt - 2015
France				(X)	0,24		~0,3 Mt - 2015
Italie	1,082 Mt			0,02	0,15-0,18 Mt	0,08 Mt	1,33 Mt - 2013
Norvège	X				X		> 0,1 Mt - 2016
Pays-Bas	3,1 Mt				(X)		3,1 Mt – 2013/15
Suède	X		1,7Mt ⁹		0,1 Mt		1,8 Mt - 2015

⁹ En réalité ces incinérateurs dits « dédiés » incinèrent également des déchets non préparés, voir fiche « Suède ».

Les quantités totales de RDF utilisées montrent que l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suède et l'Italie sont les premiers utilisateurs de RDF. Aux Pays-Bas, les RDF utilisés sont de faible qualité (extraction de la fraction recyclage des déchets en mélange et imports depuis le Royaume-Uni). En Italie, les **RDF** (non normés) issus d'OM représentent 4,0Mt en 2014 et 4,7 Mt en 2015. Ils étaient stockés à près de 90% en 2013, 58% en 2014 (2,3 Mt) et 64% en 2015 (3 Mt). [17]. Cela pose la question de la qualité du RDF non normé produit puisque le stockage des déchets dont le PCI > à 13 Mj/kg est interdit. En Suède, une part significative des RDF utilisés est importée (0,7 Mt).

Figure 21: Quantités de RDF utilisées (DGE, RECORD, 2018)

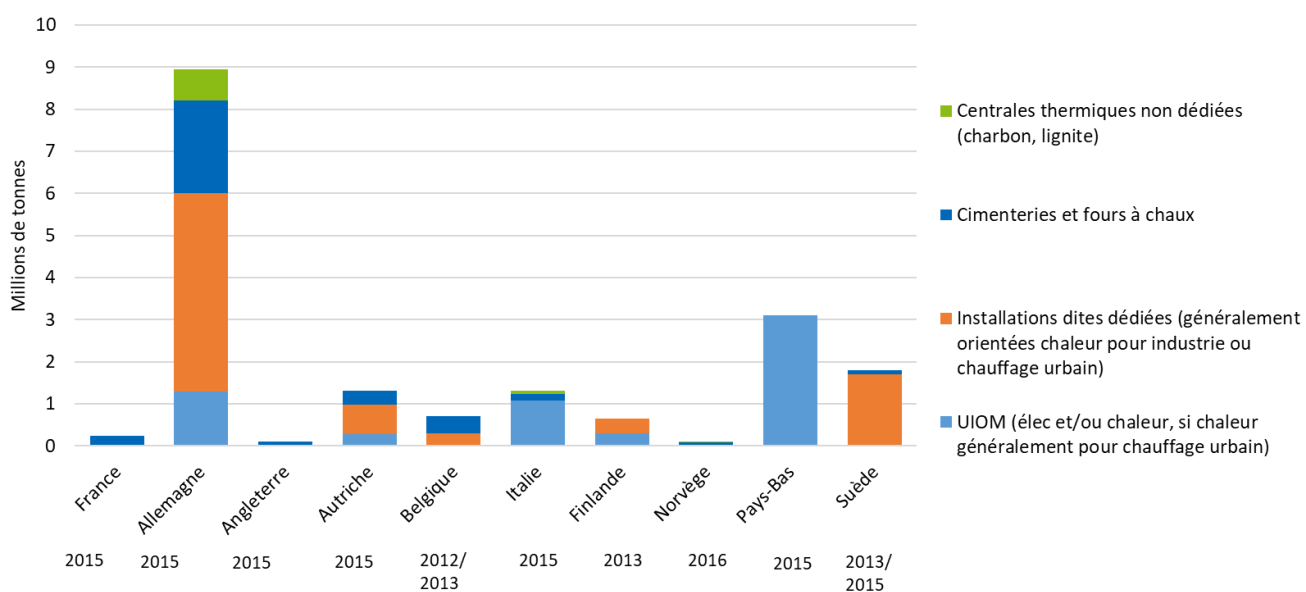
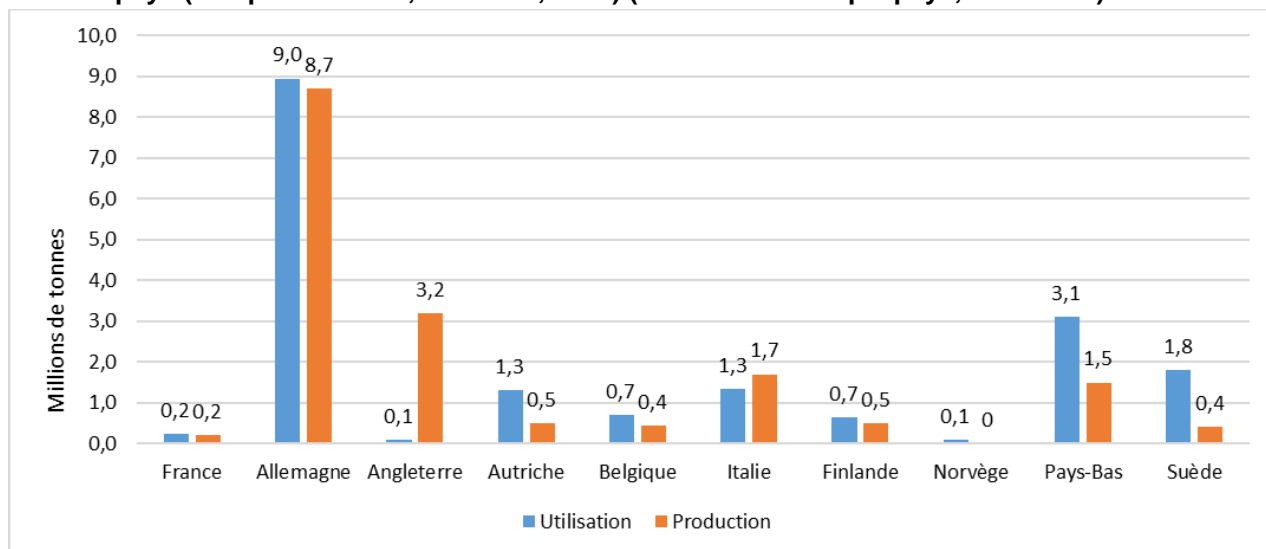


Figure 22 : Comparaison des quantités de RDF produites et des quantités de RDF utilisées par pays (compilation DGE, RECORD, 2018) (données de chaque pays, 2008-2016)



III.2.4. Typologie des installations utilisatrices de RDF identifiées

La liste des installations de valorisation de RDF identifiées dans le cadre de cette étude peut permettre de tirer quelques conclusions sur :

- Les principaux pays qui utilisent des RDF en installations dédiées
- L'historique de construction des installations
- Les technologies les plus répandues
- La taille des installations

La liste des installations identifiées n'est pas exhaustive. Les installations fermées ont été exclues de cette analyse. Les installations françaises n'ont pas été étudiées. Les cimenteries ont été exclues de cette analyse (hors champ de l'étude). Les données n'ont pas pu être consolidées pour tous les sites par un échange avec les opérateurs. Elles permettent cependant de dégager des tendances.

La grande majorité des installations identifiées est située en Allemagne (2/3), le tiers restant se répartissant entre les pays étudiés. Aucune installation dédiée aux RDF n'a été identifiée en Norvège.

Tableau 17: Localisation des installations identifiées (RECORD, 2018)

Pays	Nombre d'installations
Autriche	4
Belgique	2
Allemagne	40
Finlande	3
Italie	3
Pays-Bas	3
Suède	3
Royaume-Uni	2
Total	60

La plupart des installations identifiées ont été mises en service entre 2000 et 2012, avec un pic en 2009. Les installations mises en service avant l'an 2000 n'utilisaient pas initialement des RDF et ont été adaptées pour cette utilisation. La date d'adaptation n'est pas connue. La date de mise en service n'est pas une donnée disponible pour toutes les installations. Seule l'information disponible est représentée.

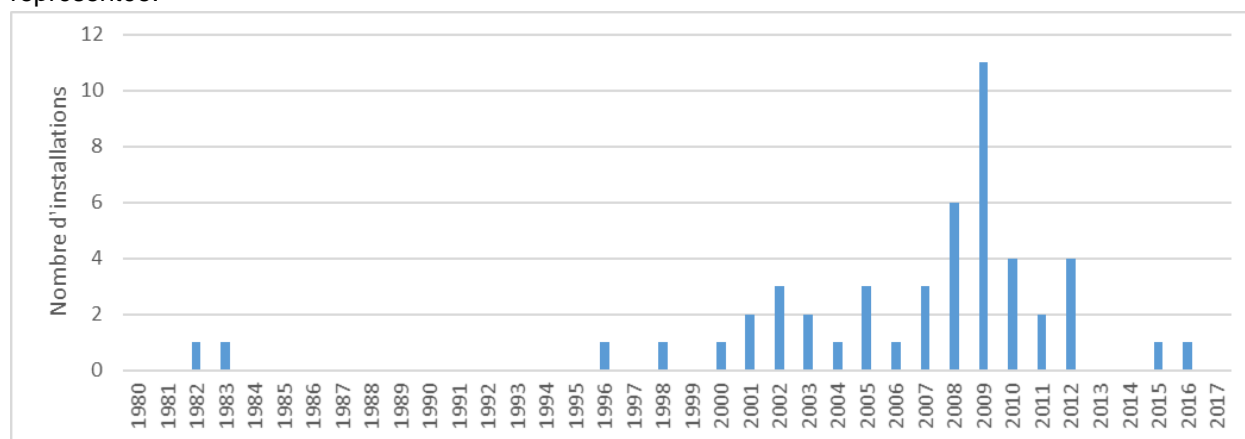


Figure 23: Date de mise en service des installations identifiées (RECORD, 2018)

Sur les 61 installations identifiées, seules 2 installations fonctionnent par gazéification (Lahti en Finlande et Weert aux Pays-Bas). En termes de technologie, fours à grille et lits fluidisés sont tous les deux très représentés parmi les installations identifiées. La plupart des fours à grille identifiés sont situés en Allemagne (22 installations/26) alors que, par exemple toutes les installations identifiées en Autriche et en Finlande sont des lits fluidisés.

Tableau 18 : Nombre d'installations identifiées par type de chaudière (RECORD, 2018)

Technologie	Nombre d'installations
Lit fluidisé	26
Grille	23
Information non identifiée	12

La puissance des installations est une information identifiée pour seulement la moitié des sites (31/60). La grande majorité des sites identifiés a une puissance inférieure à 150 MW, avec une répartition relativement homogène dans la gamme 8-150 MW. 5 installations de plus de 200 MW ont été identifiées.

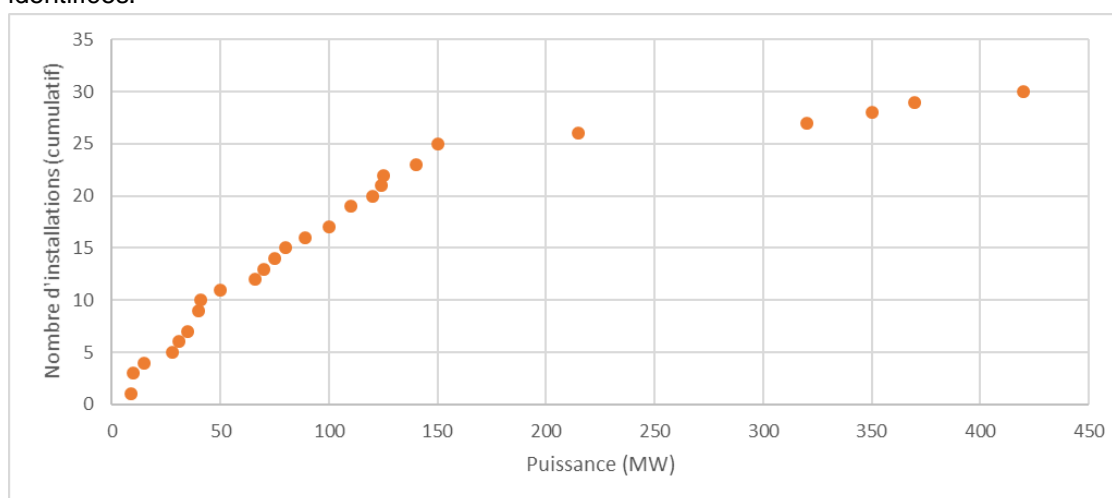


Figure 24: Répartition des installations identifiées selon leur puissance (RECORD, 2018)

2/3 des installations identifiées utilisent 100% de RDF en masse.

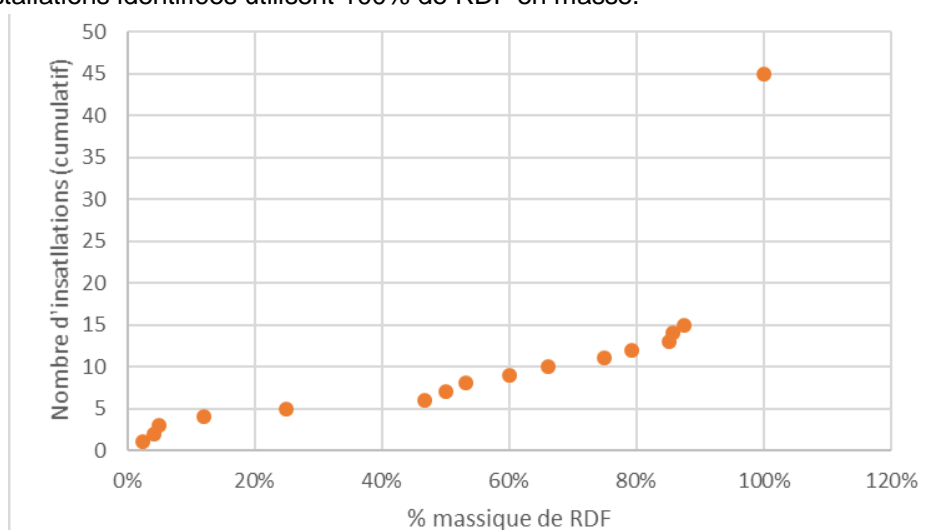


Figure 25: Répartition des installations identifiées selon la proportion de RDF utilisée (en masse) (RECORD, 2018)

III.3. Conclusions

Suite à cette analyse et sur base du Tableau 19, plusieurs pays ont été identifiés comme particulièrement pertinents à analyser dans le cadre de visites de sites :

- L'Allemagne et l'Autriche pour la place importante qu'occupe le RDF dans la gestion des déchets et pour la diversité des utilisateurs
- L'Allemagne et l'Italie pour la taille des marchés
- L'Italie, pour le cadre réglementaire national spécifique aux RDF (notamment la sortie de statut de déchet)
- Les Pays-Bas, d'une part pour son rôle de « plateforme d'échange des déchets » et d'autre part afin de comprendre la qualité des flux appelés RDF et entrant en UIOM, notamment ceux provenant du Royaume-Uni.
- La Suède pour la place qu'occupe l'utilisation de RDF dans la stratégie énergétique du territoire.
- La Finlande, pour la technologie de gazéification utilisée.

Le Royaume-Uni, la Belgique et la Norvège n'ont pas été retenus pour des visites de site.

Tableau 19 : Positionnement des pays étudiés par rapport aux critères de sélection retenus (RECORD, 2018)

Instruments		All.	Angl.	Aut.	Bel.	Finl.	Italie.	Nor.	PB	Suède
Caractéristiques globales	Quantités produites de RDF	++++	++	+	+	+	++++	+	+	+
	Quantités produites de CSR	++	+	+	+	+	++	+	+	+
	Qualité produite de CSR	++	+	++	++	++	+	+	+	+
	Quantités (RDF/CSR) valorisées sur le territoire	++++	+	++	+	++	++	++	++	++
	Diversification des utilisateurs	+++	0	+++	0	++	++	0	0	0
Politiques publiques	Normes / réglementations / guidances	+	(+)	++	-	-	+	-	-	-
	Subventions	+	-	?	-	?	?	?	-	?
Flux	Importations	+++	-	++	+	/	-	+	+++	++
	Exportations	+	+++	+	+	/	++	+	+	-

Légende : ++++ : intérêt élevé ; +++ intérêt important ; ++ intérêt moyen ; intérêt faible ; 0 : pas d'intérêt ; - : sans objet

IV. Analyse transversale des 13 installations visitées

IV.1. Résumé des caractéristiques principales des installations

Figure 26: Position géographique des installations visitées (RECORD, 2018)



Les critères de choix des sites qui ont été utilisés sont rappelés dans la partie I.3 Méthodologie.

Tableau 20 : Principales caractéristiques des 13 installations visitées (classées par date de mise en service) (RECORD, 2018)

Ville	Pays	Date de mise en service	Opérateur	Nature du capital	Technologie	Puissance thermique nominale (MW)	Quantités de RDF utilisées (kt/ an)	% massique RDF	PCI RDF (MJ/kg)	Préparation intégrée (site ou groupe)	Type de déchets utilisés pour la préparation	Production d'électricité	Client chaleur	P vapeur fournie (bar)	T vapeur fournie (°C)
Wijster	NL	1996	Attero	Privé	Grille	210	640	91%	8,4-8,8	Oui	OMR / DAE	Oui Réseau	Noblesse (agroaliment)	6,5	165
Minden	DE	2002	KAVG GmbH	Public	Grille	15	36	100%	10-14	Oui	OMR	Oui Interne	Siegfried (Pharma)	13	240
Bremen Blumenthal	DE	2005	BREWA	Public	Grille	35	65-68	100%	10-12	Oui	OMR >80% DAE	Oui Réseau	Textiles techniques Evaporation déchets liquides Chauffage urbain	4	140
Fusina	IT	2006	ENEL	Public	Pulvérisation	640	-60	4-6%	19	Non	OMR	Oui Réseau	Non	-	-
Korbach	DE	2008	MVV	Public	Grille	37	76	100%	14,5	Partiel	OMR	Oui Interne	Continental (pneus)	22	220
Anjalankoski	FI	2008	Stora Enso	Privé	LFB	170	-80-100	~20% (50% énergie)	14,5-18	Non	DAE / boues papeterie / écorce	Oui Réseau	Stora Enso Papeterie	10,5 4,7 2,2	200 167 145
Giessen	DE	2009	TREA	Public	Grille	9	16	100%	11,5-14,5	Non	DAE	Non	Chauffage urbain	Eau chaude	Eau chaude
Witzenhausen	DE	2009	DS Smith	Privé	LFC	130	320	100%	11	Oui	OMR	Oui Papeterie et réseau	DS Smith (papier)	8	200
Bergame	IT	2009	AZA	Public	LFB	48	60	100%	16,9	Partiel (17%)	OMR Refus de tri CS	Oui Réseau	Chauffage urbain	Eau chaude	Eau chaude
Bernburg	DE	2010	Tönsmeier	Privé	Grille	215	320	>71%	13	Partiel	OMR / DAE	Oui Interne	Solvay (chimie)	40	400
Linz	AT	2012	Linz AG	Public	LFB	72	180	78%	10,4	Oui	OMR > 80% DAE, encombrants	Oui Réseau	Linz AG - Chauffage urbain	Eau chaude	Eau chaude
Landskrona	SW	2012	Landskrona Energie	Public	Grille	35	60	100%	12-16	Non	DAE	Oui Réseau	Chauffage urbain	Eau chaude	Eau chaude
Jepua	FI	2013	Adven	Privé	LFB	9,8	8,3	57%	12,9	Non	DAE (90%) / Déchets internes papier de verre (10%)	Non	Mirka- Papier de verre	29	233

IV.2. Historique et motivations

Les motivations principales

- La plupart des sites visités ont été construits avec pour objectif principal de substituer **des énergies fossiles** en vue de la production de chaleur sous forme de vapeur ou d'eau chaude. Les sites de Minden, Korbach, Bernburg, Witzenhausen (Allemagne), Anjalankoski et Jepua (Finlande) ont été motivés par la volonté de sites industriels consommateurs d'énergie de se passer des énergies fossiles.

Les sites de Giessen (Allemagne) et Bergame (Italie) ont été construits pour produire de l'eau chaude à des réseaux de chaleur urbain, en remplacement de gaz naturel.

Dans le détail, différentes raisons ont été citées :

- La hausse des prix des énergies fossiles a été citée comme une motivation majeure des utilisateurs pour les sites de Bernburg (Solvay, chimie), Anjalankoski (Stora Enso, papeterie), Witzenhausen (DS Smith, papeterie) et Brême Blumenthal (BWK historiquement, textile). Ces 4 sites ont été mis en service entre 2005 et 2009. Nous estimons que les décisions d'investissement ont été prises entre 2003 et 2007, une période de forte hausse des prix de l'énergie. Les industries concernées sont des industries sensibles à la hausse des prix de l'énergie (industries lourdes en forte compétition internationale).
- L'amélioration de l'impact environnemental, par la réduction des émissions de CO₂ et l'utilisation d'énergies renouvelables, ont été cités comme des motivations principales pour les sites de Bernburg (Solvay, Chimie), Jepua (Mirka, abrasifs), Landskrona (chauffage urbain) et Giessen (chauffage urbain). La construction du site de Landskrona a permis d'éviter le recours aux énergies fossiles. Elle a répondu à une combinaison de trois objectifs : la réponse à une demande croissante en énergie (croissance démographique) ; poursuivre la transition vers un mix chaleur renouvelable ; et le souhait de diminuer le temps de fonctionnement des chaudières biomasse vieillissantes pour prolonger leur durée de vie.
- Les constructions des sites de Linz (Autriche) et de Wijster (Pays-Bas) ont été motivées par une logique d'**amélioration de la gestion des déchets**.
Le site de Wijster produisait déjà des RDF et souhaitait pouvoir les utiliser sur place.
Le site de Linz apportait un nouvel exutoire pour les boues de station d'épuration générées par son propriétaire Linz AG, en prévision de l'interdiction du stockage des boues de STEP prévue pour 2013.
La production efficace d'énergie a été ensuite considérée dans la construction de ces projets.
- Pour les sites de Brême Blumenthal (Allemagne) et de Bergame (Italie), la motivation était **mixte entre la production d'énergie et la gestion des déchets**.
A Brême, le projet a été initié par un gestionnaire de déchets, qui devait trouver un exutoire pour ses déchets en prévision de la fin des dérogations à l'interdiction de stockage des déchets non préparés (TASI). L'industriel utilisateur d'énergie a lui été motivé par la perspective de trouver une alternative aux énergies fossiles et d'endiguer la hausse des coûts de l'énergie.
A Bergame, le propriétaire et opérateur étant à la fois actif dans la distribution d'énergie et dans la production de RDF, la construction du site présentait le double avantage d'alimenter de nouveaux foyers en énergie et de gérer les RDF normés qui étaient déjà produits sur site.
- Le choix de coïnciner du RDF normé avec le charbon à Fusina (Italie) est le fruit d'une décision de l'Etat avec les autorités publiques locales, dont les motivations exactes n'ont pas été identifiées. L'Etat est l'actionnaire de référence de la centrale à charbon concernée et les autorités locales détiennent l'installation de préparation de RDF.

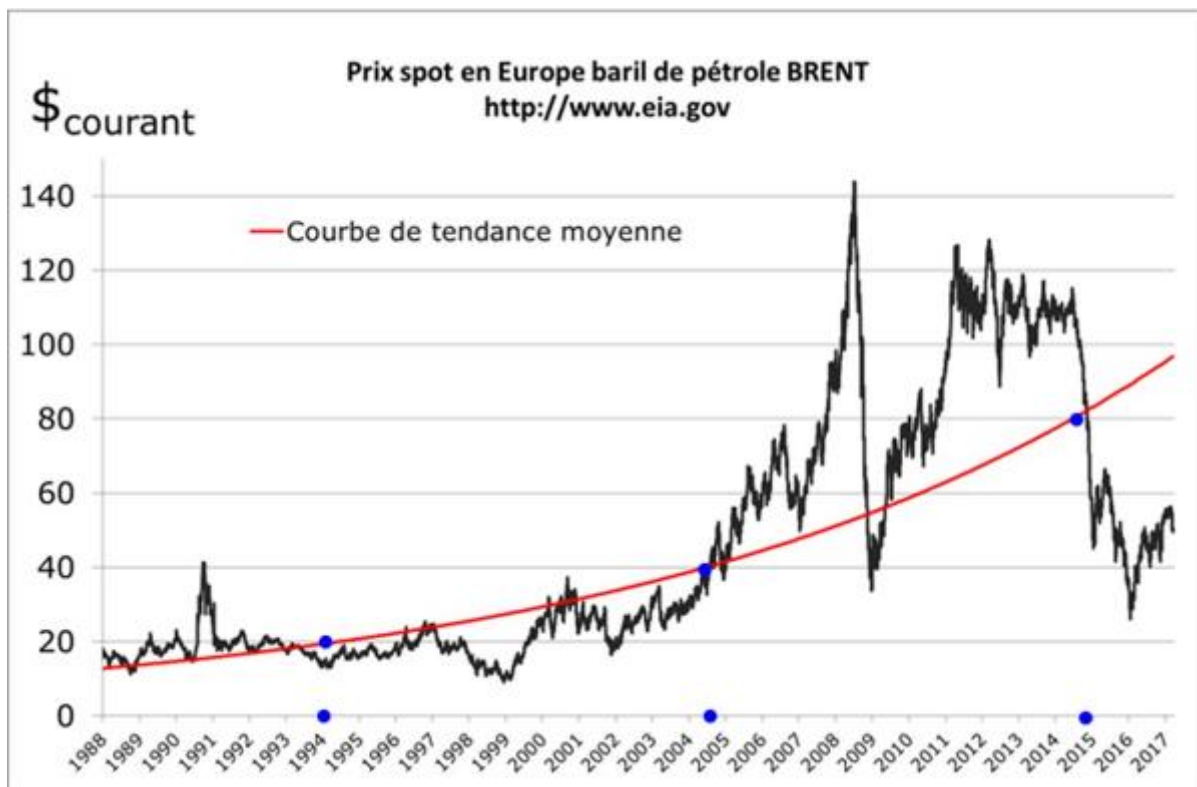


Figure 27 : Evolution des prix du pétrole en Europe (Observatoire des prix de l'énergie – APERe, données extraites en mars 2017)

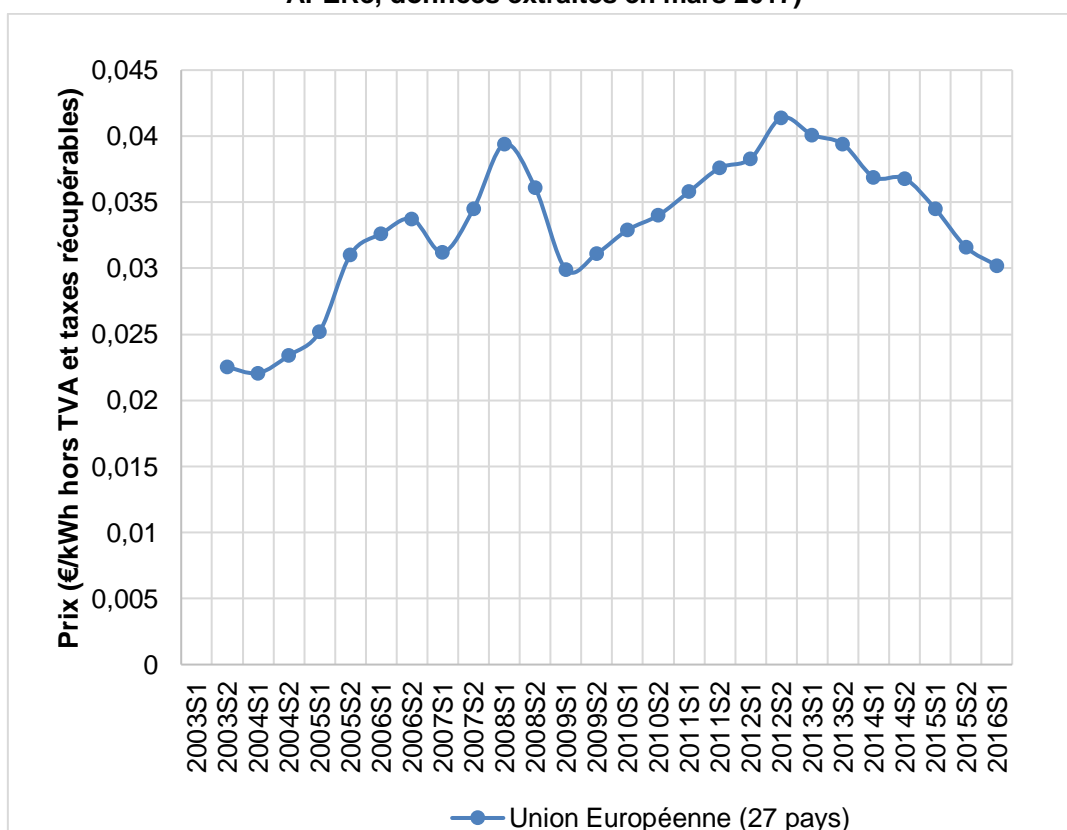


Figure 28: Evolution du prix du gaz naturel pour les consommateurs industriels (compilation DGE, RECORD, 2018) (Eurostat, 2003-2016)

Les combustibles remplacés

Les sites utilisateurs de RDF viennent en remplacement de différents combustibles.

Tableau 21: Nature des combustibles remplacés en fonction des installations (RECORD, 2018)

Combustibles remplacés	Allemagne	Autriche	Italie	Finlande	Suède	Pays-Bas
Charbon	Brême (textile)		Fusina (centrale électrique)	Anjalankoski (papeterie)		
Fioul lourd				Jepua (abrasifs)		
Gaz naturel	Giessen (chauffage urbain) Bernburg (chimie) Korbach (pneumatiques)	Linz (chauffage urbain)	Bergame (chauffage urbain)			
Biomasse		Linz (chauffage urbain)			Landskrona (chauffage urbain)	
Pas de substitution claire						Wijster (agroalim)
Information non disponible	Minden (chimie) Witzenhausen (papeterie)					

Le contexte de la création

Dix sites sur treize visités ont été construits entièrement et spécifiquement pour utiliser des RDF. Trois sites ont été convertis ou adaptés pour utiliser du RDF :

- La centrale électrique à charbon pulvérisé de Fusina (Italie) a été adaptée pour incorporer 4-6% en masse de RDF (alimentation et épuration des fumées).
- L'unité de coïncinération d'Anjalankoski (Finlande, papeterie) a été convertie à partir d'une centrale à charbon pulvérisé. L'alimentation en combustible et l'épuration des fumées ont été adaptées. Il a été choisi d'adapter l'existant plutôt que de construire une installation neuve afin de diminuer les coûts d'investissement dans un contexte difficile pour l'industrie papetière (2008).
- L'unité d'incinération de Brême Blumenthal (Allemagne, textile) a réutilisé les halls de réception, la cheminée, le bâtiment et les turbines de son ancienne chaudière à charbon, mais a reconstruit la chaudière, l'alimentation et l'épuration des fumées.

Délais de réalisation du projet

La prise de décision d'investir a pris entre 2 et 4 ans pour les sites visités.

La procédure de demande de permis a pris entre 1 an et 2 ans selon les données collectées :

- Jepua, Finlande : 12 mois
- Brême Blumenthal, Allemagne: 18 mois
- Bernburg, Allemagne : environ 2 ans

La construction en elle-même prend, selon la taille de l'installation et l'ampleur des travaux à réaliser (choix ou non de conserver une installation existante), entre 6 mois (cas de Brême où le gros œuvre a été limité par la réutilisation des anciens bâtiments) et 2 ans (Bernburg).

IV.3. Conditions techniques

Tableau 22: Qualité des RDF (valeurs moyennes et exigences qualité) (RECORD, 2018)

Ville	Pays	Forme	Densité kg/m ³	Granulométrie (mm)	Teneur en humidité (%)	Teneur en cendres (% MS)	PCI RDF (MJ/kg)	Teneur en chlore (%)	Teneur en soufre (%)	Teneur en mercure (mg/MJ)	Teneur en métaux ferreux (%)	Teneur en métaux non ferreux (%)	Procédé de préparation ¹⁰	Déchets entrants dans la préparation	Classes équivalentes dans la norme EN 15359
Fusina	IT	Granulés	350	<1	<15*	<20*	20,4 17-24	<1	ND	<0,08	ND	ND	TMB	OMR	111 à 333
Korbach	DE	Broyé	ND	<500*	ND	ND	14,5	ND	ND	ND	ND	ND	TM	OMR	PCI 4
Bernburg	DE	Broyé	150-500*	ND	<35* ¹¹ <30* ¹²	<30* ¹¹ <20* ¹²	13,2	<3* <1,8* ¹ <1,2* ²	<2* <1,5* ¹ <1,0* ²	<0,23* ¹³ <0,07* ^{11,1} 3 <0,15 ^{12,13}	2-4*	0,7-1,5*	TM	OMR DAE	PCI 4 Cl 3 à 5 Hg 3 à 5
Minden	DE	Broyé	150-500	<150*	<40*	<30*	10-14	ND	ND	ND	0,5	ND	TM	OMR	PCI 3 ou 4
Linz	AT	Fluff	200	200-350	24	22	12,2	1,1	0,5	0,2	0,5	0,1	TM	OMR (80%) DAE et encombrants (20%)	PCI 4

¹⁰ Dans ce tableau TM désigne des procédés pour lesquels la fraction RDF finale n'a pas subi de traitement biologique, TMB désigne des procédés pour lesquels la fraction RDF a subi un procédé biologique (séchage biologique)

* cahier des charges fournisseurs ou permis et pas valeur moyenne

Le terme OMR regroupe les déchets résiduels, ménagers et assimilés

¹¹ 80% percentile

¹² Median

¹³ Max calculé sur base du PCI

Ville	Pays	Forme	Densité kg/m ³	Granulométrie (mm)	Teneur en humidité (%)	Teneur en cendres (% MS)	PCI RDF (MJ/kg)	Teneur en chlore (%)	Teneur en soufre (%)	Teneur en mercure (mg/MJ)	Teneur en métaux ferreux (%)	Teneur en métaux non ferreux (%)	Procédé de préparation ¹⁰	Déchets entrants dans la préparation	Classes équivalentes dans la norme EN 15359
Wijster	NL	Déchets bruts (non broyés)	Non pertinent (pas de transport)	>40mm	25-35	ND	8,4-8,8	ND	ND	ND	4-6	0,7-2,5	TM	OMR NL 24% DAE NL 33% OMR / DAE UK 43%	PCI 5
Giessen	DE	Broyé	ND	ND	ND	ND	11,5-14,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	DAE	ND
Witzenhausen	DE	Fluff	ND	<250* 80	ND	ND	11	1,5-2	ND	ND	ND	ND	TM	OMR	PCI 3 CI 5
Jepua	FI	Fluff	ND	<63*	21	23 <40*	12,9	ND	0,8	ND	ND	<0,01	TM	DAE	PCI 4
Landskrona	SW	Fluff	200-250	<100 <500*	17,5 10-30*	9 <15*	16,5 12-16*	0,75 <0,6	0,17 <0,5*	ND	3,7 <3*	3,2 <2*	TM	DAE	PCI 2 CI 3
Bergamo	IT	Broyé	ND	ND	20	18	16,9	0,85	0,3	0,02	ND	ND	TMB et TM	OMR Refus de CS	PCI 3 CI 3 Hg 1
Anjanlankoski	FI	Fluff ou balles	ND	60	10-20*	ND	14,5-18	0,3-0,5	ND	ND	ND	Ne doit pas contenir d'Al*	ND	ND	PCI 2 à 3 CI 2
Bremen Blumenthal	DE	Broyé	350	40-300	20* 15-30*	20* 15-25*	14* 11-18*	0,7* 0,4-1,4*	0,2* 0,2-0,6*	ND	<3 (inertes et métaux)		TM	OMR 80% DAE 20%	PCI 3 CI 3

Combustion – Points d'attention

Les technologies de grilles utilisées pour la combustion sont relativement classiques pour l'incinération de déchets : il s'agit de grilles inclinées mobiles refroidies à l'eau.

Quelques particularités ont été notées :

- A Minden (Allemagne), une grille d'alimentation de type « duplex » a été construite : la grille est composée de deux parties mobiles glissant l'une après l'autre, ce qui améliorerait l'acheminement du combustible et la combustion (réduction des NOx).
La grille de combustion est refroidie à l'huile. La combustion est qualifiée d'étagée car elle a lieu en deux chambres de combustion, la première étant en défaut d'air.
La société Energos ayant construit la grille a fait faillite.
- A Giessen (Allemagne) la grille est refroidie à l'air et seuls les bords sont refroidis à l'eau.
- A Bernburg (Allemagne) deux lignes sont refroidies à l'eau et une est refroidie à l'air.
- A Landskrona (Suède) la grille est une grille vibrante composée de deux parties qui vibrent alternativement. B&W Volund a fourni la technologie. ¹⁴

En comparaison avec une chaudière à charbon pulvérisé classique, la centrale à charbon de Fusina a subi de faibles adaptations pour accepter du RDF. L'alimentation a été adaptée pour permettre un broyage des pellets de RDF, et une extraction des métaux. Le RDF ayant une teneur en chlore plus élevée que le charbon, un équipement de post-combustion à 1100-1200°C a été ajouté pour réduire la formation de dioxines. Les valeurs limites d'émission étant plus contraignantes sous le régime de la coïncinération que sous le régime de combustion de charbon (en particulier pour le SO₂, les poussières et le CO), la coïncinération s'est traduite par une utilisation accrue de réactifs pour augmenter l'efficacité de la dépollution et se conformer aux normes.

Deux sites fonctionnant à lit fluidisé présentent les particularités suivantes :

- A Linz (Autriche), la combustion est conduite de façon étagée dans le lit fluidisé bouillonnant, avec une introduction sous-stœchiométrique d'air primaire afin de réduire la température dans le lit (environ 620°C) et éviter son colmatage par fusion de l'aluminium contenu dans le RDF. Le design horizontal de la section munie de surchauffeurs permet de faciliter le désencrassement ;
- A Bergame (Italie), le sable du lit fluidisé est mélangé avec de la dolomite, ce qui a deux effets : augmenter la température de fusion des cendres et réduire ainsi la colmatage ; et réduire la formation d'oxydes de soufre.

Le recyclage des mâchefers fins et des matériaux du lit est mis en œuvre à Linz (Autriche), à Bergame (Italie) et à Jepua (Finlande). Cette caractéristique n'a pas été notée à Anjalankoski (Finlande) et à Witzhausen (Allemagne). L'objectif de ce dispositif est de diminuer la consommation de sable et la quantité de résidus à gérer.

Performance énergétique

La performance énergétique des installations (hors centrale à charbon) est supérieure à la valeur seuil de 70% établie par la réglementation française (Arrêté du 23 mai 2016, article 4) pour tous les sites visités sauf pour Wijster (Pays-Bas), qui n'a pas un débouché chaleur suffisant.

Les propriétés de la vapeur

A Bernburg (Bernburg), la qualité de la vapeur produite et fournie à Solvay permet d'alimenter une turbine. La vapeur produite dans les autres sites, avant ou après passage dans une turbine, est de qualité plus moyenne. Les paramètres vapeur sont variables et correspondent aux demandes des

¹⁴ L'entreprise recommande désormais l'utilisation de grilles réalisant des mouvements similaires à des vagues, technologie mise en place à Filborna, Helsingborg (Suède), ce qui permet d'éviter que les métaux et inertes se coincent entre les parties mobiles de la grille..

clients. Il n'y a pas de lien établi entre paramètres vapeur et caractéristiques du RDF : les caractéristiques techniques du site sont adaptées en fonction du besoin de l'utilisateur d'énergie.

Le nombre d'heures de fonctionnement

4 installations sont arrêtées 5 semaines ou plus (fonctionnement <7900h) pour réaliser des opérations de maintenance, ou pour d'autres raisons :

- Fusina (Italie) a 10 semaines d'arrêt (fonctionne sur 7000 h). Outre les périodes maintenance (durée non connue), les centrales à charbon doivent être arrêtées à certaines périodes de l'année pour laisser la place aux énergies alternatives renouvelables (vent, soleil), qui ont la priorité sur le réseau électrique.
- Giessen (Allemagne) fonctionne entre 7400 et 7800 h.
- Witzhausen (Allemagne) fonctionne 7500 h (un seul arrêt).
- Minden (Allemagne) fonctionne 7800 h en deux arrêts de 3 et 2 semaines chacun.

8 installations voient leurs chaudières arrêtées entre 2 et 5 semaines par an (fonctionnement entre 7900h à 8400 h). Dans le cas de Wijster (Pays-Bas) et Bernburg (Allemagne) qui ont plusieurs lignes, les arrêts se font sans arrêt complet de l'installation.

L'unité d'Anjalankoski (Finlande) fonctionne 8500 h par an (environ 11 jours d'arrêt).

Les causes de ces différences de temps de fonctionnement sont mal connues. Nous n'avons pas établi de corrélation évidente entre ces éléments et les caractéristiques des sites (taille, type de combustible, technologie...). Notons que des temps de fonctionnement élevés sont possibles avec une grille comme avec un lit fluidisé.

Le type d'épuration des fumées

Le contrôle des émissions d'acides (dont le dioxyde de soufre) est réalisé :

- Par voie sèche ou semi-sèche dans une majorité de sites visités
- Par voie humide dans quelques sites et notamment
 - Fusina (Italie, LSFO) et Anjalankoski (Finlande, laveur à eau), 2 sites dont l'épuration des fumées a été adaptée à partir d'un fonctionnement au charbon
 - Landskrona (Suède) qui dispose également d'une épuration sèche, et dont le laveur a d'abord été installé pour récupérer la chaleur résiduelle dans les fumées avant de les relarguer.

Les sites de Korbach, Minden et Anjalankoski ne sont équipés ni de SNCR, ni de SCR car ces technologies ne sont pas nécessaires pour respecter les valeurs limites d'émission. A Minden, le choix d'une technologie reposant sur le principe de la combustion étagée permet de diminuer la formation de NOx. A Anjalankoski, le lit fluidisé bouillonnant contribue à maîtriser les conditions de combustion et à réduire la formation de NOx. A Korbach, les VLE relativement élevées applicables en Allemagne aux installations de moins de 50 MW peuvent expliquer l'absence d'équipement de deNOx.

Les sites de Fusina, Linz et Bergame sont équipés de SCR. Tous les autres sites (7/13) sont équipés de SNCR (injection d'ammoniaque en haut de la chaudière).

Tableau 23: Technique d'épuration des émissions d'acides, de SOx et de NOx (RECORD, 2018)

Ville	Pays	Contrôle des émissions d'acides et de SOx					Contrôle des émissions de NOx			
		Voie sèche ou semi-sèche		Voie humide			DeNOx		Réduction de la formation de NOx	
		Bicarbonate de soude	Chaux	LSFO Limestone Forced Oxidation	Laveur neutre ¹⁵	Laveur acide	SCR	SNCR	Lit fluidisé	Combustion étagée
Wijster	NL				x	x		x		
Minden	DE		x							x
Bremen Blumenthal	DE	x						x		
Korbach	DE	x	x							
Giessen	DE	x						x		
Witzenhausen	DE		x					x	x	
Bernburg	DE	x						x		
Fusina	IT			x			x			
Bergame	IT	x					x			
Anjalankoski	FI				x				x	
Jepua	FI		x					x	x	
Linz	AT			x			x			x
Landskrona	SW		x		x			x		

Tableau 24: Contrôle des émissions de dioxines, furannes et mercures par injection de charbon actif (RECORD, 2018)

	Allemagne	Autriche	Italie	Finlande	Suède
Injection de charbon actif	Minden Giessen Bernburg Brême - Blumenthal	Linz	Bergame	Jepua	Landskrona
Pas d'injection de charbon actif	Witzenhausen Korbach (à venir)		Fusina	Anjalankoski	

Le site d'Anjalankoski utilise des RDF ayant une teneur en chlore relativement basse ce qui peut justifier l'absence de traitement. L'installation de Fusina, bien que contraint également quant à la teneur en dioxines des fumées, est probablement avantaagé par la faible teneur en chlore des

¹⁵ Solution aqueuse sans additifs, d'après nos informations

Les poussières sont collectées par un filtre à manches dans une majorité de sites. Certains sites sont équipés d'un cyclone ou multi-cyclone en amont du filtre à manches (Linz, Witzenhausen, Brême Blumenthal). A Linz et Witzenhausen, le cyclone est situé avant l'économiseur ce qui permet de réduire la précipitation de substances dangereuses au niveau des cendres du cyclone. Wijster est équipé d'un précipitateur électrostatique en amont du filtre à manches. Seuls deux sites sont uniquement équipés de précipitateurs électrostatiques (Fusina, Anjalankoski). Dans les deux cas les lignes d'épuration des fumées ont été adaptées à partir d'un fonctionnement au charbon.

La production et la gestion de cendres

La proportion de résidus de combustion varie de 7% (Jepua, Finlande¹⁶) à 35% de la masse de RDF entrante. Il est difficile d'établir des corrélations entre la proportion de cendres et les caractéristiques connues des combustibles utilisés, compte tenu de la taille réduite de l'échantillon d'installations visitées et du nombre de facteurs influençant potentiellement cette proportion (type de déchets entrants, mode de préparation, taux d'humidité dans le RDF ...).

La proportion de résidus de combustion semble d'autant plus grande que les déchets sont peu ou pas préparés (Bernburg 35%, Wijster 33%). Les RDF allemands, qui sont préparés pour 5 sites sur 6 à partir d'un tri mécanique d'OMR, sont associés à une production importante de résidus de combustion (24-33%).

Il n'a pas été possible d'attester le lien entre type de technologie utilisée (grille ou lit fluidisé) et proportions de cendres volantes et REFIOM. On s'attend à ce que le lit fluidisé produise plus de cendres volantes (déchets dangereux) que les chaudières à grille, pour une même teneur en cendres. Ce lien n'est pas évident. A Witzenhausen (Allemagne) et Linz (Autriche), la proportion de cendres volantes dangereuses est réduite par la présence d'un cyclone chaud. La donnée disponible ne permet pas d'isoler la proportion de cendres de cyclone pour les 2 installations. Les installations d'Anjalankoski et de Jepua ont effectivement des proportions de cendres volantes plus élevées (31 et 66% respectivement). La proportion de cendres volantes à Bergame (17%) est dans la gamme de ce qu'on peut trouver pour des chaudières à grille, sans que cela puisse s'expliquer par des choix technologiques.

¹⁶ Des valeurs plus élevées de l'ordre de 13% ont également été rapportées pour ce site.

Tableau 25: Répartition des résidus de combustion entre imbrûlés, mâchefers et cendres de cyclone chaud d'une part; et cendres volantes et REFIO M d'autre part (RECORD, 2018)

Ville	Pays	Technologie	% massique RDF	PCI RDF (MJ/kg)	% imbrûlés et mâchefers, cendres cyclone chaud	% Cendres volantes et REFIO M	Explication
Wijster	NL	Grille	91%	8,4-8,8	93%	7%	
Minden	DE	Grille	100%	10-14	85%	15%	
Bremen Blumenthal	DE	Grille	100%	10-12	83%	17%	
Fusina	IT	Pulvérisation	4-6%	19	0%	100%	Pulvérisation
Korbach	DE	Grille	100%	14,5	80%	20%	
Anjalankoski	FI	LFB	20% (50% énergie)	14,5-18	69%	31%	
Giessen	DE	Grille	100%	11,5-14,5	83%	17%	
Witzenhausen	DE	LFC	100%	11	88%	12%	Cyclone chaud
Bergame	IT	LFB	100%	16,9	83%	17%	
Bernburg	DE	Grille	>71%	13	86%	14%	
Linz	AT	LFB	78%	10,4	90%	10%	Cyclone chaud
Landskrona	SW	Grille	100%	12-16	84%	16%	
Jepua	FI	LFB	57%	12,9	33%	66%	

Les mâchefers et les imbrûlés, classés comme des déchets non dangereux, sont stockés dans des installations de stockage des déchets non dangereux, utilisés pour la stabilisation de décharges ou utilisés en technique routière. Le déferrailage peut être mis en œuvre avant l'une ou l'autre de ces applications. En Autriche et en Suède, l'utilisation en technique routière des mâchefers n'est pas permise : ceux-ci sont donc stockés.

Les cendres volantes sont le plus souvent considérées comme des déchets dangereux sauf dans les cas suivants :

- Les cendres volantes, les boues de désulfuration et le gypse formés lors de la coïncinération RDF/charbon sont des déchets non-dangereux (Fusina). Ces matériaux sont valorisés en recyclage matière, dans la production de plâtre (gypse) ou de ciment (gypse, cendres volantes et boues);
- Les cendres volantes récupérées dans un cyclone chaud à Linz ont été testées et ont démontré le respect des seuils permettant une classification comme déchets non-dangereux. Elles sont alors stockées en ISDND. Les cendres volantes récupérées par le cyclone à Witzenhausen (Allemagne) sont également classées en déchets non dangereux.
- Certaines cendres volantes produites par l'installation d'Anjalankoski (Finlande) peuvent être utilisées en technique routière suite à l'octroi de permis environnementaux.

Tableau 26: Gestion des résidus de combustion (RECORD, 2018)

		Cendres volantes et REFIOM					Mâchefers	
		ISDD	Remblai stockage mines de sel	Technique routière	Matériaux de construction	ISDND	ISDND	Technique routière ou stabilisation de décharges
Wijster	NL		X					X
Minden	DE		X					X
Bremen Blumenthal	DE		X					X
Korbach	DE		X					X
Giessen	DE		X					X
Witzenhausen	DE		X					X
Bernburg	DE		X					X
Fusina	IT				X		Pas de mâchefers	
Bergame	IT						X	X
Anjanlankoski	FI	X		X				X
Jepua	FI	X					X	
Linz	AT	X	X			X	X	
Landskrona	SW		X				X	

Adaptabilité de l'installation à d'autres combustibles

Seules 3 des 13 installations visitées ont été conçues pour pouvoir utiliser de la biomasse :

- A Anjanlankoski (Finlande), la motivation était principalement économique : la conception d'une installation pouvant brûler biomasse (écorces) et boues de papeterie permettait de gérer les déchets produits en interne par le site utilisateur de chaleur (papeterie).
- A Landskrona (Suède), la conception d'une chaudière réversible répondait à la volonté de maîtriser les risques d'approvisionnement. Depuis sa mise en service (2012), l'utilisation de la biomasse a été rare et n'a pas été justifiée par le besoin de compléter l'approvisionnement, mais plutôt par le besoin de diminuer le PCI en entrée.
- A Jepua (Finlande), la chaudière a été conçue pour être réversible et fonctionner uniquement à la biomasse les week-ends, afin de permettre un fonctionnement optimal avec une demande en chaleur réduite, ce qui n'est pas possible avec des déchets.

D'autres installations visitées fonctionnant avec une chaudière à grille ont indiqué pouvoir techniquement brûler de la biomasse (Wijster- Pays-Bas, Minden - Allemagne, Brême Blumenthal-Allemagne) sans que cela ait été un critère lors de la conception de l'installation.

A Linz (Autriche), la combustion de la biomasse dans le lit fluidisé bouillonnant a été jugée non souhaitable en raison des paramètres vapeur choisis. D'autres technologies seraient plus adaptées à la combustion de biomasse.

A Bernburg (Allemagne), l'installation a été conçue pour pouvoir traiter 10 à 15% de déchets qui ne sont pas des RDF.

Influence de la taille des unités

Nous n'avons pas établi de lien avéré entre taille des unités et conditions techniques.

En termes de technologie de combustion, grille et lit fluidisé sont utilisés pour des grands comme des petits sites. En termes d'épuration des fumées, les petits sites ne sont pas moins équipés que les plus grands visités.

Le mode de préparation des RDF

Le pouvoir calorifique des combustibles ne peut être directement rapproché du type de déchets utilisé pour la préparation des RDF (OMR, DAE ou refus des collectes séparées). En effet, le PCI des RDF préparés à partir de DAE varie entre 11,5 et 16,5 sur les sites rencontrés ; et entre 8,4 et 20,4 pour les RDF préparés à partir d'OMR. Il est possible de fournir des RDF qualifiés à haut PCI à partir d'OMR. C'est notamment le cas pour les RDF entrant dans la centrale à charbon de Fusina (Italie).

En Allemagne, les procédés de préparation mis en œuvre pour préparer du RDF sont des procédés de traitement mécanique. La fraction combustible est séparée de la fraction organique, des métaux et des inertes par différents processus de séparation, et seule la fraction organique résultante subit un traitement biologique.

En Italie, les procédés de préparation rencontrés pour préparer le RDF sont des procédés de traitement mécano-biologique mettant en œuvre un séchage biologique sur l'ensemble du déchet entrant. A Fusina ce procédé permet de produire une seule fraction de RDF de PCI supérieur à 17 MJ/kg. A Bergame, le procédé produit trois fractions dont deux fractions avec des PCI compris entre 10MJ/kg et 15MJ/kg, représentant 76% de la masse de RDF produite. Les 23% restant ont un PCI > 15 MJ/kg.

IV.4. Conditions administratives

Remarque : Les enseignements spécifiques aux pays plutôt qu'aux installations ont été repris dans la partie III Panorama de la filière CSR dans 10 pays européens.

La définition du RDF

Sur les sites visités, la notion de RDF n'est jamais utilisée pour désigner des flux spécifiques tels que des boues, des écorces ou des déchets non préparés. La notion de RDF est bien utilisée pour désigner des déchets non dangereux préparés par tri mécanique ou mécano-biologique en vue d'une valorisation énergétique.

Toutefois, il est important de noter que les RDF rencontrés forment un groupe de combustibles hétérogène en termes :

- de forme physique (fluff, granulés, déchets simplement broyés grossièrement lors du tri mécanique) ;
- de déchets entrants dans le processus de préparation (DAE ou ordures ménagères résiduelles) ;
- de qualité vis-à-vis de la combustion (teneur en métaux, PCI...).

Certains RDF rencontrés, en particulier sur les sites visités en Allemagne, aux Pays-Bas et en Autriche, doivent être bien distingués de la notion de CSR telle qu'elle est envisagée au niveau français. Il s'agit de déchets ménagers résiduels auxquels on a retiré la fraction organique, les métaux et une partie des inertes, voire une partie de plastiques pour le recyclage ou pour la préparation de RDF haut PCI, envoyés alors en cimenterie (Linz, Wijster). La forme de ces RDF utilisés pour les chaudières à grille reste relativement brute, les combustibles étant peu ou pas broyés. Le PCI de ces combustibles n'atteint parfois pas le seuil des 12 MJ/kg défini dans la définition du CSR français.

Sur les sites italiens (Bergame et Fusina), le terme CDR (Combustibile Derivato da Rifiuti) a été utilisé sur les sites et est toujours utilisé dans le permis des installations établis avant 2010. Le CDR était un

RDF conforme à la norme italienne UNI 9903 qui existait avant l'introduction de la norme européenne EN 15359 et son utilisation dans le droit italien en 2010. Ce terme a été remplacé dans la législation par le terme CSS (Combustible Solide Secondario) en 2010 et est aujourd'hui sur les sites. Lorsque les permis seront renouvelés, le terme CDR ne sera plus utilisé.

En Italie, pour qu'un déchet soit classé comme CSS ou RDF selon le code européen des déchets 19 12 10, il doit respecter la norme européenne. En Italie, les RDF et les RDF normés sont donc des termes équivalents. Les déchets préparés à partir de déchets non dangereux mais non conformes à la norme européenne EN 15359 sont classés selon les codes déchets 19 12 ... autres que 19 12 10. Dans le cas de fractions en mélange ne contenant pas de substances dangereuses, ils sont classés 19 12 12 (autres déchets (y compris mélanges) provenant du traitement mécanique des déchets autres que ceux visés à la rubrique 19 12 11). Tous les autres flux de déchets ayant un code européen des déchets différent de 19 12 10 ne peuvent pas être considérés ou classés comme RDF ou RDF normé en Italie. Cette question a fait l'objet de discussions lors de la dernière réunion du groupe de travail "Classification et Classes" de l'ISO/TC 300 "Combustible solide récupéré" qui s'est tenue à Milan le 20 juin 2017. Ces flux ont pu parfois être appelés RDF hors spécifications, bien qu'il ne s'agisse pas nécessairement de combustibles. Il peut par exemple d'agir de refus de TMB/TM.

Les RDF entrant dans les 6 sites allemands visités sont désignés par l'appellation « Ersatzbrennstoffe » (EBS) qui signifie littéralement combustible de substitution. A Witzenhausen, le combustible est également appelé fluff, en référence à sa forme physique plus finement broyée pour entrer dans un lit fluidisé.

En Finlande, les RDF sont appelés REF (pour REcovered Fuels) en référence à l'appellation de l'ancienne norme VTT¹⁷ en vigueur en Finlande, plus tard remplacée par la norme européenne. Sur le site d'Anjalankoski (Finlande), le RDF est également appelé PDF (packaging derived fuel, combustible dérivé d'emballages).

A Landskrona (Suède), le RDF est appelé RDF ou PTP, un acronyme qui fait référence aux fractions de déchets qui le compose : papier, bois et plastiques.

A Linz (Autriche), le RDF est appelé Reststoff, qui signifie matière résiduelle. La terminologie RDF est utilisée pour désigner la fraction à haut PCI extraite lors de la préparation et envoyée en cimenterie.

A Wijster, la fraction à haut PCI envoyée en cimenterie est appelée « combustible secondaire ».

Les exigences qualité

Seuls 3 des sites visités utilisent des combustibles solides de récupération normés selon la norme européenne EN 15359 :

- Fusina en Italie ;
- Bergame en Italie ;
- Anjalankoski en Finlande.

L'utilisation de la norme en Italie s'explique par le fait qu'un déchet doit respecter la norme européenne pour être appelé CSS ou classé RDF selon le code européen des déchets 19 12 10.

Pour les 3 sites se conformant à la norme européenne, la norme oblige le fournisseur à spécifier le PCI, la teneur en chlore et la teneur en mercure pour établir une classification. A Fusina et à Bergame (Italie), des classes minimales de combustibles sont demandées (par exemple des classes 111 à 333 à Fusina) ce qui revient à établir des valeurs seuils pour le PCI, le chlore et le mercure. D'autres paramètres doivent être renseignés obligatoirement et font l'objet de valeurs seuils à Fusina (teneur en soufre, granulométrie, teneur en autres métaux). A Fusina, d'autres paramètres optionnels dans la norme ne

¹⁷ VTT est un centre technique de recherche finlandais.

font pas l'objet de valeurs seuils mais sont renseignés par les fournisseurs : la température de fusibilité des cendres, la teneur en aluminium, la densité et la teneur en autres éléments (N, S...).

A Wijster, le RDF ne fait l'objet ni de norme, ni de cahier des charges utilisateur. Le processus de préparation est intégré à l'utilisation de RDF et il est optimisé pour viser un PCI cible.

A Linz (Autriche) et à Witzenhausen (Allemagne) il existe un cahier des charges techniques interne à respecter pour la qualité du RDF car le RDF est produit par l'entreprise utilisatrice.

A Minden, Korbach, Giessen, Bernburg, Brême Blumenthal (Allemagne), Landskrona (Suède) et à Jepua (Finlande), un cahier des charges existe entre utilisateur et fournisseur de RDF pour définir les exigences de qualité.

Les paramètres concernés par les exigences qualité établies entre fournisseur et utilisateur ne sont pas connus pour toutes les installations. Pour ceux pour lesquels la donnée a été fournie, les exigences qualité concernent au moins le PCI, la teneur en humidité, la densité et la teneur en cendres. La teneur en métaux ferreux, en soufre et en chlore, la granulométrie et la teneur en autres métaux (notamment le mercure) peuvent également faire l'objet de valeurs seuils.

Les modalités de contrôle des exigences qualité n'ont été communiquées que pour quelques sites.

A Linz (Autriche), les contrôles qualité ont été mis en œuvre lors de la mise en service du site et ils ne sont plus réalisés qu'en cas de problèmes. Le fait que la production du RDF soit intégrée sur site par la même entreprise explique ce mode de fonctionnement.

A Bernburg (Allemagne), la première livraison de chaque fournisseur est documentée et vérifiée par un auditeur externe. Ensuite, des caractérisations régulières après échantillonnage sont prévues, la fréquence n'ayant pas été précisée, ainsi que des contrôles aléatoires à réception (2 camions/jour).

A Landskrona (Suède), des contrôles aléatoires visuels sont menés et un échantillonnage est réalisé par semaine.

Les équivalences entre la qualité du RDF et les classes de la norme européenne EN 15 359 sont présentées dans le Conditions techniques

Tableau 22 ci-dessus.

Les valeurs limites d'émission

Remarque : Les VLE applicables à l'incinération sont également applicables à la coïncinération à condition que l'installation brûle exclusivement des déchets. Dans le cas d'une coïncinération avec mélange de combustibles déchets et produits (par exemple biomasse ou charbon), un calcul doit être réalisé pour établir les VLE. Les VLE qui concernent les métaux (Cd+Pb, Hg, autres métaux) sont celles de l'incinération mais à 6% O₂, quelle que soit la quantité de déchets coïncinérés.

Les valeurs limites d'émission sont sensiblement les mêmes pour tous les sites visités. Quelques particularités sont à noter :

- En Allemagne, les moyennes journalières concernant les émissions de poussières et de NOx sont plus contraignantes que les valeurs limites d'émission définies au niveau européen. Les sites de moins de 50 MW sont soumis à des VLE poussières et NOx moins élevées.
- Des valeurs limites d'émissions significativement plus contraignantes que la valeur européenne pour les NOx sont définies pour plusieurs sites : Linz (60 sur une demi-heure), Wijster (70), Bergame (80) et Landskrona (120 en moyenne journalière). Notons que les sites de Linz et Bergame sont équipés de SCR, et que les sites de Wijster et Landskrona sont équipés de SNCR.

**Tableau 27: Valeurs limites d'émission, normalisées à 11% O₂ (« - » signifie « pas de VLE »)
(RECORD, 2018)**

Installation ou Réglementation	Moyenne	Pays, Région	Poussières totales	COT	HCl	HF	SO ₂	NOx	CO	Cd+Pb	Hg	Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	PCDD/F	NH ₃
Directive IED – Incinération	Jour	Union Européenne	10	10	10	1	50	200 ¹⁸	50	-	-	-	-	-
	1/2h ¹⁹	Union Européenne	-	-	-	-	-	-	100	0,05	0,05	0,5	0,1	-
Directive IED-Coïncinération – C ²⁰	1/2h	Union Européenne	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,3	0,07	-
ICPE 2971	Jour	France	10	10	10	1	50	200	50	-	-	-	-	30
	1/2h		-	-	-	-	-	-	100	0,05	0,05	0,5	0,1	-
17. BImSchV ²¹ Installations > 50 MW	Jour	DE	5	10	10	1	50	150	50		0,03			10
17. BImSchV Installations <50 MW	Jour	DE	10	10	10	1	50	200	50		0,03			10
17. BImSchV	½ h	DE	20	20	60	4	200	400	100	-	0,05	-	-	15

¹⁸ Valeur applicable aux installations dont la capacité nominale est supérieure à 6t/h ou nouvelles installations au sens de la Directive IED du 17/12/2010

¹⁹ Pour les métaux, l'échantillonnage doit être réalisé sur une demi-heure au minimum et huit heures au maximum.

²⁰ Valeurs calculées à partir de valeurs fournies à 6% O₂

²¹ Bundes-Immissionsschutzverordnungen (BImSchV) : ordonnance fédérale allemande sur la production des émissions

Installation ou Réglementation	Moyenne	Pays, Région	Poussières totales	COT	HCl	HF	SO ₂	NO _x	CO	Cd+Tl	Hg	Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	PCDD/F	NH ₃
Directive IED – Incinération	Jour	Union Européenne	10	10	10	1	50	200 ¹⁸	50	-	-	-	-	-
	1/2h ¹⁹	Union Européenne	-	-	-	-	-	-	100	0,05	0,05	0,5	0,1	-
Directive IED-Coïncinération – C ²⁰	1/2h	Union Européenne	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,3	0,07	-
ICPE 2971	Jour	France	10	10	10	1	50	200	50	-	-	-	-	30
	1/2h		-	-	-	-	-	-	100	0,05	0,05	0,5	0,1	-
Korbach	Jour	DE	10	10	10	1	50	200	50	0,05	0,03	0,5	0,1	10
	½ h	DE	20	20	60	4	200	400	100	-	0,05	-	-	15
Bernburg	Jour	DE	5	10	10	1	50	200 ²²	50	ND	0,03			10
	½ h	DE	20	20	60	4	200	400	100	ND	0,05	ND	ND	15
Minden	Jour	DE	10	10	10	1	50	200	50	0,05	0,03	ND	0,1	10
	½ h	DE	20	20	60	4	200	400	100	-	0,05	ND	-	15
Bremen Blumenthal	Jour	DE	10	10	10	1	50	200	50	ND	0,01	ND	0,1	10
	½ h	DE	20	200	60	4	200	400	100	ND	0,05	ND	-	15
Fusina ²⁰	Jour	IT	13	7	7	3	123	133	ND	0,03	0,03	0,3	0,07	3
Linz	½ h	AT	10	8	7	0,3	40	60	100	0,05	0,05	0,5	0,1	5
Wijster	Jour	NL	5	10	10	1	50	70	50	-	-	-	-	-
	½ h		-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,05	0,5	0,1	5
Giessen	Jour	DE	10	10	10	1	50	200	50	0,05	0,03	ND	0,1	10
	½ h	DE	20	20	60	4	200	400	100	-	0,05	ND	-	15
Witzenhausen	Jour	DE	5	10	10	1	50	150	50	ND	0,03	ND	ND	10

²² La valeur limite d'émission est supérieure à la VLE définie par la 17. BImSchV pour les installations de même taille

Installation ou Réglementation	Moyenne	Pays, Région	Poussières totales	COT	HCl	HF	SO2	NOx	CO	Cd+Tl	Hg	Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	PCDD/F	NH ₃
			mg/m ³										ng/m ³	
Directive IED – Incinération	Jour	Union Européenne	10	10	10	1	50	200 ¹⁸	50	-	-	-	-	-
	1/2h ¹⁹	Union Européenne	-	-	-	-	-	-	100	0,05	0,05	0,5	0,1	-
Directive IED-Coïncinération – C ²⁰	1/2h	Union Européenne	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,3	0,07	-
ICPE 2971	Jour	France	10	10	10	1	50	200	50	-	-	-	-	30
	1/2h		-	-	-	-	-	-	100	0,05	0,05	0,5	0,1	-
	½ h		20	20	60	4	200	400	100	ND	0,05	ND	ND	15
Jepua	Jour	FI	ND	10	10	1	50	200	-	-	-	-	-	-
	½ h		-	-	-	-	-	-	100	0,03	0,03	0,3	0,07	ND
Landskrona	Jour ²³	SW	10	10	10	1	50	120	-	-	-	-	-	-
	½ h		-	-	-	-	-	-	100	0,05	0,05	ND	0,1	20
Bergame	ND	IT	10	10	10	1	50	80	50	0,005	0,005	0,5	0,1	10
Anjanlankoski ²⁴	Jour	FI	11	10	10	1	83	187	50	0,03	0,03	0,3	0,07	ND

²³ Selon le rapport environnemental 2016 sauf pour les NOx, selon le permis 2017

²⁴ Valeurs calculées à partir de valeurs fournies à 6% O₂

Les quotas de CO₂

Parmi les installations visitées, seules les installations considérées comme des **installations de coïncinération** et dont la puissance nominale est supérieure à 20 MW sont **soumises à quotas de CO₂**.

En Suède, toutes les installations reliées à un réseau de chaleur dont la puissance totale est supérieure à 20 MW sont soumis à quotas de CO₂. Des quotas gratuits sont attribués au secteur du chauffage urbain.

Ainsi, parmi les sites visités, seules les installations de Landskrona (Suède), Anjalankoski (Finlande) et Fusina (Italie) étaient soumises aux quotas de CO₂.

A Fusina (Italie), les émissions de CO₂ soumises à quotas de CO₂ (carbone fossile) sont calculées sur base de la teneur en carbone biogénique mesurée en conformité avec la norme EN 15 440. La caractérisation est réalisée par le producteur de RDF normé, dans ce cas par la méthode de la dissolution sélective. L'échantillonnage est réalisé en coopération entre producteur et utilisateur sur le site utilisateur de Fusina, et la mesure est réalisée par un laboratoire externe. La fréquence d'analyse n'a pas été communiquée.

A Anjalankoski (Finlande), la teneur en carbone biogénique est également mesurée par caractérisation mais la méthode et les modalités d'analyse ne sont pas connues. En Finlande plus largement, si la proportion de RDF normé est significative, les sites caractérisent leur RDF. Sinon ils utilisent une valeur moyenne nationale établie pour les combustibles de récupération (31,8 tCO₂/TJ pour un PCI de 18 MJ/kg et un contenu renouvelable de 60%).

A Landskrona comme partout en Suède, les émissions de CO₂ des installations utilisant du déchet sont calculées sur base d'un facteur moyen national révisé chaque année (94,9 tCO₂/TJ entrant en 2016 pour un PCI de 10,4 MJ/kg et un contenu renouvelable de 60%).

Notons que les valeurs retenues par la Suède et par la Finlande sont sensiblement différentes en raison d'une teneur en humidité différente (et donc un PCI différent).

Aucune des autres installations ne mesure la teneur en carbone biogénique des combustibles.

Soutiens

Seuls 6 sites ont bénéficié de soutiens :

- Wijster (Pays-Bas) : soutiens SDE+ à la production d'énergie renouvelable (électricité et injection biométhane) et soutiens REP. Les soutiens ont orienté les choix techniques du site. Le site chercherait un autre optimum économique sans soutiens.
- Fusina et Bergame (Italie) : certificats verts (terminés depuis 2016) soutenant la production d'électricité renouvelable. Le site de Fusina aurait été rentable sans soutiens. L'information n'est pas clairement disponible à Bergame.
- Jepua (Finlande) qui aurait reçu un petit soutien à l'investissement (environ 10%) et a reçu un soutien à la R&D (35%).
- Linz (Autriche) qui a bénéficié d'un prêt avantageux auprès de la Banque Européenne d'Investissement.
- Witzenhausen (Allemagne) qui a reçu un soutien à la cogénération (à l'investissement), toutefois qualifié de non déterminant dans le modèle économique.

IV.5. Conditions économiques

Modèle d'affaires

Il existe presque autant de modèles que de sites visités.

- Dans la majorité des cas rencontrés (11/13), l'opérateur du site est également son propriétaire. Dans deux cas, opérateur et propriétaire sont deux entités distinctes. A Witzenhausen (Allemagne), c'est l'utilisateur de la chaleur qui est opérateur. A Brême Blumenthal, l'opérateur est indépendant et fournit une prestation de services au propriétaire du site.
- Dans une majorité des cas rencontrés, le (ou un des) fournisseur(s) de RDF ou l'utilisateur de chaleur sont actionnaires des installations.
 - A Minden, Korbach, Witzenhausen, Bernburg et Brême Blumenthal (Allemagne), le ou un des fournisseurs de RDF sont actionnaires de l'installation.
 - A Giessen (Allemagne), Linz (Autriche), Landskrona (Suède), Bergame (Italie), Bernburg (Allemagne) et Anjalankoski (Finlande), les utilisateurs de chaleurs sont actionnaires de l'installation.
 - A Jepua (Finlande), le propriétaire de l'installation est l'opérateur du site. Il n'est ni fournisseur de RDF, ni utilisateur de chaleur.
 - A Fusina (Italie) et à Wijster (Pays-Bas), la production de chaleur est un objectif secondaire et cet aspect semble donc moins pertinent à analyser.

La propriété du site appartient généralement à un seul acteur (12/13) à l'exception de Bernburg (Allemagne) : la propriété du site est partagée entre son opérateur, qui fournit également une partie du RDF, et l'utilisateur de chaleur. Cette situation était également valable à Brême Blumenthal à la construction du site, avant la fermeture du site utilisateur de chaleur.

- Les 4 sites visités alimentant un réseau de chaleur urbain (Giessen, Linz, Landskrona et Bergame) sont toutes détenues et gérées par des entreprises municipales à capital majoritairement public, et sont également chargées de la distribution d'énergie.
- La présence d'actionnariat public se retrouve dans de nombreux projets n'alimentant pas de réseau de chaleur urbain.
 - Actionnariat des municipalités impliquées par la fourniture de déchets à Minden et Brême Blumenthal (Allemagne). Le besoin de trouver des exutoires pour les déchets produits a motivé la construction des sites.
 - Actionnariat d'autres municipalités qui détiennent un gros groupe de gestion des déchets à Korbach (Allemagne). L'implication d'une stratégie de politique publique via l'actionnariat n'est pas avérée.
 - Actionnariat présent ou passé de l'Etat (Wijster aux Pays-Bas, Fusina en Italie, Anjalankoski et Jepua en Finlande). L'implication d'une stratégie de politique publique via l'actionnariat n'est pas avérée, sauf à Fusina.
- La gestion des sites est réalisée par des entreprises de toutes tailles (d'une dizaine de salariés à plusieurs dizaines de milliers). Les sites de plus grande puissance (Bernburg, Korbach, Wijster...) sont exploités par de grands groupes.
- Les opérateurs ont généralement soit une expertise déchets (Wijster (Pays-Bas), Minden (Allemagne), Jepua (Finlande) avant 2016, Brême Blumenthal (Allemagne)) soit une expertise énergie (Fusina (Italie), Jepua (Finlande) depuis 2016, Landskrona (Suède)) ou les 2 (Linz (Autriche), Korbach (Allemagne), Bergame (Italie), Bernburg (Allemagne), Witzenhausen (Allemagne)). Le site d'Anjalankoski (Finlande) constitue une exception puisqu'il est exploité par la papeterie qui utilise la chaleur produite.

Relation avec les consommateurs d'énergie

- Le consommateur final d'énergie est le plus souvent le moteur de la construction du site (voir partie IV.2). Tous les sites ayant un consommateur d'énergie industriel voient ce

consommateur occuper une place centrale dans la construction du projet, afin de diminuer les coûts de l'énergie.

- D'après les personnes interrogées, l'énergie déchets est compétitive par rapport aux énergies fossiles qui étaient précédemment utilisées, y compris pour les consommateurs industriels. Cette compétitivité est d'abord due à un bilan intrinsèquement plus favorable lorsque l'on prend en compte coût d'investissement, coût du combustible (recette le plus souvent dans le cas du RDF), coûts opérationnels et rendement de production.

Trois éléments de contexte jouent sur ce bilan :

- Le marché pour le traitement des déchets non dangereux, qui influe sur le prix du RDF. Des restrictions sur le stockage conduisent à des prix favorables pour le RDF.
- Un contexte de prix de l'énergie fossile élevés pour beaucoup d'installations au moment d'investir et les premières années de fonctionnement, ce qui a renforcé la compétitivité de l'énergie déchets à cette période.
- L'exemption de l'énergie RDF de quotas de CO₂, essentiellement en Allemagne pour la substitution charbon → RDF. L'impact est moins évident pour une substitution gaz naturel ou fioul → RDF mais a été évoqué dans le cas de Bernburg, qui utilisait précédemment du gaz naturel. (voir paragraphe dédié aux quotas de CO₂ ci-dessous). Dans les autres pays, l'énergie RDF n'est pas exemptée de quotas, ou ce facteur n'a pas été évoqué.

Pour les deux installations qui utilisaient du charbon précédemment (l'énergie fossile la moins chère), l'installation valorisant des RDF a été adaptée à partir de l'installation existante. Il pourrait s'agir d'une condition à la compétitivité de l'énergie RDF par rapport à l'énergie charbon mais nous n'avons pas pu le confirmer.

- Pour de la chaleur fournie à un réseau de chaleur urbain, le prix reçu par l'installation de valorisation énergétique des déchets est dépendant de l'installation
 - Linz (Autriche) : 25-35€/MWh est reçu par l'installation de la part de la société qui distribue l'énergie, pour une chaleur fournie aux clients finaux à un prix situé entre 50 et 65 €/MWh
 - Bergame (Italie) : 15€/MWh (prix fourni à la filiale chargée de la distribution).
 - Landskrona (Suède) : 40-45€/MWh
- Le prix de l'électricité hors soutiens est fixé par le marché. Il est d'environ 40-45 €/MWh.
- Le prix de la vapeur fournie aux industriels n'a été fourni par aucun des sites visités. L'estimation proposée de 30-40€/MWh a été validée en tant qu'ordre de grandeur par l'un des sites.

Les modalités des contrats avec les consommateurs de chaleur industriels n'ont pas été précisées. Les sites établissent une stratégie de long terme qui repose soit sur la participation au capital des utilisateurs (Bernburg (Allemagne), Breme Blumenthal (Allemagne), Anjalankoski (Finlande)) soit sur des contrats à long terme (Minden (Allemagne), Witzenhausen (Allemagne), Korbach (Allemagne), Jepua (Finlande)), de durée généralement supérieure à 10-15 ans.

Relation avec les fournisseurs de RDF

- Diversification
Le nombre de fournisseurs de RDF par site dépend de la taille de l'installation
 - Tous les sites visités utilisant moins de 50 kt de RDF/an ont un seul fournisseur
 - La situation est contrastée entre 50 et 100 kt de RDF, certains sites étant alimentés par un seul fournisseur (Fusina (Italie), Brême Blumenthal (Allemagne)), d'autres par 3 ou plus (Bergame (Italie), Anjalankoski (Finlande), Landskrona (Suède)).
 - Les sites utilisant plus de 300 kt de RDF par an ont de nombreux fournisseurs.
- Provenance

Les RDF utilisés sont majoritairement locaux. Ils proviennent du pays dans lequel le site de valorisation énergétique est implanté, et le plus souvent des régions voisines. Le rayon d'approvisionnement est plus élevé pour les grands sites (Witzenhausen, Bernburg (Allemagne); 150-200 et 300 km respectivement) que pour les sites de taille moyenne (50-100 kt/an), le plus souvent approvisionnés à moins de 100 km.

Seuls les sites de Landskrona (Suède) et de Wijster (Pays-Bas) ont recours partiellement à l'import (Royaume-Uni, Norvège). Cela peut être lié à la situation de surcapacités d'incinération globales dans ces deux pays, mis en évidence dans le cadre du benchmarking par pays.

D'après les informations reçues, les déchets utilisés pour la production de RDF sont majoritairement locaux, ce qui est cohérent avec le coût de transport élevé de déchets bruts (environ une tonne de refus serait à transporter pour une tonne de RDF).

- **Contractualisation**

Les contrats avec les fournisseurs de RDF sont généralement établis à moyen terme (1 à 5 ans). Certains sites de grande taille panachent le type de contrats avec des contrats spot (<1an), des contrats moyens terme (3-5 ans) et des contrats long terme (à Bernburg > 10 ans). Cette organisation permettrait de diminuer les risques de changement de prix du RDF, une quantité et une qualité constante (contrats pas trop courts) et de gérer le risque de baisse de demande des utilisateurs (contrats pas trop longs). La gestion de contrats uniquement courts ne semble pas favorable pour les utilisateurs. Par exemple, Stora Enso (Anjalankoski, Finlande), qui dispose uniquement de contrats annuels avec ses fournisseurs, souhaite passer la durée de ses contrats à 3 ans.

Le mécanisme de fixation des prix au sein des contrats n'a pas été communiqué. Une révision annuelle des prix au sein de contrats moyen-long terme n'est pas à exclure. Le cas de Wijster (Pays-Bas) serait à ce titre particulier puisque le site dispose de contrats à prix fixes sur 10 à 15 ans avec le Royaume-Uni (et de 1 à 5 ans avec les municipalités néerlandaises).

- **Le prix du RDF.**

Les prix du RDF sont très variables d'un site à un autre. Des prix négatifs sont généralement en vigueur pour les RDF importés et les RDF de qualité moyenne (Bergame (Italie), Allemagne, Linz (Autriche)). Les prix positifs ont été rencontrés pour des RDF à très haut PCI (Fusina) ou sur le marché finlandais, pour des RDF préparés exclusivement à partir de DAE.

- **Prix négatif**

- Bergame (Italie) : 0-20€/t
 - Landskrona (Suède): 10€/t
 - Le prix des RDF est négatif en Allemagne selon les données fournies par les sites. Les valeurs précises n'ont pas été fournies. Le prix du RDF en Hesse a été estimé entre 20 et 30€/t dans le cadre de l'étude réalisée pour la DGE
 - Linz (Autriche) : le prix du traitement des RDF est estimé à 50-60€/t à partir du prix de traitement des déchets et du coût de leur préparation (pas de transport).

- **Prix positif :**

- A Fusina (Italie), le RDF a un prix positif situé entre 0 et 30€/t
 - A Anjalankoski (Finlande) le prix du RDF est positif mais proche de 0€/t et en baisse
 - A Jepua (Finlande), le prix du RDF est estimé entre 18 et 25€/t

- **Les conditions économiques pour l'amont de la chaîne (préparateurs)**

Cette donnée n'est pas disponible.

Influence des aspects fiscaux et des soutiens/subsides

Les certificats verts ont eu un effet majeur sur la rentabilité des sites italiens visités. A Fusina (Italie), pendant la période 2006-2016, le gain associé à l'utilisation de RDF par rapport à l'utilisation de charbon dans la centrale à charbon était de 120-155€/t RDF normé dont 100€/t liés aux certificats verts. A Bergame, les certificats verts ont été reçus pendant 6 ans.

Les installations dédiées à l'utilisation de «RDF» sont classées comme des coïncinérateurs en France. Ils sont donc éligibles aux quotas de CO₂ mais exemptés de TGAP (4€/t pour l'incinération).

Tableau 28 : Influence actuelle et future des quotas de CO₂ sur le prix de l'énergie (DGE, RECORD, 2018)

	RDF		Gaz	Fioul	Charbon
	Régime coïncinération	Régime incinération			
Prix du combustible (€/MWh PCI)	-		25 ²⁶	40 ²⁵	8-10 ²⁶
Prix de la vapeur (€/MWh fourni)			30	ND >40	12 ²⁷
Emissions de CO ₂ fossiles (tCO ₂ /MWh fourni)	0,22-0,27 ²⁸		0,23 ²⁹	0,31 ²⁹	0,42 ²⁹
Prix des quotas de CO ₂ à 8€/t (début 2018) (€/MWh fourni)	1,76-2,16	0	1,84	2,48	3,36
Prix des quotas de CO ₂ à 50€/t (€/MWh fourni)	11-13,5	0	11,5	15,5	21
TGAP incinération 4€/t [18] (France) (€/MWh fourni)	0	1,1-1,4	0	0	0

Explication pour le gaz : 25€/MWh correspond au prix du gaz sur le marché rapporté au pouvoir calorifique. Le prix de la vapeur 30€/MWh correspond au prix de l'énergie fournie à partir de gaz, c'est-à-dire environ le prix du combustible additionné au coût de fonctionnement de la chaudière, amortissement et marges comprises. Le prix des quotas de CO₂ de 1,84€/MWh correspond au prix qu'un industriel devrait déboursier par MWh de gaz dans le cas où il a dépassé son quota d'émissions gratuites, et dans l'hypothèse d'une valorisation du marché européen du carbone à 8€/t CO₂ (valeur début 2018). Le prix des quotas de CO₂ de 11,5€/MWh correspond à la même notion dans le cas où le marché du carbone atteint 50€/tCO₂. La TGAP incinération ne doit pas être payée pour le gaz mais elle doit être payée par les installations d'incinération en proportion des tonnages incinérés.

Les quotas de CO₂ ont actuellement une influence significative sur les coûts de la vapeur produite à partir du charbon (3,4 €/MWh sur un coût total de 12€/MWh soit 28% du coût). La politique de quotas de CO₂ conduit les industriels utilisant du charbon à rechercher des combustibles alternatifs (biomasse, déchets). Les quotas de CO₂ ont une influence plus faible pour les industriels utilisant du gaz et du fioul,

²⁵ IEA données 2014-2017 – prix fuel oil France : 0,483 \$/l , 1\$= 0,9€, 39 MJ/l

²⁶ 50-60€/t – Eu Commission 2014/2015, LHV 24-28 MJ/kg

²⁷ Donnée comité de suivi RECORD

²⁸ Hypothèses : 15 MJ/kg, 10% humidité, 45% carbone sur MS, 40-50% de carbone biogénique, rendement 80%. Hypothèses RDC Environnement sur base de [1].

²⁹ Base carbone ADEME émissions liées à la combustion, hypothèse de rendement 90%

Le coût de production de la vapeur étant supérieur pour ces deux combustibles ; les quotas représentent environ 6% des coûts.

La transition du charbon au RDF permet de réduire les coûts liés aux quotas de CO₂ :

- De 3,4 €/MWh si l'installation est classée comme un incinérateur, non soumise à quotas de CO₂ et non soumise à une TGAP (cas de l'Allemagne)
- De 2-2,3 €/MWh si l'installation était classée comme un incinérateur, non soumise à quotas de CO₂ mais soumise à une TGAP de 4€/t (cadre français si les installations dédiées étaient classées comme des incinérateurs).
- De 1,2 à 1,6 €/MWh si l'installation est classée comme un coïncinérateur, soumise à quotas de CO₂ et non soumise à TGAP (cas de la France).

Cette transition est également associée à une baisse des coûts du combustible, et à une hausse des coûts de fonctionnement.

Le fait que la France classe les installations dédiées comme des coïncinérateurs renchérit de 0,7 €/MWh le prix de l'énergie RDF par rapport à un classement des installations comme des incinérateurs (prix des quotas de 8€/tCO₂). L'influence serait de 10 à 12€/MWh avec un prix des quotas de 50€/tCO₂, ce qui pourrait constituer une distorsion de concurrence entre les industriels français et ceux des autres pays.

Aux Pays-Bas, l'existence de soutiens REP (responsabilité élargie du producteur) pour le recyclage des déchets d'emballages présents dans les déchets en mélange aux Pays-Bas a motivé l'extraction de plastiques dans le processus de préparation des RDF à Wijster (Allemagne).

Les coûts

Les coûts ont été rarement fournis par les sites visités.

L'adaptation de la centrale à charbon de Fusina (Italie) a coûté environ 40-50 000€ pour les lignes d'alimentation. En outre, un équipement de post-combustion a été installé, dont le coût n'est pas connu. Le coût d'investissement total est donc a priori sous-estimé. Compte tenu de l'utilisation de 50 000 tonnes par an et d'un gain d'environ 125-155 €/t les premières années par rapport à l'utilisation de charbon, le retour sur investissement aurait été de moins d'un an sur base des données disponibles. Le rapide retour sur investissement tend à être confirmé par les commentaires qualitatifs de l'opérateur ENEL.

Pour les sites produisant de la chaleur, les coûts d'investissement/ MW de puissance nominale et le nombre d'équivalents temps plein / MW ont été calculés ci-dessous. Le CAPEX/MW est variable en fonction des caractéristiques des sites :

- il est faible (0,1-0,6 M€/MW) pour les sites qui ont été adaptés à partir d'une installation existante. Le coût d'investissement à Anjalankoski (Finlande) pourrait toutefois être sous-estimé ;
- pour de nouveaux sites, il varie de 1,0 à 1,7 M€/MW ;
- le coût d'investissement à Linz comprend l'installation de préparation de RDF et l'incinérateur et est donc peu comparable avec les autres sites.

Les deux sites finlandais visités sont ceux qui ont le plus faible besoin en personnel car ils sont automatisés. A Jepua, il n'y a pas d'opérateur la nuit et le week-end. Les 4 sites alimentant un réseau de chaleur urbain ont une demande relativement élevée en personnel par unité de puissance.

**Tableau 29: Coûts d'investissement et nombre d'employés par MW de puissance entrante
(RECORD, 2018)**

	Pays	Année de l'investissement	Ratio M€ / MW (€ constant)	Ratio M€ / MW (€ courant)	Ratio ETP / MW	Commentaire
Linz	AT	2012	2,0	2,1	0,70	Le personnel comprend uniquement les opérateurs pour l'installation d'incinération (1,8 au total pour l'entreprise comprenant préparation, incinération et personnel administratif). L'investissement comprend les 2 installations : incinération et préparation
Minden	DE	2002	ND	ND	ND	-
Korbach	DE	2008	1,0	1,1	0,43	L'investissement serait plus onéreux aujourd'hui et ne serait plus rentable, selon l'opérateur.
Anjalankoski	FI	2008	0,1	0,1	0,14	Le coût d'investissement correspond à l'adaptation de la chaudière. Ces coûts ne regroupent probablement pas l'ensemble des coûts engagés (épuration, alimentation...).
Bergame	IT	2009	ND	ND	0,64	-
Giessen	DE	2009	ND	ND	0,44	-
Bernburg	DE	2008	ND	ND	0,23	-
Witzenhausen	DE	2007	1,0	1,1	0,23	-
Landskrona	SW	2011	1,7	1,8	0,74	-
Jepua	FI	2011	1,3	1,4	0,2	Pas d'opérateur la nuit et le week-end.
Brême Blumenthal	DE	2004	0,5	0,6	0,5	Le coût d'investissement est réduit du fait de l'utilisation des bâtiments existants. BREWA estime qu'un site similaire coûterait aujourd'hui le double.

Plusieurs opérateurs ont noté l'importance des coûts de maintenance dans les coûts de fonctionnement.

- La maintenance représente 32% des coûts de fonctionnement à Wijster (Pays-Bas). A Bergame (Italie), les coûts de maintenance représentent 5 à 7% des coûts de fonctionnement.
- A Landskrona (Suède), ils représentent 2% du coût d'investissement. A Jepua (Finlande), ils représentent 1,5% du coût d'investissement.
- Plusieurs sites ont indiqué que les coûts de maintenance étaient élevés (Anjalankoski, Finlande) et plus élevés qu'attendus (Witzenhausen, Allemagne).

Influence de la taille sur les conditions économiques

Les données économiques collectées ne sont pas suffisantes pour conclure sur la rentabilité relative des petits et des gros sites ou sur le coût d'investissement/MW en fonction de la taille des sites. L'ensemble des installations visitées ont indiqué être dans une situation de rentabilité.

IV.6. Facteurs clés de succès

IV.6.1. Technologie

- Le choix de la cogénération est généralement favorable, par rapport à une production de chaleur seule, car il permet :
 - Pour les installations connectées à un chauffage urbain, d'assurer une demande en énergie en été et d'améliorer l'efficacité énergétique toute l'année. Le choix d'un système permettant de produire une gamme de puissance électrique large est souhaitable.
 - Pour les installations connectées à un industriel, la présence de turbines d'appoint permet de produire un complément d'électricité quand la demande en chaleur n'est pas maximale, et ainsi d'assurer les pics de demande en chaleur sans changer significativement le fonctionnement de la chaudière ; ceci à condition que la turbine puisse être opérée à sous-régime ou qu'un by-pass soit installé.
A noter que lorsqu'une turbine est déjà existante chez l'industriel consommateur de chaleur et que la vapeur est fournie avec des caractéristiques suffisantes pour la faire fonctionner, il est préférable de ne pas ajouter de turbine dans l'installation de valorisation énergétique, qui ne fonctionne alors pas en cogénération.
- Pour un site ayant une demande en chaleur en semaine et une demande plus basse les week-ends, le choix d'une chaudière compatible déchets et biomasse permet de diminuer les coûts par rapport à une chaudière 100% biomasse, tout en évitant d'enfreindre la législation concernant les émissions dans les périodes de sous-charge dans le cas d'une chaudière 100% déchets.
- La forte automatisation permet à plusieurs sites de fonctionner avec peu de personnel.

IV.6.2. Modèle d'affaires

- L'adaptation d'un site existant (changement de la grille ou d'une centrale à pulvérisation par un lit fluidisé, de l'alimentation et/ou de l'épuration des fumées) réduit le coût d'investissement par rapport à la construction d'un nouveau site (génie civil, bâtiment, zones de stockage, quais de réception...).
- L'intégration de la préparation et de l'utilisation au sein d'un même site (Wijster (Pays-Bas), Linz (Autriche)) ou d'un même groupe.
Cette organisation permet d'adapter plus facilement la qualité du RDF aux besoins de l'installation de valorisation et réduit les exigences en contrôle qualité. Une intégration au sein

d'un même groupe disposant de plusieurs installations de valorisation peut permettre d'acheminer chaque combustible dans l'installation la plus adaptée (Bergame, Italie).

- La recherche d'un partenariat à long-terme avec un consommateur de chaleur dont la demande en chaleur est assurée (faible risque de faillite ou de baisse de production significative). La participation des utilisateurs au capital de l'installation ou la contractualisation sont les deux moyens utilisés. La recherche de plusieurs industriels demandeurs de chaleur peut également contribuer à atténuer le risque.
- L'établissement de contrats de moyen-terme avec les fournisseurs de RDF, et le panachage de durées des contrats (contrats courts, moyen et long-terme) permet de maîtriser les quantités et les prix, tout en réduisant les risques liés à d'éventuelles baisses de la demande en chaleur. Cela est particulièrement clé pour les grandes installations ou celles pour lesquelles il y a tension sur l'approvisionnement.
- La recherche d'une demande en froid (hôpitaux, universités...) permet de compléter utilement les revenus d'une installation produisant du chauffage urbain pendant la saison estivale.
- La complémentarité des expertises déchets et énergie et la connaissance de la situation régionale du marché des déchets sont importantes dans le montage du projet.
- La polyvalence des employés et leur formation aux opérations de maintenance annuelles permet de réduire la durée des arrêts en intensifiant les opérations de maintenance, et ainsi d'augmenter le temps de fonctionnement de l'installation.
- L'interconnexion entre réseaux de chaleur permet aux différentes collectivités reliées de miser sur les énergies les moins chères en fonction des besoins en chaleur et donc de la saison.

IV.6.3. Politiques publiques

- La réglementation sur le stockage (interdiction ou taxation) contribue à augmenter les prix pour le traitement des déchets et des RDF. Ces réglementations ont rendu la préparation de RDF et la valorisation énergétique compétitives, d'une part par rapport au stockage ; et d'autre part en comparaison avec d'autres sources d'énergies telles que le gaz naturel, le charbon ou la biomasse.
- Les soutiens aux énergies renouvelables ont contribué à un retour sur investissement rapide des installations italiennes.
- Les soutiens REP attribués pour la récupération des emballages dans les déchets en mélange peuvent contribuer à soutenir la préparation de RDF et à améliorer le recyclage, mais conduit à la production de RDF de PCI moyen à bas (baisse du PCI par extraction des matières plastiques).
- Le statut d'installation d'incinération associé aux installations dédiées à la valorisation énergétique de RDF dans plusieurs pays augmente la compétitivité des installations dédiées RDF par rapport aux autres énergies fossiles. L'impact de cette interprétation sur le prix de l'énergie (par rapport au fait de la considérer comme une installation d'incinération) serait relativement modeste en tant que tel avec les prix actuels de la tonne de CO₂ (de l'ordre d'1€/MWh). Cette interprétation offre cependant des perspectives pour la filière dans le cadre d'une augmentation du prix de la tonne de CO₂, et offre aux utilisateurs d'énergie une chaleur avec une image « neutre en carbone ».
- La décision de coïncinérer des RDF avec du charbon dans la centrale de Fusina (Italie) a pu être mise en œuvre car elle avait été portée politiquement par l'Etat (actionnaire de référence de l'énergéticien qui détient la centrale), les autorités locales productrices de déchets et qui sont actionnaires du producteur de RDF, et la région en charge de l'octroi du permis.

IV.7. Freins, risques et leviers

- La baisse et la variabilité des prix d'entrée des déchets constituent un facteur déstabilisant pour le modèle d'affaires. Différentes stratégies ont été notées pour s'y adapter :
 - Baisse du PCI pour augmenter les quantités entrantes, par négociation avec les fournisseurs
 - Contractualisation
 - Diversification des revenus : valorisation matière, production de biogaz...
- La variabilité potentielle de la demande en chaleur constitue un facteur déstabilisant. Le recours à des stratégies de long terme avec les utilisateurs d'une part (voir ci-dessus) ; et à des contrats à moyen terme pour l'approvisionnement en RDF permet au site d'ajuster son approvisionnement plus facilement en cas de changement de la demande.
- Les situations de surcapacités observées aux Pays-Bas ont été compensées par un recours aux imports de déchets.
- Les relations avec le voisinage peuvent constituer un frein à la constitution et au maintien du projet, qui peut affecter toutes les installations. Les installations détenues par les autorités locales y sont particulièrement attentives pour des raisons politiques. La prévention des nuisances (installations de filtres pour réduire les nuisances olfactives, livraison des déchets uniquement entre 6h et 18h) et la mise en place d'une communication ouverte (visites, site internet, brochures...) permettent d'améliorer les relations.
- Le colmatage du lit par les métaux (non-ferreux en particulier) est un frein majeur pour les lits fluidisés. Les solutions envisageables pour réduire le colmatage sont le choix d'un lit fluidisé circulant, le fonctionnement en combustion étagée pour réduire la température de combustion dans le lit, l'utilisation de dolomite en mélange avec le sable, l'établissement de spécifications strictes de qualité du RDF pour les métaux ou l'ajout d'équipement réduisant la teneur en métaux entre la réception des RDF et l'entrée dans la chaudière.
- La corrosion est un problème important, qui réduit la durée de vie des équipements et engendre des coûts supplémentaires. Elle peut être maîtrisée par des spécifications strictes dans les cahiers des charges sur la qualité du RDF (Cl, S...). L'utilisation de matériaux adaptés pour les parties clés de la chaudière est importante. De nombreuses installations visitées ont remplacé leurs matériaux par des alliages plus résistants à la corrosion.
- L'adaptation de sites anciens a un revers : certains dispositifs doivent être ajoutés pour pallier le caractère obsolète de l'installation, par exemple au regard de l'isolation thermique.
- La faillite du constructeur de chaudière a complexifié le travail de maintenance de l'installation de Minden (Allemagne). Plusieurs mois à années ont été nécessaires pour identifier les partenaires locaux en mesure de fournir des pièces de remplacement.

IV.8. Perspectives pour les sites

Les risques liés à une baisse de l'approvisionnement ont été considérés, notamment pour les sites utilisant des déchets anglais, dont l'approvisionnement pourrait être compromis par l'augmentation des capacités de traitement au Royaume-Uni. Cependant, ils n'ont pas été jugés majeurs par les sites concernés.

- Le site de Wijster (Pays-Bas) a assuré son modèle économique en diversifiant ses sources de revenus (valorisation de la fraction organique, récupération des plastiques...).
- Le site de Landskrona (Suède) n'utilise que 10 000 tonnes de déchets anglais qu'il pense pouvoir remplacer en cas de besoin. De plus, la tendance pour ce site est plutôt à l'augmentation des prix de traitement pour le RDF, une tendance plutôt favorable.

L'évolution potentielle de la composition des déchets en mélange (baisse des organiques car collecte séparée, baisse des plastiques car extension des consignes de tri...) n'est pas considérée comme un risque ou ce risque n'est pas bien appréhendé.

V. Conclusions

La numérotation des conclusions n'a pas de valeur hiérarchique.

V.1. Typologie de CSR et de « filière » CSR

Conclusion A. A l'étranger les RDF sont préparés à partir de déchets non dangereux et valorisés énergétiquement soit dans des installations dédiées (principalement RDF non normé), soit en cimenterie et centrale à charbon (principalement RDF normé).

A l'étranger, la plupart des RDF utilisés en installations dédiées ne répondent pas à la définition du CSR de la réglementation française, en termes de seuils et de contrôle qualité. En particulier, le RDF allemand utilisé dans les installations dédiées au RDF est majoritairement un RDF de qualité moyenne, les RDF de haute qualité étant mobilisés par la filière cimentière et les centrales à charbon.

D'autre part, les modalités de fonctionnement des installations dédiées ne correspondent pas à la façon dont la filière est conçue en France à travers les différents appels à projets et notes stratégiques. Par exemple, certains pays utilisent essentiellement des RDF produits à partir d'ordures ménagères résiduelles (OMR) en installations dédiées (Allemagne, Autriche).

Il est important de conserver la dualité des termes (RDF / CSR) afin d'éviter la confusion : le RDF est le terme général, le CSR désigne le combustible répondant au cadre français.

Les RDF des installations dédiées visitées ne sont pas conformes, en général, à la définition réglementaire française du CSR au regard :

- des seuils de qualité, en particulier concernant le pouvoir calorifique inférieur (PCI) : des combustibles de PCI inférieurs à 12 MJ/kg (valeur minimale de la réglementation française) sont considérés comme des RDF et entrent dans des installations dédiées à la valorisation énergétique ;
- des combustibles utilisés : dans certaines installations, des déchets non dangereux non préparés en mélange peuvent entrer dans les installations utilisant des RDF ;
- du contrôle qualité, nettement moins exigeant qu'en France par le nombre et la nature des paramètres suivis, la fréquence et les modalités de contrôle.

D'autre part, les installations dédiées aux RDF en Allemagne, en Autriche et en Italie utilisent essentiellement des RDF produits à partir d'ordures ménagères résiduelles (OMR), quand pour l'instant la France conçoit les installations dédiées à la valorisation énergétique de CSR prioritairement comme un mode de valorisation énergétique des déchets d'activités économiques.

Dans cette étude, le terme RDF (Refuse Derived Fuel) fait référence aux combustibles préparés à partir de déchets non dangereux à l'étranger et le terme CSR est réservé aux déchets se conformant à la définition réglementaire française et à la filière en construction en France.

Conclusion B. Certains pays utilisent les RDF issus d'OMR en centrale à charbon et en cimenterie.

Ces RDF peuvent atteindre les conditions techniques (PCI, qualité) à prix compétitif, moyennant un procédé de TMB adéquat et un prix de traitement alternatif des déchets élevé. Les centrales à charbon acceptent ce flux à hauteur de 5% en masse de l'approvisionnement total. Des adaptations de l'épuration des fumées sont à réaliser au niveau de la centrale à charbon.

En France, l'utilisation de CSR produits à partir d'OMR n'est pas éligible aux soutiens dans le cadre de l'appel à projet CSR et la filière s'oriente davantage vers les DAE.

Moyennant un prix des déchets d'environ 95€/t en entrée de préparation, les installations de traitement mécano-biologique (TMB) sont en mesure de préparer à partir d'OMR et à prix compétitif (positif, autour de 0-30€/t) pour des RDF broyés finement, dont le pouvoir calorifique est supérieur à 20 MJ/kg. On estime le coût de préparation entre 95 et 125€/t. Le rendement de préparation atteint 55% à Fusina (Italie) avec un procédé de séchage biologique.

Les centrales à charbon pulvérisé sont en mesure d'accepter ces RDF à hauteur de 5% en masse de combustible, moyennant une adaptation de l'alimentation, et une adaptation de l'épuration des fumées pour abattre les dioxines (par exemple à Fusina (Italie), par l'installation d'une post-combustion à 1100-1200°C.

Conclusion C. Contrairement à la situation française, les installations produisant et celles utilisant du RDF de façon dédiée ne forment pas de « filière » organisée dans les pays étudiés.

- **Il n'y a pas ou il n'y a pas eu de logique de construction de filière de la part des autorités publiques (cadre réglementaire, observation), à l'exception de l'Italie**
- **Il n'y a pas de cadre réglementaire spécifique pour les installations dédiées à la valorisation énergétique des CSR : celles-ci sont réglementées, en fonction des pays, sous le régime de l'incinération ou de la coïncinération ;**
- **La norme européenne n'est utilisée par les installations dédiées que lorsqu'elle est exigée (ce qui est rarement le cas) et les critères qualité sont en pratique le plus souvent convenus entre fournisseur et utilisateur.**
- **Il y a peu de concertation entre acteurs privés actifs sur le marché (fédération, normes qualité).**

A l'exception de la France et de l'Italie, il n'existe pas de politique publique dont l'objectif est de construire ou d'encadrer la filière CSR dans les pays étudiés :

- le cadre réglementaire applicable n'est pas spécifique au RDF³⁰ : pas de définition réglementaire du RDF, pas d'exigences réglementaires nationales de qualité et de contrôle qualité applicable aux producteurs. Les installations dédiées sont réglementées, en fonction des pays, sous le régime de l'incinération ou de la coïncinération ;
- les autorités publiques interrogées ont une vision partielle du marché des RDF, notamment en Allemagne : les quantités mises en œuvre, les prix et les dynamiques sont mal connus car non centralisés ;

A ce titre, l'Italie constitue une exception puisqu'elle exige du RDF normé (CSS) qu'il soit conforme à la norme européenne, et qu'elle a défini des critères de sortie de statut de déchets applicables aux RDF (bien que non appliqués en pratique).

³⁰ L'Autriche a introduit le terme RDF dans sa réglementation (en allemand Ersatzbrennstoffe), mais cette définition n'est pas associée à des critères qualité ou de contrôle qualité, et elle regroupe également des combustibles non préparés.

Nous avons identifié peu de processus ou d'organes de concertation des acteurs privés sur le marché des RDF. La fédération européenne des combustibles solides de récupération (ERFO) dispose de peu de données sur le marché. L'existence d'une fédération nationale a été identifiée uniquement en Allemagne (BGS e.V.). Les installations dédiées aux RDF visitées n'utilisent la norme européenne que lorsqu'elle est exigée (ce qui est rarement le cas) et les critères qualité sont en pratique le plus souvent convenus entre fournisseur et utilisateur. Le seul pays disposant d'une norme nationale est l'Allemagne (RAL-GZ 724), mais elle est principalement destinée aux RDF à destination des cimenteries, fours à chaux et centrales thermiques à lignite, et elle n'est pas utilisée en pratique pour les installations dédiées (aucune des 6 installations visitées ne l'utilise). Toutefois, certains acteurs ont développé une forme de spécialisation sur ce marché, à la fois chez les fabricants d'équipements (Valmet, B&W Volund) et chez les opérateurs (EEW en Allemagne).

Conclusion D. La cogénération est souvent le type de traitement le plus rentable car la production de chaleur permet de meilleurs rendements, et que la production d'électricité permet de gérer les fluctuations de la demande en chaleur. Cette solution est adoptée et recommandée par la plupart des installations visitées. En France, les unités de cogénération sont exclues de l'appel à projet CSR.

Concernant les autres paramètres du modèle économique, il existe presque autant de choix viables que d'installations valorisant les RDF. Il est difficile de dégager des modèles types.

Les modèles économiques viables rencontrés sont très variables en termes de :

- Taille des installations ;
- Nature de l'utilisateur d'énergie : industrie et type d'industrie ;
- Acteurs publics ou privés;
- Intégration verticale plus ou moins poussée et type d'intégration : installations détenue par le fournisseur de RDF, par l'utilisateur de l'énergie ou aucun des deux ;
- Type d'actionnariat : public, privé ;
- Installation neuve ou adaptée
- ...

Des stratégies viables sont définies au cas par cas.

Conclusion E. La grande majorité des installations en fonctionnement en Europe fonctionne par combustion, la gazéification occupant une place mineure. Lit fluidisé et grille se partagent le marché, le lit fluidisé étant principalement utilisé lorsque l'installation n'utilise pas que des RDF (biomasse, boues, farines animales...) ou des RDF à haut PCI.

Parmi les 60 installations dédiées à la valorisation énergétique de RDF identifiées en Europe, seules 2 installations de gazéification ont été identifiées, l'une d'entre elles étant en phase pilote.

V.2. Moteurs du développement de la production et de l'utilisation de RDF en Europe

Conclusion F. A l'étranger, les installations produisant et celles utilisant du RDF n'ont pas émergé comme conséquence d'une politique publique dont l'objectif aurait été de développer une filière RDF. Elles ont émergé par la combinaison des facteurs suivants (par ordre d'importance) :

1. une conjoncture des prix de l'énergie fossile élevés et croissants avant crise, poussant les consommateurs d'énergie à chercher des alternatives (cf Conclusion G);
2. des déchets combustibles disponibles à prix compétitif, conséquence de la mise en œuvre d'instruments de politiques publiques visant à réduire l'enfouissement sous forme d'interdiction et/ou de taxation dissuasive.
3. un système de quotas de CO₂ européen favorisant globalement les énergies alternatives par rapport aux énergies fossiles les plus carbonées ;
4. un classement des installations dédiées RDF en incinération, exonérant ainsi la chaleur RDF de quotas de CO₂, en l'absence de taxe incinération (voir Erreur ! Source du renvoi introuvable.) ;

Les facteurs 2 et 4 ont été mis en œuvre de façon nationale et expliquent que les RDF occupent une place différente en fonction des pays européens. Les facteurs 1, 2 et 4 ne sont pas aujourd'hui réunis en France : prix bas de l'énergie, CSR non compétitifs, installations de production de chaleur CSR classées en co-incinération et soumises à quotas de CO₂.

Avant la crise de 2009, le contexte des prix (élevés) de l'énergie était favorable au RDF. Il a motivé les utilisateurs d'énergie à identifier des alternatives aux énergies fossiles. Leur motivation première était la hausse du prix de l'énergie et a pu jouer favorablement sur les prix négociés entre l'installation dédiée à la valorisation énergétique de RDF et l'utilisateur d'énergie.

Les politiques publiques interdisant le stockage des déchets non préparés et des déchets combustibles, et celles taxant la mise en stockage ont eu pour conséquence d'augmenter le coût de traitement des déchets, et sont le principal facteur ayant contribué à favoriser la préparation de RDF.

En Allemagne, en Autriche, en Italie et au Royaume-Uni, les restrictions et la taxe à l'enfouissement se sont mises en place alors que les capacités d'incinération d'OMR n'étaient pas suffisantes pour absorber les déchets ne pouvant plus être stockés. Le tri mécano-biologique et le tri mécanique ont constitué ou constituent encore des solutions présentant un coût d'investissement moindre que l'incinération. Ces procédés conduisent à la production d'un RDF. Dans un premier temps, celui-ci est coïncinéré dans les installations existantes (cimenteries, centrales à charbon, fours à chaux) ou exporté. Dans un second temps, des installations dédiées se développent. La construction des installations produisant et utilisant du RDF s'est donc faite de façon non-concertée, dans un contexte de sous-capacités.

Dans d'autres pays ayant conduit simultanément réduction du stockage et hausse des capacités d'incinération (Belgique, Finlande, Norvège, Pays-Bas, Suède, France), les installations produisant ou utilisant du RDF se sont construites progressivement et la production de RDF/CSR est plutôt une solution d'appoint pour les refus de tri, alors que les déchets en mélange sont dirigés vers l'incinération directe. Aux Pays-Bas et en Suède, les surcapacités conduisent à importer des RDF.

Le système européen d'échange de quotas de CO₂ conduit à renchérir le coût total des énergies fossiles les plus carbonées pour les industries, les réseaux de chaleur et les installations de production d'électricité. Les quotas de CO₂ représentent 28% des coûts de la vapeur produite à partir de charbon selon ce rapport (3,36 €/MWh pour un prix de 12€/MWh, partie Conditions économiques IV.5), et de l'ordre de 6% de la vapeur produite à partir de gaz ou de fioul. Cette politique, et la hausse attendue du

prix des quotas de CO₂ favorise donc la transition vers des énergies non soumises à quotas (bois, déchets dans certains pays...). L'effet de levier est d'autant plus grand pour les pays qui, à l'instar de l'Allemagne, ne soumettent pas les installations dédiées RDF aux quotas de CO₂ (en les classant comme des incinérateurs) et qui n'ont pas de TGAP sur l'incinération (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Conclusion G. Les consommateurs de chaleur sont le plus souvent porteurs des projets d'installations de production de chaleur / à la cogénération à partir de CSR, pour des raisons économiques et environnementales. Ils sont souvent actionnaires partiels (avec le fournisseur de CSR ou l'opérateur) ou uniques du site.

Les motivations principales des consommateurs de chaleur sont :

- Economiques : la perspective de prix de l'énergie, la diminution des quotas de CO₂ associés à la chaleur consommée, en particulier pour les industries soumises à concurrence internationale et qui cherchent à améliorer leur compétitivité (chimie, textile, papier) ;
- Environnementales : la réduction des émissions de CO₂ par rapport à la chaleur produite à partir de charbon, et l'utilisation d'énergies renouvelables.

Conclusion H. Contrairement aux politiques déchets nationales, les politiques publiques énergétiques nationales n'ont que faiblement contribué au développement des installations dédiées à la valorisation énergétique des RDF.

Le contexte énergétique mondial avant crise et le mécanisme européen de quotas de CO₂ ont contribué au développement des installations de valorisation énergétique des RDF (voir Conclusion F). Ces éléments étaient également valables en France.

En revanche, les politiques énergétiques nationales n'ont eu qu'un impact modéré sur le développement de la filière. Les éléments identifiés sont les suivants :

- La place du charbon dans le mix électrique national : l'existence de centrales électriques à charbon a offert un débouché supplémentaire aux RDF, notamment en Allemagne, Autriche et Italie (par rapport à la cimenterie, qui constituait le débouché historique).
- Les soutiens à l'énergie renouvelable (certificats verts, compléments de rémunération) ne sont applicables aux installations utilisatrices de RDF qu'aux Pays-Bas et en Italie. Dans les deux cas, le mécanisme de soutien n'est pas spécifique aux RDF mais les installations valorisant des déchets sont éligibles. En Italie, l'impact de ces soutiens sur la rentabilité a été élevé. Pour l'un des sites visités, la rentabilité est toutefois assurée sans soutiens.
- Des soutiens nationaux à l'investissement ont été reçus par seulement 2 sites parmi les 13 sites visités en Europe : pour la cogénération, et pour la R&D. Ces soutiens ont été qualifiés de non déterminants dans le modèle économique. Ils ne sont pas spécifiques aux installations dédiées aux RDF.

V.3. Cadre réglementaire

Conclusion I. Le régime réglementaire français concernant la préparation du CSR et le contrôle de la qualité du CSR reçu par les utilisateurs est unique.

Dans les pays étudiés, la qualité du RDF n'est pas encadrée par la réglementation. Elle peut être encadrée par les permis dans quelques pays, au cas par cas, mais elle est le plus souvent encadrée par des accords entre producteurs et utilisateurs selon des critères techniques et afin de respecter les valeurs limites d'émission.

Le contrôle qualité exigé en Italie, en Finlande et en Suède concerne un nombre de paramètres plus faible qu'en France.

En Allemagne, en Autriche et en Suède, les installations valorisant énergétiquement des RDF ne sont pas tenues de valoriser uniquement du RDF et elles peuvent également valoriser d'autres déchets non-dangereux si les conditions techniques le permettent.

A l'étranger, il n'existe pas de cadre réglementaire dédié aux installations valorisant des RDF. Les installations sont soit réglementées par le cadre incinération, soit par le cadre coïncinération, en fonction des interprétations nationales. En pratique, les exigences réglementaires sont conformes à l'IED et similaires au cadre français.

Le régime réglementaire français concernant la préparation du CSR et le contrôle de la qualité du CSR reçu par les utilisateurs exige notamment les éléments suivants :

- Les préparateurs de CSR doivent conduire une caractérisation chimique au moins 4 fois par an, et 8 fois par an sur des installations recevant plus de 50t/jour. Les paramètres à suivre incluent les paramètres à caractériser obligatoirement selon la norme européenne EN 15359, et y ajoute d'autres paramètres (caractérisation chimique notamment C, O, H...).
- Les préparateurs de CSR doivent caractériser une fois par an les flux de déchets utilisés dans le processus de fabrication de CSR et justifier de l'absence de débouchés de valorisation matière pour ces déchets.
- Des valeurs seuils sont introduites pour les paramètres suivants :
 - PCI > 12 MJ/kg ;
 - Cl < 1.5% MS ;
 - Hg < 0,25 mg/MJ ;
 - brome (Br) : 15 000 mg/kg de matière sèche ;
 - total des halogénés (brome, chlore, fluor et iode) : 20 000 mg/kg de matière sèche.
- Les installations utilisatrices doivent caractériser les CSR au moins une fois par an et par fournisseur (mêmes paramètres chimiques).
- Les installations utilisatrices doivent atteindre une efficacité énergétique de 70% (30% en été pour les installations connectées à un réseau de chaleur urbain).
- Les installations utilisatrices doivent s'assurer de la qualité constante du CSR, notamment au regard du PCI.
- Les installations utilisatrices doivent contrôler visuellement chaque lot à réception.

A l'étranger, certains pays ont introduit des critères qualité:

- l'Italie dispose d'une définition réglementaire du RDF normé, et impose le respect de la norme européenne pour utiliser le nom RDF et le code déchet 19 12 12. Cela revient à exiger un contrôle qualité similaire à celui exigé en France (certains paramètres chimiques en moins). Au niveau des sites, les classes de RDF tolérées peuvent être précisées dans le permis environnemental, ce qui revient à introduire des valeurs seuils pour les paramètres Hg, Cl et pouvoir calorifique.
- la Finlande introduit des exigences particulières dans les permis d'exploiter, notamment relatives à l'origine des RDF, à des seuils de qualité (sur un nombre réduit de paramètres) et au contrôle qualité.

En Allemagne et en Suède, il n'existe pas d'exigences qualité réglementaires. En Autriche, les exigences qualité concernent les combustibles entrant en « coïncinération », ce qui en Autriche ne s'applique pas aux installations utilisant uniquement du RDF.

Dans ces trois pays, la qualité des RDF est convenue entre fournisseur et utilisateur selon des critères techniques et afin de respecter les valeurs limites d'émission. Si les conditions techniques le permettent, les installations valorisant énergétiquement des RDF sont autorisées à valoriser d'autres déchets non-dangereux (boues de STEP, déchets dangereux non préparés, si les conditions techniques le permettent).

Il n'existe pas, dans les pays étudiés, de statut réglementaire particulier applicable aux installations dédiées à la valorisation de RDF. Ces installations sont réglementées par les cadres applicables soit à l'incinération soit à la coïncinération, selon les interprétations nationales. Les valeurs limites d'émission et les exigences relatives au contrôle des fumées sont similaires à celles en vigueur en France. Des exigences plus contraignantes existent au niveau local, en fonction de l'implantation des installations.

Conclusion J. L'évolution des gisements ou de la qualité des déchets n'est pas source d'inquiétude des exploitants quant à l'avenir de leur installation. A court/moyen-terme ils ne perçoivent pas de risque d'approvisionnement ; à long-terme cela est difficile à prévoir.

La conception d'installations pouvant utiliser d'autres combustibles que des RDF n'est pas exigée à l'étranger. Quelques installations ont été conçues pour pouvoir valoriser également de la biomasse, principalement pour des raisons économiques. Des stratégies sont développées pour pallier les variations de quantité et de qualité des déchets .

Seules 3 installations sur 13 ont été conçues pour brûler de la biomasse. Une seule l'a faite pour des raisons de maîtrise du risque d'approvisionnement, sans que cela ait été exigé par la réglementation. Les exploitants envisagent les imports, la diversification des sources de revenus (extraction de certains déchets pour le recyclage) ou la contractualisation à long terme comme des moyens de réduire le risque d'approvisionnement.

Conclusion K. Le statut donné aux installations valorisant des RDF dans un but de production d'énergie est hétérogène en Europe (incinération vs. coïncinération). Cela conduit à des distorsions de concurrence concernant les quotas de CO₂ et le design des installations.

L'impact de cette distorsion est faible actuellement (<1€/MWh) mais s'amplifierait si le prix des quotas augmente. Cela est susceptible de favoriser :

- **les industriels utilisateurs d'énergie localisés dans des pays où les installations dédiées sont considérées comme des incinérateurs (Allemagne, Autriche, Italie).**
- **et donc l'export de RDF vers ces pays, au détriment de la valorisation locale.**

Le fait que la France classe les installations dédiées comme des coïncinérateurs renchérit de 0,7 €/MWh le prix de l'énergie RDF par rapport à un classement des installations comme des incinérateurs (prix des quotas de 8€/tCO₂ sur la base d'une TGAP incinération de 4€/T). L'influence serait de 10 à 12€/MWh avec un prix des quotas de 50€/tCO₂ et une TGAP incinération maintenue à 4€/T, ce qui pourrait constituer une distorsion de concurrence entre les industriels français et ceux des autres pays.

L'Allemagne, les Pays-Bas, l'Autriche et l'Italie considèrent les installations dédiées comme des incinérateurs. La Suède, la Finlande et la France les considèrent comme des coïncinérateurs.

Conclusion L. Dans les installations visitées mesurant le contenu renouvelable du RDF, la mesure est réalisée par caractérisation (Finlande, Italie) et/ou par l'utilisation de valeurs moyennes nationales (Pays-Bas, Suède, Finlande), mais pas par mesure du C¹⁴ à la cheminée.

En Finlande, la teneur en carbone biogénique dans le RDF est déterminée par des valeurs moyennes nationales lorsque la proportion de RDF est faible et par des caractérisations lorsque la proportion de RDF est élevée.

En Suède et aux Pays-Bas, des valeurs moyennes sont utilisées pour déterminer la teneur en carbone biogénique.

A Fusina (Italie), la méthode de dissolution sélective est utilisée pour déterminer la teneur en carbone biogénique du RDF. Les méthodes utilisées par les autres sites ne sont pas connues.

En Allemagne et en Autriche, la teneur en carbone biogénique n'est pas mesurée puisque les installations ne sont ni soumises à quotas de CO₂, ni éligibles à des soutiens à l'énergie renouvelable produite.

V.4. Soutiens

Conclusion M. A l'exception des installations italiennes, les installations étudiées semblent rentables sans soutiens publics. Deux éléments de contexte qui ne sont pas valables aujourd'hui en France l'expliquent :

- **un cadre de prix du traitement des déchets plus élevé qu'en France, lié à des instruments de politiques publiques nationaux visant la réduction de l'enfouissement.**
- **un prix du pétrole élevé au moment de l'investissement. Cet effet de conjoncture n'est plus valable en 2017-2018 mais pour les installations existantes, les conditions restent favorables car les installations sont (en grande partie) amorties. Ce facteur n'est pas différenciant entre les pays étudiés mais donne un avantage aux installations amorties.**

Tous les sites sont rentables selon les personnes interrogées (il n'y a pas eu de vérification comptable). Les sites ayant reçu des soutiens à l'investissement (un site en Allemagne, un site en Finlande) ont indiqué que ces soutiens n'étaient pas déterminants.

Les sites italiens ont reçu jusqu'en 2016 des soutiens à l'énergie renouvelable, qui ont eu un impact élevé sur les recettes. Ces installations sont désormais rentables sans ces soutiens mais le retour sur investissement a été accéléré, ce qui ne permet pas de conclure si ces soutiens sont ou non déterminants dans le modèle économique actuel.

Le site hollandais était déjà rentable sans soutiens (avant 2012).

Le contexte du prix du traitement des déchets est clé et il est différenciant entre les pays étudiés. Ainsi, les pays où les installations sont rentables sans soutiens publics sont ceux où le stockage des déchets ménagers bruts est interdit et/ou le prix des solutions de traitement alternatives (stockage ou incinération) est nettement supérieur aux prix du traitement des déchets en France :

- Tous les pays étudiés, à l'exception de l'Italie et de la France ont interdit le stockage des déchets non prétraités et/ou introduit un prix du stockage prohibitif à cause d'une taxe (> 120€/t en Angleterre). C'est en particulier le cas en Allemagne, en Autriche et en Finlande qui ont développé une production et une utilisation de RDF sur le territoire.
- En France en 2015, le prix du stockage s'élève en moyenne à 85€/t et le prix de l'incinération à 120€/t. Les installations de production et de valorisation de CSR peinent à émerger.
- En Italie, le prix du traitement des déchets municipaux est variable et les prix de référence ne sont pas connus. A titre d'exemple, à Fusina (Vénétie), le prix du stockage est de 80€/t et le prix de l'incinération de 95€/t. Des RDF sont produits principalement à destination des cimenteries. Les deux autres installations identifiées (centrale à charbon, installation dédiée) ont largement bénéficié des certificats verts.

Notons également qu'un prix d'incinération directe faible conduit à une faible production nationale de RDF. Les pays où le prix de l'incinération est inférieur à 100€/t, et inférieur au prix du stockage (Suède, Norvège, Wallonie, Pays-Bas) ont une faible production de RDF domestique. Les déchets sont plutôt envoyés vers l'incinération directe que vers la préparation de RDF. Il ne s'agit pas du contexte français.

Le contexte des prix de l'énergie élevés et en hausse avant crise a pu contribuer à négocier des prix (parfois) à long terme de l'énergie RDF favorables pour les installations de valorisation énergétique, et ainsi accélérer leur amortissement. Le prix relativement bas de l'énergie depuis 2014 constitue un frein à l'investissement. Ce facteur n'est toutefois pas différenciant entre pays.

VI. Recommandations pour la France

La numérotation des recommandations n'a pas de valeur hiérarchique.

VI.1. Réglementations

Recommandation A. Interdire le stockage de certains déchets non dangereux ou augmenter significativement le niveau de taxation effectif sur le stockage des déchets non dangereux valorisables (recyclables ou valorisables énergétiquement). Ceci vise à augmenter les prix de traitement des déchets non dangereux pour permettre l'émergence de capacités de traitement alternatifs (valorisation énergétique, recyclage). Pour permettre à la filière d'émerger, le prix du stockage doit notamment dépasser celui de l'incinération directe (qui s'élève en moyenne 121 €/t en France en 2012).

Tous les pays pour lesquels des installations de production et/ou d'utilisation de RDF se sont développées ont introduit des restrictions quant à la nature des déchets pouvant être stockés, ou mis en place un niveau de taxation sur le stockage des DND qui incite à réduire l'enfouissement, ou les deux.

Le prix du stockage des DND est actuellement de l'ordre de 81€/t (2012) en France. Le niveau de la TGAP (taxe générale sur les activités polluantes) s'appliquant au stockage des DND en France est de 40€/t en cas de base, mais il est en moyenne de 16€/t après réfaction (2012). Ceci est donc insuffisant pour détourner des déchets non recyclables de la mise en décharge vers la filière CSR, compte tenu du prix l'incinération directe en France (qui s'élève en moyenne 121 €/t en France en 2012).

En Allemagne (Land Hessen), le *gate fee* pour les installations de traitement est de 100 €/t, et il était d'environ 130€/t en 2005, au moment où une grande partie des installations produisant du CSR ont émergé. De plus, le contexte de prix de l'énergie était plus favorable avant crise, ce qui était également favorable à l'émergence de la filière.

Recommandation B. Annoncer les restrictions sur le stockage à l'avance, les mettre en œuvre de façon progressive, et y associer une planification des capacités de traitement au niveau régional et national sont des facteurs favorables au développement à long terme de la filière au niveau national.

Les capacités de traitement des déchets, y compris la préparation et l'utilisation de «RDF», doivent être planifiées, en lien avec la politique de restriction du stockage, de prévention, de collecte séparée et de recyclage, afin d'éviter les situations :

- de souscapacités. L'Angleterre, a multiplié sa taxe sur le stockage des déchets non dangereux par plus de 3 en 10 ans. Cependant, en l'absence de capacités de traitement alternatives, 3,2 Mt de RDF sont exportées en 2016. Les restrictions sur le stockage seules ne garantissent pas l'émergence d'une filière nationale de production et d'utilisation.
- de surcapacités. Les pays, et notamment l'Allemagne, n'ayant pas ou pas suffisamment bien coordonné la planification de leurs capacités de traitement, doivent aujourd'hui recourir aux imports de déchets. Des installations de traitement, et en particulier les préparateurs de «RDF» sont en difficulté financière, faute de rentabilité économique.

L'absence de planification augmente le risque des investissements et induit des situations de concurrence non optimisées, ce qui va augmenter le prix de traitement, et affecter les détenteurs de déchets (municipalités et entreprises).

En effet, si la demande en RDF est plus forte que prévue, les détenteurs de déchets ou les préparateurs de RDF qui ont des contrats à long terme feront payer trop cher les acteurs qui se seront mis en aval du marché (en raison de la prime de risque et d'un marché pas assez concurrentiel).

Si la demande est plus faible que prévue, les installations sont surdimensionnées, et il y a des risques de faillite, ce qui de plus mettrait les acteurs en amont et en aval (fournisseurs ou clients) dans des situations délicates.

Ainsi il est souhaitable de limiter le risque par la planification pour maîtriser modes et coûts de traitement.

Recommandation C. Evaluer les coûts et les bénéfices engendrés par la réglementation française applicable à la filière CSR (notamment arrêté du 23 mai 2016), en particulier ceux liés aux exigences redondantes (contrôle de composition à l'entrée et normes d'émissions pour les gaz de combustion) ou à enjeu environnemental faible ou nul (teneur en oxygène). Cette évaluation devrait être réalisée à court terme, afin d'envisager une révision de la réglementation.

Cette évaluation devrait analyser :

- Les bénéfices de la réglementation : dans quelle mesure ces exigences contribuent à la protection de l'environnement et à améliorer l'image et l'acceptation de la filière ? Selon les expériences étrangères, l'enjeu d'acceptation de la filière, également prégnant ailleurs en Europe, peut être résolu par une démarche de transparence et de dialogue avec les riverains.
- Les coûts de la réglementation : dans quelle mesure renchérit-elle les coûts des CSR et des installations utilisatrices ? Si ces surcoûts sont significatifs et susceptibles de freiner le développement de la filière, il sera nécessaire d'augmenter les soutiens publics directs (investissement, énergie renouvelable) et/ou indirects (instruments de réduction de l'enfouissement).

Enfin, si une révision du régime réglementaire s'avère pertinente, il faudrait évaluer sa chronologie et ses délais de mise en œuvre, en tenant compte du risque de déstabiliser une filière encore en construction.

La coïncinération est encadrée en général par la directive IED et sa transposition au niveau français. L'introduction du cadre réglementaire applicable aux installations classées 2971 produisant de la chaleur ou de l'électricité à partir de CSR introduit un cas particulier dans le régime général de la coïncinération. La France a défini de nombreuses exigences complémentaires au régime général en ce qui concerne le contrôle qualité et la qualité du RDF, l'efficacité énergétique des installations et le contrôle de la possibilité d'une valorisation matière.

Il conviendrait de limiter les dispositions qui contraignent l'organisation de la filière si elles ne sont pas nécessaires à la protection de l'environnement et de la santé humaine. En effet, elles sont susceptibles de renchérir les coûts de fonctionnement des sites préparateurs et utilisateurs de «RDF», et donc d'augmenter le besoin en soutiens publics pour le développement de la filière si la filière n'est pas équilibrée économiquement.

Par exemple, la réglementation actuelle semble introduire des exigences redondantes pour répondre aux mêmes objectifs :

- Pour garantir la protection de la santé publique, la réglementation introduit à la fois des seuils de teneur en polluants sur le «RDF» (Cl, Hg, halogènes) et un encadrement des émissions liées à la teneur en ces polluants (dioxines et furanes, Hg, HF, HCl). Notons que la teneur en chlore est également associée aux phénomènes de corrosion, mais que ceux-ci ont d'abord un effet sur les coûts de l'installation et sont donc pris en compte par le marché.
- Pour garantir une haute efficacité énergétique, la réglementation introduit à la fois un pouvoir calorifique minimal (12 MJ/kg), une obligation de dimensionnement de l'installation pour répondre à un besoin de chaleur ou d'énergie thermique identifié et quantifié, et un rendement minimal de l'installation à démontrer mois par mois (>70% pour les installations de production de chaleur). Cette dernière exigence peut être difficile à remplir si le besoin en chaleur de

l'industriel ou du réseau de chaleur urbain est variable au cours de l'année. Il est également important de noter qu'indépendamment de l'exigence réglementaire, les utilisateurs de «RDF» ont intérêt à optimiser le rendement de leur installation une fois le besoin de chaleur identifié, dans un objectif économique.

Les paramètres que le préparateur de RDF doit suivre sont nombreux et n'apparaissent pas pertinent pour certains d'entre eux (teneur en N, C, O...).

Le caractère obligatoire de ce suivi laisse peu de flexibilité aux acteurs de définir les paramètres les plus pertinents en fonction des types de déchets utilisés (teneur en soufre si risque de plâtre, en Cl si risque de PVC...) ou des technologies de chaudière employées. En pratique, les installations étrangères visitées suivent un nombre plus réduit de critères, sans que cela conduise à des dépassements des valeurs limites d'émission.

Le besoin pour le producteur de RDF de faire réaliser les analyses par des laboratoires externes et l'exigence pour l'utilisateur de réaliser des analyses de même nature une fois par an et par fournisseur sont également de nature à renchérir les coûts.

Notons que les exigences sur la qualité du «RDF» et l'efficacité énergétique sont perçues par les acteurs comme nécessaires à la confiance des riverains dans la filière, afin qu'elle puisse être clairement distinguée de l'incinération, qui fait l'objet de fortes réticences. La réticence des riverains constitue un frein à l'autorisation des sites. Ces réticences ont également été rencontrées à l'étranger, et ont pu être surmontées par certaines exigences réglementaires (contrôles des teneurs en polluants dans les cultures agricoles aux Pays-Bas) ou par un travail approfondi de la relation publique, de la part des opérateurs de sites, et parfois avec le soutien des autorités locales (visites de site, réunions publiques).

Par ailleurs, les cendres volantes sont classées comme déchets dangereux et il n'existe pas de procédure pour les déclasser comme des déchets non dangereux sur base d'analyses de la qualité des cendres. Cette réglementation, non spécifique à la filière CSR, pénalise la solution technologique des lits fluidisés produisant plus de cendres volantes. Or cette technologie présente l'avantage de pouvoir gérer les flux de déchets variés. On risque donc de limiter la diversité des installations et donc des types de CSR qui peuvent être valorisés.

A court terme, il est recommandé d'évaluer le coût de ces différentes exigences pour les installations de préparation et d'utilisation de RDF en fonctionnement ou à venir en France, afin d'analyser leur pertinence par rapport à l'objectif poursuivi.

Recommandation D. Discuter du statut réglementaire des installations dédiées aux «RDF» afin d'éviter les éventuelles distorsions de concurrence entre industriels européens utilisateurs de chaleur et les exports des RDF français.

Discuter au niveau européen d'exempter de quotas de CO₂ les installations de coïncinération utilisant 100% de déchets.

Selon notre lecture de la définition de l'incinération et de la coïncinération au niveau européen (directive IED 2010/75UE), les installations dédiées aux «RDF» et dimensionnées selon un besoin en énergie, même si elles utilisent intégralement des déchets, devraient être classées sous le régime de la coïncinération. C'est bien l'interprétation qui a été retenue en France. Cette interprétation a pour conséquence que les installations utilisant de la chaleur produite à partir de «RDF» doivent se soumettre aux quotas de CO₂ pour la fraction non renouvelable de l'énergie produite. Cette

interprétation présente des avantages pour les installations utilisatrices, notamment en termes de dimensionnement des installations³¹.

En revanche, l'Allemagne, l'Autriche et l'Italie considèrent les installations dédiées aux «RDF» comme des installations d'incinération, ce qui a pour conséquence d'exempter l'industriel ou le réseau de chaleur de quotas de CO₂ pour l'énergie «RDF» utilisée. Notons que parmi les Etats Membres étudiés, seules la Suède et la Finlande ont été identifiées comme classant les installations dédiées comme des coïncinérateurs (ainsi que l'Italie pour une centrale à charbon).

Cette interprétation contribue à la compétitivité de la filière «RDF» à l'étranger face aux autres sources d'énergie, compte tenu de l'évolution attendue des prix du CO₂ et d'un effet positif sur l'image des industriels utilisant de l'énergie «RDF» dans ces pays.

Il conviendrait de s'assurer qu'une seule interprétation soit possible au niveau européen, afin d'éviter des distorsions de concurrence :

- entre industriels européens utilisateurs d'énergie, les industriels de certains Etats Membres bénéficiant d'énergie déchet exemptée de quotas. Si l'impact est modéré aujourd'hui, il est amené à augmenter à mesure que le prix des quotas de CO₂ augmente.
- entre installations utilisatrices de RDF pour l'accès aux RDF. Les installations classées comme des incinérateurs (Allemagne, Autriche, Italie) pourraient à terme être favorisées pour l'accès aux RDF par rapport aux installations classées comme des coïncinérateurs, car elles seraient en mesure de vendre leur énergie plus cher car exemptée de quotas de CO₂ et pourraient donc acheter les RDF plus cher.

Le fait d'exempter de quotas de CO₂ des installations de coïncinération utilisant 100% de déchets pourrait également être défendu au niveau européen.

³¹ Des chambres de combustion plus petites sont possibles en raison de la réglementation autour des conditions de combustion.

VI.2. Soutiens et taxes

Recommandation E. Les soutiens à l'investissement spécifiques aux installations dédiées à la valorisation énergétique de RDF sont uniquement à envisager comme une solution transitoire de court terme, pour compenser un contexte de prix de l'énergie conjoncturellement bas, et en attendant une hausse de la contribution climat-énergie du prix du stockage.

A court terme, les soutiens à l'investissement devraient pouvoir couvrir la cogénération, solution permettant à l'installation de s'adapter aux variations de la demande en énergie, et globalement favorable.

A moyen et long termes, il faut privilégier les instruments de politique publique conduisant à :

- **augmenter le prix du stockage des déchets, pour laisser le marché s'orienter entre recyclage et valorisation énergétique et atteindre les objectifs de réduction du stockage.**
- **augmenter le prix des énergies fossiles à hauteur du dommage qu'elles causent sur l'environnement, ce qui pourrait contribuer à financer la transition énergétique, l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.**

Les données économiques collectées dans cette étude ne permettent pas de préciser le niveau de rentabilité actuel de la filière française. Les données collectées dans le cadre d'une étude pour la DGE concernant la chaîne de valeur des RDF en Hesse (Allemagne) suggèrent que les conditions économiques de la filière française ne permettent pas de rentabiliser les investissements, en considérant le prix actuel du traitement des déchets et une hypothèse de prix de l'énergie favorable (30-40€/MWh, alors que la chaleur produite à partir du charbon coûte environ 12 €/MWh³²).

La filière CSR ne peut donc pas émerger sans un changement de politique publique. Deux voies sont possibles :

1. soutenir la filière de façon dédiée, par le biais de soutiens à l'investissement (préparation, utilisation) et à la production d'énergie.
2. mettre en place des instruments de politique publique conduisant à une hausse des revenus de la filière
 - par l'amont, renchérissant le prix des solutions de traitement alternatives (stockage, incinération) par la taxation ou limitant la possibilité d'y recourir par l'interdiction du stockage de certains déchets. La France a des prix du stockage des déchets relativement faibles au niveau européen ;
 - par l'aval, en augmentant le prix des énergies fossiles. Cela incite les utilisateurs d'énergie à trouver des sources d'énergie alternatives et augmente donc les revenus que peuvent tirer les utilisateurs de RDF de la vente de l'énergie. Il faut privilégier pour cette voie la coopération européenne et internationale (taxation énergétique et CO₂), compte tenu de la compétition internationale entre industries énergivores.

La première solution doit être envisagée comme une solution de court terme en attendant la mise en place de la deuxième et pour accélérer les investissements. En effet la deuxième solution présente de nombreux avantages :

- définir le niveau de soutien adéquat à la filière est difficile compte tenu de la confidentialité des coûts ;
- si les prix de l'énergie et/ou le prix des déchets augmentent, des soutiens à l'investissement peuvent être octroyés sans que cela soit nécessaire à la rentabilité de la filière. Cela peut alors conduire à des effets d'aubaine néfastes au développement du recyclage ;
- augmenter le prix du stockage des déchets permet de faire à la fois émerger le recyclage et la valorisation énergétique (dont les CSR) ;
- augmenter le prix des énergies fossiles permet de faire émerger toutes les énergies alternatives (dont les CSR).

³² Estimation des membres du comité de pilotage de RECORD

Recommandation F. Si les soutiens aux énergies renouvelables incluent l'énergie produite à partir de RDF :

- **il faut veiller à ce que les mécanismes de soutien ne favorisent par la production d'électricité au détriment de la production de chaleur, soit en obligeant à ce que l'installation soit dimensionnée pour un besoin en chaleur (situation actuelle en France), soit en soutenant également la chaleur, soit en maîtrisant le niveau de soutiens à l'électricité ;**
- **il faut privilégier les compléments de rémunération, indexés sur le prix de l'énergie, aux tarifs de rachat ;**
- **il n'est pas nécessaire de proposer un niveau de soutien plus élevé par MWh que pour d'autres technologies matures, les technologies d'incinération mises en œuvre n'étant pas émergentes. Un système d'enchères descendantes comprenant la valorisation énergétique de RDF avec d'autres technologies de production d'énergie renouvelable matures apparaît justifié ;**
- **le choix de la technique de détermination de la fraction renouvelable de l'énergie produite doit être guidé par une logique d'analyse coûts-bénéfices.**

Lors de l'élaboration du soutien aux prix de l'électricité, il faut veiller à ce que le mode de calcul n'incite pas les installations dédiées aux «RDF» à produire de l'électricité au détriment de la chaleur. En effet, il est préférable de privilégier les installations dédiées «RDF» adossées à un besoin en chaleur industriel ou à un réseau de chaleur car ces usages sont plus efficaces en énergie que la production d'électricité. Notons que les installations dédiées aux «RDF» visitées à l'étranger qui ne bénéficient pas de soutiens ont pour principal objectif la production de chaleur. La production d'électricité n'est qu'un facteur d'ajustement de la production à la demande en chaleur.

Des mécanismes de soutiens à la chaleur renouvelable devraient également être envisagés. Ce mécanisme de soutien n'est pas prévu en France à notre connaissance. Il est probable qu'il soit plus difficile d'estimer le soutien à verser car les prix du marché de la chaleur ne sont pas publics. Un tel dispositif pourrait par exemple s'inspirer du mécanisme de soutiens à la chaleur, à l'électricité et au gaz des Pays-Bas, le SDE+.

Le soutien sous forme de complément de rémunération est à privilégier au système de tarif de rachat car il permet de réduire le montant de l'aide publique lorsque les conditions de marché sont plus favorables.

Notons que le principe des compléments de rémunération est de verser un soutien sous forme d'enchères descendantes. 2 méthodes typiques d'organisation de ce système existent :

- proposer un appel d'offres par technologie ou groupe de technologies (éolien, solaire, «RDF»...) avec un objectif de puissance installée correspondant à la planification énergétique. Dans ce système, les technologies sont seulement en concurrence entre elles ce qui revient à verser des niveaux de soutiens différents par technologie. C'est typiquement l'approche adoptée par la France via le système d'appels d'offre de la CRE (Commission de Régulation de l'Énergie) ;
- proposer un appel d'offres commun mettant en concurrence différentes énergies. Dans ce système, les technologies les moins coûteuses en termes de soutiens par unité d'énergie produite sont privilégiées. C'est typiquement le système adopté par les Pays-Bas via le système de soutiens SDE+, qui y a ajouté des mécanismes visant à accorder des soutiens plus élevés aux technologies émergentes et à réserver des enveloppes à ces techniques.

Pour le cas français, nous recommandons de mettre en concurrence pour l'obtention des compléments de rémunération la production d'énergie à partir de CSR avec d'autres technologies matures de production d'énergie renouvelable. Pour ce faire, il paraît intéressant de capitaliser sur le système de soutiens mis en place aux Pays-Bas, compte tenu des avantages que ce système apporte en termes de rapport coût efficacité [19].

La valorisation énergétique des CSR par combustion recourt à des technologies éprouvées qui ne justifient pas que la filière CSR reçoive un niveau de soutien par MWh supérieur à d'autres technologies. Notons que si le niveau de soutiens supérieur demandé par la filière CSR pour l'énergie renouvelable (tarifs spécifiques, aides à l'investissement) est justifié, dans une phase initiale de développement de la filière, par la nécessité de la faire émerger, la politique de taxation et de réglementation du traitement des déchets (notamment stockage) est un instrument plus adapté pour atteindre cet objectif.

VI.3. Autres approfondissements

Recommandation G. L'analyse approfondie du cadre réglementaire finlandais et d'autres installations valorisant des RDF en Finlande semble pertinente, par exemple par le biais de voyages d'études.

Les 2 installations visitées utilisant des RDF en Finlande présentent des similarités avec la vision française de la filière CSR,

- Les RDF utilisés sont de qualité compatible avec la réglementation française, et produits à partir de DAE
- Les autorités publiques introduisent des exigences liées à la qualité du RDF, au contrôle qualité et à l'origine des déchets, ce qui traduit d'une volonté de maîtrise des risques liés à l'installation et plus largement de ses effets sur la gestion des déchets.

Cependant, plusieurs particularités du cadre réglementaire finlandais et des modèles économiques n'ont pas pu être éclaircies dans le cadre de cette étude, malgré nos sollicitations.

Les éléments suivants méritent en particulier d'être approfondis :

- quels facteurs contribuent à la rentabilité des sites étudiés, malgré un prix positif du RDF en entrée d'installation utilisatrice de RDF, et en l'absence de soutiens au fonctionnement. Est-ce lié aux technologies choisies ? au choix de coïnciner de la biomasse ? à la réglementation ? à la forte automatisation réduisant le besoin en personnel ? aux contrôles qualité plus réduits, à un prix plus élevé de l'énergie vendu aux industriels... ?
- Un cadre réglementaire décentralisé est-il pertinent ? Des guidances sont-elles délivrées aux autorités locales octroyant le permis pour définir les critères qualité et de contrôle qualité des RDF entrants ? Quelle approche guide le choix des paramètres à suivre et la définition des valeurs seuils ? Cette approche permet-elle de maîtriser les risques ?

VII. Annexe 1 : Analyse par pays

Des fiches par pays sont disponibles dans l'étude DGE « Benchmark européen du marché des CSR, 2018 ».

10 pays sont répertoriés :

- Allemagne
- Angleterre (Grande Bretagne)
- Autriche
- Belgique
- Finlande
- France
- Italie
- Norvège
- Pays-Bas
- Suède

VIII. Annexe 2 : Etudes de cas

VIII.1. Attero Wijster (Pays-Bas)

VIII.1.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Attero Wijster

Adresse: Vamweg 7, 9418 TM Wijster, Pays-Bas

Employés : 290 ETP (y compris compostage et station d'épuration)

Capacité : 720 kt, 210 MWth (sur PCI entrant)

Opérateur et propriétaire : Attero (depuis 2001) – société de droit privé

Attero est un acteur majeur du traitement des déchets aux Pays-Bas. L'entreprise est implantée uniquement aux Pays-Bas. Elle traite environ 3,5 millions de tonnes de déchets par an (ménagers et DAE) sur 15 sites, et traite environ 40% des déchets ménagers du pays. Elle possède des installations réalisant du tri, du compostage, de la digestion anaérobie, du stockage et de l'incinération des déchets. Elle employait 727 employés en 2013. Son chiffre d'affaires en 2015 s'élève à 339 M€, pour un résultat net de 50 M€.



Consommateur d'énergie : électricité au réseau, chaleur sous forme de vapeur fournie à Noblesse Proteins (agroalimentaire)

Historique de la gestion du site

- Le site de Wijster a été créé en 1929 par VAM (Vuil Afvoer Maatschappij), une entreprise détenue par l'Etat néerlandais. Il est opérationnel depuis 1931.
- En 1999, VAM est vendu à l'énergéticien public Edon, qui a ensuite fusionné avec le groupe PNEM/MEGA et s'est appelé Essent. Essent est alors détenu par les autorités publiques locales.
- En 2001, Essent acte un changement de stratégie qui consiste à vendre ses activités liées aux déchets. La société Attero est alors créée pour structurer ces activités. Elle est détenue par le groupe Essent, 6 provinces et plus d'une centaine de municipalités.
- En 2013, Attero est vendu au groupe privé de capital-investissement Waterland Private Equity Investments. L'entreprise est actuellement à vendre et une transaction pourrait être effective en 2017.

VIII.1.2. Historique et description des activités

Historique des activités du site

Le site de Wijster a été créé en 1929. Ses activités ont évolué au cours des années :

- A sa mise en service, en 1931, le site a été utilisé comme décharge pour gérer la quantité croissante de déchets produits dans les régions densément peuplées des Pays-Bas (Amsterdam, La Haye). Les déchets étaient transportés sur le site par train. Rapidement, du compost a été produit pour transformer les déchets en compost et fertiliser les sols sableux pauvres de la province de Drenthe.
- Entre 1981 et 1996, les déchets ménagers ont été séparés dans une usine de tri des déchets ménages. Les fractions suivantes étaient séparées : métaux ferreux, non-ferreux, fraction

organique, combustible secondaire (fraction à haut pouvoir calorifique) et RDF. Le RDF et le combustible secondaire étaient traités par d'autres entreprises et la fraction organique était transformée en compost sur place (à partir de 1994). Le compost était majoritairement vendu, et pour partie mis en décharge. Le combustible secondaire et le RDF étaient plus riches en matière plastique et en plastique dur que maintenant, parce que le plastique n'était pas encore séparé à la source.

- En 1995, le site a intégré l'incinération des RDF sur place en construisant un incinérateur de déchets, opérationnel à partir de 1996. L'intégration des lignes de tri (2 lignes à l'époque) a été la condition fixée par la province pour accepter le permis du site.
- En 1996, l'installation était alimentée à la fois par des ordures ménagères résiduelles (OMR) et par des déchets des activités économiques (DAE) en proportion environ 70%/30%. Avec la baisse progressive des quantités d'OMR générés aux Pays-Bas, l'installation a cherché d'autres flux de déchets pour combler les capacités, notamment via les imports. À l'heure actuelle, les déchets d'entrée sont constitués d'environ 24% de DAE des Pays-Bas, de 33% d'OMR des Pays-Bas et de 43% de déchets importés du Royaume-Uni et d'Irlande (OMR et DAE, reçus séparément).
- Depuis 2011, Attero fournit de la vapeur à la société proche Noblesse Proteins pour un procédé de séchage (production d'aliments pour animaux à partir de déchets d'abattoirs de poulet).
- En 2012, une unité de digestion a été construite pour digérer les 60 kt de fraction organique extraits par le processus de préparation de RDF.
- En 2012, une troisième ligne de tri a été construite. Elle comprend une extraction des plastiques durs et des films plastiques à destination du recyclage. En outre, une unité de tri des plastiques par résine a été construite pour séparer le plastique. Cette décision a été motivée par la disponibilité depuis 2010 de soutiens au tri des plastiques dans le cadre de la responsabilité élargie du producteur (REP). Les soutiens ne concernent que les déchets ménagers des Pays-Bas, ce qui explique que seules les OMR nationales soient dirigées vers cette ligne (voir détail des soutiens en partie économique).

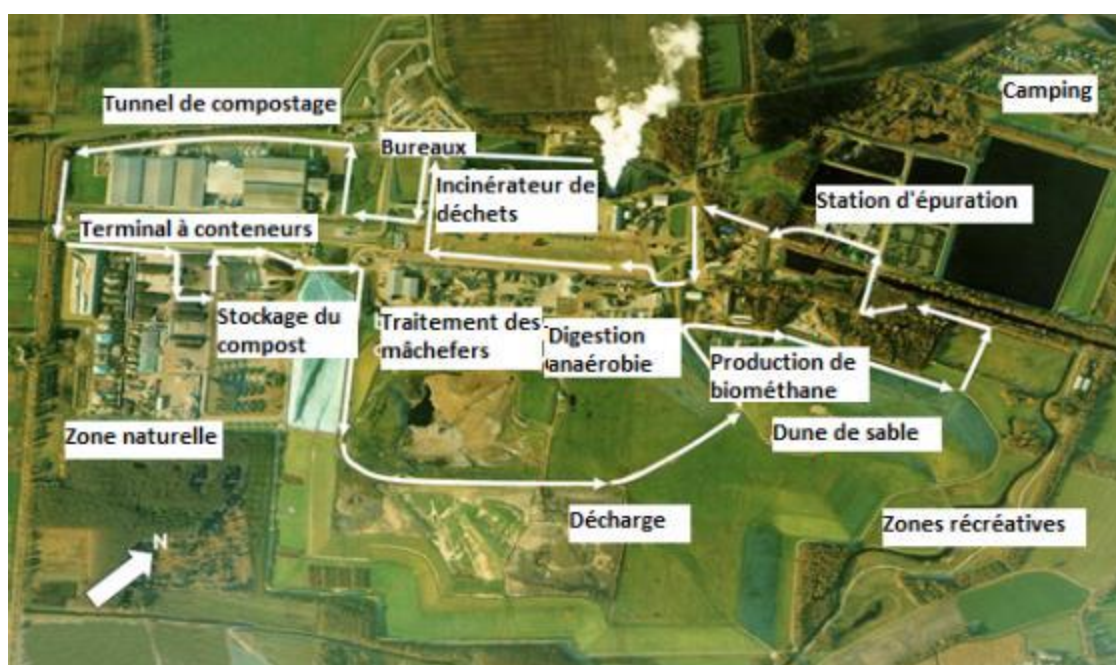


Figure 29: Photo aérienne du site de Attero Wijster (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017)

Activités actuelles du site

En lien avec l'utilisation des RDF :

- Traitement mécano-biologique (TMB) d'OMR et traitement mécanique (TM) de DAE avant incinération (production d'un RDF).
Les lignes de tri produisent une fraction plastique recyclable, un RDF à fort pouvoir calorifique destiné à la cimenterie (appelé « combustible secondaire »), une fraction organique destinée à la digestion anaérobie et un RDF à faible pouvoir calorifique (10,4 MJ/kg), envoyé en incinération sur site. Le processus de préparation peut être classé comme TMB mais le RDF est le résidu de la première étape de traitement mécanique (il ne subit pas de traitement biologique).
- Incinération des RDF de faible PCI pour produire de la chaleur et de l'électricité.
- Tri des plastiques par résine
Une unité trie par résine des fractions plastiques issu du TMB sur site (pour le flux d'OMR des Pays-Bas) et des fractions plastiques collectées à la source, en vue du recyclage.
- Digestion anaérobie et production de biométhane injecté sur le réseau de gaz naturel
Le digestat est incinéré dans l'incinérateur de déchets sur site car son épandage n'est pas autorisé aux Pays-Bas.
- Post-traitement des mâchefers : déferrailage notamment.

Sans lien avec l'utilisation de RDF. Ces activités n'ont pas été étudiées.

- Installation de stockage des déchets non dangereux
- Unité de compostage : l'unité traite 600 kt/an de déchets verts et de jardin collectés séparément.
- Collecte de gaz de centre de stockage et purification sous forme de biométhane pour injection dans le réseau de gaz naturel.
- Une usine de traitement des eaux usées est exploitée sur place (4Mm³/an). Elle traite les eaux usées collectées dans le site de stockage, les eaux pluviales et les eaux usées provenant de l'industriel voisin (Noblesse Proteins).

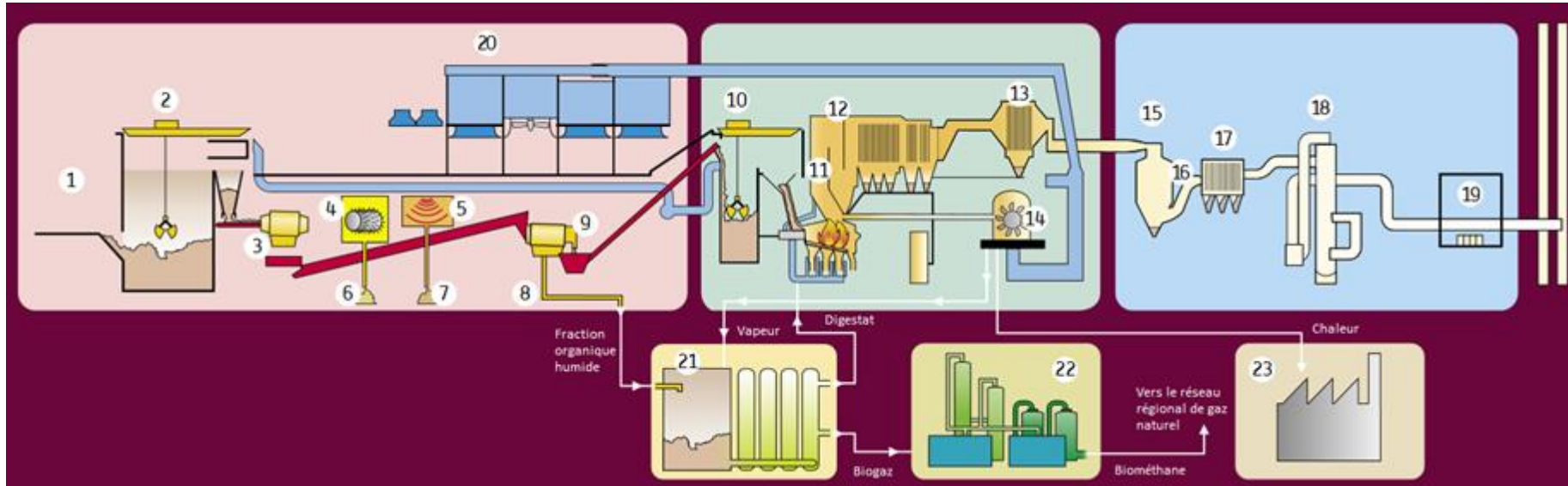
Principal objectif de l'utilisation de RDF : Incinération des déchets

- L'entrée des déchets constitue la principale source de revenus du site.
Cela se traduit dans les conditions de fonctionnement du site. En effet, le TMB est opéré de manière à garder un pouvoir calorifique entrant qui se situe plutôt dans la partie basse de ce que permet la technologie d'incinération. L'incinérateur est limité par un débit maximal d'énergie entrante (pouvoir calorifique x débit entrant de déchets). L'extraction de la fraction organique et de la fraction plastique conduisent au final à une diminution de la valeur calorifique des déchets. Par conséquent, le débit entrant est augmenté et avec eux les revenus des *gate fees*.
- Le choix du TMB/TM plutôt que l'incinération directe est lié à l'historique du site (le tri était déjà une activité du site) et aux exigences du permis délivré par les autorités locales.
- La valorisation énergétique et matière constituent des sources de revenus complémentaires, dont la proportion tend à augmenter. Ces activités permettent d'optimiser le modèle d'affaires.

VIII.1.3. Conditions techniques de fonctionnement

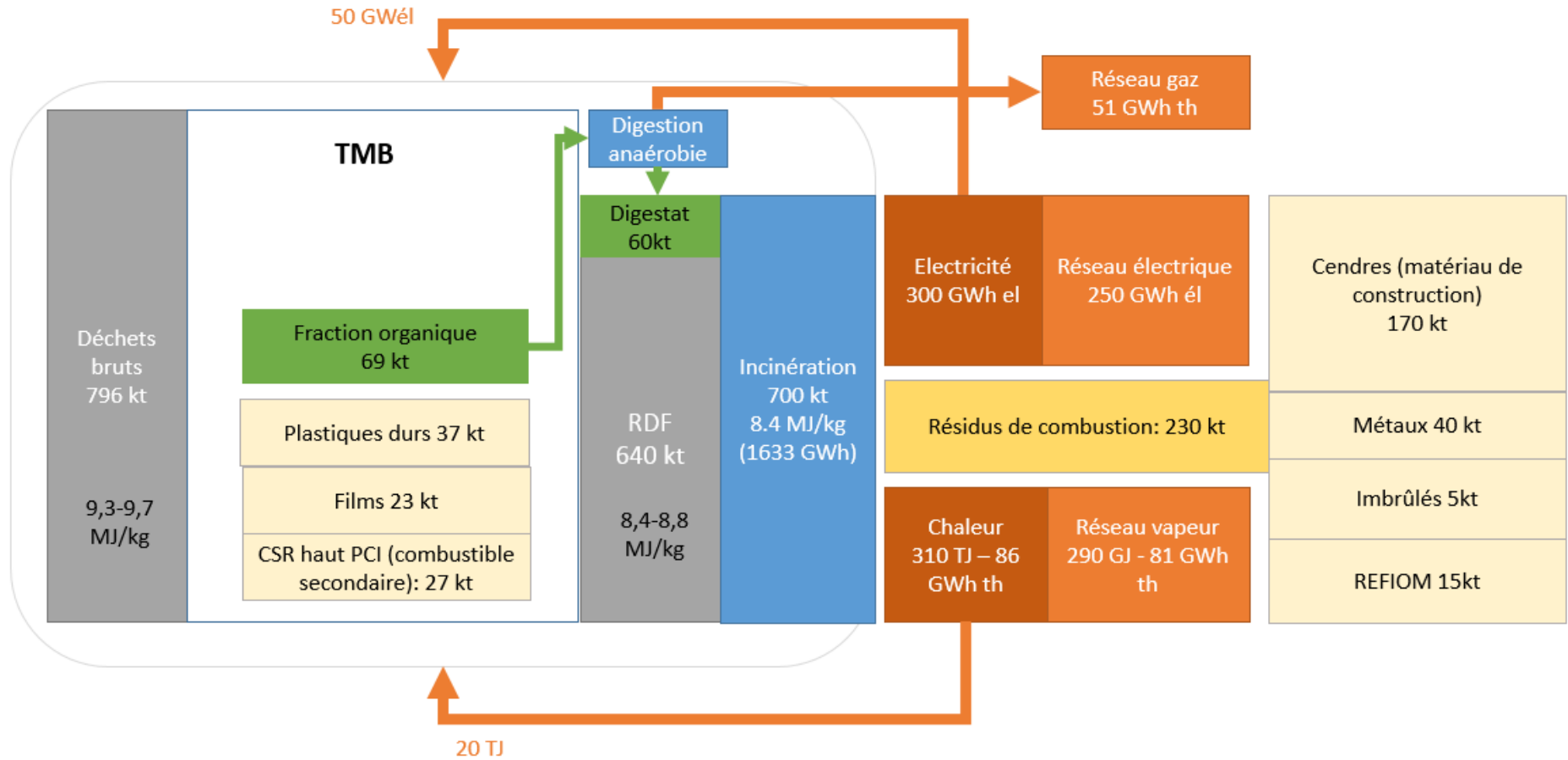
VIII.1.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

Figure 30: Diagramme technique de l'installation Attero Wijster (Attero, 2017)



1. Zone de déchargement
2. Zone de stockage des déchets bruts
3. Tamis
4. Séparateur de films
5. Séparateur infra-rouge
6. Films plastiques
7. Plastiques durs
8. Fraction organique humide
9. Crible
10. Zone de stockage du RDF préparé
11. Four à grille refroidie équipé d'une SCNR (NOx)
12. Elimination des oxydes d'azote
13. Filtre électrostatique (ESP) (PM, Hg)
14. Turbine
15. Chambre de séchage/pulvérisation (Hg, PCDD/F)
16. Injection de charbon actif (Hg, PCDD/F)
17. Filtre à manches : PM
18. Laveurs acides et neutres (HCl, SOx, Hg)
19. Contrôle des fumées
20. Condenseurs refroidis à l'air
21. Digestion anaérobie
22. Unité d'épuration du biogaz en biométhane
23. Parc industriel « de transition énergétique » de la province de Drenthe

Figure 31: Bilan matière et énergétique du site Attero Wijster (RECORD, 2018)



Technologie de combustion : Four à grille mobile inclinée refroidie à l'eau

Capacité : 720 kt déchets, 210 MWth (sur PCI entrant)

Gamme de PCI : 7 -14 MJ / kg

Température sur la grille : 1000-1300 ° C

Hauteur des fours : 30 m

Nombre de fours : 3 (identiques)

- Ligne 1- OMR Pays-Bas
- Ligne 2- DAE Pays-Bas (pas de fraction organique)
- Ligne 3- RDF importés (Royaume-Uni, Irlande) des déchets ménagers

Seule la turbine est commune à toutes les 3 lignes. Tous les autres équipements de tri, d'incinération et d'épuration des fumées sont triplés.

Adaptabilité à d'autres combustibles

Cette technologie peut également être utilisée pour brûler de la biomasse. Ce paramètre n'a pas été pris en compte à la conception.

Fonctionnement du four

PCI cible : 8,4 MJ/kg

Débit de RDF cible : 28-30t/h

Déchets entrants : 640 kt de RDF (8,4-8,8 MJ/kg), 60 kt de digestat (1.5 MJ/kg)

A 7 MJ / kg, le débit maximal d'entrée est approximativement de 30t / h alors qu'il est d'environ 12t / h à 14 MJ / kg. Afin d'optimiser les recettes principalement constituées de *gate fees*, le PCI cible est plutôt dans la partie basse de la gamme possible (8,4 MJ / kg).

Le démarrage est assuré par du gaz naturel. Le biométhane produit en interne n'est pas utilisé pour l'allumage car il est vendu plus cher que le prix du gaz naturel (soutiens).

Les déchets entrent dans le four lorsque la température de combustion atteint 850 ° C,

L'échange de chaleur est assuré par des tubes en acier remplis d'eau situés dans les parois de la chaudière. Puisque le circuit d'eau est fermé, la pression monte et de la vapeur d'eau à haute température et pression est générée (40 bars, 400 ° C)

La vapeur est dirigée le long des 18 pompes de la turbine. La turbine atteint 3000 tours par minute et est relié à un générateur d'électricité.

Nombre d'heures de fonctionnement : environ 7900 h par chaudière, fonctionnement continu de l'installation 24/7 (8760h)

Aucun changement n'est apporté à l'opération pendant l'année. 5 semaines de vacances et de maintenance sont prévues par chaudière.

Puissance fournie :

Capacité : env. 230 t vapeur / h (76 t / h par chaudière, portée cible 74,2-80,2 ton / h)

Production annuelle de vapeur : 1760 kt vapeur / année (2017),

Débit horaire moyen de vapeur : 200 t / h

Puissance moyenne atteinte : 185 MWth

Turbine

Capacité de la turbine : 54 MWeI

Capacité utilisée : 42 MWeI

Puissance autoconsommée : 8 MWeI

Puissance fournie au réseau : 34 MWeI (11 000 V)

Si Noblesse Proteins n'a pas besoin de chaleur, de l'électricité peut être produite à la place.

Propriétés vapeur

Avant turbine : 40 bar, 400°C. Débit moyen : 200t/h

Livré à Noblesse Proteins : 6,5 bar, 165°C. Caloduc calorifugé de 850 m. Débit : 20 t/h.

Bilan énergétique

Électricité produite : 365 GWh - 42 MW el

- Et fournie au réseau : 300 GWh - 34 MWel
- Et autoconsommée : 65 GWh - 8 MWel

Chaleur produite : 310 TJ - 86 GWh - 10 MWth

- Par l'industrielle Noblesse Proteins (séchage): 290 TJ-81 GWh- 9 MWth
- Et autoconsommée : 20 TJ (0,6 MWth)
 - Unité de digestion : 20 GJ (0,6 kWth)
 - Usine de station d'épuration : 20 TJ (0,6 MWth)

Biométhane (gaz vert) : env. 51 GWh de biométhane est produit à partir de la fraction organique triée par TMB/

Consommateurs d'énergie :

Chaleur : Noblesse Proteins (94%) + consommation interne (6%)

L'installation est située sur un parc industriel en construction (parc de « transition énergétique »). Jusqu'à présent, Attero Wijster n'est relié qu'à un seul industriel, mais la connexion est prévue avec le reste du parc lorsque d'autres industriels seront installés.

Electricité : réseau (84%) + consommation interne (16%)

Biométhane : réseau de gaz naturel

Contrôle des émissions

Débit des fumées : 400,000 Nm³ / h.

Remarque sur les technologies mises en place :

Une SCR a d'abord été utilisée, mais elle consommait des quantités importantes de gaz naturel. La SNCR (injection d'ammoniaque dans la chaudière) l'a remplacée.

Un contrôle automatique de la teneur en polluants des fumées est en place. Plusieurs points de mesure et la validité de l'équipement sont vérifiés annuellement par un organisme indépendant.

L'influence de l'incinérateur sur les cultures à proximité par le bétail est évaluée. Ces contrôles sont exigés par les autorités, suite aux problèmes d'émissions de dioxines. Aucune influence négative n'a jamais été rapportée.

Production de mâchefers et REFIOM- Bilan matière incinération :

Déchets entrants : 700 kt dont 640 kt de RDF

Déchets résiduels : 230 kt (33%)

- Imbrûlés : 5 kt (0,7%) envoyés en installation de stockage des déchets non dangereux
- Mâchefers avant traitement : 210 kt (30%) dont
 - 170 kt de mâchefers certifiés pour la construction (24%). 40 kt est utilisé pour stabiliser l'installation de stockage présente sur le site.
 - 40 kt de métaux ferreux et non-ferreux séparés dans le processus de traitement de mâchefers (6%) et vendus en vue du recyclage
- REFIOM : 15 kt (2%) utilisé pour le remblayage des mines de sel en Allemagne.

Figure 32: Première extraction des métaux ferreux (RECORD, 2018)



Figure 33: Mâchefers avant post-traitement (premier déferrailage effectué) (RECORD, 2018)



Figure 34: Mâchefers traités certifiés en technique routière (RECORD, 2018)



Autres

L'incinérateur est R1

VIII.1.3.2. Propriétés du combustible

Combustibles utilisés

- RDF : 640 kt
- Digestat : 60 kt (1,5 MJ / kg)

Aucun autre combustible n'est utilisé (mis à part du gaz naturel au démarrage).

Composition du RDF

Tableau 30: Composition du RDF - Attero Wijster (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017)

Composition	Ligne 1 – OMR Pays-Bas	Ligne 2 – DAE Pays-Bas	Ligne 3 – Déchets importés
Organique	9,1	13,6	15,9
Déchets vers bruts	2,9	7,5	7,9
Papier/carton réutilisable	24,3	19,9	18,8
Papier/carton- autres	14,7	14,1	10,7
Films plastiques	10,2	10,1	13,9
Bouteilles et flacons plastiques	2,6	2,1	-
Plastiques durs	5,3	5,5	8,3
PET	0,3	0,2	0,0

PP	0,3	0,5	0,0
PE	0,1	0,1	0,0
Mélange	0,2	0,1	0,0
Autres plastiques	1,0	-	-
Verre	0,8	0,9	1,1
Ferreux	6,2	5,2	4,2
Non- Ferreux	2,5	2,0	0,7
Textile	11,6	13,1	14,8
Stone	2,2	3,1	5,7
Bois	9,5	8,1	10,6
Briques (Tetrapak ®)	2,5	1,9	1,9
Cellulose	11,0	9,7	3,6
Autres	3,6	8,9	7,8
Tapis/moquettes	-	10,2	10,3
Cuir/caoutchouc	7,0	7,0	3,0
DEEE (produits avec câbles)	3,9	1,4	0,9
Polystyrène expansé	0,8	0,2	1,8
Miscellaneous	-	0,6	-
Teneur en matière sèche	64,9	64,5	75,9
PCI calculé ³³	10,6 MJ/kg	10,2 MJ/kg	13,8 MJ/kg

Contrôle qualité

Le PCI moyen dans le four est calculé en continu. Il permet un ajustement du processus de tri en amont pour atteindre le PCI ciblé. Par exemple, si le PCI est trop élevé, une extraction papier et plastique plus avancée est nécessaire et les machines de tri peuvent être réglées en conséquence.

Le RDF contenu dans l'aire de stockage des RDF préparés est échantillonné. Chaque semaine, des échantillons sont mélangés pour caractériser les quantités de plastique, de papier ... incluses dans le RDF et peuvent entraîner un ajustement du processus de tri. Le résultat de ces caractérisations est présenté en moyenne annuelle ci-dessus.

Chaque mois, une caractérisation chimique est effectuée pour analyser la teneur en chlore, le contenu en mercure, l'humidité ... Cette dernière caractérisation ne nous a pas été fournie.

Autres propriétés

Forme : brut, non broyé

Densité : environ 350 kg/m³

VIII.1.3.3. Mode de production du RDF

Site de production : Attero Wijster (production et combustion intégrées sur le même site)

Mode de production : Tri Mécano-Biologique des OMR, avec digestion anaérobie de la fraction organique, Tri Mécanique des DAE

Critères d'acceptation des déchets entrants : pas de critères d'acceptation spécifiques.

³³ La méthode tend à surestimer le PCI réel. Elle est fondée sur une moyenne pondérée des PCI moyens des différentes fractions caractérisées.

Des critères courants pour les incinérateurs de déchets non dangereux (même sans préparation de RDF) sont utilisés : PCI dans une certaine gamme, absence d'animaux morts, de peinture, d'essence, de substances liquides ou dangereuses ...

En pratique, 9 camions sont déchargés par jour devant un opérateur qui vérifie visuellement que ces critères sont respectés. Si des non-conformités sont observées, les déchets sont retournés à l'expéditeur.

Propriétés des déchets intrants

PCI : 9,3-9,7 MJ / kg

L'installation se compose de 3 lignes de traitement séparées traitant séparément les 3 types de flux de déchets.

Ligne 1 – OMR Pays-Bas - env. 192 kt / an (24%)

Aux Pays-Bas, le système de collecte des DMA est généralement organisé en 4 flux, collectés en porte-à-porte, en vrac :

- Poubelle orange : plastiques, métaux, briques alimentaires
- Poubelle bleue : papier et carton
- Poubelle verte : déchets verts et déchets alimentaires
- Poubelle grise : déchets résiduels (OMR)

Les déchets sont reçus en vrac à Wijster.

Ligne 2 - DAE Pays-Bas (sans fraction organique) - env. 270 kt / an (33%)

Ligne 3 - RDF importé du Royaume-Uni et d'Irlande et préparé à partir de DAE ou d'OMR- env. 350 kt / an (43%)

Selon les préparateurs/exportateurs, la fraction plastique, la fraction ferreuse / non ferreuse et/ou la fraction organique ont été extraites. Par conséquent, la qualité et le PCI du RDF sont très différents d'un exportateur à l'autre. De la même manière que pour les autres lignes, cette variabilité est gérée en adaptant le processus de tri (et le débit d'entrée si nécessaire) pour rester dans la gamme d'énergie de fonctionnement du four. En outre, les différents types de RDF importés sont mélangés dans les 2 aires de stockage (de déchets bruts et de RDF), avant d'entrer dans l'incinérateur (dans le bunker RDF).

Unité de préparation RDF

Capacité : 810 kt

Bilan massique :

- Quantités transformées : 796 kt
- Quantités finales RDF : 640 kt
- Taux de rejet : 19% - 156 kt (81% est utilisé comme RDF dans l'incinérateur de déchets) dont:
 - 44% est une fraction organique humide
 - 17% RDF haut PCI (« combustible secondaire ») destiné à la cimenterie.
 - 38% est un plastique recyclable (films plastiques et plastiques durs)

Il est notable que le processus de préparation aboutit à une diminution du PCI moyen (qui passe de 9,3-9,7 à 8,4 -8,8 MJ / kg).

Description du procédé de préparation

Figure 35 : Aire de stockage des déchets bruts (avant tri sur site) (RECORD, 2018)



Pour les 3 lignes, le flux de déchets d'entrée passe d'abord par des systèmes de tamisage.

La ligne 1 est équipée d'un tamis, qui produit 4 fractions :

- 0-40 mm : fraction organique nette
- 40-110 mm
- 110-300 mm
- > 300 mm

La ligne 2 est équipée de 2 tamis à tambour rotatif (150 mm et 45 mm).

La ligne 3 est équipée d'un tamis à tambour rotatif et d'un tamis de liant (130 et 50 mm).

La plus petite fraction est la fraction nette organique (lignes 1 et 3). Elle est composée de matière organique, de sable, de pierre et de verre. La fraction organique est envoyée en digestion anaérobie. La chaleur nécessaire pour alimenter le processus de digestion mésophile (35 ° C) est fournie par l'incinérateur. Le biogaz est purifié en biométhane (gaz renouvelable de qualité similaire à celle du gaz naturel), qui alimente ensuite le réseau régional de gaz naturel. La fraction de gaz qui ne peut pas être injectée dans le réseau est brûlée en torchère. Le digestat est brûlé dans l'incinérateur, d'une part car son application en agriculture n'est pas autorisée aux Pays-Bas, ce qui nécessite de recourir à l'incinération ; d'autre part car il réduit le pouvoir calorifique du mélange entrant ce qui permet d'augmenter le débit de déchets et donc les revenus associés.

Figure 36: Unité de digestion anaérobie (RECORD, 2018)



Figure 37: Unité de production de biométhane (RECORD, 2018)



Pour la ligne 1, les 3 plus grandes fractions sont traitées par des séparateurs balistiques qui divisent le flux de déchets entre les flux de déchets légers (plastiques, papier ...) et les flux de déchets lourds (plastiques durs...).

Les plastiques durs sont envoyés vers l'unité de tri des plastiques.

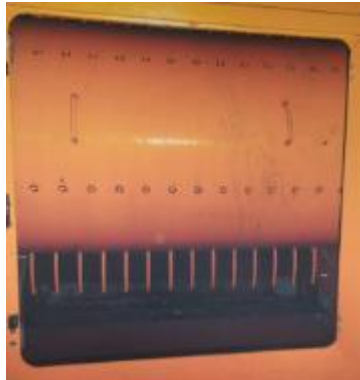
Figure 38: Fraction plastiques durs recyclables (RECORD, 2018)



La fraction légère passe un séparateur d'air.

- Pour la ligne 1 (OMR Pays-Bas), cette étape vise à récupérer les plastiques légers pour le recyclage. Un tambour rotatif avec des tiges en acier retient les films plastiques et les plastiques souples.

Figure 39: Séparateur de films (RECORD, 2018)



Ceux-ci sont purifiés dans l'unité de tri des plastiques puis emballés pour être vendus à des recycleurs. Cependant, la demande et le prix sont bas ce qui conduit le site à stocker ces films. Une usine de granulation vise à assurer le débouché.

Figure 40: Films plastiques emballés à destination du recyclage (RECORD, 2018)



Les films plastiques et les plastiques durs ne sont pas récupérés sur les autres lignes car les autres déchets ne sont pas admissibles aux soutiens REP associés. 2 lignes sont équipées de séparateurs de films (1 et 2), mais une seule est utilisée à cet effet (principalement la ligne 1), car la capacité de la ligne est suffisante pour gérer les quantités d'OMR des Pays-Bas. La récupération des plastiques est activée sur la ligne 2 en cas de maintenance de la ligne 1.

Attero s'attend à récupérer les films plastiques sur les 2 lignes à l'avenir, notamment une fois que l'unité de granulation fonctionnera parce que les revenus associés aux films plastiques devraient augmenter.

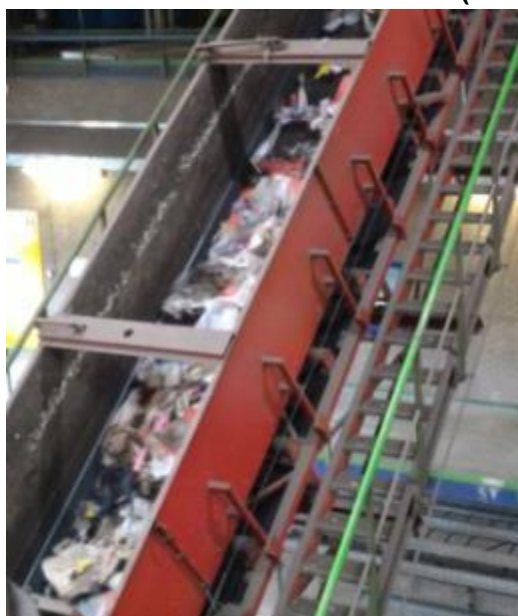
- Pour les lignes 2 et 3, cette étape vise à éliminer le papier non recyclable et le plastique pour fabriquer un RDF à haut PCI (« combustible secondaire »). Ce flux est mélangé avec les résidus de tri de l'unité de tri plastiques et pressé dans des gros sacs. Il est destiné à être utilisé comme combustible dans les centrales électriques, les cimenteries et les fours à la chaux en Allemagne et en Scandinavie.

Figure 41: RDF haut PCI ("combustible secondaire") - non emballé – à destination de la cimenterie (RECORD, 2018)



La fraction résiduelle est le RDF envoyée en incinération sur site.

Figure 42: RDF destiné à l'incinération sur site (RECORD, 2018)



Bilan matière du processus de préparation

- Fraction RDF haut PCI (« combustible secondaire ») : 27 kt (PCI : 17,5 MJ / kg).
- Plastiques envoyés à l'unité de recyclage en plastique : 60 kt. Approximativement 50 kt est finalement recyclé. Le reste est vendu comme RDF à fort pouvoir calorifique (combustible secondaire).
 - Plastiques durs – PCI : 28 MJ / kg - 37 kt. Ils sont nettoyés à 85% avant d'être retraités dans l'usine de recyclage en plastique.
 - Films plastiques - PCI 26 MJ / kg - 23 kt. Ils sont nettoyés à 70% avant d'être retraités dans l'usine de tri en plastique.
- Fraction organique humide : 69 kt (capacité 150 kt) dont 47 kt est envoyé à la décharge
 - Digestat : 60 kt
 - Biogaz

L'unité produit 7 millions de Nm³ de biogaz par an transformé en 4,6 millions de Nm³ de biométhane fournis au réseau de gaz naturel. L'unité de purification en biométhane traite également les gaz émis par l'installation de stockage de déchets non dangereux (3,8 millions de Nm³) transformée en 2,2 millions de Nm³ de biométhane.

- RDF pour l'incinération : 640 kt

VIII.1.4. Conditions administratives

Terminologie

En interne, Attero appelle son combustible « RDF ». Cette terminologie correspond à la définition générique du RDF : un combustible préparé à partir de déchets non dangereux (ici un mélange d'OMR et de DAE).

Le combustible n'est pas standardisé : il ne peut pas être appelé RDF normé ou « SRF » en anglais. Dans les rapports nationaux, le combustible produit à Wijster est appelé « résidus de tri » - "scheidingsresiduen".

Normes et standards de qualité

Le RDF ne répond pas ni un cahier des charges utilisateur ni à une norme. Le processus de tri est opéré de manière à ce que le PCI soit dans une gamme favorable pour maximiser le débit de déchets. Le RDF haut PCI exporté à destination des cimenteries, fours à chaux et centrales électriques doit respecter un cahier des charges client. Aucune norme particulière n'est suivie.

Permis - Incinération

Attero Wijster fait l'objet d'un permis d'incinération des déchets non-dangereux. Le permis définit notamment la capacité maximale d'incinération des déchets (720 kt/an), les valeurs limites d'émission (VLE) dans l'air, et exige que des analyses de résidus dans les cultures alimentaires soient réalisées. Les VLE définies par les autorités locales sont plus contraignantes que la réglementation nationale. Même si l'efficacité énergétique augmentait à l'avenir (nouveaux débouchés pour la chaleur), la classification de l'installation en tant qu'incinérateur ne sera pas affectée (pas de reclassement en coïncinération).

Réglementation RDF

Il n'y a aucune particularité dans la réglementation liée au fait que le site prétraite les déchets avant incinération.

Valeurs limites d'émission et moyenne annuelle

Tableau 31: Valeurs limites d'émission et moyenne annuelle - Attero Wijster (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017)

	VLE (permit)	Moyenne 2016 (mesuré)	Type de mesure
	mg/Nm ³	mg/Nm ³	C = continu P= périodique
Poussières	5	1,6	C
CO ₂	-	-	-
CO	50	5,0	C
SO ₂	50	8,8	C
HCl	10	0,4	C
NH ₃	5	<1	P
HC	10	0,9	C
NOx	70	60,6	C
HF	1	<0,05	P
Métaux lourds- total	0.5	<0,1	P
Cd+Ti	0.05	<0,02	P
Hg	0.05	<0,03	P
Dioxines et furannes PCDD/F	0.1ng/Nm ³	0.06	P
		< signifie en dessous de la limite de détection	P

Taxation

Taxe à l'incinération : 13 € / t depuis 2016

La taxe à l'incinération est payée par Attero Wijster sur base de son bilan matière. Elle n'est pas payée pour les matériaux récupérés avant incinération en vue du recyclage. Elle n'est pas payée ni pour les déchets importés ni pour les déchets exportés.

Environ 330kt sont éligibles à la taxe (47% de déchets des Pas-Bas sur les déchets incinérés de 700kt), représentant environ 4,3 M €.

Aucune taxe d'enfouissement ne doit être payée, même pour l'utilisation de cendres dans la décharge comme matériau de stabilisation.

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone

L'installation ne fait pas partie du système européen d'échange d'émissions (Emission Trading Scheme- ETS).

Le CO₂ doit être signalé au gouvernement central car les émissions dépassent un seuil défini au niveau national. Les émissions totales de CO₂ sont mesurées à la cheminée et signalées par voie électronique aux autorités nationales (système e-mjv).

La teneur en carbone biogénique n'est pas mesurée.

Soutiens énergie renouvelable – conditions d'octroi

Les subventions SDE + sont attribuées.

Le CO₂ ne doit pas être mesuré pour recevoir des subventions, les valeurs moyennes de la teneur en biogène dans les déchets résiduels sont utilisées.

Statut de déchet

Le RDF importé et le RDF traité en interne sont des déchets.

La fraction RDF à haut PCI (« combustible secondaire ») répond à des critères de qualité qui l'accompagnent lors du transport. Il reste un déchet et est transporté avec un code européen des déchets pour l'export.

Gestion des résidus de combustion

La qualité des mâchefers traités doit satisfaire aux exigences du décret sur la qualité des sols (Bodemkwaliteit- du 22 Novembre 2007) afin d'être vendu et utilisé en technique routière. Ce décret décrit la procédure de suivi de qualité à suivre ainsi que les concentrations maximales en composés organiques et les valeurs d'émission maximales pour les paramètres inorganiques à respecter. Le matériau de construction est transporté avec un code européen des déchets.

Les REFIOM ne font pas l'objet d'exigences de qualité spécifiques. Cependant, la qualité doit être caractérisée. Les utilisateurs se servent de ces caractérisations pour définir la procédure de traitement (mélange avec des liants hydrauliques ou non) avant enfouissement/remblais des mines de sel.

VIII.1.5. Conditions économiques

Evolutions du modèle d'affaires 1996-2017

Initialement (1996), le modèle d'affaires reposait principalement sur les *gate fees*, et également sur la vente d'électricité et la récupération des matériaux (métaux ferreux, non ferreux, fraction organique pour le compostage).

De 1996 à 2010, les *gate fees* ont augmenté, mais ils ont diminué régulièrement de 2010 à 2013-2014 en raison des surcapacités d'incinération et de la crise économique.

Pour faire face à la baisse des revenus, Attero a décidé d'étendre ses sources de revenus. Depuis 2010, des soutiens REP sont disponibles pour trier les emballages plastiques des OMR des Pays-Bas. L'injection de biométhane est également subventionnée.

Par conséquent, en 2012, l'unité de recyclage en plastique et l'unité de digestion anaérobie ont été érigées. L'alimentation de Noblesse Proteins en vapeur a également constitué une source supplémentaire de revenus à partir de 2011.

Depuis 2013-2014, les *gate fees* ont augmenté.

Appréciation générale

Le site est rentable. La marge est confidentielle.

Typologie des consommateurs d'énergie

La chaleur est fournie à un parc industriel « de transition énergétique ». Une faible partie est autoconsommée.

Type d'industrie : industries consommatrices d'énergie. Pour l'instant, un seul industriel est implanté sur le site (Noblesse Proteins). Il sèche des co-produits issus des abattoirs pour l'alimentation animale.. Attero Wijster couvre 100% des besoins en chaleur de Noblesse Proteins.

L'électricité est utilisée en interne et fournie au réseau.

Le biométhane est fourni au réseau.

Contrats

Déchets : Les *gate fees* sont définis par des contrats à prix fixes.

La durée varie selon les contrats.

- Les contrats d'importation en provenance du Royaume-Uni et d'Irlande durent entre 10 et 15 ans.
- Les contrats avec les municipalités néerlandaises durent généralement entre 1 et 5 ans.

Electricité : le prix est fixe pour 75% et variable à 25%.

Chaleur : il n'y a pas de pénalités si Attero ne peut pas fournir temporairement de la chaleur, mais une diminution des revenus.

Structure des recettes³⁴

Préparation et incinération intégrée

- *Gate fees* : 57%
- Recettes énergie : 16%
 - Livraison de chaleur à Noblesse Proteins (5%)
 - Electricité livrée au réseau (9%)
 - Biométhane incluant les subventions (2%)
- Recettes matières : 7%
- Subventions tri plastiques : 20%

Prix des déchets : Les *gate fees* en 2017 ont diminué de moitié par rapport à 2007. Ils sont actuellement en augmentation.

Prix électricité : confidentiel, des soutiens SDE+ sont reçus.

Chaleur : le prix de l'énergie est plus élevé que le prix que Noblesse Proteins paierait pour le gaz naturel. Ceci est justifié par le fait que le contrat avec Attero comprend d'autres services tels que la gestion des déchets (les déchets Noblesse sont incinérés par Attero) et la gestion des eaux usées.

Prix des matières

PP, HDPE, PET, ferreux, non-ferreux : prix positifs.

Films plastiques, mâchefers / technique routière, RDF haut PCI (« combustible secondaire ») : prix négatifs.

Attero ne parvient pas à vendre des films plastiques à un prix positif. Le prix de vente attendu une fois qu'ils seront granulé est positif (plusieurs centaines d'€/ t).

Soutiens

Soutiens REP : En 2010, le tri des déchets d'emballages plastiques des déchets ménagers est devenu obligatoire pour les municipalités néerlandaises, soit par collecte séparée (sacs ou conteneurs), soit par post-traitement de déchets résiduels (extraction confiée aux sites de traitement mécanique (MT) ou mécano-biologique (MBT)). Cette dernière option a été choisie par plusieurs municipalités (environ 10%), certaines ont contracté avec Attero. Un soutien financier au tri des plastiques est fourni dans le cadre de la responsabilité élargie des producteurs (Nedvang et Afvalfonds Verpakkingen). Le soutien est accordé aux municipalités si les plastiques sont séparés à la source ou à l'opérateur de tri si les plastiques sont post-traités (cas de Attero). Le soutien est donné par quantité recyclée en plastique (environ 500-600 €/ t), indépendamment de la méthode de collecte

Ces soutiens à la tonne sont reçus par Aterro. Leur montant à la tonne diminue progressivement. Le mécanisme sera révisé en 2022 mais le principe d'un soutien devrait être maintenu selon Nedvang.

En 2012, le site a également reçu des soutiens REP à l'investissement pendant 3 ans pour :

- Investir dans la ligne 1 qui sort du plastique
- Construire le site de tri en plastique. Les subventions représentaient 50% du CAPEX

Soutiens biométhane : Les subventions sont reçues par m³ de gaz vert injecté dans le réseau (les subventions représentent environ 40% du prix total du gaz).

³⁴ Les montants totaux et les prix unitaires sont confidentiels. Ils ont été fournis à RDC Environment dans le cadre de cette étude, ce qui a permis d'estimer la structure des recettes

Structure des coûts

CAPEX : confidentiel

Le site d'incinération des déchets (dont 2 lignes de pré-traitement) a coûté plusieurs centaines de millions d'euros (1996). La période de remboursement était de 3 à 4 ans.

En 2014, la construction de la ligne 1 et l'usine de tri en plastique ont coûté des dizaines de M €.

Le coût de l'unité de digestion anaérobie n'a pas été divulgué.

OPEX³⁵ : confidentiel.

Structure des coûts hors taxe d'incinération (4,3 M € de frais supplémentaires)

Maintenance : 32%

Main-d'œuvre pour le tri : 10%. Les employés ont des contrats de travail standards (non subventionnés).

Epuración des fumées (coûts des matières) : 11%

Autres dépenses de personnel : 25%

Déchets (rejets): 23%

Il n'y a pas de coûts d'énergie externes significatifs parce que l'électricité et la chaleur utilisés sont produits en interne. Le démarrage et l'arrêt sont assurés en utilisant du gaz naturel et non du biométhane produite en interne car le prix du marché du gaz naturel est inférieur au prix de vente du biométhane avec subventions.

Personnel

- 290 ETP pour l'ensemble du site (y compris le compostage et la station d'épuration)
 - Dont 90 ETP en tri
 - Dont 40 ETP pour la maintenance

Perspectives pour le modèle d'affaires

Attero s'attend à ce que les soutiens REP pour l'extraction des plastiques diminuent dans le futur.

Selon Nedvang (éco-organisme), le soutien sera prolongé après 2022. La collecte et le recyclage doivent être soutenus si ils représentent un coût net pour les municipalités.

Le site poursuit la tendance engagée depuis 2010 qui consiste à diversifier les sources de revenus du site pour optimiser le modèle d'affaires et être moins vulnérable à l'évolution des *gate fees*.

Afin d'accroître la valeur ajoutée et de trouver un marché pour les films plastiques qui soit indépendant des soutiens REP, Attero a décidé de traiter les films plastiques sur site pour les granuler. L'unité de granulation est en construction (2017).

À l'avenir, il est envisagé de récupérer le papier en vue du recyclage.

³⁵ Les montants totaux et les prix unitaires sont confidentiels. Ils ont été fournis à RDC Environment dans le cadre de cette étude, ce qui a permis d'estimer la structure des coûts.

VIII.1.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Caractérisation du site

Le site est un incinérateur de déchets dont la gestion ressemble à celle d'un incinérateur de déchets non dangereux classique.

Le prétraitement, condition initiale à la construction du site pour les autorités locales, permet aujourd'hui au site de diversifier ces sources de revenus.

Le RDF est le résidu de ce processus de préparation et il ne fait pas l'objet d'un cahier des charges précis. Le pouvoir calorifique est le paramètre clé pour le fonctionnement du site.

Facteurs clés de succès

- Dans l'organisation choisie
 - L'intégration du tri et de la combustion : cela permet une optimisation des opérations de tri afin de maximiser les revenus liés aux *gate fees* (augmentation du débit).
 - Le partenariat avec Noblesse Proteins a généré de nouveaux revenus pour la chaleur.
- Dans le contexte national
 - Les subventions REP (investissement et exploitation) ont motivé la collecte de matières plastiques recyclables pour le recyclage. Attero a déjà atteint le retour sur investissement pour le processus de tri en plastique.
 - La relation avec les autorités locales est bonne. En cas de non-respect exceptionnel des valeurs limites d'émission, la relation est ouverte pour en discuter.

Freins et leviers

Pas de difficultés rapportées.

La variabilité des *gate fees* a été compensée par une adaptation du modèle d'affaires, dans un contexte national favorable (existence de soutiens).

La baisse des gisements a été compensée par les imports.

Transposition

Le site d'Attero Wijster ne répond pas à la vision française de la filière CSR, et en particulier à la typologie d'installations dédiées CSR et classés ICPE 2971 que la France souhaite développer.

- Le pouvoir calorifique du RDF produit est trop bas (8,4 contre 12 MJ/kg).
- Le site a été dimensionné pour incinérer des déchets et le débouché énergétique trouvé plus tard. Le site n'a pas pour objectif premier de répondre à ce besoin en énergie.
- L'efficacité énergétique est inférieure aux seuils de 30% et 70% applicable aux installations de cogénération (27% selon la formule de l'arrêté ministériel du 23 mai 2016).

En revanche, les modalités du contrôle qualité volontairement appliqué par l'installation semblent se conformer aux exigences réglementaires français.

Toutefois, le site de Wijster propose un modèle d'amélioration du fonctionnement des incinérateurs de déchets non-dangereux qu'il peut être intéressant de répliquer en France :

- Récupération des emballages plastiques recyclables non collectés à la source ;
- Valorisation énergétique de la fraction organique sous forme de biométhane injecté dans le réseau de gaz naturel ;
- Attraction d'une industrie consommatrice de chaleur auprès de l'incinérateur pour améliorer le rendement énergétique.

Le modèle économique d'un tel site est cependant relativement sensible à des éléments de contexte qui ne se retrouvent pas en France à l'heure actuelle

- Prix du traitement des déchets avant préparation, inférieurs en France (données chiffrées confidentielles);
- Régime de subvention pour l'énergie renouvelable ;
- Soutiens REP pour récupérer des emballages dans les déchets mélangés ;
- Installation de taille moyenne à grande pour assurer des économies d'échelles suffisantes (par exemple pour justifier la construction d'une unité fabriquant des granulés de films plastiques).

Nous concluons que le modèle de Wijster n'apparaît pas répliquable à court terme en France. En revanche, si les prix de traitement augmentaient en France à l'avenir, le prétraitement des OMR pourrait être envisagé sur les sites de moyenne à grande taille.

VIII.1.7. Détails sur la visite

Date : 21/04/2017

Adresse : Vamweg 7, 9418 TM Wijster, Pays-Bas

Contacts

Nom	Responsabilité	Organisation	Détails du contact
Peter BAKKERS	Coordinateur du procédé	Attero	T: +31 88 550 1143 • M: +31 6 20 41 72 37 E: peter.bakkers@attero.nl

VIII.1.8. Annexe

VIII.1.8.1. Diagrammes techniques des lignes de tri

Figure 43: Diagramme technique - Ligne de tri 1 - OMR Pays-Bas (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017)

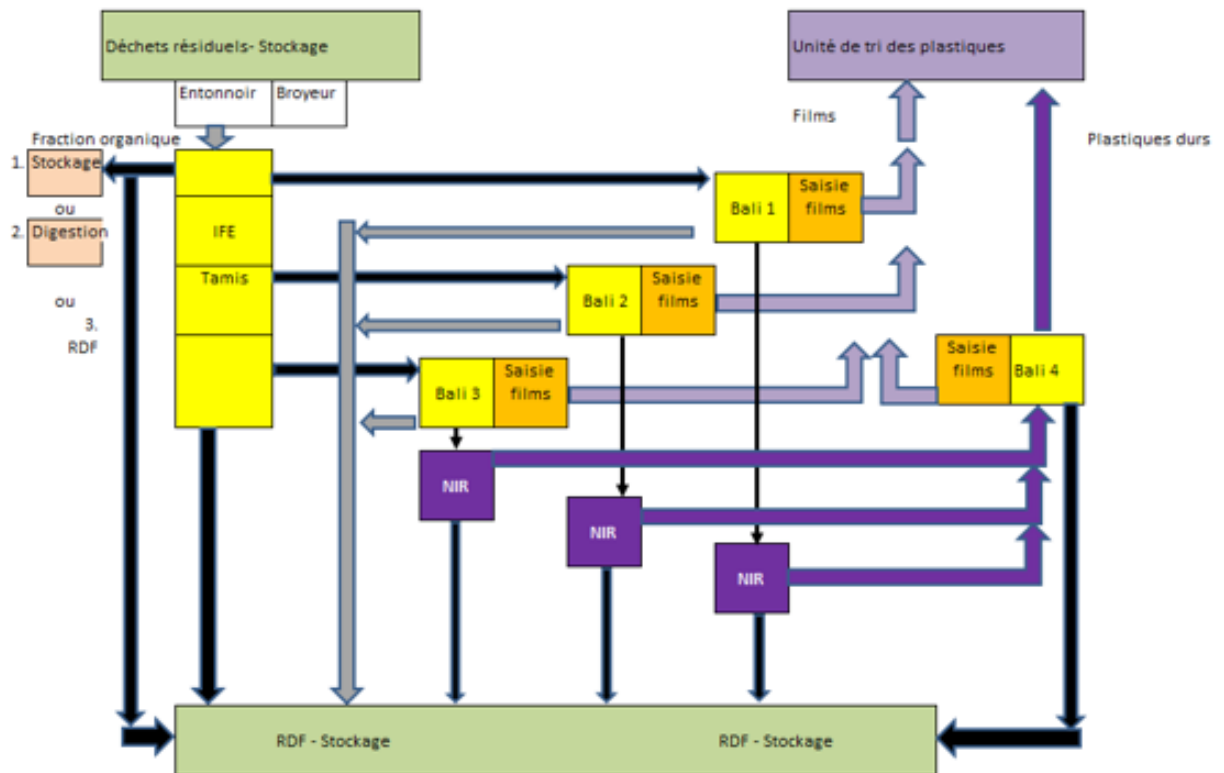


Figure 44: Diagramme technique- Ligne de tri 2 - DAE Pays-Bas (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017)

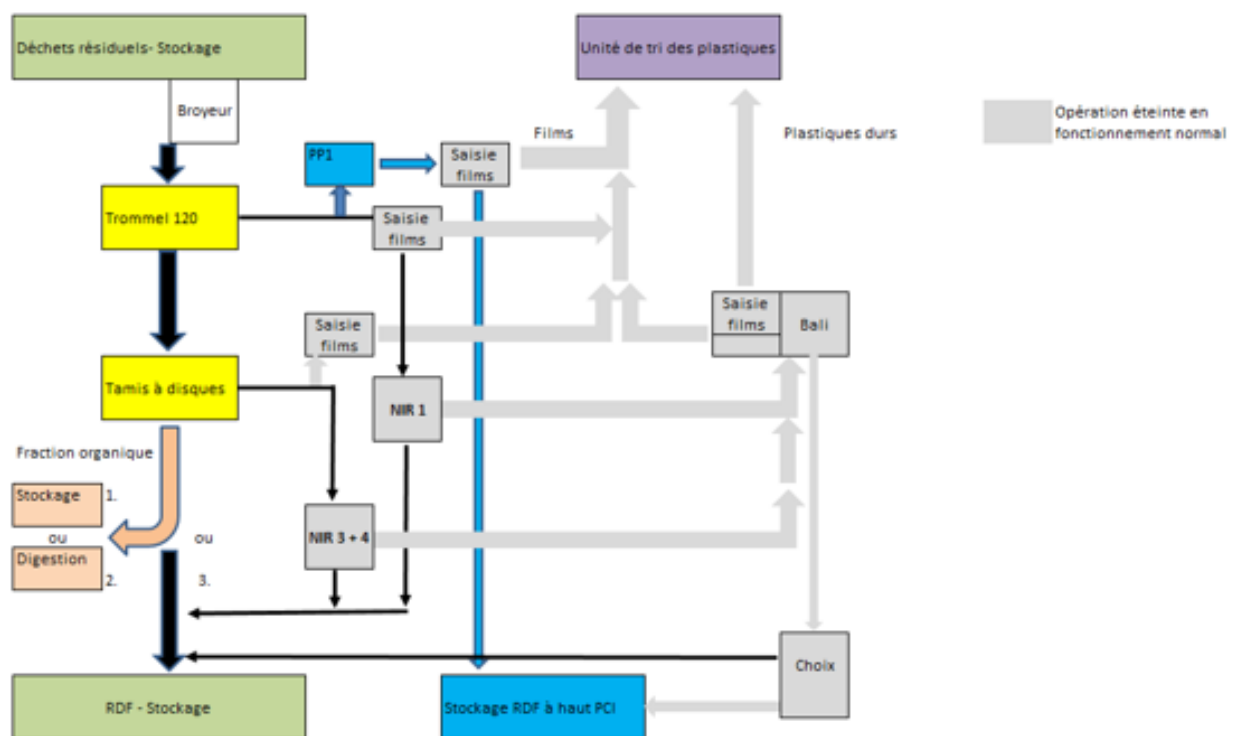
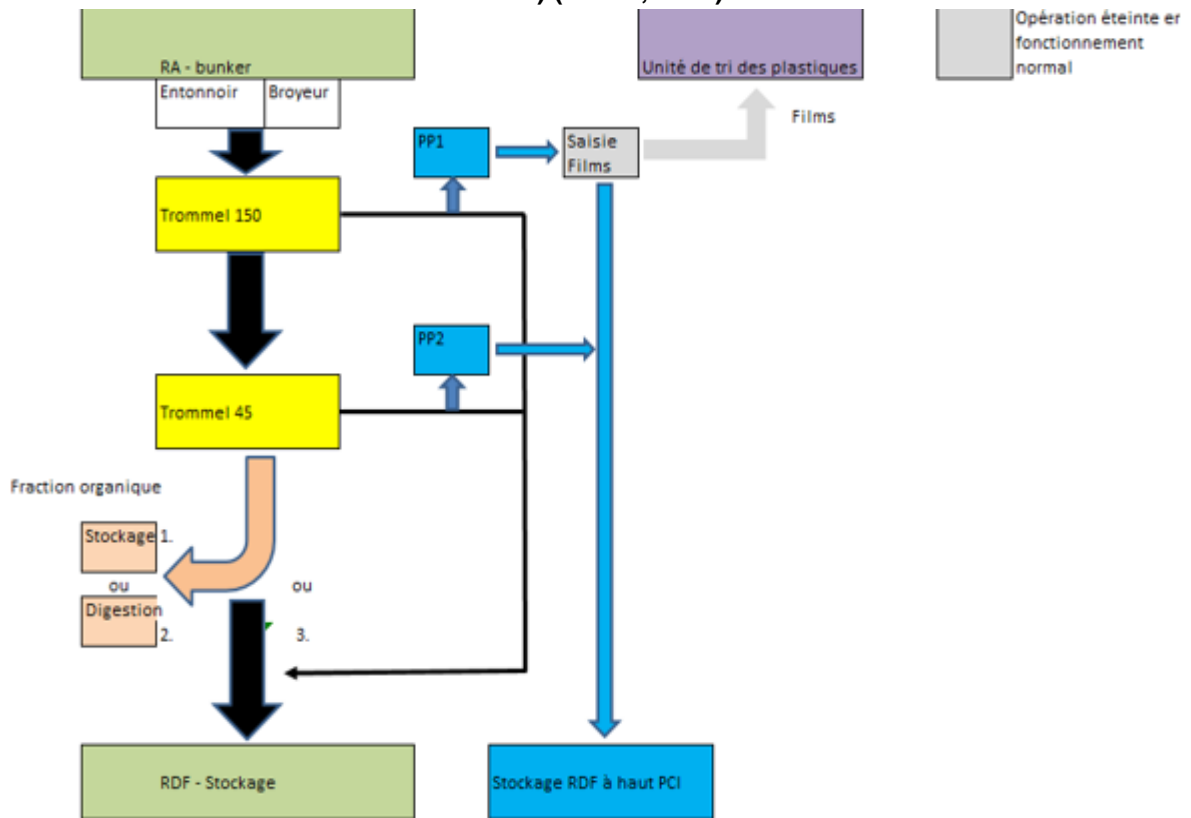


Figure 45: Diagramme technique- Ligne de tri 3 – Déchets importés (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017)



t

VIII.1.8.2. Caractérisation du RDF haut PCI (« combustible secondaire »)

Tableau 32: Caractérisation du RDF haut PCI - Attero Wijster (compilation RECORD, 2018) (Attero, 2017)

Composition	Combustible secondaire
Organique	3,6
Papier/carton - Réutilisable	25,0
Papier/carton- Autres	1,4
Films plastiques	25,2
Bouteilles et flacons plastiques	2,7
Plastiques durs	27,0
Autres plastiques	11,3
Verre	0,4
Ferreux	-
Non- Ferreux	3,9
Textile	3,9
Pierre	0,3
Bois	10,8
Briques alimentaires – Tetrapak ®	3,7
Cellulose	4,8
Reste	0,9
Tapis/Moquettes	-
Cuir/Caoutchouc	6,8
DEEE (flux avec cables)	0,3
Polystyrène expansé	0,8
Teneur en matière sèche	78,7
PCI calculé ³⁶	20,3 MJ/kg

³⁶ La méthode tend à surestimer le PCI réel. Elle est fondée sur une moyenne pondérée du PCI des différentes fractions caractérisées.

VIII.2. Linz Mitte (Autriche)

VIII.2.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Linz Mitte

Adresse : Nebinger Strasse 1 4021 Linz – Autriche

Employés : environ 130 employés (dont 30 opérateurs pour la préparation et 50 opérateurs pour l'incinération)

Capacité : 230 kt, 72 MWth de puissance thermique nominale

Opérateur et propriétaire : Linz AG

Linz AG est une entreprise municipale fondée en octobre 2000 par la fusion de ESG, l'entreprise en charge de l'électricité, du chauffage urbain et des services de transport ; et SBL, une entreprise de services municipaux.

Linz AG fournit de multiples services, dont le traitement des eaux usées, la gestion des déchets (collecte, traitement mécano-biologique, traitement thermique des déchets...), la production d'électricité et de chaleur (cogénération gaz et biomasse), la gestion du réseau de chauffage urbain ainsi que d'autres services comme les transports urbains.

L'entreprise est détenue intégralement par la ville de Linz (environ 200 000 habitants). Linz AG opère à Linz et dans 115 autres collectivités voisines de haute Autriche (*Oberösterreich*).

L'entreprise est organisée comme une holding qui agrège 5 différentes filiales correspondant à différentes activités. Les filiales impliquées dans les activités du site de Linz Mitte sont Linz Service GmbH qui comprend notamment les divisions Abfall (gestion des déchets) et Abwasser (traitement des eaux et production de boues de STEP) ; Linz Strom GmbH (production d'énergie) et Linz Gas/Wärme GmbH (réseau de chaleur).

Consommateur d'énergie : réseau électrique, réseau de chauffage urbain municipal eau chaude opéré par Linz Gas/Wärme GmbH, une filiale de Linz AG.

Historique de la gestion du site

Le site est détenu et opéré par Linz AG depuis sa mise en service en 2012.



VIII.2.2. Historique et description des activités

Historique des activités du site

- En 2008-2009, Linz AG a lancé un projet de construction d'un site d'incinération pour des boues de STEP. Il s'agissait d'une réaction à l'interdiction nationale de mise en décharge des boues de STEP qui était prévue et devait entrer en vigueur en 2013.

La décision de construire une installation qui pourrait incinérer à la fois des boues de STEP et des RDF (plutôt qu'une mono-incinération de boues) était perçue comme une solution intégrée en lien avec les diverses activités de Linz AG.

- Gestion des eaux usées : jusqu'en 2012, les boues de STEP générées par la filiale en charge du traitement des eaux étaient mises en décharge sur l'installation de stockage des déchets non dangereux (ISDND) également opérée par une filiale de Linz AG.
- Gestion des déchets : le site constituait une solution pour gérer les déchets municipaux collectés puis traités par TMB par Linz AG. Avant 2012, ces déchets étaient envoyés dans des incinérateurs non opérés par l'entreprise. Depuis la construction de l'incinérateur, ils sont traités par Linz AG, sauf en cas d'arrêts prolongés de l'installation.
- Production d'énergie pour le réseau de chaleur : l'utilisation de déchets offrait deux avantages. Elle permettait d'une part d'augmenter la part d'énergie non fossile dans le

mix chaleur de 17% à 35%. Dans cette estimation de part non fossile, seuls 50% de la masse des déchets est considérée comme renouvelable. D'autre part, l'installation permettait de diminuer la consommation de bois et les coûts associés.

La localisation du site a été choisie pour que le site soit proche du centre du réseau de chaleur afin d'alimenter le réseau efficacement. Linz AG détenait un terrain libre sur la zone industrielle depuis le démantèlement dans les années 2000 d'anciennes centrales à fioul qui alimentaient le réseau de chaleur. Le site choisi est proche du centre-ville, dans une zone industrielle comprenant notamment des sites chimiques et sidérurgiques et située sur les rives du Danube. Le site est connecté à l'autoroute et aux lignes de chemin de fer (une ligne de train arrive directement sur site et assure une partie de l'approvisionnement en déchets). Aucun port n'est installé sur site.

- Les sites de préparation et de traitement thermique des RDF ont été construits en 2011 et mis en service en 2012.
- Depuis la construction, aucun changement majeur n'a été apporté.

Figure 46 : Photo aérienne du site de Linz Mitte (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017)



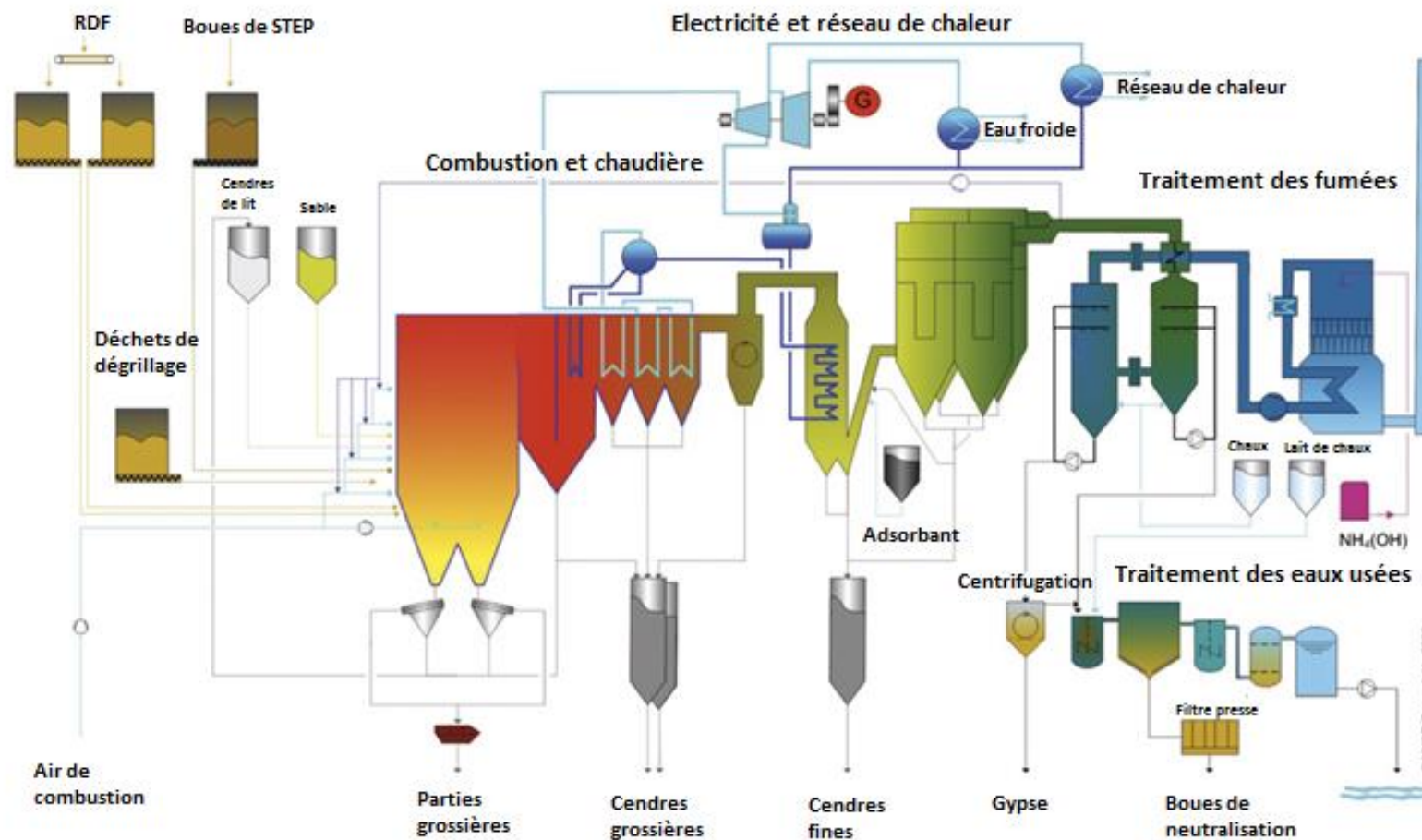
Principal objectif de l'utilisation de RDF : Incinération des déchets (boues de STEP en particulier)

- L'entrée des déchets constitue la principale source de revenus du site.
- Le dimensionnement du site a été décidé en tenant d'abord compte de la quantité de boues de STEP à incinérer, pour remplacer le stockage (50 kt/an).
- La taille totale du site, qui détermine la quantité de RDF qui peut être incinérée avec les boues, a ensuite été calculée pour optimiser la rentabilité du site et de l'entreprise en générale. Elle a été estimée en tenant compte de la demande en chaleur en été (lorsqu'elle est la plus basse). En effet, le site devait être associé à une demande en chaleur toute l'année pour atteindre une bonne efficacité énergétique et une rentabilité. De plus, la capacité du site permet un arrêt des centrales à gaz et à biomasse durant l'été (en général, sauf si le prix de l'électricité permet de les opérer de façon rentable selon l'ordre de mérite).
- Un site plus petit n'aurait pas permis d'économies d'échelle suffisantes pour amortir la technologie. Un site de plus grande taille aurait rendu l'approvisionnement en déchet difficile et aurait reposé sur une production plus importante d'électricité en été (en général moins rentable).

VIII.2.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.2.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

Figure 47: Diagramme technique de l'installation Linz Mitte (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017)



Le RDF est préparé dans l'installation de préparation située à proximité et est acheminé sur le site d'incinération par un convoyeur couvert et stocké dans une petite aire de stockage qui contient l'équivalent de quelques heures de fonctionnement. Cette zone tampon permet une flexibilité en cas d'arrêts de courte durée du fonctionnement de l'installation de préparation de RDF.

Les boues digérées sont acheminées sur site par camion, vidées dans des réservoirs et pompées auprès du lit fluidisé.

Une petite quantité de déchets de dégrillage du traitement des eaux usées peuvent également être amenées sur site. Ces déchets sont amenés séparément sur le site d'incinération et pas préparés sur l'installation de préparation, à cause des nuisances olfactives qu'ils amèneraient sur le site de préparation.

Le lit est alimenté par un mélange de sable de quartz (0,5-1 mm) et de cendres fines préparées par tamisage de mâchefers et des cendres de chaudière.

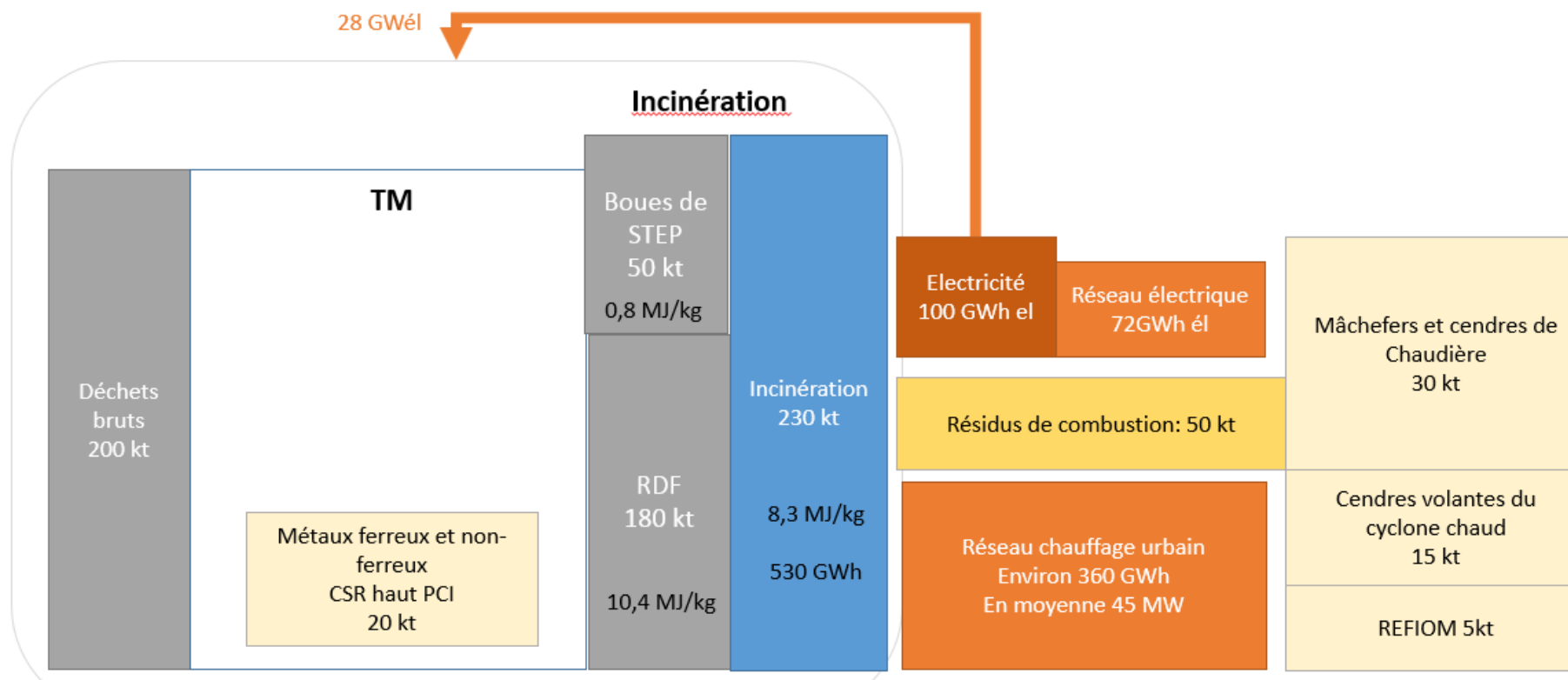
La combustion est une combustion étagée dans un lit fluidisé bouillant. La chaudière est composée de 3 chambres (décrites ci-dessous).

La récupération de chaleur se fait au moyen de 5 échangeurs de chaleur. La turbine est à contre-pression.

Le site a été construit et mis en service par STRABAG Energy Technologies (SET). Le modèle de chaudière installé est un modèle appelé SETCIA, une catégorie de chaudières à lit fluidisé pour la biomasse, les multi-combustibles et les résidus.

La société UVP a conçu et planifié la construction du site, en consortium avec BHM, TSI et PEP. UVP suit toujours les projets d'amélioration du site.

Figure 48: Bilan matière et énergétique du site Linz Mitte (RECORD, 2018)



Technologie de combustion : Four à lit fluidisé bouillonnant (stationnaire)

Le lit fluidisé est constitué de 3 parties principales :

- La première chambre est un lit fluidisé vertical équipé de buses d'injection d'air à 5 hauteurs différentes qui permettent une combustion étagée. L'injection d'air primaire vient d'en-dessous du lit, ce qui permet la fluidisation. Il s'agit de l'air vicié provenant de l'installation de préparation des RDF, en mélange avec des fumées remises en circulation pour permettre le contrôle de la température et des émissions. L'air est amené dans des proportions sous-stœchiométriques afin de maintenir une température du lit autour de 620°C et ainsi éviter la fusion de l'aluminium contenu dans le RDF, qui serait responsable d'effets de colmatage du lit nécessitant des opérations de maintenance et des arrêts de production. 4 niveaux d'injection d'air supplémentaires sont installés dans les parties supérieures de la chambre de combustion. Après l'injection finale d'air, les conditions opératoires assurent un temps de résidence minimal de 2s à une température supérieure à 850°C.
- La deuxième chambre refroidit les fumées à une température de 650°C et assure une première récupération d'énergie. Cette baisse de température permet de réduire les effets de corrosion des surchauffeurs.
- La troisième chambre, en forme de queue, (tail-end pass) est équipée de 3 échangeurs de chaleur ou surchauffeurs (1 à co-courant et 2 à contre-courant). Le design horizontal, en queue, permet de positionner les échangeurs de chaleur à la verticale ce qui permet de les marteler avec des marteaux placés à l'horizontale, afin de retirer la suie. Cette technique serait plus efficace que les souffleuses, nécessaires lorsque le design est vertical.

Capacité : 240 000t/an (30 t/h maximum)

Capacité thermique nominale (sur PCI) : 72 MW

Gamme de PCI : 6,5-18 MJ/kg

Température dans le lit : 620°C

La technologie et le design ont été principalement influencés par la décision d'incinérer en mélange des boues et des RDF, et par les contraintes de température et de pression imposées par le réseau de chaleur de la ville. La technologie de lit fluidisé bouillonnant a été choisie pour gérer les boues (une quantité importante de boues ne peut pas être gérée par une chaudière à grille). Le lit fluidisé circulant n'était pas compétitif compte tenu de la taille trop moyenne de l'installation.

Au démarrage du projet, une turbine à condensation avait été envisagée pour produire un maximum d'électricité. Cependant, puisque les prix de l'électricité ont diminué, la turbine a été modifiée pour optimiser la production de chaleur (turbine à contre-pression).

Adaptabilité à d'autres combustibles

La technologie n'a pas été choisie pour son adaptabilité. Les paramètres vapeur (42 bar et 420°C) sont optimisés pour de la valorisation thermique des déchets et ne permettent pas d'utiliser d'autres combustibles tels que la biomasse ou le charbon. Il ne s'agirait pas de la technologie la plus efficace pour de la biomasse.

Fonctionnement du four

Energie entrante : 530GWh

Puissance thermique entrante estimée : 66 MW (sur base de 8000 h de fonctionnement)

PCI moyen des combustibles : 8,3 MJ/kg

- PCI moyen du RDF : 10,4 MJ/kg (180 kt/an)
- PCI moyen des boues de STEP : 0,8 MJ/kg (50 kt/an)

Nombre d'heures de fonctionnement : 7900-8000 h/an (4 semaines d'arrêt/an)

La production est organisée pour être continue. 4 semaines d'arrêt pour maintenance sont nécessaires ce qui porte à environ 8060 heures le nombre maximal d'heures de fonctionnement.

Les arrêts non prévus réduisent encore le temps de fonctionnement. Le temps réel d'opération est compris entre 7900 et 8000h.

La turbine est arrêtée en hiver pendant environ 12 semaines, soit 2000h, lorsque la demande en chaleur est haute. Cette décision est prise pour atteindre un optimum économique tenant compte de la demande en chaleur du réseau, du coût des différents modes de production de chaleur (bois, gaz, incinérateur) et du prix de l'électricité.

En été, la partie non consommée de la chaleur est refroidie par un circuit d'eau grâce à l'eau du Danube, ou si l'eau du fleuve a une température supérieure à 30°C, grâce à une tour de refroidissement située sur les rives du Danube. La tour de refroidissement n'est généralement pas utilisée.

Puissance fournie :

- Electricité : 17 MWeI (15-20 MW) incluant 3,5 MWeI consommés en interne (1,5 MWeI pour l'unité de préparation des RDF et 2 MW pour l'unité d'incinération des déchets)
- Chaleur : 45 MWth quand la turbine est opérationnelle et jusqu'à 60 MWth quand la turbine est arrêtée en hiver. En été, le réseau de chaleur ne nécessite que 30 MWth. Dans ce cas, 15 MW sont refroidis en utilisant un circuit de refroidissement à eau, grâce à l'eau du Danube ou à la tour de refroidissement.

Energie réellement fournie – estimée à 460 GWh :

- Environ 100 GWh électriques (6000h, 17 MW)
- Environ 360 GWh thermiques (hypothèses : 2000h 30 MW, 4000h 45MW et 2000h 60 MW)

Turbine à contre-pression

Puissance maximale : 15,9 MWeI

La donnée de production de 17 MW fournie par Linz AG a été conservée pour l'évaluation du bilan énergétique.

La turbine est optimisée pour l'extraction de chaleur.

Propriétés vapeur

La chaudière produit un maximum de 90t/h de vapeur à 42 bar et 420°C (surchauffée), utilisée pour faire fonctionner la turbine. La pression de sortie de la vapeur est de 0,5-0,8bar.

Enthalpie spécifique : 3258 kJ/kg.

Le réseau de chaleur est alimenté par de l'eau liquide dont la température soit être inférieure à 130°C. L'eau du réseau est chauffée par des échangeurs de chaleur utilisant la chaleur restant dans la vapeur après la turbine.

Bilan énergétique

Électricité produite : 100 GWh – 12,5 MW el (en moyenne)

- Et fournie au réseau : 72 GWh – 9 MWeI
- Et autoconsommée : 28 GWh – 3,5 MWeI

Chaleur produite : 360 GWh - 45 MWth (en moyenne)

Consommateurs d'énergie :

Chaleur : réseau de chaleur Linz AG- Linz Gas und Wärme GmbH

La chaleur fournie équivaut à 11 000 foyers.

Electricité : réseau

Contrôle des émissions

Les substances couvertes par un suivi en continu des émissions sont les suivantes : Hg, HCl, C_{org}, CO, HF, NO_x, SO_x et les poussières.

Les dioxines sont mesurées 4 fois par an.

Le système de traitement des fumées est composé de 7 parties :

- Un cyclone chaud qui récupère les cendres volantes non dangereuses à 400°C. A cette température, le mercure et les dioxines restent en phase gazeuses et ne sont pas collectées avec les cendres.
- Un économiseur chauffe l'eau circulant dans la chaudière de 130°C à 250°C.
- Du charbon actif est injecté avant les filtres à manches pour collecter les dioxines et le mercure.
- Les filtres à manches collectent les particules, incluant les dioxines et le mercure qui reviennent en phase solide avec la baisse de la température (180°C).
- Laveur humide pour acide (HCl, HF) - oxydation forcée au calcaire par voie humide (LSFO). L'effluent liquide est traité sur site par une petite unité de traitement des eaux usées. L'eau traitée est rejetée dans le fleuve Danube.
- Laveur humide pour dioxyde de soufre (SO₂)- oxydation forcée au calcaire par voie humide (LSFO). En pratique, il n'y a pas de gypse produit car les déchets sont peu chargés en soufre et que le soufre se dépose sous forme de cendres de chaudière.
Réduction catalytique sélective (SCR) pour abattre les NO_x. Cette étape est opérée de façon relativement proche de la valeur limite d'émission pour éviter les émissions d'ammoniac.

Production de mâchefers et REFION- Bilan matière incinération :

Déchets entrants : 230 kt dont 180 kt de RDF

Résidus de combustion : 50 kt (22%, variable entre 20 et 25%)

- Dangereux : 5kt de REFION incluant les boues du laveur acide (2%)
- Non-dangereux : 45 kt (20%) dont :
 - 30 kt de mâchefers et cendres de chaudière (13%)
 - 15 kt de cendres volantes récupérées par le cyclone chaud (7%)

Les cendres sont intégralement stockées et ne sont pas valorisées. L'utilisation de cendres et mâchefers en technique routière n'est pas autorisée en Autriche.

Les résidus de combustion non-dangereux sont transportés par camion jusqu'à une installation de stockage des déchets non dangereux opérée par Linz AG.

Les résidus de combustion dangereux sont soit envoyés vers une installation de stockage n'appartenant pas à l'entreprise et située à environ 200 km du site, soit stabilisés en utilisant du ciment et utilisées comme remblai dans des mines de sel.

Autres

Les camions qui alimentent le site en boues de STEP transportent également les résidus de combustion non dangereux vers l'ISDND, qui est située sur le même site que la station d'épuration. Les quantités de boues de STEP et de cendres sont très similaires (environ 20 à 25% de la quantité totale entrante, 50 kt/an), ce qui veut dire que les retours à vide sont évités. Sur site, l'alimentation en boues de STEP et le déchargement des cendres sont placés à proximité.

Les laveurs acides produisent approximativement 6,5 m³ d'effluent liquide par heure.

L'efficacité énergétique de la chaudière en cogénération est de 85% selon plusieurs publications de Linz AG Strom. Elle a été mesurée à 80% lors de tests de performance.

VIII.2.3.2. Propriétés du combustible

Combustibles utilisés

- RDF : 180 kt préparés à partir d'OMR et de DAE provenant d'Autriche (78% du poids, 98% de la valeur calorifique entrante). PCI : environ 10,4 MJ/kg.
- Boues de STEP (eaux usées urbaines) : 50 kt. PCI : environ 0,8 MJ/kg.

Du gaz naturel est utilisé au démarrage.

Composition du RDF

Tableau 33: Spécifications du RDF – Linz Mitte (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017)

Composition	Unité	Moyenne	Gamme
PCI ³⁷	MJ/kg	12,2	10-18
Densité	kg/m ³	200	120-350
Granulométrie <35 cm	%	99%	-
Granulométrie >2 cm	%	90%	-
Grandes pièces	%	<5%	-
Teneur en humidité	% brut	23,6	10-40
Cendres	% brut	28,7	10-40
Ferreux	% brut	0,5	-
Non- Ferreux	% brut	0,1	-
Soufre	% brut	0,5	<1,1
Chlore	% brut	1,1	<1,5 (<2,4 sur une demi-heure)
Azote	% brut	0,9	<1,5
Fluor	% brut	0,05	<0,1
Baryum	% brut	-	<0,5
Na, K	% sec	1,5	<3
Al	% sec	-	<1
P	% sec	-	<1
Br	mg/kg sur sec	-	<100
I	mg/kg sur sec	-	<100
Zn+Pb+Cu	mg/kg sur sec	4 000	<15 000
Zn	mg/kg sur sec	-	<12 000
Pb	mg/kg sur sec	-	<3 000
Cu (hors grandes pièces)	mg/kg sur sec	-	<2 000
Cd+Ti	mg/kg sur sec	-	<50
Hg	mg/kg sur sec	-	<2,5
Sb+As+V+Sn	mg/kg sur sec	-	<2 000

Contrôle qualité

Des contrôles qualité ont été réalisés lorsque le site a été mis en service. Des exigences de qualité internes ont été établies entre le site de préparation et le site utilisateur. Les contrôles qualité ne sont plus réalisés sur le RDF préparé car la conformité avec les spécifications internes a été démontrée. Ils

³⁷ Le PCI semble supérieur au PCI observé à partir des données chaudière. Notons que les méthodes d'estimation du PCI tendent à surestimer le PCI.

pourraient être remis en place si des problèmes étaient détectés dans l'installation de traitement thermique des déchets.

Autres propriétés

Taille <90mm

La teneur en carbone biogénique n'est pas mesurée. Généralement, 50% du déchet entrant est considéré comme neutre en carbone.

Figure 49 : RDF préparé et transféré vers le stockage (RECORD, 2018)



Figure 50: RDF stocké avant d'être convoyé vers l'installation de traitement thermique des déchets (RECORD, 2018)



VIII.2.3.3. Mode de production du RDF

Site de production : Linz Mitte opéré par Linz Service GmbH, division Linz Abfall

Mode de production : Tri Mécanique des OMR et DAE

Critères d'acceptation des déchets entrants : pas de critères d'acceptation spécifiques (déchets non dangereux).

Propriétés des déchets entrants

- Ordures ménagères résiduelles (OMR) : 150 kt
La séparation à la source des biodéchets est effective dans les zones où les OMR sont collectées. Il subsiste environ 20% de déchets organiques dans les déchets ménagers en Autriche, malgré le tri à la source.
Tous les types d'emballages plastiques sont séparés à la source (bouteilles, films, plastiques durs).
60% des OMR proviennent de Linz AG, le reste provient d'autres collectivités, les plus éloignées étant situées dans le Tyrol (environ à 300 km, déchets acheminés en train). Aucun déchet n'est importé d'autres pays.
Une partie des déchets est préparée par TMB avant d'être acheminé sur site.
- Encombrants : <5kt
- Déchets commerciaux et industriels (DAE) : environ 30 kt

Description du procédé de préparation

Le procédé de préparation mécanique du RDF est sommaire et consiste à préparer un combustible déchet adapté au lit fluidisé, c'est-à-dire pauvre en métaux pour éviter le colmatage et de faible dimension pour permettre la fluidisation.

Figure 51: Aire de réception des déchets bruts, avant préparation (RECORD, 2018)



En arrière-plan se situent les résidus de tri d'un TMB opéré par Linz AG, finement broyés. Ces résidus sont généralement uniquement envoyés à travers le crible pour vérifier la granulométrie des déchets, sans préparation ultérieure.

A gauche se situent les OMR en mélange.

Au milieu se situent des déchets résiduels broyés mis en balle sur une aire de stockage.

Figure 52: Entrée des déchets bruts en préparation (RECORD, 2018)



Les étapes de préparation sont les suivantes :

- Broyage
- Criblage
- Séparation des métaux ferreux et non-ferreux
- Séparation des matériaux à haut PCI (optionnelle)
- Broyage fin

Unité de préparation RDF

Bilan massique :

- Quantités transformées : 200 kt
- Quantités finales RDF : 180 kt
- Taux de rejet : 10% - 20 kt (métaux ferreux et non ferreux, RDF haut PCI pour la cimenterie)

Données supplémentaires

Le coût de préparation du RDF est estimé à 35-40€/t.

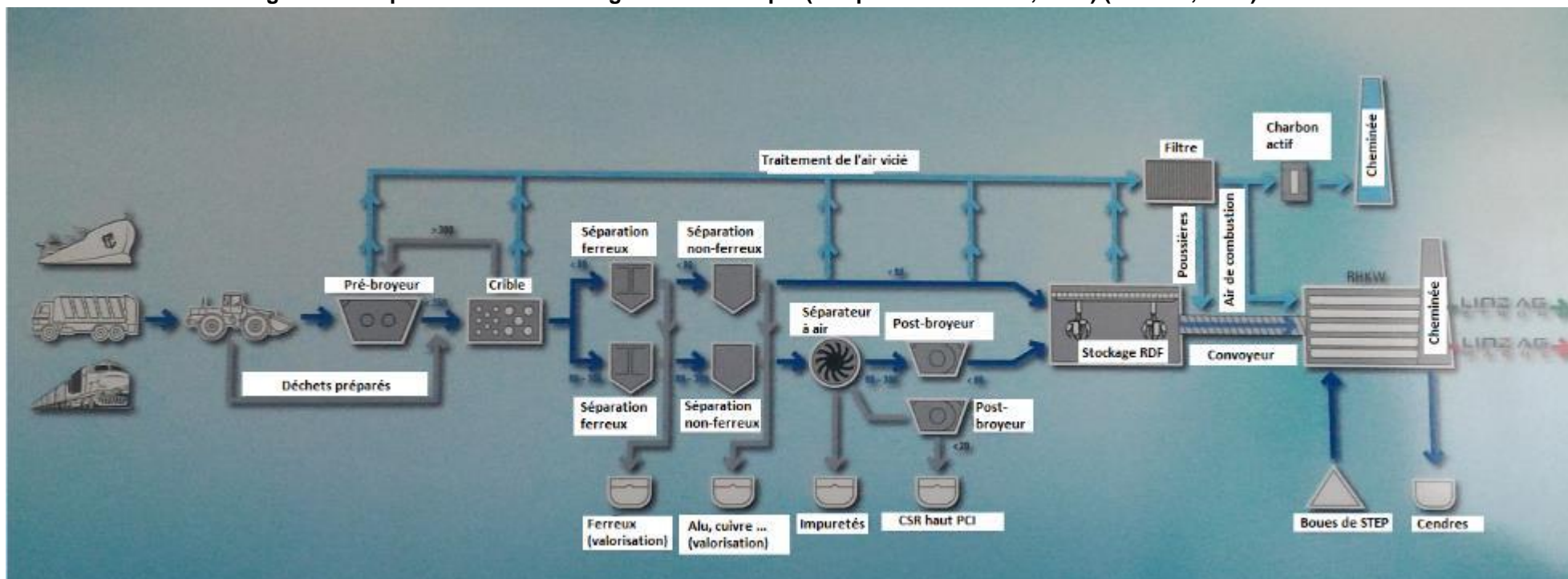
Figure 53: Alimentation du RDF depuis le stockage jusqu'au convoyeur (RECORD, 2018)



Figure 54: Alimentation du RDF dans l'installation thermique de traitement des déchets (RECORD, 2018)



Figure 55: Préparation du RDF - Diagramme technique (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017)



VIII.2.4. Conditions administratives

Terminologie

En interne, Linz AG appelle le RDF « Reststoff », ce qui signifie matière résiduelle. Il est classé selon le code SN 91103 de la norme ÖNORM S2100. Ce code correspond aux résidus du traitement mécanique.

Le terme « Ersatzbrennstoffe », qui signifie littéralement combustible de substitution, est utilisé pour appeler la fraction à haut PCI extraite pendant le processus et vendue aux cimenteries.

Normes et standards de qualité

Le RDF n'est pas standardisé mais un cahier des charges interne existe.

La fraction haut PCI produite pour la cimenterie doit se conformer :

- aux exigences de qualité concernant le PCI, la teneur en humidité et la teneur en chlore. Chaque client définit son cahier des charges.
- à l'ordonnance sur l'incinération des déchets- Waste incineration Ordinance- Abfalverbrennungsverordnung – Appendix 2

Permis - Incinération

La combustion de RDF est couverte par un permis d'incinération des déchets non-dangereux. Elle est régulée par l'ordonnance sur l'incinération des déchets (AVV). Des exigences locales plus contraignantes que la réglementation nationale ont été introduites, notamment pour les émissions de NO_x et de particules fines, en raison de la sensibilité de la zone à la pollution atmosphérique.

Une étude d'impact environnemental a dû être réalisée et fournie à l'agence de l'environnement. Les principales préoccupations à l'époque étaient l'impact de l'installation sur le trafic routier et le bruit. Les émissions dans l'air n'étaient pas une préoccupation majeure. Plus tard, des plaintes de voisinage sont survenues concernant les odeurs dégagées par l'installation de préparation de RDF. Bien que cela n'était pas requis par les autorités compétentes, Linz AG a installé des filtres à charbon actif dans l'installation de préparation pour réduire les nuisances.

Réglementation RDF

Il n'y a aucune particularité dans la réglementation liée au fait que le site prétraite les déchets avant incinération.

Valeurs limites d'émission et moyenne annuelle

Tableau 34: Valeurs limites d'émission et valeurs observées – Linz Mitte (compilation RECORD, 2018) (Linz AG, 2017)

	VLE Moyenne sur une demi-heure (AVV – nationale)	VLE Moyenne sur une journée ³⁸ (AVV – nationale)	VLE moyenne sur une demi-heure (permis)	Moyenne sur une demi-heure (observée lors de la visite)	Type de mesure
	mg/Nm ²	mg/Nm ²	mg/Nm ³	mg/Nm ³	C = continu P= périodique
Poussières	10	10	5	0,1	C
CO	100		100	2,3	C
SO ₂	50		40	0,3	C
HCl	10	10	7	0,6	C
HC	10	10	8	0,0	C

³⁸ Moyenne sur une journée (mesures continues) ou sur 0,5 à 8h (mesures périodiques)

NOx	200	70	60	27	C
HF	0,7	0,5	0,3	0,10	C
Hg	0,05	0,03	0,05	0,0031	C
NH ₃	-	5	-	-	P
Métaux lourds- total	-	0,5	0,5	-	P
Cd+Ti	-	0,05	0,05	-	P
Dioxines et furannes PCDD/F	-	0,1ng/Nm ³	0,1ng/Nm ³	-	P

Taxation

Taxe à l'incinération : 8€/t. La taxe est payée par l'incinérateur.

La taxe sur le stockage est de 87€/t, et le prix total du stockage serait de 182€/t. La taxe sur le stockage ne doit pas être payée depuis 2011-2012 pour les mâchefers et REFIOM.

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone

L'installation ne fait pas partie du système européen d'échange d'émissions (Emission Trading Scheme- ETS).

La teneur en carbone biogénique n'est pas mesurée.

Soutiens énergie renouvelable – conditions d'octroi

Le site ne reçoit pas de soutiens aux énergies renouvelables.

Statut de déchet

Tous les flux traités sur site sont des déchets.

Gestion des résidus de combustion

En Autriche, les mâchefers ne sont pas autorisés en technique routière. Ce cadre pourrait évoluer dans le futur. Les mâchefers sont stockés en ISDND.

Les REFIOM collectés par le cyclone chaud font l'objet d'un contrôle pour être classifiés comme des déchets non-dangereux, sur base de caractérisations réalisées 4 fois par an. La procédure de déclassement des déchets dangereux en déchets non-dangereux est appelée « Ausstufungsverfahren ». Deux procédures de déclassement en déchets non dangereux existent, l'une classique pour tous les déchets, l'autre à destination du stockage. Cette dernière doit faire l'objet d'une demande de l'opérateur d'une installation de stockage. Le détenteur du déchet (ou l'installation de stockage) doit notifier le ministère de l'agriculture, de la forêt, de l'environnement et de la gestion de l'eau. La notification doit comprendre des documents démontrant le caractère non dangereux des déchets. La nature de ces documents est listée dans l'ordonnance Festsetzungsveordnung 1997 pour une procédure classique et dans l'ordonnance sur le stockage Deponieverordnung 2008 pour la procédure à destination du stockage. Le ministère doit répondre à la demande sous 6 semaines après réception du dossier complet, sans quoi le déchet est considéré non-dangereux (sauf si l'évaluation de l'industriel est fautive).

Les autres REFIOM sont des déchets dangereux, stockés dans des installations appropriées ou stabilisés avant d'être utilisés comme remblai.

VIII.2.5. Conditions économiques

Remarque : Le modèle d'affaires est apprécié de manière intégrée entre la préparation et l'incinération.

Evolutions du modèle d'affaires

Le modèle d'affaires n'a pas changé significativement depuis le début de l'opération.

Appréciation générale

Le site est rentable. La marge est confidentielle.

Les revenus sont principalement liés aux prix du traitement des déchets (*gate fees*) à environ 60%, et ensuite aux recettes énergétique (40%). La récupération des matériaux représente des revenus mineurs (< 20 kt de métaux ferreux et non-ferreux).

Typologie des consommateurs d'énergie

La chaleur est fournie au réseau de chaleur de Linz opéré par Linz Gas/Wärme GmbH, une filiale de Linz AG.

- Le réseau de chaleur est principalement utilisé par les ménages (80%) et par la petite industrie (20%). 140 000 habitants sont connectés (70% de la population).
- La consommation énergétique du réseau est de 1,4 TWh (575 MW) dont :
 - 1,2 TWh fourni par Linz AG. 0,36 TWh est fourni par l'incinérateur de Linz Mitte et 0,9 TWh est fourni par les installations de cogénération au gaz ou à la biomasse.
 - 0,2 TWh sont fournis par des installations de cogénération opérées par les industries sidérurgiques
- Les installations de cogénération fonctionnant au gaz et à la biomasse sont arrêtées en été, l'incinérateur étant alors la seule installation alimentant le réseau en eau chaude.

L'électricité est vendue au réseau. Une partie est consommée en interne (environ 20%).

Contrats

Les contrats pour l'approvisionnement en déchets sont :

- de durée virtuellement infinie (même entreprise)
- de 10 ans avec les autres municipalités
- de 2 à 3 ans avec les industriels.

Le contrat pour l'approvisionnement en chaleur est de durée virtuellement infinie (même entreprise).

Notons que les prix de la chaleur vendue aux ménages peuvent être adaptés chaque année mais comme la gestion du réseau du chaleur est municipale, les prix de la chaleur sont plutôt bas et constants quel que soit la variation du prix des autres énergies. Les prix sont cependant corrigés sur l'inflation.

Il n'y a pas d'encadrement des prix de l'électricité à long terme. L'électricité est vendue en temps réel sur le marché (prix spots).

Structure des recettes

Préparation et incinération intégrée

- Gate fees : environ 20 M€ (58%) – 13 M€ pour le site d'incinération des déchets
- Chaleur : 11 M€ (31%)
- Electricité : 4 M€ (11%)

Les revenus du site d'incinération des déchets sont d'environ 120€/t incinérée.

Prix du traitement des déchets

- Avant préparation : Les prix de traitement des déchets (*gate fees*) versés à l'unité de préparation sont variables en fonction des contrats. Ils sont approximativement de 80 à 90€/t pour les déchets non préparés et les boues de STEP, bien que certains déchets puissent être

reçus avec des prix de traitement dépassant 100€/t. Cette somme est reçue par l'unité de préparation de RDF.

- Après préparation : on estime le prix du traitement des déchets préparés à d'environ 50-60€/t. Cette somme est reçue par l'unité d'incinération des RDF. Cela correspond à une recette d'environ 13 M€ pour le site.

Prix électricité

Les prix de vente spot sur le marché sont d'environ 40€/MWh en moyenne annuelle en Autriche (marché d'Europe du centre-ouest)³⁹. Les prix varient entre environ 30€/MWh en été et environ 50€/MWh en hiver. Cela représente des recettes d'environ 4M€/an (17€/t incinérée).

Chaleur

Le site d'incinération des déchets reçoit environ 25-35 €/MWh⁴⁰.

Soutiens

L'installation a reçu un crédit subsidié de la part de la Banque Européenne d'Investissement (taux d'intérêt plus faibles que pour un crédit privé).

Aucun autre soutien à l'investissement, à l'énergie ou pour la préparation de RDF n'est ou n'a été reçu par le site.

Structure des coûts

CAPEX : 145 M€ pour les deux sites (préparation et utilisation de RDF).

OPEX : confidentiel.

- 130 employés : appr. 8 M€/an
- Coût administratifs communs :
 - Environ 50 employés ; appr. 3 M€/an
- Site de préparation de RDF :
 - environ 30 employés : appr. 2 M€/an
 - autres coûts : confidentiel
 - le RDF a haut PCI a un prix négatif.
- Site d'incinération de RDF : > 10 M€/an
 - environ 50 employés : appr. 3M€/an
 - taxe incinération (8€/t) : 1,8 M€/an
 - stockage des déchets : 2,2 M€/an
 - non-dangereux (30€/t, ISDND opérée par Linz AG)- 1,4 M€/an
 - dangereux (100-200€/t)- 750 k€/an
 - épuration des fumées : inconnue
 - maintenance : 2-3 M€/an

Personnel

- 130 ETP pour l'ensemble des deux sites
 - Dont 30 ETP pour la préparation
 - Dont 50 ETP pour l'incinération

Perspectives pour le modèle d'affaires

La fraction organique ne sera pas séparée dans le processus de préparation des RDF car il n'y a pas d'intérêt économique à le faire.

³⁹ Quaterly report on European Electricity markets DG Energy Volume 9 Issue 4, 2017

⁴⁰ Les consommateurs de chaleur paient approximativement 50 à 65€/MWh en comptant le prix de distribution.

L'unité de préparation de RDF est actuellement en cours de tests de récupération de matières plastiques pour le recyclage en vue d'augmenter les recettes matières.

Une tendance actuelle en matière de gestion des boues de STEP est la mono-incinération des boues de STEP issues des eaux usées des ménages afin de permettre la récupération rentable du phosphore dans les cendres, pour une valorisation agricole. L'incinération des boues en mélange avec d'autres déchets tend à diminuer la concentration de phosphore dans les cendres et rend son extraction plus coûteuse. Si la coïncinération des boues de STEP avec des RDF n'est plus permise dans le futur, cela pourrait négativement affecter le modèle économique de l'installation. Le PCI augmenterait ce qui voudrait dire que le débit de déchets devrait être diminué, amenant ainsi des revenus plus faibles liés aux prix de traitement des déchets (*gate fees*). Cependant, les opérateurs du site ne pensent pas que la législation change dans la décennie à venir. Notons que si le site ne devait traiter que des RDF, d'autres technologies seraient plus appropriées même si la technologie choisie pourrait techniquement fonctionner.

VIII.2.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Caractérisation du site

Le site est un incinérateur de déchets dont la gestion ressemble à celle d'un incinérateur de déchets non dangereux à lit fluidisé.

L'objectif initial du site est l'incinération de boues. Pour Linz AG, la coïncinération de déchets avait pour objectif d'optimiser le modèle économique du site et de fournir une solution en interne pour des déchets qui étaient traités thermiquement par d'autres entreprises.

Le traitement mécanique des déchets en RDF sert à produire un déchet adapté à la combustion dans un lit fluidisé.

Facteurs clés de succès

- L'intégration de la plupart des activités dans une entreprise. Cela simplifie les contrats et exigences de qualité. De plus, le contrat pour l'approvisionnement des déchets et la fourniture de chaleur sont établis sur le long-terme (même entreprise).
- L'intégration de la préparation et de l'incinération sur un même site.
- La technologie. Elle est efficace pour les flux de déchets choisis.
- Le contexte national déchets. La réglementation sur le stockage et l'interdiction du stockage des boues de STEP ont incité les municipalités à se tourner vers l'incinération et ont augmenté les prix de traitement. En comparaison avec les centrales à biomasse, le combustible a un prix négatif, ce qui le rend compétitif, et plus rentable en été.
- Le statut incinération du site. En comparaison avec de la cogénération au gaz, le site n'est pas soumis aux quotas de CO₂, ce qui augmente sa compétitivité.

Freins et leviers

Pas de difficultés rapportées.

Les nuisances olfactives liées à l'unité préparation ont été résolues par l'installation de filtres à charbon actif.

Le défi principal lors de l'opération est d'éviter l'agrégation de solides dans le lit, et ainsi d'éviter des arrêts non prévus de l'installation pour augmenter le temps de fonctionnement.

Le transport des cendres dans la chambre horizontale (en queue) a été modifié. Les souffleuses ont été remplacées par des générateurs à explosion.

Transposition

Le site de Linz Mitte ne répond pas à la vision française de la filière CSR, et en particulier à la typologie d'installations dédiées CSR et classés ICPE 2971 que la France souhaite développer.

La préparation d'un RDF à Linz se justifie par le choix du lit fluidisé, lui-même justifié par le choix de coïncinérer des boues. La préparation est relativement sommaire (pas d'extraction de la fraction organique résiduelle, qui bien que relativement faible en Autriche en raison de la collecte séparée des organiques, contribue à baisser le PCI).

Si l'on compare la situation à Linz avec les exigences de la réglementation française, on constate que le site répond bien à certaines exigences de l'arrêté du 23 mai 2016:

- un dimensionnement fonction d'un besoin en chaleur
- un rendement supérieur à 70% et à 30% en été (87% en moyenne annuelle).

Cependant, le pouvoir calorifique du RDF produit est trop bas par rapport aux exigences françaises : il est de 10,4 MJ/kg en moyenne contre 12 MJ/kg au minimum dans la réglementation française.

En outre, le RDF produit à Linz ne fait pas l'objet d'un contrôle qualité en l'absence de problèmes détectés au niveau de l'incinération, ce qui n'est pas en accord avec la réglementation française.

Le modèle de Linz Mitte reposant sur la coïncinération de boues et de RDF **pourrait être un modèle intéressant à transposer en France**, au-delà de la réflexion sur la filière CSR, car :

- il fournit une solution alternative à l'épandage agricole des boues de STEP et à la mise en décharge ou à l'incinération des déchets en mélange ;
- il permet la construction d'une installation dont la taille est susceptible d'alimenter un besoin en chaleur significatif.

Notons que la coïncinération pourrait cependant être défavorisée à l'avenir par des politiques publiques favorisant ou imposant la récupération du phosphore (matière première critique) dans les boues.

VIII.2.7. Détails sur la visite

Date : 08/06/2017

Contacts :

Nom	Statut	Organisation	Contacts
Zschetzsche Albert	Senior Partner	UVP- Environmental Management and Engineering GmbH	albert.zschetzsche@uvp.at Phone : +43-(0)1 214 9520 - 16
Pauli Hubert	Engineer in Energy production and optimisation	Linz AG Strom	h.pauli@linzag.at Phone : +43(0)73234007077
Nagl Wolfgang	Manager of the RDF preparation site	Linz AG Abfall	w.nagl@linzag.at Phone : +43 (0)73234006818

VIII.3. ENEL Fusina (Italie)

VIII.3.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Enel Produzione SPA – Centrale thermique “Andrea Palladio”

Adresse : Via dei Cantieri, 5
30030 Malcontenta, Venetia

La centrale thermique « Andrea Palladio » est située sur la municipalité de Venise, à l'intérieur de la lagune de Venise, sur la zone industrielle de Porto Marghera, où d'autres activités industrielles sont implantées, principalement dans les secteurs pétro-chimique et logistique.

Employés : Donnée non communiquée

Capacité : 1152 MWel (992 MWel en service) dont 640 MWel pour les tranches incorporant du RDF normé.



Opérateur et propriétaire :

ENEL est une multinationale italienne qui produit et distribue de l'électricité et du gaz. En 2014, elle employait environ 70 000 personnes et opérait depuis environ 30 pays.

ENEL signifie à l'origine « Ente nazionale per l'energia elettrica », en français Conseil National pour l'Electricité. L'entreprise a été créée comme une entreprise publique en 1962 et transformée en une entreprise à responsabilité limitée en 1992.

En 1999, suite à la libéralisation du marché de l'électricité en Italie, ENEL a été privatisé.

En février 2015, l'Etat italien détenait 25,5% des actions de l'entreprise.

Consommateur d'énergie : réseau électrique

Historique de la gestion du site

La centrale thermique est détenue et opérée par ENEL depuis sa mise en service en 1964.

VIII.3.2. Historique et description des activités

Historique des activités du site

- La centrale thermique a été mise en service en 1964 (une tranche de 165 MWel de capacité fonctionnant au charbon).
- 5 nouvelles tranches ont été installées entre 1969 et 2010. Une tranche a fermé en 1999.

Tableau 35 : Caractéristiques des tranches de la centrale thermique “Andrea Palladio”

Tranche	Date de démarrage (fermeture)	Combustible	Capacité électrique brute (MW)
1	1964	Charbon	165
2	1969	Charbon	171
3	1974	Charbon Charbon et RDF normé depuis 2006	320
4	1974	Charbon Charbon et RDF normé depuis 2006	320
5	1977 (1999)	Gaz naturel	160
6	2010	Hydrogène et gaz naturel	16

- Depuis 2006, du RDF normé est incorporé dans 2 tranches (n°3 et 4) ayant une capacité électrique brute de 320 MWel chacune. Seules ces tranches 3 et 4 sont détaillées dans la suite de l'étude de cas.

La décision de coïncinérer du RDF normé était une décision politique prise avec la contribution de ENEL, l'Etat italien (actionnaire de référence de ENEL) et les autorités locales (la région qui a délivré le permis, la province de Vénétie et la municipalité de Venise).

Notons que l'installation de préparation de RDF normé du groupe Véritas est détenue par les municipalités locales.

- Après 2 ans de test, la coïncinération de RDF normé a démontré sa viabilité économique : elle est plus rentable que l'utilisation de 100% de charbon, y compris lorsque l'on considère les coûts additionnels (investissement dans un système d'alimentation du combustible adéquat, épuration des fumées et maintenance) et même en l'absence de certificats verts.
- Une réplification de ce modèle à d'autres centrales thermiques a été considérée par ENEL (par exemple à Brindisi Sud) mais l'autorisation n'a pas pu être obtenue. Les raisons de ce refus ne sont pas connues.

Une extension de la coïncinération aux autres tranches (n°1 et 2) nécessiterait un nouveau permis car le permis actuel prévoit une quantité maximale de RDF normé que le site est autorisé à utiliser. Cette révision serait difficile à obtenir. Notons que le gisement est disponible puisque le site préparateur de RDF normé n'a pas de difficulté à fournir du RDF normé à d'autres clients.



Figure 56: Photo du site de ENEL Fusina "Andrea Palladio" (ENEL, 2017)

Principal objectif de l'utilisation de RDF : Production d'électricité

- La production d'électricité constitue l'unique source de revenus du site (prix du marché et certificats verts).
- L'entrée des déchets constitue un revenu nul ou un coût.
- L'utilisation de RDF se traduit par une baisse des coûts liés aux certificats verts et aux quotas de CO₂.

VIII.3.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.3.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

La centrale "Andrea Palladio" est une centrale à charbon classique fonctionnant à pulvérisation. Le diagramme technique d'une centrale à charbon pulvérisé est rappelé ci-dessous. Le combustible (charbon et RDF normé dans le cas présent) doit être broyé sous forme de poussière afin de pouvoir être pulvérisé dans la chaudière. Une fois mélangée à l'air, cette poussière est injectée puis brûlée dans une chaudière à plus de 1 400°C.

Le RDF normé réceptionné par ENEL est préparé après réception afin d'avoir les caractéristiques techniques nécessaires. Le processus de préparation est résumé ci-dessous.

Figure 57: Diagramme technique d'une centrale à charbon pulvérisé (EDF, 2017)

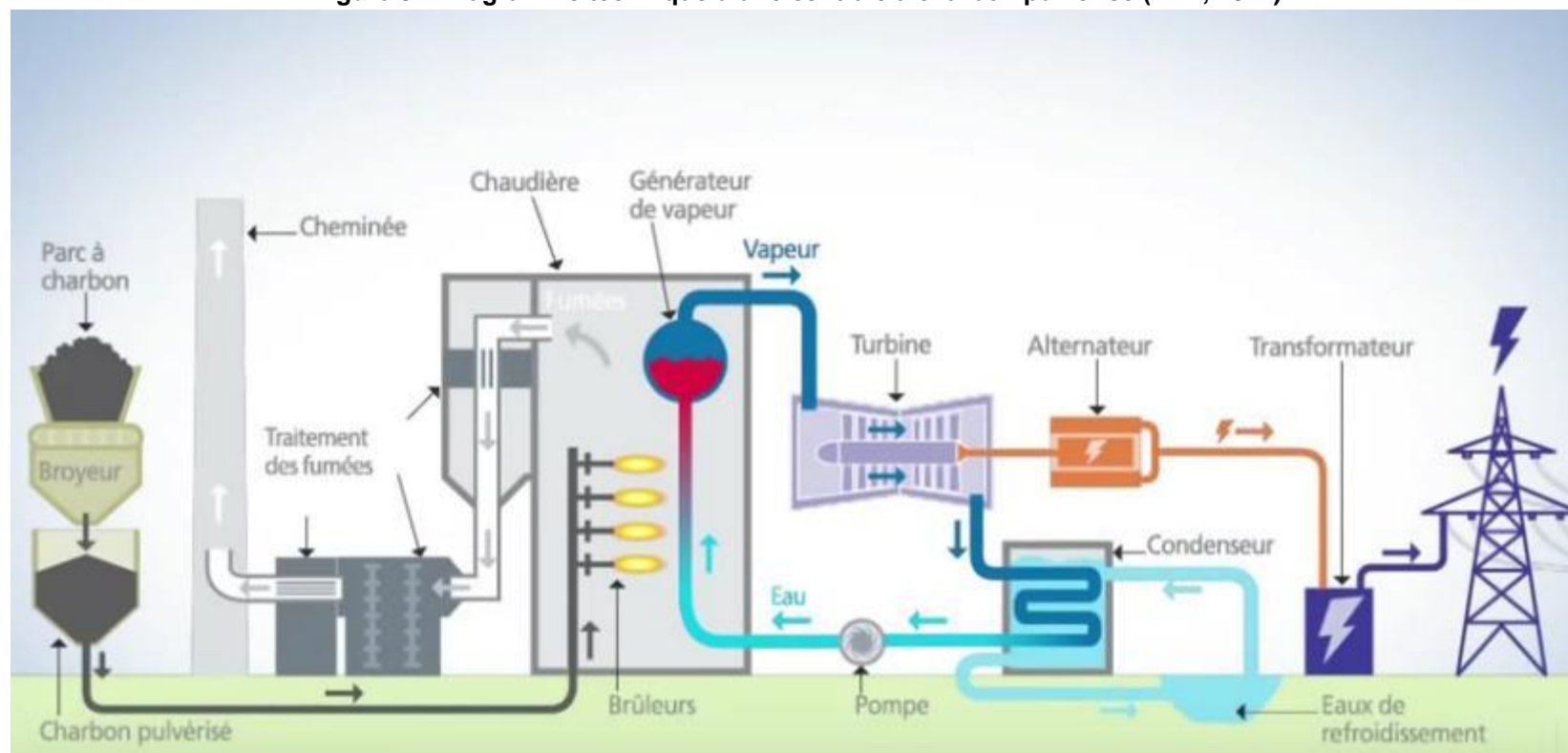
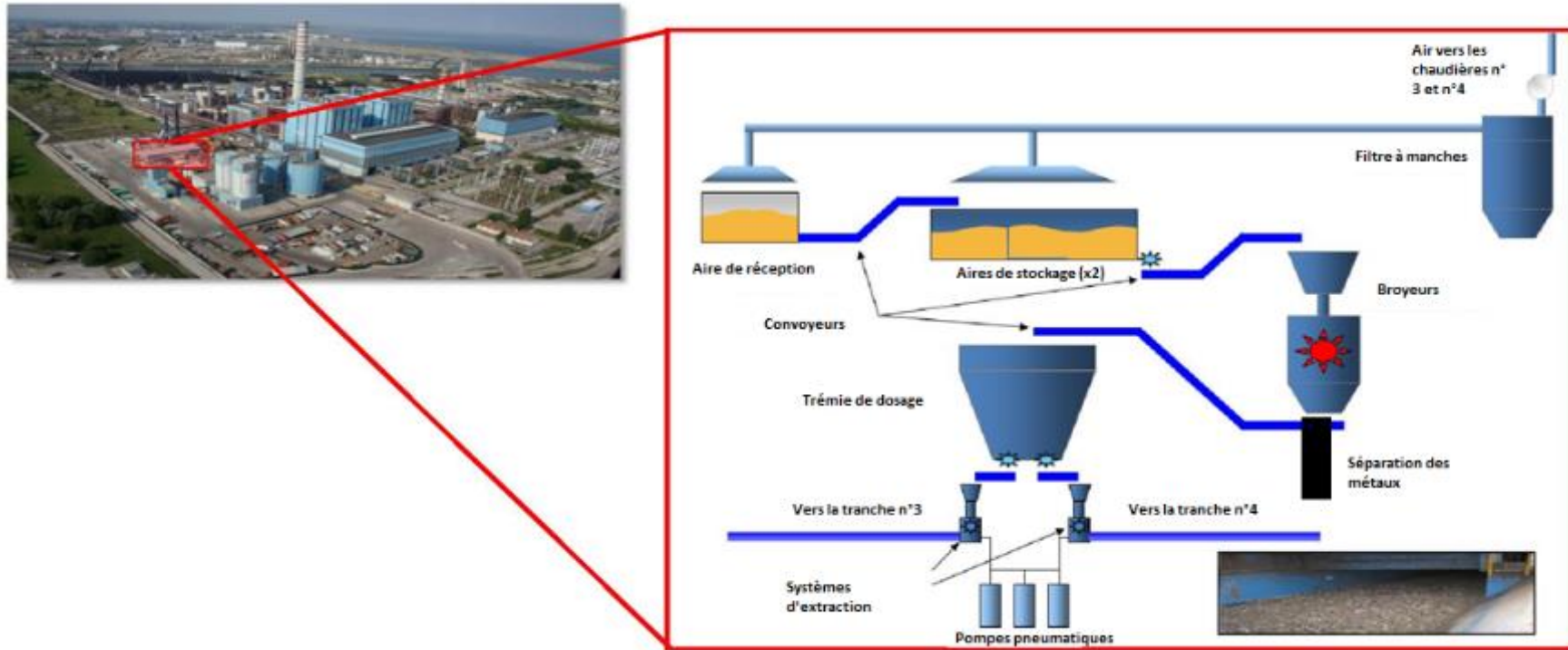


Figure 58: Préparation du RDF normé à réception : schéma résumé (ENEL, 2017)



La préparation comprend les étapes suivantes :

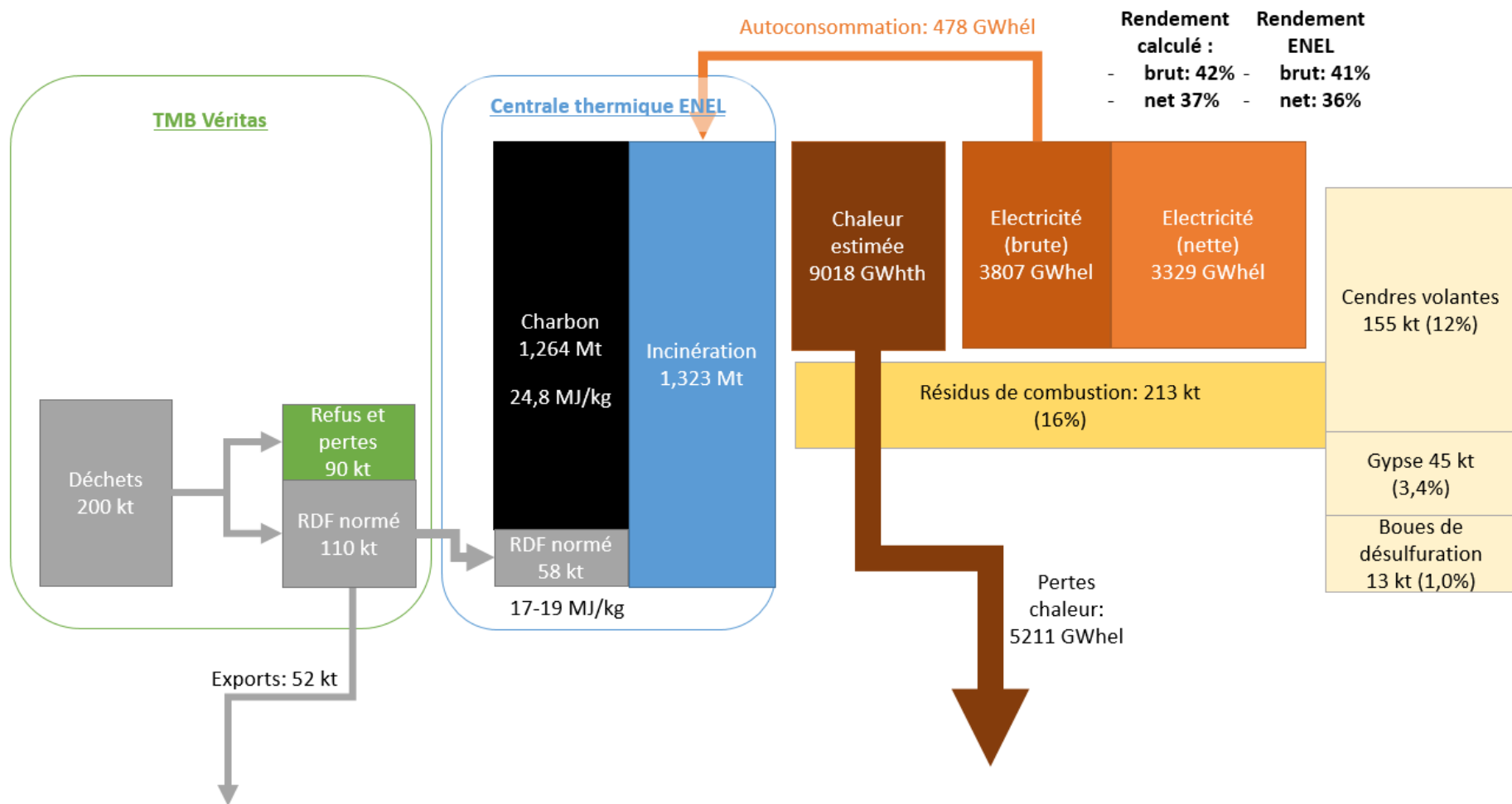
- réception des pellets de RDF normé ;
- séparation en 2 aires de stockage ;
- broyage ;
- extraction des métaux ferreux et non ferreux et des inertes par gravité.

Figure 59: ENEL Fusina - RDF normé et préparé à l'entrée dans la chaudière (ENEL, 2017)



Figure 60: Bilan matière et énergétique du site ENEL Fusina (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

2012



Technologie de combustion : Chaudière à pulvérisation

Capacité massique totale de combustible : donnée non disponible

Puissance thermique nominale (sur PCI entrant) : donnée non disponible

Adaptabilité à d'autres combustibles

La centrale peut techniquement brûler de la biomasse (principalement du bois) mais cette possibilité n'a pas été testée. ⁴¹

Fonctionnement du four

Capacité de coïncinération autorisée selon le permis (AIA) : 70 kt de RDF normé avec 5% de substitution maximale sur base de la capacité calorifique.

Gamme de PCI :

- Charbon : de l'ordre de 24,8 MJ/kg à réception
- RDF normé :
 - environ 20 MJ/kg selon Ecoprogetto ;
 - environ 19 MJ/kg à réception selon ENEL ;
 - environ 17 MJ/kg selon nos calculs sur base des données ENEL de taux de substitution énergétique.

Puissance thermique (sur PCI entrant) -2012: estimée sur base du PCI (19 MJ/kg et 24,8 MJ/kg) et de 7000h de fonctionnement :

- 653 MW pour la tranche n°3
- 635 MW pour la tranche n°4

Quantités de RDF normé utilisées :

4 à 5,6% de la masse du combustible en masse est du RDF normé. Le taux de substitution en énergie varie entre 3 et 4% selon les années. Les données de taux de substitution énergétique fournies par ENEL suggèrent que le PCI du RDF est plus faible que 19 MJ/kg en moyenne annuelle, de l'ordre de 17 MJ/kg (ou que le PCI du charbon est plus élevé en moyenne). Ces données sont jugées plus fiables car elles servent de base de calcul à l'octroi des certificats verts

Tableau 36: Quantités de combustible utilisées et taux de substitution (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

Paramètre	Source	2010		2011		2012	
		Section 3	Section 4	Section 3	Section 4	Section 3	Section 4
Charbon (t)	ENEL	421 944	538 103	542 351	416 635	642 279	622 035
RDF normé (t)	ENEL	17 815	28 321	31299	24807	27898	30500
Taux de substitution en masse (%)	Calcul	4,1	5	5,5	5,6	4,2	4,7
Energie totale entrante sur base du PCI (GWh)	Calcul sur base des PCI (19 MJ/kg et 24,8 MJ/kg)	3 001	3 856	3 901	3 001	4 572	4 446

⁴¹ Notons que la co-combustion de biomasse et de charbon ne présente pas d'avantage économique sans soutiens. En France, le coût d'approvisionnement en biomasse représente 15-25€/MWh PCI selon la CRE [123] contre un coût d'approvisionnement d'environ 7,3€/MWh PCI pour le charbon selon les données d'ENEL (50€/t charbon, PCI environ 24,8MJ/kg). Le prix des quotas de CO₂ ne suffit pas à compenser ce surcoût (avec un prix optimiste de la tonne de CO₂ de 20€/tCO₂, le coût d'approvisionnement en charbon et des quotas de CO₂ arrive à 15€/MWh PCI).

Taux de substitution en énergie (%)	ENEL	3,2	3,9	3
	Calculées sur base d'un PCI moyen du RDF normé de 19 MJ/kg	3,6	4,3	3,4
	Calculées sur base d'un PCI moyen du RDF normé de 17 MJ/kg	3,2	3,9	3,1

Nombre d'heures de fonctionnement : 7000 h (environ 10 semaines d'arrêt/an)

La faible durée de fonctionnement est liée à l'arrêt de l'installation au cours de l'année car la priorité est donnée sur le réseaux aux énergies renouvelables nous programmables (solaires et vent). Les premières installations qui doivent être stoppées sont les centrales à gaz, suivies des centrales à charbon.

A cette exception près, la production est continue avec toujours environ le même taux de substitution du charbon par du RDF normé. Il n'y a pas de stockage significatif de RDF normé.

Puissance fournie :

Puissance thermique fournie par tranche (selon ENEL) : environ 793 MWth.

Puissance électrique brute fournie par tranche (selon ENEL) : environ 320 MWeI (conversion thermique électrique de 40%).

Notons que ces données sont supérieures aux puissances observées. Il s'agit probablement de puissances nominales.

Puissance électrique fournie par tranche (calculée) en 2012 :

- Tranche n°3 : 250 MW el
- Tranche n°4 : 309 MW el

Turbine

Capacité de la turbine : 2x 320 MWeI (brut)

Propriétés vapeur

Avant surchauffe : 36 bar. Vapeur saturée (244°C). Débit moyen : 1050t/h

Après surchauffe (vers turbine) : 174 bar, 540°C.

Bilan énergétique (2012) - section 3 et 4

Rappel : L'électricité nette est la différence entre l'électricité brute et l'électricité autoconsommée. Il s'agit de la quantité réellement fournie au réseau.

Chaleur contenue dans les combustibles : 9018 GWh – 1288 MWth

Électricité produite : 3807 GWh - 544 MWeI⁴²

- Et fournie au réseau : 3329 GWh - 476 MWeI (87,5%)
- Et autoconsommée : 478 GWh - 68 MWeI

Des données sont disponibles avant coïncinération de RDF normé et après coïncinération.

⁴² Les quantités d'énergie produites sont des données fournies par ENEL. Les puissances sont calculées sur base de 7000 h de fonctionnement (donnée ENEL).

Tableau 37 : Production d'électricité et taux de substitution énergétique (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

Paramètre	2001		2002		2003	
	3	4	3	4	3	4
Electricité brute (GWh)	1781	1970	2023	2122	1750	2164
Electricité nette (GWh)	1574	1754	1793	1895	1549	1931
Volume des fumées (GNm3)	5,72	6,32	6,51	6,84	5,95	7,37
Paramètre	2010		2011		2012	
	3	4	3	4	3	4
Electricité brute (GWh)	1172	1494	1590	1222	1938	1869
	2666		2812		3807	
Electricité brute provenant du RDF normé (GWh)	86		110		115	
Taux de substitution énergétique (%)	3,2		3,9		3	
Electricité nette (GWh)	1015	1301	1386	1057	1703	1626
Volume des fumées (GNm3)	4,13	5,31	5,41	4,19	6,35	6,17

Consommateurs d'énergie : Réseau électrique (et autoconsommation)

Contrôle des émissions

Débit des fumées : 4,1 à 7,4 GNm³ / tranche selon les années (dépend des quantités de combustibles utilisées).

NO_x :

- Réduction de la formation grâce au principe de la combustion étagée, par la combinaison de brûleurs bas NO_x et d'une entrée d'air de surcombustion (Over Fire Air ou OFA).
- Dénitrification catalytique sélective (SCR).

Poussières : électrofiltres (précipitateurs électrostatiques).

SO_x :

- Le contrôle des émissions d'oxydes de soufre (SO_x) est d'abord réalisé par le choix du combustible. Le charbon utilisé par le site a une teneur en soufre inférieure à 1%.
- Désulfuration par voie humide (injection de lait de chaux dans un filtre humide). Le soufre contenu dans les fumées est converti en gypse.

CO : Optimisation des conditions de combustion, et notamment par l'alimentation de charbon sous forme pulvérisée, très bien mélangée avec l'air.

La plupart des métaux As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn, Al, Fe, Mg et également les éléments calcium et silicium sont éliminés par les électrofiltres.

Les halogènes, tels que le chlore et le fluor (émis sous forme acide) sont éliminés lors de la désulfuration.

Le mercure est partiellement éliminé par les électrofiltres et principalement par la désulfuration.

L'utilisation de RDF normé se traduit par des teneurs plus élevées en chlore, qui combinées avec la fraction organique des RDF, peuvent produire des dioxines. Ces composés sont dégradés grâce à une post-combustion à 1100-1200°C avec une temps de résidence de plus de 2s. L'équipement de post-combustion est le seul équipement qui a été introduit lors de la coïncinération. Tous les autres équipements de contrôle des émissions étaient déjà installés pour la combustion de charbon seule.

Les émissions moyennes annuelles de micro-polluants de la tranche 4 et de macro-polluants des tranches 3 et 4 sont rassemblées dans le tableau ci-dessous et sont mises au regard de la valeur limite d'émission en vigueur à Fusina (telle que décrite dans le permis AIA). Toutes les valeurs sont entendues comme normalisées à 6% O₂.

Tableau 38: ENEL Fusina- Emissions moyennes à la cheminée (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

Paramètre	Unité	2010		2011		2012		Valeur limite d'émission Fusina
		Tranche 4		Tranche 4		Tranche 4		
NH ₃	mg/Nm ³	0,1		0,05		0,63		5
HCl	mg/Nm ³	2,15		1,64		1,9		10
HF	mg/Nm ³	4,4		3,3		2,7		4.9
PAH	mg/Nm ³	5		21,3		50,8		0.01
TOC	mg/Nm ³	0,56		0,56		0,68		10
As	mg/Nm ³	0,0002		0,001		0,0005		-
Cd	mg/Nm ³	0,0001		0,0002		0,0002		-
Cr	mg/Nm ³	0,014		0,016		0,014		-
Cu	mg/Nm ³	0,002		0,003		0,004		-
Ni	mg/Nm ³	0,012		0,026		0,017		-
Pb	mg/Nm ³	0,002		0,005		0,003		-
Co	mg/Nm ³	0,0003		0,0008		0,001		-
Mn	mg/Nm ³	0,074		0,01		0,009		-
Sb	mg/Nm ³	0,0003		0,001		0,001		-
Tl	mg/Nm ³	0,0001		0,0002		0,0001		-
V	mg/Nm ³	0,005		0,01		0,002		-
Hg	mg/Nm ³	0,001		0,002		0,001		0.05
Cd+Tl	mg/Nm ³	0,0001		0,0001		0,0003		0.05
Sb + As + Pb +Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	mg/Nm ³	0,11		0,11		0,05		0.5
PCDD+PCDF	TEQ ng/Nm ³	0,0002		0,00015		6E-05		0.1
Paramètre	Unité	Tranche 3	Tranche 4	Tranche 3	Tranche 4	Tranche 3	Tranche 4	Valeur limite d'émission Fusina
SO ₂	mg/Nm ³	115	111	119	115	128	126	185
NO _x	mg/Nm ³	138	135	131	135	131	136	200
Poussières	mg/Nm ³	4,2	3,1	2,9	2,1	1,8	0,7	20
CO	mg/Nm ³	9	14	8	10	10	13	50

Les figures ci-dessous permettent d'établir que les émissions de polluants ont diminué suite à la mise en place de la coïncinération⁴³, à la fois en termes de concentrations moyennes annuelles et de facteur d'émission spécifique:

- 60% pour le SO₂
- 25% pour les NOx
- 50% pour les poussières
- 30% pour le CO.

Ces progrès sont certes à attribuer en partie aux progrès de dépollution avant la mise en place de la coïncinération (voir par exemple la baisse des émissions de SO₂ entre 2000 et 2002).

Le principal facteur explicatif est que le choix de la coïncinération a été associé à des valeurs limites d'émission plus contraignantes.

Tableau 39 : Comparaison des valeurs limites d'émission avec et sans coïncinération de RDF normé (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

	Charbon	Charbon et RDF normé
Paramètre	Moyenne mensuelle	Moyenne journalière
Unité	(mg/Nm ³)	(mg/Nm ³)
SO ₂	400	185
NOx	200	200
Poussières	50	20
CO	250	50

Fusina est parvenu à s'y conformer en augmentant l'efficacité du traitement des fumées, ce qui a eu pour conséquence une plus grande utilisation de réactifs.

Dans une moindre mesure en raison du faible taux de substitution, l'utilisation de RDF normé en substitution de charbon conduit à une baisse de la quantité de soufre entrant dans la chaudière, et donc mécaniquement à une baisse des émissions.

⁴³ 2000-2002 : uniquement combustion de charbon ; 2009-2012 : charbon et RDF normé

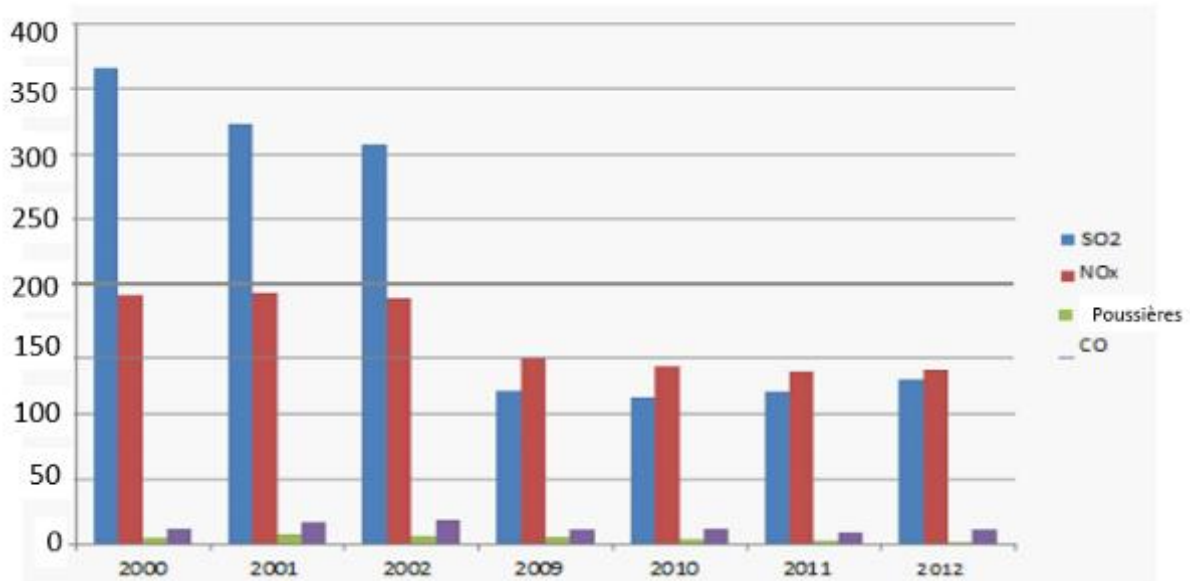


Figure 61 : Emissions – concentration moyenne annuelle en mg/Nm³ (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

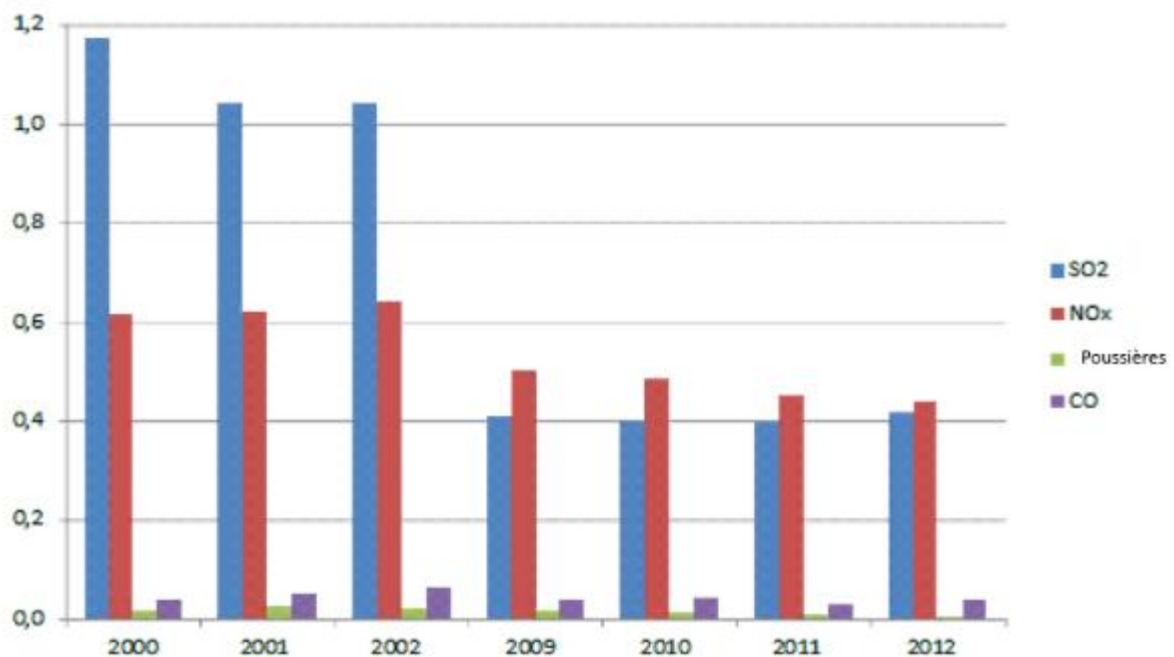


Figure 62 : Emissions spécifiques : masses annuelles moyennes émises en g/kWh (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

Production de mâchefers et cendres volantes – Bilan matière :

Le bilan massique est présenté pour les tranches n°3 et 4 ci-dessous.

Tableau 40: ENEL Fusina- Bilan matière (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

Description	Unité	2010	2011	2012
Total				
Combustible entrant (charbon + RDF normé)	t	999 110	1 015 092	1 322 712
Cendres volantes non dangereuses (code déchets 100117)	t	139 704	140 005	155 253
Gypse (code déchets 100105)	t	28 942	26 631	44 896
Boues de désulfuration (code déchets 100121)	t	7903	8027	13421
Par unité d'énergie électrique produite				
Cendres volantes	t/GWh	52	50	41
Gypse	t/GWh	10,9	9,5	118
Boues de désulfuration	t/GWh	2,6	2,3	2,6
Par masse de combustible entrante				
Cendres volantes	% combustible entrant	14,0%	13,8%	11,7%
Gypse	% combustible entrant	2,9%	2,6%	3,4%
Boues de désulfuration	% combustible entrant	0,8%	0,8%	1,0%

Notons que les résidus de combustion sont d'abord liés à la combustion de charbon :

- Les teneurs en cendres dans le charbon et dans le RDF sont similaires mais le taux de substitution en masse est seulement de 5%
- La production de gypse et de boues de désulfuration est liée au fort contenu en soufre du charbon (le RDF a un contenu en soufre plus faible).

Le gypse est commercialisé sur le marché des matériaux de construction comme un déchet non-dangereux (code déchets 10 01 05) utilisé pour la fabrication de plâtre, de ciment et de béton (pas en technique routière compte tenu de la qualité du matériau). Plus de 75% du gypse produit par la centrale thermique provient des tranches n°3 et n°4 (les plus grandes). La quantité provenant des RDF normé représente cependant moins de 5% du total, le RDF normé étant moins riche en soufre que le charbon.

Les cendres volantes et les boues de désulfuration sont utilisées dans l'industrie cimentière comme apport de matière inorganique.

- Les cendres volantes sont classées comme des déchets non-dangereux (code déchets 10-01 17 – cendres volantes provenant de la coïncinération autres que celles visées par la rubrique 10 01 16).
- Les boues de désulfuration sont également des déchets non-dangereux (code déchets 10 01 21)

Des tests ont été réalisés au début du processus de coïncinération pour démontrer le caractère non dangereux et ont été répliqués dans le temps. Rappelons également qu'il s'agit de la responsabilité du producteur de déchets d'associer le bon code à son déchet.

Gestion des eaux de désulfuration

Les eaux de désulfuration sont traitées dans un système dédié de traitement des eaux avec d'autres eaux usées contenant des métaux lourds.

Les boues résultant de ce procédé sont partiellement séchées par des filtres presses et envoyées en cimenterie pour être réutilisées (en tant qu'apport de matière inorganique, pas en tant que combustible).

L'effluent liquide traité est ensuite rejeté dans un canal qui alimente une station d'épuration classique : sédimentation, traitement chimique et physique et traitement biologiques par boues activées).

La composition de l'effluent liquide rejeté est résumée dans le tableau suivant.

Figure 63: ENEL Fusina- Composition de l'effluent liquide (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

	Unité	2010	2011	2012	Valeur limite
Teneur en particules	mg/l	2	< 1	3	45
Hg	mg/l	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0002	0,03
Cd	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,05
Tl	mg/l	< 0,02	< 0,001	< 0,1	0,05
As	mg/l	0,002	< 0,01	0,001	0,15
Pb	mg/l	< 0,01	< 0,001	< 0,001	0,2
Cr	mg/l	< 0,01	0,002	0,002	0,5
Cu	mg/l	0,01	0,004	0,004	0,5
Ni	mg/l	0,02	0,001	0,002	0,5
Zn	mg/l	0,06	0,018	0,038	1,5
PCDD/F	TEQ pg/l	0,4	0,5	0,1	3*10 ⁸
PAH	µg/l	0,1	< 0,1	< 0,1	0,2

Bilan carbone

Le bilan carbone de la substitution de charbon par du RDF normé est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 41: Bilan carbone de la substitution de charbon par du RDF normé (compilation RECORD 2018) (ENEL, 2017)

Paramètre	Unité	2010	2011	2012
RDF normé consommé	t	46 136	56 106	58 398
Charbon évité (pour une même quantité d'énergie)	t	32 299	38 733	40 315
CO ₂ (fossile) produit à partir du RDF normé	t CO ₂	33 136	40298	41944
	t CO ₂ /tRDF normé	0,72	0,72	0,72
CO ₂ produit à partir du charbon	t CO ₂	76 248	91437	95171
	t CO ₂ /tcharbon	2,36	2,36	2,36
CO ₂ évité	t CO ₂	43 111	51 139	53 227
	t CO ₂ /tRDF normé	0,93	0,91	0,91

VIII.3.3.2. Propriétés du combustible

Combustibles utilisés (2012)

- RDF normé : 58 kt (PCI : 17-19 MJ/kg)
- Charbon : 1264 kt (24,8 MJ / kg)

Le détail est disponible par année en annexe.

Outre le pouvoir calorifique, les différences principales entre le charbon et le RDF normé en termes de propriétés sont les suivantes :

- le RDF normé a un PCI plus faible et une teneur en soufre plus faible ;
- le RDF normé a un contenu plus élevé en Cl (environ 3 ordres de grandeur de plus), Pb, Cr, Mn, Cd et Hg (la teneur en Hg du charbon se situe en-dessous de la limite de détection) et il produit plus de cendres pendant la combustion ;
- la teneur en As, Ni et en humidité est similaire entre charbon et RDF normé.

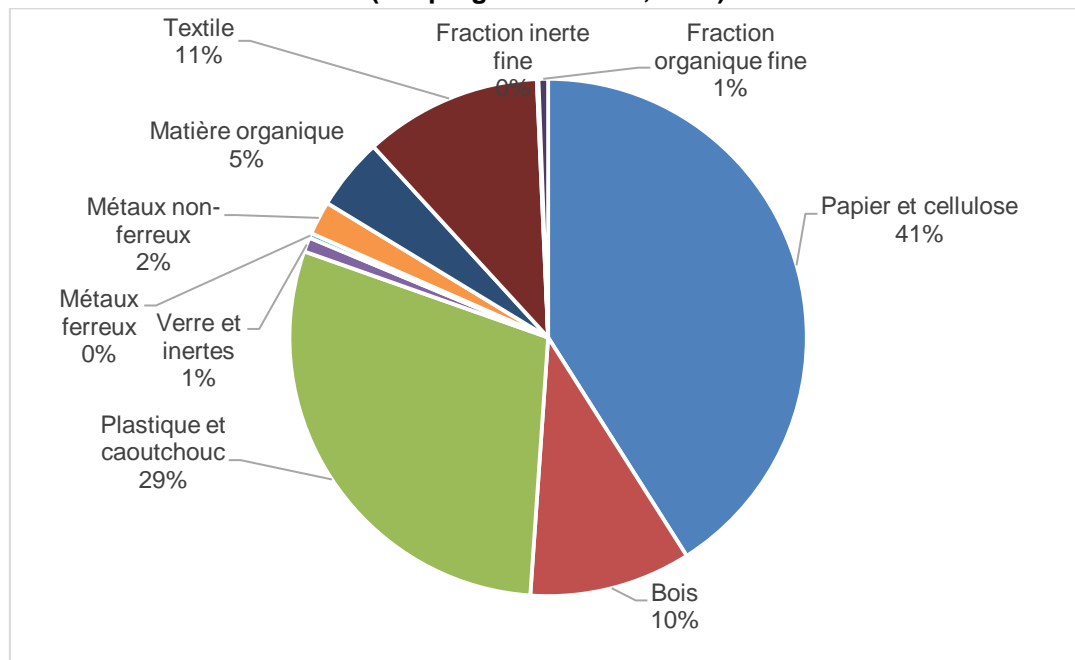
Propriétés du RDF normé

Tableau 42 : Propriétés du RDF normé (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)

	Taux d'humidité	PCI à réception	C (à réception)	Teneur en carbone biogénique	
	(%)	(kJ/kg)	(%)	(%C)	(% énergie)
Moyenne	4,78	20361	45,9	62,7	57,3
Min	0,20	17343	41,0	35,0	30,0
Max	15,0	24078	47,0	94,0	92,0
Nombre de lots	24	24	24	24	24

Notons que selon les données fournies par ENEL, le PCI moyen est plus proche de 17 MJ/kg.

Figure 64: Ecoprogetto Venezia- Composition du RDF normé (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)



Contrôle qualité

Le RDF est normé selon la norme européenne EN 15359.

Le RDF normé reçu par ENEL Fusina fait partie des classes 111 à 333.

Autres propriétés

Forme : Le RDF est mis en forme en pellets et briquettes pour le transport (permet d'atteindre un chargement maximal des camions de 30t). Cette mise en forme présente également l'avantage d'allonger la durée de vie du RDF normé (à 2-3 mois) en évitant l'activité bactérienne et la montée en température spontanée du RDF normé.

Notons que le RDF est broyé avant d'entrer dans la chaudière à pulvérisation.

Densité : environ 350 kg/m³ (contre environ 150 kg/m³ avant compaction)

Granulométrie après broyage : inférieure à 1 mm.

Tableau 43: Ecoprogetto Venezia - Mise en forme du RDF normé en pellets (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)



VIII.3.3.3. Mode de production du RDF

Site de production : Ecoprogetto Venezia, situé à 3 km de la centrale thermique « Andra Palladio »- ENEL Fusina

Ecoprogetto Venezia fait partie du groupe Véritas, un groupe détenu par les municipalités locales.

Figure 65: Localisation de Ecoprogetto Venezia par rapport à la centrale Andrea Palladio (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)



Mode de production : Tri Mécano-Biologique des OMR par stabilisation biologique

Critères d'acceptation des déchets entrants : Le type des déchets et l'origine des déchets est contrôlée à la réception. Les déchets acceptés sont des OMR, déchets non-dangereux.

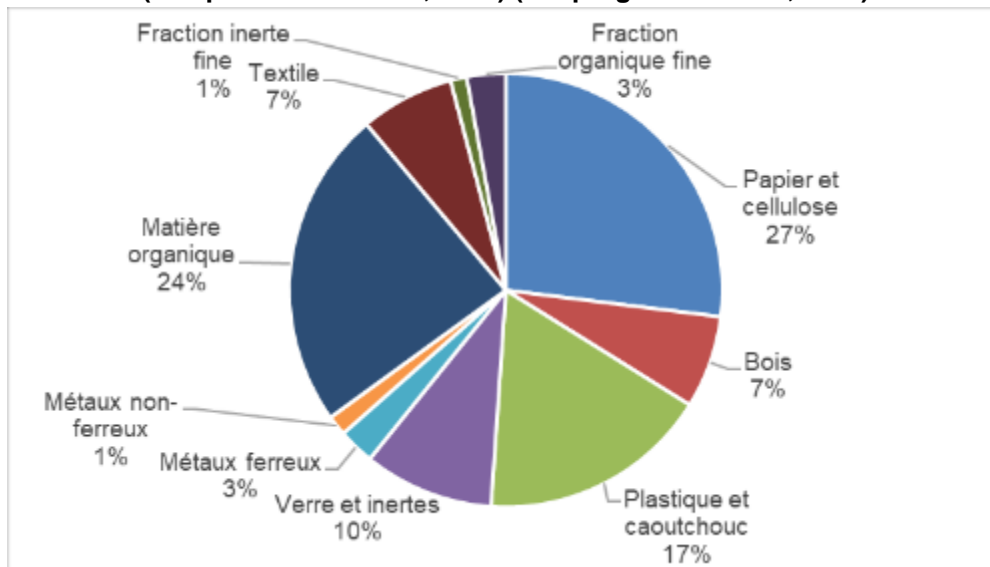
Propriétés des déchets intrants : Les propriétés moyennes des déchets municipaux collectés et utilisés pour préparer le RDF normé sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Tableau 44: Ecoprogetto Venezia - Propriétés des OMR entrant dans le TMB (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)

Paramètre	Valeur
Taux d'humidité	28,4%
Taux de cendres	17,4 %
PCI	10,6 MJ/kg
Carbone total	27,5%
Carbone fossile	11,4%

La composition moyenne des déchets entrants est décrite dans la figure ci-dessous.

Figure 66: Ecoprogetto Venezia- Préparation du RDF - Composition des déchets entrants (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)



Les déchets proviennent de Venise et d'autres municipalités de la province de Venise à 80%. Les 20% restants proviennent de la région de Venise.

Unité de préparation RDF

Capacité : 250 kt dont 200 kt pour la production de RDF

Bilan massique :

- Quantités transformées en RDF normé : environ 110 kt (55%)
- Taux de rejet : 45% - 90 kt (81% est utilisé comme RDF dans l'incinérateur de déchets) dont:
 - 30% (60kt) pendant la biostabilisation (évaporation de l'eau et dégradation de la biomasse)
 - 10% (20 kt) de fraction inerte
 - 4% (8 kt) de métaux ferreux
 - 1% (2 kt) de métaux non-ferreux

Description du procédé de préparation

Figure 67: Ecoprogetto Venezia- Préparation du RDF - Déchets entrants (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)



Le procédé de production de RDF est composé des étapes suivantes :

- Biostabilisation de l'ensemble des déchets
- Criblage de la fraction stabilisée en 4 fractions (<10 mm, 10-35 mm, 35-85 et > 85 mm)
- Broyage des fractions > 35 mm et réintroduction dans le procédé
- Séparations aérauliques (gravité)
- Séparation des métaux ferreux et non-ferreux

Notons que la plupart des TMB commencent par un criblage et ne font subir le traitement mécanique visant à extraire le RDF qu'à la fraction de sur-criblage (la fraction du dessous étant stabilisée biologiquement), ce qui augmenterait les pertes selon Ecoprogetto. Le taux de refus de ces procédés serait de 65% (50% lors du premier criblage et 15% d'inertes et de métaux), contre 45% pour le procédé d'Ecoprogetto.

Le processus de production est décrit plus en détail en annexe.

Les gaz s'échappant de la cellule de biostabilisation sont brûlés à 850°C pendant 2s pour contrôler les émissions et prévenir les odeurs.

Aucune donnée économique n'a pu être collectée sur le processus de production du RDF normé dans le cadre de cette étude de cas.

VIII.3.4. Conditions administratives

Terminologie

Le terme CDR a été utilisé sur place et est toujours utilisé dans le permis de l'installation (AIA). Le CDR était un RDF conforme à la norme italienne UNI 9903 qui existait avant l'introduction de la norme européenne EN 15359 et son utilisation dans le droit italien en 2010. Ce terme a été remplacé dans la législation par le terme CSS (Combustible Solide Secondario) en 2010 et c'est donc ce deuxième terme qui est utilisé aujourd'hui sur site. Lorsque le permis sera renouvelé, le terme CDR ne sera plus utilisé.

En Italie, pour qu'un déchet soit classé comme CSS ou RDF selon le code européen des déchets 19 12 10, il doit respecter la norme européenne. En Italie, les RDF et les RDF normés sont donc des termes équivalents. En Italie, les déchets préparés à partir de déchets non dangereux mais non conformes à la norme européenne EN 15359 sont classés selon les codes déchets 19 12 ... autres que 19 12 10. Dans le cas de fractions en mélange ne contenant pas de substances dangereuses, ils sont classés 19 12 12 (autres déchets (y compris mélanges) provenant du traitement mécanique des déchets autres que ceux visés à la rubrique 19 12 11).

Tous les autres flux de déchets ayant un EWC différent de 191210 ne peuvent pas être considérés ou classés comme RDF ou RDF normé en Italie. Cette question a fait l'objet de discussions lors de la dernière réunion du WG2 "Classification et Classes" de l'ISO/TC 300 "Combustible solide récupéré" qui s'est tenue à Milan le 20 juin 2017. Ces flux ont pu parfois être appelés RDF hors spécifications, bien qu'il ne s'agisse pas nécessairement de combustibles. Il peut par exemple d'agir de refus de TMB/TM.

Normes et standards de qualité

Le CSS est un RDF conforme à la norme européenne EN 15359, c'est-à-dire un RDF normé selon les critères de cette étude.

Les paramètres sont spécifiés dans le cadre d'arrangements contractuels en place entre le producteur et l'utilisateur.

Le RDF normé peut être traité sur site avant utilisation.

Permis – Coïncinération (tranches 3 et 4)

En Italie, les conditions réglementaires sont très dépendantes des autorités locales, qui peuvent décider d'introduire des critères plus stricts et de nouveaux critères par rapport aux cadres national et européen. Les permis environnementaux sont des décrets régionaux spécifiques à chaque installation, qui rassemblent les règles basées sur la législation nationale et européenne (émissions dans l'atmosphère et dans les cours d'eaux, législation déchets, classification et spécification des RDF normés selon la norme EN 15359) et des exigences locales plus strictes ou supplémentaires. Ce permis est appelé « autorisation environnementale intégrée » (AIA) et il se substitue à tous les autres permis pour une installation.

Le permis est délivré par les autorités locales. Dans le cas de ENEL Fusina, la compétence est attribuée à la région de Vénétie en raison de la grande taille du site. Pour des sites de plus petites tailles, il peut s'agir de la compétence de la province.

Réglementation RDF

Les réglementations en vigueur sont celles applicables au traitement des déchets non-dangereux, sans particularités liées au fait que l'installations traite du RDF normé.

L'installation doit être autorisée à brûler des déchets 191210.

Le permis AIA peut intégrer des exigences locales supplémentaires comme une régulation de la composition du RDF normé sous forme de valeurs limites pour certains paramètres.

Valeurs limites d'émission et moyenne annuelle

Les valeurs limites d'émissions sont réglementées par l'autorisation environnementale intégrée (AIA), le régime de permis environnementaux en Italie.

Le tableau suivant compare les valeurs limites d'émission en vigueur après l'introduction de la coïncinération et celles en vigueur aujourd'hui pour des centrales thermiques à charbon sans coïncinération. Toutes les valeurs sont présentées de façon normalisée à 6% d'O₂.

Pour les centrales à charbon classiques, un suivi continu est demandé uniquement pour les SO_x, NO_x, CO et poussières. D'autres paramètres doivent être analysés généralement une fois par an. Les valeurs limites pour ces paramètres dépendent du polluant et changent au cours du temps.

Tableau 45: Valeurs limites d'émission à Fusina et en centrale à charbon classique (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)

Paramètre	Coïncinération (cas de Fusina)			Centrale thermique à charbon (charbon seul) – non applicable à Fusina		
	Valeur limite (mg/Nm ³)	Type de mesure	Type de données	Valeur limite (mg/Nm ³)	Type de mesure	Type de données
SO ₂	185	En ligne (en continu)	Moyenne journalière	400	En ligne (en continu)	Moyenne mensuelle. La VLE sur 48 h est 10% plus élevée.
NO _x	200	En ligne (en continu)	Moyenne journalière	200	En ligne (en continu)	Moyenne mensuelle. La VLE sur 48 h est 10% plus élevée.
Poussières	20	En ligne (en continu)	Moyenne journalière	50	En ligne (en continu)	Moyenne mensuelle. La VLE sur 48 h est 10% plus élevée.
CO	50	En ligne (en continu)	Moyenne journalière	250	En ligne (en continu)	Moyenne mensuelle
TOC	10	En ligne (en continu)	Moyenne journalière			
HCl	10	En ligne (en continu)	Moyenne journalière			
Hg	0,05	En ligne (en continu) et tous les 4 mois	Moyenne journalière	*	Habituellement chaque année	Echantillon
(PCDD-PCDF)	0,1 (TEQ ng/Nm ³)	En ligne (en continu)	Moyenne mensuelle	*	Habituellement chaque année	Echantillon
NH ₃	5	Tous les 4 mois	Echantillon			
HF	4,9	Tous les 4 mois	Echantillon			

PAH	0,01	Tous les 4 mois	Echantillon	*	habituellement chaque année	Echantillon
Cd + Tl	0,05	Tous les 4 mois	Echantillon	*	habituellement chaque année	Echantillon
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5	Tous les 4 mois	Echantillon	*	habituellement chaque année	Echantillon
* valeurs limites exprimées en termes de masse et de concentration, en fonction des polluants. Les valeurs limites sont plus élevées que celles en vigueur pour la coïncinération.						

A Fusina, la plupart des paramètres sont suivis par un système de surveillance des émissions en continu. Les mesures sont réalisées à l'aide de différents équipements, résumés dans le tableau ci-dessous.

FT-IR : spectroscopie infra-rouge à transformée de Fourier

FID : détecteur à ionisation de flamme

UV : ultra-violet

Figure 68: Mode d'analyse par type de polluants - ENEL Fusina (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)

Paramètre analysé	Mode d'analyse
SO ₂	FT - IR
NO, NO ₂	FT - IR
CO	FT - IR
HCl	FT - IR
TOC	FID
Poussières	Réflexion de la lumière
Hg	UV

Valeurs limites d'émission des eaux de désulfuration

Tableau 46 : ENEL Fusina- Valeurs limites d'émissions pour l'effluent liquide (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)

Paramètre	Valeurs limites (mg/l)
Teneur en particules	45
Hg	0,03
Cd	0,05
Tl	0,05
As	0,15
Pb	0,2
Cr	0,5
Cu	0,5
Ni	0,5
Zn	1,5
PCDD-PCDF	0,3 (TEQ)
PAH	0,0002

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone

L'installation d'ENEL Fusina est soumise aux quotas de CO₂.

Les émissions de CO₂ liées à la combustion de RDF normé sont comptées comme neutres seulement en relation avec leur teneur en carbone biogénique.

La détermination de la teneur en carbone biogénique est réalisée en conformité avec la norme EN 15359 et les autres normes de la même famille (en particulier la norme EN 15440). C'est le producteur du RDF normé qui est responsable de classer et spécifier le RDF normé, en particulier son contenu en carbone biogénique.

Sur le site d'Ecoprogetto Venezia, la méthode de dissolution sélective est utilisée. Pour des questions d'assurance qualité, l'échantillonnage du RDF normé est réalisé en coopération entre le groupe Véritas (Ecoprogetto) et ENEL Fusina sur le site du producteur ; et les caractérisations analytiques sont réalisées par un laboratoire externe.

Soutiens énergie renouvelable – conditions d'octroi

Chaque producteur d'énergie électrique a l'obligation d'acheter de l'électricité renouvelable sur le marché s'il ne peut pas en produire lui-même (même après la fin des certificats verts). La production d'énergie renouvelable diminue donc le volume d'énergie renouvelable à acheter sur le marché (baisse des coûts).

De plus, de 2006 à 2016, le site a bénéficié de soutiens sous forme de ventes de certificats verts.

Les soutiens et coûts évités sont fonction de la proportion de carbone biogénique dans le RDF normé. La méthode de caractérisation est présentée ci-dessus (identique à celle relative aux quotas de CO₂).

Statut de déchet

Le RDF normé est sous le statut de déchet.

Dans le futur (environ dans 2 à 3 ans), tout le RDF normé produit et utilisé dans la région de la Vénétie devra être conforme aux exigences de la sortie de statut de déchet italienne en vigueur pour les RDF normés, tels qu'établie dans le décret du 14 février 2013 Decreto 14 febbraio 2013 , n. 22 . del MATM "Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto di determinate tipologie di combustibili solidi secondari (CSS), ai sensi dell'articolo 184 - ter , comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni".

Il s'agit d'une décision de la région d'inclure ces critères dans les permis environnementaux intégrés (AIA) pour améliorer la qualité des RDF utilisés dans un objectif environnemental et sanitaire. La sortie de statut de déchet n'est pas perçue comme représentant un avantage économique pour l'installation utilisatrice. Elle pourrait résulter en une augmentation des prix du RDF normé.

Pour le site de Fusina, cela va introduire des exigences plus sévères sur la teneur en mercure et d'autres métaux que les seuils actuellement établis.

En effet, seules les catégories de la norme EN 15359 surlignées en vert dans le tableau ci-dessous, alors que les classes 111 à 333 sont jusqu'à présent autorisées.

Tableau 47: Sortie de statut de déchet des RDF en Italie - Classes autorisées (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)

Paramètre	Unité	Classe EN 15359				
		1	2	3	4	5
PCI	MJ/kg (ar)	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Cl	% sur sec	≤0,2	≤0,6	≤1	≤1,5	≤3
Hg	mg/MJ (ar)	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,5

De plus, la sortie de statut de déchet introduit des valeurs limites pour la teneur en métaux plus contraignantes que les valeurs limites utilisées actuellement.

Tableau 48 : Comparaison entre les seuils réglementaires de la sortie de statut de déchet et les valeurs limites actuellement établies entre Ecoprogetto et ENEL (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)

	Seuil décret du 14 février 2013 (mg/kg sur sec)	Valeur typique actuelle (mg/kg sur sec)	Valeur limite actuelle (mg/kg sur sec)
Antimoine (Sb)	50	≤70	≤150
Arsenic (As)	5	≤9	≤15
Cadmium (Cd)	4	≤7	≤10
Chrome (Cr)	100	≤100	≤500
Cobalt (Co)	18	≤7,5	≤100
Manganèse (Mn)	250	≤400	≤500
Nickel (Ni)	30	≤40	≤200
Plomb (Pb)	250	≤200	≤600
Cuivre (Cu)	500	≤1300	≤2000
Thallium (Tl)	5	≤1	≤10
Vanadium (V)	10	≤7,5	≤150

La sortie de statut de déchet ne va pas augmenter le besoin en spécification et en caractérisation par rapport à la situation actuelle, tous les paramètres encadrés par la législation étant déjà volontairement suivis dans le cadre de l'accord producteur utilisateur entre Ecoprogetto et ENEL.

Gestion des résidus de combustion

Les cendres volantes de combustion de charbon produites par la centrale thermique de Fusina sont non dangereuses (classées 10 01 17). La teneur en substances dangereuses dans les cendres volantes doit être inférieure aux seuils imposés par la législation européenne (Directive 67/548/CEE).

VIII.3.5. Conditions économiques

Contexte

- Le stockage coûte 80€/t localement mais il est limité en termes de teneur en matière organique ce qui oblige en pratique les déchets à être prétraités.
- Le prix de l'incinération est de 95€/t pour les déchets ménagers en mélange. On peut considérer qu'il s'agit du revenu maximal du TMB. En considérant un prix de vente positif de 0 à 30€/t, on estime entre 95 et 125€/t le coût de préparation maximal, incluant granulation et transport jusqu'à Fusina.
- Les RDF normés préparés peuvent également être utilisés en cimenterie ou être exportés.

Historique

Les principales motivations économiques pour l'utilisation de RDF normé sont :

- les économies réalisées grâce à la substitution du charbon ;
- les certificats verts sur 10 ans (2006-2016) qui offrent un incitant à la production d'électricité verte ;
- la réduction des obligations liées à l'achat d'énergie renouvelable (perdure aujourd'hui) ;
- la réduction des obligations liées aux quotas de CO₂.

Après la fin des certificats verts, les prix du RDF normé ont diminué car les profits d'ENEL étaient moindres lors de son utilisation. L'installation de préparation de RDF a été en mesure de répercuter cette baisse de revenus sur les municipalités via les prix du traitement des déchets non dangereux (*gate fees*). En effet, l'environnement compétitif est favorable aux TMB/TM puisqu'il y a des objectifs

nationaux de réduction du stockage et pas d'intention de construire de nouveaux incinérateurs compte tenu des oppositions locales.

Actuellement, la seule stratégie consiste à garder un prix du RDF aligné sur les prix du charbon en termes de prix par unité d'énergie fournie.

Appréciation générale

L'utilisation de RDF est rentable, même sans régime de certificats verts. Le prix du RDF (positif) et les coûts additionnels sont déjà compensés par le coût du charbon évité. Les coûts de quotas de CO₂ évités apportent une recette. L'existence de certificats verts apportent des recettes supplémentaires.

Tableau 49: ENEL Fusina- Bilan économique (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)

Poste de coût/recette	€/t RDF normé
Charbon évité	70
Quotas de CO ₂ évités ⁴⁴	11
Revenus certificats verts ⁴⁵	100
Coût évités liés aux obligations de certificats verts	14
Recettes / dépenses évitées	195
Prix du RDF normé (estimation)	0-30
Opérations additionnelles et coûts de maintenance liés au RDF normé	40
Coût totaux	40
Avantage économique d'utiliser du RDF normé – Avec certificats verts (2006-2016)	125-155
Avantage économique d'utiliser du RDF normé – Fin des soutiens de certificats verts mais poursuite des obligations d'achat d'énergie renouvelable (depuis 2016)	25-55
Avantage économique d'utiliser du RDF normé – En cas d'absence d'obligations d'achats d'énergie renouvelable	11-41

Après la fin de la période de 10 ans de certificats verts, les recettes sont diminuées car ENEL ne reçoit plus de subsides par MWh d'énergie renouvelable produit sur le site (vente de certificats).

En revanche, il existe toujours un bénéfice pour ENEL car cette énergie est considérée renouvelable ce qui signifie qu'ENEL doit acheter moins d'énergie renouvelable sur le marché que si du charbon était utilisé. Notons que le prix associé à cette obligation a pu évoluer.

Typologie des consommateurs d'énergie – Réseau électrique

Contrats

Les contrats entre Ecoprogetto et ENEL durent 2 ans (contrat actuel 2016-2018)

Les contrats être les producteurs et les utilisateurs devraient être fondés sur un prix du RDF normé aligné sur le prix du charbon (à quantité d'énergie équivalente).

L'électricité est vendue au prix du marché (spot).

Structure des recettes comparées avec l'utilisation seule de charbon.

- *Gate fees* : 0 Le RDF a une valeur positive.

⁴⁴ Prix quotas de CO₂ en vigueur en 2011: 5-17 €/t, CO₂ évité: 0,9 t / t RDF normé

⁴⁵ Prix des certificats en 2011 : 80,6 €/MWh d'électricité renouvelable

- Recettes énergie : Les prix de l'électricité changent chaque jour selon la demande du marché. Le prix est fixé chaque jour par GME (Gestore del Mercato Elettrico) En Italie, le prix de vente de l'énergie au réseau était en moyenne de 45€/MWh sur la période 2014-2016⁴⁶ . En tenant compte de la production 2012, cela représenterait environ 150 M€ pour les tranches 3 et 4 (dont environ 3% provient du RDF normé soit 4,5 M€)
- Coûts évités :

Prix des déchets : Les RDF normés ont une valeur positive entre 0 et 30 €/t.

Prix électricité : confidentiel. Entre 2014 et 2016, le prix sur le marché italien serait d'environ 45€/MWh.

Soutiens

L'installation a reçu des certificats verts pendant 10 ans (2006-2016) après le démarrage de la coïncinération, dont le montant était fonction de la quantité d'électricité verte produite par an.

Prix des certificats en 2011 : 80,6 €/MWh d'électricité renouvelable

Depuis 2016, plus aucun soutien au titre des certificats verts n'est obtenu par le site, ni aucun autre tarif de rachat.

Structure des coûts

CAPEX : environ 40-50 k€ pour les nouvelles lignes d'alimentation des RDF normés.

ENEL n'a pas souhaité communiquer la durée de retour sur investissement.

OPEX : confidentiel.

Le RDF coûte entre 0 et 30€/t, ce qui représente un coût maximal de 1,74 M€ en 2012.

Les autres coûts ne sont pas connus.

Personnel : Donnée non communiquée

Perspectives pour le modèle d'affaires : Pas de changements attendus du modèle d'affaires.

Ecoprogetto s'attend à ce que les quantités de RDF normé utilisées par ENEL augmentent jusqu'à environ 100 kt par an.

VIII.3.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Caractérisation du site

Selon les standards français, le site est une centrale thermique coïncinérant du RDF normé.

Facteurs clés de succès

La stratégie de gestion des déchets au niveau régionale constitue un facteur clé de succès (réduction du stockage, implication dans le projet).

L'implication des pouvoirs publics dans le projet a constitué un facteur clé de succès qui a facilité l'octroi des permis. Cette participation des pouvoirs publics dans la décision a été facilitée par la présence des pouvoirs publics dans le capital des entreprises concernées (Etat chez l'utilisateur ENEL, municipalités de Vénétie chez le préparateur de RDF normé Véritas).

Les autorités publiques impliquées ont été la région, la province, la municipalité de Venise et le ministère italien de l'environnement.

⁴⁶ Estimé sur base des prix de l'électricité 2014-2016 – d'après « Quaterly report on European electricity markets - DG Energy volume 9 »

Freins et leviers

Pas de difficultés rapportées.

Transposition

Le site de Fusina est globalement en cohérence avec les dispositions réglementaires françaises (dispositions encadrant la coïncinération, le site n'entrerait pas dans la catégorie ICPE 2971) :

- Classification de l'installation en coïncinération et éligibilité aux quotas de CO₂ ;
- Suivi qualité avancé du CSR, en lien avec les exigences du permis et le respect de la norme européenne EN 15359, similaires aux exigences qualité en vigueur en France ;
- Les cendres volantes et résidus de combustion peuvent sur le principe être classées comme des déchets non dangereux (10 01 17 cendres volantes provenant de la coïncinération autres que celles visées par la rubrique 10 01 16). Il s'agit de la responsabilité des exploitants potentiels de caractériser ces cendres afin de déterminer leur classement comme déchet dangereux ou non.

Il n'existe pas de compléments de rémunération pour la production d'électricité par coïncinération de déchets : les compléments de rémunération identifiés s'adressent aux installations utilisant à titre principal de l'énergie issue de la combustion de déchets ménagers ou assimilés. D'après les données collectées à Fusina, la coïncinération reste rentable même sans le soutien des certificats verts.

Compte tenu de l'objectif politique de clôture des centrales thermiques à charbon sous le mandat présidentiel en cours, la transposabilité du modèle de Fusina est limitée sur le territoire français, à l'exception peut-être de l'Outre-Mer pour laquelle la décision ne semble pas arrêtée (qui mise sur la coïncinération de bagasse).

Notons que le taux de substitution en centrale à charbon est limité (5% à Fusina, défini par le permis ; et le plus souvent 5 à 10%), en raison de facteurs économiques (coût de la corrosion, coût de la dépollution, accès au gisement, s'assurer que les cendres volantes sont non dangereuses pour réduire le coût de leur gestion) et environnementaux (émissions de polluants).

VIII.3.7. Détails sur la visite

Date : 6 juin 2017

Adresse : Enel Produzione SPA – Power Plant “Andrea Palladio”, Via dei Cantieri, 5
30030 Malcontenta, VE

Nom	Responsabilité	Organisation	Détails du contact
Valerio Fedele	Responsable du site	ENEL	T: +39 418218011 Fax: +39 418218023 E: alerio.fedele@enel.com
Franco Bertazzolo	Santé Sécurité Environnement	ENEL	
Marcato Chiara	Santé Sécurité Environnement	ENEL	

VIII.3.8. Annexes

Tableau 50: ENEL Fusina- Consommation de charbon et de RDF normé par année, taux de substitution (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)

Année	Charbon (t)	RDF normé (t)	Taux de substitution massique	Taux de substitution énergétique
2000	1 299 418	-		
2001	1 441 565	-		
2002	1 415 120	-		
2009	1 337 288	55 235	4,0%	3,1%
2010	960 047	46 136	4,6%	3,6%
2011	958 986	56 106	5,5%	4,2%
2012	1 264 314	58 398	4,4%	3,4%

Figure 69: Ecoprogetto Venezia - Procédé de préparation du RDF (compilation RECORD, 2018) (Ecoprogetto Venezia, 2017)

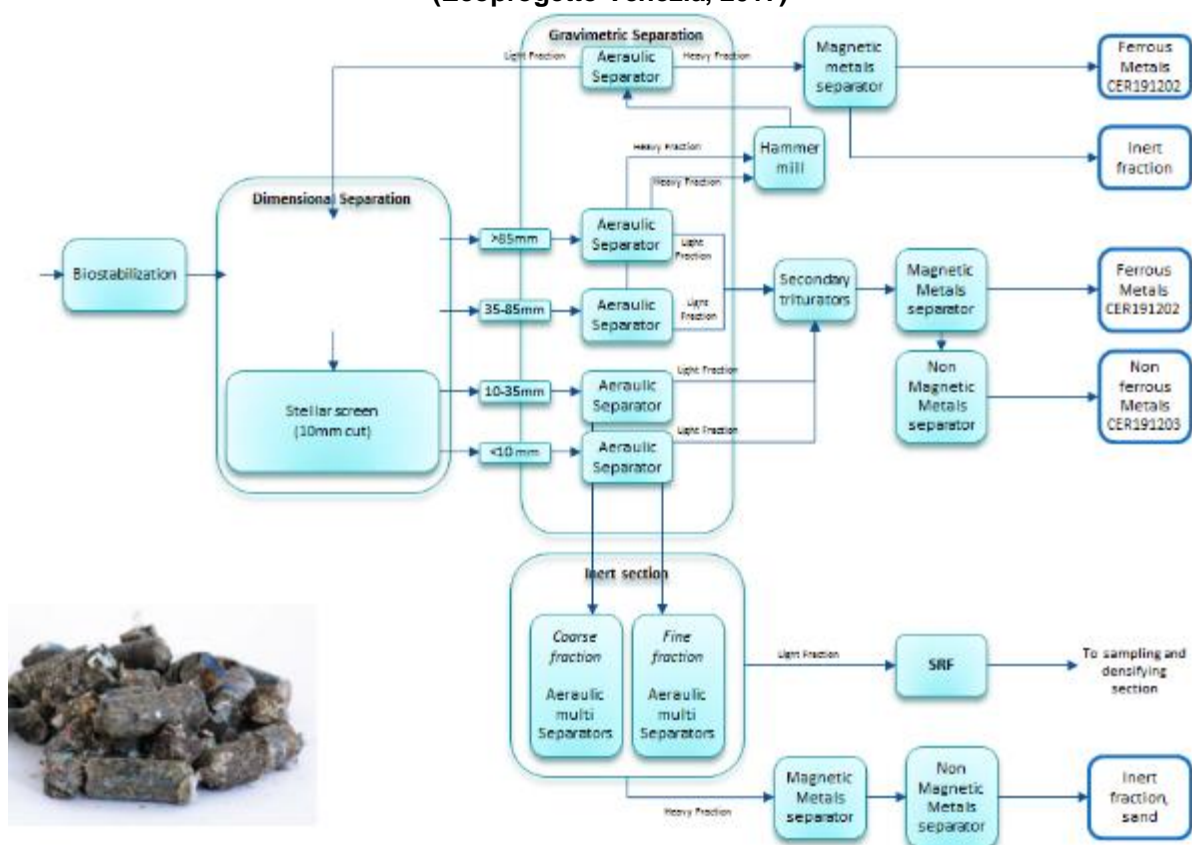




Tableau 51: Spécifications du RDF normé utilisé à Fusina (compilation RECORD, 2018) (ENEL, 2017)

		ECOPROGETTO VENEZIA - SRL 4887 legale e operativa via Della Gioielleria, 31/1 30139 Fusina 30175 Marghera Venezia tel. 041 547290 fax 041 547290		codice fiscale partita IVA e iscrizione al registro imprese di Venezia nr. 0307410072 capitale sociale € 40.520.000,00 i.v. www.ecoprogettovenezia.it info@ecoprogettovenezia.it			
SCHEDA SPECIFICHE TECNICHE CLASSIFICAZIONE COMBUSTIBILE SOLIDO SECONDARIO (CSS) (TEMPLATE FOR THE SPECIFICATION OF SOLID RECOVERED FUEL)							
Conforme a UNI-EN 15359 e UNI/TR 11581 - According to UNI-EN 15359 and UNI/TR 11581							
SCHEDA di CLASSIFICAZIONE n°				Emissione (Issued)			
DENOMINAZIONE INTERNA (Product Name)							

Classificazione del CSS (SRF class)							
Codice di classificazione : (Class code)		3;3;3		In conformità al sistema di classificazione specificato all'articolo 7 norma UNI EN 15359 e UNI/TR 11581 (According to the class system as specified in Clause 7 UNI EN 15359 and UNI/TR 11581)			
CER:		19 12 10		Combustibile Solido Secondario (CSS) Solid Refused Fuel (SRF)			
Origine del CSS (SRF origin)							
Rifiuti di Origine, codifica codice CER: (Origin, EWC Code)							
Parametri e caratteristiche fisiche ⁽¹⁾ (Physical parameters)							
Tipologia e forma delle particelle: (Particle form)		Bricchette/Fluff (Briquettes/Fluff)					
Dimensione delle particelle ⁽²⁾ : (Particle size)		D ₉₅ = mm		UNI EN 15415-1			
		Unità di misura (Unit)	Valore (Value)		Metodo di prova (Test metod)		
			Tipico (Typical)	Limite (Limit)			
Ceneri (Ash content)		%s.s. (%d)	≤ 20	≤ 20	UNI EN 15403:2011		
Umidità (Moisture content)		% (% ar)	≤ 15	≤ 15	UNI EN 15414-3:2011		
Potere calorifico inferiore (Net calorific value)		MJ/kg tq (MJ/kg ar)	Parametro di classificazione	Parametro di classificazione	UNI EN 15400:2011		
Potere calorifico inferiore (Net calorific value)		MJ/kg ss (MJ/kg d)	≥ 15	≥ 15	UNI EN 15400:2011		

Parametri e caratteristiche chimiche ⁽¹⁾

(Chemical parameters)

	Unità di misura (Unit)	Valore (Value)		Metodo di prova (Test metod)
		Tipico (Typical)	Limite (Limit)	
Cloro (Cl) (Chlorine)	%s.s. (% d)	Parametro di classificazione	Parametro di classificazione	UNI EN 15408:2011
Antimonio (Sb) (Antimony)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 70	≤ 150	UNI EN 15411:2011
Arsenico (As) (Arsenic)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 9	≤ 15	UNI EN 15411:2011
Cadmio (Cd) (Cadmium)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 7	≤ 10	UNI EN 15411:2011
Cromo (Cr) (Chromium)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 100	≤ 500	UNI EN 15411:2011
Cobalto (Co) (Cobalt)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 7,5	≤ 100	UNI EN 15411:2011
Rame (Cu) (Copper)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 1.300	≤ 2.000	UNI EN 15411:2011
Piombo (Pb) (Lead)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 200	≤ 600	UNI EN 15411:2011
Manganese (Mn) (Manganese)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 400	≤ 600	UNI EN 15411:2011
Mercurio (Hg) (Mercury)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	Parametro di classificazione	Parametro di classificazione	UNI EN 15411:2011
Nickel (Ni) (Nickel)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 40	≤ 200	UNI EN 15411:2011
Tallio (Tl) (Thallium)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 1	≤ 10	UNI EN 15411:2011
Vanadio (V) (Vanadium)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	≤ 7,5	≤ 150	UNI EN 15411:2011
Somma metalli pesanti⁽²⁾ (Sum Heavy metals)	mg/kg s.s. (mg/kg d)	dichiarabile	dichiarabile	Sommatoria di Sb, As, Cr, Co, Pb, Mn, Ni, V (Sum of Sb, As, Cr, Co, Pb, Mn, Ni, V)

⁽¹⁾ La somma metalli pesanti non include Mercurio, Tallio e Cadmio in conformità alla UNI EN 15359:2011, p. 9.2 "Proprietà obbligatorie da specificare".

⁽²⁾ Sum heavy metals doesn't include Mercury, Thallium and Cadmium according to the UNI EN 15359:2011, p. 9.2 "Properties obligatory to specify".

CO₂ Fattore emissione e Contenuto di biomassa⁽¹⁾ (CO₂ emission factor and Biomass content)

	Unità di misura (Unit)	Valore Tipico (Typical value)	
Frazione di Biomassa (Biomass fraction)	% ss		UNI EN 15440:2011 Corr. 1/2012 Annex A
CO ₂ Fattore di emissione (CO ₂ emission factor)	tCO ₂ /TJ		UNI EN 15407:2011 + UNI EN 15400:2011

Altri parametri fisici⁽¹⁾ (other physical parameters)

	Unità di misura (Unit)	Valore (Value)		Metodica di analisi (Test metod)
		Tipico (Typical)	Limite (Limit)	
Massa volumica in mucchio (Bulk density)	kg/m ³ (kg/m ³)			metodo interno
Presenza di vetro (glass percentage)	%ss			UNI 9903-14:1997
Temperatura ramm. ceneri (Ash melting behaviour)	°C (°C)			UNI EN 15404:2010

Altri parametri chimici⁽¹⁾ (others chemical parameters)

Analisi elementare	Unità di misura (Unit)	Valore (Value)		Metodica di analisi (Test metod)
		Tipico (Typical)	Limite (Limit)	
Alluminio (Al)	%ss			UNI EN 15410:2011 Met. B
Alluminio metallico (Al)	%ss			UNI CEN/TS 15412:2010 Met. A
Zolfo (S)	%			UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1
Zinco (Zn)	mg/kg ss			UNI EN 15411:2011 Met. B
Azoto (N)	%ss			UNI EN 15407:2011
Carbonio (C)	%ss			UNI EN 15407:2011
Idrogeno (H)	%ss			UNI EN 15407:2011
Ossigeno (O)	%ss			UNI EN ISO 16993:2015

VIII.4. KAVG Minden (Allemagne)

VIII.4.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Heizkraftwerk (HKW) Minden

Adresse : Karlstraße 43, 32423 Minden, Germany

Employés : donnée non précisée

Capacité : 15 MW de puissance thermique nominale, 40 kt RDF/an

Opérateur et propriétaire : KAVG GmbH
(KreisAbfallVerwertungsGesellschaft GmbH)

KAVG est une filiale à 100% de l'arrondissement de Minden-Lübbecke. En Allemagne, l'arrondissement est responsable de la collecte des déchets et du traitement.

Consommateur d'énergie : chaleur sous forme vapeur fournie au site de production chimique voisin de Siegfried PharmaChemikalien. Le même site était précédemment détenu par BASF.



Historique de la gestion du site

- Le site a été planifié et construit par Interargem GmbH et Energos GmbH. L'entreprise norvégienne Energos a fourni la technologie, à partir d'un travail de recherche sur les technologies de combustion mené par l'université de Trondheim. Energos était une filiale de l'énergéticien allemand EON. Le site aurait initialement été détenu et opéré par EON via sa filiale Energos, qui a ensuite eu des problèmes financiers et a fait faillite.
- En 2007, l'entreprise AML Immobilien GmbH, détenue par l'arrondissement de Minden-Lübbecke, a acquis le site.
- La date de passage de la propriété du site de AML à KAVG n'est pas connue. L'actionnaire principal, l'arrondissement de Minden-Lübbecke est resté le même lors de cette transition.

Remarque : Des imprécisions subsistent dans l'historique du site. Il n'a pas été possible de clarifier l'ensemble des éléments avec l'opérateur

VIII.4.2. Historique et description des activités

Historique des activités du site

- Le site a été mis en service en 2002. Il est localisé près du port industriel fluvial de Minden.
- Aucun changement majeur n'a été apporté à l'opération du site depuis sa mise en service.

Principal objectif de l'utilisation de RDF : Production de vapeur pour le site de Siegfried PharmaChemikalien Minden (appelé Siegfried dans la suite du document).

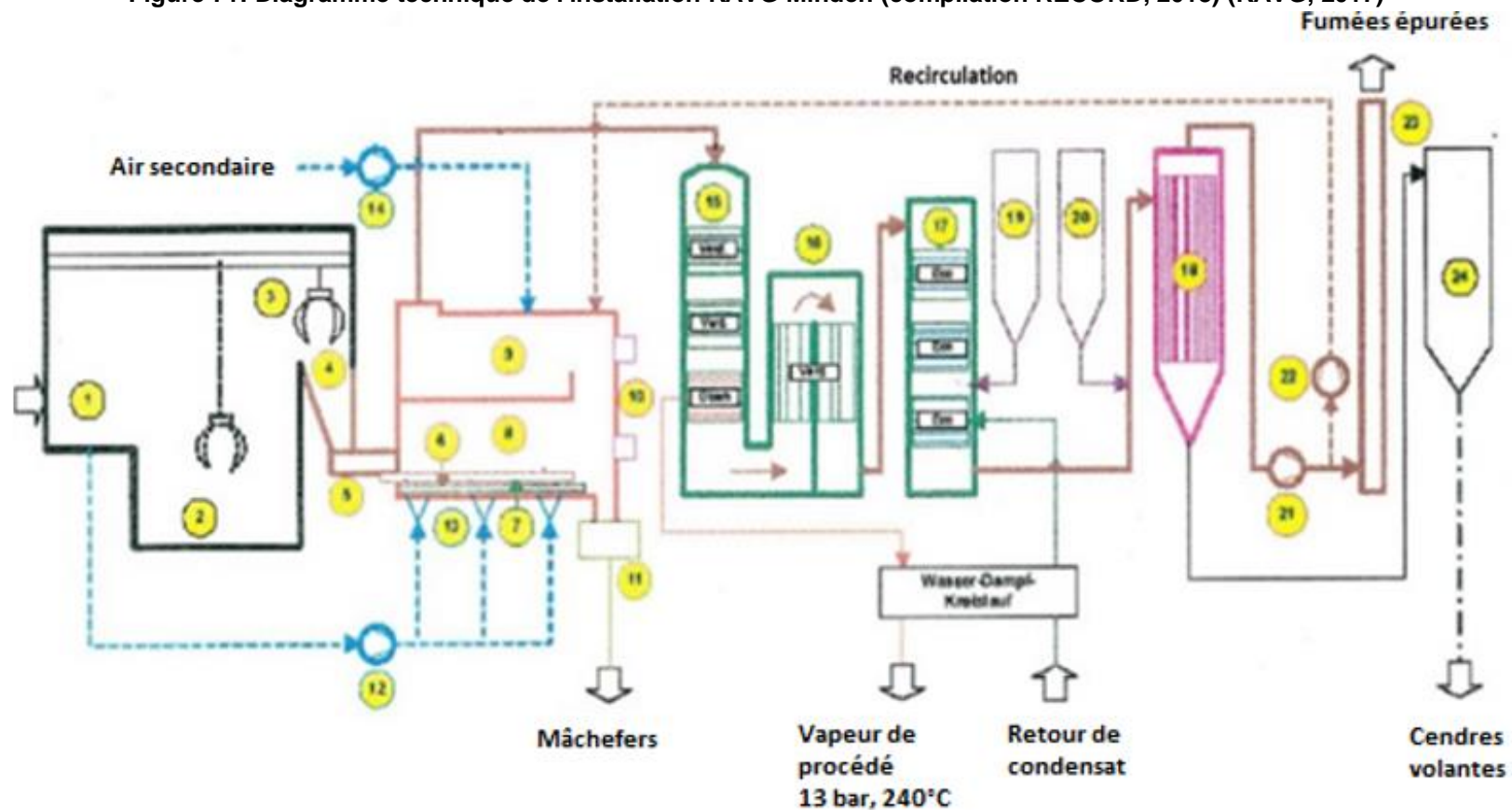
Figure 70 : Installation dédiée RDF Minden (RECORD, 2018)



VIII.4.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.4.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

Figure 71: Diagramme technique de l'installation KAVG Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017)



1. Aire de déchargement	2. Stockage du combustible
3. Grue automatisée	4. Entonnoir d'alimentation
5. Vrille d'alimentation	6. Convoyeur duplex (refroidi à l'eau)
7. Grille de gazéification refroidie à l'huile	8. Chambre de combustion primaire
9. Chambre de combustion secondaire	10. Brûleur auxiliaire/ de démarrage
11. Bassin de réception des mâchefers	12. Ventilateur d'air primaire
13. Filtre à air primaire	14. Filtre à air secondaire
15. Surchauffeurs	16. Chaudière à tubes de fumées
17. Economiseur	18. Filtre à manches
19. Silo à chaux	20. Silo à adsorbant Sorbalite (Ca(OH) ₂ + charbon actif)
21. Ventilateur de tirage	22. Ventilateur de recirculation
23. Cheminée	24. Silo cendres volantes/REFIOM

L'incinération est réalisée en utilisant un convoyeur de combustibles dit « duplex » refroidi à l'eau et une grille refroidie à l'huile. Le convoyeur « duplex » est constitué de deux parties glissant l'une auprès de l'autre. L'avantage de cette technologie de mieux acheminer le combustibles et de réduire les NOx.

Le gaz naturel est le combustible utilisé pour le démarrage et l'arrêt des opérations de l'installation dédiée RDF.

L'air de la zone de déchargement du combustible est utilisé pour la combustion, en appliquant une dépression, ce qui réduit les nuisances olfactives pour le voisinage. En cas d'arrêt, un filtre à charbon actif est utilisé.

L'eau utilisée dans la chaudière revient de chez Siegfried préchauffée après utilisation de la vapeur (130°C) ce qui réduit le besoin en chaleur pour la montée en température.

Figure 72: Fonctionnement de la chaudière - HKW Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017)

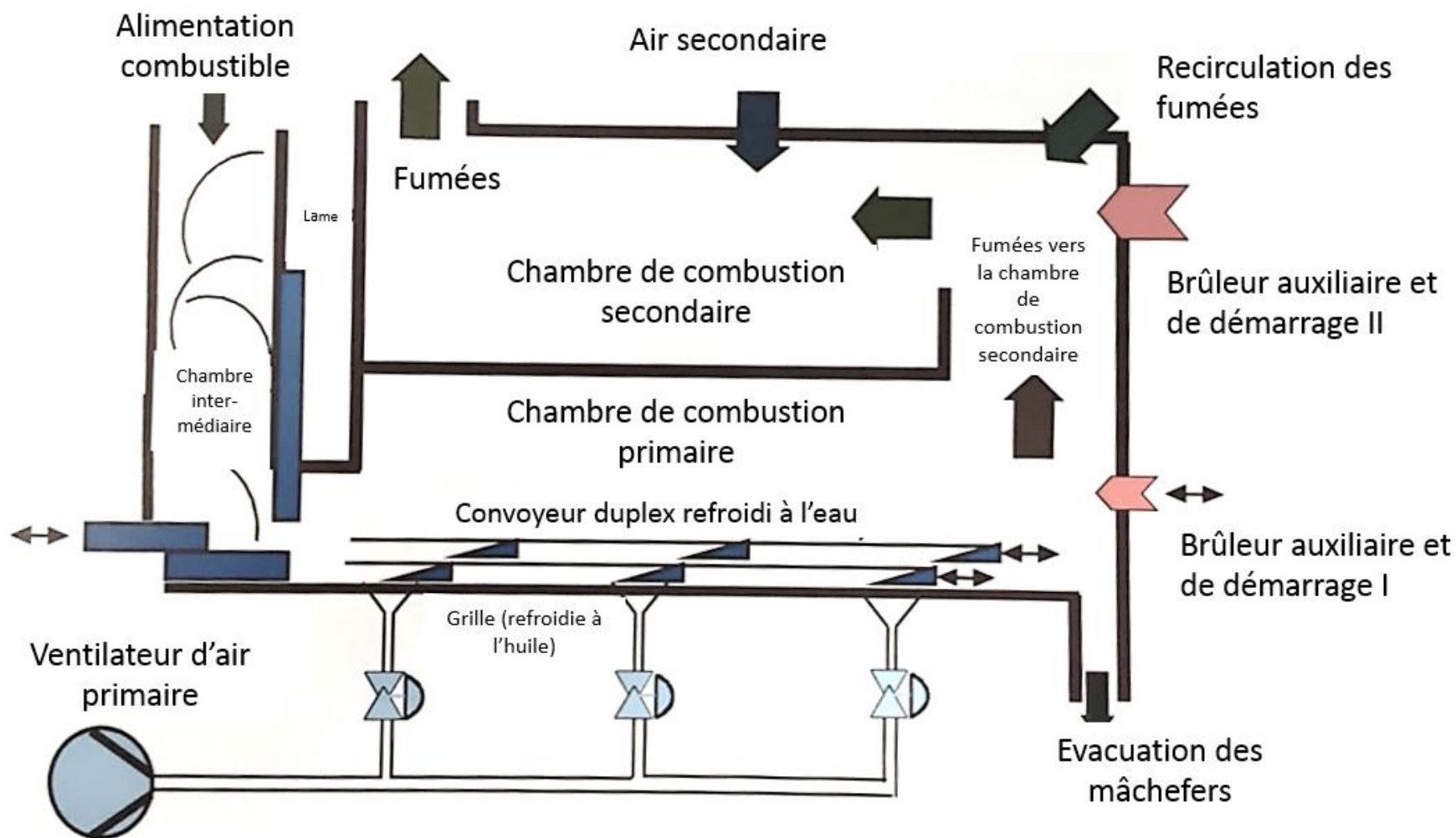
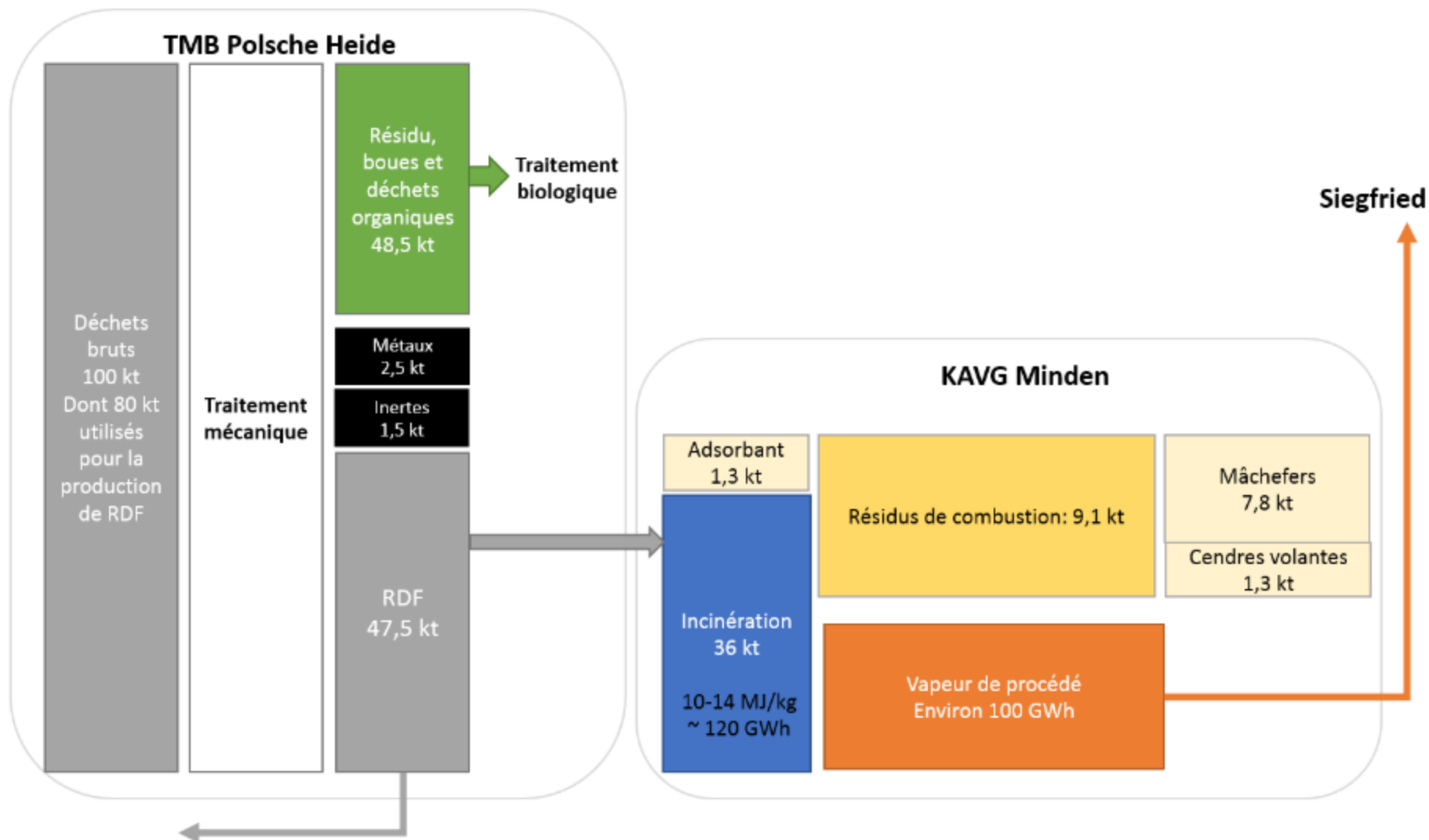


Figure 73: Bilan matière et énergétique KAVG Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017)



Technologie de combustion : Four à grille refroidie à l'eau, convoyeur duplex

La chaudière fonctionne sur le principe d'une combustion étagée. Le séchage, le dégazage, l'ignition et l'incinération (chambre de combustion primaire) ont lieu dans des conditions sous-stœchiométriques, en défaut d'air. La combustion complète des fumées a lieu par recirculation des fumées épurées dont la température est d'environ 130-150°C et par l'introduction d'air secondaire dans la chambre de combustion secondaire.

La température des fumées résultante est de 900-930°C. Cette chaleur est ensuite dirigée vers le reste de la chaudière, équipée de surchauffeurs pour la génération de vapeur.

Capacité : 40 000t/an

Capacité thermique nominale (sur PCI) : 15 MW

Gamme de PCI acceptée : la gamme acceptée par la technologie est non précisée. Une seule source de RDF est utilisée donc la gamme de PCI acceptée correspond au PCI moyen des combustibles : 10-14 MJ/kg.

Adaptabilité à d'autres combustibles

L'adaptabilité n'a pas été prise en compte. L'opérateur indique que du bois et des boues pourraient techniquement être incinérées avec la même technologie.

Fonctionnement du four

Quantité de RDF : en moyenne 36 000 t/an, entre 30 et 40 kt/an

Energie entrante : environ 120 GWh

Puissance thermique entrante estimée : environ 15 MW (sur base de 7800 h de fonctionnement)

PCI moyen des combustibles : 10 à 14 MJ/kg

Nombre d'heures de fonctionnement : 7800 h/an

La révision est réalisée deux fois par an : un arrêt de 3 semaines en été et un arrêt de 2 semaines en hiver sont prévus.

Puissance fournie

Puissance thermique fournie à Siegfried : environ 12 MW

Energie thermique fournie à Siegfried : maximum 100 GWh

Propriétés vapeur

Vapeur en sortie de chaudière : propriétés non connues

Vapeur délivrée à Siegfried : 13 bar, 240°C

Consommateurs d'énergie : Siegfried, industrie chimique

Siegfried est le seul consommateur de la vapeur. Toute la demande en chaleur du site de Siegfried est couverte par l'installation dédiée à l'incinération de RDF. Les pics de demande en chaleur peuvent être couverts par 2 chaudières à gaz situées sur le site de Siegfried (une par redondance), en support.

Siegfried peut utiliser la vapeur en excès pour produire de l'électricité lorsque sa demande en vapeur diminue, grâce à une turbine de puissance 560 kWel. L'électricité produite est alors utilisée par Siegfried et non fournie au réseau.

Contrôle des émissions

L'épuration des fumées est réalisée par un procédé sec.

Les NOx sont contrôlés uniquement par la technologie de combustion, qui permet de rester au deçà des VLE sans traitement post-combustion des fumées (SCR ou SNCR).

Les émissions de Hg, de SO₂ et de HCl sont réduites par l'ajout de Sorbalite®, un mélange de 96% chaux fine et de 4% de charbon actif (coke de hauts-fourneaux). La performance de la purification est

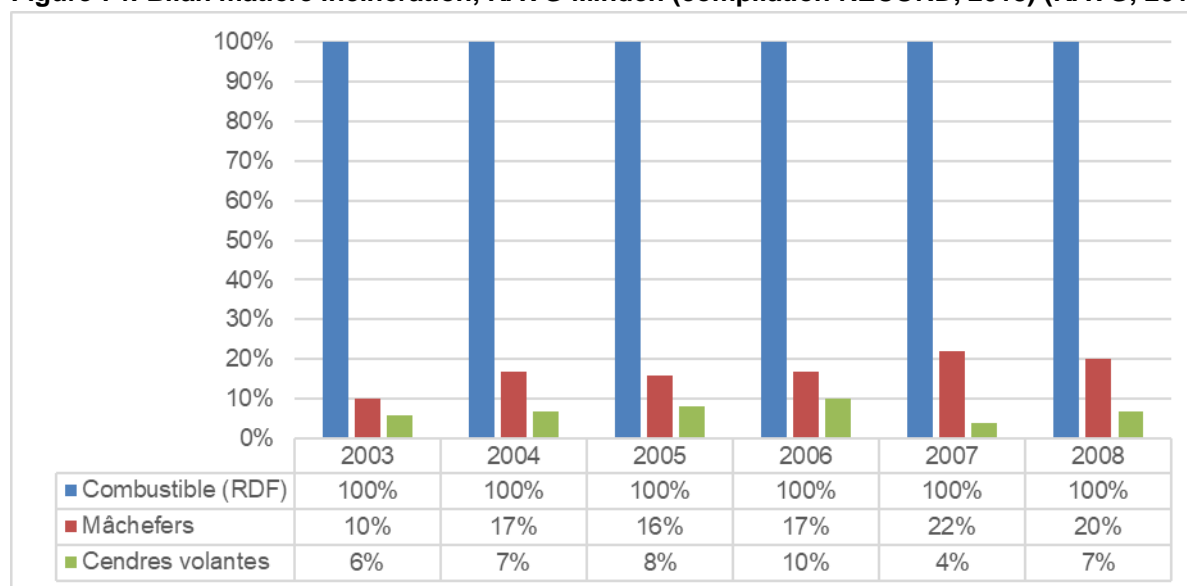
testée en mesurant les émissions de SO₂ et de HCl et en ajustant les quantités d'adsorbant ajouté via deux vis doseuses.

Les émissions de poussières sont réduites par l'utilisation de filtres performants, qui permettent de s'approcher d'émissions nulles de particules.

Les résultats des mesures sont soumis à l'autorité environnementale de façon journalière. Ils sont ensuite examinés de façon agrégée par l'agence d'inspection technique allemande (TÜV) et diffusés de façon publique une fois par an.

Production de mâchefers et REFION- Bilan matière incinération :

Figure 74: Bilan matière incinération, KAVG Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017)



En 2007, avec une quantité de RDF entrante de 35 837 t RDF, 7 754 t de mâchefers (22%) et 1296 t de cendres volantes (4%) ont été produites.

Aucune donnée plus récente n'est disponible mais il peut être supposé que les proportions de résidus sont restées du même ordre de grandeur aujourd'hui, puisque le fonctionnement n'a pas changé.

Les mâchefers sont utilisés en technique routière ou pour la construction d'installations de stockage.

Les cendres volantes sont utilisées comme remblai dans des dépôts souterrains.

Autres

Le site opère presque sans eaux usées puisque le mode de traitement des fumées choisi est un mode sec.

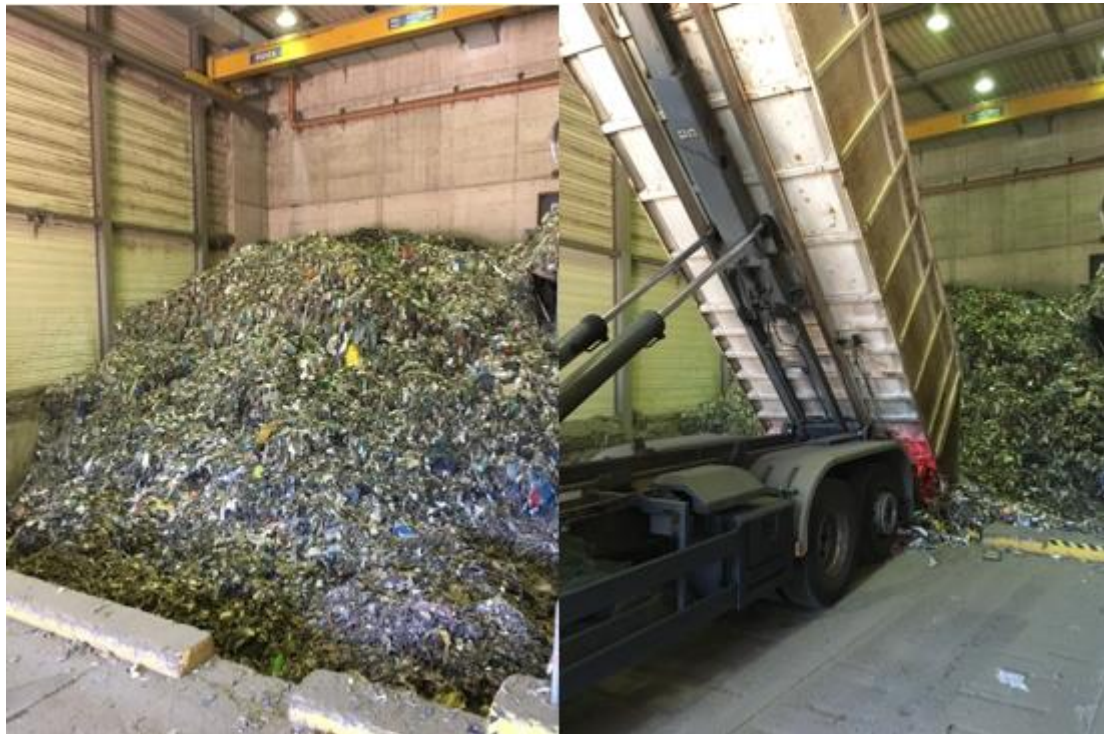
La vapeur est fournie sous vide via des canalisations sous-terraines isolées thermiquement et longues de 320m.

VIII.4.3.2. Propriétés du combustible

Combustibles utilisés

- RDF : 35 867 tonnes incinérées en 2009
Le RDF est préparé à partir d'OMR (déchets résiduels ménagers et assimilés en provenance des commerces)
- Jusqu'à 100 000 m³ de gaz sont utilisés par an pour le démarrage, l'arrêt et en cas de disfonctionnement

Figure 75: Aire de stockage du RDF à réception (RECORD, 2018)



Composition du RDF

Donnée non disponible

Contrôle qualité

Non précisé

Critères qualité - cahier des charges fournisseur

PCI moyen : 10-14 MJ/kg

Taux d'humidité <40%

Teneur en cendres <30%

Granulométrie <150 mm

Volume maximal de pièces uniques : 300 cm³

Densité comprise entre 150 et 500 kg/m³

Métaux ferreux (acier, inox, fer et laiton) <0,5%

Granulométrie < 400 mm pour les particules métalliques

VIII.4.3.3. Mode de production du RDF

Site de production : KAVG Polsche Heide.

Le site traite des déchets résiduels ménagers et assimilés, des déchets organiques et des boues, par traitement mécano-biologique. Les RDF sont uniquement produits par traitement mécanique. Les résidus organiques du traitement mécanique des OMR sont digérés puis compostés avec les boues et déchets organiques.

Le site est situé à 20 km de l'installation d'incinération des RDF de KAVG Minden.

Les sites de production et d'utilisation des RDF sont tous deux détenus par KAVG, l'entreprise détenue par l'arrondissement de Minden-Lübbecke.

Mode de production : Tri Mécanique des OMR

Critères d'acceptation des déchets entrants : inconnus

Unité de préparation RDF

Quantités de déchets entrants : 100 000 t/an dont 80 000 t/an de déchets résiduels issus de déchets ménagers (50%) et assimilés (50%).

Environ 47 500 t de RDF sont produits annuellement par KAVG Polsche-Heide. Environ 36 000 t sont livrés à KAVG Minden.

Taux de rejet : environ 40%

VIII.4.4. Conditions administratives

Terminologie

Le RDF est appelé « Ersatzbrennstoffe », qui signifie littéralement combustible de substitution.

Normes et standards de qualité

Le RDF n'est pas conforme à une norme mais un cahier des charges existe avec le fournisseur.

Permis – Incinération avec valorisation énergétique

Le site est considéré comme un incinérateur, avec valorisation énergétique.

Les articles 4, 6, 8 et 10 de la loi fédérale sur la protection des émissions BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetzes) s'appliquent. Ils réglementent les conditions d'octroi d'un permis et la procédure d'approbation.

La 4^{ème} BImSchV (ordonnance fédérale sur la protection des émissions) précise quel type de permis est applicable pour quel type d'installation. La procédure de demande de permis peut être simplifiée si la puissance thermique nominale est inférieure à 50 MW, ce qui est le cas du site HKW Minden.

La 17^{ème} BImSchV, réglemente les exigences du permis telles que les valeurs limites d'émission et une capacité maximale pour l'installation, la réduction des risques incendies ou le traitement des eaux usées.

Les permis ne sont pas publics.

Réglementation RDF

Il n'y a aucune particularité dans la réglementation liée au fait que le site prétraite les déchets avant incinération.

Valeurs limites d'émission et moyenne annuelle

Les valeurs limites d'émission pour l'incinération à respecter sont précisées dans l'ordonnance fédérale pour le contrôle des émissions (17. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung)). L'ordonnance régule les NO_x, Hg, SO₂, HCl, CO, TOC, poussières, NH₃, HF, avec les VLE présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 52: Valeurs limites d'émission et valeurs observées – HKW Minden (compilation RECORD, 2018) (KAVG, 2017)

	VLE Moyenne sur une demi-heure (17. BImSchV – nationale)	VLE Moyenne sur une journée ⁴⁷ (17. BImSchV – nationale)	Valeur moyenne observée 2002-2008, en % de la VLE journalière
	mg/Nm ²	mg/Nm ²	%
Poussières	20	10	<5
CO	100	50	<10
SO ₂	200	50	<10
HCl	60	10	<75
HC	20	10	<5
NO _x	400	200	<75
HF	4	1	<60
Hg	0,05	0,03	<5
NH ₃	15	10	-
Métaux lourds- total	-	0,5	-
Cd+Tl	-	0,05	<5
Sb+Sn	-	-	<20
Dioxines et furannes PCDD/F	-	0,1ng/Nm ³	<10

Taxation

Pas de taxes sur l'incinération ou le stockage.

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone

L'installation étant classée comme un incinérateur, elle ne fait pas partie du système européen d'échange d'émissions (Emission Trading Scheme- ETS), comme toutes les installations dédiées aux RDF en Allemagne.

Soutiens énergie renouvelable – conditions d'octroi

Le site ne reçoit pas de soutiens aux énergies renouvelables.

Statut de déchet

Tous les flux traités sur site sont des déchets.

Gestion des résidus de combustion

La 17^{ème} BImSchV précise que le traitement des mâchefers et cendres volantes doit être fait en conformité avec la loi BImSchG et avec la hiérarchie des modes de traitement établie dans la loi sur l'économie circulaire KrGW (Kreislaufwirtschaftsgesetz).

Les mâchefers peuvent être utilisés en technique routière.

Le paragraphe 12 de la 17^{ème} BImSchV précise que les cendres volantes et les cendres de chaudières doivent être récupérées séparément et que leurs propriétés physiques et chimiques et la teneur en substances dangereuses doivent être déterminées avant valorisation ou élimination. L'analyse doit être menée pour la fraction soluble et, pour les métaux lourds, sur les fractions solubles et insolubles.

⁴⁷ Moyenne sur une journée (mesures continues) ou sur 0,5 à 8h (mesures périodiques)

VIII.4.5. Conditions économiques

Evolutions du modèle d'affaires

Le modèle d'affaires n'a pas changé significativement depuis le début de l'opération. L'opérateur initial du site consommateur de chaleur, BASF, a été remplacé par Siegfried. Le site consommateur de chaleur est resté le même et la demande en chaleur n'a pas varié. Ce changement n'a donc pas eu de conséquences sur le fonctionnement de l'incinérateur de RDF.

Typologie des consommateurs d'énergie

Siegfried PharmaChemikalien Minden GmbH est un site chimique, filiale de la Siegfried Holding AG basée à Zofingen en Suisse. Le site produit différentes substances chimiques, en particulier des composés chimiques du groupe de substances actives de l'éphédrine et de la purine pour l'industrie pharmaceutique, et de la caféine pour l'industrie agro-alimentaire.

Contrats

L'incinérateur de RDF a des contrats à moyen et à long-terme avec le site de production de RDF. Le site de production de RDF et le site utilisateur appartiennent à la même entreprise.

Le contrat long-terme initialement conclu avec BASF a été repris par Siegfried et est toujours valable. La durée du contrat n'a pas été communiquée.

Structure des recettes

Les recettes sont confidentielles et n'ont pas été communiquées.

Le temps d'amortissement n'a pas été communiqué.

Soutiens

Le site n'a reçu aucun soutien.

Structure des coûts

Les coûts sont confidentiels et n'ont pas été communiqués.

Personnel

Pas d'informations

Perspectives pour le modèle d'affaires

Pas d'informations

VIII.4.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Caractérisation du site

Le site est un site de production de vapeur à partir de RDF, classifié comme un incinérateur.

Facteurs clés de succès

- Technologie
 - Le design choisi a permis un temps court de construction et un besoin d'espace réduit.
 - La vapeur demandée par Siegfried est peu énergétique, ce qui facilite la production de vapeur. Les impacts concrets sur les coûts n'ont pas été dévoilés (par exemple, plus faible coût d'investissement dans les équipements contre la corrosion).
 - La technologie réduit les nuisances olfactives, qui ne sont plus un problème pour les riverains.
- Modèle d'affaires

- L'intégration de la préparation et de l'incinération au sein d'une même entreprise KAVG, détenue par l'arrondissement en charge de la collecte et de la gestion des déchets, réduit le besoin de contrôle qualité sur site.
- La proximité du site de production de RDF avec l'incinérateur (20 km) diminue les coûts de transport et augmente le revenu potentiel que le site peut recevoir pour le traitement.
- La fiabilité du consommateur de vapeur et la contractualisation à long terme sont des facteurs clés pour l'incinérateur de RDF.
- Relations publiques
L'acceptabilité du site par la communauté locale a été évoquée comme un facteur important de succès. Il a été nécessaire d'établir une connexion entre le public et le projet et d'expliquer le fonctionnement d'installations existantes similaires.

Freins et leviers

Le site a eu des difficultés pour accéder à des pièces de remplacement car il s'agissait du seul site de ce type, et que l'entreprise Energos était en difficulté financière (elle a finalement fait faillite). Plusieurs mois à plusieurs années ont été nécessaires pour identifier des partenaires locaux capables de fournir des pièces détachées.

Transposition

- Le modèle de chaudière (convoyeur duplex) mise en place à Minden est difficilement transposable puisque le fournisseur de la chaudière a fait faillite.
- D'un point de vue réglementaire, le site de Minden se distingue de la vision française de la filière CSR
 - Le pouvoir calorifique des RDF utilisés est relativement faible (10-14 MJ/kg). Certains des RDF entrants ne répondent donc pas à la définition française des CSR qui prévoit notamment un PCI minimal de 12 MJ/kg. Notons que l'arrêté du 23 mai 2016 ne définit pas clairement dans quelles conditions d'autres combustibles que du CSR peuvent être utilisés dans une installation classée ICPE 2971.
 - Le site a été dimensionné pour la production de vapeur et c'est son principal objectif, et donc, a priori, sa principale source de revenus. Selon l'interprétation française, le site de Minden serait classé comme un coïncinérateur, alors que l'Allemagne le classe en tant qu'incinérateur. Il ne serait cependant pas éligible aux quotas de CO₂, l'installation ayant une puissance thermique nominale inférieure à 20 MW.
 - Les critères qualité établis avec le fournisseur de RDF portent sur un nombre réduit de paramètres, et notamment pas sur la composition chimique complète du déchet, dont la caractérisation est exigée par la réglementation française.
- Certaines caractéristiques de la réglementation française sont cependant respectée :
 - Dimensionnement pour un besoin en chaleur
 - Efficacité énergétique > 70%
- Les exigences réglementaires supplémentaires liées à la qualité du RDF et aux modalités de contrôle qualité seraient de nature à augmenter les coûts de fonctionnement d'une telle installation, en comparaison avec la situation réglementaire en vigueur en Allemagne.

VIII.4.7. Détails sur la visite

Date : 01/06/2017

Contacts :

Nom	Statut	Organisation	Contacts
Mr Dirk Kleinemeyer	Responsable du site	KreisAbfallVerwertungsgesellschaft Minden-Lübbecke GmbH (KAVG)	+49 571 645662-0 M : dirk.kleinemeyer@kavg-ml.de
Mr Karl-Heinz Müller	Département technique	KreisAbfallVerwertungsgesellschaft Minden-Lübbecke GmbH (KAVG)	M : karl-heinz.mueller@kavg-ml.de

VIII.5. MVV Korbach (Allemagne)

VIII.5.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Industrie Heizkraftwerk (IHKW) Korbach

Adresse : Limmerstraße 2, 34497 Korbach, Allemagne

Employés : 16 employés

Capacité : 75,5 kt, puissance thermique nominale non renseignée, puissance 36-37 MW en fonctionnement, sur base du PCI.

+ 2 chaudières d'appoint (combustible fossile) de 22 MW de puissance thermique nominale chacune



Opérateur et propriétaire : MVV Enamic Korbach GmbH (filiale à 100% de MVV Enamic).

MVV Enamic est une filiale à 100% de MVV Umwelt, elle-même filiale à 100% de MVV Energie AG. MVV Energie AG a été fondé en 1999. MVV est un énergéticien allemand actif en particulier dans le secteur des déchets et de la biomasse. Il emploie environ 6 000 personnes et son chiffre d'affaires s'élevait à 4,1 milliards en 2016. MVV Energie AG est une entreprise détenue à 50,1% par la ville de Mannheim située dans le Land de Bade Württemberg (via MVV GmbH), à 22,5% par le land du Bade Württemberg (via EnBW Energie Baden-Württemberg), à 16,3% par Rheinenergie, à 6,3% par l'énergéticien français Engie ; et enfin MVV a 4,8% de part flottante.

Consommateur d'énergie : Continental Korbach, fabricant de pneumatiques, consommateur de vapeur de procédé.

Historique de la gestion du site

Le site de MVV Korbach a été mis en service en 2008 et est détenu et opéré par MVV depuis cette date. Depuis sa mise en service, il fournit le fabricant de pneumatiques Continental Korbach en chaleur produite à partir de RDF.

VIII.5.2. Historique et description des activités

Historique des activités du site

- Continental Korbach a une demande constante en chaleur et a commencé à réfléchir à des alternatives aux sources d'énergies fossiles conventionnelles autour de l'année 2000. Continental a donc décidé de lancer un appel d'offre public pour la fourniture de vapeur à leur site de Korbach. MVV Enamic a remporté l'appel d'offres et a conçu le site d'incinération de RDF pour répondre à la demande en chaleur de Continental.
- Le site de MVV Korbach a été mis en service en 2008. Il emploie 16 personnes. Il a été noté que l'opération serait généralement possible avec seulement 10 personnes.



Figure 76 : Site d'incinération de RDF Korbach (compilation RECORD, 2018) (MVV, 2017)

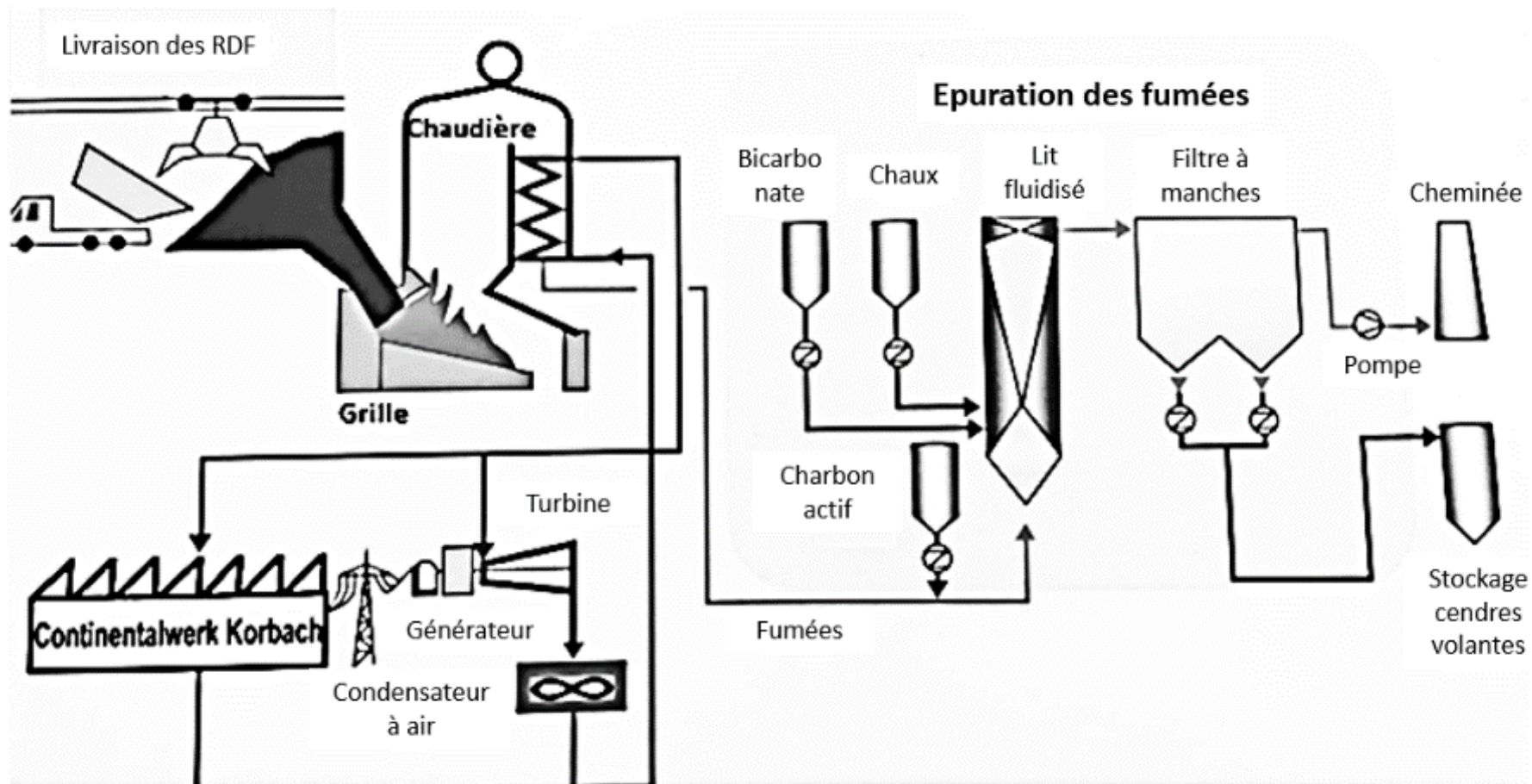
Principal objectif de l'utilisation de RDF : Production de vapeur pour Continental

La vapeur est directement livrée au site de Continental. La production d'électricité pour MVV et pour Continental est mise en place uniquement lorsqu'une partie de la vapeur n'est pas utilisée par Continental.

VIII.5.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.5.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

Figure 77: Diagramme technique de l'installation IHKW Korbach (compilation RECORD, 2018) (MVV, 2017)



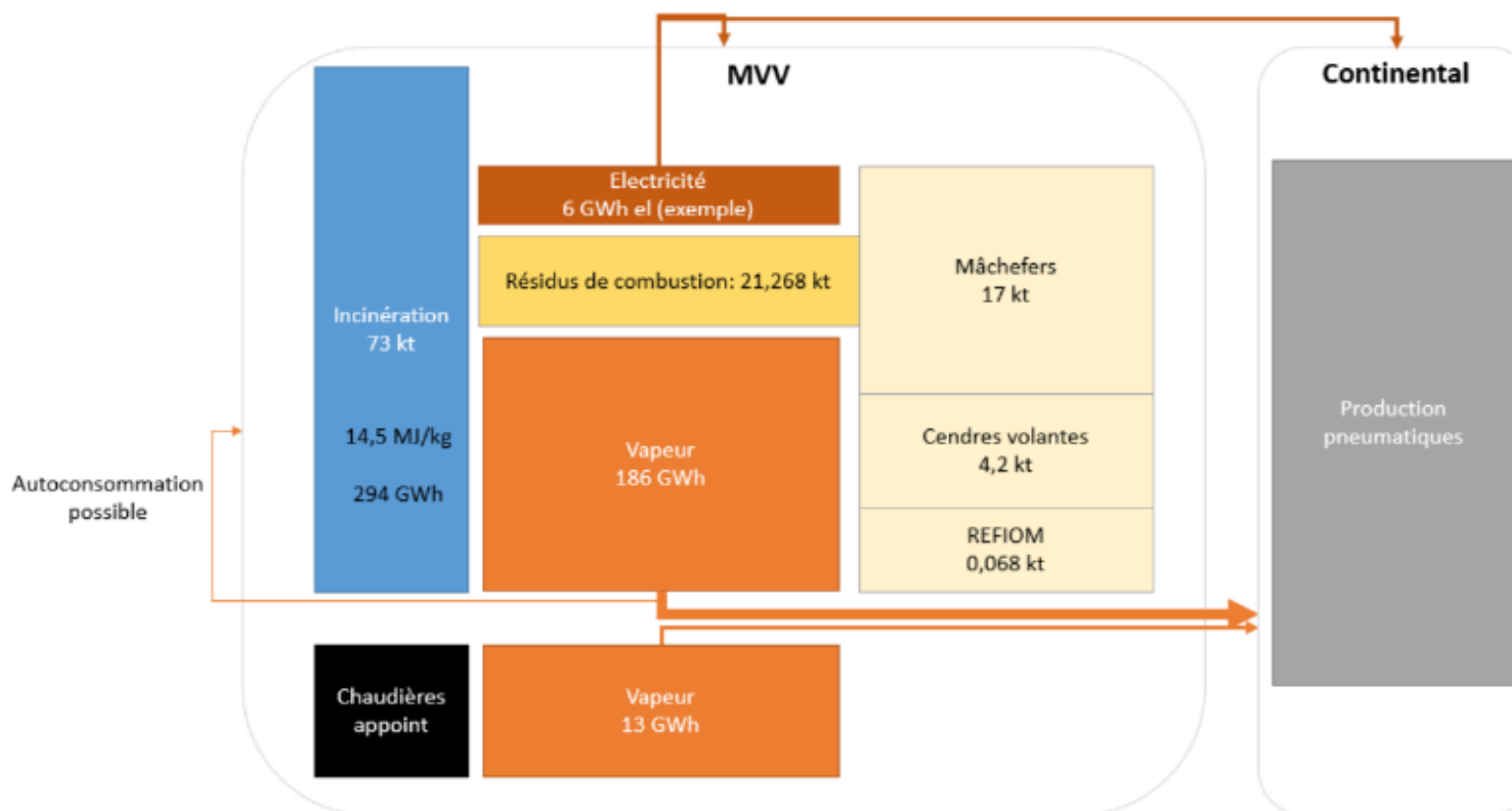
L'aire de stockage des RDF a une capacité d'environ 1000t de RDF. Il y a un vide partiel dans l'aire de stockage pour réduire les nuisances olfactives. Le site a une chaudière brûlant des RDF et 2 chaudières en support (à tubes de fumées, 2 pour assurer une redondance) qui permettent de couvrir les pics de demande en chaleur et les arrêts de l'incinérateur de RDF.

Du fioul et du gaz naturel sont les combustibles utilisés pour le démarrage et l'arrêt de l'incinérateur et pour les chaudières d'appoint.

La technique est éprouvée, nécessite peu de maintenance et assure une longue durée de vie des éléments de la grille.

La combustion est réalisée en conformité avec la 17^{ème} BImSchV (ordonnance fédérale sur la protection des émissions). Après la dernière injection d'air, un temps de résidence de minimum 2s à plus de 850°C (max 1300°C) est assuré.

Figure 78: Bilan matière et énergétique du site IHKW Korbach (compilation RECORD, 2018) (MVV, 2017)



Technologie de combustion : Four à grille inclinée refroidie à l'eau

Capacité : 75 500 t

Gamme de PCI : non précisée

Température sur la grille : non précisée

La puissance thermique nominale de chaque chaudière support est de 22 MW.

Adaptabilité à d'autres combustibles

Non précisée

Fonctionnement du four

PCI moyen : 14,5 MJ/kg

Déchets entrants : 73 000 t (2015/16)

La quantité de combustibles utilisée en support n'a pas été communiquée.

Energie entrante (sur PCI) : environ 300 GWh

Puissance entrante moyenne (sur PCI) : environ 36-37 MW (sur base de 8000-8400h/an)

La puissance thermique totale en fonctionnement (chaudière RDF et chaudières support) est toujours inférieure à 50 MW.

Nombre d'heures de fonctionnement : estimé entre 8000 et 8400 h/an.

Le site peut être opéré automatiquement pour une grande partie.

Des opérations de maintenance sont prévues deux fois par an (une à Pâques et une en Octobre), une semaine à chaque fois. Lors des arrêts les chaudières de support prennent le relai pour garantir l'approvisionnement en vapeur.

Les chaudières de support et la chaudière RDF fonctionnent ensemble moins de 3000 h/an (pics de demande).

Puissance fournie

Le bilan énergétique annuel varie en fonction des besoins en vapeur de Continental.

- Chaleur RDF (2015/2016) : 186 GWh- 23 MW
- Electricité : de l'ordre de 6 GWh/an – 0,7 MW. Cette valeur a été donnée en exemple, sans que l'on puisse conclure qu'il s'agisse d'une valeur typique. Elle a cependant été reprise dans le bilan énergétique car il s'agit de la seule valeur à disposition.

Turbine : turbine à condensation à extraction contrôlée

Capacité de la turbine : 4,1 MWel

L'électricité est pour partie utilisée par MVV et pour partie par Continental. Elle n'est pas fournie au réseau.

Propriétés vapeur

Sortie chaudière RDF : 32 bar, 320°C. Débit moyen : 43t/h

Fournie à Continental : 22 bar, 220°C

La vapeur peut également être extraite à une pression moyenne (3,5 bar) pour être utilisée par MVV.

Les chaudières auxiliaires peuvent produire chacune environ 28 t/h de vapeur (pression et température non précisées).

Consommateurs d'énergie : Continental, fabricant de pneumatiques

La vapeur est principalement utilisée pour le procédé, et également utilisée pour le chauffage du site de Continental.

Contrôle des émissions

Le contrôle des émissions est en conformité avec les meilleures techniques disponibles.

Le procédé utilisé est un procédé sec.

Les fumées utilisées pour la production de vapeur sont refroidies à 180-200°C et une partie des poussières et des métaux est collectée par le filtre à manches. Le bicarbonate et la chaux permet de contrôler les émissions d'acide. Un dosage de charbon actif sera installé. Un nouveau système de contrôle arrête automatiquement l'alimentation en combustible si les valeurs d'émission dérivent vers un excès des VLE.

Le débit des fumées est d'environ 51 100 Nm³/h à 11% O₂.

Production de mâchefers et REFIOM- Bilan matière incinération (2015/16)

Déchets entrants : 73 000 t

Déchets résiduels : 21 268 t (29%)

- Mâchefers : 17 000 t (23%)
- Cendres volantes (filtre à manches) : 4 200 t (6%)
- Cendres de chaudière (résultant des opérations de maintenance) : 68t

**Figure 80: Silo cendres volantes
(RECORD, 2018)**



**Figure 79: Stockage de mâchefers
(RECORD, 2018)**



Les résidus sont stockés temporairement et gérés par des entreprises de traitement des déchets.

Les mâchefers sont traités (extraction des métaux) et valorisés en technique routière ou pour la construction et la stabilisation d'installations de stockage de déchets. Le stockage des mâchefers est ouvert à Korbach, ce qui facilite le chargement. Un permis supplémentaire a été nécessaire pour autoriser le stockage ouvert.

Les cendres volantes sont convoyées vers le silo grâce à des convoyeuses à vis. Les cendres sont déchargées dans des camions par le dessous et utilisées pour des opérations de remblayage sous forme de dépôts souterrains.

Autres

Le site opère pratiquement sans eaux usées car le procédé de traitement des fumées est un procédé sec.

R1= 0,60-0,65 Il s'agit d'une unité d'incinération avec valorisation énergétique.

Les tuyaux aériens transportant la vapeur de MVV à Continental ont une longueur de 210m.

Figure 81: Canalisation transportant la vapeur de MVV à Continental (RECORD, 2018)



VIII.5.3.2. Propriétés du combustible

Combustibles utilisés

- RDF : 73 kt
Cela représente une économie de gaz naturel d'environ 18,5 million de m³ par an.
Les RDF sont fournis par des 3 fournisseurs, tous situés à moins de 100 km de Korbach.
Le RDF est préparé à partir des déchets résiduels ménagers et assimilés (en provenance des activités commerciales).
- Fioul et gaz naturel. Quantités inconnues.

Figure 82: RDF à réception (RECORD, 2018)



Composition du RDF

Pas d'informations

Contrôle qualité

Les livraisons sont soumises à un contrôle qualité visuel à chaque déchargement de camion. Deux camions peuvent être déchargés simultanément. Les livraisons sont réalisées fournisseur par fournisseur pour permettre de suivre la qualité du RDF en fonction de son origine. Un camion par jour, sélectionné au hasard, est testé par les employés de MVV. Les quantités de RDF refusées sont négligeables.

Figure 83: Déchargement des RDF et contrôle visuel (RECORD, 2018)



MVV fait également auditer les fournisseurs de RDF par des experts externes pour garantir la qualité des RDF.

Certaines spécifications de qualité du RDF sont précisées dans le permis (qui n'est pas publiquement disponible). La granulométrie est un critère important (<50cm). D'autres caractéristiques sont convenues avec le fournisseur de RDF. Le RDF ne répond pas à une norme.

Autres propriétés

Granulométrie <50 cm

VIII.5.3.3. Mode de production du RDF

Sites de production : 3 sites situés à moins de 100 km de Korbach et gérés par MVV Umwelt (intégration dans le même groupe de la préparation et de l'utilisation), Tönsmeier et Véolia.

Mode de production : Tri mécanique

Critères d'acceptation des déchets entrants

Les déchets utilisés pour fabriquer du RDF sont des déchets résiduels ménagers et assimilés prétraités, de code déchets :

- 19 12 10 : déchets combustibles – RDF
- 19 12 12 : autres déchets non dangereux issus du traitement mécanique
- 14 01 06 : emballages en mélange

Figure 84: Waldeck-Frankenberg en Hesse et localisation du site dédié à l'incinération de RDF (compilation RECORD, 2018)



Propriétés des déchets intrants

Les déchets proviennent principalement de l'arrondissement de Waldeck-Frankenberg et des régions voisines.

Description du procédé de préparation : Traitement mécanique des OMR

Le procédé comprend tri, broyage et criblage.

Aucun traitement n'est réalisé après réception sur le site d'incinération de RDF de MVV Korbach.

VIII.5.4. Conditions administratives

Terminologie

Le RDF est appelé « Ersatzbrennstoffe », qui signifie littéralement combustible de substitution.

Normes et standards de qualité

Le RDF répond à un cahier des charges établi par contrat avec les fournisseurs. Les spécifications exactes ne sont pas connues.

Permis - Incinération

Le site est considéré comme un incinérateur, avec valorisation énergétique.

Les articles 4, 6, 8 et 10 de la loi fédérale sur la protection des émissions BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetzes) s'appliquent. Ils réglementent les conditions d'octroi d'un permis et la procédure d'approbation.

La 4^{ème} BImSchV (ordonnance fédérale sur la protection des émissions) précise quel type de permis est applicable pour quel type d'installation.

La 17^{ème} BImSchV, réglemente les exigences du permis telles que les valeurs limites d'émission et une capacité maximale pour l'installation, la réduction des risques incendies ou le traitement des eaux usées.

Les permis ne sont pas publics.

Réglementation RDF

Il n'y a aucune particularité dans la réglementation liée au fait que le site prétraite les déchets avant incinération.

Valeurs limites d'émission et moyenne annuelle

Les valeurs limites d'émission pour l'incinération à respecter sont précisées dans l'ordonnance fédérale pour le contrôle des émissions (17. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung), installations <50MW). L'ordonnance régule les NOx, Hg, SO₂, HCl, CO, TOC, poussières, NH₃, HF, avec les VLE présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 53: Valeurs limites d'émission–17. BImSchV (compilation RECORD, 2018) (MVV, 2017)

	VLE Moyenne sur une demi-heure (17. BImSchV – nationale)	VLE Moyenne sur une journée ⁴⁸ (17. BImSchV – nationale)	Type de mesure (C= continu P= périodique)
	mg/Nm ²	mg/Nm ²	
Poussières	20	10	C
CO	100	50	C
SO ₂	200	50	C
HCl	60	10	C

⁴⁸ Moyenne sur une journée (mesures continues) ou sur 0,5 à 8h (mesures périodiques)

HC	20	10	-
NOx	400	200	C
HF	4	1	C
Hg	0,05	0,03	C
NH ₃	15	10	-
Métaux lourds- total	-	0,5	P
Cd+Tl	-	0,05	-
Sb+Sn	-	-	-
Dioxines et furannes PCDD/F	-	0,1ng/Nm ³	P

Les valeurs limites d'émissions sont respectées. Les valeurs moyennes observées ne sont pas disponibles.

La mesure des composés gazeux inorganiques chlorés est effectués en continu, ainsi que celles d'autres composés (cf Tableau 53: Valeurs limites d'émission–17. BImSchV).

Les mesures sont effectuées grâce à un instrument qui enregistre les résultats toutes les 1 à 3 secondes. A partir des mesures individuelles, une moyenne par demi-heure est calculée et sauvee, et cette moyenne est ensuite utilisée pour calculer la moyenne journalière. Les valeurs d'émission sont transférées chaque jour électroniquement aux autorités compétentes.

Les mesures suivantes sont effectuées de manière périodique :

- Cd, Tl, Sb, As, Pb, Cr, Co, Mn, Ni, V, Sn
- PCDD/F
- As, benzo(a)pyrène, Cd, Cu soluble dans l'eau, Cr (VI) ou As, benzo(a)pyrène, Cd, Co, Cr

Taxation

Pas de taxes sur l'incinération ou le stockage.

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone

L'installation étant classée comme un incinérateur, elle ne fait pas partie du système européen d'échange d'émissions (Emission Trading Scheme- ETS), comme toutes les installations dédiées aux RDF en Allemagne.

Soutiens énergie renouvelable – conditions d'octroi

Le site ne reçoit pas de soutiens aux énergies renouvelables.

Statut de déchet

Tous les flux traités sur site sont des déchets.

Gestion des résidus de combustion

La 17^{ème} BImSchV précise que le traitement des mâchefers et cendres volantes doit être fait en conformité avec la loi BImSchG et avec la hiérarchie des modes de traitement établie dans la loi sur l'économie circulaire KrGW (Kreislaufwirtschaftsgesetz).

Les mâchefers peuvent être utilisés en technique routière.

Le paragraphe 12 de la 17^{ème} BImSchV précise que les cendres volantes et les cendres de chaudières doivent être récupérées séparément et que leurs propriétés physiques et chimiques et la teneur en substances dangereuses doivent être déterminées avant valorisation ou élimination. L'analyse doit être menée pour la fraction soluble et, pour les métaux lourds, sur les fractions solubles et insolubles.

VIII.5.5. Conditions économiques

Evolutions du modèle d'affaires

Le modèle d'affaires n'a pas changé depuis la mise en service du site. L'objectif principal du site est toujours de produire de la vapeur pour Continental.

Appréciation générale

Le site est rentable. La marge est confidentielle.

Typologie des consommateurs d'énergie : Continental AG, fabricant de pneumatiques, vapeur de procédé

Continental AG, et plus particulièrement sa branche ContiTech Schlauch GmbH localisée à Korbach, consomme de la vapeur de procédé.

Le site de production, avec environ 3 000 employés, produit des pneus pour l'automobile, l'industrie, et les deux-roues; ainsi que des tubes techniques et des collecteurs.

34 000 pneus automobiles et 1 800 pneus industriels peuvent être produits par jour.

La demande totale du site est environ de 200 GWh. En 2015/2016, environ 186 GWh de chaleur a pu être fourni par l'incinération de RDF et 12,8 GWh par du gaz, ce qui signifie qu'environ 90% de la demande en chaleur peut être fournie par l'incinération de RDF.

Contrats

MVV a des contrats de moyen-terme (environ 5 ans) avec 3 fournisseurs de RDF : Tönsmeier, Véolia et MVV Umwelt. Une partie du RDF provient de MVV Umwelt, une société intégrée au même groupe que celui de l'opérateur de l'installation dédiée à l'incinération de RDF.

MVV a un contrat à long-terme (de plus de 10 ans) avec Continental Korbach. Dans le contrat, un prix fixe est prévu pour la livraison de vapeur, jusqu'à 27t/h. Tout ce qui est fourni au-dessus de ce débit fait l'objet d'un accord séparé et est fourni à un prix variable. Les contrats sont ajustés pour refléter les prix actuels du gaz et du fioul.

Structure des recettes

La structure des recettes est confidentielle et n'a pas été divulguée.

Soutiens

Le site n'a reçu aucun soutien.

Structure des coûts

Un investissement initial de 32 M€ a été réalisé en 2008. Il a été indiqué qu'un investissement pour une unité comparable serait plus onéreux aujourd'hui et ne serait pas possible. Il n'a pas été possible d'obtenir des informations plus détaillées pour le justifier.

Personnel

16 employés

Perspectives pour le modèle d'affaires

Bien qu'on puisse s'attendre à ce que l'importance du recyclage augmente dans le futur, MVV prévoit que la valorisation énergétique des déchets restera rentable car les quantités de déchets à valoriser énergétiquement vont augmenter avec la reprise économique et la montée en puissance des collectes sélectives, ce qui devrait jouer à la hausse sur les prix de traitement.

VIII.5.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Caractérisation du site

Le site a pour objectif principal de fournir de la vapeur de procédé à Continental. La production d'électricité est utilisée comme variable d'ajustement et n'est pas l'objectif principal.

Le site est classé comme un incinérateur en Allemagne.

Facteurs clés de succès

- Technologie : la technologie choisie est éprouvée.
- Politiques publiques : le contexte européen et national a été favorable, avec la Directive européenne sur la mise en décharge et l'interdiction par l'Allemagne du stockage des déchets municipaux non pré-traités (TASi). Ces dispositions ont créé le besoin de capacités de traitement et de valorisation.
- Modèle d'affaires : les éléments clés sont les suivants :
 - une demande en chaleur élevée et stable ;
 - la volonté de Continental de substituer les sources d'énergie fossiles et de développer une image verte approvisionnement ;
 - des contrats à long-terme avec Continental.
 - des contrats de moyen terme avec les fournisseurs de RDF pour réduire le risque potentiel lié aux évolutions potentielles de la demande en chaleur

Notons que l'absence de quotas de CO₂ constitue également un avantage compétitif pour l'énergie déchets, bien que ce facteur n'ait pas été évoqué par MVV.

Freins et leviers

L'existence d'une initiative citoyenne contre l'implantation du site en raison des émissions de polluants a constitué une difficulté pour le site. Elle a été résolue en mettant en place une communication ouverte autour des faits ; le site travaille continuellement sur son image publique en ouvrant le site au public une à deux fois par mois pour des visites. L'importance de cette communication ouverte avec le voisinage a été soulignée.

Un facteur de vulnérabilité du site est le caractère changeant du marché et des technologies utilisées par le client qui a une demande en chaleur. Les évolutions des procédés mis en œuvre conduit à la réalisation d'économies d'énergie, et les potentielles évolutions des quantités produites influent sur la demande en chaleur. Cela rend difficile l'établissement de contrats à long-terme avec les fournisseurs de RDF et explique le choix de contrats moyen-terme (5 ans).

Transposition

- Le pouvoir calorifique des RDF utilisés (en moyenne 14,5 MJ/kg) est compatible avec la qualité attendue des CSR en France. Le contrôle visuel réalisé à réception est également compatible avec la réglementation française.
- D'un point de vue réglementaire, le site de Korbach se distingue de la vision française de la filière CSR :
 - Le site a été dimensionné pour la production de vapeur et c'est son principal objectif, et donc, a priori, sa principale source de revenus. Selon l'interprétation française, le site de Korbach serait classé comme un coïncinérateur, alors que l'Allemagne le classe en tant qu'incinérateur. Il serait éligible aux quotas de CO₂ (puissance thermique nominale > à 20 MW), ce qui renchérirait légèrement le prix de l'énergie par rapport à la situation allemande actuelle.
 - Les modalités de contrôle qualité sont convenues entre fournisseur et utilisateur de RDF. Seul le contrôle de la granulométrie est demandé dans le permis. Les paramètres contrôlés et les modalités pratiques de contrôle mises en œuvre ne sont pas connues. Pour rappel, en France, il y a une exigence de caractériser la composition chimique

complète du déchet; pour chaque lot par le fournisseur ; et par les utilisateurs une fois par an et par fournisseur.

- L'installation ce conforme cependant aux exigences réglementaires suivantes :
 - Dimensionnement pour un besoin en chaleur
 - Efficacité énergétique > 70%
- Les exigences réglementaires liées à la qualité du RDF et aux modalités de contrôle qualité seraient de nature à augmenter les coûts de fonctionnement d'une telle installation, en comparaison avec la situation réglementaire en vigueur en Allemagne.

VIII.5.7. Détails sur la visite

Date : 02/06/2017

Adresse : Limmerstraße 2, 34497 Korbach, Allemagne

Contacts :

Nom	Responsabilité	Organisation	Détails du contact
Mr Franke	Contact principal	MVV Enamic Korbach GmbH	E: h.franke@mvv.de T: +49 621290-4613
Mr Teckentrup	Directeur	MVV Enamic Korbach GmbH	-
Dr. Großgebauer	Développeur du projet	MVV Umwelt	swen.grossgebauer@mvv.de

VIII.6. Stora Enso Anjalankoski (Finlande)

VIII.6.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Stora Enso Anjalankoski.

Adresse: Via Ensontie 1, FI-46900 Inkeroinen (Kouvola), Finlande

Employés : Approximativement 23 ETP pour l'installation de valorisation énergétique uniquement

Capacité :

- 170 MW de puissance thermique nominale
- 100 MW puissance thermique de sortie
- 135 kt de RDF normé (plastique, bois et papier), d'après le permis environnemental établi en 2008. Des quantités moindres sont utilisées (par exemple 80 kt en 2012).

Les quantités d'écorce, de boues de papeterie déshydratées et de RDF produits à partir de déchets internes entrant annuellement dans l'installation ne sont pas connues.

PCI du RDF (2009-2013) : 14.5-18 MJ/kg.



Opérateur et propriétaire : La papeterie et l'installation de valorisation énergétique des RDF normés sont toutes deux détenues et exploitées par Stora Enso.

Stora Enso a été créé en 1998 par la fusion de la société finlandaise Enso Oyj et de la société suédoise Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag (STORA). Son siège social est établi à Helsinki. L'entreprise réalise un chiffre d'affaires annuel de 10 milliards d'euros (2015), est présente dans 35 pays et emploie 26 000 personnes.

L'histoire de la société Stora remonte au 13^{ème} siècle, avec des activités d'extraction du cuivre. Au XIX^{ème} siècle, Stora était active dans les mines, le fer et le bois. Dans les années 1970, Stora a vendu ses activités minières pour se concentrer sur la foresterie, la pâte à papier et le papier. L'histoire d'Enso remonte au XIX^{ème} siècle. Dans les années 1990, elle était l'une des plus grandes entreprises forestières finlandaises. Au cours de la dernière décennie, la part des produits papetiers dans les ventes totales de Stora Enso a diminué, tandis que les emballages et les produits du bois ont augmenté.

Stora Enso est une société privée. Elle est cependant partiellement détenue et contrôlée par l'Etat finlandais. En août 2017, les principaux actionnaires sont les suivants :

- Etat finlandais (37,4% des droits de vote)
- FAM AB (27,3%) - capital familial

Des fonds de pension et d'investissement détiennent le reste des parts de la société.

Le site d'Anjalankoski a une capacité de production de 715 000 tonnes de papier et carton (dont 435 kt de papier journal, livre et magazine) par an. Il emploie 500 personnes, dont 300 pour la papeterie.

Consommateur d'énergie : Stora Enso

VIII.6.2. Historique et description des activités



Figure 85 - Papeterie d'Anjalankoski comprenant la papeterie et l'installation de valorisation énergétique de RDF normés (en haut) et l'installation de production de carton (en bas) (Stora Enso, 2017)

Historique des activités du site

- 1872 : Début des activités papetières sur le site de Anjalankoski. d'abord alimentée par la rivière voisine.
- 1937 : Mise en service d'une nouvelle papeterie par Tampella (désormais Stora Enso).
- 1971 : Mise en service de la chaudière à charbon pulvérisé K2 (plus tard convertie en installation dédiée RDF) comprenant également une petite grille fixe pour la combustion d'écorce (déchets produits par la papeterie).
- 1983 : Construction dans la chaudière à charbon d'un lit fluidisé bouillonnant séparé pour brûler les boues de papeterie. Celui-ci a été mis hors service en 1995.
- 1995 : Conversion de la chaudière à charbon pulvérisé en unité de coïncinération. La grille adjacente à la chaudière à charbon a été transformée en lit fluidisé bouillonnant de 80 MW pour brûler des déchets internes (notamment écorces et boues de papeterie). L'installation d'incinération a été équipée de technologies de contrôle des émissions atmosphériques plus efficaces afin de se conformer à la réglementation sur l'incinération des déchets : un laveur humide a été ajouté au filtre électrostatique (ESP) existant.
- 2000 : Mise en service d'un séchoir à boues (90% matière sèche) alimenté par l'installation d'incinération. Les boues séchées sont brûlées dans l'incinérateur.
- 2005 : Début de la combustion de RDF produits à partir de déchets internes (palettes, papier, plastiques...). Une nouvelle ligne d'alimentation a été construite pour déchiqueter les déchets et éliminer les métaux. La capacité de combustion de déchets est de 50 000 tonnes.
- 2008 :

- Agrandissement du lit fluidisé pour augmenter la capacité de combustion en RDF normé. La capacité de combustion de RDF normés passe de 50 000 à 135 000 tonnes, avec un débit passant de 5,8 à 15,8 t/h. La puissance thermique nominale passe de 100 à 170 MW. La capacité totale ne serait pas entièrement utilisée : seuls 100 MW seraient produits en sortie.
- Modernisation de l'épuration des fumées.
- Début de l'approvisionnement externe en RDF normés (déchets externes).
- Ajout d'une chaîne d'alimentation supplémentaire pour alimenter la chaudière à RDF normé sans passer par le concasseur et l'aimant.
- Arrêt de l'utilisation de charbon pour l'approvisionnement énergétique de la papeterie.
- 2017 : Modification du matériau des parois inférieures de la chaudière pour résister à un environnement plus corrosif.
- 2018 (planifié) : Modification du matériau de revêtement des surchauffeurs.

Entre 1996 et 2006, la proportion de RDF normé dans le mix énergétique de la papeterie a augmenté (par rapport au charbon, puis au gaz).

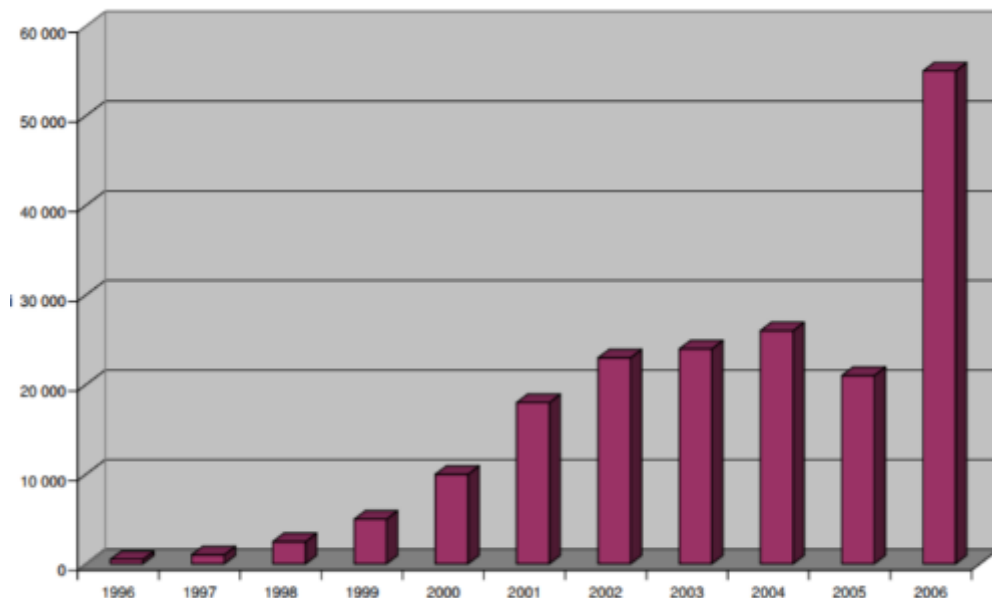


Figure 86: Evolution des tonnages de RDF normés (PDF = package derived fuel – en pratique constitué de papier, bois et plastiques) utilisés entre 1996 et 2006 (Stora Enso, 2017)

Les quantités de RDF normés utilisés ont diminué entre 2009 et 2012, en raison de l'évolution à la hausse des prix du RDF.

Tableau 54 : Evolution des tonnages de RDF normés (PDF = package derived fuel – en pratique constitué de papier, bois et plastiques) utilisés entre 2009 et 2012 (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017)

Année	Quantités de RDF normés incinérées (kt)
2009	100
2010	75
2011	70
2012	80

En 2016, l'installation d'incinération a fourni 69 % des besoins en chaleur de la papeterie, dont 33 % proviennent des RDF normés et 36 % de biocombustibles (écorces et boues). Le gaz naturel a fourni environ 31 % des besoins énergétiques (2016).

Motivations pour l'utilisation du RDF normé :

Dans les années 2000, le contexte était difficile pour l'industrie papetière, compte tenu de la concurrence forte sur le secteur (baisse de la demande) et de la hausse des prix de l'énergie. Le site devait trouver des moyens de réduire les coûts de fonctionnement afin de maintenir ses activités, tout en limitant le coût d'investissement pour y parvenir. Le RDF ayant un prix négatif à l'époque, il a été décidé de convertir le site existant afin de réduire le coût du carburant à un coût d'investissement relativement faible (aucune nouvelle centrale n'a été construite). Nous n'avons aucune indication selon laquelle des politiques locales ou nationales ont été impliquées dans le processus de décision. La contribution du RDF à l'image de l'entreprise a peut-être joué un rôle, mais il semble mineur par rapport à la question du maintien de la viabilité économique du site.

Activités actuelles du site

Le site produit de la pâte à papier pour ses productions de papier et de carton. Le site produit sa propre chaleur ainsi que de l'électricité, qui est vendue pour la majeure partie au réseau car cela est plus rentable que de l'utiliser en interne, en raison de la politique de soutiens.



Figure 87 - Papeterie- Trois usines produisent de la chaleur (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017)

L'approvisionnement en chaleur de la papeterie est fourni par différentes installations :

- une usine de valorisation énergétique des déchets (production sortante de 100 MW) brûlant du RDF normé, de l'écorce et des boues. C'est le site couvert par l'étude de cas suivante.
- une centrale de cogénération au gaz (cycle combiné, puissance thermique de 184 MW et électricité de 73 MW). Elle est exploitée principalement sans production d'électricité en raison des prix de l'électricité. La turbine ne démarre que quelques jours par an, ce qui permet à l'usine de recevoir des subventions pour la cogénération (pour une production de 6 MW/mois).
- 2 chaudières d'appoint au gaz (2x 32 MW soit 64 MW de puissance thermique) utilisées uniquement en cas d'arrêt de l'installation de valorisation énergétique, soit environ 10 jours par an.

Principal objectif de l'utilisation de RDF : Incinération des déchets

Production de vapeur pour la papeterie.

VIII.6.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.6.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

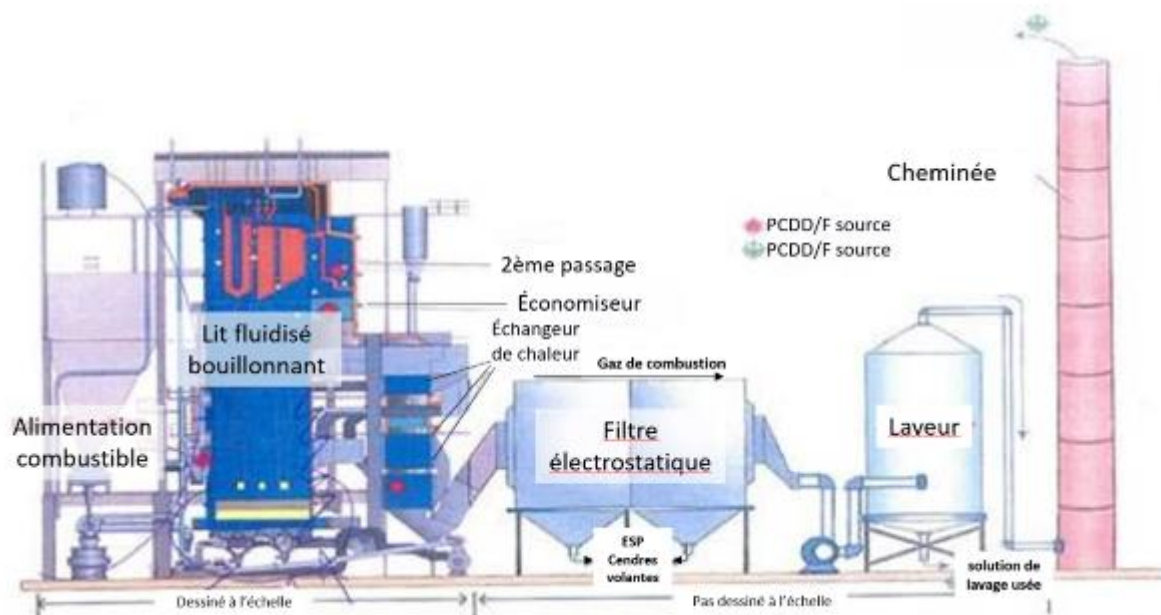


Figure 88 - Diagramme technique de l'installation d'Anjalankoski (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017)

(Remarque : le système d'alimentation en combustible représenté sur ce graphique est l'ancien système d'alimentation en charbon qui n'est plus utilisé).

Technologie de combustion : Lit fluidisé bouillonnant multi-combustible

Trois lignes d'alimentation séparées sont disponibles :

- Pour les déchets internes (cartons, palettes, plastiques, déchets de papier).
Les déchets sont broyés et débarrassés des métaux ferreux à l'aide d'un aimant. Le RDF préparé est ensuite envoyé dans un silo de stockage et introduit d'un côté de la chaudière.
- Pour les RDF normés achetés (depuis 2008), déjà déchiquetés et exempts de métaux.
Les camions déchargent les RDF sous forme de fluff ou de balles. Le RDF normé passe à travers un tamis qui permet de contrôler sa granulométrie et un aimant élimine les métaux ferreux restants. Le flux qui en résulte est divisé en deux trémies de réception qui alimentent respectivement les deux côtés de la chaudière.
- Pour l'écorce et les boues. L'écorce, déjà concassée, est déchargée puis divisée des deux côtés de la chaudière. Aujourd'hui, les boues de papeterie ne sont plus séchées, mais simplement déshydratées et mélangées avec de l'écorce avant d'entrer dans l'usine de valorisation énergétique.

Il a été noté que le soufre contenu dans les boues réduisait le risque de corrosion causé par le chlore présent dans les RDF normés.

L'incinération des boues a permis d'augmenter la quantité de RDF normés ajoutée au mélange combustible.



Figure 89 - Trémie de stockage du RDF normé (RECORD, 2018)

La chaudière est équipée de 4 trémies d'alimentation en combustible (2 de chaque côté).

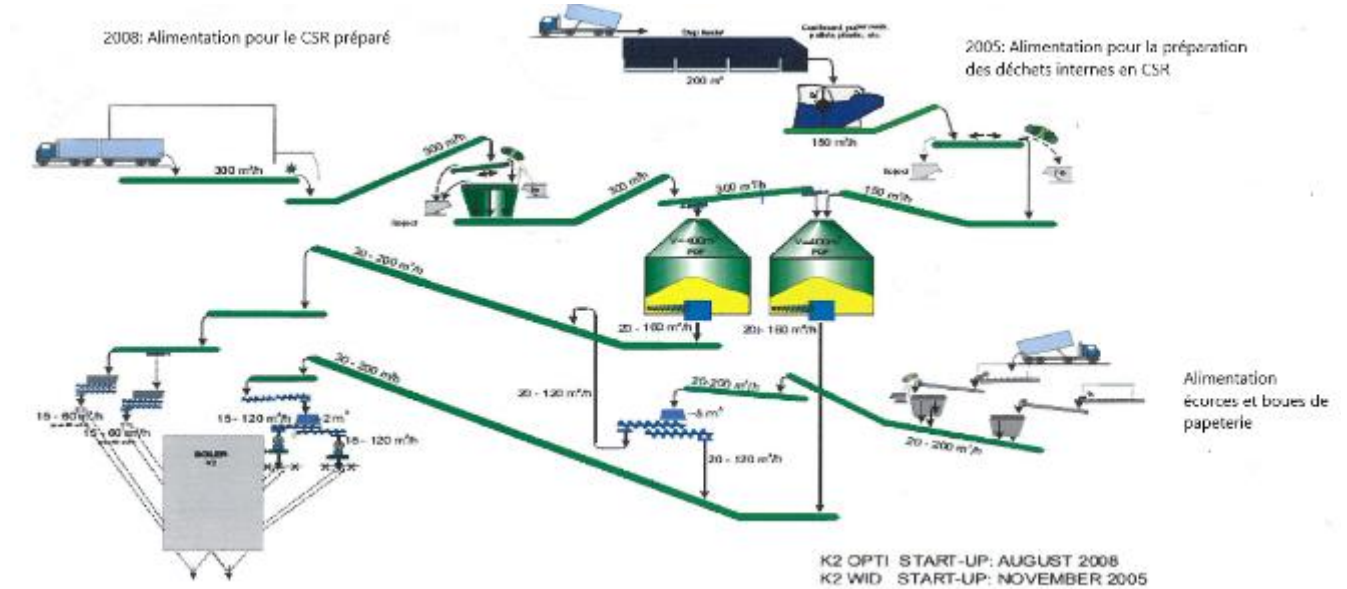


Figure 90 - Système d'approvisionnement en combustible (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017)



Figure 91 - Fond de la chaudière à lit fluidisé bouillonnant (isolé de l'extérieur) (RECORD, 2018)

La chaudière est équipée de :

- 3 surchauffeurs ;
- un économiseur pour récupérer l'énergie des gaz d'échappement ;
- un préchauffeur d'air de combustion (LUVO).

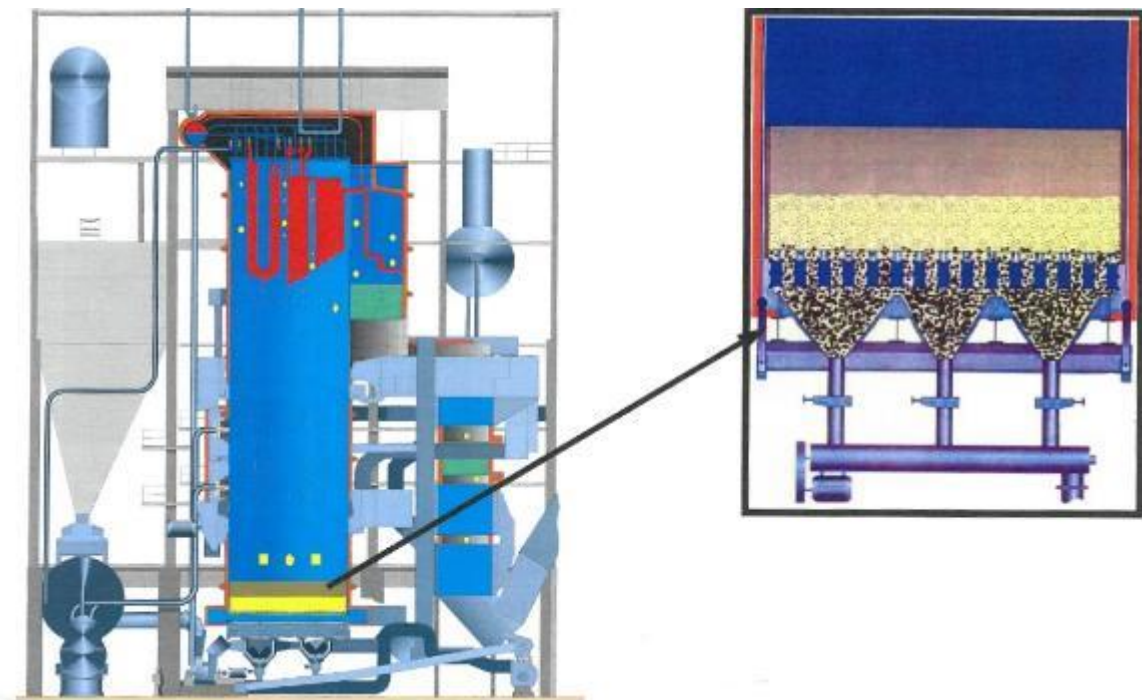


Figure 92- Lit fluidisé bouillonnant (Valmet) - adapté à partir d'une chaudière au charbon pulvérisé (Stora Enso, 2017)

Les adaptations suivantes ont été apportées au site depuis sa mise en service:

- la grille a été transformée en lit fluidisé bouillonnant ;
- un système de collecte des mâchefers a été installé ;
- les caractéristiques de la vapeur ont été modifiées de 525°C/87 bar à 500°C/80 bar pour réduire le risque de corrosion ;
- les matériaux des surchauffeurs les plus chauds ont été améliorés avec de l'acier inoxydable fortement allié.

L'usine est capable de brûler de la biomasse, du RDF normé, des boues, de la tourbe, du gaz naturel et du mazout léger. La tourbe n'est pas utilisée pour des raisons économiques. La combustion de mazout léger n'est pas adaptée au système de tuyauterie en place. Le gaz naturel est utilisé pour le démarrage.

Adaptabilité à d'autres combustibles

La capacité de l'installation à brûler de la biomasse n'a pas été prise en compte pour des raisons de sécurité d'approvisionnement (adaptabilité), mais plutôt pour des raisons économiques : le site devait pouvoir brûler les déchets internes, y compris les boues et l'écorce.

Contrôle des émissions

L'épuration des gaz d'échappement est réalisée par les équipements suivants :

- ESP : électrofiltre (équipement conservé de l'ancienne chaudière à charbon pulvérisé) ;
- Laveur humide (ajouté lors de la conversion de la chaudière en LFB). La solution aqueuse ne contient pas de chaux ou de bicarbonate de soude.

Aucun autre équipement n'est installé et ce n'est pas jugé nécessaire pour respecter les valeurs limites d'émission.

Gestion des cendres

Quantités : 16 kt/an

- Mâchefers : 11 kt
- Cendres volantes (collectées dans l'électroprécipitateur) : 5kt

Ces quantités de cendres sont faibles compte tenu des quantités de combustibles (RDF et biomasse) brûlées. N'ayant pas reçu les quantités de combustibles exactes consommées, il est peu fiable d'estimer un ratio de résidus de combustion par quantité entrante. La proportion 2/3 mâchefers, 1/3 cendres volantes peut être jugée fiable mais elle est surprenante pour un lit fluidisé (l'inverse pourrait être attendu). La présence de sable dans les mâchefers constitue une potentielle explication.

Les mâchefers sont utilisés en technique routière, après un stockage de quelques années par Stora Enso.

Les cendres volantes sont des déchets dangereux. Ils sont utilisés autant que possible pour la technique routière. Des permis environnementaux sont nécessaires à chaque fois que c'est le cas. Les cendres volantes qui ne sont pas utilisées pour la construction de routes sont enfouies dans une décharge appartenant à Stora Enso.

Gestion des eaux usées

L'eau provenant du dépoussiéreur par voie humide (environ 50 m³/an) est envoyée à la station d'épuration des eaux usées.

Nombre d'heures de fonctionnement

Environ 8500 heures d'exploitation (taux de fonctionnement de 97 %).
Aucun changement n'est apporté au fonctionnement au cours de l'année.

Puissance fournie

Capacité de puissance thermique de sortie : 150-160 MW (dépend du rendement de la chaudière).
Puissance utilisée comme puissance de sortie : 100 MW
Bien que la pleine capacité ne soit pas utilisée, il n'est pas difficile de maintenir la température au-dessus de 850°C en raison de la composition du RDF normé (déchets plastiques) et de la recirculation des gaz de combustion.

Energie totale produite annuellement

Approximativement 850 GWh de chaleur/an (sur base de la puissance et du temps de fonctionnement).

Propriétés de la vapeur de sortie

A la sortie de l'installation de valorisation énergétique des déchets
Température : 490-525°C
Pression : 80-82 bar
Débit : 35-73 kg/s

De la vapeur est également produite par la turbine à gaz (généralement exploitée sans production d'électricité) et les chaudières d'appoint à gaz, et toute la vapeur entrante est régulée ensemble à l'aide dans un même réseau. La vapeur ainsi produite est envoyée vers la papeterie à différentes pressions et débits en fonction des parties de l'installation où elle est utilisée :

- 10,5 bar, 200°C ;
- 4,7 bar, 167°C ;
- 2,2 bar, 145°C.

Consommateurs d'énergie

L'électricité est vendue au réseau.
La chaleur est utilisée par la papeterie Stora Enso.

Autres informations pertinentes

L'installation est exposée à des problèmes d'encrassement et de colmatage du lit. Le lit doit être retiré 2 fois par an.



Figure 93 - Photo du lit avant le nettoyage (problème d'encrassement) (Stora Enso, 2017)

VIII.6.3.2. Propriétés du combustible

Autres combustibles provenant de déchets :

L'écorce est principalement produite en interne par la papeterie Stora Enso lorsque les grumes de bois sont écorcées au début du processus de fabrication du papier (85-90%). Une proportion relativement faible de bois recyclé (palettes usagées) est achetée (10 à 15 %).

Pouvoir calorifique inférieur : environ 5,4 MJ/kg.

Boues de papeterie : auparavant, elles étaient séchées, mais aujourd'hui elles sont simplement déshydratées et mélangées avec de l'écorce avant d'entrer dans l'unité de valorisation énergétique des déchets.

Pouvoir calorifique inférieur - environ 1,5-2 MJ/kg.

Les proportions des différents combustibles utilisés ne sont pas connues avec précision. La proportion d'énergie produite par les SRF est d'environ 50%, la proportion d'énergie produite par les boues et l'écorce est d'environ 50% (40% pour l'écorce, 10% pour les boues).

Quantités utilisées

RDF normé : 135 kt au maximum – probablement plus proche de 100 kt sur base de la proportion d'énergie fournie.

Écorce et bois recyclé : quantités non connues

Boues de papeterie : quantités non connues



Figure 94 - Combustibles d'entrée (de gauche à droite) : 1) bois recyclé 2) boues déshydratées 3) déchets internes avant broyage (RECORD, 2018)



Figure 95 - Combustible d'entrée (écorce déchiquetée) (RECORD, 2018)

Propriétés du RDF

PCI (2009-2013) : 14,5-18 MJ/kg.

Teneur en carbone biologique : inconnue.

Caractérisation RDF : information non disponible.

Forme : fluff ou balles.

Granulométrie : environ 60 mm.



Figure 96 - Photo de RDF (bois, plastique et papier) (RECORD, 2018)

VIII.6.3.3. Mode de production du RDF

Sites de production : 6 producteurs finlandais. La distance la plus longue parcourue est de 500 km, la plus proche est de 5 km. En moyenne, on peut estimer que le RDF normé parcourt une distance de 35 km.

Mode de production : Tri mécanique (pas de processus biologique).

Critères d'acceptation des déchets entrants : Le RDF normé utilisé provient des bureaux, des commerces de gros, des petites et moyennes installations industrielles. C'est une exigence du permis. Le RDF normé utilisé est d'origine exclusivement finlandaise.

Description du procédé de préparation

On ne dispose pas d'information détaillée sur le processus de préparation du RDF normé acheté.

Le permis mentionne que le RDF normé acheté (PDF) :

- est constitué de matières impropres au recyclage et à la réutilisation
- ne contient pas de quantités significatives de substances dites « dangereuses » (Cl, métaux, aluminium)
- n'inclut pas les déchets municipaux ou mixtes.

Les déchets sont soumis à un processus de tri, notamment à l'aide d'aimants et de détecteurs optiques pour l'élimination des métaux et des plastiques riches en chlore. Les plastiques sont de plus en plus souvent récupérés pour être recyclés.

Selon le permis environnemental du site, le système de tri est surveillé par des inspections et des mesures régulières.

VIII.6.4. Conditions administratives

Terminologie des RDF

En Finlande, le RDF est parfois appelé REF (*REcycled Fuel* ; combustible recyclé). Cette terminologie provient de l'ancienne norme finlandaise VTT.

Sur place, le carburant est appelé PDF (*Packaging Derived Fuel* ; carburant dérivé de l'emballage), SRF (*Solid Recovered Fuel* ; carburant solide récupéré) ou REF.

Le terme RDF n'est pas utilisé pour désigner les boues de papier ou le bois vierge.

Normes et exigences de qualité

Le RDF normé acheté est conforme à la norme européenne EN 15 359.

Tableau 55 : Anjalankoski- Classes de qualité du RDF normé (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017)

Paramètre	Unité	Classe EN 15359				
		1	2	3	4	5
PCI	MJ/kg (ar)	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Cl	% sec	≤0,2	≤0,6	≤1	≤1,5	≤3
Hg	mg/MJ (ar)	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,5

Dans le permis environnemental, il est précisé que les exigences de qualité du combustibles sont les suivantes :

- teneur en matière sèche 80-90% ;
- teneur en chlore <0,15%. Les valeurs mesurées de 2009 à 2013 se situent entre 0,3 et 0,5% ;
- le combustible ne doit pas contenir d'aluminium métallique ;
- le combustible ne doit pas contenir de déchets biologiques, de PVC ou de fluor ;
- le combustible ne doit pas contenir de plomb ou de zinc (bois peint) ;
- le carburant ne doit pas contenir de verre ;
- le combustible doit présenter une taille inférieure à 80 x 80 x 80 mm.

Permis – Coïncinération

L'autorisation a été accordée par les autorités régionales (Kymenlaakso).

Dans le permis, il est demandé que le RDF normé :

- provienne exclusivement de déchets industriels ;
- soit conforme à la norme européenne.

Les valeurs limites d'émission suivantes sont en vigueur sur le site. Les VLE sont respectées.

Tableau 56: Anjalankoski- Valeurs limites d'émission (compilation RECORD, 2018) (Stora Enso, 2017)

Emission	Valeur limite (6% O2)	Période de mesure
SO ₂	125 mg/(n)m ³	Valeur moyenne journalière
NO _x	280 mg/(n)m ³	Valeur moyenne journalière
PM	17 mg/(n)m ³	Valeur moyenne journalière
CO	75 mg/(n)m ³	Valeur moyenne journalière
HCl	15 mg/(n)m ³	Valeur moyenne journalière
COT	15 mg/(n)m ³	Valeur moyenne journalière
HF	1,5 mg/(n)m ³	Valeur moyenne journalière
Cd+Tl	0,05 mg/(n)m ³	Moyenne d'un échantillonnage de 30 minutes à 8 heures
Hg	0,05 mg/(n)m ³	
Sb+As+Pb+Cr+Co+Mn+Ni+V	0,5 mg/(n)m ³	
PCDD/F	0,1 mg/(n)m ³	Moyenne d'un échantillonnage de 6 à 8 heures

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone

L'installation est soumise à des quotas de CO₂ (Systèmes d'échange de quotas d'émissions).

Des échantillons de combustible sont prélevés pour estimer la teneur en carbone biogénique et la part de l'énergie qui peut être considérée comme renouvelable est donc exemptée des quotas de CO₂. La fréquence et les modalités de ces analyses ne sont pas connues.

Généralement en Finlande, les sites caractérisent leur RDF/RDF normé si la proportion utilisée est significative. Sinon, ils peuvent utiliser le facteur moyen national pour déterminer les émissions de CO₂ lors de la combustion de déchets. Le facteur 2017 s'élève à 31,8 tCO₂/TJ pour les « recovered fuels », ce qui correspond aux RDF, en supposant un contenu renouvelable de 60% et un PCI de 18 MJ/kg.

Réglementation RDF

Des seuils de qualité concernant la qualité du combustible sont introduits dans le permis environnemental.

Gestion des cendres - Règlements et interprétations locales

Des essais ont été effectués sur des cendres volantes, ce qui a permis de les classer comme déchets non dangereux. La forte proportion de biomasse utilisée contribue à ce résultat. Les cendres volantes peuvent donc être utilisés en technique routière (sous réserve de permis) ou stockés dans l'installation de stockage de déchets non dangereux de Stora Enso.

VIII.6.5. Conditions économiques

Historique

Au départ, le RDF normé avait un prix négatif : Stora Enso était payé par ses fournisseurs pour brûler le RDF normé.

Au fil des ans, la situation a évolué et les prix sont devenus légèrement positifs (2009 : 0€/t, 2012 : 5-9€/t).

Des discussions sont prévues en vue d'obtenir un prix plus bas (plus proche de 0), compte tenu de l'état actuel de l'offre.

Récemment, il y a eu un autre projet d'installation de valorisation énergétique des RDF normés dans la région, mais l'usine n'a jamais été construite. Les fournisseurs prévus pour cette installation ont dû trouver d'autres solutions et proposent à présent leurs déchets à Stora Enso. Stora Enso est donc en position pour diminuer les prix du RDF normé.

Typologie des consommateurs d'énergie

Stora Enso (consommation de chaleur intégrée).

Contrats

Stora Enso est fourni en RDF normé et en bois recyclé par 6 fournisseurs différents, publics et privés, tous finlandais.

Stora Enso souhaite réduire le nombre de fournisseurs pour choisir ceux qui ont les meilleures techniques de préparation et donc la meilleure qualité.

Actuellement, les contrats avec les fournisseurs sont renouvelés chaque année. Stora Enso discute actuellement de la possibilité de conclure des contrats de 3 ans.

Les prix sont convenus après négociation et ne sont pas corrigés en cours de contrat.

Structure des recettes

L'énergie est le seul revenu/coût évité puisque le RDF normé a un prix positif.

Les prix et les revenus sont confidentiels.

Les métaux retirés par l'aimant sont repris à prix nul.

L'ancienne usine de charbon pulvérisé utilisait déjà des boues d'épuration. L'adaptation de l'installation n' a pas apporté d'avantage économique supplémentaire.

Subsides

Pas de subsides.

Structure des coûts

Les coûts d'investissement pour la conversion de la chaudière en 2008 ont été estimés à 16,8 millions €.

Fournisseur de technologie : Valmet.

OPEX :

Personnel : environ 23 ETP pour l'usine de valorisation énergétique des déchets (exploitation et gestion, hors maintenance), ce qui représente un coût d'environ 1,4 M€ si l'on suppose un coût de 60 000€/an/ETP. Il y a entre 1 et 10 personnes sur place. La maintenance est externalisée.

Les coûts d'entretien ont considérablement augmenté lorsque l'usine a été adaptée au RDF normé. Les convoyeurs ont dû être adaptés, les matériaux remplacés, les échangeurs de chaleur doivent être remplacés plus souvent et le colmatage nécessite un nettoyage du lit deux fois par an.

Les prix du RDF normé et du bois recyclé sont confidentiels. Le prix du RDF normé est positif, mais proche de 0 et en baisse.

La gestion des cendres volantes représente un coût net pour l'entreprise. Les frais d'élimination des cendres sont confidentiels.

VIII.6.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Facteurs clés de succès

Choix spécifiques à l'établissement

- Le site a été conçu à un coût d'investissement relativement faible (adaptation d'une installation existante).
- La qualité du RDF normé doit être contrôlée pour réduire l'encrassement et la corrosion. Des exigences de qualité sont mises en place avec les fournisseurs.
- Les systèmes de convoyeurs doivent être conçus suffisamment grands pour fournir le bon débit à une vitesse acceptable et pour pouvoir contenir sans blocage de la ligne de gros morceaux qui sont parfois livrés avec le RDF normé, même s'ils sont finalement rejetés.
- L'équipe a acquis une expérience de la technologie et elle fonctionne relativement bien, 97% de l'année.

Stratégie locale : bonne relation avec les autorités locales chargées de la délivrance des permis.

Stratégie nationale : rien de précis.

Freins et leviers

- L'installation elle-même a 40 ans. Il a fallu l'isoler de l'extérieur pour réduire les pertes d'énergie.
- Le site a rencontré des difficultés de corrosion (taux de Cl plus élevé dans le RDF normé). Les surchauffeurs fonctionnent pendant 4 ans au lieu de 40 ans. En général, les coûts d'entretien ne doivent pas être négligés.
- La chaudière et le lit sont vulnérables à l'encrassement et au colmatage, principalement en raison de la présence de métaux dans le RDF normé. La qualité doit être contrôlée pour réduire la teneur en métal et le lit doit être changé régulièrement (2 fois par an).

L'opérateur interrogé recommande pour ce type d'installation de concevoir un lit fluidisé circulant plutôt que d'utiliser un lit fluidisé bouillonnant, ce afin d'éviter le colmatage.

Cependant, il est à noter qu'un lit fluidisé circulant aurait nécessité la construction d'une nouvelle usine à partir de zéro. Une solution moins gourmande en capital a donc été retenue. La connaissance de l'usine s'est accrue avec l'expérience, ce qui lui permet de fonctionner 97% du temps malgré les problèmes évoqués.

Perspectives

La qualité du combustible s'améliore grâce au travail continu entre Stora Enso et ses fournisseurs pour extraire les métaux et le chlore. Stora Enso poursuit dans cette direction et envisage de réduire le nombre de fournisseurs afin de sélectionner ceux qui offrent la meilleure qualité.

Les plastiques sont de plus en plus souvent recyclés, ce qui peut entraîner une diminution du PCI. Des stratégies d'adaptation n'ont pas encore été établies.

Transposition

- La conversion d'une chaudière à charbon pulvérisé en chaudière RDF par ajout d'un lit fluidisé est transposable en France. Ce choix est utile pour des industries souhaitant limiter le coût d'investissement, pour limiter le risque associé. La pertinence économique d'autres options (investir dans une nouvelle installation ; utiliser uniquement les bâtiments existants en reconstruisant toute la chaudière doivent également être envisagés) doit être envisagée car les installations anciennes peuvent être mal isolées et avoir des efficacités moindres au fonctionnement.
- Le pouvoir calorifique des RDF utilisés (14,5-18) est compatible avec la qualité attendue des CSR en France.
- D'un point de vue réglementaire, les conditions applicables présentent des similitudes avec la vision de la filière CSR en France. Les exigences applicables à l'installation ne font pas l'objet d'une réglementation harmonisée au niveau national, mais sont introduites dans le permis :
 - Exigences de contrôle qualité en demandant le respect de la norme européenne et le respect de quelques valeurs seuils.
 - Conditions sur la nature des déchets utilisés (déchets industriels), de façon similaire aux conditions en vigueur dans les appels à projet CSR.
 - L'installation est considérée comme une installation de coïncinération et est éligible aux quotas de CO₂. La teneur en carbone biogénique est mesurée sur le combustible, mais la méthode de mesure n'a pas été précisée.
- Quelques différences réglementaires sont notées :
 - La France exige de caractériser des éléments chimiques (C, H, O, S...) dont la caractérisation n'est qu'optionnelle dans la norme européenne, et qui reste donc, à Anjalankoski, à l'appréciation de l'opérateur dans sa relation avec son fournisseur.
 - Le permis d'Anjalankoski est plus contraignant que la réglementation française pour certains aspects : la teneur en chlore (0,15% contre 1,5%), l'absence de certains flux de déchets dans le RDF, des exigences quant à la teneur en matière sèche qui conditionnent en pratique le PCI à être supérieur au seuil réglementaire français.

VIII.6.7. Détails sur la visite

Date : 5 octobre 2017

Adresse : Papeterie Stora Enso Anjalankoski, Ensontie 1, FI-46900 Inkeroinen (Kouvola)

Nom	Responsabilité	Organisation	Détails du contact
KOKKONEN Antero	Superintendant de l'installation de valorisation énergétique	Stora Enso	Tel : +358403501616 Email : antero.kokkonen@storaenso.com

VIII.7. A2A Ambiente S.p.A. Bergame (Italie)

VIII.7.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : A2A Ambiente S.p.A.

Adresse: Via Goltara, 23, 24127 Bergamo, Italie

Employés : 61 ETP

Capacité :

- 72 kt/an
- 48 MWth de puissance thermique nominale
- 35 MWth de puissance thermique entrante
- 25 MWth et 9 MWe sortants

Opérateur et propriétaire : A2A Ambiente S.p.A. – société anonyme



Le Groupe A2A a été créé en 2008 dans le but de créer une entreprise polyvalente de taille importante répondant aux défis posés par l'ouverture progressive du marché des services publics à la concurrence, tout en maintenant une relation particulière et de proximité avec le territoire.

Le Groupe A2A est aujourd'hui la plus grande entreprise italienne polyvalente de services, avec 12 000 personnes travaillant principalement dans les secteurs suivants :

- production, vente et distribution d'électricité ;
- vente et distribution de gaz
- production, vente et distribution de chaleur (chauffage urbain);
- gestion intégrée des déchets, de la collecte au traitement et au stockage ;
- gestion de l'eau.

A2A Ambiente, une filiale du groupe A2A, est née en 2013 et est détenue à 100% par A2A S.p.A. C'est le premier opérateur italien dans le domaine de la valorisation matière et énergétique des déchets.

A2A Ambiente possède 6 installations de valorisation énergétique des déchets, 13 décharges et plusieurs installations de petite taille. 5 installations de valorisation énergétique sont localisées dans le nord de l'Italie et 1 dans le sud de l'Italie, près de Naples.

Principaux actionnaires (décembre 2016) (%)

- Municipalité de Brescia : 25%
- Municipalité de Milan : 25%
- La banque Norges : 3,1%
- Marché – actions flottantes sur le marché : 46,1%
- A2A S.p.A. (part propre) : 0,8%

Consommateur d'énergie : Les consommateurs de chaleur sont à la fois des habitations privées et des bâtiments publics (hôpital, bibliothèque).

Historique de la gestion du site

- 1960 : Des activités de traitement des déchets se déroulent sur le site de Bergamo depuis 1960.
- 31 décembre 1994 : Bergamo Ambiente e Servizi S.p.A. (ci-après BAS), une société anonyme, est fondée par la fusion de deux entreprises municipales : AMAC eau, gaz et éclairage publique et AMNU, opérant dans l'hygiène urbaine, l'élimination des déchets et la purification de l'eau. Elle était détenue à 99,5% par la Municipalité de Bergamo,
- 2005 : BAS est fusionnée avec ASM Brescia S.p.A.

- Depuis 2008 : La création de A2A et les réorganisations d'entreprises qui ont suivi placent actuellement toutes les activités du site de Bergame dans A2A Ambiente, sauf celles de la déchèterie, qui est restée sous la responsabilité d'Aprica S.p.A. (Groupe A2A).

VIII.7.2. Historique et description des activités

Historique du réseau de chauffage urbain de Bergame

- 2005 : Le projet de chauffage urbain de la ville de Bergame a commencé en 2005 avec la mise en service de la première centrale de cogénération de Carnovali (gaz naturel) laquelle, connectée au réseau de distribution du centre-ville, fournissait de la chaleur aux principaux bâtiments public et à certains bâtiments privés.
- Entre 2005 et la fin 2009 : 25 km de réseau ont été posés pour connecter le centre avec la nouvelle installation de cogénération de Goltara (valorisation des déchets en énergie et centrale au gaz naturel) et pour desservir les zones ouest et sud-ouest de la ville.
- D'ici 2018, il est prévu de poser 100 km de canalisations en plus, répartis en grande partie dans la zone urbaine, afin de pouvoir desservir en chauffage urbain plus d'un tiers des bâtiments, pour un volume approximatif à chauffer de 10 millions de m³ et une économie de plus de 19 000 tonnes équivalent pétrole.

A pleine capacité, plus de 15 millions de mètres cubes de bâtiments seront desservis par le chauffage urbain.

Historique des activités du site

- Depuis 1996 : Autorisation du stockage temporaire de déchets municipaux sur site par la région Lombardie;
- Depuis 1998 : Une installation de production de RDF normés reçoit les déchets de la ville et d'autres municipalités de la province
- 2003 : Entrée en service de l'installation actuelle de production de RDF normés.
- 2007 : Construction de deux nouvelles chaudières alimentées au gaz naturel et alimentation du réseau de chauffage urbain. L'emplacement des chaudières à gaz est celui d'une ancienne unité de valorisation énergétique des déchets (non préparés). Le réseau de chaleur a été étendu pour relier le site.
- 2009 : Construction d'une nouvelle unité de valorisation énergétique des déchets et début de la valorisation de RDF normé, fonctionnant par cogénération.
- 2012 : le cycle thermique a été modifié afin d'augmenter la capacité de production d'électricité en été.

L'usine de valorisation énergétique des déchets de Bergame emploie 61 personnes.



Figure 97 : Photo aérienne du site de A2A Ambiente S.p.A. de Bergamo (A2A, 2017)

Activités actuelles du site



Figure 98 - Plan du site A2A Ambiente de Bergamo (A2A, 2017)

1. Incinérateur
2. Traitement des émissions
3. Autres installations pour la production de chaleur (gaz naturel) : deux chaudières jumelées de 40 MW chacune.
4. Station de pompage de l'eau chaude
5. Production de RDF normé
6. Stockage temporaire des déchets municipaux collectés séparément
7. Stockage d'autres déchets municipaux (provenant du nettoyage des rues)
8. Déchèterie
9. Entrée principale
10. Espace de bureaux

Principal objectif de l'utilisation de RDF : Production de chaleur pour le chauffage urbain

VIII.7.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.7.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF normé

L'installation de valorisation énergétique des déchets, qui fonctionne en cogénération, produit de l'électricité et de la chaleur à partir de la combustion du RDF normé. La chaleur est transférée au réseau de chauffage urbain de la ville de Bergame.

Le diagramme des flux de déchets suivant illustre schématiquement les opérations principales sur le site et la relation entre les différentes installations.

Les déchets issus de la collecte séparée provenant des communes voisines et de la déchèterie présente sur site sont acheminés dans les zones de stockage appropriées et n'entrent pas dans le procédé de production de RDF normé.

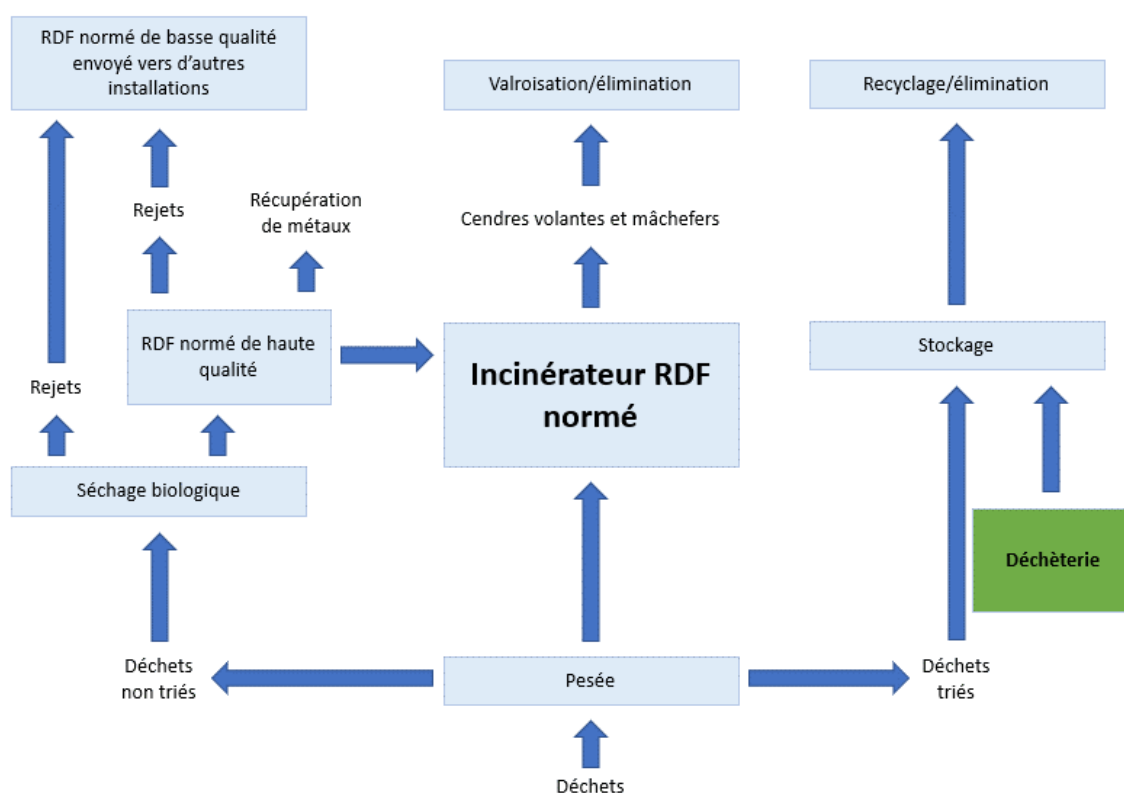


Figure 99 - Diagramme des flux de déchets (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Technologie de combustion : Incinérateur basé sur la technologie du lit fluidisé bouillonnant.

Puissance thermique nominale en entrée : 48 MWth (basée sur le PCI)

PCI des RDF normés : 16.9 MJ/kg à réception

Capacité brute de la chaudière: 72 000 t/an de RDF normé

Consommation réelle: 60 000 t/an– 35 MWth entrant en moyenne., dont 10 000 tonnes proviennent de la production interne et 50 000 tonnes de l'extérieur.

Capacité de la turbine : 10,6 MWe.

L'installation fonctionne en cogénération et ne peut pas fonctionner exclusivement selon une configuration de production de chaleur. Les proportions de chaleur et d'électricité produites sont

différentes entre hiver et été (dans une certains gamme, voir détails ci-dessous). Au fur et à mesure que la demande de chaleur du réseau augmente, l'échangeur/condenseur de chaleur peut être alimenté en vapeur extraite directement de la décharge de la turbine, avec une puissance thermique maximale de 25 MWt.

L'installation de valorisation énergétique des déchets se compose des sections principales suivantes:

- Réception, stockage et transport du combustible;
- Récupération de la chaleur (combustion sur lit fluidisé et générateur de vapeur);
- Traitement des fumées
- Production d'électricité
- Stockage des réactifs et résidus de combustion;
- Système de surveillance des émissions (EMS).

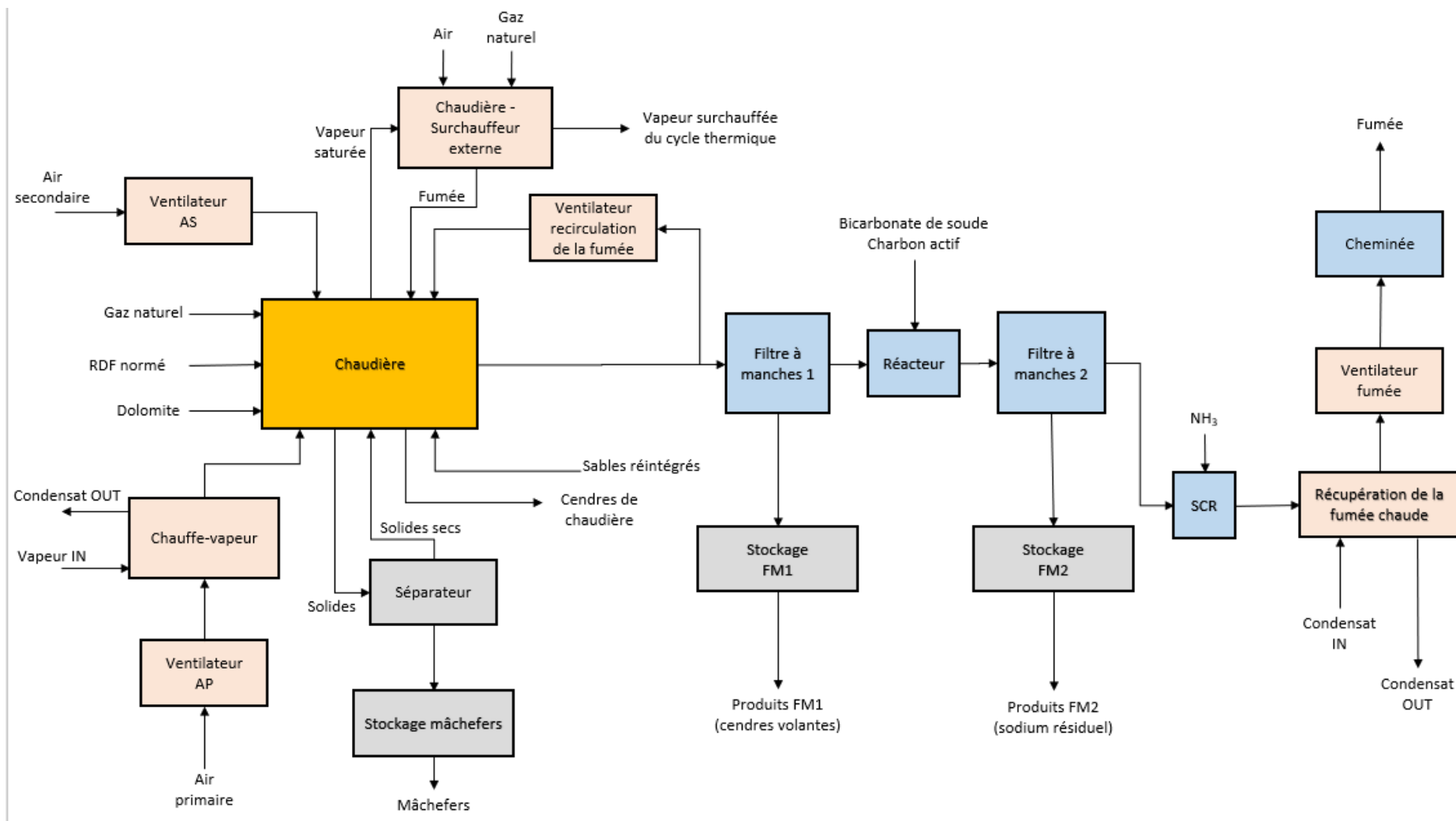


Figure 100 - Diagramme technique (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Réception, stockage et transport du carburant

Le combustible est acheminé par des camions à plate-forme mobile et déchargé dans une fosse de réception et de stockage. Le combustible extrait est chargé dans deux trémies qui alimentent un système de convoyeurs à l'extrémité duquel est placée la trémie de dosage qui règle l'entrée correcte du combustible sur le lit.

Chambre de combustion à lit fluidisé bouillonnant

Le cœur de l'installation est un four à lit fluidisé chaud, où l'air, le combustible et les matériaux inertes (sable) forment un mélange fluide à haute température. Il se compose :

- d'un système de dosage d'air de combustion et du combustible;
- d'une chambre de combustion;
- de brûleurs auxiliaires;
- d'un système de collecte, recyclage et récupération du sable.



Figure 101 – Installation de valorisation énergétique des RDF normés de Bergame (A2A, 2017)

L'air introduit pour la fluidisation du lit (air primaire) contribue également à la combustion, même dans la zone immédiatement au-dessus du lit fluidisé, qui constitue la majorité de la combustion. Au-dessus du lit, de l'air secondaire est fourni, ce qui permet d'optimiser les processus de combustion et de maintenir un meilleur profil de température.

La chambre de combustion est extérieurement constituée de parois en tôle d'acier qui assurent l'étanchéité et garantissent l'isolation externe. En interne, il est recouvert d'un matériau réfractaire et isolant qui résiste à la corrosion.

Pendant le fonctionnement normal du four, le sable avec lequel le lit fluidisé est rempli est mélangé avec de la dolomite, dans le double but d'augmenter la température de fusion des cendres (et ainsi d'éviter le colmatage du lit) et d'opérer une première réduction des oxydes de soufre.

Dans la chambre de combustion, deux brûleurs auxiliaires alimentés au gaz naturel sont installés. Dans des conditions de fonctionnement normales, les brûleurs ne sont utilisés que dans la phase de démarrage.

En bas de la chambre de combustion se trouvent deux trémies pyramidales, pour la récupération des agglomérats et des sables qui sont séparés par gravité à l'intérieur du four. Une fois drainé, le sable et les scories du lit subissent un traitement de séparation (par taille). Les parties les plus grandes qui sont des parties colmatées du lit et des mâchefers sont rejetées et traitées dans des installations extérieures. Les matières plus fines sont recyclées dans le lit.

Les gaz chauds qui quittent la chambre de combustion avant d'être envoyés au traitement des fumées donnent leur énergie thermique en produisant de la vapeur à haute pression. Le générateur de vapeur se compose des composants suivants:

- économiseur;
- évaporateur;
- corps cylindrique;
- surchauffeurs internes;
- surchauffeur externe.

La vapeur produite par le générateur est acheminée à une turbine de 10,6 MWe pour la production d'électricité. La vapeur est extraite de la turbine pour alimenter le réseau de chaleur.

Tous les résidus de combustion solides sont acheminés vers les silos de stockage au moyen d'un dispositif de transport pneumatique ou, dans le cas des résidus de sable du lit fluidisé, par des élévateurs à godets.

Adaptabilité à d'autres combustibles

Non précisée

Traitement des fumées

La ligne de traitement des fumées se compose des équipements suivants :

- Filtre à manches - permet d'éliminer la poussière des gaz de combustion immédiatement après la combustion. Le filtre se compose de deux corps indépendants, divisés chacun en quatre cellules à l'intérieur desquelles les gaz s'écoulent des parties inférieures et se déchargent des parties supérieures par un collecteur central commun. Chaque cellule est équipée d'une vanne manuelle pour l'isoler complètement en cas de maintenance;
- Traitement à sec des gaz de combustion - injection de réactifs solides spécifiques.
Le bicarbonate de soude est notamment utilisé pour la réduction des composés acides, tandis que le charbon actif est utilisé pour les métaux lourds et les micropolluants organiques.
La quantité de bicarbonate à utiliser est déterminée sur la base de la concentration de HCl mesurée par un analyseur en ligne à la cheminée (EMS), alors que la quantité de charbon actif est définie par rapport au débit total de fumées à traiter.
- Filtre à manches similaire à celui décrit ci-dessus capable d'éliminer le produit du traitement sec et les additifs n'ayant pas réagi
- Réacteur SCR DeNOx - la Réduction Catalytique Sélective (RCS).

Le système de surveillance des émissions

L'installation de valorisation énergétique des déchets est équipée d'un système de surveillance en continu des émissions placées sur le foyer à une hauteur d'environ 4 m dans une boîte dédiée. Le système est composé d'outils (analyseurs) séparés mais tous sur la même ligne d'échantillonnage. L'échantillonnage des fumées est effectué dans des conditions isocinétiques à une température constante de 180 ° C. Les analyses comprennent :

- un débitmètre et des appareils de mesure de l'humidité, de la température et de la pression;
- un photomètre : pour la mesure de la poussière totale;
- un analyseur de carbone organique total (COT) avec détecteur FID (détecteur à ionisation de flamme), pour la mesure de la concentration totale des substances organiques;
- un analyseur infrarouge à transformée de Fourier multiparamètres (FTIR) pour les mesures continues et simultanées de SO₂, CO, CO₂, HCl, H₂O, NO, NO₂, NH₃;
- un analyseur d'oxygène fonctionnant avec une sonde à oxyde de zirconium, pour la normalisation de la valeur d'émission à la même teneur en oxygène;
- un automate programmable et un ordinateur pour l'acquisition et le traitement des données dans la salle de contrôle. Le système est équipé d'un ordinateur pour la gestion des données de chaque instrument de mesure.

Tableau 57 : Facteurs d'émission par polluant (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Emissions spécifiques (2016)	(g/kWh)
NOx	0,36
Ammoniac	0,009
PM	0,005
HCl	0,021

Valeurs moyennes annuelles pour 2016

Les valeurs limites d'émission sont fixées par la région de Lombardie. Elles sont plus strictes que les normes nationales en raison des conditions météorologiques spécifiques dans la région de Pianura Padana, qui peuvent entraîner une accumulation de polluants dans l'atmosphère.

Tableau 58 : Emissions et VLE par polluant (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Paramètres	Valeurs des émissions (2016) mg/Nm3 ou ng/Nm3 pour les (*)	Valeurs limites (mg/Nm3)
NOx	52.1	80
CO	4.7	50
PM	0.8	10
NH ₃	1.3	10
HCl	3.1	10
HF	0.04	1
SO ₂	0.37	50
TOC	1	10
(PCDD/PCDF I - Teq)*	0.00074	0.1
PCB - DL (Teq)*	0.00005	0.1
HAP*	42.8	1000
Cd + TI	0.0006	0.005
Hg	0.0074	0.005
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni+ V	0.021	0.5
Zn	0.015	5

Gestion des cendres (données de 2016) :

Total des déchets produits en 2016 (en tonnes) : 8 543 (dont 8 496 tonnes, soit plus de 99%, sont des cendres)- (14% de la quantité de RDF normés entrante en 2016-62 000 t), dont

- déchets dangereux: 7093 dont 7070 cendres et résidus de combustion (11% de la quantité de RDF normés entrante)
- déchets non dangereux: 1450 dont 1426 cendres et résidus de combustion (2% de la quantité de RDF normés entrante)

Les autres déchets sont des flux de déchets mineurs produits sur le site.

Tableau 59: Masses de résidus de combustion - A2A Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

RÉSIDUS /DÉCHETS	CED	Destination	Tonnes
Résidu de la filtration des fumées	190105*	Décharge	2 205
Résidu de la filtration des fumées	190105*	Récupération	1 365
Résidu de la filtration des fumées	190107*	Décharge	641
Cendres de combustion	190115*	Décharge	2 859
Cendres de combustion	190112	Récupération	1 379
Métal ferreux	191202	Récupération	47
TOTAL			8 496

Nombre d'heures de fonctionnement annuelles : 8000 h/an

Pas de variation significative du débit de combustible tout au long de l'année.

Le mode de fonctionnement est modifié entre l'hiver (plus de chaleur) et l'été (plus d'électricité), mais dans une plage assez étroite.

Hiver :

L'installation fonctionne en hiver à puissance thermique maximale (25 MWth) et avec une production de 6 MW d'électricité (de novembre à mars). Des chaudières à gaz couvrent les besoins supplémentaires de chaleur.

Eté :

Pendant la période avril-octobre, la production d'électricité est la plus élevée avec 9 MWe de capacité de pointe pour la turbine et une moyenne de 7,5 MWe. Cela correspond au mode de production maximale d'électricité.

En été, la vapeur en excès est refroidie et condensée dans la station d'épuration voisine, directement dans les bassins de sédimentation de la station d'épuration des eaux usées, grâce à des accords et des contrats avec la société UNIACQUE qui gère la STEP.

Energie entrante : 282 GWh/an

Energie produite (données de 2016)

- Chaleur :

107 GWh (uniquement sur la base du RDF normé) – 13.3 MWth en moyenne

180 GWh (incluant le gaz naturel)

- Électricité (incinérateur seulement)

Production brute : 52 GWh – 6.5 MWe en moyenne

Production nette, après l'auto-consommation : 35.7 GWh – 4.5 MWe en moyenne.

Propriétés de la vapeur

Débit : 40 t/h de vapeur

Température: 440°C

Pression: 56 bar

Propriétés de l'eau chaude : Pas de données

Consommateurs d'énergie

Électricité : injectée dans le réseau national

Chaleur : vers le réseau de chaleur urbain

- Longueur du réseau : environ 70 km
- 6.2 Mm³ d'eau chaude fournir
- 545 utilisateurs
- environ 180 GWth de chaleur fournie (y compris les installations utilisant du gaz naturel)

Autres : bilan énergétique

En 2016, l'utilisation de RDF normé a permis d'économiser 18 422 tonnes d'équivalent pétrole (tep), soit environ 42 GJ ou 11 630 kWh.

Ce chiffre est diffusé par A2A mais il n'est associé à aucune réglementation ou subvention.

Autres : traitement des eaux usées :

Les seuls flux sortants de la zone de valorisation énergétique de Bergame sont les rejets d'eau de pluie. L'ensemble des eaux résiduaires est livré à la société UNIACQUE pour être traité avec les boues d'épuration.

Afin d'assurer la compatibilité des eaux usées avec l'usine UNIACQUE, des limites contractuelles ont été fixées pour les paramètres chimiques principaux. La conformité à ces limites est vérifiée par échantillonnage et analyse périodiques.

Les valeurs typiques pour 2016 sont:

Tableau 60: Emissions de polluants dans l'eau et VLE - A2A Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Paramètre	Unité	Données de 2016	Valeur limite
pH		8,43	5,5-9,5
DCO	mg/L	242	1000
DBO	mg/L	84	500
Conductibilité	µS/cm	504	-
Matières suspendues	mg/L	272	1000
Ammoniac	mg/L NH4	15,25	200
Nitrite	mg/L N-NO2	<0,003	15
Nitrate	mg/L N-NO3	1,15	100
N total	mg/L N tot	-	-
Al	mg/L	1,64	2
As	mg/L	0,002	0,5
B	mg/L	<0,02	4
Cd	mg/L	<0,001	0,02
Cr(VI)	mg/L	<0,02	0,2
Cr total	mg/L	0,01	4
Hg	mg/L	<0,0002	0,005
Mn	mg/L	0,23	4
Ni	mg/L	0,01	4
Pb	mg/L	0,05	0,3
Cu	mg/L	0,08	0,4

P	mg/L	0,57	100
Zn	mg/L	0,26	1
Fe	mg/L	2,69	4
Détergents (total)	mg/L	0,09	20
Sulfate	mg/L	25,1	1000
Cl	mg/L	24,1	1200
CN	mg/L	0,01	1
Huiles et graisses	mg/L	2,4	40
Hydrocarbures totaux	mg/L	2	10

VIII.7.3.2. Propriétés du combustible

RDF normé

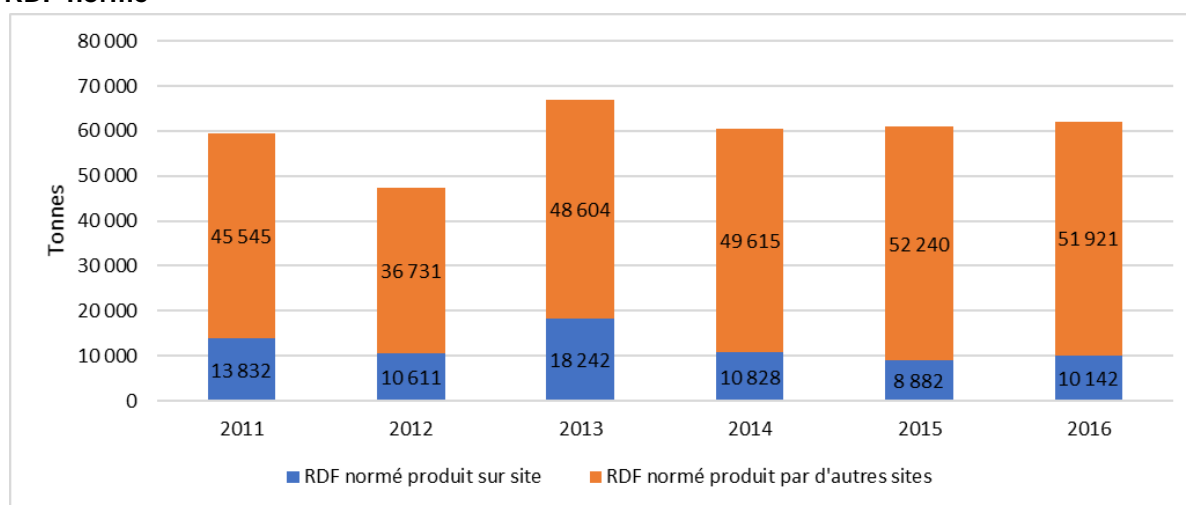


Figure 102: Evolution des quantités de RDF normé consommées depuis 2011 (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Consommation de gaz naturel

Tableau 61: Consommation annuelle de gaz naturel- Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Incinérateur uniquement (kSm3)					
2011	2012	2013	2014	2015	2016
1 210	1 019	1 081	762	862	606
Installations productrices de chaleur pour le réseau de chauffage urbain (kSm3)					
2011	2012	2013	2014	2015	2016
6 032	8 470	5 264	4 407	6 088	7 181

Propriétés du RDF

RDF normé – classe 3.3.1 (selon EN 15359) sous forme de fluff

L'installation peut aussi brûler des fractions plus calorifiques grâce à la technologie choisie (lit fluidisé).

Tableau 62: Bergame- RDF normé – Spécifications selon la norme EN 15 359 (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Paramètre	Unité	Classe EN 15 359				
		1	2	3	4	5
PCI	MJ/kg (ar)	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Cl	% dry	≤0,2	≤0,6	≤1	≤1,5	≤3
Hg	mg/MJ (ar)	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,5

La composition (2016) du RDF normé se réfère à un échantillonnage sur la base de 10 lots consécutifs, en conformité avec la norme EN15 359.

Tableau 63: Composition du RDF normé- Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Paramètre	Unité	Valeur
PCI	MJ/kg ar	16,9
Cl	% dm	0,85
Hg	mg/MJ ar	0,02
cendre	% dm	18
humidité	% ar	20
Sb	mg/kg dm	32
As	mg/kg dm	1,0
Cd	mg/kg dm	0,55
Cr	mg/kg dm	79
Co	mg/kg dm	5,0
Mn	mg/kg dm	100
Ni	mg/kg dm	29
Pb	mg/kg dm	89
Cu	mg/kg dm	63
Tl	mg/kg dm	0,1
V	mg/kg dm	3,0
K	mg/kg dm	0,1
Zn	mg/kg dm	1735
S (total)	mg/kg dm	286



Figure 103: Photographie du RDF normé- Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

VIII.7.3.3. Mode de production du RDF

Sites de production : 10 000 tonnes sont produites en interne (procédé de production décrit ci-dessus), 60 000 tonnes proviennent de fournisseurs externes.

Mode de production : Traitement Mécano Biologique et Traitement Mécanique

Le RDF produit sur site est produit par séchage biologique (TMB).

Les RDF provenant d'autres sites sont produits par TMB ou par traitement mécanique des refus de tri de collecte sélective.

Critères d'acceptation des déchets entrants : Déchets municipaux en mélange (sur le site de Bergame et d'autres fournisseurs) , Refus de tri de collecte sélective (pour certains fournisseurs).

Description du procédé de préparation

Les informations ci-dessous concernent le procédé mis en place sur le site de Bergame. Aucune information n'a été fournie concernant les fournisseurs externes et leurs procédés de production.

Le diagramme suivant illustre schématiquement les principales opérations sur le site et la relation entre les différentes installations.

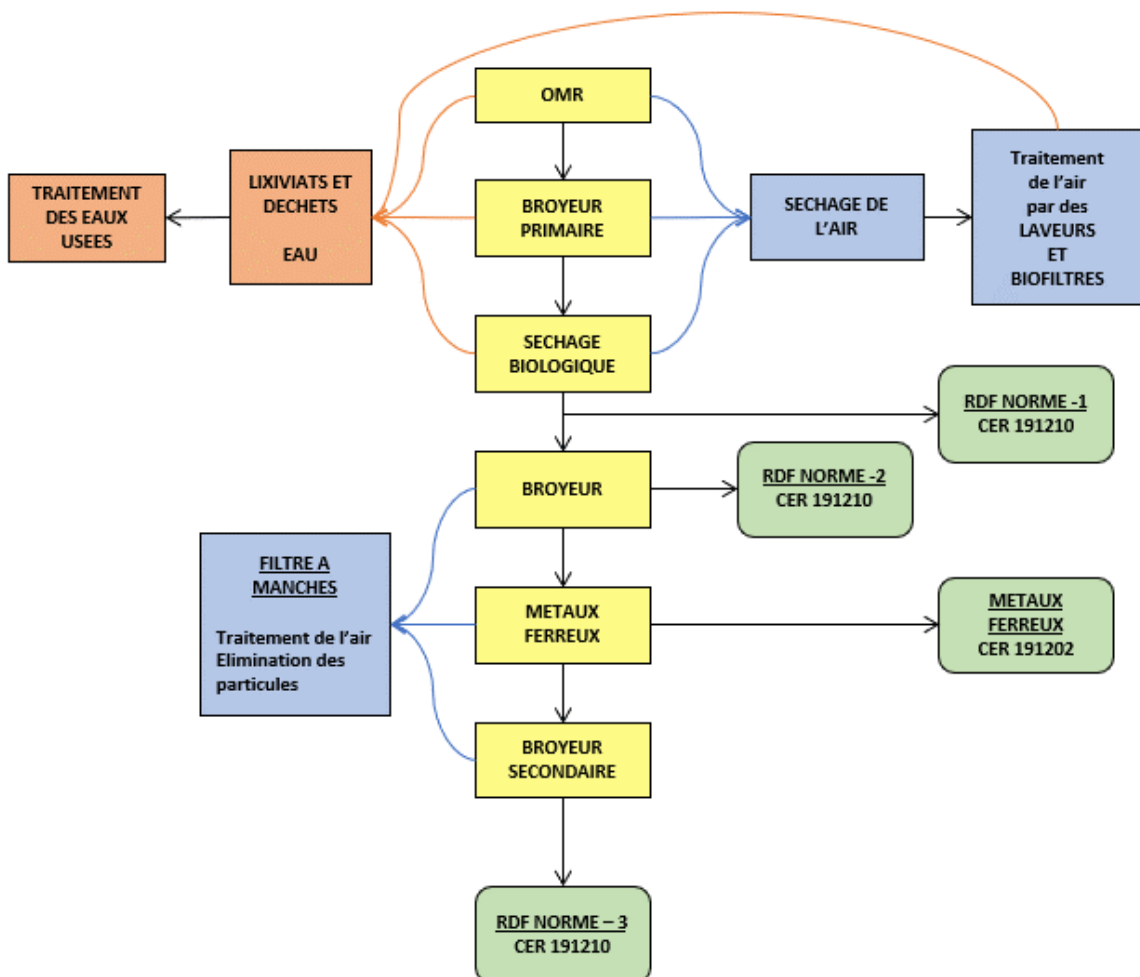


Figure 104 : Diagramme technique du processus de préparation du RDF normé à Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Les déchets municipaux non triés sont pesés à l'entrée et envoyés à l'usine de production RDF normé. Les déchets sont ensuite envoyés à un broyeur primaire qui produit une fraction de granulométrie allant de 200 à 300 mm.

Le matériau homogène est automatiquement placé dans le réservoir de séchage biologique ou de fermentation accélérée, dans des conditions aérobies, où il atteint une température d'environ 50-60 °C.. Le temps de séchage biologique est d'environ 7-10 jours. Ce processus améliore la stabilisation et la désodorisation. A la fin du processus, la teneur en eau de la matière est environ 20% inférieure à celle au début du processus et le RDF intermédiaire a un PCI compris entre 2800 et 3500 kcal/kg (11,7-14,6 MJ/kg). Ce PCI est plus faible le PCI final après raffinage.

L'installation est en mesure de traiter dans la section de bio-stabilisation une quantité quotidienne de déchets municipaux d'environ 230 à 250 tonnes (environ 85-90 kt /an de déchets municipaux entrants). L'installation est utilisée presque à pleine capacité. Le processus de séchage biologique entraîne une perte de poids totale d'environ 20 % due à l'oxydation d'une partie de la matière biodégradable présente et à l'évaporation de l'eau contenue dans les déchets.

Le matériau stabilisé est ensuite soumis à une phase de raffinage au cours de laquelle le RDF normé à proprement parlé est produit. Le matériau est séparé des pièces les plus fines par tamisage pour extraire les composants inertes (sable, verre, briques, pierres, etc.), puis les métaux ferreux sont séparés par des électro-aimants et enfin broyés pour obtenir un RDF normé adapté à la combustion en lit fluidisé. Les composants de la section de raffinage qui produisent des poussières comme le tamisage, le séchage, le broyage, etc. sont maintenus en dépression au moyen de hottes équipées de filtre à manches pour le retrait des poussières.

Le rendement du procédé est d'environ 60% - environ 54 kt de RDF produits par an.

Trois types différents de RDF normés sont produits.

- RDF normé – 1 : 68% (Classe 4.3.1. selon les normes EN 15359) - environ 40 kt/an.

Tableau 64: Classification du RDF normé 1 – Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Paramètre	Unité	Classe EN 15359				
		1	2	3	4	5
PCI	MJ/kg (ar)	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
CI	% dry	≤0,2	≤0,6	≤1	≤1,5	≤3
Hg	mg/MJ (ar)	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,5

- RDF normé – 2 : 8% (Classe 4.4.3. selon les normes EN 15359) - environ 3500 kt/an.

Tableau 65: Classification du RDF normé 2- Bergame (compilation RECORD, 2018) (A2A, 2017)

Paramètre	Unité	Classe EN 15359				
		1	2	3	4	5
PCI	MJ/kg (ar)	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
CI	% dry	≤0,2	≤0,6	≤1	≤1,5	≤3
Hg	mg/MJ (ar)	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,5

Les RDF normé - 1 et RDF normé – 2 sont envoyés vers d'autres installations de valorisation énergétique du groupe (non dédiées aux RDF).

- RDF normé – 3 : 23% (Classe 3.3.1. selon les normes EN 15359) - environ 10 kt/an.
Le RDF normé 3 a un PCI supérieur à 15 MJ/kg et en moyenne de 16,9 MJ/kg (moyenne entre les RDF normés produits sur site et ceux provenant d'autres sites).

Le RDF normé de la plus haute qualité est chargé sur des camions pour être transporté vers l'installation de valorisation énergétique ou il peut être envoyé à la presse de compactage.

- Métaux ferreux : 1 %.

Le RDF normé est produit sous forme de fluff.

L'air du processus de préparation de RDF est aspiré par des ventilateurs situés dans la zone de réception et de séchage, avant d'être injecté dans l'atmosphère, est envoyé à l'installation de réduction des émissions. Il s'y déroule 2 étapes: une étape de lavage humide et une étape de filtration biologique aérobie à l'aide de biofiltres placés sur le toit du bâtiment. Avant d'entrer dans les biofiltres, l'air d'échappement est prétraité dans une tour de lavage humide, avec de l'eau, pour éliminer la poussière. Dans l'étape de filtration biologique de l'air vicié, les composants odorants sont décomposés dans le biofiltre par l'activité métabolique des micro-organismes, puis éliminés. Grâce à l'activité des micro-organismes, le matériau filtrant est continuellement régénéré.

VIII.7.4. Conditions administratives

Terminologie

Le terme CDR a été utilisé sur place et est toujours utilisé dans le permis de l'installation. Le CDR était un RDF conforme à la norme italienne UNI 9903 qui existait avant l'introduction de la norme européenne EN 15359 et son utilisation dans le droit italien en 2010. Ce terme a été remplacé dans la législation par le terme CSS (Combustible Solide Secondario) en 2010 et c'est donc ce deuxième terme qui est utilisé aujourd'hui sur site. Lorsque le permis sera renouvelé, le terme CDR ne sera plus utilisé.

En Italie, pour qu'un déchet soit classé comme CSS ou RDF selon le code européen des déchets 19 12 10, il doit respecter la norme européenne. En Italie, les RDF et les RDF normés sont donc des termes équivalents. En Italie, les déchets préparés à partir de déchets non dangereux mais non conformes à la norme européenne EN 15359 sont classés selon les codes déchets 19 12 ... autres que 19 12 10. Dans le cas de fractions en mélange ne contenant pas de substances dangereuses, ils sont classés 19 12 12 (autres déchets (y compris mélanges) provenant du traitement mécanique des déchets autres que ceux visés à la rubrique 19 12 11).

Tous les autres flux de déchets ayant un EWC différent de 191210 ne peuvent pas être considérés ou classés comme RDF ou RDF normé en Italie. Cette question a fait l'objet de discussions lors de la dernière réunion du WG2 "Classification et Classes" de l'ISO/TC 300 "Combustible solide récupéré" qui s'est tenue à Milan le 20 juin 2017. Ces flux ont pu parfois être appelés RDF hors spécifications, bien qu'il ne s'agisse pas nécessairement de combustibles. Il peut par exemple d'agir de refus de TMB/TM.

Normes et standards de qualité

En Italie, le RDF/RDF normé doit satisfaire aux critères de classification et de spécification inclus dans la norme EN 15359, et être produit selon les critères de qualité spécifiés dans la norme EN 15358.

Les paramètres de spécification sont des exigences contractuelles en place entre le producteur et l'utilisateur.

Le RDF normé peut être traité sur place avant utilisation.

Les données exigées des fournisseurs comprennent la classification (obligatoire dans la norme européenne) et d'autres paramètres. La liste est proche de la liste des paramètres fournis ci-dessus : teneur en humidité, métaux lourds ...

La liste détaillée des paramètres est incluse dans le contrat et n'a pas été divulguée par A2A.

Permis - Incinération

Les autorisations environnementales sont basées sur la législation (déchets, émissions dans l'atmosphère et dans les plans d'eau) et sur la réglementation technique (classification et spécification des RDF normé selon EN 15359). Toutes ces règles sont incluses dans l'AIA (Autorisation Environnementale Intégrée) qui remplace tous les autres permis. L'autorisation est délivrée par les autorités locales, qui peuvent décider d'introduire des critères plus stricts ou de nouveaux critères en complément du cadre national/européen. Le résultat de la fusion des réglementations nationales et européenne et des exigences supplémentaires demandées par l'autorité locale est un décret régional, spécifique à chaque installation, et appelé AIA (Autorisation Environnementale Intégrée).

Réglementation spécifique pour le RDF

Le RDF normé est classé comme déchet non dangereux et son utilisation, du point de vue des réglementations applicables, est la même que pour les autres déchets non dangereux (p. ex. les déchets municipaux solides).

L'usine doit être autorisée à brûler le code déchet 191210 mais la déclaration finale de l'autorité à l'usine (AIA, Autorisation Environnementale Intégrée) peut spécifier la valeur limite de certains paramètres en termes de concentration maximale dans le RDF normés.

La seule obligation est de démontrer qu'au moins 50 % des déchets reçus à l'usine sont des déchets municipaux solides. Il s'agit d'une exigence nationale pour les installations de traitement des déchets solides municipaux.

Réglementation spécifique pour les cendres

La réglementation nationale n'a aucune influence sur la réglementation et la gestion applicables aux cendres volantes et aux mâchefers. L'exigence est la teneur en substances dangereuses qui doit être inférieure aux limites imposées par la réglementation européenne (directive 67/548/CEE).

Le matériau du lit et les mâchefers sont considérés comme des déchets non dangereux tandis que les cendres volantes (cendres de chaudière, filtres à manches...) sont des déchets dangereux.

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone

L'installation n'est pas soumise à des quotas de CO₂.

Sortie de statut de déchet

D'après sa classe de qualité, le RDF normé serait éligible aux critères de sortie de statut de déchet en Italie. Cependant, le site ne cherche pas à en bénéficier car cela n'est pas perçu comme un avantage économique pour l'installation. En effet, cela conduirait surtout à une augmentation du prix du RDF normé.

VIII.7.5. Conditions économiques

Historique

Entre 2007 et 2009, le réseau de chauffage urbain utilisait exclusivement du gaz naturel, alors que le RDF normé et les déchets municipaux solides étaient brûlés dans une ancienne installation de valorisation énergétique des déchets qui n'utilisait pas la cogénération et qui n'était pas raccordée au chauffage urbain.

L'usine a été mise en service en 2009 dans le but de produire de la chaleur et de l'électricité et a obtenu le certificat vert pour une durée de 6 ans (jusqu'en 2015). Pendant cette période, la vente de l'électricité produite a été la principale source de revenus et a permis de couvrir une grande partie des coûts d'investissement. La construction de l'installation a permis de substituer partiellement la combustion du gaz et d'augmenter l'efficacité énergétique associée au traitement des déchets.

Après 2015 et la fin des certificats verts, la possibilité de moduler, même partiellement, la production de chaleur et d'électricité au cours de l'année en tenant compte des besoins réels du réseau urbain, reste une des forces de l'installation.

Actuellement, la production de chaleur et d'électricité à partir de RDF normé comme combustible est la meilleure option économique, bien que le prix du gaz naturel sur le marché soit bas et que l'usine puisse bénéficier d'un petit rabais sur la taxation du gaz naturel.

Typologie des consommateurs d'énergie

Le réseau A2A pour le chauffage urbain à Bergamo est géré par une société du Groupe (A2A calore e Servizi - ACS). Le réseau se compose d'un gazoduc de 70 km. Les consommateurs sont à la fois des maisons privées et des bâtiments publics (hôpital, bibliothèque).

Structure des recettes

Gate fee pour les déchets ménagers : 80 - 85 €/t

Gate fee du RDF normé : environ 1 M€ - le gate fee est inconnu mais sur la base du marché italien nous pouvons supposer un gate fee de 0-20€/t).

Aucune information directe n'a été reçue au sujet des prix de la production, de l'achat et de la vente de RDF normé. Les RDF normés de faible qualité sont vendus à d'autres sociétés du groupe (principalement l'usine d'incinération de Brescia), donc, peut-être que les prix ne reflètent pas les prix du marché.

Le prix de vente de l'énergie électrique change tous les jours en fonction de la demande du marché. Le prix est fixé quotidiennement par le GME (Gestore del mercato Elettrico) et le prix de vente de l'électricité en Italie était d'environ 50 €/MWh sur les 30 derniers jours.

Electricité vendue (sur la base d'un prix de vente de 50€/MWh) - 1,8 M€

La chaleur est vendue à 15 €/MWh à une société du groupe A2A pour le chauffage urbain. Ce prix est faible mais il n'est probablement pas comparable à un prix de marché compte tenu du fait qu'il s'agit d'un prix interne.

Chaleur RDF normé - 1,6 M€

Subsides

Pas de subsides.

L'installation bénéficie d'une taxation réduite sur le gaz naturel utilisé pour le chauffage urbain.

Structure des coûts

Les gate fees couvrent tous les coûts de l'usine (coût direct, investissement, etc.).

Retour sur investissement : aucune donnée n'a été fournie concernant le coût d'investissement ou le retour sur investissement.

VIII.7.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Facteurs clés de succès

- Technologie : La cogénération a été considérée comme le principal facteur clé de succès d'un point de vue économique. Elle permet la flexibilité tout au long de l'année et a permis au site de s'adapter à la fin des certificats verts.
- Modèles d'affaires.
 - A2A est un grand groupe qui couvre tous les aspects de la gestion des déchets, de la collecte à la valorisation énergétique et qui permet de faire des économies d'échelle.
 - L'utilisation de RDF normé de différentes qualités dans les installations du Groupe A2A est optimisée en fonction de la technologie des installations.

- La rentabilité de l'installation, malgré un prix positif du RDF, a pu être positivement influencée par l'existence de certificats verts.

Freins et leviers

Pas de problème particulier.

Perspectives

Pas de changement prévu dans un futur proche.

Transposition

- Les caractéristiques du RDF normé utilisé sont compatibles avec la définition du CSR français.
- L'efficacité énergétique semble compatible avec l'efficacité attendue d'une installation classée ICPE 2971 (88% en hiver et probablement plus de 30% en été compte tenu d'un rendement électrique seul de 26%)
- D'un point de vue réglementaire, les conditions applicables se distinguent des conditions qui prévaudraient en France pour une installation similaire :
 - Installation classée comme une installation d'incinération, non soumise aux quotas de CO₂.
 - Le site de Bergame doit démontrer qu'il utilise au moins 50% de déchets ménagers solides, ce qui n'est pas requis en France.
- Le RDF doit respecter la norme européenne EN 15359, ce qui implique des exigences qualité similaires à celles requises par la France, mais sur un nombre plus réduit de paramètres. Certains paramètres sont suivis de façon optionnelle dans la norme européenne et leur suivi est donc à l'appréciation de A2A à Bergame.

VIII.7.7. Détails sur la visite

Date : 22 septembre 2017

Adresse : A2A Ambiente S.p.A. Termovalorizzatore di Bergano, Via Goltara, 23, 24127 Bergamo (IT)

Nom	Organisation	Contacts
Donato Mensi	A2A, installation de Bergamo. Directeur	Tel: +39 035 351707; Fax : +39 035 351755 donato.mensi@a2a.eu
Luca Greco	A2A, installation de Bergamo, Technicien	-

VIII.8. TREA Giessen (Allemagne)

VIII.8.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Thermische Reststoffbehandlungs- und Energieverwertungsanlage (TREA)

Adresse: Lahnstraße 31, 35398 Gießen, Germany

Employés : <4 ETP (1 personne est toujours affectée au site mais s'occupe également de la chaudière à gaz voisine).

Capacité :

- TREA I : 9MW

La capacité annuelle autorisée de RDF de TREA I est de 25 000 t. Le débit annuel moyen est d'environ 16 000 t/an de RDF et le débit quotidien moyen est d'environ 8-10 camions.

- TREA II : 11 MW

L'installation TREA II est prévue pour une capacité de 28 670 tonnes de RDF par an.



Opérateur et propriétaire : Le site est détenu et exploité par la Stadtwerke Gießen (SWG) AG, une entreprise de services publics de Gießen détenue par des capitaux publics. Elle est active dans le secteur de l'approvisionnement énergétique et des infrastructures.

Consommateur d'énergie : L'énergie produite sous forme d'eau chaude est fournie au réseau de chauffage urbain de Gießen.

Afin de garantir un chauffage urbain suffisant, de nombreux générateurs de chaleur et différents systèmes alimentent le même réseau. Elle fournit plus de 5 000 consommateurs de chaleur et de froid (ménages et entreprises).

VIII.8.2. Historique et description des activités

Historique des activités du site

L'installation TREA I est exploitée depuis mars 2009. La construction a été achevée en 15 mois.

TREA fait partie d'un réseau de chauffage sophistiqué qui comprend également 3 centrales thermiques alimentées au gaz, 3 chaudières à biomasse et des chaudières d'appoint pour fournir la chaleur nécessaire aux clients.

Suite à l'expérience positive de TREA I, une nouvelle usine a été conçue, TREA II. La construction de la nouvelle installation a débuté en 2015 et l'exploitation normale doit débuter fin 2017.

TREA II utilisera la même technique d'incinération que TREA.

TREA II, contrairement à TREA I, fournira non seulement de la chaleur et du froid au réseau de chauffage urbain, mais produira également de l'électricité. Cela doit contribuer à l'objectif de produire 50 % de l'électricité "verte" de Gießen dans les installations gérées par la ville.

Activités actuelles du site : TREA I est une centrale thermique qui fournit de la chaleur et du froid au réseau de chauffage urbain par combustion de RDF.

Principal objectif du site

L'objectif principal de TREA I est de fournir de l'eau chaude au réseau de chauffage urbain (température 120°C), qui permet de produire de la chaleur et du froid.

TREA II fournira chaleur, froid et électricité.

VIII.8.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.8.3.1. Fonctionnement de l'installation

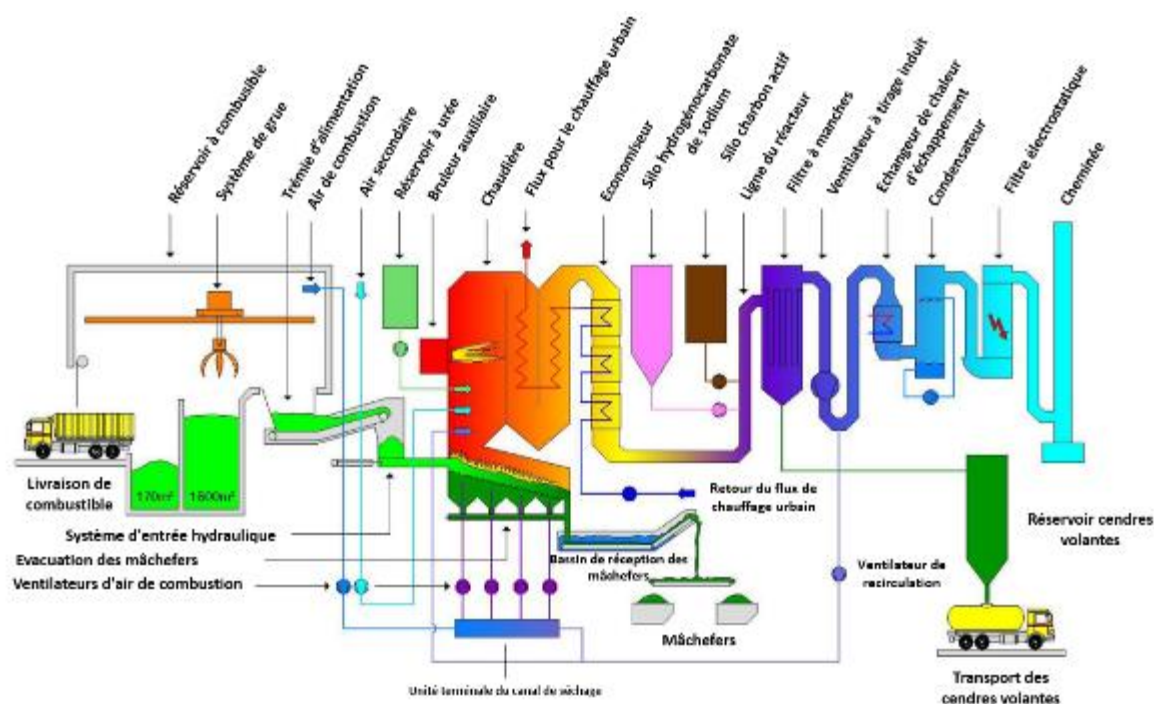


Figure 105 - Schéma technique de l'installation RDF de Gießen (TREA I) (compilation RECORD, 2018) (TREA, 2017)

Technologie de combustion : Four à grille refroidie à l'eau

L'incinération dans TREA se fait à l'aide d'un four à grille refroidie à l'eau.

Le combustible stocké dans le réservoir est introduit par une grue dans la trémie d'alimentation, qui alimente un convoyeur à bandes. Le convoyeur transporte le combustible dans un conduit de distribution. Au bas de ce conduit, 14 pistons à entraînement hydraulique poussent le combustible à travers l'ouverture de la grille refroidie à l'eau jusqu'au premier étage de la grille. Les pistons, la bande de transport et la grille sont intégrés dans le contrôle des performances de l'incinération afin que la vitesse de transport du combustible puisse toujours être adaptée à la puissance thermique nominale. Le RDF est séché, dégazé, et enfin brûlé sur une grille refroidie à l'air, divisée en quatre zones avec des bords refroidis à l'eau. En raison des différentes vitesses des zones la grille, le carburant est transporté, recirculé et alimenté simultanément.

Les quantités d'air nécessaires à la combustion sont transportées comme air primaire et secondaire dans la chambre de combustion. L'air primaire est extrait du réservoir et soufflé dans le lit de combustible par le dessous à travers des fentes situées dans les barreaux de la grille. L'air secondaire est prélevé dans la partie supérieure de la chaudière et directement introduit dans la chambre de combustion au-dessus de la grille.

Le processus d'incinération proprement dit doit être effectué à des températures supérieures à 850°C. C'est pourquoi les parois directement situées au-dessus de la grille sont revêtues de matériaux ignifugés, ainsi que la zone formant la partie rayonnante de la chaudière. Ceci réduit délibérément dans

cette zone la dissipation de chaleur vers le circuit d'eau chaude afin de maintenir la température à 850°C pendant un temps de séjour minimum de 2 secondes.

La chaleur des gaz de combustion est transférée dans le circuit d'eau chaude de la zone de convection de la chaudière à l'aide de 5 convecteurs. Les échangeurs de chaleur sont nettoyés à l'aide d'une corne sonore avec des souffleurs de suie par injection de vapeur surchauffée. La température de l'eau chaude à la sortie de la chaudière est de 120°C. Deux pompes de circulation redondantes maintiennent le circuit d'eau de chauffage. Les gaz de combustion sont refroidis à environ 160 °C, jusqu'à ce qu'ils sortent de la chaudière. Cette température est adaptée à l'épuration des fumées à l'aide d'hydrogénocarbonate de sodium.

Adaptabilité à d'autres combustibles

Non précisée

Capacité :

- TREA I : 9MW
La capacité annuelle autorisée de RDF de TREA I est de 25 000 t. Le débit annuel moyen est d'environ 16 000 t/an de RDF et le débit quotidien moyen est d'environ 8-10 camions.
- TREA II : 11 MW
L'installation TREA II est prévue pour une capacité de 28 670 tonnes de RDF par an.

Nombre d'heures de fonctionnement : Fonctionnement continu 24/7

TREA I peut fonctionner **entre 7 400 et 7 800 h/an**, et jusqu' à 8 760 h/an sont autorisées.

TREA II a reçu un permis un fonctionnement sur 8 760 heures (toute l'année). Le temps de fonctionnement réel n'est pas encore connu.

TREA fonctionne de manière entièrement automatisée et peut fonctionner avec moins d'un emploi temps plein, qui s'occupe principalement de la maintenance et du contrôle.

Il y a un service d'urgence 24h/24, disponible en cas de dysfonctionnement. Dans ce cas, des employés de la centrale à gaz voisine sont disponibles.

Puissance fournie

TREA I peut techniquement fonctionner avec un pouvoir calorifique d'entrée situé entre 11,5 et 14,5 MJ /kg.

Sur la base du débit moyen (16 000t/an), un maximum de 65 000 MWh de PCI d'entrée sont injectés chaque année dans la chaudière, ce qui correspond à un maximum de 9 MW entrants.

TREA II a une puissance thermique fournie de 10 MWth pour l'incinération des déchets et de 4,8 MWth pour l'utilisation du gaz naturel. La puissance thermique nominale est estimée à 11 MW sur base de la quantité maximale de déchets entrants prévue.

Bilan énergétique

TREA I: Production de chaleur

Avec un rendement de 90%, il est possible d'alimenter le réseau de chaleur et le réseau de froid jusqu' à 58 000 MWh (maximum 8 MW).

TREA II: Production de chaleur et d'énergie électrique

Avec un rendement de 90%, il est possible d'alimenter le réseau de chaleur et le réseau de froid jusqu' à 75 000 MWh avec des RDF, ce qui correspond aux besoin d'environ 4 200 maisons unifamiliales.

Le gaz naturel fournit également 40 600 MWh/an.

La combinaison de l'incinération des déchets et de deux centrales à cogénération alimentées au gaz offre un autre avantage en plus de la haute efficacité énergétique : l'ensemble du système est extrêmement flexible. TREA II peut fournir une puissance électrique allant de 1,0 à 5,8 MW.

Consommateurs d'énergie :

L'énergie produite sous forme d'eau chaude est fournie au réseau de chauffage urbain de Gießen. Afin de garantir un chauffage urbain suffisant, de nombreux générateurs de chaleur et différents systèmes alimentent le même réseau. Le réseau fournit plus de 5000 consommateurs de chaleur et de froid (ménages, entreprises et bâtiments publics).

Propriétés de la vapeur

TREA I ne produit pas de vapeur.

De l'eau chaude est produite à une température de 125°C pour le réseau de chauffage urbain (débit à 125°C et retour à ~65°C).

La quantité minimale de vapeur utilisée pour le nettoyage des chaudières est fournie par l'installation de production de vapeur de SWG située à proximité (fonctionnant au gaz).

De l'eau chaude est utilisée par des climatiseurs à absorption pour alimenter un réseau de froid avec un flux d'eau à 6°C ; la température de l'eau de retour est d'env. 12°C.

En été, environ 10 à 20 % de l'eau chaude est utilisée pour le chauffage et environ 80 % pour la réfrigération, étant donné que de nombreuses administrations et entreprises ont également besoin de réfrigération (hôpitaux, universités, centres de données) tout au long de l'année.

L'installation de TREA II peut produire 13t/h de vapeur à une température de 250°C à 42 bar.

Contrôle des émissions

La chaudière TREA I respecte les limites de l'ordonnance fédérale sur la protection de l'environnement (BmlSchV) en vigueur, dans certains cas jusqu'à 95% de la limite.

L'épuration des fumées comprend les étapes suivantes :

- SNCR : injection de solution aqueuse d'urée.
- Injection d'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) et de charbon actif dans la zone de réaction située en amont du filtre à manches. La température de gaz de combustion est optimisée autour de 160°C pour minimiser la consommation de réactifs. Le bicarbonate de soude est livré avec des véhicules silos et transporté pneumatiquement dans le silo de stockage (60 m³). Le charbon actif est livré dans des grands sacs et soufflé directement depuis le conteneur de livraison.
- Filtre à manches : Le filtre en tissu est nettoyé à intervalles réguliers avec des bulles d'air pulsées.

Les concentrations de polluants des gaz de combustion à la sortie du filtre sont déjà inférieures aux valeurs limites prescrites dans la 17ème BImSchV. L

Après avoir traversé un condenseur dans lequel les gaz de combustion sont saturés avec des gouttelettes d'eau, ils entrent dans le séparateur de gouttelettes. Les poussières résiduelles qui restent dans les gaz de combustion se lient aux gouttelettes d'eau et sont séparées par les lamelles dans le séparateur de gouttelettes. Après avoir passé la zone de mesure des émissions, les gaz de combustion pénètrent dans l'atmosphère par la cheminée de 50 m de haut avec un conduit intérieur en plastique renforcé de fibres de verre.

Gestion des cendres

TREA a conclu un contrat avec une entreprise de transport pour les cendres volantes et les mâchefers. L'entreprise en question organise le transport des REF/OM/cendres volantes vers deux dépôts souterrains en Allemagne et les mâchefers vers deux installations de traitement en Thuringe.

Le transporteur fait partie de SBM (qui fournit également le RDF). Les camions utilisés ne sont pas les mêmes.

Les mâchefers produits à l'extrémité de la grille sont refroidis à l'eau et évacués par convoyeur dans les conteneurs de transport dans une station de chargement équipée de convoyeurs réversibles. Un conteneur est expédié par jour d'opération.



Figure 106 – Conteneur de transport de mâchefers (RECORD, 2018)

Une partie des cendres volantes rejetée avec les gaz de combustion est déjà déposée sous le dernier économiseur, évacuée de la chaudière et transportée dans le silo de stockage au moyen d'une tête de soufflage.

Sur base d'une entrée de 100% RDF (16 000 tonnes/an), il y a une production de :

- 25% de mâchefers (4 000 tonnes/an)
- 5% de cendres volantes (800 tonnes/an)

Gestion des eaux usées

L'installation fonctionne pratiquement sans eaux usées.

Autres informations pertinentes

L'utilisation de RDF permet d'économiser environ 10 000 tonnes de CO₂ par an et 7 000 000 litres de fioul, ce qui correspond au chauffage de 2 330 maisons unifamiliales.

Grâce à l'utilisation de TREA II, les municipalités économiseront environ 8,5 millions de litres de fioul. Plus de 40 % des besoins en chaleur de la ville de Giessen peuvent être couverts par le chauffage urbain.

Les canalisations souterraines (constituées de conduites d'alimentation et de retour) sont bien isolées, ce qui permet d'éviter pratiquement toute perte pendant le transport.

Le système de chauffage urbain est raccordé à la station de transfert dans les foyers via une connexion pour la maison. De la station de transfert, la chaleur est distribuée aux tuyaux de chauffage dans toute la maison.

VIII.8.3.2. Propriétés du combustible

Fournisseur du combustible

SBM Sekundärbrennstoff Mittelhessen GmbH est le seul fournisseur de RDF. SBM et TREA se situent à 1 km l'un de l'autre et sont interdépendants. Il est prévu que le site TREA II soit également fourni par SBM après la mise en service complète.

Aucune information supplémentaire n'a été fournie sur le contrat établi entre SBM et TREA (durée, prix).

SBM Mittelhessen GmbH est une société privée de collecte et gestion de déchets, créée en 2005. Il s'agit d'une filiale de Recycling Lahnav GmbH créée en 1998 comme une société fille de deux entreprises privées de construction et de transport (Weimer GmbH et Heinz Bill GmbH).

Combustible utilisé

Le RDF utilisé provient des déchets industriels et des déchets commerciaux de la région de Mittelhessen. Les déchets avec le code d'identification des déchets (conformément à l'ordonnance allemande sur la classification des déchets) AVV 19 12 10 (déchets combustibles (combustibles dérivés de déchets)) et 19 12 12 (autres déchets (y compris les mélanges de matériaux) provenant du traitement mécanique des déchets ne contenant pas de substances dangereuses) sont utilisés.

Le RDF se compose jusqu'à 50% de substances biogéniques telles que le bois, le carton, le papier et la pâte à papier et a un pouvoir calorifique élevé de 11,5 à 14,5 MJ/kg. Aucune information supplémentaire n'est disponible sur la composition des 50 % restants.

La qualité du RDF pour TREA I est convenue contractuellement afin de minimiser les fluctuations de fonctionnement. Toutefois, il n'existe pas d'informations sur la qualité requise, telles que le pouvoir calorifique, la granulométrie et les valeurs seuils.

VIII.8.3.3. Mode de production du RDF

Mode de production : Traitement mécanique

Informations complémentaires sur le processus de production du RDF

Un contrôle de qualité a lieu sur le site de SBM. La livraison et le déchargement du RDF dans la zone de stockage du combustible sont effectués par un seul fournisseur, ce qui facilite la garantie de qualité. Le RDF est enregistré à l'arrivée. Des contrôles visuels de qualité sont mis en place, qui enregistrent la livraison à chaque déchargement pendant 15 minutes. Une fois par semaine, le RDF livré est testé par TREA.



Figure 107 - RDF dans la zone de stockage des RDF de TREA I (RECORD, 2018)

VIII.8.4. Conditions administratives

Terminologie

RDF - Ersatzbrennstoffe (EBS)

Aucune information sur les autres terminologies utilisées en interne.

Normes et standards de qualité

Les standards de qualité sont convenus entre TREA et SBM.

Pour TREA I et II, le pouvoir calorifique se situe entre 11,5 et 14,5 MJ / kg.

Permis

La 17e BImSchV s'applique à la construction, aux caractéristiques et au fonctionnement d'incinération des déchets et aux usines d'incinération des déchets. Elle contient des exigences en matière de lutte contre les risques d'incendie, de prévention des effets nocifs sur l'environnement, de traitement des déchets, de respect des valeurs d'émission, etc.

Incinération/Coïncinération

TREA est classée, selon le permis, comme installation d'incinération des déchets solides non dangereux par combustion sur grille.

Quotas et comptabilité des émissions de CO₂

Il n'y a pas de quotas de CO₂ en Allemagne pour les usines dédiées à l'incinération de RDF.

Réglementation RDF

Les prescriptions de la 17ème BImSchV s'appliquent aux installations d'incinération des déchets. Il n'y a pas de différence par rapport à l'incinération conventionnelle des déchets en termes de réglementation.

En outre, les valeurs d'émission sont fixées dans l'autorisation et décrites dans les "Exigences de qualité".

Les valeurs d'émission indiquées dans la 17ème BImSchV sont respectées. Les valeurs moyennes n'ont pas été fournies.

Tableau 66 : Valeurs limites d'émissions (compilation RECORD, 2018) (TREA, 2017)

Paramètre	Unité	Moyenne demi-heure	Moyenne journalière (puissance <50 MW)
NO _x	mg/Nm ³	400	200
Hg	mg/Nm ³	0,05	0,01
SO ₂	mg/Nm ³	200	50
HCl	mg/Nm ³	60	10
CO	mg/Nm ³	100	50
TOC	mg/Nm ³	20	10
Dust	mg/Nm ³	20	10
NH ₃	mg/Nm ³	15	10
HF	mg/Nm ³	4	4
PCDD/F	ng/Nm ³		0,1

Exemptions/exceptions : pas d'exemptions ou d'exceptions locales en place

Sortie de statut de déchet : pas de sortie de statut de déchet pour les RDF

Gestion des cendres - Règlements et interprétations locales

La 17ème BImSchV spécifie que le traitement des cendres et des poussières de filtration doit être effectué conformément à la BImSchG et à la hiérarchie des déchets établie dans la KrGW (Kreislaufwirtschaftsgesetz - eng. Waste Management Act).

En outre, le § 5 de la 17e BImSchV stipule que les installations doivent être exploitées de telle sorte que les cendres et les boues contiennent moins de 3 % de carbone organique total ou présentent une perte par combustion inférieure à 5 % du poids sec.

Le §12 stipule que les cendres volantes et les poussières de chaudière doivent être enregistrées séparément et avant la récupération ou l'élimination du potentiel de pollution. En particulier, les propriétés physiques et chimiques et la part des impuretés nocives doivent être déterminées. L'analyse doit être effectuée pour la fraction soluble totale et les métaux lourds dans les fractions solubles et insolubles.

Il n'y a pas d'exigences ou de règlements locaux supplémentaires pour le traitement des cendres volantes et mâchefers.

VIII.8.5. Conditions économiques

Historique

Le modèle d'affaires initial de TREA I n'a pas changé.

Lors de la planification de TREA II, le principe de fonctionnement initial du système a été revu. Le plus grand défi consistait à produire de l'électricité, malgré le fait que les températures produites pendant l'incinération de déchets à PCI moyen ne sont pas suffisantes pour alimenter un générateur. Par conséquent, deux centrales de cogénération alimentées au gaz assurent maintenant l'augmentation nécessaire de la température. Les fumées sont si chaudes qu'elles produisent une vapeur à 350°C, ce qui est suffisant pour la production d'électricité.

D'autres ajustements et modifications dans la planification et la mise en œuvre du TREA II ont été apportés au traitement des fumées:

- L'hydrate de chaux est utilisé dans des conditions sèches.
- L'hydrocarbonate de sodium est utilisé lors des pics de pollution.

L'installation (TREA II) est extrêmement flexible. L'énergie électrique peut ainsi être produite dans une plage de 1,03 à 5,8 MW, ce qui permet de répondre de manière flexible à la demande ou à la situation du marché.

Consommateurs d'énergie

La chaleur/froid produite est injectée dans le réseau de chauffage urbain par le SWG. Grâce à ce réseau, plus de 5000 clients, ménages et industries privés peuvent être approvisionnés.

Structure des coûts

Aucune information sur le coût d'investissement.

Pour l'élimination des cendres, les coûts suivants sont fournis :

- Mâchefers : 45 €/t,
- Cendres volantes : environ 190 €/t

Les salariés sont rémunérés selon la convention collective de travail allemande typique pour les institutions publiques.

Les coûts de maintenance et de réparation peuvent être estimés à 5 à 7% des coûts d'investissement.

Taxes et quotas CO₂: non pertinent

VIII.8.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Facteurs clés de succès

Technologie :

- Le réseau de chaleur était déjà existant. L'investissement dans le réseau n'aurait pas été rentabilisé par l'installation en elle-même.
- L'efficacité énergétique est élevée (facteur R1 d'environ 94%).

Politiques publiques :

- L'interdiction allemande du stockage des déchets pour les déchets non traités (TASi) a libéré des gisements de déchets pour la valorisation énergétique, en remplacement de la mise en décharge.

Modèle d'affaires :

- Un modèle d'affaires reposant sur la distribution à la fois de chaleur et de froid permet d'assurer une demande en chaleur également pendant les mois d'été.
- La qualité constante des déchets.

Relations publiques :

- Le travail de relations publiques a été jugé très important par SWG, en particulier l'inclusion du grand public au début du projet.
- Le choix de livrer uniquement les déchets entre 6h et 18h pour minimiser les nuisances sonores et olfactives.
- L'emplacement favorable de l'usine, à la périphérie de la ville.

Freins et leviers

Les autorités compétentes suivent strictement la 17ème BImSchV.

Les préoccupations du public auraient pu poser problème, mais cela a été surmonté par le travail de relations publiques du SWG. Le succès de ce travail a été démontré lors du processus d'autorisation de TREA II, pour lequel beaucoup moins de préoccupations ont été exprimées qu'au cours de l'autorisation de TREA I.

Perspectives

TREA II est une nouvelle perspective pour le SWG. La nouvelle installation est similaire à celle de TREA, mais elle est principalement axée sur la production d'électricité qui sera fournie au réseau électrique. Le SWG est donc en mesure de fournir différentes formes d'énergie à ses clients (chaleur, froid, vapeur et électricité).

Transposition

- La production de chaleur et de froid est un modèle intéressant pour assurer un besoin en chaleur toute l'année et améliorer le rendement énergétique de l'installation (et ses recettes).
- Le PCI de certains RDF est inférieur au seuil introduit dans la réglementation française (PCI pouvant descendre jusqu'à 11,5 MJ/kg).
- Le rendement énergétique excède l'efficacité attendue d'une installation classée ICPE 2971 connectée à un réseau de chaleur, en raison de la production de froid.
- D'un point de vue réglementaire, les conditions applicables se distinguent des conditions qui prévaudraient en France pour une installation similaire :
 - Installation classée comme une installation d'incinération, non soumise aux quotas de CO₂.
 - Les paramètres qualité à suivre ne sont pas réglementés en Allemagne, et sont donc à l'appréciation de l'utilisateur et du fournisseur. A noter que l'organisation du contrôle qualité entre les parties prenantes correspond globalement aux exigences françaises : caractérisation régulière par le fournisseur et caractérisation plus espacée par l'utilisateur (une fois par semaine, contre une fois par an exigée en France).

VIII.8.7. Détails sur la visite

Date : 20/06/2017

Adresse : Lahnstraße 31, 35398 Gießen

Contacts

Nom	Responsabilité	Organisation	Contact
Mr. Mattern	Chef d'équipe Stadtwerke Gießen AG	Stadtwerke Gießen	T: +49 641-7080 E: mfink@stadtwerke-giessen.de
Mr Fink	Chef de service - approvisionnement en chaleur	Stadtwerke Gießen	

VIII.9. Energie Anlage Bernburg GmbH (Allemagne)

VIII.9.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Energie Anlage Bernburg GmbH

Adresse: Köthensche Straße 3a; 06406 Bernburg, Allemagne

L'usine de Bernburg est, outre l'incinérateur de RDF de Francfort Höchst, l'une des plus grandes usines d'incinération de RDF en Allemagne [104].

Employés : 50

Capacité : 552 000 tonnes , 214,5 MW

Quantités de déchets brûlés en moyenne : 450 000 tonnes de déchets dont 320 000 tonnes de RDF

Opérateur: En tant qu'actionnaire principal, Tönsmeier opère également le site et est en charge de l'achat des RDF.



Actionnaires : Tönsmeier et Solvay

L'entreprise privée familiale Tönsmeier est l'une des plus grandes entreprises allemandes de gestion des déchets [104]. Elle propose des services dans les domaines de la gestion des déchets, de l'approvisionnement en énergie, du transport et de la logistique. Son siège social est située en Rhénanie du Nord-Westphalie (Porta Westfalica) et elle opère en Allemagne, Pologne, Autriche, dans les pays baltiques et aux Pays-Bas. Tönsmeier exploite entre autres des installations de traitement mécanique des déchets pour la production de RDF de qualité assurée.

Solvay Chemicals GmbH est une multinationale des domaines de l'industrie chimique et pharmaceutique.

Consommateur d'énergie : Solvay Chemicals GmbH

Solvay exploite un parc chimique à Bernburg, en Saxe-Anhalt, qui produit entre autres du bicarbonate de soude, de la soude et du peroxyde d'hydrogène.

VIII.9.2. Historique et description des activités

Historique

L'installation qui alimentait précédemment le site de Solvay Bernburg était une centrale à gaz [105] [104].

2004 : début des discussions entre Solvay et Tönsmeier

Solvay souhaitait une alternative à l'approvisionnement en énergie conventionnelle basée sur les combustibles fossiles, pour faire face à la hausse des prix du gaz naturel et pour sécuriser l'approvisionnement du site de production [105] [104]. La substitution des combustibles fossiles par les RDF répondait également au souhait de produire de l'énergie de manière autonome et de réduire les émissions de CO₂.

Solvay avait de l'expérience dans la technologie des turbines et Tönsmeier a apporté ses connaissances en matière de traitement des déchets et notamment en matière d'incinération des RDF [106].

2006 : Tönsmeier et Solvay fondent la "Energie Anlage Bernburg GmbH" (EAB) [104].

L'entreprise AEW Plan GmbH (basée à Cologne) est engagée pour la planification générale de l'unité d'incinération [104], acquise ensuite par Grontmij N. V. (aujourd'hui SWECO AB).

Pour l'ingénierie des structures, la société Wayss & Freytag Ingenieurbau AG a été engagée [105]. Le fournisseur de technologie était Baumgarte Standardkessel.

La même année, le processus de demande de permis est enclenché, avec étude des impacts environnementaux.

2008 : Début de la construction

Fin 2010 : Fin de la phase de démarrage à chaud de la ligne de combustion [107]. Début du fonctionnement de l'installation à plein régime [108] [104].

Divers

Tönsmeier et Solvay ont créé des emplois dans la région, ce qui renforce leur position localement. Au total, 50 nouveaux emplois ont été créés et 50 autres pourraient être ajoutés à ce nombre si l'on inclut les services externes offerts dans la région, tels que le tri et la logistique [108].



Figure 108: Unité abritant la turbine et canalisations d'alimentation en vapeur (RECORD, 2018)

Principal objectif de l'utilisation de RDF : Production de vapeur

L'objectif principal de cette installation est de fournir de la vapeur pour le site industriel de Solvay.

La vapeur directement livrée à Solvay est principalement utilisée comme vapeur de procédé. La vapeur qui n'est pas nécessaire à la production peut être utilisée pour produire de l'électricité pour le site de Solvay ou au réseau, dans le cas où Solvay n'en aurait pas besoin. La turbine est située dans les locaux de Solvay [108] [104].

VIII.9.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.9.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

1. Livraison
2. Aire de stockage du combustible (RDF)
3. Grue d'alimentation
4. Stockage des mâchefers
5. Grille et combustion
6. Générateur de vapeur (Chaudière)
7. Superchauffeurs
8. Préchauffage du circuit d'eau (économiseur)
9. Dépoussiérage de la chaudière

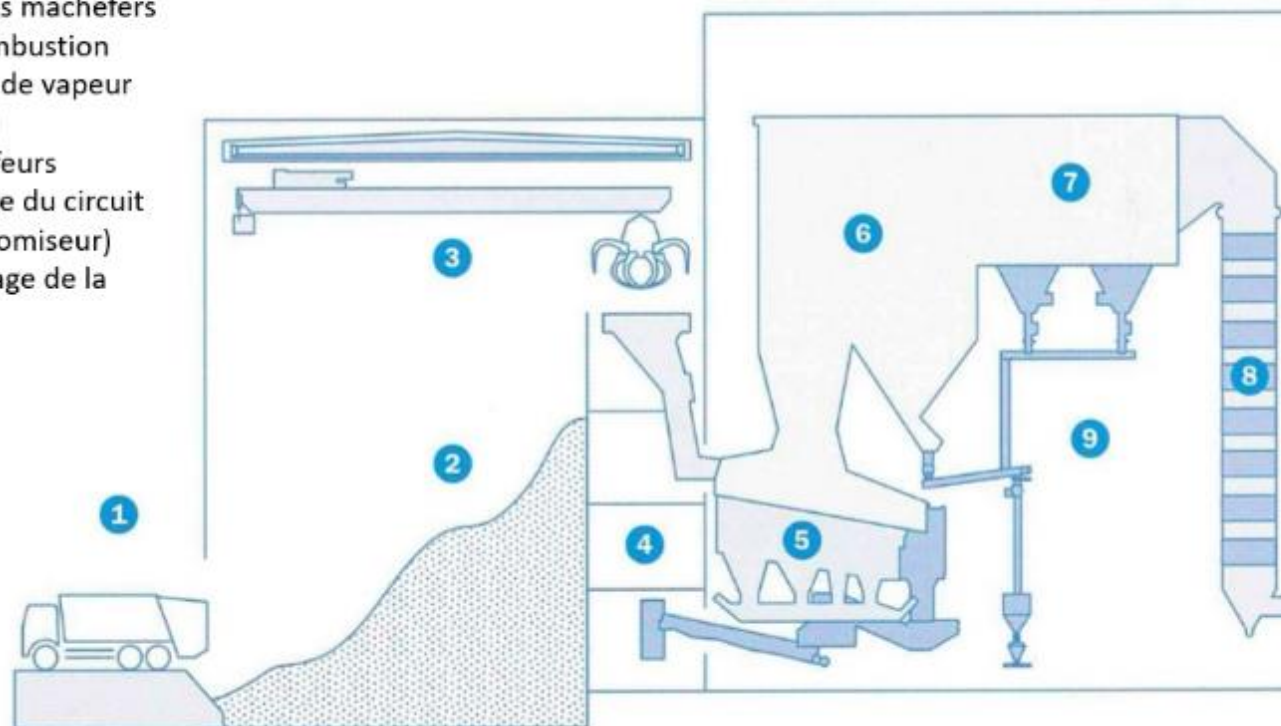


Figure 109: Diagramme technique de l'installation de Bernburg (compilation RECORD, 2018) (Tönsmeier, 2017)

Technologie de combustion : Four à grille mobile inclinée refroidie à l'eau à l'eau

L'incinération a lieu en 3 lignes d'incinération à grille mobile [109] [107]. Deux lignes sont refroidies à l'eau et la troisième est refroidie à l'air [104] [107].

L'installation est exploitée de manière plus stricte que les installations classiques d'incinération des déchets, étant donné qu'un approvisionnement continu en vapeur (même quantité et mêmes paramètres de qualité) doit être fourni au client. En fonction du pouvoir calorifique réel de l'entrée, il est parfois nécessaire d'augmenter le débit de combustible et/ou d'introduire du fioul dans l'incinérateur pour assurer la quantité et la qualité de vapeur requises.

Adaptabilité à d'autres combustibles

L'installation a été planifiée et conçue uniquement pour brûler des RDF, mais 10 à 15 % d'autres matériaux, tels que des déchets municipaux, peuvent être ajoutés au niveau du stockage du combustible RDF entrant.

Fonctionnement du four

L'installation a une puissance thermique de 214,5 MW.

L'installation est conçue pour un pouvoir calorifique de de 14 MJ/kg. Le pouvoir calorifique moyen du RDF est compris entre 12,5 et 13,5 MJ/kg.

Sur base de 450 000 t de RDF, cela correspond à une puissance thermique entrante d'environ 203 MW soit environ 1 625 GWh entrants sous forme de RDF (valeur calorifique de 13 MJ/kg).

Capacité

Le capacité maximale annuelle de l'installation est de 552 000 t de RDF [107].

La quantité moyenne annuelle de déchets brûlés s'élève à environ 450 000 t, dont 320 000 tonnes de RDF. L'apport réel de RDF et de déchets varie car il faut fournir une quantité et une qualité constante de vapeur.

Nombre d'heures de fonctionnement : 8000 h

L'installation d'incinération RDF est conçue pour une durée de fonctionnement de 8000h (par an).

Grâce à 3 lignes d'incinération séparées, la maintenance a un impact minime sur les heures de fonctionnement.

Production de chaleur

Environ 1 630 000 MWh/an (~1 780 000 t/an de vapeur de procédé), soit 203 MW. L'installation produit 240 t de vapeur par heure [104]. Une partie de cette puissance est envoyée en entrée de four (préchauffage de l'air et de l'eau).

Production d'électricité

Solvay peut en outre produire de l'électricité pour sa propre utilisation grâce à une turbine à condensation par commande-extraction (max. 35,7 MWel, max 150 t de vapeur/h) ou alimenter le réseau [104].

La vapeur peut également être extraite à pression moyenne comme vapeur de procédé et pour chauffer l'alimentation de la chaudière.

Propriétés vapeur

240 t de vapeur sont produites par heure à une température de 400 °C et une pression de 40 bar [109] [104].

Consommateurs d'énergie : Solvay

Contrôle des émissions

Le système de contrôle des émissions dispose de plus de 1000 points de mesure pour différents paramètres.

L'épuration des gaz de combustion est composée de plusieurs étapes:

- une réduction sélective non catalytique (SNCR) pour diminuer les émissions d'oxydes d'azote. Les gaz de combustion émergents sont dénitrifiés par injection d'urée dans la première partie de la chaudière. L'urée est convertie en ammoniac, qui réagit avec l'oxyde d'azote en diazote et en eau.
- une désulfuration au bicarbonate de soude (procédé SOLVAIR®) [108] [109]. Celui-ci est pulvérisé et injecté dans les gaz de combustion et réagit avec les acides pour former des sels, du dioxyde de carbone et de l'eau [104].
- l'injection de charbon actif. Le charbon actif absorbe les métaux lourds, les HAP, les dioxines et les furannes des gaz de combustion [104].
- un ensemble de filtres à manches élimine le charbon actif, les sels produits ainsi que les émissions de poussières liées [104].

Les gaz de combustion épurés sont émis par une cheminée haute de 60 mètres.

Gestion des résidus de combustion

158 300 tonnes de résidus de combustion sont produites chaque année, ce qui correspond à 35% des quantités de RDF entrantes, se répartissant comme suit (conformément aux codes déchet de l'ordonnance allemande sur la classification des déchets) [109].

- REFIOM (dangereux) (AVV 19 01 07*) (déchets solides provenant du traitement des gaz): 22 600 t/an (5%)
- Poussières de chaudière contenant des substances dangereuses (AVV 19 01 15*)[Mg/a]: 6 000 t/an (1,3%)
- Déchets de déferrailage des mâchefers (AVV 19 01 02)[Mg/a]: 129 700 t/an (29%)

Le traitement des REFIOM et des cendres de chaudières est effectué par 2 à 3 entreprises différentes pour garantir des capacités de traitement. Ces déchets dangereux sont ensuite utilisés pour le remblayage de décharges souterraines.

Les mâchefers sont traités par une entreprise de gestion des déchets et sont ensuite utilisés principalement à des fins de technique routière. Les métaux contenus peuvent être récupérés par l'entreprise de gestion des déchets, ce qui réduit les coûts de traitement.



Figure 110: Silo de stockage des cendres volantes (RECORD, 2018)

Autres

Le site ne produit pratiquement pas d'eaux usées.

L'installation RDF atteint un facteur R1 de 0,88 [109] et est donc classée en tant qu'installation de valorisation selon la directive-cadre européenne sur les déchets.

VIII.9.3.2. Propriétés du combustible



Figure 111: RDF dans l'aire de stockage (RECORD, 2018)

Combustibles utilisés

Les déchets utilisés (457 100 t/an) sont les suivants [109]:

- Déchets combustibles (RDF) (AVV 19 12 10) et autres déchets (y compris les mélanges de matières) provenant du traitement mécanique des déchets ne contenant pas de substances dangereuses (AVV 19 12 12)[t/a]: 320 000
- Déchets municipaux en mélange [t/a]: 49 100
- Autres déchets provenant des codes de déchets du chapitre 20 (déchets municipaux (déchets ménagers et déchets commerciaux, industriels et institutionnels similaires), y compris les fractions collectées séparément)[t/a]: 300
- Boues [t/a]: 18 800
- Tous les autres déchets [t/a]: 68 900

Le pouvoir calorifique moyen du RDF atteint en 2015 était de 13,2 MJ/kg.

Environ 450 000 t/a de déchets sont incinérées, la quantité exacte dépendant du PCI réel.

Tönsmeier produit et livre environ les deux tiers de la quantité de RDF totale nécessaire.

Les RDF incinérés proviennent d'un rayon allant jusqu'à 300 km.

Autres intrants énergétiques [109]

Électricité [MWh/a]: 28 500

Fioul [MWh/a]: 7 700

Autres types: vapeur basse pression [MWh/a]: 98 750

Le fioul est utilisé pour les opérations de démarrage et d'arrêt ainsi que comme combustible d'appoint pour assurer une quantité constante de vapeur.

Composition du RDF

Donnée non fournie

Contrôle qualité

Les spécifications définies doivent être respectées par chacun des fournisseurs de RDF. Le pouvoir calorifique est convenu contractuellement.

La première livraison est documentée. Les résultats sont vérifiés par un auditeur externe sur le site du fournisseur et lors de la livraison du RDF sur le site de l'installation du RDF. Il existe un système informatisé de rapportage, qui vérifie et enregistre le RDF à l'entrée.

Des échantillons de RDF sont régulièrement prélevés et analysés. De plus, un contrôle visuel de la qualité en deux étapes a lieu à l'entrée de l'aire de stockage [108].

Deux chargements de camions par jour sont sélectionnés pour l'échantillonnage aléatoire. Il faut décharger environ 1/3 du chargement et si la qualité est acceptée, le reste peut être déchargé. Si la qualité est insuffisante, le chargement du camion n'est pas accepté.

En outre, Tönsmeier dispose d'une "checklist de réception" comprenant les codes déchets pour identifier les types de déchets livrés et contrôler leur qualité, conformément à l'ordonnance allemande sur l'incinération des déchets (AVV).



Figure 112: Livraison de RDF- Bernburg (RECORD, 2018)

VIII.9.3.3. Mode de production du RDF

Site de production :

Tönsmeier livre environ 2/3 du RDF utilisé à Bernburg. Tönsmeier produit une partie du RDF dans son usine d'Oppin (Saxe-Anhalt), à environ 50 km de Bernburg.

Mode de production :

A Oppin, le procédé est un traitement mécanique des déchets municipaux et industriels [108]. Pendant le traitement, les métaux et les combustibles nocifs (non dangereux) sont séparés et les parties à haut pouvoir calorifique sont broyées [108].

Le rendement est supérieur à 50% (plus d'une tonne de RDF peut être produite à partir d'environ deux tonnes de déchets) si l'on tient compte de la composition de la matière première initiale et des procédés de traitement [108].

Pas d'information concernant les autres fournisseurs.

Critères d'acceptation des déchets entrants

Les RDF utilisés sont produits à partir de déchets municipaux prétraités ou triés, de déchets assimilés aux déchets ménagers provenant du commerce et de déchets industriels ayant un PCI défini. Les proportions entre les types de déchets utilisés ne sont pas connues.

Les déchets dangereux ne sont pas utilisés pour la production de RDF.

VIII.9.4. Conditions administratives

Terminologie

Le terme de Ersatzbrennstoffe (EBS) est utilisé pour désigner le RDF.

Normes et standards de qualité

Le site possède ses propres spécifications de qualité. L'assurance de la qualité est réalisée par des contrôles continus internes et externes.

Tableau 67 : Bernburg- Spécifications RDF - Propriétés physiques

Propriété physiques		Max.	Min.	Autres exigences
Granulométrie	mm	< 500mm		Taille des pièces (a= longueur, b= largeur, c= profondeur) a,b,c<500mm a+b+c<1200mm Bandes:<2000 mm*
Contenu en fines	% MB			90%>3mm

MB: matière brute

La granulométrie, qui constitue un paramètre particulièrement important, est déterminée par le diamètre. Un RDF de plus grande granulométrie pourrait potentiellement bloquer le flux continu d'intrants et, par conséquent, augmenter la nécessité d'incinérer du pétrole et donc augmenter les coûts.

Tableau 68 : Bernburg- Spécifications du RDF - Propriétés chimiques

		Max ⁴⁹	Min.	Médiane	80 % percentile
Pouvoir calorifique	kJ/kg MB	<30000	>4000	15000	
Densité	Kg/m ³ MB	<500	>150		
Contaminants					
Métaux ferreux	% MB	<4,0%	<2,0%		
Aluminium	% MB	<1,5%	<0,7%		
Composition					
Teneur en humidité	% MS			<30%	<35%
Soufre	% MS	2,0		<1,0%	<1,5%
Chlore	% MS	<3,0		<1,2%	1,8%
Fluor	% MS	0,4		<0,1%	<0,2%
Teneur en cendres ⁵⁰⁵¹	% MS			<20%	<30%
Teneur en métaux lourds					
Antimoine	mg/kg MS	200		50	100
Arsenic	mg/kg MS	50		10	10
Béryllium	mg/kg MS	20		3	5
Plomb	mg/kg MS	700		300	600
Cadmium	mg/kg MS	25		10	20
Chrome	mg/kg MS	500		200	250
Cobalt	mg/kg MS	30		15	20
Cuivre	mg/kg MS	2000		900	1200
Manganèse	mg/kg MS	800		300	500
Nickel	mg/kg MS	400		150	200
Mercuré	mg/kg MS	3		1	2
Thallium	mg/kg MS	6		2	5
Vanadium	mg/kg MS	60		25	30
Etain	mg/kg MS	300		50	80
Zinc	mg/kg MS	1350		700	1000
Tellure	mg/kg MS	15		5	8
Sélénium	mg/kg MS	15		5	8
Contaminants chlorés					
PCP	mg/kg MS	30		10	10
PCB	mg/kg MS	30		10	10
Chlorobenzène	mg/kg MS	30		10	10
Cyanides, dioxines, Furanés, PAH	Le fournisseur est tenu de fournir une documentation d'analyse avant la livraison initiale, puis chaque trimestre, concernant la dangerosité du RDF fournie (dangerosité conformément à l'article 3, paragraphe 2, de l'Ordonnance sur l'incinération des déchets (AVV) en ce qui concerne leur teneur et leur concentration en cyanures, dioxines, furannes et HAP).				

MB: matière brute

MS: matière sèche

Permis – Incinération

⁴⁹ Valeur maximales: valeurs mesurées sur des analyses individuelles (livraisons par camions)

⁵⁰ Comprend les contaminants listés ci-dessus

⁵¹ En cas d'augmentation de ces valeurs, le fournisseur est responsable des frais supplémentaires éventuellement encourus pour l'élimination. Pour tous les paramètres s'applique qu'en plus des exigences du présent document de spécification, toutes les exigences incluses dans le document d'approbation doivent également être respectées.

Les exigences en matière de permis sont régies par l'ordonnance fédérale sur la protection contre les émissions 17. BImSchV, qui établit des valeurs limites d'émissions, comme souligné dans la section sur les émissions, et une capacité maximale pour l'installation. D'autres exigences, comme par exemple la réduction des risques d'incendie ou le traitement des déchets sont également spécifiées dans la 17. BImSchV [110].

En outre, les §§ 4,6,8 et 10 de la BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Loi fédérale sur la protection des émissions) qui régissent les conditions du permis et la procédure d'approbation s'appliquent [111].

Le permis pour l'installation est conforme au § 10 du § 4. BImSchV, ce qui signifie que le processus d'approbation du permis est ouvert au public [104].

Les règlements établis dans la 17. BImSchV pour les installations d'incinération des déchets s'appliquent.

Réglementation RDF

Il n'y a pas de différence par rapport l'incinération conventionnelle des déchets en termes de réglementation.

Valeurs limites d'émission

Les valeurs d'émission pour les installations d'incinération des déchets fixées dans le 17. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung, ordonnance fédérale allemande sur la protection contre les émissions). Le 17. BImSchV régule les NO_x, Hg, SO₂, HCl, CO, CO, TOC, poussières, NH₃, HF, avec les valeurs limites correspondantes indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 69: Bernburg- Valeurs limites d'émission (compilation RECORD, 2018) (Tönsmeier, 2017)

Émissions surveillées en mg/m ³	Valeur moyenne sur une demi-heure max.	Valeur moyenne journalière
NO _x	400	200
Hg	0.05	0.03
SO ₂	200	50
HCl	60	10
CO	100	50
TOC	20	10
Poussières	20	5
NH ₃	15	10
HF	4	1

Le fluorure d'hydrogène est également contrôlé par les autorités locales de Bernburg, conformément à ce qui stipulé dans le permis.

Les valeurs mesurées sont transmises quotidiennement aux autorités compétentes par voie électronique. Les valeurs moyennes n'ont pas été diffusées.

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone : Il n'existe pas de quotas de CO₂ en Allemagne pour les incinérateurs de déchets.

Soutiens énergie renouvelable : Pas de soutiens aux énergies renouvelables

Exceptions ou exemptions locales : aucune exception locale n'est relevée

Statut de déchet : Il n'existe pas de critères de sortie de statut de déchet pour les RDF en Allemagne.

Gestion des résidus de combustion

Le 17. BImSchV spécifie que le traitement des cendres doit être effectué selon la loi BImSchG et la hiérarchie des déchets établie dans la KrGW (Kreislaufwirtschaftsgesetz – loi sur l'économie circulaire). En outre, les 17. BImSchV § 5 stipule que les installations doivent être exploitées de manière à ce que

les cendres et les boues représentent moins de 3 % du carbone organique total ou une perte d'inflammation inférieure à 5 % du poids sec.

Le §12 stipule que les cendres volantes et les poussières de chaudière doivent être enregistrées séparément et avant la récupération ou l'élimination du potentiel polluant. En particulier, les propriétés physiques et chimiques des cendres et la teneur en impuretés nocives doivent être déterminées. L'analyse est effectuée pour la fraction soluble totale et les métaux lourds dans les fractions solubles et insolubles [110].

VIII.9.5. Conditions économiques

Evolutions du modèle d'affaires

Le modèle d'affaires n'a pas changé depuis la mise en service de l'installation. L'objectif de l'installation est resté de fournir de la vapeur au partenaire Solvay.

Typologie des consommateurs d'énergie

La demande en vapeur de Solvay est intégralement couverte par l'installation dédiée à l'incinération de RDF.

Tableau 70 : Canalisations alimentant l'usine Solvay en vapeur (RECORD, 2018)



Contrats

Les fournisseurs de RDF ont des contrats différents, allant des contrats spot (<1 an) aux contrats à moyen terme (3-5 ans) jusqu'aux contrats à long terme (>10 ans).

Les différentes durées de contrat sont différentes afin de minimiser le risque de changement de prix pour les RDF et de garantir une quantité et une qualité constantes.

Structure des recettes

La structure des recettes n'a pas été communiquée.

Soutiens

L'installation n'a pas reçu de subsides. Il n'y a pas de subsides en place en Allemagne pour le secteur.

Structure des coûts

Les coûts d'investissement pour le système de contrôle des émissions se sont élevés à environ 10 millions d'euros.

L'installation nécessite 50 employés.

Aucune autre information n'a été fournie concernant la structure des coûts.

Taxation et quotas CO₂

Aucun dispositif particulier en place.

VIII.9.6. Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Facteurs clés de succès

Technologie

- Technologie d'incinération robuste et éprouvée.
- Trois lignes d'incinération séparées permettent un processus et un apport continu de vapeur (également pendant la maintenance).
- La taille de l'installation a été conçue pour répondre exactement à la demande de vapeur de Solvay.

Politiques publiques

La directive-cadre européenne sur les déchets (directive 2008/98/CE), qui établit un cadre juridique pour le traitement des déchets au sein de l'Union européenne, a permis le développement des installations de RDF en Allemagne [112].

La mise en œuvre de la TAsi a été bénéfique pour le développement de l'installation [113].

La TAsi, en 1993, a limité le stockage des déchets aux déchets prétraités ou inertes. La mise en décharge des déchets combustibles avec un PCI supérieur à 6 MJ/kg a également été interdite. L'interdiction a été appliquée en 1993 avec des exemptions jusqu'en 2005, car les capacités de traitement étaient alors insuffisantes. La mise en œuvre de la TAsi et de la hiérarchie des déchets a conduit à une augmentation des capacités de traitement des déchets ménagers et des déchets industriels non dangereux. Après la mise en œuvre intégrale en 2005, le secteur d'utilisation de RDF s'est développé pour soutenir le développement des installations de préparation de combustibles (traitement mécanique et mécano-biologique).

Modèle d'affaires

- La complémentarité des acteurs. Tönsmeier dispose d'une longue expérience dans la gestion des déchets et en particulier dans l'incinération RDF, tandis que Solvay possède des connaissances dans le domaine de la technologie et du fonctionnement des turbines.
- Partenariat de long-terme avec le consommateur d'énergie. Solvay a établi un contrat de long terme avec le site, ce qui garantit une demande et un chiffre d'affaires continus pour la chaleur fournie. Solvay est également co-actionnaire du site.
- Intégration de la préparation des RDF. Le RDF est principalement produit et incinéré par Tönsmeier qui est préparateur de RDF et opérateur du site d'incinération, ce qui diminue le besoin en contrôle qualité. L'origine des déchets utilisés et leur qualité sont connues.

Relations publiques

Le travail de relations publiques a été d'une grande importance pour obtenir le permis et exploiter l'usine.

Freins et leviers

Un risque ou une difficulté potentielle identifié par l'exploitant de l'usine est le rétrécissement des capacités de production de déchets depuis 2010 et donc un risque d'augmentation des prix du RDF.

Perspectives

Aucune information communiquée

Transposition

- Par certains aspects, l'installation de Bernburg ne se conforme pas à la vision de la filière CSR en France :
 - Installation considérée comme un incinérateur et non soumise aux quotas de CO₂
 - Acceptation de RDF et d'autres déchets dans une même installation, certains d'entre eux (boues) n'atteignant pas le PCI de 12 MJ/kg. La qualité constante des combustibles exigée en France n'est pas nécessairement assurée.
 - Le contrôle qualité est volontaire et ses modalités sont à l'appréciation de l'utilisateur et du fournisseur.
- Par d'autres aspects, l'installation est alignée sur les principes de la réglementation française :
 - Dimensionnement pour un besoin en chaleur
 - Efficacité énergétique supérieure à 70%
 - L'organisation volontaire globale du contrôle qualité (contrôle visuel et caractérisations). Le nombre et la nature des paramètres suivi n'est pas connu.

VIII.9.7. Détails sur la visite

Date : 30/05/2017

Adresse : Energie Anlage Bernburg GmbH (EAB); Köthensche Straße 3a; 06406 Bernburg

Contacts

Nom	Responsabilité	Organisation	Détails du contact
Dr. Bleckwehl	Directeur opérationnel (Energie Anlage Bernburg)	Tönsmeier	T: +49 34 71/68 98-0 W: http://www.energieanlage-bernburg.de
Dr. Krüger	Directeur technique, consultant	Tönsmeier	

VIII.10. EBS Kraftwerk Witzenhausen (Allemagne)

VIII.10.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : EBS Kraftwerk Witzenhausen

Adresse: Kasseler Landstr. 23, 37213 Witzenhausen, Allemagne

Employés : 30

Capacité: 130 MW de puissance thermique nominale

Quantités de RDF: 320 000 t/an

Opérateur: DS Smith opère le site en fournissant les employés.

Actionnaires : B+T Energie GmbH est la société propriétaire du site.

B+T Energie fait partie du B+T Group.

Le groupe B+T rassemble un ensemble de sociétés individuelles actives dans la gestion, la logistique et le traitement des déchets et notamment dans la préparation de RDF. B+T Group est également actif dans la fourniture d'énergie et dans la gestion des résidus de combustion.

Consommateur d'énergie : DS Smith

DS Smith paie B+T Energie pour l'énergie fournie.

DS Smith est une entreprise britannique papetière et d'emballage basée à Londres fondée en 1940.

Historique du site

La papeterie de Witzenhausen a été construite en 1975, acquise par SCA en 1996 puis par DS Smith en 2012. 340 000 tonnes de papier sont produites par an à Witzenhausen.

VIII.10.2. Historique et description des activités

Historique

La principale motivation pour la construction d'un incinérateur de RDF était la recherche d'un prix de l'énergie compétitif.

- 2007 : début de la construction de l'incinérateur de RDF par la société autrichienne d'énergie et d'environnement AE&E (aujourd'hui partie intégrante d'Andritz AG).
- 2009 : mise en service de l'incinérateur de RDF qui alimente la papeterie de DS Smith localisée sur le même site en vapeur et en électricité.

Principal objectif de l'utilisation de RDF : Production de vapeur et d'électricité pour DS Smith

La demande de vapeur et d'électricité de DS Smith est presque constante toute l'année et est entièrement couverte par l'usine RDF. Une chaudière d'appoint à gaz est disponible.

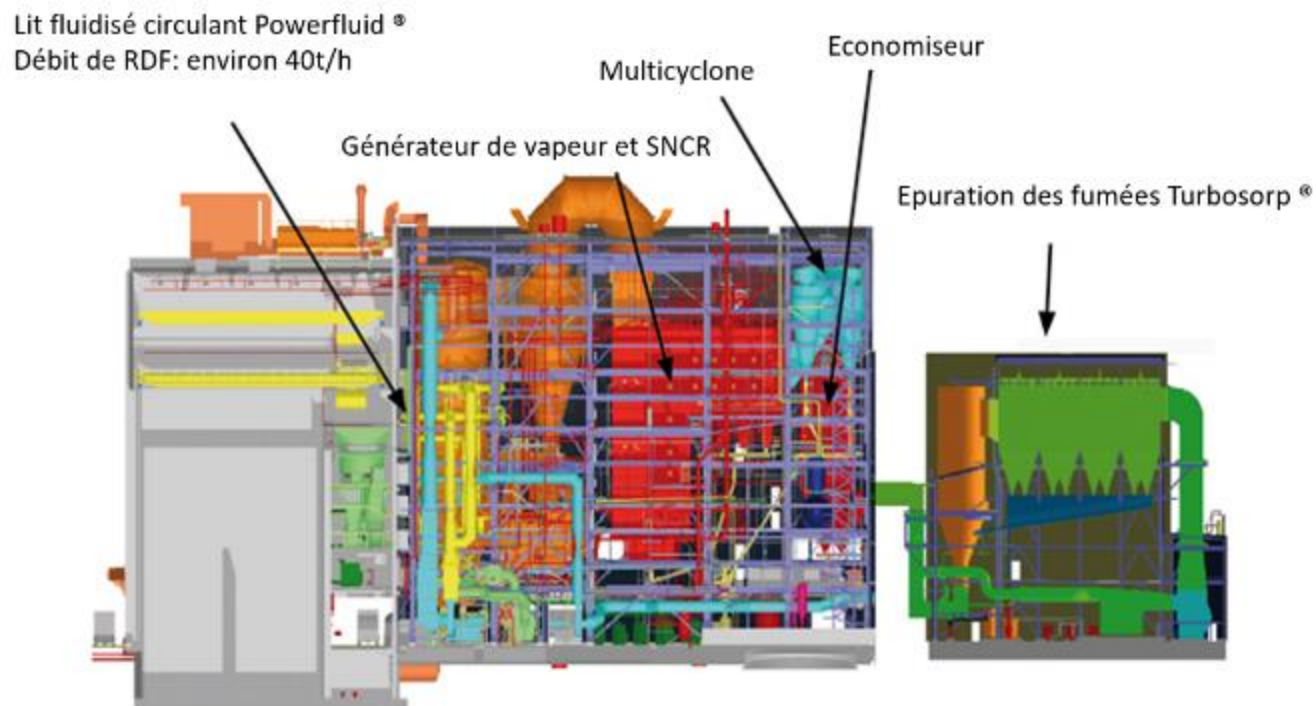
De plus, de l'électricité est fournie au réseau.



VIII.10.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.10.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

Figure 113: Diagramme technique de l'installation de Witzenhausen (compilation RECORD, 2018) (B+T, 2017)



L'épuration des fumées Turbosorp® est une technique d'épuration des fumées semi-sèche basée sur le principe d'un lit fluidisé.

Technologie de combustion : Lit fluidisé circulant

La technologie de lit fluidisé circulant a été choisie en raison d'un espace disponible très limité pour la construction (environ 5 000 m²) et de besoins en puissance thermique élevés (130 MW).

A l'époque la seule technologie de combustion permettant de répondre à ces contraintes était la technologie à lit fluidisé circulant sur une seule ligne. Actuellement, il serait possible de satisfaire ces besoins en espace et en puissance en utilisant la technologie de four à grille et cette option serait recommandée par les personnes rencontrées.

Adaptabilité à d'autres combustibles

L'installation RDF dédiée est conçue pour l'incinération de RDF. D'autres fractions de déchets ne peuvent être incinérées qu'avec une reconstruction substantielle de l'installation, ce qui n'est pas prévu.

Fonctionnement du four

Capacité thermique nominale : 130 MW

Puissance thermique entrante (RDF) : 124 MW

Energie entrante (RDF) : 930 GWh (sur base de 7500 heures de fonctionnement)

Environ 6MW d'air préchauffé entrent également dans la chaudière.

Pouvoir calorifique entrant moyen : 11 MJ/kg

Capacité

L'installation était initialement prévue pour 265 000 t/a de RDF avec 7 600 h d'exploitation et un pouvoir calorifique moyen de 13,5 MJ/kg.

La demande annuelle de RDF, relativement constante (2011-2016), est en moyenne de 320 000 t/a, avec un fonctionnement d'environ 7 500 h et un pouvoir calorifique moyen de 11 MJ/kg.

En outre, du fioul est utilisé pour les opérations de démarrage et d'arrêt. En moyenne, environ 1 l de fioul est nécessaire pour 1 t de RDF incinéré.

Nombre d'heures de fonctionnement

2016 : 7498 h

Il y a eu un seul arrêt annuel pour la maintenance de l'installation.

Production de chaleur

En moyenne 60-65 MWth de vapeur basse pression est produite et fournie à DS Smith (maximum 80 MW), soit environ 470 GWh.

Production d'électricité

- 14-16 MWel d'électricité sont fournis à la papeterie (112,5 GWh)
- 5-7 MWel sont fournis au réseau (45 GWh)

Propriétés vapeur

156 t/h

Pour la production d'électricité

- Température : 450°C
- Pression : 65 bar

Vapeur basse pression

- Température : 200°C
- Pression : 8 bar

La vapeur basse pression est extraite d'une turbine à extraction condensation et fournie à la papeterie (environ 60% de la vapeur produite est vendue à DS Smith Paper) en tant que vapeur de procédé et une faible proportion est utilisée pour le chauffage des locaux. La vapeur de basse pression est également utilisée pour l'autoconsommation du site.

La vapeur est distribuée via des canalisations de 120-130 m de long.

Consommateurs d'énergie : DS Smith (vapeur et électricité), réseau électrique

Contrôle des émissions

Les étapes suivantes constituent les étapes du système d'épuration des fumées :

- Dénitrification non-catalytique (SNCR)
- Multi-cyclone pour le dépoussiérage
- Economiseur pour préchauffer le circuit d'eau
- [Turbosorp](#)® : Les fumées circulent à travers un turboréacteur du bas vers le haut. Les cendres volantes provenant de l'incinération et des additifs frais (chaux) sont dosés dans le turboréacteur, en présence d'eau pour abaisser la température des gaz de combustion et obtenir une meilleure performance de séparation. Une grande partie de la matière solide récupérée dans les filtres à manches en aval est recyclée dans le lit fluidisé Turbosorp. Les fumées entrent ensuite dans un dispositif de contrôle des particules en aval, qui peut être soit un filtre à manches, soit un précipitateur électrostatique (pour cette installation il s'agit d'un filtre à manches).
- Filtre à manches

Toutes les valeurs limites fixées par la législation sont respectées.

Les émissions sont mesurées en continu conformément à l'autorisation et sont enregistrées automatiquement par un système de mesure.

En outre, des mesures individuelles sont prises pour l'HF, les dioxines, Cd+TI, la somme de: Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn, la somme de: As, Ba, Pb, Cd, Co, Cr.

Gestion des résidus de combustion

L'élimination et l'assurance qualité des cendres sont assurées par B+T Cineris, filiale de B+T Energie. Les résidus de combustion représentent 24 à 25% de la quantité de RDF entrante.

- Les mâchefers, les cendres du cyclone et les cendres de chaudière sont classées comme déchets non dangereux. Ces résidus sont utilisés en technique routière et de décharges après traitement. (20-22%)
- Les cendres volantes sont utilisées pour remblayer les dépôts souterrains (déchets dangereux). (3-5%)

Autres

Le site opère pratiquement sans eaux usées.

L'installation atteint un facteur R1 de 65%.

VIII.10.3.2. Propriétés du combustible

Le RDF utilisé a un pouvoir calorifique moyen d'environ 11 MJ/kg.

Le RDF n'est pas repressé sur site avant utilisation.



Figure 114 : RDF dans l'aire de stockage (RECORD, 2018)

Composition du RDF

Le RDF utilisé est classé comme du fluff, avec une granulométrie inférieure à 250 mm (nécessaire en raison de la technique de lit fluidisé utilisée). En moyenne, la granulométrie est inférieure à 80 mm. La teneur en carbone biogénique est d'environ 52 % et la teneur en chlore est d'environ 1,5 à 2 %.

VIII.10.3.3. Mode de production du RDF

Site de production :

Le site est approvisionné par 5 fournisseurs de RDF situés dans un rayon d'environ 150-200 km. Deux de ces fournisseurs appartiennent au groupe B+T : les installations de traitement mécanique de Weidenhausen et de Buseck. Les 3 autres fournisseurs sont les installations de traitement mécano-biologique de Deiderode, de Sachsenhagen située en Basse-Saxe et de Westerwald en Rhénanie-Palatinat.

Environ 2/3 des RDF utilisés proviennent de l'installation de traitement mécanique de B+T de Weidenhausen.

Mode de production : Traitement mécanique

Le RDF est préparé en utilisant uniquement un traitement mécanique et est produit à partir des déchets ménagers résiduels, provenant principalement du nord de la Hesse et du sud de la Basse-Saxe.

Le B+T Weidenhausen utilise les ordures ménagères des communes de Lahn-Dill, Kassel, Werra-Meißner, Hersfeld-Rottenburg, Vogelsbergkreis & Fulda.

Le rendement de production est de l'ordre de 50% (1 tonne de RDF pour 2 tonnes de déchets entrantes).

VIII.10.4. Conditions administratives

Terminologie

Les combustibles sont appelés Ersatzbrennstoffe (EBS) ou « fluff ».

Normes et standards de qualité

Le site utilise des standards de qualité fixés en interne. Ces exigences n'ont pas été partagées.

Permis – Incinération

Les exigences en matière de permis sont régies par la 17. BImSchV, qui établit des normes pour les valeurs d'émission, comme souligné dans la section sur les émissions, et une capacité maximale pour l'installation. D'autres exigences, comme par exemple la réduction des risques d'incendie, le traitement des déchets, sont également spécifiées dans la 17. BImSchV.

Le 17. BImSchV fait partie de la mise en œuvre de la directive sur les émissions industrielles qui concerne, entre autres, les incinérateurs pour la production d'énergie de plus de 50 MW.

Le permis n'est pas disponible.

Réglementation RDF

Il n'y a pas de différence par rapport l'incinération conventionnelle des déchets en termes de réglementation.

Valeurs limites d'émission

Les valeurs d'émission pour les installations d'incinération des déchets fixées dans le 17. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung, ordonnance fédérale allemande sur la protection contre les émissions). Le 17. BImSchV régule les NO_x, Hg, SO₂, HCl, CO, CO, TOC, poussières, NH₃, HF, avec les valeurs limites correspondantes indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 71: Witzenhausen- Valeurs limites d'émission (compilation RECORD, 2018) (B+T, 2017)

Émissions surveillées en mg/m ³	Valeur moyenne sur une demi-heure max.	Valeur moyenne journalière	Valeur mensuelle moyenne
NO _x	400	150	<90.24
Hg	0.05	0.03	ND
SO ₂	200	50	<1.41
HCl	60	10	<7.78
CO	100	50	ND
TOC	20	10	<1.37
Poussières	20	5	<1.81
NH ₃	15	10	ND
HF	4	1	ND

ND : Non Disponible

Les valeurs moyennes atteintes ont été diffusées et sont bien en deçà des valeurs limites d'émission.

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone : Il n'existe pas de quotas de CO₂ en Allemagne pour les incinérateurs de déchets.

Soutiens énergie renouvelable : Pas de soutiens aux énergies renouvelables

Exceptions ou exemptions locales : aucune exception locale n'est relevée

Statut de déchet : Il n'existe pas de critères de sortie de statut de déchet pour les RDF en Allemagne.

Gestion des résidus de combustion

Le 17. BImSchV spécifie que le traitement des cendres et des poussières filtrantes doit être effectué selon la loi BImSchG et la hiérarchie des déchets établie dans la KrGW (Kreislaufwirtschaftsgesetz – loi sur l'économie circulaire). En outre, les 17. BImSchV § 5 stipule que les installations doivent être exploitées de manière à ce que les cendres et les mâchefers représentent moins de 3 % du carbone organique total ou une perte d'inflammation inférieure à 5 % du poids sec.

Le §12 stipule que les cendres volantes et les poussières de chaudière doivent être enregistrées séparément et avant la récupération ou l'élimination du potentiel polluant, en particulier les propriétés physiques et chimiques et la part des impuretés nocives doivent être déterminées. L'analyse est

effectuée pour la fraction soluble totale et les métaux lourds dans les fractions solubles et insolubles.
17 BimschV.

VIII.10.5. Conditions économiques

Evolutions du modèle d'affaires

Le modèle d'affaires n'a pas changé depuis la mise en service.

Typologie des consommateurs d'énergie

L'intégralité de la demande en chaleur et en électricité de DS Smith est couverte par l'incinérateur de RDF.

Contrats

Pour la fourniture d'énergie

Un contrat fixe à long terme de plus de 15 ans (depuis 2009) est en place avec DS Smith Paper. Après la fin des contrats, un nouveau contrat sera négocié.

On estime que les prix de la vapeur et de l'électricité ne changeront pas radicalement. Il a été mentionné, cependant, que les prix devraient théoriquement augmenter (principalement en raison du taux d'inflation) mais comme l'installation sera amortie après 15 ans, des prix similaires aux prix actuels sont envisagés également pour le futur contrat. Aucune autre information concernant les contrats n'a été divulguée (par ex. prix de l'électricité, etc.).

Pour l'approvisionnement en déchets

Les fournisseurs de RDF ont des contrats de 3 à 5 ans ou des contrats spot (<1an). Environ 70% de la quantité de RDF est fournie par des préparateurs ayant des contrats à moyen terme de 3 à 5 ans.

Aucun autre détail concernant les contrats n'a été fourni.

Structure des recettes

Les revenus de l'installation peuvent être partagés à environ 50/50 entre les revenus provenant des déchets et ceux provenant de la vente d'énergie.

Soutiens

Un soutien financier a été fourni au titre de la cogénération, sur base de 40.000 h de fonctionnement en cogénération.

La valeur exacte de la subvention n'a pas été communiquée, mais elle était négligeable par rapport à l'investissement total réalisé pour l'installation (voir ci-dessus) et ne constituait pas la base de l'investissement.

Structure des coûts

Les coûts d'investissement se sont élevés à 127 M€ (clé en main).

L'incinérateur de RDF compte environ 30 employés et 20 employés sont nécessaires pour le processus opérationnel.

Les coûts de maintenance annuels sont très élevés, ils sont actuellement 3 à 4 fois plus élevés que prévu en 2009. Le coût annuel exact de maintenance n'a pas été divulgué.

Environ 12 à 13 % des recettes totales doivent être consacrés chaque année à l'élimination des cendres. Les coûts de l'élimination des cendres ont considérablement augmenté ces dernières années. On estime que les prix ont triplé entre 2006 et 2017.

Taxation et quotas CO₂

Pas pertinent puisqu'il n'y a pas de quotas de CO₂ ou de taxes spécifiques en place pour les usines dédiées aux RDF.

VIII.10.6.Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Facteurs clés de succès

- L'existence d'un partenaire industriel avec une forte demande en vapeur et en électricité combinée à des contrats initiaux à long terme de plus de 15 ans.
- Le RDF est, dans une large mesure, produit dans une usine associée (Groupe B+T), ce qui réduit l'effort nécessaire pour le contrôle de la qualité.
- B+T avait une bonne connaissance de la situation régionale sur le marché des déchets, ce qui constituait un avantage.

Freins et leviers

Une des difficultés est la technologie utilisée, car les coûts de maintenance sont très élevés. Lors de la construction de l'usine, il n'existait aucune autre technologie ayant le même débit de vapeur et la taille requise. Les personnes interrogées ont déclaré qu'aujourd'hui, avec les progrès de la technologie de fours à grille, l'incinération en lit fluidisé circulant ne serait pas choisie.

Perspectives

Il n'est pas attendu que la demande en énergie diminue puisque l'usine de papier prévoit d'augmenter sa production de papier de 20% au cours des quatre prochaines années.

Transposition

- Par certains aspects, l'installation de Witzenhausen ne se conforme pas à la vision de la filière CSR en France :
 - Installation considérée comme un incinérateur et non soumise aux quotas de CO₂
 - Teneur en chlore pouvant être supérieure aux seuils définis en France
 - Pouvoir calorifique moyen inférieur au seuil de 12 MJ/kg défini par la réglementation française pour les CSR
 - Utilisation de standards qualité fixés en interne par l'utilisateur (et non réglementaires). On s'attend à une caractérisation moins exhaustive et éventuellement moins fréquente qu'exigée en France.
- Par d'autres aspects, l'installation se conforme aux principes de la réglementation française :
 - Dimensionnement pour un besoin en chaleur
 - Efficacité énergétique supérieure à 70% (82% environ)

VIII.10.7.Détails sur la visite

Date : 25.07.2017

Adresse : Kasseler Landstr. 23, 37213 Witzenhausen, Germany

Contacts :

Nom	Responsabilité	Organisation	Détails du contact
Mr. Thomas Lahmer	Directeur de l'installation	B+T Energie GmbH	Tel. +49(0)5542/502-375 Email: t.lahmer@bt-umwelt.de

VIII.11. Landskrona Kraft AB (Suède)

VIII.11.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Landskrona Kraft AB

Adresse: Gasverksgatan 2 261 35
Landskrona, Suède

Employés : 26

Quantités de RDF utilisées: 60 000 tonnes

Opérateur et propriétaire: Landskrona Energie, entreprise détenue par la municipalité de Landskrona.

Landskrona a construit son réseau de chauffage urbain au début des années 80. Il était initialement alimenté par des combustibles fossiles. A partir de 1983, il a également été alimenté par 2 chaudières à copeaux de bois. A l'origine, ces opérations étaient directement contrôlées par la municipalité.

Landskrona Energie a été créée en 2011 sous la forme d'une société distincte, entièrement détenue par la municipalité de Landskrona.



Consommateur d'énergie : Réseau de chaleur urbain de Landskrona, Lund et Helsingborg.

Historique de la gestion du site : Landskrona Energie possède et exploite l'usine depuis sa mise en service en 2012.

VIII.11.2. Historique et description des activités



Figure 115: Installation dédiée à la combustion de RDF de Landskrona Energie (RECORD, 2018)

Historique

- 1999 : La municipalité de Landskrona lance un projet de construction d'un incinérateur de déchets non dangereux destiné à alimenter le réseau de chauffage urbain. Initialement, le projet reposait sur un approvisionnement en déchets municipaux en mélange (non préparés). A l'époque, le projet était motivé par:
 - la nécessité d'augmenter la production de chauffage urbain pour répondre à la demande d'une communauté locale croissante ;
 - la volonté de réduire la pression sur les chaudières existantes à bois et d'augmenter ainsi leur durée de vie ;
 - la volonté de poursuivre et de réduire la dépendance aux énergies fossiles.
- Le prix du carburant et la politique locale de gestion des déchets n'ont pas joué un rôle important dans la décision.
- 2003 : Le permis environnemental a été délivré pour cette installation mais a été contesté et porté en appel.
 - Début 2004 : En raison des délais d'appel il a été décidé d'abandonner le projet et d'établir une connexion entre le réseau Landskrona et le réseau d'Helsingborg (30 km de centre-ville à centre-ville) afin de répondre aux besoins en chauffage urbain.
 - Fin 2009 : Etant donné que la communauté locale était en pleine croissance et que les opinions politiques locales avaient changé, Landskrona a décidé de reprendre le projet d'incinérateur de déchets. Le permis environnemental était toujours valide. Cependant, comme la ville voisine d'Helsingborg souhaitait également construire un incinérateur de déchets pour alimenter le réseau commun de chauffage urbain et qu'un autre incinérateur était déjà présent à Malmö, il a été décidé de construire un incinérateur de déchets non dangereux à Helsingborg et une installation capable de brûler du RDF et de la biomasse à Landskrona. L'objectif était d'avoir plus de flexibilité et d'assurance sur l'approvisionnement futur en combustibles déchets dans la région. Landskrona a décidé d'utiliser des RDF préparés à partir de déchets industriels (et non de déchets municipaux), afin d'éviter les nuisances olfactives pour les voisins et pour les employés.

- 2011 : création de la société Landskrona Energie, détenue par la municipalité. Cette société a géré le projet. L'enchère a été séparée en 7 lots. Volund a obtenu le lot « de la grue à la cheminée » comprenant la grue et la trémie d'alimentation, la chaudière et le système de nettoyage des gaz d'échappement. La turbine a été fournie par Fincantieri. Les travaux de construction et les équipements de chauffage urbain (condensateurs...) ont fait l'objet d'une offre séparée.
- 2012 : L'installation est mise en service en 2012.
- Entre 2012 et 2016, l'installation a dû être arrêtée pendant l'été, car l'incinérateur municipal d'Helsingborg fonctionnait encore et suffisait à alimenter les besoins en chaleur du réseau.
- 2016 : Lund a rejoint le réseau de chauffage urbain. Depuis, la demande de base du réseau (en été) a augmenté. C'est pourquoi l'unité de combustion de RDF de Landskrona et l'incinérateur de déchets de Helsingborg peuvent travailler ensemble pendant la période estivale, tandis que les unités de combustion de biomasse de Lund et Landskrona sont arrêtées. C'était une décision gagnante pour toutes les collectivités.
Les chaudières à copeaux de bois ne sont mises en service que 4 à 5 mois par an, pendant la période de charge moyenne du réseau de chauffage urbain. Cela a considérablement allongé la durée de vie de ces chaudières, qui devraient pouvoir durer au moins 10 ans de plus (>35 ans au total).

Quelques évolutions ont été apportées au site depuis sa mise en service:

- Le matériau des barreaux de la grille a été remplacé (fonte alliée). Le matériau initial a duré de 4 à 5 mois. Une autre entreprise l'a changé et maintenant il dure environ 2 ans.
- Une séparation des grosses fractions de mâchefers à l'aide d'un tamis a été introduite pour éviter l'altération de la bande transporteuse.

La plupart des systèmes d'épuration des effluents gazeux sont restés les mêmes.

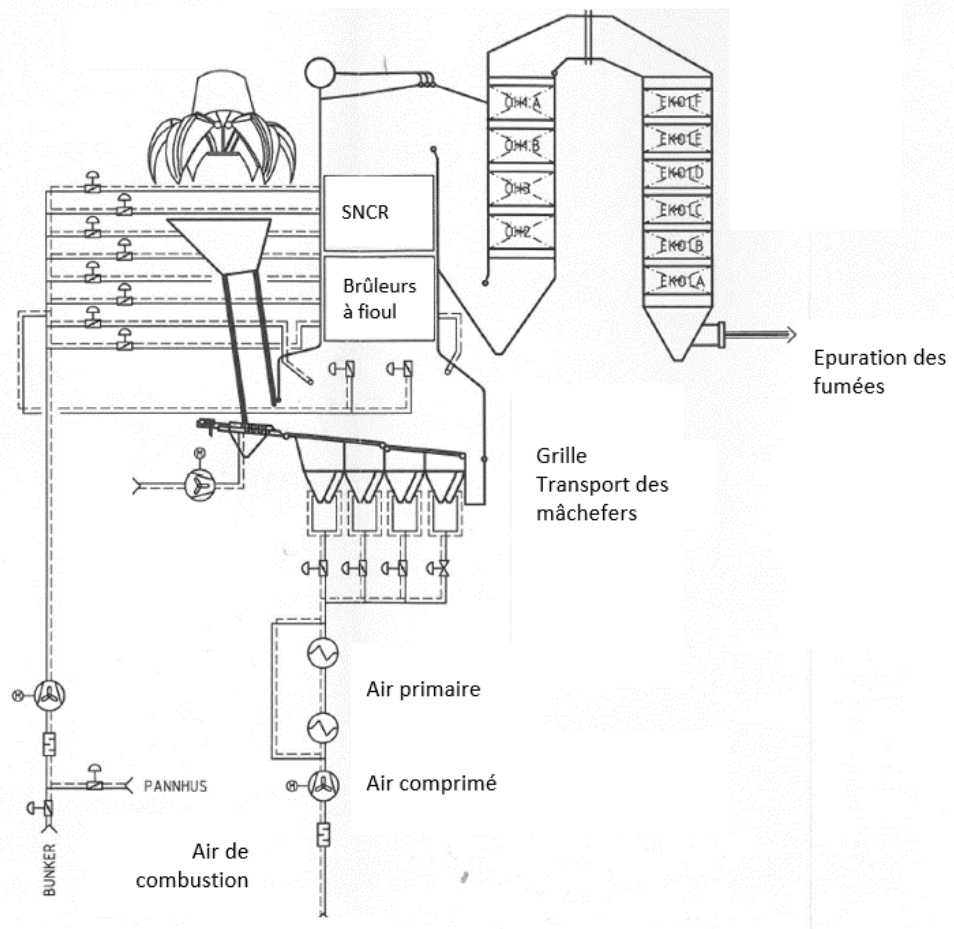
Principal objectif de l'utilisation de RDF : Production d'eau chaude pour un réseau de chauffage urbain

.

VIII.11.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.11.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

Figure 116: Diagramme technique de l'installation de Landskrona (compilation RECORD, 2018) (Landskrona Energie, 2017)



Le RDF est déchargé dans une zone de stockage commune à toutes les livraisons de RDF. Environ 12 camions se rendent sur le site par jour.

Une grue automatique transporte le RDF de l'aire de réception à l'aire de stockage de RDF, où une autre grue automatique alimente la chaudière dans une trémie. Les grues mélangent les différentes sources de combustible pour assurer un fonctionnement plus stable. Des pièces coulissantes amènent le combustible sur la grille.

4 niveaux d'injection et 9 points d'injection d'air sont présents dans la chaudière (3 dans la partie four, en dessous de la grille, à l'avant et à l'arrière⁵², et 3 niveaux d'air au-dessus de la grille, dédoublés pour un meilleur contrôle de la combustion). La multiplication des points d'injection permet une régulation flexible de l'installation, justifiée à Landskrona par le diagramme de capacité qui s'étend de 35% à 100%. Une section vide refroidit d'abord les gaz résiduels avant de passer par la section contenant les surchauffeurs. Ensuite, les effluents gazeux passent par un économiseur où ils sont refroidis et l'énergie est ainsi récupérée avant épuration. Un laveur introduit une dernière récupération d'énergie avant l'échappement.



Figure 117 : Aire de stockage des RDF (RECORD, 2018)

Technologie de combustion : Four à grille vibrante refroidie à l'eau

La grille est composée de deux parties qui vibrent alternativement⁵³. Pendant qu'il brûle, le combustible et les cendres se déplacent latéralement de la grille supérieure à la grille inférieure, suivant la pente. Un matériau réfractaire est placé sur les côtés de la chaudière où le combustible peut rencontrer le mur pour réduire les opérations d'entretien. Au bout de la grille, les mâchefers sont ramassés.⁵⁴

La grille est refroidie à l'eau, pas les barreaux.

Les principales difficultés proviennent de la teneur en métaux des RDF.

⁵² Celui à l'arrière n'est pas typique et n'est plus implémenté sur les nouvelles installations

⁵³ http://www.volund.dk/Multi_fuel_energy/Technologies/Combustion_grates

⁵⁴ L'entreprise Babcock & Volund recommande désormais l'utilisation de grilles Dynagrate® réalisant des mouvements similaires à des vagues, technologie mise en place à Filborna, Helsingborg (Suède), ce qui permet d'éviter que les métaux et inerts se coincent entre les parties mobiles de la grille..

- Les métaux ferreux peuvent se coincer dans les parties mobiles de la grille, ce qui altère les vibrations de la grille.
- Les métaux non ferreux (en particulier l'aluminium) fondent et peuvent gêner l'entrée d'air primaire et perturber la répartition du combustible sur la grille.
- Les deux métaux dégradent le transport des combustibles et des cendres, ce qui nuit à l'efficacité de la combustion et nécessite deux opérations de nettoyage supplémentaires par an (3 jours chacun). Le principal problème aujourd'hui est celui des métaux ferreux.

Au fil du temps, l'entreprise a acquis de l'expérience dans l'utilisation de la chaudière et a internalisé les opérations de maintenance. Maintenant, Landskrona Energie estime qu'il fonctionne bien.

Landskrona Energie n'a pas de place sur le site pour installer des équipements de séparation des métaux en raison de la conception de l'aire de réception. Il a donc été décidé de plutôt contrôler de façon attentive la qualité des carburants fournis.

Adaptabilité à d'autres combustibles

L'installation est conçue pour pouvoir fonctionner avec de la biomasse et a été testée avec succès pour ce combustible. Elle a été construite en gardant à l'esprit le principe d'adaptabilité: un large éventail de spécifications possibles en matière de combustibles était souhaité afin d'être plus flexible en termes d'approvisionnement et de permettre à l'usine d'être moins dépendante des producteurs de RDF et de s'adapter au marché. Si l'installation fonctionne avec de la biomasse, le seul paramètre important à modifier est le débit d'air de combustion. La température de la vapeur augmente lorsque l'usine brûle de la biomasse, ce qui augmente la production d'électricité.

En raison du prix du RDF, l'usine ne travaille presque qu'avec du RDF depuis sa mise en service. Lorsque le PCI du RDF est trop élevé, de la biomasse (bois vierge ou de rebut) est ajoutée au bunker du RDF pour diminuer le PCI. Cette situation reste exceptionnelle car la biomasse représente un coût alors que l'utilisation du RDF génère des revenus.

Fonctionnement du four

Environ 60 000 tonnes de RDF sont utilisées par an.

La puissance thermique nominale autorisée de la centrale est de 35 MW.

La puissance thermique entrante observée est de 33 MW (calculé sur base de 60 kt combustibles introduits).

Le PCI des RDF reçus varie entre 12 et 16 MJ/kg. Actuellement, la moyenne se situe entre 15 et 16 MJ/kg.

Le site passera un contrat avec les fournisseurs pour faire baisser le pouvoir calorifique du RDF à 13,5-14 MJ/kg afin d'augmenter les revenus liés à l'acceptation des déchets.

Capacité : 70 000 tonnes de RDF

Nombre d'heures de fonctionnement: env. 8000h

L'usine est fermée 4 semaines durant la période estivale pour une période d'entretien complète et deux fois pendant environ 3 jours pour nettoyer la grille (début et fin de l'hiver).

Aucun changement n'est apporté à l'opération au cours de l'exercice. L'installation est exploitée à pleine charge presque toute l'année grâce au raccordement du réseau avec d'autres municipalités. En effet, les pics de charge sont assurés par les centrales à bois de Lund et Landskrona, qui sont arrêtées pendant l'été. Avant que Lund ne soit raccordée au réseau, les usines de valorisation énergétique des déchets d'Helsingborg et de Landskrona ne pouvaient pas fonctionner à la même heure en été et l'installation ne fonctionnait pas toujours à pleine charge. Outre les avantages économiques liés à l'allongement de la durée d'exploitation, le nouveau contexte présente des avantages opérationnels car la technologie n'est pas très adaptée au travail en charge partielle (meilleures conditions de combustion).

Puissance sortante

La turbine a une puissance nominale de 9,3 MW. La production normale est inférieure à 8,5 MW (environ 7-8,5 MW)

En moyenne sur l'année, sur la base de l'énergie délivrée, la puissance de sortie est:

5,5-6 MW d'électricité

20-21 MW de chaleur

Production d'énergie

La centrale RDF produit annuellement:

- 150 GWh chauffage urbain
- 35-40 GWh d'électricité

Propriétés vapeur

La vapeur sort de la chaudière à 70 bar et 430°C (surchauffée) en fonctionnement 100% RDF.

La vapeur traverse la turbine à contre-pression et se condense en eau dont la température varie entre 80-110°C, réglage fonction de la température extérieure.

Consommateurs d'énergie

La chaleur est fournie au réseau de chaleur urbain. Le réseau de Landskrona est relié aux réseaux de Lund et d'Helsingborg.

La production de l'ensemble du réseau de chauffage urbain est de 2,3 TWh/an, dont Landskrona Energie produit 300 GWh (13%).

En 2016, 99,5 % de l'énergie fournie à l'ensemble du réseau provenait des déchets et des énergies renouvelables (RDF, déchets non dangereux, biomasse, biocarburants, biogaz). Les combustibles fossiles ne sont utilisés que pour le démarrage.

Contrôle des émissions : semi-sec

L'épuration des fumées est assurée par les équipements suivants :

- SNCR pour le contrôle des NOx. Les gaz d'échappement ne sont pas recirculés.
- L'ajout de poudres de chaux éteinte (hydratée) et de charbon actif, en présence de petites quantités d'eau a été introduit pour réduire les émissions d'acides, de métaux et de dioxines.
- Filtre à manches pour réduire les émissions de particules.
- Un laveur à eau a été introduit entre le filtre à manches et l'échappement. Les effluents gazeux passent à travers l'eau (sans additif). Le but principal de cet équipement était la récupération d'énergie. L'énergie récupérée est valorisée au niveau du réseau de chauffage urbain, l'équipement n'est pas couplé à la chaudière. Les émissions polluantes sont également réduites, en particulier les particules et les SOx, même si ce n'était pas le but initial.

Lorsque la demande du chauffage urbain est la plus faible, le laveur et la condensation peuvent être contournés pour réduire la récupération d'énergie. Des ventilateurs à air peuvent également être activés pour refroidir le circuit d'eau envoyé vers le réseau de chauffage urbain.

Garder les émissions de soufre sous les valeurs limites d'émission est difficile. La principale raison est que le RDF provenant du Royaume-Uni contient du plâtre. Un travail est en cours avec les fournisseurs pour résoudre ce problème.

Gestion des résidus de combustion ⁵⁵

- Mâchefers : 11-12 kt (20-22% de la masse de RDF entrante).

⁵⁵ La proportion de résidus de combustion dépasse la proportion de cendres dans le combustibles. Le gestionnaire du site a rapporté une forte teneur en imbrûlés (10%). Cela nous semble strictement interdit par la réglementation européenne. Ces données n'ont pu être confirmées.

Les mâchefers sont éliminés dans une installation de stockage des déchets non-dangereux qui n'est pas opérée par Landskrona Energie, bien que Landskrona Energie opère une installation de stockage de déchets inertes située à quelques centaines de mètres de l'incinérateur. En effet, une mise en concurrence est obligatoire pour la gestion des résidus de combustion.

- Cendres volantes : 2-3 kt (4-6%)

Les cendres volantes sont envoyées en Norvège pour être stockées dans des mines de sel souterraines. Il s'agit de la voie de gestion des cendres volantes la plus courante en Suède.



Figure 118: Landskrona- Mâchefers (RECORD, 2018)

Autres

Les eaux usées du laveur sont filtrées pour enlever les particules métalliques et le pH est neutralisé à 7 en utilisant de la soude. Les eaux usées sont ensuite envoyées vers une station d'épuration des eaux usées.

Le rendement de l'installation avant production d'électricité est de 100% (basé sur le PCI). La condensation de l'eau dans les effluents gazeux contribue à cette performance (la chaleur latente de l'eau est partiellement récupérée, ce qui maximise le potentiel calorifique du combustible au-delà du PCI).

Le rendement de la chaudière à capacité thermique nominale est de 91-92%.

VIII.11.3.2. Propriétés du combustible



Figure 119: Landskrona Energie - Photos du RDF (RECORD, 2018)

Densité: 200-250 kg/m³

Forme: fluff. Malgré les frais de transport, les déchets ne sont pas compactés. L'argument évoqué est que la compaction ne serait pas adaptée à la technologie de combustion.

Taille de grain typiquement < 100mm. Les copeaux de bois (faisant partie du RDF) trop gros ne peuvent pas être entièrement brûlés avec le temps de séjour choisi sur la grille. Les RDF anglais et norvégien sont plus fins que le RDF suédois. Les différentes origines sont mélangées dans la trémie (avec le grue).

Composition du RDF

Le RDF est composé de plastique (et de mousse), de papier et de bois. Aucun essai n'est effectué pour analyser la composition du RDF par fraction de déchet.

**Tableau 72 : Spécification pour le RDF et valeurs mesurées (compilation RECORD, 2018)
(Landskrona Energie, 2017)**

Paramètre	Unité	Valeur moyenne (2017)	Gamme d'acceptation
PCI	MJ/kg	16,5	12-16
Densité	Kg/m ³	109	150-260
Teneur en humidité	%	17,5	10-30
Taille	mm	Typiquement <100 mm	<500 (seulement 2% peut être au dessus)
Contenu en cendres	%teneur en matière sèche	9	<15
C	% (sec hors cendres)	56,2	Valeur cible : 51,4
O	% (sec hors cendres)	34,6	Valeur cible : 40,3
H	% (sec hors cendres)	7,4	Valeur cible : 6,8
N	% (sec hors cendres)	0,87	Valeur cible :: 0,85
S	% (sec hors cendres)	0,17	<0,50
Cl	% (sec hors cendres)	0,75	<0,60
Pb	mg/kg (sec hors cendres)	72	<1 000
Zn	mg/kg (sec hors cendres)	470	<3 000
Al	mg/kg (sec hors cendres)	3701	<3 000
Na+K	mg/kg (sec hors cendres)	1610	<6 000
Fe	mg/kg (sec hors cendres)	3235	<2 000

Contrôle qualité

De temps à autre, un camion est déchargé séparément pour permettre un contrôle visuel de la qualité. Chaque semaine, des échantillons sont prélevés et analysés chaque mois pour la composition chimique (chlore, soufre, métaux...) ainsi que le PCI.

La teneur en métaux du RDF est contrôlée par des spécifications de qualité strictes (0,3% en poids pour les métaux ferreux et 0,3% en poids pour les métaux non ferreux). Il n'était pas économiquement faisable de s'entendre sur des critères métalliques plus stricts en raison du coût et de l'efficacité du processus de préparation.

Il est stipulé dans le contrat avec les fournisseurs que les fournisseurs de RDF doivent avoir au moins un aimant. Aucun équipement n'est requis pour les métaux non ferreux.

VIII.11.3.3. Mode de production du RDF

Origine du RDF (2017)

10 000 t en provenance du Royaume-Uni

25 000 t de Norvège (600 km par camion)

20 000 t de Suède (100 km)

L'un des fournisseurs est Trondheim en Norvège, dans la région d'Oslo. L'identité des autres fournisseurs est confidentielle.

Mode de production : Traitement mécanique

Le taux de rejet du processus de préparation est d'environ 30%.

Le RDF est produit exclusivement à partir de déchets industriels traités mécaniquement. La présence d'au moins un aimant est demandée dans les contrats.

Coût de production

Le coût de préparation des fournisseurs a été estimé à 25€/t.

VIII.11.4. Conditions administratives

Terminologie

Le carburant est appelé en interne RDF ou PTP (acronyme pour papier, bois, plastique).

Normes et standards de qualité

Le RDF ne se conforme pas à la norme européenne pour le SRF.

La qualité est convenue par contrat avec les fournisseurs de RDF.

Les exigences contractuelles comprennent la taille, le PCI ainsi que la composition chimique (Cl, métaux, S, Ca...).

Permis – Coïncinération

L'installation est considérée comme une installation de coïncinération de déchets. En Suède, le principal objectif de l'installation constitue la base de la décision de classification. Les quantités d'énergie ou de matière produites par l'installation en proportion de la quantité de déchets incinérées, ainsi que le caractère stable et continu de la production sont des critères qui doivent être considérés particulièrement. Cela a été clarifié par un [verdict](#) de la cour suprême suédoise pour l'environnement et l'agriculture. Verdict in the Swedish Land and Environmental Supreme Court (rough translation):

Un permis a été délivré au niveau régional en 2017 après une procédure de 3 ans.

Tous les types de déchets non dangereux sont autorisés dans le permis. Cependant, d'un point de vue technique, cette technologie n'est pas adaptée aux déchets non prétraités (notamment la présence de métaux constitue un problème opérationnel).

Réglementation RDF

Pas de réglementations spécifiques aux RDF.

Valeurs limites d'émission

Tableau 73: Valeurs limites d'émission -Landskrona (compilation RECORD, 2018) (Landskrona Energie, 2017)

Paramètre	Unité	Permis 2017 Valeurs limites d'émission - moyennes annuelles (6% O ₂)	Rapport environnemental 2016 Valeurs limites d'émission - moyennes journalières (11% O ₂)	Rapport environnemental 2016 Valeurs limites d'émission - moyennes journalières (6% O ₂)
CO	mg/Nm ³	200	100	150
SO _x	mg/Nm ³	100	50	75
NO _x	mg/Nm ³	175 Moyenne journalière - 250	-	

N ₂ O	mg/Nm ³	45	20	30
NH ₃	mg/Nm ³	30 (mensuel)	-	
Poussières	mg/Nm ³	20	10	15
TOC	mg/Nm ³	20	10	15
HCl	mg/Nm ³	20	10	15
HF	mg/Nm ³	2	1	1,5
Cd+Tl	mg/Nm ³	0.01	0.05	0.08
Hg	mg/Nm ³	0.01	0.05	0.08
PCDD/F	Ng/Nm ³	-	0,1 (moyenne sur 6 et huit heures)	0.15

Les valeurs limites d'émission sont respectées. Les émissions moyennes annuelles n'ont pas été partagées.

Quotas de CO₂ et comptabilité carbone

Le site fait partie du système d'échanges de quotas d'émissions de CO₂ (ETS).

Les installations reliées à un réseau de chaleur dont la puissance cumulée est supérieure à 20 MW font partie du système d'échanges européen de quotas d'émission de CO₂ (ETS), même si les installations qui l'alimentent ont une puissance inférieure à 20 MW.

Des quotas gratuits sont attribués au secteur du chauffage urbain pour la période 2013-2020. La quantité de quotas gratuits est calculée en multipliant les facteurs suivants :

- La quantité d'énergie produite
- Un facteur d'émission nominal correspondant à 70-75% du contenu carbone de la chaleur produite à partir de fioul
- Un facteur décroissant au cours de la période :
 - 2013 : 80% de la valeur nominale
 - 2020 : 20% de la valeur nominale

Les émissions de CO₂ réelles de l'installation sont rapportées en utilisant des calculs basés sur des valeurs moyennes nationales révisées [chaque année](#). Le taux de carbone biogénique n'est ni mesuré à la cheminée, ni caractérisé dans le RDF. En 2016, le déchet en mélange suédois moyen était considéré contenir 59,49% de biomasse, avait un PCI de 10,41 GJ/ton et un contenu de 94,90 tCO₂/TJ entrant.

Les quantités de quotas que le site peut vendre ou qu'il doit acheter sur le marché sont donc calculées par différence entre les émissions du site et les quantités de quotas gratuits.

Quotas de NOx

Les opérateurs produisant plus de 25 GWh d'énergie (électricité ou chaleur) par an doivent payer aux autorités publiques une somme qui est proportionnelle aux quantités de NOx émises. La quantité à payer initialement par tonne de NOx augmente chaque année (actuellement 50 SEK/kg, soit 5€/kg). Une partie des sommes récoltées et gardée pour l'administration publique (agence environnementale suédois) pour gérer le système, le reste était redistribué aux installations contributrice en proportion de la quantité de chaleur produite. Il en résulte que les installations émettant le moins de NOx par quantité d'énergie produite récoltent de l'argent (c'est le cas de Landskrona actuellement) alors que les installations qui émettent le plus de NOx doivent payer et ont au fil du temps intérêt à investir dans la dépollution pour réduire leurs coûts.

Les résultats de la mise en place de ce système sont [publiés](#) par l'agence environnementale suédoise [114].

Certificats verts

La combustion de déchets en mélange n'est pas éligible à l'octroi de certificats verts pour l'électricité. Si de la biomasse et/ou du bois déchets collectés séparativement sont brûlés avec les déchets en

mélange, la proportion de biomasse/bois déchets est éligible aux certificats verts. En revanche, la fraction biogénique des déchets en mélange n'est pas éligible.

Exceptions ou exemptions locales : Pas d'exceptions

Statut de déchet : Pas de sortie de statut de déchet

Gestion des résidus de combustion

Les mâchefers ne peuvent pas être utilisés en technique routière en Suède. Il existe des co-produits de l'exploitation minière peu chers qui sont utilisés en technique routière, ce qui pourrait partiellement expliquer le manque de cadre réglementaire pour les mâchefers.

Les cendres volantes sont considérées comme des déchets dangereux et les mâchefers comme des déchets non-dangereux.

VIII.11.5. Conditions économiques

Evolutions du modèle d'affaires

Le modèle d'affaires n'a pas changé depuis la mise en service de l'installation.

Le fonctionnement du site est rentable et la rentabilité a augmenté avec le temps. Les conditions de marché sont devenues plus favorables :

- Juste après la mise en service (2012), le RDF avait un prix positif et en 2017 il a un prix négatif de l'ordre de 10-20€/t. Cela est probablement dû aux efforts continus pour réduire la mise en décharge et au marché anglais exportateur des déchets qui crée un excès d'offre.
- Le nombre d'heures de fonctionnement a augmenté depuis 2016 avec la connexion de la ville de Lund au réseau de chaleur (le site ne doit plus être arrêté en été).

Consommateurs de chaleur

Le réseau de Landskrona est relié aux réseaux d'Helsingborg et de Lund. Chaque municipalité produit de l'énergie qui est fournie au réseau commun et vend de la chaleur aux consommateurs situés sur son territoire. Chaque fois que la chaleur est transférée d'un réseau à l'autre, la chaleur est vendue d'une entreprise municipale à l'autre et la distribution est toujours assurée par les entreprises municipales respectives.

A Landskrona, les ménages et les entreprises paient un abonnement forfaitaire, typiquement de 400€/an (abonnement fixe mais qui varie selon la puissance demandée, les plus gros consommateurs ont des frais fixes plus élevés), et un prix supplémentaire de 40-45 €/MWh.

Taille du réseau: 300 GWh/an, 30 000 habitants.

C'est une énergie compétitive face aux autres sources de chaleur (gaz, pétrole, biomasse...). Si les prix de l'électricité baissent, les pompes à chaleur peuvent être plus compétitives.

85-90% des industriels et des ménages sont connectés.

Contrats

Approvisionnement en RDF

Le site a actuellement des contrats avec 6 fournisseurs de RDF mais ce nombre a varié de 2 à 6. Les contrats durent de 1 à 4 ans. Certains contrats sont de longue durée, mais les volumes et les prix font l'objet de discussions annuelles. Landskrona Energie préfère des contrats plus longs avec les fournisseurs de RDF.

Le post-traitement des RDF en interne a été considéré pour réduire la teneur en métaux. Toutefois, elle aurait demandé une extension des installations. L'introduction d'exigences de qualité et un dialogue accru avec les fournisseurs de RDF ont été privilégiés.

Energie

Les contrats avec les ménages et les entreprises sont renouvelés par tacite reconduction et peuvent être stoppés librement après 1 ou 2 mois de retard.

L'électricité est vendue aux prix du marché (pas d'électricité verte).

Structure des recettes

Total des recettes: env. 7,4-8,6 M€/année

Chauffage urbain: 11-14 M€/an pour toutes les installations dont 6,0-6,8 M€/an en provenance de l'installation de combustion de RDF (40-45€/MWh)

Electricité: env. 0,88-1,2 M€/an (25-30€/MWh)

Recettes liés aux *gate fees*: env. 0,55 M€/an (10€/t)

Régime des quotas de NOx: env. 30 000€/an

App. 80% des revenus proviennent du chauffage urbain. Approximativement 13% proviennent de la production d'électricité et 7% proviennent de l'acceptation des déchets.

Soutiens

Aucune subvention n' a été reçue pour les investissements ou l'installation du réseau.

Aucune subvention de fonctionnement n'est perçue.

Le site reçoit de l'argent car il produit moins de NOx que la moyenne nationale, selon le système d'échange de droits d'émission de NOx en place au niveau national. Cela représente environ 30 000 €/an. Cette recette pourrait changer à mesure que la moyenne est recalculée chaque année.

L'électricité est vendue au prix du marché, et non comme de l'électricité verte. Aucun certificat vert n'est reçu, les déchets mélangés ne pouvant pas recevoir des certificats verts en Suède.

Structure des coûts

26 employés ETP dont 20 opérateurs ETP et 6 administratifs. La main-d'œuvre coûte environ 2 M€/an.

Le procédé serait difficile à contrôler à distance sans personnel.

Coût d'investissement: 600 millions de couronnes suédoises, soit env. 60 M€.

Le réseau de chauffage urbain date du début des années 80.

Durée prévue du retour sur investissement: 20 ans

Coût du traitement des mâchefers: 20-25 €/t (300 000€/an)

Coût du traitement des cendres volantes: 100€/t (300 000 €/an)

1,1 M€/an de coûts de maintenance (incluant 100k€ de frais de nettoyage)

Epuración des fumées, élimination des mâchefers et élimination des cendres volantes : coût estimé à 25 €/MWh, environ 4M€/an.

Taxation et quotas CO₂

Pas de taxe à l'incinération en Suède.

Aucune taxe de mise en décharge ne doit être payée pour l'élimination des cendres.

Les quotas de CO₂ doivent être payés en fonction de la part du carbone fossile, qui est évaluée sur la base des valeurs moyennes nationales.

Autres

Prix de la mise en décharge des déchets ménagers en Suède: 169 €/t TTC en 2016

Taxe de mise en décharge: 54€/t en 2016.

Prix d'incinération: 57,5 €/t en 2012 (rapport CEWEP 2014)

VIII.11.6.Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Facteurs clés de succès

- Les salariés n'ont pas de poste fixe, ce qui leur permet de prendre en charge des tâches variables. Par exemple, pendant les périodes de nettoyage, tous les employés, y compris la direction, aident à nettoyer les chaudières.
- La connexion avec d'autres réseaux a contribué au succès du modèle parce qu'elle a augmenté le temps d'utilisation de l'installation.
- La stratégie locale et nationale n' a pas été mentionnée comme ayant joué un rôle clé.

Freins et leviers

- La réglementation concernant les émissions, et en particulier les émissions de CO, est contraignante à respecter.
- Le revêtement initial de la grille (plaques en fonte) devait être changé tous les 5 mois. et a causé plus de colmatage. Avec le nouveau matériau, il est changé environ tous les 2 ans.
- Le coût du nettoyage reste le principal problème. Il coûte environ 100 k€/an et représente un fardeau pour les employés, c'est pourquoi l'entreprise s'efforce continuellement de trouver des solutions pour réduire ce problème.

Perspectives

A l'avenir, les exportations britanniques diminueront, mais les RDF originaires du Royaume-Uni représentent des quantités relativement faibles (environ 10 kt) qui devraient être faciles à remplacer.

Le site s'attend à ce que le prix du RDF reste relativement stable à l'avenir.

Comme le site reçoit maintenant des droits d'entrée, il souhaite augmenter la quantité de déchets qu'il traite afin d'augmenter ses revenus. Des négociations avec les fournisseurs seront menées pour baisser le pouvoir calorifique des RDF.

Transposition

- L'installation se conforme à la plupart des principes de la réglementation française :
 - Dimensionnement pour un besoin en chaleur
 - Efficacité énergétique supérieure à 70% à l'année
 - Statut de coïncinération : le site est éligible aux quotas de CO₂
 - Démarche qualité volontaire qui correspond aux exigences réglementaires françaises (type de contrôle qualité et exhaustivité des contrôles)
 - La qualité du CSR (PCI et composition) est conforme à la définition française du CSR
- Par quelques aspects, l'installation de Landskrona ne se conforme pas à la vision de la filière CSR en France :
 - Utilisation de RDF importés
 - Vérification du contenu en énergie renouvelable par utilisation d'un facteur d'émission moyen national

VIII.11.7.Détails sur la visite

Date : 27/08/2017

Adresse : Gasverksgatan 2, 261 35 Landskrona, Suède

Contacts :

Nom	Responsabilité	Organisation	Détails du contact
BJERRE Henrik	B&W Volund	Key account manager (incluant la Suède)	hbt@Volund.dk
NYRUD Stefan	Landskrona Energie	Directeur de la production	stefan.nyrud@landskronaenergi.se
ROSENGREN Fredrik	Landskrona Energie	Directeur de la maintenance	fredrik.rosengren@landskronaenergi.se
ROSLUND Jonas	IDENO	Consultant quotas de CO ₂ (notamment)	jonas.roslund@ideno.se

VIII.12. Adven Jepua (Finlande)

VIII.12.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : Adven Jepua

Adresse : Pensalantie 210, 66850 Jepua, Finland

Employés : environ 2 ETP

Il n'y a qu'un seul opérateur sur place, en 2 équipes de jour. Il n'y a pas d'opérateur sur place la nuit et le week-end. Cela représente environ 2 ETP.

Capacité :

- 9,8 MW
- 15 000 tonnes de RDF
- En 2015, 8 341 tonnes de RDF ont été utilisées et 6 213 tonnes de biomasse



Opérateur et propriétaire : Adven possède et exploite l'usine depuis fin 2016.

Adven, qui signifie "ADVanced Energy Solutions", est une entreprise créée en 2012 mais ses activités remontent à 1982. Adven distribue de l'énergie (vapeur, chauffage, refroidissement, gaz) à des entreprises privées et des systèmes de chauffage urbain en Suède, en Estonie et en Finlande. La société n'est pas spécialisée dans la valorisation énergétique des déchets.

Adven est une entreprise privée du secteur énergétique depuis sa vente en 2012 par l'énergéticien de l'Etat finlandais Fortum. Elle appartient à des fonds d'investissement privés : AMP Capital et Infracapital. De 2013 à 2016, l'installation de Jepua appartenait auparavant à Ekokem.

Consommateur d'énergie : Mirka est un fabricant d'abrasifs et de solution de ponçage appartenant au groupe KWH, une entreprise finlandaise familiale active à l'international qui commercialise également des produits en plastiques (KWH Invest) et fournit des services logistiques (KWH Logistics). Mirka a été créé en 1943 à Helsinki et s'est installé à Jepua en 1962. Jepua est le principal site de production de Mirka. Le groupe KWH emploie 1729 personnes et a réalisé un chiffre d'affaires de 48 M€ en 2016.

VIII.12.2. Historique et description des activités

Historique des activités du site

- 2010 ou 2011 : Mirka lance un appel d'offres pour trouver un fournisseur de chaleur pour son usine de production de papier de verre située à Jepua.

La motivation initiale de Mirka était de remplacer le fioul lourd par des combustibles alternatifs, soit des déchets, soit de la biomasse, dans un objectif environnemental. Le facteur du prix a peut-être aussi joué un rôle, mais avec une importance moindre selon KPA Unicon. En effet, le risque lié à l'investissement n'a pas été partagé entre Ekokem et Mirka mais il a été porté uniquement par Ekokem, ce qui tend à réduire la différence de prix de l'énergie, en comparaison avec l'ancienne chaudière au fioul.

Aucun contexte national ou régional n'aurait eu d'influence directe sur la construction. Le contexte national a peut-être influencé la disponibilité et le prix des RDF, mais il a été un facteur indirect.

Adven et Ekokem étaient en compétition dans le cadre de l'appel d'offres.

- 2011 : Démarrage du projet de construction entre Mirka et Ekokem.

La société Ekokem a été retenue car elle proposait une solution adaptée à la fois à la biomasse et aux déchets, et notamment aux déchets de production de papier de verre. Adven en revanche ne proposait qu'une solution 100% biomasse.

Ekokem est une société finlandaise spécialisée dans la gestion des déchets dangereux. Ses activités remontent aux années 60 et elle appartient à l'État finlandais depuis 1976. Ekokem a étendu le périmètre de ses activités aux installations de valorisation énergétique des déchets, c'est pourquoi elle a répondu au projet de Mirka. Désormais Ekokem fait partie de Fortum, l'énergéticien appartenant à l'Etat finlandais.

- 2012 : Obtention du permis environnemental
Lorsque Ekokem a remporté l'appel d'offres, le permis environnemental et la conception n'étaient pas encore prêts. La procédure d'autorisation a duré 12 mois.
La chaudière et la station de réception du combustible ont été conçues et fournies par Renewa, une société finlandaise de fourniture de chaudières, qui fait partie du groupe KPA Unicon depuis 2017. Leuhr, une société allemande, a fourni et installé le matériel de nettoyage des gaz d'échappement. Ekokem a construit le reste de l'usine (clôtures, route, tuyaux isolés jusqu' à Mirka...).
- 2013 : Mise en service de l'usine en novembre 2013.
- 2016 : Ekokem se recentre sur son cœur de métier (déchets dangereux et grandes chaudières) et vend certaines de ses activités, y compris l'usine de Jepua. Adven achète le site.

Principal objectif du site : Production de vapeur industrielle

L'objectif de l'installation était et est toujours de produire de la vapeur industrielle pour l'usine de production de papier de verre de Mirka.

VIII.12.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.12.3.1. Fonctionnement de l'installation

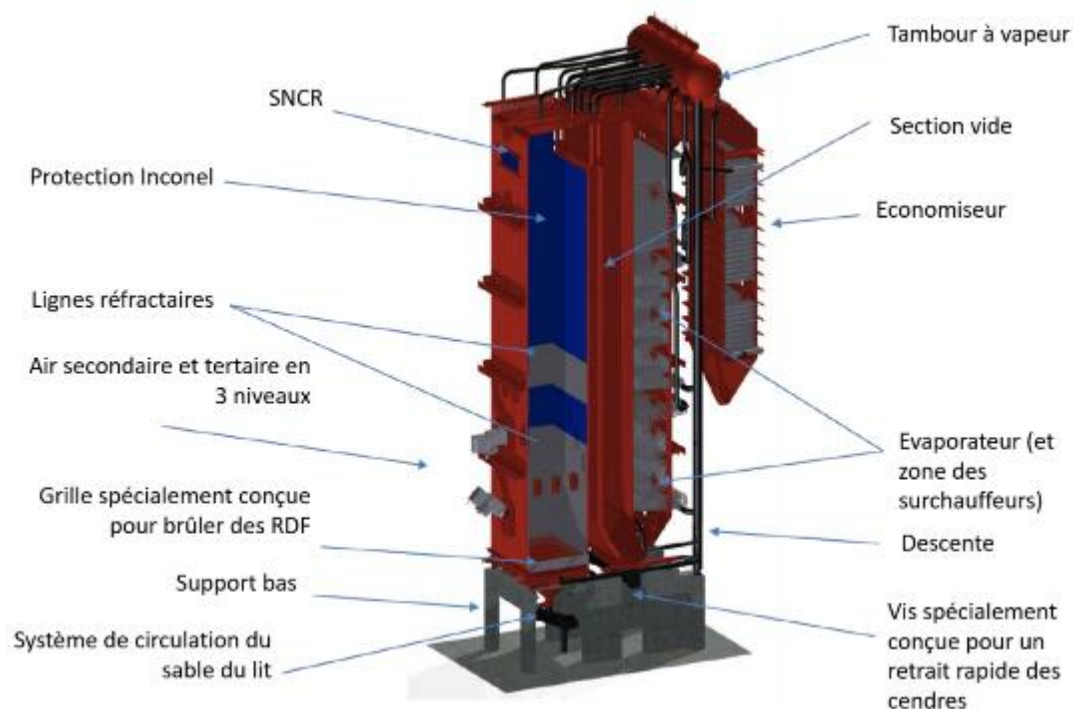


Figure 120 - Schéma technique de l'installation (compilation RECORD, 2018) (KPA Unicon, 2017)

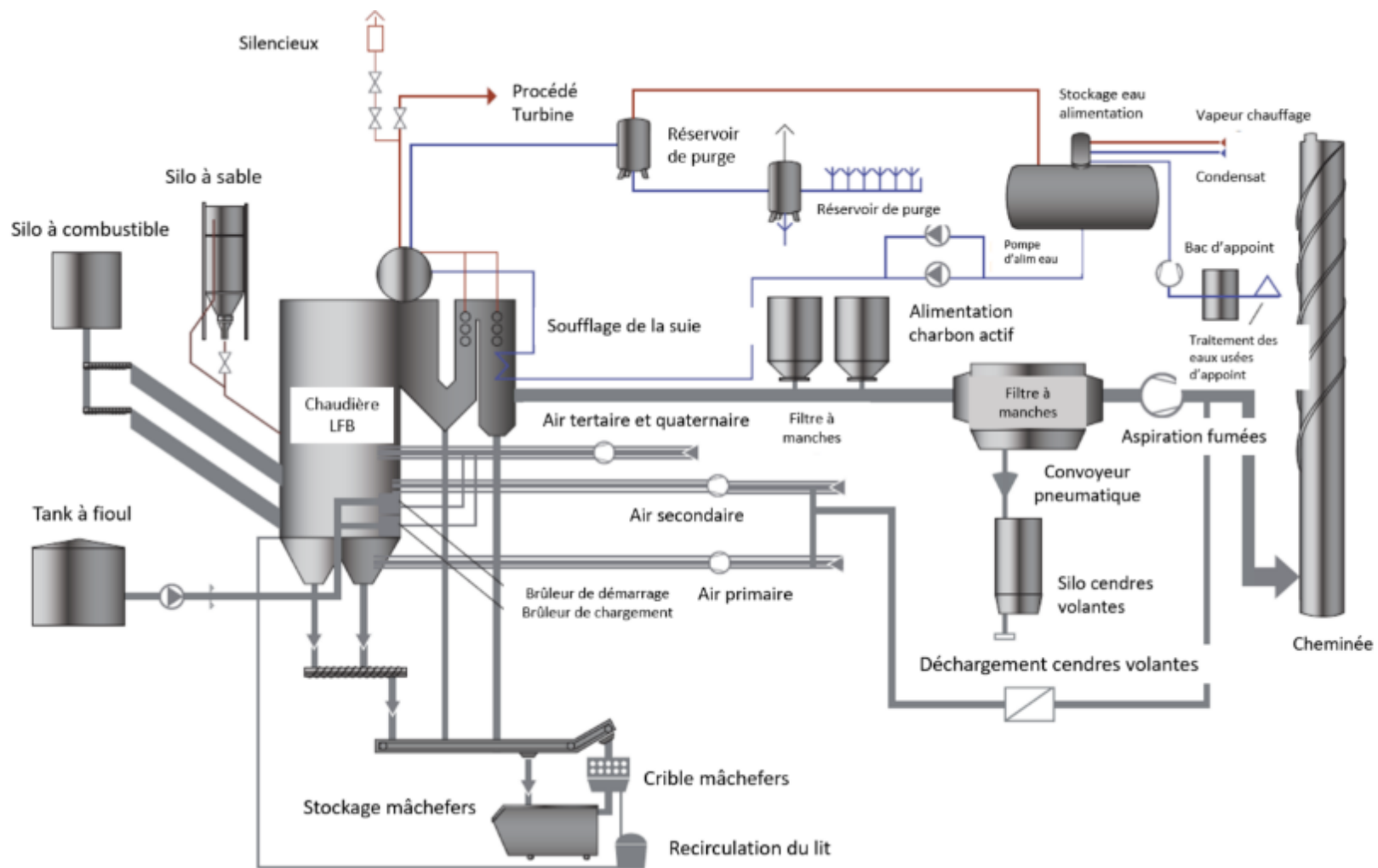


Figure 121 - Schéma technique de l'installation (compilation RECORD, 2018) (KPA Unicon, 2017)

Technologie de combustion : Four à lit fluidisé bouillonnant

Le four est un lit fluidisé bouillonnant commercialisé sous le nom de Reneflex.

Le RDF et la biomasse sont stockés dans deux zones de stockage séparées et transportées sur un convoyeur qui amène les combustibles vers le silo. La biomasse et le RDF peuvent être amenés de manière séquentielle sans interruption de l'approvisionnement en combustible et en chaleur.

La technologie choisie permet un changement rapide de la puissance entrante.

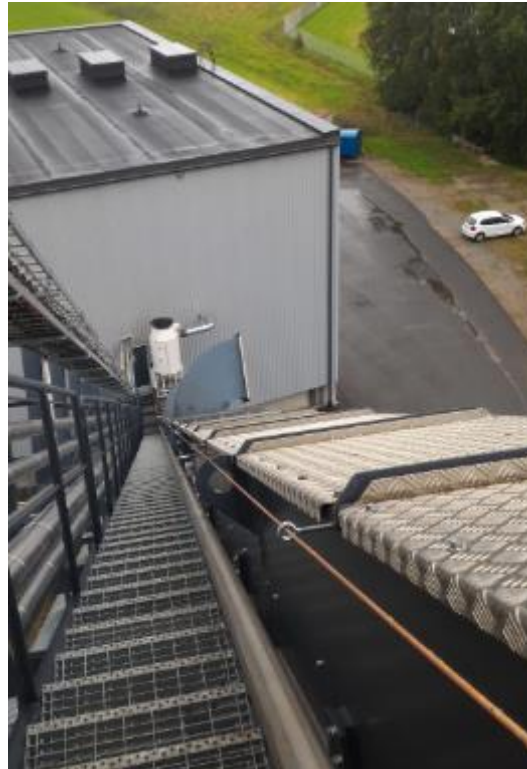


Figure 122 : Système d'alimentation en combustible (RECORD, 2018)

Le changement de combustible modifie les valeurs limites d'émission applicables et la réglementation applicable (combustion vs coïncinération).

Avant d'entrer dans le silo, le carburant passe par un tamis et un aimant pour éliminer les grosses fractions métalliques. Après le silo, le combustible est divisé en 2 afin d'alimenter la chaudière par les deux côtés opposés.

La température sur le lit est d'environ 720°C.

L'air primaire est introduit sous le lit pour alimenter la combustion et assurer la fluidisation. 3 niveaux supplémentaires d'air sont installés. La recirculation des gaz de combustion est introduite au niveau de l'injection d'air primaire et secondaire. Toutes les buses sont des buses doubles pour contrôler la vitesse de l'air.

Une section vide est présente pour refroidir la fumée à environ 650°C et éviter l'encrassement des échangeurs de chaleur. Une troisième section comprend les évaporateurs (échangeurs de chaleur). Une quatrième section comprend un économiseur, qui assure une récupération de chaleur pour refroidir les fumées avant traitement et préchauffer l'eau qui passe par les échangeurs de chaleur. Les brûleurs de démarrage et d'appoint fonctionnent au fioul.

Le nettoyage de la surface des échangeurs thermiques s'effectue par des souffleuses de suie à vapeur. Le nettoyage des parois de la fournaise se fait par un système à explosion (bang & clean) qui enlève régulièrement les dépôts de la paroi de la fournaise pour éviter le colmatage du lit.

Le revêtement réfractaire du four a été changé en décembre 2013 et plusieurs modifications ont été apportées au matériau réfractaire dans les zones de températures de pointe du four en 2014.

Le site a connu des difficultés liées à l'encrassement du four pendant les 2 premières années. Des solutions techniques ont été mises en place en 2015 :

- soufflage du four (équipement d'explosion= « bang and clean system ») ;
- amélioration de l'automatisation du contrôle de la combustion ;
- amélioration du système d'alimentation en combustible.

En 2016, un système d'arrosage hydraulique du combustible a été installé pour permettre de contrôler la température dans le cas de l'introduction de combustible très sec.

Le lit s'est bloqué 3 fois en 2016 à cause de tuiles présentes dans des RDF produits à partir de déchets de construction. Le système de tamis des cendres a également été amélioré depuis la construction.

Adaptabilité à d'autres combustibles

La chaudière peut brûler des déchets, de la biomasse ou un mélange des deux (de 0 à 100%), elle est donc réversible. Cette caractéristique a été choisie précisément dans l'objectif de pouvoir brûler de la biomasse, des RDF et des déchets de production. Aucun équipement ne doit être changé lors du changement de carburant. Le débit de gaz de recirculation doit être adapté au taux d'humidité du carburant (augmenté pour les combustibles secs).

Capacité : 15 000 tonnes de RDF

La puissance thermique nominale autorisée en entrée de chaudière est de 9,8 MW.

Nombre d'heures de fonctionnement : 8 000h, fonctionnement continu 24/7

L'installation fonctionne de début août à fin juin. Aucune autre période de maintenance n'est prévue. Cela correspond à environ 8 000 h de fonctionnement.

Les besoins énergétiques de Mirka varient de 3 MW à 10 MW. Pendant les week-ends, la demande de chaleur de Mirka diminue en deçà de 60 % de la demande maximale (et descend jusqu'à 30%). L'installation fonctionne alors avec de la biomasse. Pendant la semaine, l'installation fonctionne à charge maximale avec du RDF. Les silos sont vidés à chaque changement de carburant mais ne sont pas nettoyés.

L'utilisation de RDF à charge réduite n'est pas économiquement réalisable car la température du four serait difficile à maintenir au-dessus de 850°C pendant 2s sans utiliser des brûleurs à fioul supplémentaires. Il est plus économiquement intéressant d'utiliser de la biomasse que des déchets et de pétrole.

Ces conditions d'exploitation, ainsi que le souhait de souplesse sur l'approvisionnement en carburant, expliquent le choix d'une technologie compatible avec les deux types de combustibles. Il est à noter que l'usine ne pourrait pas fonctionner à pleine charge avec de la biomasse humide parce que le lit n'est pas assez grand. Cette situation n'est pas rencontrée avec le mode de fonctionnement choisi.

Les nuits et week-ends, le processus est contrôlé à distance par Adven depuis Helsinki et il n'y a aucun opérateur sur site. 2 opérateurs se relaient en 2 postes

Bilan énergétique

Production de chaleur annuelle livrée à Mirka: environ 50 GWh (6,3 MW en moyenne)

Puissance maximale fournie sous forme de vapeur: 8,5MW

Tableau 74: Adven Jepua - Bilan énergétique (compilation RECORD, 2018) (Adven, 2017)

Paramètre	Unité	Valeur (2015)
Production de vapeur	MWh	48 107
Consommation d'électricité	MWh	2 086,7
Consommation de chaleur	MWh	52,2

Consommateurs d'énergie : Mirka

La vapeur est fournie à Mirka pour le procédé et pour le chauffage des locaux. L'installation ne produit pas d'électricité.

Propriétés de la vapeur

Vapeur saturée

Pression : 29 bar

Température : 233°C

Débit : maximum 13,5 t/h

La vapeur est fournie à Mirka au moyen d'une canalisation aérienne isolée, qui fait quelques centaines de mètres de long.



Figure 123 - Système d'alimentation en vapeur (RECORD, 2018)

Contrôle des émissions

Les valeurs limites d'émission sont celles fixées par la directive de l'UE sur les émissions industrielles (régime de coïncinération et régime de combustion de biomasse).

Les NOx sont contrôlés par différents moyens :

- 3 niveaux d'injection d'air assurent le contrôle de la température ;
- la recirculation des gaz de combustion est mise en œuvre et assure le contrôle de la température du lit (recirculation au niveau de l'air primaire) et de la chaudière (recirculation au niveau de l'air secondaire et tertiaire). Le débit de recirculation est adapté aux propriétés du carburant. Il augmente avec la teneur en matière sèche du combustible (le débit est donc plus élevé pour les RDF que pour la biomasse).
- une solution d'ammoniacque est injectée en haut de la chaudière (SNCR), à une température comprise entre 800 et 1000°C .

Les émissions de particules, d'acides, de mercure et de dioxines sont contrôlées par un filtre à manches Luehr conditionné (semi-sec). Le charbon actif est mélangé avec de la chaux et injecté avant le filtre à

manches. Les cendres volantes sont partiellement récupérées : la chaux non utilisée contenue dans les cendres volantes est réhydratée, mélangée avec du charbon actif et de la chaux neuve et réutilisée.

Gestion des cendres

Les mâchefers sont collectés par une chaudière à fond ouvert. Ils passent par un tamis qui sépare la plus grande fraction, envoyée à l'enfouissement, de la fraction fine (en partie composée de sable) qui est recyclée dans le lit. Les grandes fractions sont traitées par des entreprises spécialisées qui récupèrent les métaux avant de les envoyer dans des installations de stockage des déchets non dangereux.

Les cendres volantes et les cendres de chaudière (issues de la deuxième section vide et de la section comprenant l'économiseur) sont collectées au fond des sections respectives et envoyées en installation de stockage des déchets dangereux.

Bilan massique

Tableau 75: Adven Jepua - Bilan massique incinération (compilation RECORD, 2018) (Adven, 2017)

	Unité	2015	
Combustible	t	14 554	100%
RDF	t	8 341	57%
Copeaux de bois	t	6 213	43%
Cendres résiduelles	t	340 300 selon le permis	2,3%
Cendres volantes	t	673 1 200 selon le permis	4,6%
Consommation d'eau	m ³	33 000	-

Les proportions de cendres peuvent être plus élevées. La valeur de 13 % a été signalée pour un mois en 2015 (9 % de cendres volantes et 4 % de mâchefers).

Environ 120 t de sable par an sont nécessaires pour alimenter le lit.

Autres informations pertinentes

Adven exploite également des chaudières de secours sur le site de Mirka, alimentées par du biogaz, produit à partir de fumier dans une unité de méthanisation voisine. Les brûleurs des anciennes chaudières à fioul lourd ont dû être remplacés.

Le rendement de la chaudière à lit fluidisé bouillonnant est supérieur à 90 %.

L'installation ne produit pratiquement pas d'eaux usées car l'épuration des fumées est semi-sèche.

VIII.12.3.2. Propriétés du combustible



Figure 124 - RDF dans la zone de stockage des RDF (RECORD, 2018)

Critères de qualité du combustible

Le combustible doit se présenter sous forme de fluff.

Tableau 76: Critères qualité du RDF de la technologie Reneflex (compilation RECORD, 2018)
(KPA Unicon, 2017)

Critères d'acceptation		Unités
Pouvoir calorifique (à réception)	5 -20	MJ/kg
Granulométrie	<63	mm
Teneur en cendres	< 40	%-matière sèche
Alcalins (Na + K)	< 0,5	%- matière sèche
Phosphore	< 10	%-cendres
Impuretés (métaux, pierres, etc.)	< 1	%-poids à réception
Aluminium (métallique)	< 0,01	%- poids à réception

Propriétés du RDF

- PCI à réception :12,9 MJ/kg
- Humidité 21 %
- Cendres 23 %, sèches
- N 1,2 %, sec
- S 0,8 %, sec

La teneur en carbone biogénique n'est pas mesurée.

La composition du RDF n'est pas disponible.

Quantités autorisées

Selon le permis, la chaudière est autorisée à brûler :

- des RDF (jusqu' à 15 000 t/an – sur base d'un PCI de 12,2 MJ/kg (sans les résidus de production de Mirka), 35% d'humidité, 10% de cendres, 0,13% S) - soit 0 à 100% de la charge. Le permis stipule qu'un maximum de 4 500 t de déchets internes et de 12 100 t de RDF externes peuvent être utilisés. L'utilisation de 2500-3500 t de déchets abrasifs et 400-1000 t d'autres déchets non dangereux produits sur le site est prévue dans le permis. Les valeurs réelles n'ont pas été divulguées.
- de la biomasse (jusqu' à 22 000 t/an) sur base d'un PCI de 8,3 MJ/kg, 50% d'humidité, 2% de cendres, 0,02%S) - soit 0 à 100% de la charge. Notons que la taille du lit ne permet pas effectivement de brûler 22 000 t/an.
- de la tourbe (jusqu' à 4.000 t/an- 8,9 MJ/kg, 48 % d'humidité, 8 % de cendres, 0,25 %S) - soit 0 à 20 % de la charge. La tourbe n'est pas utilisée.
- du biogaz (jusqu' à 2,4 Mm³ - 15-20 MJ/m³) - soit 0 à 20% de la charge. Le biogaz n'est pas utilisé.

Quantités utilisées

- RDF: 8341 t/an (2015)
 - PCI moyen: 12,9 MJ/kg selon les données de KPA Unicon pour 2016 (avec les résidus de Mirka).
 - Le PCI du RDF change d'une livraison à l'autre. Lors de la visite, le PCI était supérieur à 20. De l'eau était ajoutée avant l'entrée dans la chaudière pour limiter la montée en température dans la chaudière.
 - Les déchets de production de Mirka représentent environ 10% du poids.
- Biomasse vierge sous forme de copeaux : 6 213 t/an (2015)
 - L'humidité de la biomasse varie d'une livraison à l'autre car elle est stockée en extérieur.

Proportion de RDF utilisée

- En masse : 57% (2015)
- En énergie : environ 80% selon KPA Unicon, 66% calculé sur la base de la consommation de carburant et des données de PCI pour l'année 2015.

VIII.12.3.3. Mode de production du RDF

Mode de production : Traitement mécanique

Les déchets de la production de papier de verre sont envoyés pour déchiquetage à l'unité de préparation de RDF, qui les mélange avec le RDF. Initialement ce procédé se faisait sur place, mais le coût était trop élevé compte tenu des petites quantités concernées. Adven est en cours d'amélioration des processus logistiques pour permettre au mélange de se faire sur site.

Le RDF est préparé à partir de déchets industriels (principalement papier, bois, panneaux isolants, plastiques). Le RDF est actuellement préparé par Kempeleen Siirtokuljetus Oy, une entreprise de Kempele, située à 250 km de Jepua. Les RDF proviennent toujours de Finlande.

Par le passé, Jepua a également utilisé des RDF préparés à partir de déchets municipaux.

La biomasse est fournie par Biowatti Oy située à Pori (250 km) et Lakeuden Ympäristöhuolto Oy à Seinäjoki (<100km).

Autres informations

Le prix du RDF est d'environ 5-7 €/MWh sur le marché finlandais (prix positif). Cette information n'est pas spécifique à cette usine. Cela correspondrait à un prix d'environ 18 à 25€/t pour le RDF utilisé à Jepua, sur base de son PCI. Aucune information spécifique au processus de production de RDF n'est disponible (taux de rejet, coût...). Les prix dépendent des sites producteurs et de la durée des contrats.

Le prix de la biomasse en Finlande est d'env. 20 €/MWh.

VIII.12.4. Conditions administratives

Terminologie

Le RDF est appelé REF (carburant recyclé). Cette terminologie provient de l'ancienne norme finlandaise VTT.

Normes et standards de qualité

La norme européenne SRF est maintenant en vigueur en Finlande. La norme n'est pas utilisée sur le site de Jepua.

Des exigences de qualité sont établies entre les producteurs de RDF et le site. Des exigences en matière de contrôle de la qualité sont introduites dans le permis.

Permis

Le site est conforme à un permis environnemental délivré par l'autorité environnementale régionale pour une installation de coïncinération des déchets.

La procédure dure au maximum 12 mois en l'absence de recours légaux.

En général, il n'y a pas de problème d'acceptation en Finlande pour les incinérateurs. Une seule usine a dû s'adresser au tribunal de commerce suite à une contestation des riverains. Par conséquent, l'usine a dû être remaniée et il y a eu un retard de deux ans.

Incinération/Coïncinération

Coïncinération des déchets en semaine.

Combustion de la biomasse pendant les week-ends (combustion de la biomasse inférieure à 50 MW).

Quotas et comptabilité des émissions de CO₂

Le site ne fait pas partie du système d'échange de quotas d'émission (<20 MW).

Réglementation RDF

Il n'y a pas de réglementation particulière pour les RDF mais des exigences peuvent être introduites au cas par cas dans les permis, telles que le type de déchets acceptés, la procédure de contrôle de la qualité.... Le cadre réglementaire principal est le cadre de la directive européenne IED.

Tableau 77 : Valeurs limites d'émissions (compilation RECORD, 2018) (Adven, 2017)

	Unités	Fréquence des mesures	Valeurs moyennes 2015	Valeurs limites d'émission (6% O ₂)	Equivalent (11% O ₂)
CO	mg/Nm ³	h*	40,8	150	100
SO ₂	mg/Nm ³	jour*	3,3	75	50
NO _x	mg/Nm ³	jour*	202,5	300	200
TOC	mg/Nm ³	jour*	1,08	15	10
HCl	mg/Nm ³	jour*	1,16	15	10
HF	mg/Nm ³	jour*	0,17	1,5	1

Poussières	mg/Nm ³	jour*	2,60	15	10
NH ₃	mg/Nm ³	*	15,8	-	
O ₂	mg/Nm ³	*	8,8	-	
H ₂ O	mg/Nm ³	*	14,7	-	
Hg	mg/Nm ³	***	0,0012	0,05	0,03
Cd+Tl	mg/Nm ³	***	0,0012	0,05	0,03
Métaux lourds	mg/Nm ³	**	1,76	0,5	0,3
PCDD/F	mg/Nm ³	***	0,00034	0,1	0,07

*moyenne horaire calculée en fonction de la moyenne mensuelle et des heures de service

**moyenne de 2 mesures par minute

***moyenne 6 à 8 heures

Les valeurs limites d'émission sont respectées.

Exemptions/exceptions : pas d'exemptions ou d'exceptions locales en place

Sortie de statut de déchet : pas de sortie de statut de déchet pour les RDF

Gestion des cendres - Règlementations et interprétations locales

En Finlande, il est possible d'analyser les cendres pour les classer comme non dangereuses/dangereuses. Toutes les usines en Finlande doivent analyser au moins une fois par an les cendres volantes et les mâchefers avec des tests de lixiviation, ce qui détermine la classification.

Une réforme est en cours pour clarifier les seuils de présence de polluants dans les cendres.

En Finlande, la majeure partie des cendres volantes issues de la combustion de la biomasse est utilisée comme engrais en foresterie. La qualité des cendres volantes de chaudières biomasse n'est pas suffisante pour être utilisée en agriculture. A Jepua, les cendres volantes sont mises en décharge. Les cendres volantes produites lors de la combustion de déchets sont mélangées avec celles produites lors de la combustion de biomasse.

VIII.12.5. Conditions économiques

Historique

Le site est rentable.

Des adaptations ont été introduites pour éviter l'encrassement, afin d'augmenter le temps de fonctionnement et la part des déchets utilisées, et donc la rentabilité du site.

Lorsque la demande de chaleur de Mirka est suffisante, les déchets sont préférés parce que c'est un combustible moins cher qui accélère le retour sur investissement.

Consommateurs d'énergie : Mirka

La part de la demande en énergie couverte par les RDF n'a pas été précisée mais on peut supposer que la chaudière couvre 100% des besoins puisque les chaudières à biogaz sont qualifiées de chaudières de secours. Adven essaie de maximiser l'usage de déchets.

Contrats

Le contrat avec le consommateur de chaleur Mirka est un contrat de long-terme, typiquement 10 ans ou plus. Le prix de la chaleur est partiellement indexé sur le prix du pétrole. Aucune information supplémentaire n'a été fournie concernant les contrats.

Structure des recettes

Toutes les recettes proviennent de l'énergie, le combustible ayant un prix positif.

Soutiens

Aucun soutien au fonctionnement.

KPA Unicon (fournisseur de Chaudière) indique que des soutiens peuvent être attribués à la production de biomasse et de RDF en Finlande. Lassila & Tikanoja Oyj/plc, un acteur majeur de la production de RDF en Finlande, nous a en revanche indiqué qu'aucun soutiens était attribué à la production de RDF en Finlande.

Le site pourrait avoir reçu des soutiens à l'investissement de la part des autorités locales ou de l'Etat (environ 10%).

Le projet R&D a été subsidié à hauteur de 35% (350 000€ sur 1 M€).

Structure des coûts

CAPEX: 13 M€ pour l'installation + 1 M€ de projet R&D

Personnel : nous estimons le coût du personnel à environ 100 k€/an.

Il n'y a qu'un seul opérateur sur place et 2 équipes de jour. Il n'y a pas d'opérateur sur place la nuit et le week-end. Cela représente environ 2 ETP.

Coût d'entretien : env. 200 000€/an

Taxes et quotas CO₂ : Non pertinent. Le site n'est pas soumis aux quotas de CO₂ (<20 MW).

VIII.12.6.Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Facteurs clés de succès

- Relation à long terme avec un partenaire dont la consommation de chaleur est continue pendant la semaine (5 jours sur 7 à 100%). Cette condition est importante pour permettre de fonctionner avec des déchets une proportion suffisante du temps. Cela est particulièrement important pour la rentabilité de l'installation à cette échelle.
- Technologie permettant d'utiliser de manière flexible et séquentielle les déchets et la biomasse. La rapidité du contrôle de l'air permet notamment une adaptation du fonctionnement aux propriétés du combustible.
- La forte automatisation permet un fonctionnement à distance la nuit et les week-ends, ce qui réduit les coûts de personnel.

Aucune influence directe de la stratégie régionale ou nationale n'a été signalée, mais elle aurait pu contribuer au développement de la préparation des combustibles..

Freins et leviers

Aucune contestation des riverains n'est à signaler.

Les problèmes techniques liés à l'encrassement ont été résolus.

Perspectives

Une troisième zone de réception sera aménagée pour plus de souplesse et pour permettre à Adven de mélanger les RDF à distance.

Transposition

- L'installation se conforme à plusieurs principes de la réglementation française :
 - Dimensionnement pour un besoin en chaleur
 - Efficacité énergétique très probablement supérieure à 70% à l'année
 - Statut de coïncinération
 - Le PCI est conforme la définition française du CSR
- Par plusieurs aspects, l'installation de Jepua ne se conforme pas à la vision de la filière CSR en France :
 - Le nombre de critères qualité imposés par la réglementation (via le permis) est nettement inférieur au nombre de paramètres à suivre selon la réglementation française.
 - Le site est soumis à la réglementation sur la combustion de biomasse et à la réglementation sur la coïncinération en fonction du combustible utilisé.

- Les cendres ne sont pas classées comme des déchets dangereux et sont utilisés en technique routière ; probablement en raison de la coïncination de biomasse et de RDF.
- Une seule personne présente en journée, ce qui ne permet pas un contrôle visuel systématique de la réception (toutefois possible par caméra).

VIII.12.7.Détails sur la visite

Date: 22/08/2017

Adresse: Pensalantie 210, 66850 Jepua

Contact détails:

Nom	Responsabilité	Organisation	Contact
ASPELIN Timo	Key Account Manager	Renewa- KPA Unicon	Tel. +358 207 749 220 I Mob. +358 44 422 1509 timo.aspelin@kpaunicon.com
AARNIO Esa	Vice-Président, Development	Business Adven Oy	Tel +358 40 866 9261 esa.aarnio@adven.com

VIII.13. HKW Brême Blumenthal (Allemagne)

VIII.13.1. Carte d'identité du site

Nom commun du site : L'installation est constituée en une société propre appelée Heizkraftwerk Brême-Blumenthal GmbH.

Adresse: Marschgehren 13, 28779 Brême

Employés : 17

Capacité :

- 35 MW de puissance thermique nominale
- 31 MW de puissance d'entrée
- Quantités de RDF utilisées: 65-68 000 tonnes/an

Opérateur, planification et construction:

BREWA. L'exploitation de l'installation est réalisée par BREWA mais BREWA n'est pas impliquée dans les négociations de prix pour les déchets et l'énergie.

BREWA est une PME privée locale basée à Brême (30 employés). Outre l'installation de combustion de RDF de Brême Blumenthal, BREWA exploite une installation d'évaporation pour les déchets liquides non dangereux ainsi qu'une installation de traitement des eaux usées d'une capacité de 100 000 équivalents-habitants. BREWA fournit également des services de planification et d'ingénierie pour d'autres usines et propose en particulier de planifier et de concevoir des installations d'incinération RDF de 35 MW (la technologie en place à Brême Blumenthal).

Propriétaire: AWG Bassum.

De 2005 à début 2009, l'installation était détenue par AWG et BWK dans le cadre d'une joint-venture.

AWG Bassum est une entreprise publique locale créée il y a 40 ans comme une filiale de l'arrondissement de Diepholz. L'entreprise s'est vue attribuer un contrat global pour l'élimination des déchets ménagers et commerciaux de l'arrondissement. Le dernier contrat pour la gestion publique des déchets avec l'arrondissement a été conclu en 2010, jusqu'au 31 décembre 2020.

BREWA et AWG ne sont pas financièrement reliés.

BWK est une entreprise de production textile (peignage de laine) fondée au XIXe siècle à Brême. L'installation de combustion de RDF alimentait initialement cette usine (entre 2005 et début 2009). Les actionnaires ont décidé de fermer la succursale de Brême en 2008. L'installation a été fermée en février 2009. La société BWK a encore des activités dans d'autres pays.

Consommateurs d'énergie :

- BREWA : installation d'évaporation des déchets liquides non dangereux ;
- Installation de production de textiles techniques ;
- Réseau de chaleur alimentant 3 bâtiments.



VIII.13.2.Historique et description des activités



Figure 125: Installation dédiée à la combustion de RDF de Bremen Blumenthal (RECORD, 2018)

Historique de la gestion du site :

- 2003: Début du projet.
- 2004: L'AWG (AbfallWirtschaftsGesellschaft) et la BWK (Bremer Woll-Kämmerei) ont créé une joint-venture Unternehmen Heizkraftwerk Blumenthal GmbH afin de commander la nouvelle planification, la transformation et l'exploitation de l'ancienne centrale au charbon détenue par BWK. Les besoins en chaleur de l'usine textile et la disponibilité de combustibles dérivés des déchets de l'AWG ont rendu la conversion de l'ancienne usine de charbon pertinente pour les deux parties prenantes. Le contrat pour la planification, la construction et l'exploitation de l'usine a été attribué à BREWA qui, depuis lors, exploite l'usine.
- Juin 2005: Mise en service de l'usine RDF.
La planification et la construction ont duré environ 2 ans, dont 6 mois pour la construction et 1,5 ans pour le permis.
- 2005-2009: la propriété du site a été partagée entre BWK et AWK.
- 2007: L'actionnaire majoritaire de BWK, Elders (société privée australienne spécialisée dans l'agro-industrie) rachète 100% de l'entreprise et retire BWK de la Bourse de Brême.
- 2008: BWK décide de fermer son usine de laine à Brême.
- Février 2009: BWK ferme ses portes. AWG rachète les parts de BWK dans l'installation de combustion de RDF. La société HKW Blumenthal GmbH a été informée quelques mois à

l'avance de la fermeture de BWK et a réussi à trouver d'autres clients de chaleur dans la région et à installer des conduites de chaleur pour les raccorder. Le site n'a pas été fermé.

Le projet a été initié par l'AWG qui voulait trouver un exutoire pour ses déchets. La principale motivation de BWK pour construire l'installation était les prix élevés de l'énergie, qui a poussé l'entreprise à s'intéresser à des substituts pour le charbon utilisé jusqu'alors. En 2005, grâce à la TASI, le prix de l'élimination des déchets était élevé, ce qui a rendu les installations de valorisation énergétique des déchets économiquement rentables.

Les adaptations suivantes ont été apportées à l'ancienne installation à charbon:

La puissance thermique nominale de la chaudière a été réduite pour atteindre 31 MW (au lieu de 50 MW) afin de s'adapter aux besoins en chaleur de BWK.

Les turbines, l'équipement de pompage d'eau et la cheminée ont été conservés.

Les brûleurs, la chaudière, les échangeurs de chaleur et l'équipement d'alimentation en combustible ont été remplacés. Le système d'épuration des effluents gazeux a été modifié pour être conforme à la réglementation.

Aucune évolution significative de l'installation ou de la composition des déchets n'a été introduite depuis sa mise en service. Les bandes transporteuses ont été remplacées plusieurs fois et le système de convoyage (pièces métalliques) a été remplacé une fois.



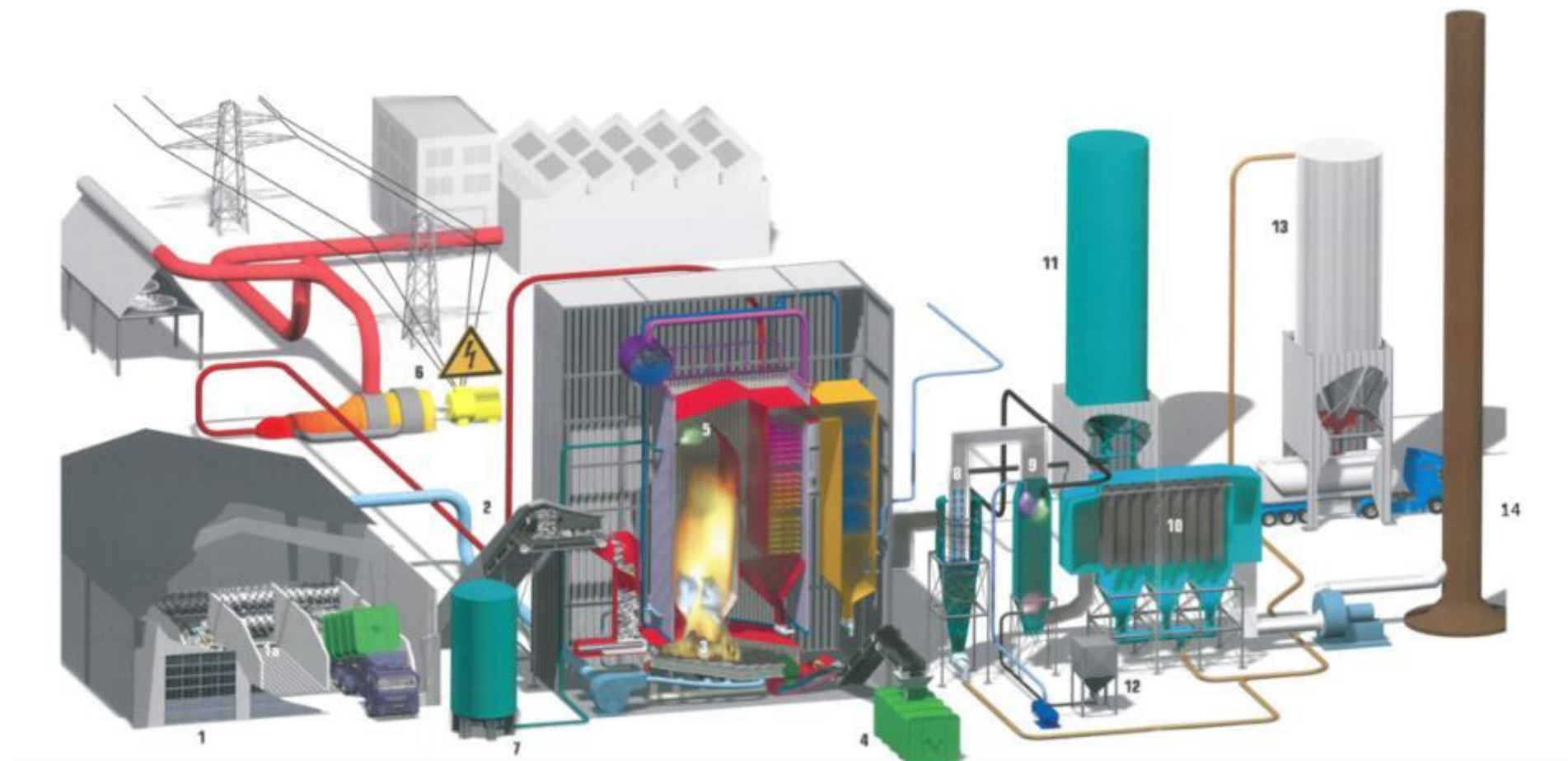
Figure 126: Vue aérienne de la zone industrielle de Bremen Blumenthal (compilation RECORD, 2018) (BREWA, 2017)

Principal objectif de l'utilisation de RDF : Production de vapeur pour l'industrie et d'eau chaude pour le chauffage de bâtiments

VIII.13.3. Conditions techniques de fonctionnement

VIII.13.3.1. Fonctionnement de l'installation utilisatrice de RDF

Figure 127: Diagramme technique de l'installation de Bremen Blumenthal (BREWA, 2017)



1. Aire de réception des RDF
2. Alimentation des RDF
3. Grille
4. Mâchefers
5. Production de vapeur
6. Turbine à contre-pression
7. SNCR
8. Cyclone
9. Adsorbant-bicarbonate de soude et charbon actif
10. Filtre à manches
11. Silo bicarbonate de soude
12. Silo charbon actif
13. Silo cendres volantes
14. Surveillance des émissions

Fournisseurs de technologie :

- Convoyeurs et technologies de décompactage pour RDF: Hortsmann
- Système d'alimentation en RDF: AT Feuerungstechnik AG
- Chaudière: Wessel GmbH
- Epuration des fumées: DrySoTec, Indutec

Technologie de combustion : grille mobile, refroidie à l'eau

Un convoyeur achemine le combustible au-dessus d'une aire de stockage verticale de 18 m qui correspond à 1 à 2 heures de production. La capacité du convoyeur est de 200 t/jour.

L'air du hall de réception RDF est utilisé comme air de combustion.

La chaudière est équipée de 3 entrées d'air.

La vapeur est générée dans les conduites situées dans les parois des chaudières (membranes). Les tuyaux sont chauffés avec de l'eau préchauffée.

L'eau est pompée par un puits. Le circuit de vapeur n'est pas fermé: la vapeur livrée aux clients ne revient pas sous forme d'eau.

Adaptabilité à d'autres combustibles

Initialement, il était envisagé de construire une chaudière qui pourrait brûler à la fois des déchets et du charbon, mais il a finalement été décidé de concevoir une installation qui pourrait uniquement brûler des déchets. Le risque d'un approvisionnement limité en déchets a été considéré mais évalué comme un risque minimal, compte tenu également du fait que le producteur de déchets (AWG) était propriétaire du site. En théorie, l'installation pourrait aussi brûler de la biomasse, mais elle n'a pas été conçue à cette fin.

Capacité : 65-68 000 t/an de RDF sont utilisées.

Fonctionnement du four

31 MW en entrée (sur base du PCI).

Gamme technique LHV: 11-18 MJ/kg.

Pouvoir calorifique réel: 10-12 MJ/kg en moyenne.

Turbines

1 turbine à contre-pression de 8 MW utilisée à 3 MW située sur le site d'incinération.

2 turbines à condensation de 2 MW chacune 2 MW utilisées à 1 MW chacune situées dans les anciens locaux de BWK.

Nombre d'heures de fonctionnement : 8100 heures

Le site fonctionne 24h/24 et 7j/7 et il y a 4 semaines d'arrêts (2 fois 2 semaines).
Des chaudières à gaz sont utilisées comme chaudières de secours.

Puissance sortante

Production d'environ 24-25 MW de vapeur produite par la chaudière

Production de 5 MW d'électricité

Production de chauffage urbain de 3 MW

Le reste de l'énergie est fournie à l'usine de textile et à l'usine d'évaporation de déchets liquides non dangereux.

Production d'énergie

Production de vapeur: 195 500 MWh/an.

Électricité: 24 000 MWh/an

Propriétés vapeur

35 t/h

Pour la production d'électricité: 40 bar, 400°C.

Pour la distribution de chaleur aux clients industriels et pour le chauffage urbain: 4 bar, 140°C.

Consommateurs d'énergie

L'électricité est injectée dans le réseau public.

Le reste de la vapeur pauvre en énergie est utilisée comme vapeur de production ou pour le chauffage de bâtiments. En cas de baisse de la demande, la vapeur peut également être recondensée dans de grands condenseurs à air. Dans ce cas, l'installation peut produire plus d'électricité. La vapeur n'est pas utilisée par les clients pour produire de l'électricité.

Les consommateurs de chaleur actuels sont:

- 3 immeubles de bureaux (chauffage urbain) situés à quelques centaines de mètres de l'installation.
- L'installation d'évaporation opérée par BREWA (distance environ 2km)
- Un fabricant de textiles techniques localisé environ à 2 km de l'installation.

Contrôle des émissions

Les concentrations en poussières, SO_x, HCl, NO_x et CO sont surveillées en permanence. Des mécanismes automatiques s'activent si les paramètres dépassent des valeurs limites d'émission.

Le système d'épuration des fumées se compose des étapes suivantes:

- SNCR: La solution d'urée est injectée dans la partie haute de la chaudière et mélangée aux fumées chaudes pour réduire les émissions de NO_x.
- Cyclone (particules) - 200°C
- Économiseur: L'eau est mélangée aux gaz de combustion pour les refroidir avant les étapes suivantes du système d'épuration des effluents gazeux. L'eau est ainsi préchauffée pour alimenter le générateur de vapeur.
- Injection de bicarbonate de soude finement broyé pour neutraliser les acides.
- Injection de charbon actif finement pulvérisé pour capter les traces de dioxines, furannes, mercure et hydrocarbures aromatiques polycycliques.
- Un filtre à manches retient les particules fines et les additifs résiduels de l'épuration des fumées.

Gestion des résidus de combustion

Quantités de résidus par rapport à la masse de RDF entrante: environ 25 %.

Quantités de mâchefers (déchets non-dangereux): 13 000 t/an, 20% de la masse de RDF entrante.

Cendres volantes (récupérées au niveau du cyclone et du filtre à manches puis mélangées, déchets dangereux): 2 500 t/an, 4 % de la masse de RDF entrante.

Les mâchefers tombent sous la chaudière et sont trempés dans un extracteur humide. Des convoyeurs transportent les scories et les mâchefers dans des conteneurs fermés qui sont envoyés au centre d'élimination des déchets de Bassum où ils sont utilisés pour stabiliser la décharge. Les camions qui amènent les RDF enlèvent les cendres résiduelles.

Les cendres volantes du filtre à manches et du cyclone sont mélangées et stockées dans des installations de stockage souterraines en tant que déchets dangereux.

Autres

Pas de traitement des eaux usées: le nettoyage des effluents gazeux est à sec

Rendement technique de la chaudière: 84% (production de vapeur/énergie entrante).

VIII.13.3.2. Propriétés du combustible

L'installation utilise uniquement du RDF.

Quantités RDF : 65-68 000 t/an

PCI : 10-12 MJ/kg

Granulométrie: 40-300 mm

Origine du RDF

AWG fournit le RDF à partir de son installation de traitement des déchets résiduels basée à Bassum (environ 60 km de l'installation d'incinération).

Composition du RDF

Plastiques, papier, bois : teneurs inconnues



Figure 128: Bremen Blumenthal - Photos du RDF (RECORD, 2018)

Cf critères d'acceptation (conditions administratives) pour des indications sur la composition. Les valeurs réelles mesurées n'ont pas été fournies.

Teneur en carbone biogénique: non mesurée.

Masse volumique/poids moléculaire: 350 kg/m³.

Le RDF est compacté dans des conteneurs pour le transport et est décompacté à la réception et mélangé afin d'assurer de bonnes conditions de combustion.

VIII.13.3.3. Mode de production du RDF



1. Zone de livraison
2. Installation de préparation
3. Convoyeur
4. Digestion anaérobie/Fermenteur
5. Salle des machines pour la digestion
6. Zone de compostage
7. Post-compostage
8. Biofiltre - Traitement de l'air vicié
9. RTO (Regenerative thermal oxidizer) – Traitement de l'air vicié
10. Post-broyage
11. Entreposage

Figure 129: Plan de l'installation de préparation de RDF de AWG Bassum (AWG, 2017)

Origine des déchets :

- plus de 80% de déchets ménagers ;
- 20% de déchets d'activités économiques.

Ces déchets ne font pas l'objet d'une collecte séparative.

Origine géographique: déchets de l'arrondissement de Diepholz, soit l'arrondissement où est situé l'installation de préparation de RDF (Bassum, 60 km de l'usine d'incinération).

Mode de production : Traitement mécanique

L'installation est une installation de traitement mécano-biologique. Cependant le RDF ne subit qu'un traitement mécanique et ne fait pas l'objet de traitement biologique.

Les étapes du procédé sont les suivantes. Le RDF est envoyé

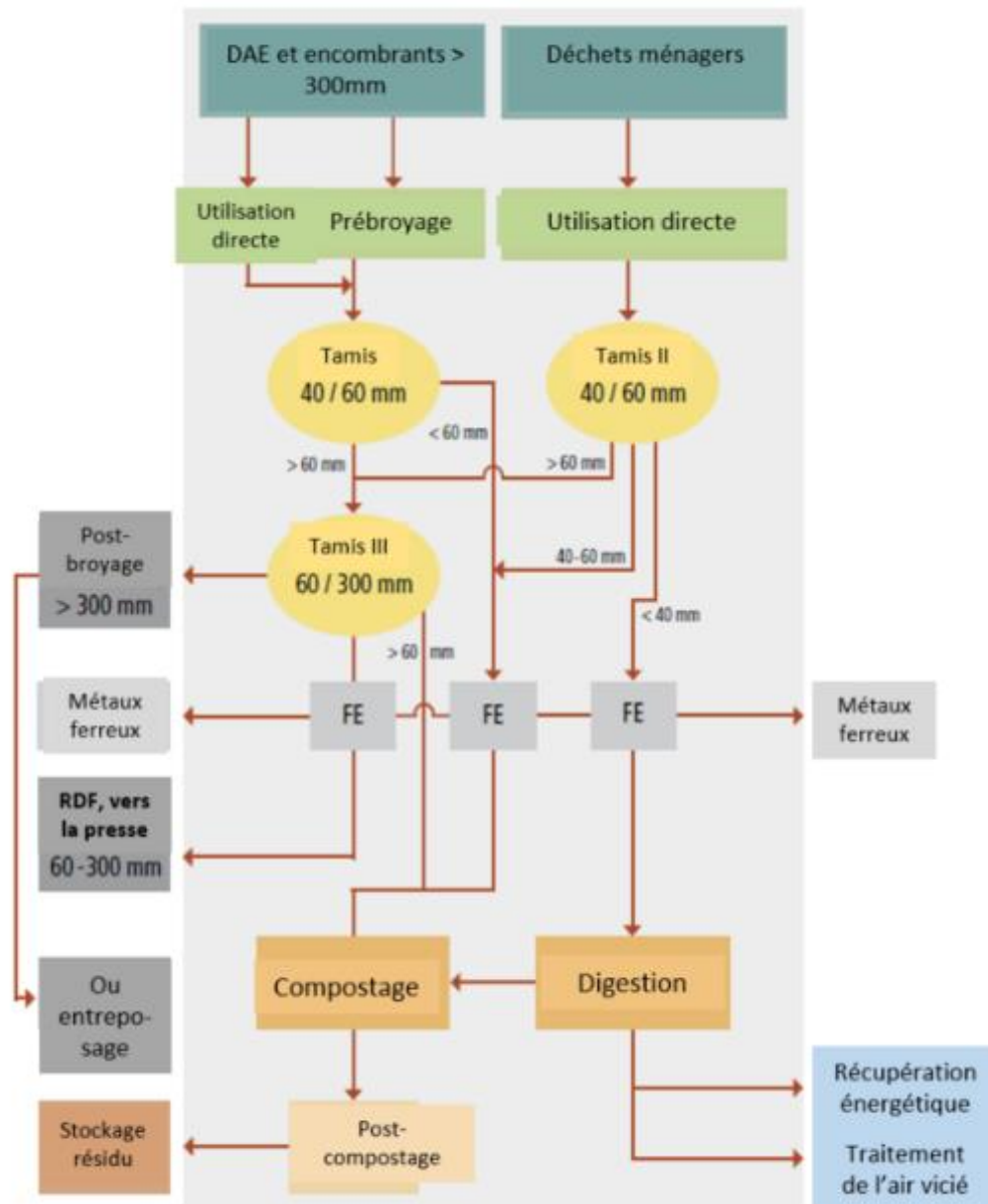


Figure 130: Préparation du RDF par AWG Bassum - Synoptique du procédé (compilation RECORD, 2018) (AWG, 2017)

Tri

Les impuretés grossières sont écartées.

Les déchets commerciaux et encombrants de grande taille (encombrants en particuliers) sont prébroyés. Les déchets municipaux ne sont pas broyés.

Tamisage (aussi appelé criblage)

La première étape du processus de gestion des DAE et encombrants est un tamisage :

- la fraction <60 mm va au compostage pour la stabilisation d'un résidu avant mise en décharge ;
- la fraction >60mm est dirigée vers une presse pour la production de RDF, et elle n'est pas digérée.

Les déchets municipaux doivent également être tamisés :

- la fraction la plus fine (<40 mm) est digérée ;
- la fraction moyenne (40-60 mm) est compostée avec les déchets commerciaux, industriels et les encombrants pour stabilisation d'un résidu avant mise en décharge ;
- la fraction la plus grande (60 mm -300 mm) fournit du RDF à Brême Blumenthal, après avoir été mélangée avec la grande fraction des déchets commerciaux, industriels et encombrants et envoyée vers une presse.

Pendant tout le processus de tamisage, les déchets passent plusieurs fois auprès d'aimants qui séparent les métaux ferreux.

La fraction supérieure à 300 mm est envoyée vers un post-broyage et revient vers le tamisage.

Digestion

Les déchets de granulométrie inférieure à 40 mm, de l'eau et les résidus de fermentation de la digestion précédente sont mélangés. Le mélange est chauffé avec de la vapeur surchauffée à 55 °C et versé dans le fermenteur.

Les déchets sont fermentés pendant environ trois semaines dans le réacteur de 30 m de hauteur dans des conditions d'étanchéité à l'air (anaérobie). Cela produit du biogaz contenant du méthane.

Dans la centrale de cogénération, le biogaz produit est mélangé avec le biogaz de l'installation de fermentation sèche et les gaz d'enfouissement des déchets, et ce biogaz est converti en électricité et en chaleur ou utilisé pour la post-combustion de l'air vicié produit sur site. La chaleur dégagée est utilisée pour chauffer l'hôpital de Bassum.

Compostage

Dans la salle de compostage, les déchets d'une granulométrie allant jusqu' à 60 mm sont compostés avec les résidus de digestion. Au cours de ce processus, de l'air et de l'eau sont ajoutés au besoin pour contrôler le processus de façon optimale. Après huit semaines, le compostage principal est terminé.

Post- compostage

Afin de respecter les valeurs limites de l'ordonnance sur la mise en décharge, les produits de compostage doivent continuer à se dégrader. Le post-compostage permet d'avancer la minéralisation, ce qui est réalisé sans aération active. Des résidus biologiquement stabilisés se forment en 4 à 6 semaines et sont ensuite envoyés en installation de stockage de déchets non dangereux.

Taux de rejet du procédé de préparation de RDF:

51% (1% métaux, 4% autres rejets, 39% fraction à composter, 7% fraction digérée).

La fraction qui va en décharge représente environ 25 % de la quantité initiale de déchets.

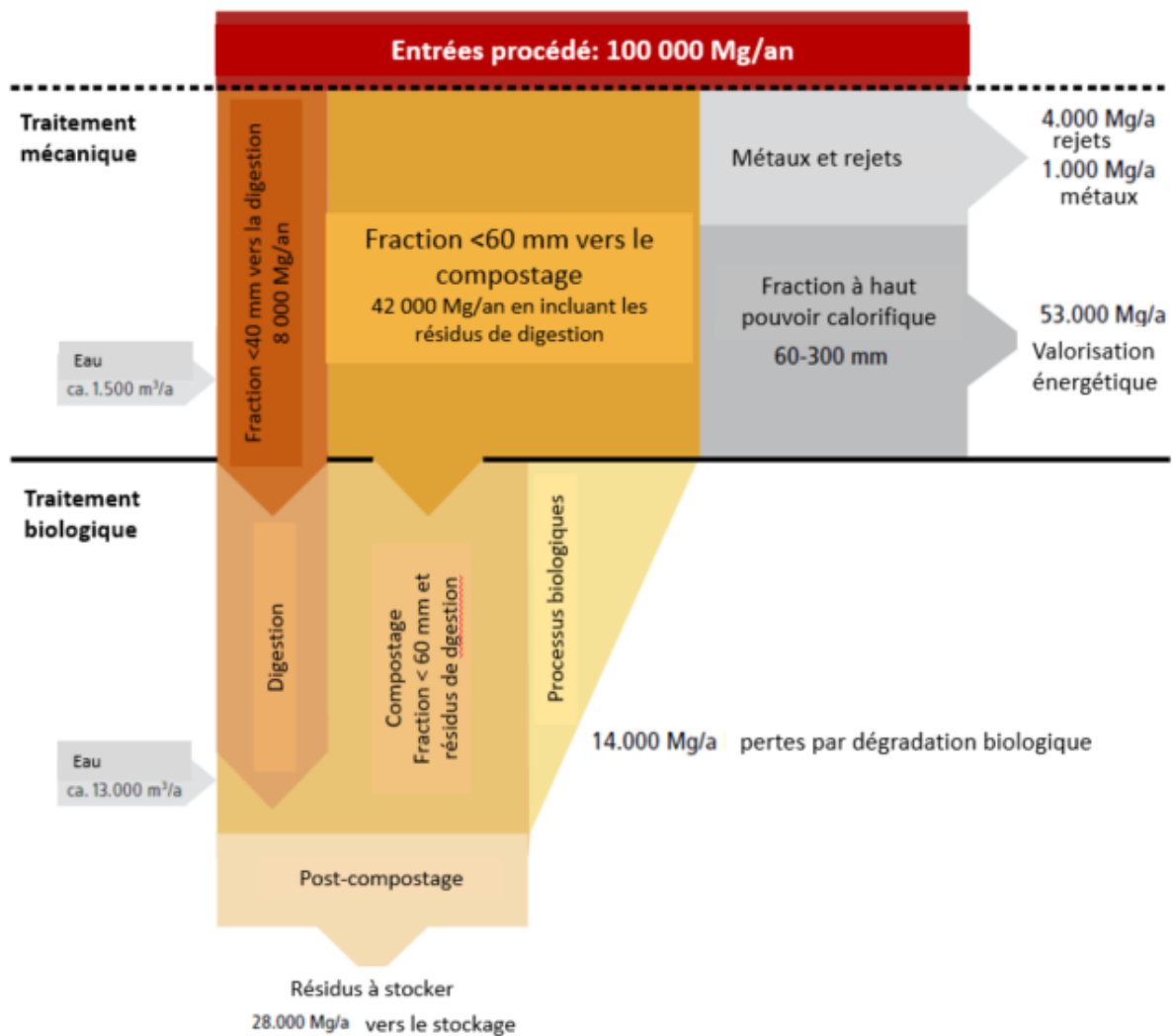


Figure 131: Procédé de préparation des RDF utilisés à Brême - Bilan massique (compilation RECORD, 2018) (AWG, 2017)

Coût de préparation et prix RDF: pas d'information

Le prix d'acceptation des déchets en entrée de TMB est estimé à 80-90€/t.

VIII.13.4. Conditions administratives

Terminologie

Le RDF est appelé Ersatzbrennstoffe (EBS).

Normes et standards de qualité

Le RDF ne se conforme pas à une norme. Des standards commerciaux sont établis entre l'installation d'incinération et le préparateur (AWG).

Tableau 78 : Spécifications pour le RDF utilisé à Brême Blumenthal (compilation RECORD, 2018) (BREWA, 2017)

Paramètre	Valeur cible	Gamme acceptée
PCI	14	11-18
Hg	0,2	0,2-0,6
Cl	0,7	0,4-1,4
Taux d'humidité	20%	15-30%
Teneur en matière organique / pertes au feu	80% matière sèche	75-85% matière sèche
S	0,2%	0,2-0,6%
Inertes et métaux	<3%	
Fraction >300mm	<5%	

Permis – Incinération

Les exigences en matière de permis sont régies par la 17. BImSchV, qui établit des normes pour les valeurs d'émission, comme souligné dans la section sur les émissions, et une capacité maximale pour l'installation. D'autres exigences, comme par exemple concernant la réduction des risques d'incendie et le traitement des déchets, sont également spécifiées dans la 17. BImSchV.

Les autorités chargées des permis environnementaux sont les autorités du Land de Brême.

La procédure d'obtention du permis a pris 1,5 an. Il n'y a pas eu de difficultés avec les autorités locales.

Quotas de CO₂ et comptabilité

Il n'y a pas de quotas de CO₂ en Allemagne pour les incinérateurs de déchets.

Le carbone biogénique n'est pas mesuré.

Réglementation RDF

Il n'y a pas de différence avec l'incinération conventionnelle des déchets en termes de réglementation.

Les valeurs limites d'émission de la 17. BImSchV doivent être respectées.

Tableau 79 : Valeurs limites d'émission et valeurs moyennes observées - Bremen Blumenthal (compilation RECORD, 2018) (BREWA, 2017)

Emissions mesurée en mg/Nm ³	Moyenne sur une demi-heure – valeur maximale	Valeurs journalières maximales (installations <50 MW)	Valeur moyenne observée (2016)
NO _x	400	200	186
Hg	0.05	0.01	0.0007
SO ₂	200	50	18
HCl	60	10	6.3
CO	100	50	18.9
TOC	20	10	0.28
Poussières	20	10	0.54
NH ₃	15	10	5.29
HF	4	1	0.5
PCDD/F (ng/Nm ³)		0.1	0.003

Le site respecte les seuils pour les installations d'une puissance nominale inférieure à 50 MW.

Exceptions / exemptions: Aucune exception locale.

Sortie de statut de déchet : Il n'y a pas de critères de sortie de statut de déchet pour les RDF en Allemagne.

Gestion des résidus de combustion

La 17. BImSchV spécifie que le traitement des mâchefers et cendres volantes doit être effectué selon la BImSchG et la hiérarchie des déchets établie dans la loi KrGW (Kreislaufwirtschaftsgesetz – loi sur l'économie circulaire).

En outre, la 17. BImSchV § 5 stipule que les installations doivent être exploitées de manière à ce que les cendres et les boues représentent moins de 3 % du carbone organique total ou une perte d'inflammation inférieure à 5 % du poids sec.

Le §12 stipule que les cendres volantes et les poussières de chaudière doivent être enregistrées séparément et avant la récupération ou l'élimination. En particulier les propriétés physiques et chimiques et la part des impuretés nocives doivent être déterminées. L'analyse est effectuée pour la fraction soluble totale et les métaux lourds dans les fractions solubles et insolubles.

Les cendres de cyclone n'ont pas été testées spécifiquement pour vérifier si elles peuvent être reclassées comme déchets non dangereux.

VIII.13.5. Conditions économiques

Evolutions du modèle d'affaires

Entre 2005 et 2009, le site ne fournissait que l'usine de production de laine BWK, avec un besoin constant de chaleur. Lors de la construction du site, BWK et AWG étaient convaincus que l'usine de laine resterait à Brême.

Lorsque BWK a décidé de fermer ses portes (2008, pour une fermeture début 2009), il y avait un risque que l'usine de valorisation énergétique des déchets soit également fermée. Il était difficile de trouver d'autres clients pour la chaleur.

Appréciation générale

Le site était et est toujours rentable aujourd'hui, sans aide financière, subventions ou réductions d'impôts. AWG a décidé de réinvestir dans le site (changement de convoyeurs par exemple) ce qui semble démontrer un certain intérêt financier.

Consommateurs de chaleur

- 3 immeubles de bureaux (chauffage urbain) à quelques centaines de mètres.
- Installation d'évaporation des déchets liquides non-dangereux opérée par BREWA env. à 2 km de l'usine. Le site a besoin de chaleur de 6h à 18h (12 heures par jour).
- Fabricant de textiles techniques localisé env. à 2 km de HKW. Le site a besoin de chaleur 1-2 jours par semaine.

L'installation couvre la totalité de leur demande de chaleur. Le gaz sert de combustible d'appoint.

Contrats : les prix sont établis pour un an.

Aucune information sur la négociation des prix n'a été divulguée.

Structure des recettes : Les informations spécifiques au site n'ont pas été divulguées.

Les estimations du prix des déchets non préparés établies ailleurs en Allemagne (80-90€/t) sont également valables pour cette installation.

Prix de vente de la chaleur: La valeur proposée (30-40€/MWh) a été considérée comme une estimation raisonnable.

Prix de vente de l'électricité: Le prix de vente actuel est de 30€/MWh.

Soutiens

Aucune subvention n'a été reçue.

En tant qu'unité de valorisation énergétique des déchets, le site n'est pas admissible aux tarifs de rachat d'électricité.

Structure des coûts

Pas de données précises disponibles

M. Abrath estime que les coûts d'investissement se sont élevés à 16-17 millions d'euros pour l'adaptation de la centrale à charbon en incinération et que, si elle devait être construite à partir de zéro aujourd'hui (y compris le bâtiment, la cheminée...) , cela coûterait entre 35 et 40 millions d'euros.

Coût d'élimination des cendres: aucune information

Personnel: 14 ouvriers et 3 cadres. 3 travailleurs sont sur place tout le temps.

Taxation et quotas CO₂

Le site n'est pas soumis à des quotas de CO₂.

VIII.13.6.Conclusions : Facteurs clés de succès, freins et leviers, transposition

Facteurs clés de succès

- Le TaSI, mise en œuvre à partir de 1993 avec des exemptions jusqu'en 2005, interdit la mise en décharge des déchets ménagers non préparés, suivie d'une exigence similaire (2009) pour les déchets industriels et commerciaux. Cela a conduit à rendre disponible sur le marché des grandes quantités de déchets préparés qui ont rendu la valorisation énergétique intéressante financièrement.
- Le choix de la cogénération laisse une certaine flexibilité pour s'adapter à la demande énergétique variable des différents clients.

Freins et leviers

L'acceptation de la population pour le site est relativement faible ;

La fermeture de BWK a représenté un grand défi pour le site. Elle a été annoncée à l'installation de valorisation énergétique quelques mois à l'avance et a laissé suffisamment de temps au site pour qu'il trouve de nouveaux clients pour la chaleur et qu'il installe les canalisations pour alimenter les nouveaux consommateurs. La distance d'approvisionnement est relativement importante (jusqu'à 2km) ce qui a constitué un coût important mais supportable. Ainsi, le site n'a pas dû être fermé à l'arrêt de BWK.

Perspectives

Aucune évolution n'est prévue.

L'évolution potentielle de la composition des déchets n'est pas considérée comme un risque significatif.

Transposition

- L'utilisation des bâtiments d'une ancienne chaudière et de certaines installation (turbines) est un modèle intéressant à transposer car il réduit le coût d'investissement, tout en permettant l'utilisation des meilleures techniques disponibles au niveau chaudière, épuration, alimentation... Ce type d'adaptation peut être contraint par la place disponible sur le site existant.
- Le risque lié à la disparition du consommateur de chaleur (ou la baisse de sa demande) doit être envisagé. La présence, dans le cas de Brême, d'autres industries ou bâtiments susceptibles d'utiliser de la chaleur à proximité est un plus pour limiter les risques.
- L'installation se conforme à plusieurs principes de la réglementation française :
 - Dimensionnement pour un besoin en chaleur
 - Efficacité supérieure à 70% à l'année
- Par plusieurs aspects, l'installation de Brême Blumenthal ne se conforme pas à la vision de la filière CSR en France :
 - Statut d'incinération. Le site n'est pas soumis à quotas de CO₂.
 - Le PCI est inférieur à 12 MJ/kg, valeur seuil de la définition française du CSR.
 - Le nombre de critères qualité suivis volontairement par le site est nettement inférieur au nombre de paramètres à suivre selon la réglementation française.

VIII.13.7.Détails sur la visite

Date : 17/11/2017

Adresse : Marschgehren 13, 28779 Bremen

Contacts :

Nom	Responsabilité	Organisation	Détails du contact
ABRATH Andre	Directeur Heizkraftwerk Blumenthal	BREWA	+49 421/ 989 718- 13 andre.abrath@brewa.de

IX. Annexe 3 : Liste des personnes interrogées

Contacts	Pays/organisation	Détails
ARPAV	Italie	Agence régionale de protection de l'environnement de la Vénétie
Geert CUPERUS	ERFO Finlande	European Recovered Fuels Organisation
Markus GLEIS	Allemagne	Umweltbundesamt, Section III 2.4 "Waste Technology/Waste Technology Transfer
Hubert GRECH	Autriche	Ministère de l'environnement, section gestion des déchets
GSE (Gestore dei Servizi Energeici)	Italie	Gestionnaire du réseau électrique italien en charge du marché des certificats verts et des prix du marché
Alain HOUTAIN	Belgique (Wallonie)	Responsable du Département du Sol et des Déchets de la Région wallonne
Hannula JANNE	Finlande	LASSILA TIKANOJA Producteur de RDF en Finlande
Olaf Van HUNNIK	Pays-Bas	Waste and materials - Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Tuuli MYLLYMAA	Finlande	Finnish Environment Institute (SYKE)
Hanna SALMENPERA	Finlande	Ymparisto (Ministère de l'environnement)
Luk UMANS	Belgique (Flandre)	OVAM
Mikko TALOLA	ERFO	European Recovered Fuels Organisation

A cette liste s'ajoute les personnes interrogées par site (voir annexe 2).

X. Bibliographie

La présente étude a été menée de manière conjointe avec une étude commanditée par la Direction Générale des Entreprises. DGE, Benchmark européen du marché des CSR, 2018.

- [1] FNADE, SN2E, «Etude sur l'élaboration d'un modèle économique global de production et valorisation de CSR,» 2015.
- [2] Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung (ASA) e.V., «Stille Reserven Abfall – Ressourcen für die Zukunft,» 2011.
- [3] BIPE, «Les conditions économiques et réglementaires de réussite d'une filière de production-valorisation de CSR,» 2011.
- [4] ADEME, «Combustibles Solides de Récupération (CSR), Caractérisation et évaluation de leurs performances en combustion,» Décembre 2015.
- [5] FNADE, «Combustibles solides de récupération- Les enjeux de la filière, les travaux et positions de la FNADE,» Octobre 2010.
- [6] G. Cuperus, «The difference between RDF and SRF,» *Resource*, 26 Mai 2016.
- [7] AFNOR, «NF EN 15359- Combustibles solides de récupération - Spécifications et classes,» Décembre 2011.
- [8] REMONDIS, «Production and use of Solid Recovered Fuels- developments and prospects,» ZKG, 2014.
- [9] RECORD, «Combustibles Solides de Récupération- Etat des lieux et perspectives,» 2008.
- [10] WRAP, «A classification scheme to define the quality of waste-derived fuels,» 2012.
- [11] ERFO, «Standards for SRF - what comes next?,» 2013.
- [12] CEMBUREAU, ERFO, «Data and assessments on markets for SRF,» 2015.
- [13] S. Thiel et K. J. Thomé-Kozmiensky, «Mechanisch-biologische Abfallbehandlung - Verfahrenskonzepte, Technik, Probleme,» 2011.
- [14] G. Antonini, «Traitements thermiques des déchets - Procédés et technologies associées,» Techniques de l'ingénieur, 2005.
- [15] G. Antonini, «Les différentes filières de conversion thermochimique des déchets,» Note de Gérard Antonini pour RECORD, 2017.
- [16] WSP, «WASTE TECHNOLOGIES: WASTE TO ENERGY FACILITIES,» mai 2013.
- [17] ISPRA, analysé par RSE, 2014.
- [18] ADEME, «Etat des lieux et analyse de l'efficacité de la taxation sur le recours au stockage et à l'incinération des déchets non dangereux,» 2016.
- [19] IEA, «Energy policies of IEA countries- The Netherlands,» 2014.
- [20] European Environmental Agency, «Municipal waste management in Germany,» 2013.
- [21] Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure UK Ltd, «Assessment and Summary of the Member States' Implementation Reports for the IED, IPPCD, SED and WID,» 2016.
- [22] European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy, «Assessment of waste incineration capacities and waste shipments in Europe,» 2016.
- [23] M. Gleis, Interviewee, *Umweltbundesamt*. [Interview]. Février 2017.
- [24] IEA, «Germany- Policy review,» 2013.
- [25] Plastics Europe, «La valorisation énergétique des déchets plastiques en France, un potentiel à exploiter,» 2013.
- [26] Actu-Environnement, «Le développement européen des CSR tiré par la réduction de la mise en décharge,» Février 2015.

- [27] ADEME, «Etat de l'art de la production et de l'utilisation des Combustibles Solides de Récupération,» Août 2012.
- [28] D. Briese et J. Gatena, «Die Zukunft der MBA in Deutschland,» *Abfall & Recycling*, 2015.
- [29] M. Döing, «The market for mechnaical biological waste treatment plants in Europe,» *vivis.de*, 2016.
- [30] M. Faultich, S. Vodegel, E. Fedianina, J. Aigner, M. Franke, K. Reh, P. Degener et P. Hense, «Neue input-stoffströme für Abfallverbrennungsanlagen bis 2025,» *vivis.de*, 2016.
- [31] Umweltbundesamt, 2015. [En ligne]. Available: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/entsorgung/mechanisch-biologische-behandlung>.
- [32] Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recycling, «Stellenwert der Mitverbrennung von gütegesicherten Sekundärbrennstoffen im Bereich der energetischen Verwertung,» 2012.
- [33] Umweltbundesamt, «Grenzüberschreitende Verbringung von zustimmungspflichtigen Abfällen 2015-Import,» 2016.
- [34] T. Obermeier, «Ersatzbrennstoffen-Nachhaltige Lösung oder klimaschädlicher Mülltourismus,» 2016.
- [35] e.V., Verein Deutscher Zementwerke, «Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2015,» 2016.
- [36] BGS e.V., «Veränderte abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen in der Sekundärbrennstoffbranche,» 2014.
- [37] Glorius, Thomas, «Production and use of Solid Recovered Fuels – developments and prospects,» 2014.
- [38] S. Thiel, «Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland und Österreich,» 2013.
- [39] Prognos AG, «Branchenbild der deutschen Kreislaufwirtschaft,» 2016.
- [40] Tolvik Consulting, «RDF Exports: Here for Good?,» February 2015.
- [41] Eunomia , «Residual Waste Infrastructure Review - Issue 10,» 2016.
- [42] Ofgem, «Renewables Obligation: Fuel Measurement and Sampling (England, Wales and Scotland),» 2015.
- [43] IEA, «United Kingdom- Energy system overview,» 2015.
- [44] WRAP , «A classification scheme to define the quality of waste derived fuels,» 2013.
- [45] CIWM, AMEC, «Research into SRF and RDF exports to other EU countries,» 2013.
- [46] DEFRA, «Refuse-derived fuel market in England: call for evidence,» 1 December 2014.
- [47] IEA, «Energy policies of IEA countries - United Kingdom,» 2012.
- [48] DEFRA, Digest of Waste and Resource Statistics – 2016 Edition (revised), March 2016.
- [49] EEA, «Municipal waste management in Austria,» 2013.
- [50] U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, „Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011,“ 2011.
- [51] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, «Umwelt und Wasserwirtschaft: Die Bestandsaufnahme der abfallwirtschaft in Österreich Statusbericht,» 2013.
- [52] R. S. u. R. P. K.E. Lorber, «Österreichische Erfahrungen zum Einsatz verschiedener Abfälle als Ersatzbrennstoffe (EBS) und mögliche Anwendungsprobleme,» 2011.
- [53] IEA, «Austria- Country report,» 2014.
- [54] VOZ, «Zement gestaltet visionen - Nachhaltigkeitsupdate 2015 der österreichischen zementindustrie,» 2015.
- [55] H. Grech, Interviewee, *Deputy head of Division- Waste Management Planning, Waste Treatment at BMLFUW*. [Interview]. 08 03 2017.

- [56] Umweltbundesamt, «Behandlung von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen in Österreich,» 2008.
- [57] RECORD, «Sortie de statut de déchet - Transposition et pratiques dans les différents Etats membres de l'Union européenne,» 2013.
- [58] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, «BUNDES-ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN - Entwurf,» 2017.
- [59] VOZ - Vereinigung der österreichischen Zeementindustrie, «Emissionene aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie,» 2016.
- [60] S. Thiel, «Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland und Österreich,» 2013.
- [61] European Environmental Agency, «Municipal waste management in Belgium,» 2013.
- [62] TNO, «LCA of thermal treatment of waste streams in cement clinker kilns in Belgium - Comparison to alternative treatment options,» 2007.
- [63] OWD- Setec Novae, «Evaluation du PWD- Horizon 2010 - volet collectes sélectives en porte à porte,» 2012.
- [64] SPW, «Bilan environnemental des entreprises en Région Wallone,» 2013.
- [65] European Environment Agency, «Municipal waste management in Finland,» 2013.
- [66] CEWEP, «Finland- Country report,» 2016.
- [67] JRC, «Towards a better exploitation of the technical potential of waste-to-energy,» 2016.
- [68] A. -. E. 2016, «Déchets - Chiffres-clés».
- [69] IEA, «Energy Policies of IEA countries- France,» 2016.
- [70] SFIC, «L'industrie cimentière et la réduction des émissions de CO2,» 2015.
- [71] ADEME, «Traitement mécano-biologique- Fiche technique,» 2014.
- [72] F. Copin, Interviewee, *Atilh*. [Interview]. 02 Février 2017.
- [73] AMORCE/ADEME, «Etat des lieux des installations de tri-compostage et de stabilisation des déchets ménagers,» 2016.
- [74] ADEME, «Etat de l'art de la valorisation énergétique des déchets non dangereux en cimenteries, Aji-Europe,» 2009.
- [75] European Environment Agency, «Municipal waste management in Italy,» 2013.
- [76] Coolsweep, «In-depth analyses of the waste-to-energy field D 4.1 Approved analytical reports for six European regions involved in the COOLWEEP consortium,» 2013-2014.
- [77] Educambiente, «CIP6: UN PO' DI STORIA,» [En ligne]. Available: <http://www.educambiente.tv/Cip6.html>. [Accès le 20 Février 2017].
- [78] Ecofys, «AURES- Auctions for Renewable Energy Support in Italy: instruments and lessons learnt,» 2016.
- [79] AITEC, 2014.
- [80] E. C. Rada et M. Ragazzi, «RDF/SRF evolution in the MSW sector: coexistence of BMT and selective collection,» *International Journal of Sustainable Development Planning*, vol. 10, n° 11, pp. 109-119, 2015.
- [81] RSE, «RDF in Italy».
- [82] ISPRA, «La normativa sul CSS: tra rifiuto ed End of Waste,» 2013.
- [83] Dalena, «Studi e ricerche per la produzione di Combustibili Solidi Secondari (CSS),» 2011.
- [84] RSE, «Dal CDR ai CSS la nuova UNI 9903,» Novembre 2011.
- [85] EEA, «Municipal waste management in Norway,» 2013.
- [86] WSP, «INVESTIGATION INTO THE PERFORMANCE (ENVIRONMENTAL AND HEALTH) OF WASTE TO ENERGY TECHNOLOGIES INTERNATIONALLY,» 2013.

- [87] CEWEP, «Country report Norway,» 2016.
- [88] M. Brown, «Refuse Derived Fuel –A European Market Heading for Overcapacity,» vivis.de, 2016.
- [89] IEA, «Energy policies of IEA countries- Norway,» 2011.
- [90] CEWEP, «Norway- Country report,» 2010-2011.
- [91] W. Müller et A. Bockreis, «Mechanical-Biological Waste Treatment and Utilization of Solide Recovered Fuels - State of the Art,» 2015.
- [92] Global cement, «Norcem Kjøpsvik: The world's most northerly cement plant,» [En ligne]. Available: <http://www.globalcement.com/magazine/articles/893-norcem-kjopsvik-the-world-s-most-northerly-cement-plant>.
- [93] Heidelberg Cement, «Norcem Brevik - A world leader in using alterative fuels in cement production,» 2009.
- [94] Heidelberg Cement, «Norcem and HeidelbergCement Northern Europe,» 2012.
- [95] Cato Kjølstad, Hafslund Varme AS , «The district heating system in Oslo,» Hafslund, 2015.
- [96] O. Van Hunnik, Interviewee, *Consultant - Waste and materials - Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving*. [Interview]. 02 03 2017.
- [97] Ministerie van infrastructuur en Milieu, «Afvalverwerking in nederland, gegevens 2014.,» 2015.
- [98] Rijkswaterstaat, «Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2015,» 2016.
- [99] European Environment Agency, «Municipal waste management in Sweden,» 2013.
- [100] Naturvårdsverket, «From waste management to resource efficiency- Swedisch Waste Plan 2012-2017,» 2012.
- [101] IEA, «Energy policies of IEA countries- Sweden,» 2013.
- [102] CEWEP, «Sweden- Country report,» 2014.
- [103] Elforsk, «Electricity from new and future plants 2014,» 2014.
- [104] Krüger, M. u. Grotefeld, V. , «„Erfahrungsbericht über Planung und Bau des EBS-Kraftwerkes in Bernburg“.,» chez *Proceedings „Waste to Energy“ Messe Bremen*, 2008..
- [105] Wayss & Freytag Ingenieurbau AG , «„EAB-Heizkraftwerk Bernburg“».
- [106] Wigrim, H. , «„Bernburg Kraftwerk speit offiziell Dampf“. Mitteldeutsche Zeitung.,» 2010. [En ligne]. Available: <http://www.mz-web.de/bernbuerg/bernbuerg-kraftwerk-speit-offiziell-dampf-7270398>.
- [107] V. u. W. C. ., G. Grotefeld, « „Licensation, Design and Construction of the RDF-CHP Plant in Bernburg and Enhancement of MWIP Solingen“,» chez *ISWA, Hamburg*, 2010.
- [108] Tönsmeier, «Energie Anlage Bernburg - für eine sichere und effektive Energieversorgung».
- [109] Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen Deutschland e.V. , «„Energie Anlage Bernburg GmbH (EAB)“,» [En ligne]. Available: <https://www.itad.de/information/abfallverwertungsanlagen/energie-anlage-bernbuerg-gmbh-eab>.
- [110] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV). , [En ligne]. Available: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_17_2013/BJNR10440013.html .
- [111] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), [En ligne]. Available: <https://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/> .
- [112] European Commission. , «„Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive)“,» [En ligne]. Available: <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/> .
- [113] Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993

- (BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993), [En ligne]. Available: <http://www.rh-entsorgung.de/de/Service/Rechtliche-Grundlagen/Rechtelich-Grrunlagen/tasi-ges.pdf>.
- [114] Naturvardsverket, «Resultat för kväveoxidavgiften,» [En ligne]. Available: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Kvaveoxidavgiften/Resultat-for-kvaveoxidavgiften/>.
- [115] P. Casabonnet, «Combustibles Solides de Récupération - Quels apports de la normalisation? Quelles évolutions attendues?,» AFNOR, 2010.
- [116] ADEME, «ÉTAT DE L'ART DE LA PRODUCTION ET DE L'UTILISATION DE COMBUSTIBLES SOLIDES DE RECUPERATION,» 2012.
- [117] ADEME, «Etat des lieux et analyse de l'efficacité de la taxation sur le recours au stockage et à l'incinération des déchets non dangereux dans 10 pays industrialisés,» Etude réalisée par RDC Environment, 2016.
- [118] ERFO, «Markets for Solid Recovered Fuel,» 2015.
- [119] FNADE, «Combustibles solides de récupération- Les enjeux de la filière, les travaux et positions de la FNADE,» Octobre 2010.
- [120] FNADE, «Combustibles solides de récupération- Une filière à développer en France,» Octobre 2014.
- [121] ADEME, «Co-incinération et combustibles solides de récupération,» Juillet 2014.
- [122] ADEME, «Etat de l'art de la production et de l'utilisation de combustibles solides de récupération,» Août 2012.
- [123] AMORCE, «L'écu et les déchets,» 2008.
- [124] AMORCE, «Enquête nationale sur le Traitement Mécano-Biologique,» 2010.
- [125] FNADE/SN2E, financement ADEME, «Elaboration d'un modèle économique global de production et valorisation des CSR,» Octobre 2015.
- [126] ADEME, «Etude de faisabilité pour l'utilisation des refus des unités de tri-compostage des ordures ménagères comme combustibles solides de récupération (CSR),» 2014.
- [127] Plastics Europe, «La valorisation énergétique des déchets plastiques en France, un potentiel à exploiter,» Février 2013.
- [128] RECORD, «Combustibles Solides de Récupération, Etat des lieux et perspectives,» janvier 2008.
- [129] AFNOR, «NF EN 15359,» 2011.
- [130] P. Grammelis, «Report on RDF/SRF utilization applications and technical specifications,» LIFEE09 ENV/GR/000307, 2011.
- [131] J. Theulen, «Standardization as a help to facilitate SRF acceptance and use,» 2013.
- [132] G. Spurek, «The classification of solid recovered fuels for the needs of polish cement industry,» 2012.
- [133] JRC, «Study on the selection of waste streams for End of Waste assessment,» 2009.
- [134] BIPE, «Les centres de traitement Mécano-Biologiques (TMB): des outils flexibles en réponse aux contraintes locales,» 2009.
- [135] Tolvik Consulting, «2015 Briefing Report: RDF Exports: Here for Good? A report into the Combustible Waste Market in Europe,» 2015.
- [136] P. Massarini et P. Muraro, «RDF: From waste to resource - The Italian case,» *Energy Procedia*, vol. 81, pp. 569-584, 2015.
- [137] Dalena, «Studi e ricerche per la produzione di Combustibili Solidi Secondari (CSS),» 2011.
- [138] Commission de Régulation de l'Energie, «Coûts et rentabilité des énergies renouvelables en France métropolitaine - Eolien terrestre, biomasse, solaire photovoltaïque,» avril 2014.

[139] N. J. Themelis et C. Mussche, «Municipal solid waste management and waste-to-energy in the united states, china and japan,» chez *2nd international academic symposium on enhanced landfill mining*, 2013.