

**SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT**  
FRANÇAIS / ENGLISH

**LES PROCEDES DE CONCENTRATION  
DES EFFLUENTS AQUEUX  
ÉTAT DE L'ART**

**WASTE WATER CONCENTRATION PROCESSES  
STATE OF THE ART**

mars 2013

**A. BAZERLI, L. ESNULT - ECOGEOSAFE**



Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets – 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.

- ✓ En Bibliographie, le document dont est issue cette synthèse sera cité sous la référence :  
**RECORD**, Les procédés de concentration des effluents aqueux. Etat de l'art, 2013, 144 p,  
n°11-0332/1A

## **RESUME**

La concentration des effluents produits par les ICPE présente des avantages en termes de coûts à la fois de transport et énergétiques grâce à la réduction du volume à traiter.

Ce rapport présente un état de l'art des procédés de concentration des effluents industriels aqueux. L'étude cible uniquement les effluents liquides et ne porte pas sur la concentration des boues.

Ce document rappelle la réglementation relative aux effluents et les normes actuelles de rejets des effluents ainsi que les conditions d'admission des déchets liquides en centre de traitement.

L'état de l'art est proposé sous la forme d'un inventaire technico-économique qui fournit des informations :

- techniques : phénomènes physiques mis en jeu, principe du procédé,
- pratiques : domaines d'applications, avantages, performances, limites et inconvénients,
- économiques : données sur les consommations énergétiques, données économiques (coûts de certaines installations, consommables ou opérations de maintenance).

Les procédés étudiés sont :

- les procédés thermiques d'évapoconcentration,
- les procédés membranaires,
- les procédés mécaniques et physico-chimiques.

Trois études de cas particuliers sont détaillées, balayant la plupart des polluants étudiés dans ce rapport : les lixiviats de centre de stockage, les effluents de la mécanique et de traitement de surface, et enfin les digestats de méthanisation.

Sur les cas test, aucune solution systématique ou générique n'a été identifiée et de nombreux procédés sont ainsi mis en œuvre conjointement en réponse à des besoins spécifiques aux installations et à leur site d'implantation.

Ce rapport permet d'identifier une stratégie dédiée, dont peut résulter un couplage ou non de différents procédés, pour apporter à une installation donnée une solution technique et économique optimale pour la concentration de ses effluents, en plein accord avec les contraintes réglementaires.

## **MOTS CLES**

Effluents liquides, procédés, concentration, évapoconcentration, membranes, lixiviats, effluents de la mécanique, effluents de traitement de surface, digestats de méthanisation.

---

## **SUMMARY**

Waste water concentration leads to a reduction of the costs of transportation and energy consumption due to the volume reduction.

This report is a state of art study about waste water concentration processes. It deals with liquid, toxic industrial waste water, excluding sludge.

Regulation about industrial waste water is presented, together with current standard for rejection in the environment and admission conditions for liquid waste in treatment plants.

The study is organised as a techno-economic inventory providing:

- technical informations about physical phenomena and process principle,
- practical data : applications areas, advantages, performances, limits and disadvantages,
- Economical data :energy consumption varied costs (e.g. plants, consumables or maintenance cost).

The processes presented in this study are :

- thermal process of evapoconcentration,
- membrane's processes,
- mechanical and physicochemical processes.

Three examples are detailed: landfill leachate, mechanical waste water from mechanic industries and surface treatment industries and digestate from anaerobic digestion.

Neither systematic nor generic solution has been identified for none of the cases' study and many processes need be jointly operated to satisfy the plants' specific needs.

This report helps to elaborate a dedicated strategy, using coupled processes or not, to target optimal techno-economical solution for the concentration of waste water, within regulatory limits.

## **KEYWORDS**

Waste water, processes, concentration, evapoconcentration, membranes, landfill leachate, effluents waste water from mechanic industries and surface treatment industries, estate from anaerobic digestion.

## **1. Contexte et objectifs de l'étude**

Ce rapport présente un état de l'art des procédés de concentration des effluents industriels aqueux. L'étude ne porte pas sur la concentration des boues.

Le choix d'une solution de gestion de ces effluents industriels n'étant jamais générique ni transposable, les compositions des effluents pouvant être très variés, tout comme les possibilités de couplage de procédés pour les concentrer efficacement ont imposé la présentation de cet état de l'art sous la forme d'un focus sur chaque procédé isolément, en tant que procédé de concentration d'effluents aqueux s'appliquant à certains polluants. Il s'agit là d'un inventaire technico-économique qui fournit des informations :

- Techniques : phénomènes physiques mis en jeu, principe du procédé,
- Pratiques : domaines d'applications, avantages, performances, limites et inconvénients,
- Economiques : données sur les consommations énergétiques, données économiques (coûts de certaines installations, consommables ou opérations de maintenance)

Des études de cas particuliers sont détaillées afin de balayer la plupart des polluants étudiés dans ce rapport: les lixiviats de centre de stockage, les effluents de la mécanique et de traitement de surface, et enfin les digestats de méthanisation.

## **2. Inventaire de l'ensemble des procédés de concentration des effluents industriels aqueux**

Les principales informations sur les procédés étudiés sont rappelées ci-après.

Une partie innovation relative aux procédés est proposée autant que faire se peut étant donnée la maturité de la plupart des procédés étudiés.

### **Procédés thermiques**

L'évapoconcentration est une technique ancienne dont le développement à l'échelle industrielle a été pénalisé par l'apport énergétique important qu'elle nécessite.

Diverses optimisations de ce procédé ont vu le jour et sont aujourd'hui des technologies matures :

- le multiple effets qui consiste à mettre en série plusieurs évaporateurs simples afin que la vapeur émise au premier effet serve de vapeur de chauffe pour le second qui fonctionne ainsi à une pression moindre, et ainsi de suite jusqu'au dernier effet,
- la compression mécanique de vapeur, technique la plus économe en énergie,
- le fonctionnement sous vide avec utilisation d'une pompe à chaleur, qui permet de travailler à des températures de l'ordre de 30 à 40°C.

Différentes technologies d'évaporateurs ont été développées afin de :

- s'adapter aux effluents à traiter en fonction de leurs viscosités, des débits, de la présence d'éléments corrosifs et de la thermosensibilité de certaines molécules présentes,
- pour obtenir des conditions de fonctionnement satisfaisantes en termes d'optimisation du temps de séjour ou du coefficient de transfert thermique, et de limitation de la formation de dépôts au sein de l'évaporateur.

### **Procédés baromembranaires**

Ils permettent de traiter à peu près tous les polluants, à température ambiante ou proche de l'ambiante. L'inconvénient principal reste le colmatage, qui a fait l'objet de nombreuses innovations techniques pour y remédier ou le limiter.

Les procédés membranaires sont complémentaires entre eux, en général l'osmose inverse et la nanofiltration requièrent un prétraitement par ultrafiltration qui elle-même peut nécessiter un prétraitement par microfiltration.

	Microfiltration (MF)	Ultrafiltration (UF)	Nanofiltration (NF)	Osmose inverse (OI)
Taille et type de molécules retenues	> 300 000 g/mol Particules (0,05 à 10 µm)	Entre 2000 et 300 000 g/mol polymères, colloïdes, bactéries, virus	Entre 200 et 2000 g/mol Sels ionisés multivalents et composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 200 g/mol	< 200 g/mol Ions et composés organiques dont la masse molaire est < 200 g/mol
Pression et débit	0,2 à 3 bars Environ 1000 L/(h.m <sup>2</sup> .bar)	2 à 10 bars Environ 200 L/(h.m <sup>2</sup> .bar)	10 à 40 bars 5 à 10 L/(h.m <sup>2</sup> .bar)	30 à 80 bars Environ 1 L/(h.m <sup>2</sup> .bar)
Secteurs industriels d'application pour le traitement des effluents liquides	Epuración des eaux résiduaires Traitement des bains de dégraissage (élimination des MES et d'huile émulsifiée)		Utilisation généralement limitée à des industries dont le débit journalier est > 1000 m <sup>3</sup>	Industrie textile et filière pâtes et papiers : concentration des colorants solubles, de la salinité des colloïdes et des tensio-actifs
	Concentration de certaines émulsions huiles/eau (effluents de raffineries par exemple)	Concentration des fluides de coupe concentration des bains de dégraissage à l'aide de membranes organiques tubulaires ou de membranes minérales	Industrie textile, papeterie : concentration des colorants solubles, de la salinité des colloïdes et des tensio-actifs	Ateliers de traitement de surface : concentration des bains de rinçage
	Prétraitement pour la concentration des fluides de coupe	Concentration des effluents de raffinerie	Concentration des métaux des effluents de traitement de surface ; des effluents de la mécanique	Concentration d'effluents contenant des herbicides et des pesticides
	Préconcentration des effluents de laverie	Concentration des effluents de laverie	Couplage NF/résine échangeuse d'ions pour éliminer les nitrates	lixiviats de centre de stockage classe II (après prétraitement par UF)
	Prétraitement de lixiviats de centre de stockage classe II	Industrie du bois : concentration des fongicides  lixiviats de centre de stockage classe II (prétraitement)	NF/complexation pour la récupération des métaux NF/fluides supercritiques pour extraire des petites molécules  Concentration d'effluents des mines	

### Comparaison des principales technologies de filtration membranaire

Les **procédés de séparations mécaniques** présentés sont la décantation, la centrifugation, la filtration et la flottation. Ils ont pour but de séparer les polluants solides présents dans les effluents liquides.

Les différentes technologies de **décantation** sont abordées : statique, accélérée et lamellaire.

Concernant la **filtration**, les différents types de filtres sont décrits, ainsi que le bâtissage et l'alluvionnage.

Le tableau suivant propose une comparaison des avantages et inconvénients de la décantation, centrifugation et filtration :

	Décantation	Centrifugation	Filtration
Avantages	Economique, Faible consommation en énergie	Peu encombrant Facile à exploiter Procédé continu sans consommables	Fiable Adaptable Simple
Inconvénients	Encombrant Produit des boues diluées Conditionnement chimique	Investissement lourd Consommation énergétique élevée	Coût des consommables

### Comparaison des principales technologies de séparation mécanique

Ces techniques de séparation mécanique ne permettent pas d'obtenir une siccité supérieure à 40%. De plus, l'effluent obtenu en fin de traitement n'est pas une eau pure mais reste une solution.

Concernant la **flottation**, les technologies abordées sont la flottation par insufflation d'air, la flottation mécanique, l'aérofloitation ainsi que l'électrofloitation. Ces techniques sont utilisées lorsque ni la décantation, ni la filtration, ou bien la centrifugation ne sont utilisables c'est-à-dire généralement quand les particules en suspension et le milieu dispersant ont une densité trop proche.

Les procédés **physicochimiques** étudiés sont :

- la coagulation,
- la floculation,
- l'électrofloculation,
- la précipitation,
- la cristallisation,
- l'électrolyse,
- l'adsorption,
- les résines échangeuses d'ions,
- le déshuilage.

Lorsque les effluents sont constitués de suspensions stables, les techniques les plus couramment utilisées sont la **coagulation** et la **floculation** qui permettent déstabiliser ces suspensions et de les séparer en deux phases : solide, constituée de la plupart des polluants et liquide aqueuse. Le but étant d'obtenir une phase aqueuse la plus exempte de polluants, ce qui dépend de la composition initiale de l'effluent.

L'**électrocoagulation**, procédé d'électrolyse à électrodes solubles qui met en solution un cation métallique ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) provoquant la coagulation des colloïdes est également mise en œuvre.

La **précipitation** est un procédé utilisé pour éliminer les cations métalliques de type métaux lourds ou métaux de transition et certains anions type fluorures, sulfates et phosphates.

La **cristallisation**, étroitement liée à la précipitation, est utilisée généralement pour extraire les métaux des effluents. Elle permet également d'extraire les fluorures, phosphates et sulfates ainsi que la plupart des métalloïdes.

L'**électrolyse** permet de traitement des effluents aqueux chargés en métaux sous forme ionique (par exemple  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ).

La séparation par **adsorption** est basée sur une adsorption sélective (soit thermodynamique, soit cinétique) des différents constituants gazeux ou liquides par des adsorbants grâce à des interactions spécifiques entre les surfaces des adsorbants et les molécules adsorbées. Elle est couramment utilisée pour le traitement des eaux usées et des effluents industriels. Les adsorbants industriels les plus courants sont les charbons actifs, les zéolites, les gels de silice et les alumines activées.

Ils sont utilisés pour éliminer :

- les polluants organiques, principalement les composés réfractaires, toxiques, colorants et/ou odorants,
- les teneurs résiduelles de contaminants inorganiques tels que les composés azotés, sulfures, et métaux lourds.

L'**échange d'ion** est un phénomène au cours duquel un ion d'une certaine charge est éliminé du milieu dans lequel il se trouvait par adsorption sur un matériau contenant un complexe ionique de charge opposée appelé résine échangeuse d'ions. Ce processus libère dans le même temps un ion de la même charge que celui qui a été adsorbé.

Il est appliqué pour enlever ions et espèces ionisables des effluents tels que :

- ions métalliques, cationiques ou anioniques lourds, tels que  $\text{Cr}^{3+}$  ou cadmium et ses composés,
- composés inorganiques ionisables tel que  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,
- composés organiques solubles, ioniques ou ionisables, tels que les acides carboxyliques, sulfoniques, quelques phénols, des amines comme sel acide, amines quaternaires, alkyl sulfates.

Les techniques de **déshuilage** sont différentes suivant la stabilité du mélange eau/hydrocarbures ou s'il s'agit d'une suspension ou d'une émulsion simple.

Dans le cas d'une suspension simple, la récupération se fait par écrémage gravitaire, ou à l'aide de substances hydrophiles et hydrophobes.

Les émulsions sont plus complexes à traiter et les techniques diffèrent suivant la finesse de l'émulsion.

Les **déshuileurs** sont à **plaques** dans le cas d'émulsion n'ayant pas de particule inférieure à  $50\mu\text{m}$  de diamètre.

Les **déshuileurs à coalescence** sont utilisés pour le traitement d'émulsions fines.

Le **cassage acide d'une émulsion** est un traitement physico-chimique consistant à traiter les émulsions (huiles, mélanges eau/hydrocarbures) par déstabilisation de la phase huileuse.

Le tableau suivant présente une synthèse des procédés étudiés et des polluants auxquels ils s'appliquent :

		Métaux	Sels dissous	HC*	Emulsions huileuses	Polluants organiques de synthèse	bactéries	MES	DBO DCO	DCO dure
<b>PROCEDES THERMIQUES</b>	Evapoconcentration	X	X	X				X	X	
	Microfiltration							X		
<b>PROCEDES MEMBRANAIRES</b>	Ultrafiltration	X		X	X		X	X		
	Nanofiltration	X	X			X	X		X	X
	Osmose inverse	X	X			X	X		X	X
	Décantation							X	X	
<b>PROCEDES MECANIQUES</b>	Centrifugation							X	X	
	Filtration	X						X		
	Flottation	X		X	X	X**		X	X	
	Coagulation – floculation	X	X	X	X	X		X	X	
<b>PROCEDES PHYSICO-CHIMIQUES</b>	Electrocoagulation	X	X	X		X	X	X	X	X
	Précipitation	X	X							X
	Cristallisation	X	X							
	Electrolyse	X								
	Electrodialyse	X	X	X						X
	Adsorption	X	X	X		X		X	X	X
	Echange d'ions	X	X						X***	
	Déshuilage			X	X					

### Récapitulatif des procédés de concentrations et leurs actions sur les polluants

\*HC : hydrocarbures

\*\* : suspensions de polymères

\*\*\* : composés organiques ionisables

### 3. Etudes de trois cas particuliers

La partie étude de cas traite des contextes réglementaires, donne des spectres de compositions et de concentrations chimiques et présente les procédés de concentration couramment utilisés.

#### Etude de cas : les lixiviats de centre de stockage

Les lixiviats de centre de stockage résultent de la percolation, au travers du massif de déchets, de l'eau contenue dans les déchets et de celle apportée par les précipitations. Ces lixiviats sont collectés, pompés puis traités. Les objectifs de qualité qu'ils doivent remplir pour un rejet dans le milieu naturel sont régis par l'arrêté ministériel du 31 décembre 2001.

Les compositions chimique et biochimique des lixiviats sont non seulement très diverses mais aussi variables dans le temps et dans l'espace, leurs compositions moyennes sont:

	Jeune	Intermédiaire	Stabilisé
<b>Age (ans)</b>	<5	5 à 10	> 10
<b>pH</b>	6,5	6,5-7,5	>7,5
<b>DCO (mg/l)</b>	> 10 000	4 000 – 10 000	< 4 000
<b>DBO<sub>5</sub>/DCO</b>	> 0,3	Entre 0,1 et 0,3	< 0,1
<b>Composés organiques</b>	80% d'AGV	5 à 30% d'AGV + acides humiques et fulviques	Acides humiques et fulviques
<b>Métaux</b>	< 2 000 mg/l	-	< 50 mg/l

Les procédés couramment utilisés pour la concentration des lixiviats de centre de stockage présentés sont :

- biologiques (lagunage, biomasse libre, biomasse fixée),
- la coagulation - floculation,
- la précipitation,
- l'adsorption,
- la flottation par air dissous,
- les procédés membranaires (UF et OI),
- le bioréacteur à membrane
- l'évapoconcentration.

### Procédés biologiques

Le traitement par biomasse libre est le procédé **biologique** le plus utilisé pour le traitement des lixiviats de CSDU de classe II.

Les rendements épuratoires sont fortement dépendants des conditions opératoires et de la nature du lixiviat. En effet l'abattement en DCO dépendant de l'âge du lixiviat, il sera supérieur à 92% pour un lixiviat jeune et de 59 % pour un lixiviat moins biodégradable.

Enfin la nitrification de la matière azotée pourra mener à des concentrations d'azote total inférieures ou égales à 10 mg/L.

Les limites principales sont :

- une production importante de boues,
- une perte de biomasse du fait d'une mauvaise décantation,
- une demande énergétique importante,
- une sensibilité aux fortes concentrations en ammoniac et à une baisse de température.

Les procédés de coagulation-floculation, adsorption et précipitation sont en général utilisés en tant que prétraitement de procédés biologique ou membranaire, ou à l'inverse en tant qu'étape de finition pour compléter la filière de traitement (en général biologique), ou bien encore pour éliminer un polluant spécifique résiduel.

### Coagulation - floculation

La **coagulation - floculation** permet d'éliminer la matière organique colloïdale, les MES et éléments métalliques, impactant alors la DCO mais aussi la couleur et la turbidité.

Les sels de fers et d'aluminium sont les coagulants les plus fréquemment utilisés, les sels de fer étant généralement plus efficaces que ceux d'aluminium ou de chaux.

Les résultats publiés dans la littérature sur la coagulation-floculation des lixiviats indiquent que l'abattement de la DCO est en moyenne de 10 à 25 % pour des lixiviats jeunes, et plus de 50 % pour des lixiviats ayant un faible rapport DBO5/DCO (<0,1), c'est-à-dire pour les lixiviats stabilisés ou prétraités biologiquement.

De 59 à 73 % des composés organiques ayant un poids moléculaire supérieur à 500 g/mol sont retenus, contrairement aux plus petites molécules qui restent nettement moins affectées par ce traitement (seulement 18 % éliminées).

De plus, ces procédés conduisent à la production d'un volume important de boues, déchets secondaires à gérer et consomment des réactifs chimiques qui conduisent à une augmentation de la teneur en cations métalliques dans la phase liquide.

La coagulation-floculation est généralement assortie d'une séparation eau-boue, soit par flottation, soit par décantation.

### Précipitation

Les **précipitants** les plus utilisés pour le traitement des lixiviats sont la chaux et un mélange de chlorure de magnésium et de di-sodium hydrogénophosphate.

Cette technique présente les avantages de précipiter de nombreux métaux, diminuer la quantité de MES et d'éliminer une partie de la matière organique. En revanche les boues produites contiennent des hydroxydes métalliques.

### Adsorption

L'**adsorption** permet d'éliminer des substances biodégradables et non-biodégradables, d'abattre de manière très satisfaisante les composés responsables de la coloration de l'effluent.

Le **charbon actif en poudre (CAP) ou en grain (CAG)** est l'adsorbant le plus communément utilisé.

La combinaison entre le charbon actif en grain et le prétraitement biologique est une technologie éprouvée, économique et efficace pour réduire la DCO, notamment la DCO dure, les halogènes



organiques adsorbables (AOX), les pesticides, les solvants, les composés organiques et autres substances dans les limites des normes nationales ou européennes les plus strictes en vigueur.

L'adsorption sur charbon actif peut être utilisée pour le traitement des rétentats provenant d'un traitement par osmose inverse ou nanofiltration. Les composés organiques concentrés et les AOX peuvent alors être retenus sur des lits de charbon actif, ce qui est beaucoup plus économique que l'évaporation ou le séchage.

### **Aérofloitation**

Bien qu'aujourd'hui peu répandue pour le traitement des lixiviats, l'**aérofloitation** peut être utilisée en tant que post traitement de procédés biologiques.

Son efficacité peut être augmentée par une étape préliminaire de coagulation.

### **Osmose inverse**

Les installations de traitement des lixiviats par **osmose inverse** sont largement utilisées depuis les années 1990 pour le traitement des lixiviats de plus de 100 centres de stockage de classe II à travers l'Europe.

L'osmose inverse permet d'obtenir un perméat dont la qualité répond aux normes de rejet les plus drastiques. Les progrès technologiques ont permis de limiter les problèmes de colmatage, les lixiviats étant des effluents très fortement chargés. Le modèle le plus répandu est le Disc Tube™ développé par Pall Corporation.

Toutefois, le taux de conversion (rapport quantité perméat sortant/ quantité lixiviat entrant) moyen est généralement compris entre 75% et 90%, soit un facteur de concentration de 4 à 10.

La grande efficacité de traitement par osmose inverse conduit à la formation de concentrats (rétentats) très chargés dont le devenir peut être un obstacle à l'utilisation de ce procédé.

Les rétentats peuvent parfois être réinjectés sur site, dans des conditions très spécifiques.

### **Bioréacteur à membrane**

Le **bioréacteur à membrane** est un système couplant un traitement par un réacteur biologique à boues activées suivi d'un traitement membranaire.

Le traitement biologique par boues activées permet de dégrader la partie biodégradable de la pollution (une partie de la DCO et l'azote). La performance de ce procédé est notamment liée à la température, dont la gamme optimale est 20 à 30 °C.

Un système de membranes de micro ou ultrafiltration est alors couplé au procédé. Il existe deux grands types de bioréacteurs à membrane : les bioréacteurs à membrane "à boucle externe" (les membranes se situent alors à l'extérieur du réacteur) et les bioréacteurs à "membranes immergées", ces derniers permettant une réduction de la consommation électrique par rapport aux boucles externes.

Les bioréacteurs à membrane sont des systèmes plus compacts que les procédés biologiques classiques et conduisent à un volume de boues formées moindre.

### **Evapoconcentration**

L'**évapoconcentration** est couramment utilisée pour le traitement des lixiviats et les incitations fiscales d'abaissement de TGAP dans le cadre de valorisation des déchets par biogaz vont dans le sens de son utilisation. En effet, l'énergie thermique des moteurs fonctionnant au biogaz peut être valorisée en tant que source d'énergie pour le procédé d'évapocondensation. Cette double valorisation est une cogénération.

De plus, ces procédés sont ceux qui permettent une concentration maximale de la pollution : réduction de 20 à 100 fois du volume initial de lixiviat. Le concentrat est solide (il doit atteindre une siccité d'au moins 30%) et peut en général être réinjecté sur site.

L'ammoniac étant volatil, il est susceptible d'être entraîné dans le distillat. Afin d'y remédier, un prétraitement biologique de nitrification dénitrification peut être employé, ou un stripping avec lavage acide du distillat.

### **Etude de cas : les effluents de la mécanique et du traitement de surface**

Les principaux effluents générés par l'industrie de la mécanique, hors traitement de surface, pris en considération dans le présent état de l'art sont les fluides d'usinage aqueux, les lessives, les effluents de tribofinition, de coupe.

Bien qu'ils aient des applications similaires, les effluents de la mécanique ont des compositions très variables:

	DCO (mgO <sub>2</sub> /L)	Huiles Totales (%)	NTK (mg de N/L)	pH
<b>Fluides de Coupe</b>	80 000 à 300 000	0,5 à 10	100 à 3000	≈ 9
<b>Effluents lessiviels</b>	20 000 à 100 000	0,5 à 5	-	Acides: 3 à 6 Basiques : 8-13
<b>Tribofinition</b>	1 000 à 20 000	0,5 à 5,0	-	7 à 10

Concernant les **effluents de la mécanique**, le rapport traite des procédés suivants :

- évapoconcentration : essentiellement PAC et CMV,
- membranaires (MF et UF),
- procédés biologiques,
- bioréacteurs à membranes.

Les installations classées soumises à autorisation ayant une activité de **traitement de surface** ont des limites d'autorisation de rejet indiquées dans leur arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter reprenant les directives de l'arrêté ministériel du 30/06/2006 relatif aux installations de traitements de surfaces soumises à autorisation au titre de la rubrique 2565 de la nomenclature des installations classées.

Afin d'être conformes à la réglementation, la plupart des ateliers de traitements de surface épurent leurs effluents sur leur site.

Le traitement des eaux de rinçage, avec le recyclage éventuel des matières premières, constitue l'application majeure qui a apporté un réel progrès dans le traitement de cette catégorie d'effluents industriels.

Concernant les effluents de traitement de surface, les procédés décrits sont :

- l'évapoconcentration, essentiellement PAC et CMV,
- les procédés membranaires (osmose inverse, ultrafiltration, électrodialyse),
- l'échange d'ions,
- la cristallisation.

### Etude de cas : les digestats de méthanisation

Les digestats sont les déchets issus du processus de méthanisation, ils ne sont pas soumis à une réglementation spécifique, leurs rejets sont encadrés par l'arrêté du 2 février 1998.

Les proportions des différents éléments du digestats, en particulier les pollutions et l'ammoniac, ne sont pas constantes du fait de la haute variabilité des intrants du processus de méthanisation.

Par exemple les digestats issus de la méthanisation des déchets animaux seront plus riches en azote (notamment par comparaison avec les déchets végétaux) et ceux issus de la méthanisation des déchets urbains seront plus susceptibles de contenir des micropolluants.

Les digestats contiennent une phase solide et une phase liquide. La phase solide est généralement constituée des parties ligneuses/fibreuses qui sont insolubles qui ne peuvent donc pas entrer en contact avec les microorganismes méthanogènes, il s'agit de la matière organique réfractaire.

Suite à un traitement par séparation de phase des digestats, les jus de digestats sont la fraction liquide obtenue. La séparation de phase peut se faire par presse à vis, centrifugation, filtre-presse... Ils peuvent être relativement concentrés : 60 à 120 g/L en DCO ; 5 à 10g/L en DBO ; 3 à 5 g/L en azote total et donc être assez difficiles à traiter par voie biologique.

Les moyens de concentrer ou purifier les jus issus de la méthanisation sont exposés ci-après, il s'agit :

- de la filtration membranaire,
- l'évaporation/condensation,
- le séchage thermique,
- la précipitation de struvite.

Le traitement aboutit à un effluent purifié et à un résidu liquide ou solide très concentré qui peut être ensuite soit valorisé comme fertilisant, soit traité comme déchet.

### Filtration membranaire

Le processus de **filtration membranaire** comporte plusieurs étapes :

- la première étape est un prétraitement avec un filtre police (tamis vibrant) de façon à éviter un colmatage trop important

- la deuxième étape est une ultrafiltration (UF), qui permet de supprimer la charge en matières organiques en suspension et de diminuer le taux de phosphore en solution,
- enfin, le filtrat est ensuite traité par osmose inverse de façon à obtenir une eau purifiée et un concentrat riche en sels.

La consommation spécifique du traitement est d'en moyenne 27 kWh/m<sup>3</sup>.

A partir d'un digestat brut on arrive à un volume d'effluent purifié égal à la moitié du volume initial.

Les principales limites sont liées aux coûts d'investissement, de fonctionnement (électricité) et d'entretien élevés, au nettoyage des membranes et à leur sensibilité au colmatage.

### **Evaporation**

L'évaporation des jus de digestat s'opère à environ 55-65°C sous un vide relatif de 200 mbar en milieu acide afin de maintenir l'azote ammoniacal en solution sous la forme d'ion ammonium. Un prétraitement est effectué afin d'éliminer les particules de diamètre supérieur à 0,2 mm.

Le résidu obtenu reste liquide et représente 62% du volume initial de digestat brut.

La concentration en azote ammoniacal du condensat peut être diminuée jusqu'à des valeurs de l'ordre de 75 mg/l, toutefois la DCO peut atteindre encore des valeurs de l'ordre de 1250 mg/l, réhbitoires pour des rejets vers le milieu naturel.

Un post traitement de stripping avec lavage acide permet, moyennant un surcoût, d'éliminer l'ammoniac du condensat.

Cette technique présente l'avantage de pouvoir utiliser la chaleur issue de la cogénération, elle est simple et peut être modifiée de façon à économiser l'énergie thermique (CMV, multiple effet).

Les limites de cette technique pour le traitement des jus de digestats sont essentiellement les besoins en chaleur importants et le risque de production de mousses dans l'évaporateur.

### **Séchage thermique**

On distingue trois types de sècheurs :

- les sècheurs directs où le liquide à sécher est en contact direct avec de l'air chaud,
- les sècheurs indirects où le liquide est chauffé à travers une paroi par un fluide caloporteur,
- les sècheurs mixtes utilisant les deux techniques.

Séchage	Avantages	Inconvénients	Types de sècheurs
<b>Direct</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• simple à mettre en œuvre,</li> <li>• traite des volumes importants</li> </ul>	Nécessite une recirculation de la matière séchée, donc le flux d'air utilisé est important	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sècheurs rotatifs,</li> <li>• sècheurs flash,</li> <li>• tours d'atomisation,</li> <li>• sècheurs à bandes</li> </ul>
<b>Indirect</b>	Flux d'air utilisé faible, efficace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• système plus complexe,</li> <li>• nécessite plus d'entretien,</li> <li>• usure plus rapide (liquides abrasifs déconseillés)</li> <li>• produit des poussières (risque d'explosion)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tambour rotatif,</li> <li>• sècheurs à disques,</li> <li>• sècheurs à palettes,</li> <li>• couche minces</li> </ul>
<b>Mixte</b>	consommation d'énergie spécifique faible	Beaucoup d'air à traiter en fin de procédé	Procédés peu développés

### **Comparaison des différents types de sècheurs (J Thual 2010, ADEME)**

Le séchage fournit un résidu sec, riche en phosphore entre 70 et 90%, facilement exploitable et ayant un taux d'hygiénisation plus important que les autres post traitements qui ne sont pas réalisés à des températures élevées.

En contrepartie, la majorité de la quantité d'azote présente est volatilisée, donc perdue, ce qui ne permet pas la conservation de la valeur fertilisante azotée des digestats.

### **Précipitation de struvite**

La **précipitation de struvite** est un procédé qui permet la suppression de l'azote ammoniacal et des phosphates du jus de digestat. La précipitation étant très sensible à la présence d'autres composés, on procède alors à un prétraitement par floculation/coagulation et centrifugation de façon à éliminer le plus possible de matières organiques.

Il est possible d'éliminer jusqu'à 90% de l'azote et du phosphore, et le facteur de concentration est de 10.

Les principaux avantages du procédé sont sa simplicité et sa fiabilité.

Toutefois il ne permet pas d'éliminer les matières en suspension ni le potassium présent.

#### **4. Conclusions**

L'inventaire technico-économique exposé dans ce rapport permet de disposer pour chaque procédé des principes de fonctionnement, des conditions de mise en œuvre, des polluants auxquels ils s'appliquent, et de leurs avantages, inconvénients et limites.

Afin de balayer la plupart des polluants étudiés dans ce rapport, trois exemples ont été choisis : les lixiviats de centre de stockage, les effluents de la mécanique et de traitement de surface, et enfin les digestats de méthanisation. Sur les cas test, aucune solution systématique ou générique n'a été identifiée et de nombreux procédés sont ainsi mis en œuvre conjointement en réponse à des besoins spécifiques aux installations et à leur site d'implantation.

Ce rapport permet d'identifier **une stratégie dédiée**, dont peut résulter un couplage ou non de différents procédés, pour apporter à une installation donnée une solution technique et économique optimale pour la concentration de ses effluents, en plein accord avec les contraintes réglementaires.

## 1. Background and objectives

This report is a state of art study about waste water concentration processes. It deals with liquid, toxic industrial waste water, excluding sludge.

Choosing a treatment solution is never neither generic nor transposable. Indeed the chemical composition of waste water is various and so are the possible coupling of processes, thus this study is focused first on each process, as a concentration process applied on specific pollutants. The study is organized as a techno-economic inventory providing:

- technical information about physical phenomena and process principle,
- practical data : applications areas, advantages, performances, limits and disadvantages,
- economical data :energy consumption varied costs (e.g. plants, consumables or maintenance cost).

In order to present more accurate results, three examples are detailed: landfill leachate, mechanical waste water from mechanic industries and surface treatment industries and digestate from anaerobic digestion.

## 2. Inventory of all the concentration processes

The main data about the processes are summarized.

Innovation, when existing, is described. However this is not always possible due to the maturity and effectiveness of the existing processes.

### Thermal processes

Evapoconcentration is an old process whose industrial development was limited because of its energetic need.

Some optimizations have been developed and are now mature:

Diverses optimisations de ce procédé ont vu le jour et sont aujourd'hui des technologies matures :

- multiple effects : consist in putting into series several simple evaporators so that steam in the first effect is used as heating steam for the second one that works with lower pressure and so on until the last effect,
- mechanical compression of steam, which is the most energy saving technic,
- vacuum operation using a heat pump, working under low temperature (about 30 to 40°C).

Different technologies of evaporators have been developed in order to:

- be adapted to the effluents, in terms of viscosity, output, corrosive elements, and thermosensibility of some molecules,
- to get good working conditions in terms of residence time optimization, thermal transfer coefficient optimization, and limitation of sludge inside the evaporator.

### Membrane processes

They can treat about all pollutants, working on room temperature or close to it. The main disadvantage is membrane clogging, which is the subject of many studies and technical innovations.

Membrane processes are complementary one to the other. Generally, reverse osmosis and nanofiltration need a ultrafiltration pre-treatment, which may need a micro filtration pre-treatment.

	<b>Microfiltration</b>	<b>Ultrafiltration</b>	<b>Nanofiltration</b>	<b>Reverse Osmosis</b>
<b>Size and type of molecules retained</b>	> 300 000 g/mol Particules (0,05 to 10 µm)	from 2000 to 300 000 g/mol polymers, colloids, bacteria, virus	from 200 to 2000 g/mol multivalents ionised salts and organic unionised compound non ionisés whose molecular weight is < 200 g/mol	< 200 g/mol Ions and organic compounds whose molecular weight is < 200 g/mol
<b>Pressure and flow</b>	0,2 to 3 bars Environ 1000 L/(h.m <sup>2</sup> .bar)	2 to 10 bars Environ 200 L/(h.m <sup>2</sup> .bar)	10 to 40 bars 5 to 10 L/(h.m <sup>2</sup> .bar)	30 to 80 bars about 1 L/(h.m <sup>2</sup> .bar)

The **mechanical separation processes** studied are: settling, centrifugation, filtration and floatation. They aim at separating solid pollutant inside waste water.

Every **settling** technologies are studied : static, accelerated and lamellar.

About **filtration**, every types of filters are described, basting and precoat too.

The following table provides a comparison settling, centrifugation and filtration:

	<b>Settling</b>	<b>Centrifugation</b>	<b>Filtration</b>
<b>Advantages</b>	Economical, Low energy consumption	compact easy to operate continuous process without consumables	reliable Adaptable Easy to use
<b>Disadvantages</b>	cumbersome Produces diluted sludge Chemical conditioning needed	Heavy investments High energetic consumption	Consumables costs

These separation techniques can't produce more than 40% of dry product.  
Moreover, the end of the process effluent is not pure water but a solution.

About **floatation**, air blowing, mechanical floatation, airfloatation and electrofloatation are described.  
These technics are used when neither settling, filtration nor centrifugation can be used, that is to say mainly when suspended particles and dispersing medium have a close density.

The studied **physicochemical** processes are:

- coagulation,
- flocculation,
- electroflocculation,
- precipitation,
- cristallisation,
- electrolysis,
- adsorption,
- ions exchange resins,
- deoiling.

When waste water is composed of stable suspensions, the most currently used techniques are **coagulation and flocculation**. They can destabilize these suspensions and separate them into two phases : one solid, mainly composed of the pollutants, and the liquid phase. The goal is to get a purest aqueous phase, which depends on the initial composition of the waste water.

**Electrocoagulation** is described. It is an electrolytic process that puts in solution a metal cation ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ), inducing colloid precipitation.

**Precipitation** is used to eliminate metal cations such as heavy metals or transition metals and some anions ( $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ...)

**Crystallization**, closely related to precipitation, is generally used to extract metals from waste water. It can also extract anions such as  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  and most metalloids.

**Electrolysis** can treat waste water containing metals under ionic form (e.g  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ).

**Adsorption** is based on selective adsorption (thermodynamic or kinetic) of liquids or gaseous compounds by adsorbents by specific interactions between the adsorbents' surfaces and adsorbed molecules. It is generally used for waste water treatment be it industrial or not, and the most currently used adsorbents are activated carbon, zeolites, silica gels, activated aluminas.

They are used in order to eliminate:

- organic pollutants, mainly the refractory, toxic, dyeing and odorants ones,
- residual levels of inorganic contaminants.

**Ion exchange** is the elimination of an ion from a medium by adsorption on a material that contains a ionic group with the opposite charge, named ion exchange resin. This process releases at the same time a same charge ion as the one adsorbed.

It is used to eliminate ions and ionisables species such as:

- metallic cations, e.g Cr<sup>3+</sup> or cadmium and its compounds,
- inorganic ionisable compounds such as H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>,
- organic dissolvable compounds, ionic or ionisable, such as carboxylic acids, sulfonic, some phenols, amines...

**Deoiling** techniques are different, depending on the stability of the water/oil mix: if it is a suspension or a simple emulsion.

In case of a simple suspension, oil is recuperated by skimming, with the use or not of hydrophilic and hydrophobic compounds.

Emulsions are more complex to treat and different techniques are used depending on the thinness of the emulsion.

**Parallel Plates Interceptors** are used to treat emulsion with no <50µm particle.

**Coalescing oil separators** are used to treat thin emulsions.

**Acide breaking of an emulsion** is a physicochemical treatment that consists in destabilizing oily phase of an emulsion.

The following table is a synthesis of the processes studied and the pollutants treated:

		metals	Dissolved salts	HC*	Oily emulsions	Synthetic organic pollutants	bacteria	Suspended solids	BOD COD	Hard COD
<b>THERMAL PROCESSES</b>	Evapoconcentration	X	X	X				X	X	
<b>MEMBRANE PROCESSES</b>	Microfiltration							X		
	Ultrafiltration	X		X	X		X	X		
	Nanofiltration	X	X			X	X		X	X
	Reverse osmosis	X	X			X	X		X	X
<b>MECANICAL PROCESSES</b>	Settling							X	X	
	Centrifugation							X	X	
	Filtration	X						X		
	Flotation	X		X	X	X**		X	X	
<b>PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES</b>	Coagulation – flocculation	X	X	X	X	X		X	X	
	Electrocoagulation	X	X	X		X	X	X	X	X
	Precipitation	X	X							X
	Crystallization	X	X							
	Electrolysis	X								
	Electrodialysis	X	X	X						X
	Adsorption	X	X	X		X		X	X	X
	Ions exchange	X	X						X***	
Deoiling			X	X						

\*HC : hydrocarbures

\*\* : polymeric suspensions

\*\*\* : organic ionisable compounds

### 3. Three cases' study

This part of the report deals with regulatory contexts; it gives average compositions and provides the description of the currently used processes.

#### **Case study: landfill leachate**

They are the result of water percolation through the waste. The water comes through the waste and from the rains.

The quality objectives for the discharge into the environment are regulated by the 2001/12/31 law.

Chemical and biochemical compositions are very different, they are variable in space and time. The average compositions are:

	<b>Young</b>	<b>Intermediate</b>	<b>Stabilized</b>
<b>Age (years)</b>	<5	5 à 10	> 10
<b>pH</b>	6,5	6,5-7,5	>7,5
<b>COD (mg/l)</b>	> 10 000	4 000 – 10 000	< 4 000
<b>BOD<sub>5</sub>/COD</b>	> 0,3	Entre 0,1 et 0,3	< 0,1
<b>Organic compounds</b>	80% AGV	5 à 30% d'AGV + humic and fulvic acids	humic and fulvic acids
<b>Metals</b>	< 2 000 mg/l	-	< 50 mg/l

The currently used processes for the concentration of landfill leachate studied here are :

- biological,
- coagulation flocculation,
- precipitation,
- adsorption,
- airflotation,
- membrane processes (UF and RO),
- membrane bioreactor,
- evapoconcentration.

### **Biological processes**

Free biomass is the biological process mostly used for the treatment of landfill leachate.

Purifying yields depend on operating conditions and the leachate composition.

The COD drop depends on the age of the leachate. The drop will be superior to 92% for a young leachate and about 59% for a less biodegradable leachate.

The main limitations are:

- a significant production of sludge,
- a biomass loss because of a poor settling,
- a significant energy demand,
- a sensitivity to high nitrogen concentrations and drop in temperature.

Coagulation-flocculation, adsorption and precipitation are generally used as a pretreatment for biological treatment or membrane process, or on the contrary as a final step to complete the treatment process (generally biological) or to eliminate specific pollutant.

### **Coagulation flocculation**

**Coagulation flocculation** allows the elimination of colloidal organic compound, suspended solids and metallic compounds, which have an effect on COD, color and turbidity.

Ferric and aluminum salts are the most frequently used. The ferric ones are generally more efficient than the aluminium ones or than lime.

Results published about coagulation-flocculation of landfill leachate show a 10% to 25% drop of COD for young leachates that have a low DBO<sub>5</sub>/DCO (<0,1), that is to say for stabilized leachates or biologically pre-treated ones.

59 to 73 % of organic compounds that have a molecular weight superior to 500 g/mol are retained, contrarily to the smallest molecules that are only up to 18 % eliminated.

Moreover, these processes lead to a significant production of sludge, which are secondary waste and consume chemical reactants leading to an increase of the concentration of metallic cations in the liquid phase.

Coagulation-flocculation is generally followed by water/sludge separation, by flotation or settling.

### **Precipitation**

The most currently used **precipitants** for the treatment of landfill leachate are lime and a mix of magnesium chloride and di-sodium hydrogenophosphate.

This process can precipitate many metals, it decreases the amount of suspended solids and eliminates a part of organic.

However sludge contains metallic hydroxides.



### Adsorption

**Adsorption** eliminates biodegradables and non-biodegradables compounds, and decreases the concentration of compounds responsible for the color of the effluent.

**Powdered activated carbon or granular (CAG)** is the most currently used adsorbent.

Combining CAG and biological pretreatment is a proven technology, economical and efficient to reduce COD, especially the hard one, absorbable organic halogens (AOX), pesticides, solvents, organic compounds within the limits of the national or European standards, even the more stringent ones.

Adsorption on activated carbon can be used to treat retentates from reverse osmosis treatment or nanofiltration. Concentrated organic compounds and AOX can be retained on activated carbon, which is cheaper than evaporation or drying.

### Air flotation

Even if it is nowadays uncommonly used for the treatment of leachates, airflotation can be used as a post treatment after biological treatments.

Its efficiency can be increased by a preliminary step of coagulation.

### Reverse osmosis

**Reverse osmosis** is used since the 1990s for the treatment of landfill leachate in more than 100 plants throughout Europe.

The permeate has a high quality respecting the limits of the national or European standards, even the more stringent ones.

Technological improvements can restrict membrane clogging.

The most famous example is the Pall Corporation Disc Tube™.

However, the ratio quality of the permeate/ quality of the entrant leachate is generally between 75% et 90%, that is concentration factor of 4 to 10.

The great efficiency of RO leads to much polluted retentates that are secondary waste whose management is expensive. They can sometimes be reinjected on site, under very specific conditions.

### Membrane bioreactor

The **membrane bioreactor** is a system combining biological reactor with activated sludge followed by membrane treatment.

Biological treatment degrades the biodegradable part of the pollution (part of the COD and nitrogen).

The membrane system is micro ou ultrafiltration. There are two types of membrane bioreactor: with internal loop or external loop, depending on whether the membranes are inside or outside the reactor.

Membrane bioreactors systems are more compact than classical biological processes and produce less sludge.

### Evapoconcentration

**Evapoconcentration** is currently used for the treatment of landfill leachate and there are tax incentives for its use.

Thermal energy from engine using biogas can be valorized as a source of energy for the évapoconcentration process.

Evapoconcentration is the process that leads to the maximal concentration of the pollution with a 20 to 100 times reduction of the initial volume of leachate.

Ammoniac, because of its volatility can be in the distillate. In this case, a biological pre-treatment of nitrification denitrification can be used, or an acid stripping of the distillate.

### Case study : mechanical waste water and surface treatment waste water

Mechanical industry generated, except by treatment surface, studied are aqueous metalworking fluids, detergents, tribofinishing effluents and cutting fluids.

Whereas there have similar applications, their compositions are various:

	<b>COD (mgO<sub>2</sub>/L)</b>	<b>Total oils (%)</b>	<b>NTK (mg de N/L)</b>	<b>pH</b>
<b>Cutting fluids</b>	80 000 to 300 000	0,5 to 10	100 to 3000	≈ 9
<b>Detergents</b>	20 000 to 100 000	0,5 to 5	-	Acides: 3 to 6 Basiques : 8-13
<b>Tribofinishing</b>	1 000 to 20 000	0,5 to 5,0	-	7 to10

The report describes the following processes for the concentration of mechanical waste water:

- evapoconcentration,
- membranes (MF and UF),
- biological process,
- membranes bioreactors.

Surface treatment industries are regulated by their own law (2006/06/30).

In order to respect the regulation, most surface treatment workshops treat their waste water on site.

Rinse water treatment, with potential recycling of raw material, made real progress for the treatment of such effluents.

The report describes the following processes for the concentration of surface treatment waste water:

- evapoconcentration,
- membranes (RO, UF and electrodialysis),
- ion exchange,
- cristallisation.

### **Case study: digestate from anaerobic digestion**

Digestate are the waste from anaerobic digestion, they are not regulated by a specific law, and their rejection is limited by the 1998/02/02 law.

Proportions of all the digestate's elements, especially pollution and ammonia are not constant due to the high variability of the entrants of the anaerobic digestion.

For instance the digestate from animal waste anaerobic digestion are nitrogen-rich, especially compared to vegetal waste, and digestate from urban waste can contain micro-pollutants.

Digestate have a solid and a liquid phase. Solid phase is generally made of fibrous material that is insoluble and is refractory organic pollutants.

After phase separation of the digestate, digestate juice is the liquid phase. This phase separation can be made with screw press, centrifugation...

This juice can be relatively concentrated: 60 to 120 g/L of COD; 5 to 10g/L of BOD; 3 to 5 g/L of total nitrogen and consequently hard to be treated biologically,

Concentration or clarifying meaning of juice from anaerobic digestion are exposed hereafter. They are:

- membrane filtration,
- evaporation/condensation,
- thermal drying,
- struvite precipitation.

The treatment leads to a purified effluent and residual liquid or very concentrated solid that can be after valorized as a fertilizer or treated as a waste.

### **Membrane filtration**

**Membrane filtration** has several steps:

- first step consists in a pre-treatment with a vibrating sieve so as to prevent clogging,
- second step is ultrafiltration which eliminates organic suspended solids and decreases phosphorus concentration,
- then the filtrate is treated with reverse osmosis so has to get purified water and salt-rich concentrate.

The treatment specific energy balance is on average of 27 kWh/m<sup>3</sup>.

From gross digestate we get a purified effluent whose volume is half of the initial one.

The main limitations are related to the investment costs, operating costs (electricity) and high maintenance costs, membrane cleaning and clogging risk.

### **Evaporation**

**Digestate juice evaporation** is operated at 55-65°C under a 200 mbar vacuum, in acidic medium in order the ammonia to stay ion ammonium.

The resulting residue is a liquid and represent 62% of the initial digestate volume.

Ammonia concentration can be decreased to about 75 mg/l. However COD concentration can be about 1250 mg/l, impossible for an environment release.

Acid stripping post treatment can, with an over cost, eliminate ammonia in the concentrate.

This techniques limitations for juice digestate treatment are mainly the heat need and the risk of foam production inside the evaporator.

## Thermal drying

There are three types of dryers:

- direct dryers where the liquid to be treated is in contact with hot air,
- indirect dryers where the liquid is heated through a wall by heating fluid,
- mixed dryers using both techniques.

Dryer	Avantages	Inconvénients	Types de sècheurs
Direct	<ul style="list-style-type: none"><li>• easy to operate,</li><li>• can treat significant volumes,</li></ul>	Dried material need to be recirculated, so air flow is important	<ul style="list-style-type: none"><li>• rotary dryers,</li><li>• flash dryers,</li><li>• atomization tower,</li><li>• band dryers,</li></ul>
Indirect	Low air flow, efficient	<ul style="list-style-type: none"><li>• system more complex,</li><li>• need more maintenance,</li><li>• faster wear (abrasive liquids not recommended) dust production (explosive)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• rotary drum,</li><li>• dryers discs</li><li>• dryers pallets</li><li>• thin layer</li></ul>
Mixt	Low specific energy consumption	Significant quantity of air to be treated at the end of the process	few developed process

(J Thual 2010, ADEME)

Drying leads to a dry residue, phosphore-rich (about 70 to 90%), easy to operate and that has a high level of hygiénisation, higher than the other post treatments that are not operated with high temperature.

In return, an important amount of nitrogen is evaporated, meaning lost, losing therefore its fertilizing value.

## Struvite precipitation

**Struvite precipitation** eliminates ammonia and phosphate from juice digestate. Precipitation is very sensitive to other compounds presence, so a flocculation/coagulation and centrifugation pre-treatment is operated to eliminate the more amount of organic.

It is thus possible to eliminate up to 90% of nitrogen and concentration factor is about 10.

Main advantages are the easy to operate and concentration factor of 10.

However it is possible to eliminate neither suspended solids nor potassium.

## 4. Conclusion

The techno-economical inventory in this report provides data on each process: functioning principles, operating conditions, pollutants eliminated, advantages, disadvantages and limitations.

In order to study all the pollutants, three cases' study are exposed: landfill leachate, mechanical effluents and surface treating effluents and digestate from anaerobic digestion. Neither systematic nor generic solution has been identified for none of the cases' study and many processes need be jointly operated to satisfy the plants' specific needs.

This report helps to elaborate a dedicated strategy, using coupled processes or not, to target optimal techno-economical solution for the concentration of waste water, within regulatory limits.