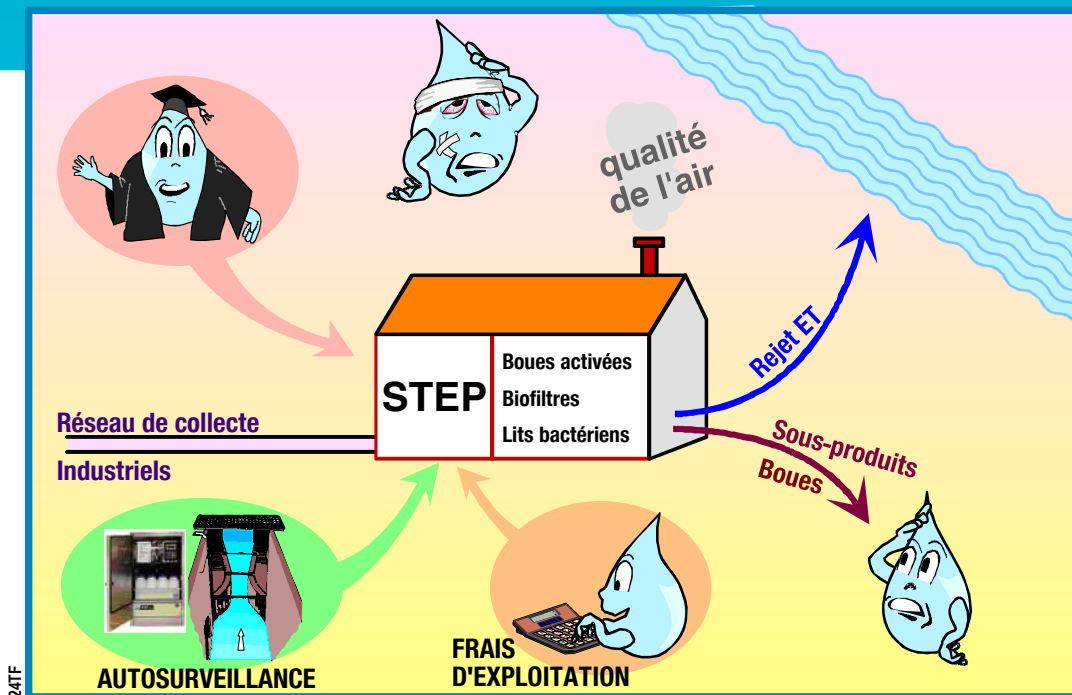


SF004 24a

GESTION TECHNIQUE D'UNE STATION DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

Semaine 2/2 : Boue - air - énergie - maintenance



Du 17 au 21 Juin 2024

Responsable de la formation : N. JEANMAIRE

**Centre de Formation
de l'OiEau**

22 rue Edouard Chamberland
87100 LIMOGES
FRANCE

Tél : +33 (0)5 55 11 47 70

Fax : +33 (0)5 55 11 47 01

Email : formation@oieau.fr

Web : www.oieau.org



Office
International
de l'Eau

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

SOMMAIRE

- DOCUMENT 1** : Aspects réglementaires et caractérisation des boues
- DOCUMENT 2** : Epaissement des boues
- DOCUMENT 3** : Digestion anaérobie des boues
- DOCUMENT 4** : Stabilisation chimique
- DOCUMENT 5** : Déshydratation mécanique
- DOCUMENT 6** : Les post-traitements
- DOCUMENT 7** : Incinération
- DOCUMENT 8** : Valorisation agricole des boues
- DOCUMENT 9** : Biofiltration
- DOCUMENT 10** : Désodorisation
- DOCUMENT 11** : L'électricité & l'optimisation énergétique
- DOCUMENT 12** : La maintenance des équipements





Office
International
de l'Eau

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

RAPPELS REGLEMENTAIRES CARACTERISATION DES BOUES



Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.
Office International de l'Eau

DFE\CNFME\INT\LOG\ST\UTILISAT\N\JE\PEDAGO\SOMMAIRE EDF.DOC18\05\2009





CONTEXTE REGLEMENTAIRE DES BOUES D'EPURATION



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

CODE DE L'ENVIRONNEMENT



Art R211 - 27

(Ancien art 2 du dec 8/12/97)

**Les boues issues du traitement
des eaux usées sont des déchets
selon la loi du 15 Juillet 1975.**

*Ah merci, ça fait plaisir
de se sentir aimé !*





CADRE REGLEMENTAIRE



DIRECTIVE CADRE DECHET (1975)

DIRECTIVE BOUES (1986)
Nouvelle directive en gestation depuis 3 ans (4e draft)

VALORISATION AGRICOLE

Décret 97-1133 du 8/12/97

Arrêté du 8/01/98

INCINERATION

Arrêté du 18 avril 2002

Arrêté du 20 septembre 2002

Mise en décharge

Loi du 13 juillet 1992

Échéance 1/07/02

Abrogé : intégré dans le code de l'environnement (R211-25 à R211-47)



Filière agricole : Principaux textes



Directive 75/442/CEE
Déchet

LOI 75-633 15/07/75
Déchet

Directive 86/278/CEE
Boue - VAB

Directive 91/271/CEE
Eau

LOI 30/12/2006
Eau

Code de l'Environnement
(Art R211-25 à R211-47)
Épandage des boues

Art R211-44 et R211-45

Arrêté du 8/01/98

Arrêté X ...

Épandage des boues sur les sols agricoles

Autres formes d'épandages de boues

Épandage en forêt / Revégétalisation

Directives (DERU, BOUE, DECHETS)

Code de l'environnement
(art R211 25 à 47)

Arrêté épandage boues
sur les sols agricoles
(8/01/98)

- Recyclage
- Innocuité
- Traçabilité
- Responsabilité
(responsabilité pénale)
(Principe pollueur-payeur)

VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

Code de l'Environnement



Art R211-30

(Ancien art 5 du dec 8/12/97)

RESPONSABILITE

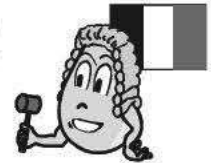


**Les exploitants des unités
de traitement des eaux usées sont
les producteurs des boues au sens
du présent décret ;
il leur incombe à ce titre
d'en appliquer les dispositions**



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

Modification du CE par décret 2021-147 (du 11/02/21)



Art R211-30

RESPONSABILITE en cas de mélange



Les producteurs et détenteurs de boues sont responsables de la gestion de leurs boues qui constituent des déchets (conformément à l'article L. 541-2 du CE),

(Avant, en cas de dérogation, le préfet désignait La ou les personnes responsables de la bonne application des textes)



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

CODE DE L'ENVIRONNEMENT

LES OBLIGATIONS DU PRODUCTEUR DE BOUES



Art R211-33

Réalisation d'une étude préalable à tout épandage

Art R211-34

Mise en place d'un dispositif de surveillance
tenue d'un registre des épandages consultable
par agents de contrôle sur 10 ans

Art R211-35



Synthèse annuelle du registre des épandages

Art R211-39



Pour STEP \geq 2000 EH

Etablissement d'un programme prévisionnel d'épandage
(liste des parcelles et de leurs cultures, calendrier et doses
d'épandage)

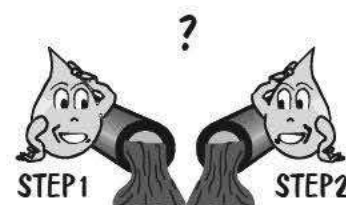
Constitution du bilan agronomique de chaque campagne
annuelle



SOLUTION ALTERNATIVE D'ELIMINATION OU DE VALORISATION DES BOUES :

Elle doit être prévue
pour pallier tout empêchement
Temporaire de se conformer
aux dispositions du présent
décret

LE MELANGE DES BOUES ?



- Décret n° 2021-147 du 11 février 2021 (rubrique 2.1.4.0 - IOTA)
 - ➔ Modification des articles 211-29 et 211-30 : Autorisé si
 - Chaque boue composant le mélange est apte à l'épandage (art 211-38 à 45)
 - Le mélange des boues avec d'autres déchets reste interdit (Art 1 du dec 2021-147)
 - Le préfet peut toutefois déroger sur ce dernier point si
 - Chaque déchet remplit les exigences à l'épandage dans leur catégorie
 - L'objet de l'opération tend à améliorer les caractéristiques agronomiques des boues
- CIRCULAIRE du 14/03/1999 (Alinéa 8)



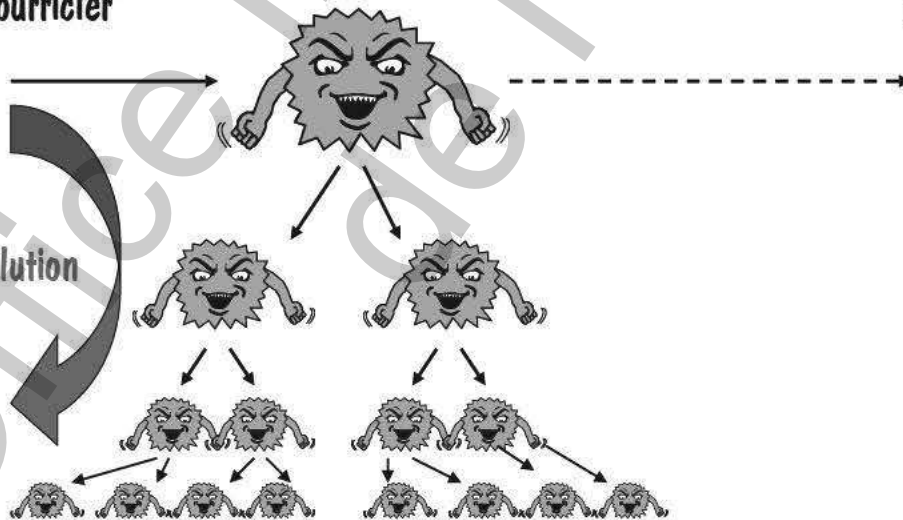
PRODUCTION ET CARACTERISATION DES BOUES D'EPURATION



Flux nourricier

Eau épurée

Pollution



DEVELOPPEMENT DE BACTERIES

+

DECANTATION DES MES

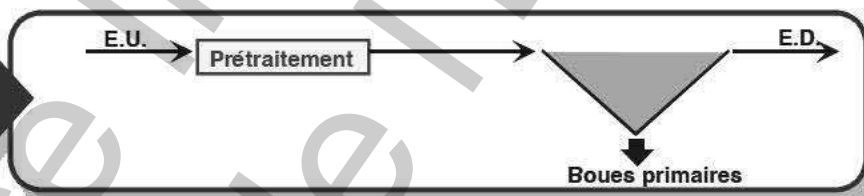
-

PRODUCTION DE BOUE

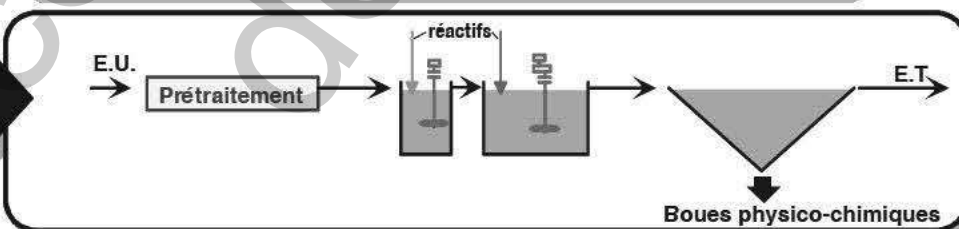


ORIGINES DES BOUES

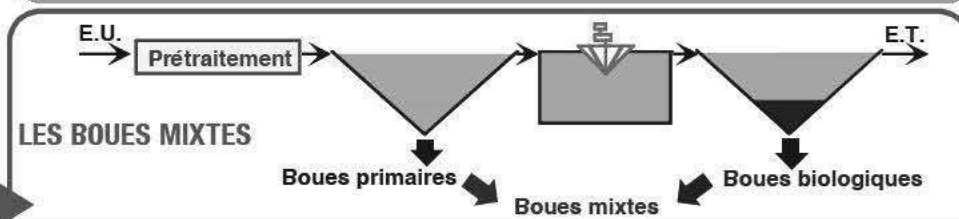
LES BOUES PRIMAIRES



LES BOUES PHYSICO-CHIMIQUES



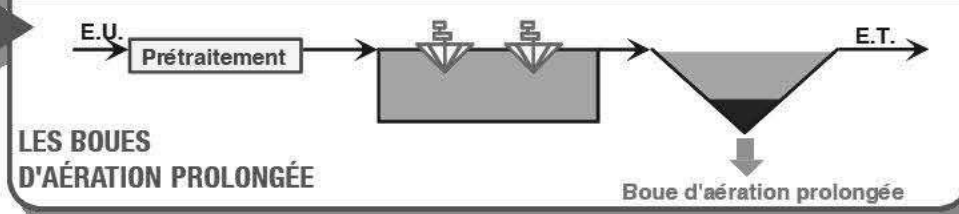
LES BOUES BIOLOGIQUES



LES BOUES MIXTES

Boues primaires → Boues mixtes → Boues biologiques

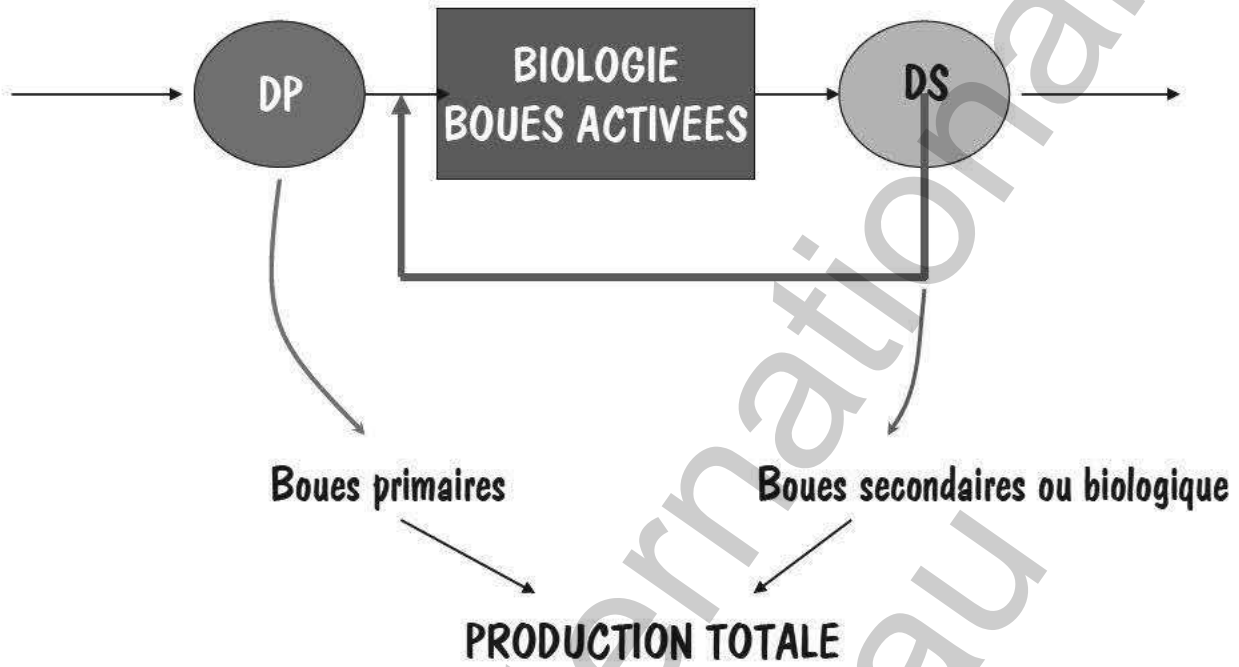
LES BOUES D'AÉRATION PROLONGÉE



Et vous, quelles boues avez-vous ?

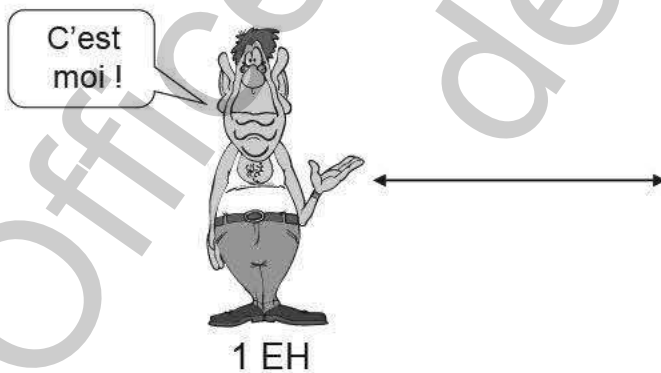
Station de

Boues :



ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE BOUES PRIMAIRES

Estimation par le ratio de production



50 g MES/jour



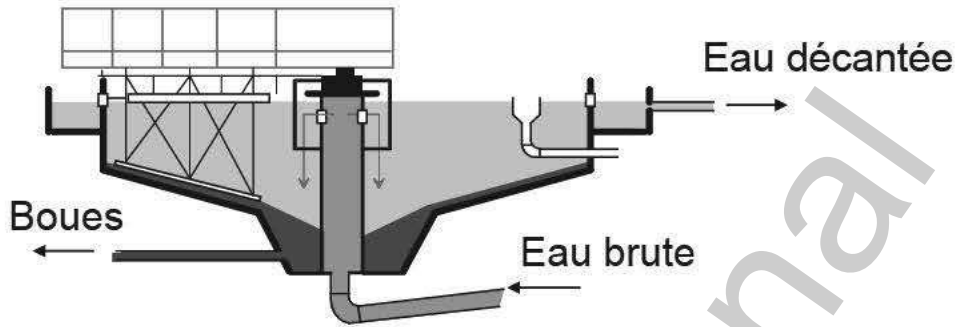
30 000 EH



30000 x 50 g MES/jour
= 1500 kg MES/jour

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE BOUES PRIMAIRES

Estimation par le bilan matière sur le décanteur primaire



Flux de MES entrée = Flux de MES en sortie

$$Q_{EB} \times [MES]_{EB} = Q_{ED} \times [MES]_{ED} + Q_{boues} \times [MES]_{boues}$$

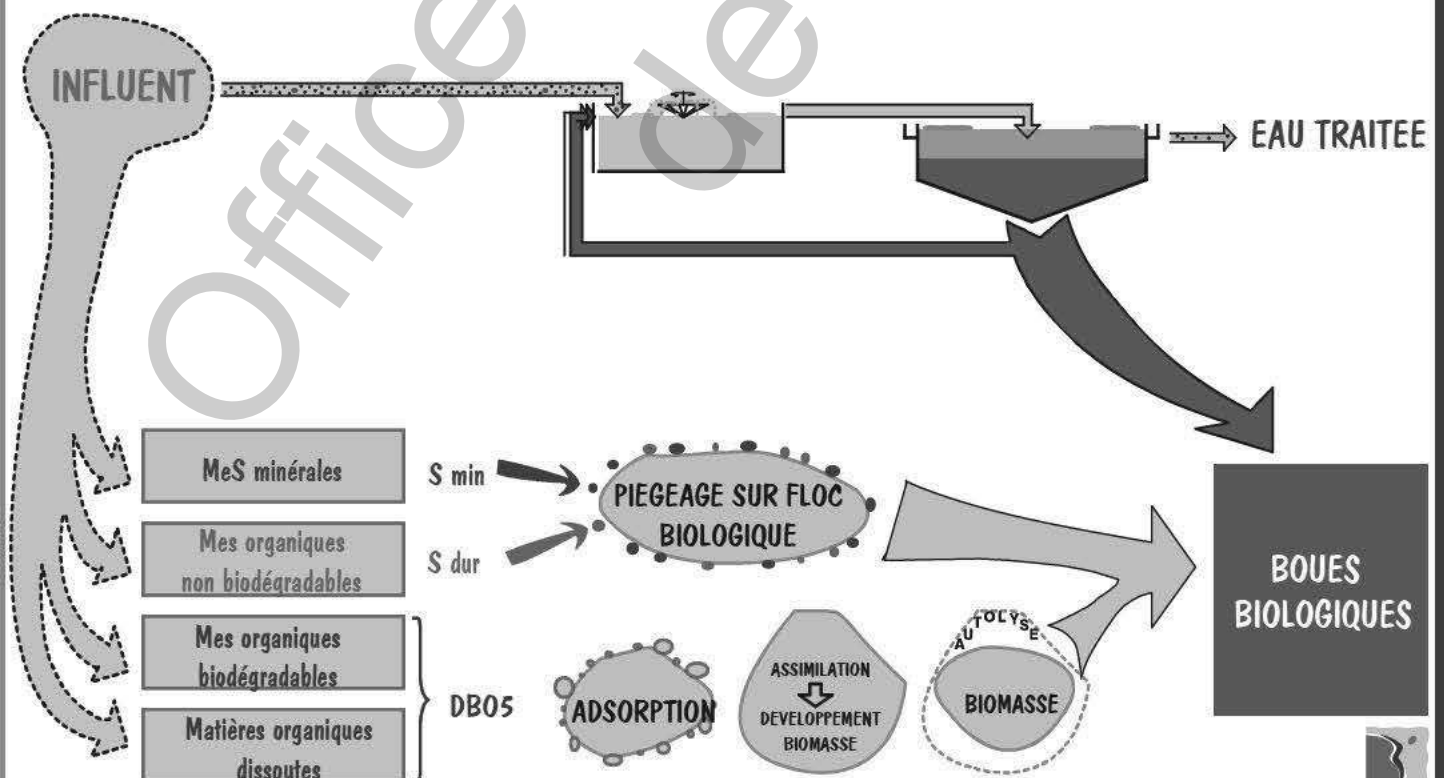
$$\text{Production de boues} = Q_{boues} \times [MES]_{boues} = Q_{EB} \times [MES]_{EB} - Q_{ED} \times [MES]_{ED}$$

Par simplification : $Q_{EB} \sim Q_{ED}$

DONC : Volume à extraire = $\frac{([MES]_{EB} - [MES]_{ED}) \times Q_{EB}}{[MES]_{boues}}$

Calcul de la production de boues biologiques

de l'Eau



Modèle	Formule
Eckenfelder	$P = S_{dur} + S_{min} + amLe - bSv - Seff$
CEMAGREF	$P = S_{dur} + S_{min} + 0,25 * amLe - Seff$
AGHTM	$P = S_{dur} + S_{min} + (0,83 + 0,2 \log Cm) * DBO_5$
DUCHENE-CEMAGREF	$P = k(Flux DBO_5 + Flux de MES)/2$

- P** = Production de boues biologiques journalière (kg MS /j)
S_{min} = Masse journalière de MES minérale à l'entrée du biologique (kg MS /j)
S_{dur} = Masse journalière de MES organiques non biodégradables à l'entrée du biologique (Kg MS /j)
am = Coefficient de conversion de la DBO₅ en boues biologiques (kg MS /kg DBO₅)
Le = Masse journalière de DBO₅ éliminée par le traitement biologique (kg MS /j)
b = Coefficient de respiration endogène (autoxydation) (j⁻¹)
S_v = Masse de boues organiques présente dans le bassin d'aération (kg MVS)
Seff = Masse de boues ou MES évacuée avec l'eau épurée (kg MS /j)

PARAMETRES CARACTERISTIQUES D'UNE BOUE ACTIVEE



Production de boues biologiques

Formule CEMAGREF (Duchène) :

$$PB = k (aDBO_5 + bMES)$$

DBO₅ et MES en kg/j

Pour les boues activées : $a \sim b \sim 0,5$

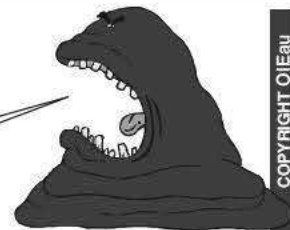
$$\text{Soit } PB = k (DBO_5 + MES)/2$$

Le Process

AP	: k = 0,84	} PB = 0,84 (DBO ₅ +MES)/2
MC sans stabilisation	: k = 1,1	
MC avec stab aérobie	: k = 1,03	
MC avec digestion	: k = 0,84	

PRODUCTION des boues

Ratio de production



**ON SE CONNAÎT
DEJA UN PEU
MIEUX !**

Type de traitement	Quantité de boue (g MS/Jour/hab.)	Volume de boue (l/jour/hab.)
• Décantation primaire	50	1
• Boues activées	40 à 80	1.8 à 2.7
• Lit bactérien	70	1.4
• Disque biologique	70	1.4

PRODUCTION des boues

Ratio de production

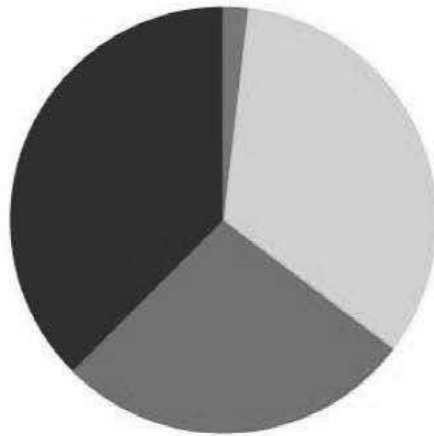


Autres procédés

Type de traitement	Kg MES/Kg DBO éliminé (g MS/Jour/hab.)	Intervalles entre deux extractions
• Epandage souterrain	0,3	Sans : colmatage fréquent après 4-5 ans
• Filtres plantés de roseaux	ε	5-10 ans
• Lagunage naturel	0,7	5-10 ans
• Biofiltres	0,8 – 0,9	1 jour



Voies d'élimination/Valorisation France



- Epandage 38 %
- Incinération 27 %
- Compostage 33 %
- Décharge 2 %

Année 2014 – Données rapportées à l'Europe

Année	2013	2014	2015
Quantité de boues produites (tMS/an)	1 122 194	1 142 939	*1 374 161



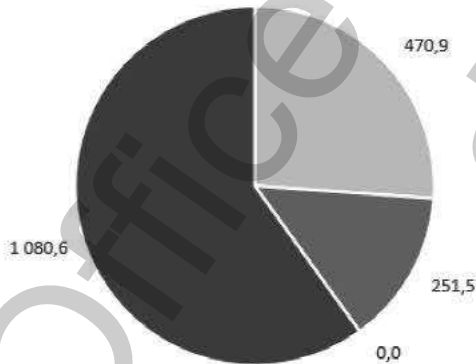
Données rapportées à l'Europe

Source : MEEDMM / Eurostat 2009

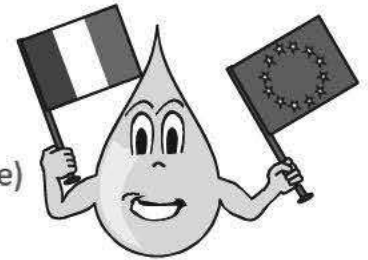


CONTEXTE EUROPÉEN ET NATIONAL : CHIFFRES 2014

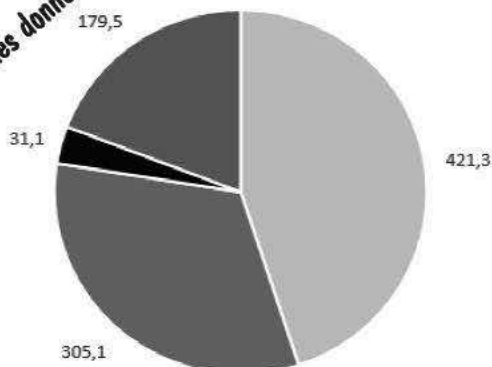
Allemagne



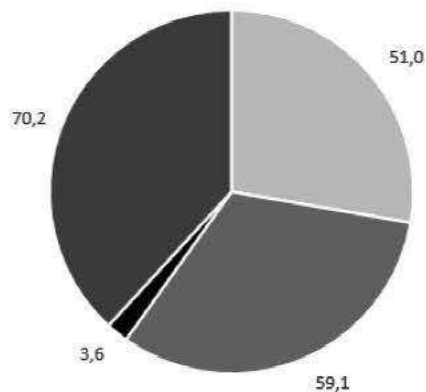
- Usage agricole
- Compostage (et autre)
- Mise en décharge
- Incinération (t/an)
(estimation faite par calcul)



France



Suède

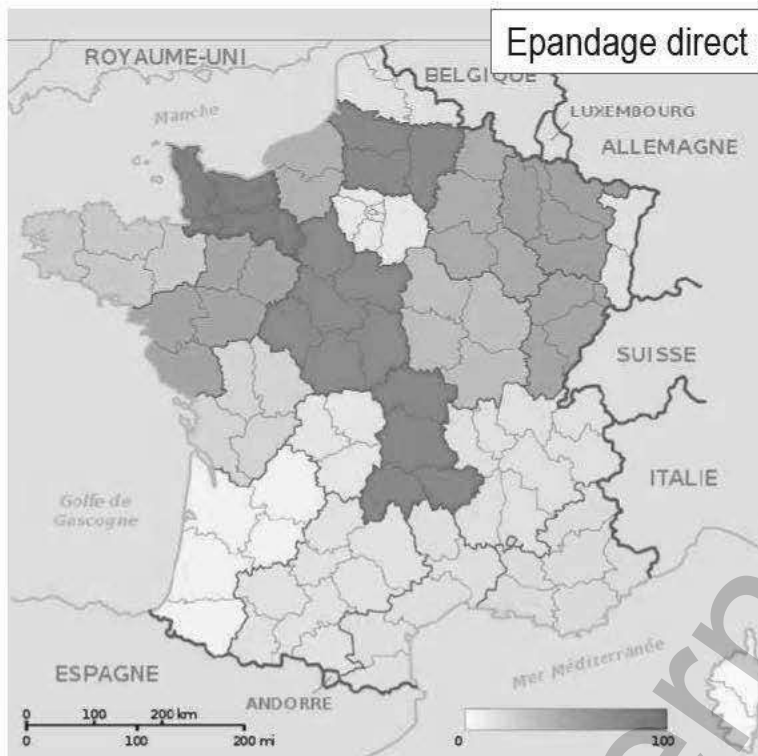


Recoupement des données ?

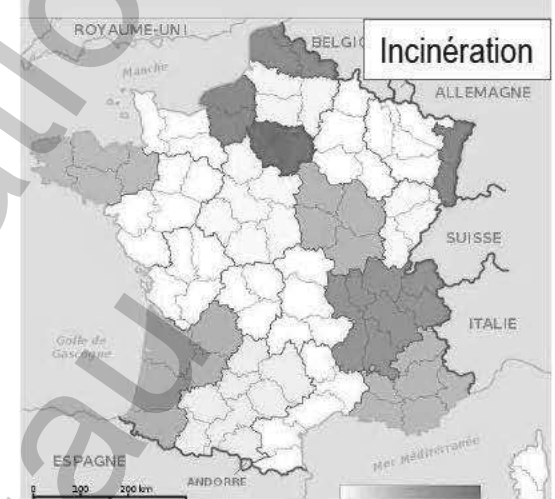
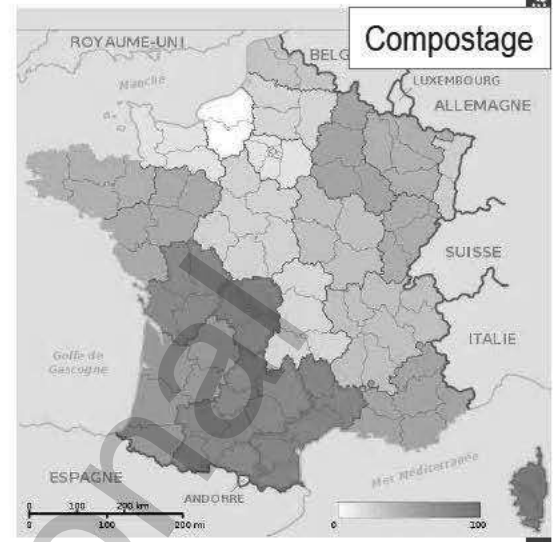


Office
International
de l'Eau

Destination des boues deshydratées de STEU en France

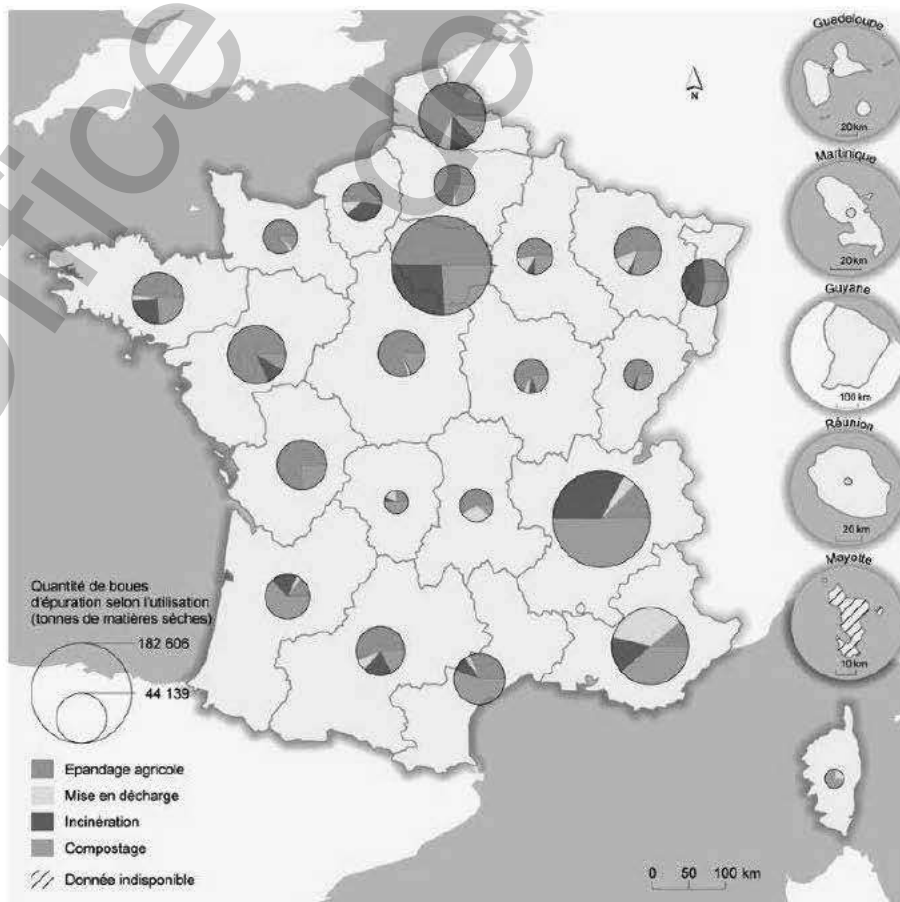


Source : Iristea



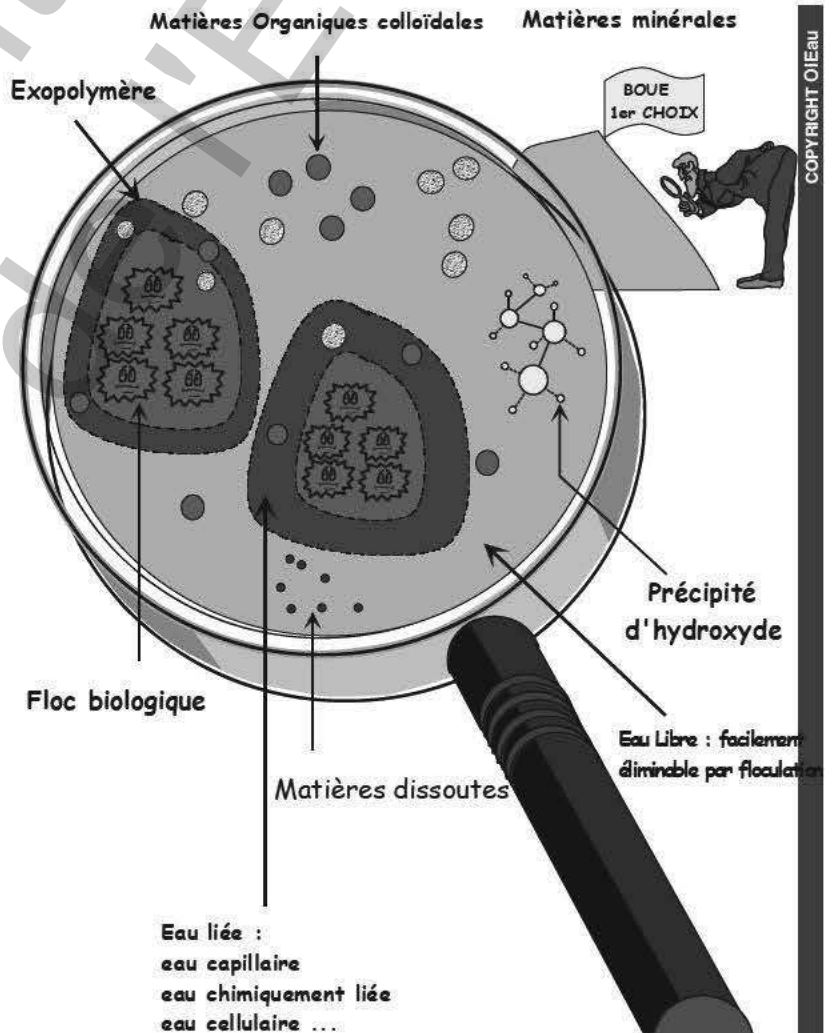
Office
International
de l'Eau

CONTEXTE NATIONAL

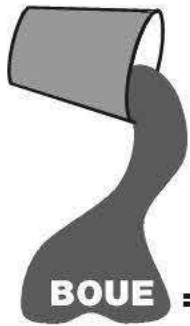




Qu'est-ce que la boue ?



SICCITE ET TAUX DE MVS



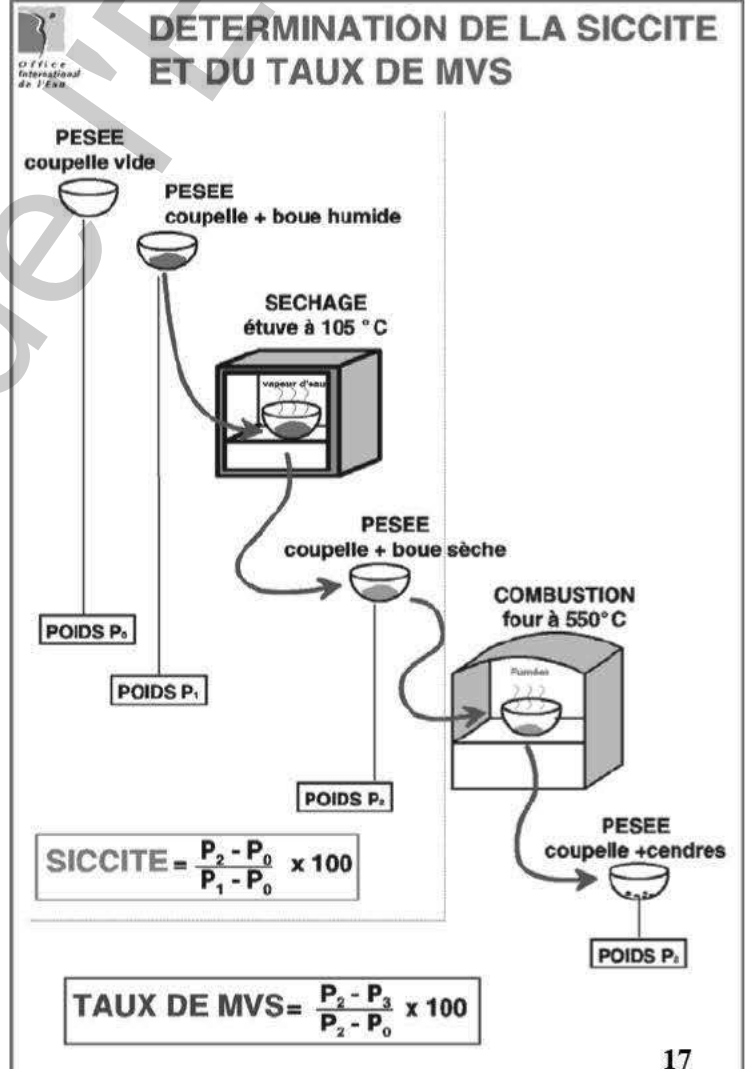
BOUE = EAU + MATIERES SECHES

100% = HUMIDITE (%) + SICCITE (%)

MATIERES SECHES = MATIERES VOLATILES SECHES + MATIERES MINERALES

100% = TAUX DE MVS (%) + TAUX DE MM (%)

SICCITÉ DES BOUES - TENEUR EN MATIÈRES ORGANIQUES LES ANALYSES





Type de boue	Sicciété
Boues de décantation primaire	0,5 à 1,5 %
Boues biologiques (AP) en excès	0,5 à 0,8%
Boues mixtes fraîches	0,5 à 1,2 %
Boues épaissies (AP) (statiquement)	2 à 3 %
Boues épaissies (accélééré)	3 à 8 %
Boues déshydratées par filtre à bandes	12 et 20 % *
Boues déshydratées par centrifugation	12 et 25 %*
Boues déshydratées par filtre presse	30 à 45 %**
Boues séchées par lits de séchage	35 à 50 %
Boues séchées (procédé thermique)	Jusqu'à 90%

FOURCHETTE D 'ORGANICITE DE LA BOUE

Type de boue	% MV/MS
Boues de décantation primaire	60 à 70 %
Boues biologiques (AP) en excès	65 à 75 %
Boues mixtes fraîches	60 à 75 %



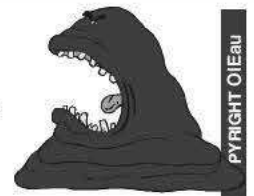
Composition moyenne des boues d'épuration

Composants	Décantation primaire	Biologique cm > 0,1	Aération prolongée	Lagunage	Chimique
Matières organiques	55 - 65	70 - 85	60 - 75	45 - 60	35 - 55
N total	2,5 - 3	4 - 6	4 - 5	2 - 3	1,5 - 2
P	1 - 1,5	2,5 - 3	2 - 2,5	1,5 - 2,5	1,5 - 3
K	0,2 - 0,3	0,2 - 0,3	0,2 - 0,3	0,2 - 0,3	0,1 - 0,2
Carbone	33 - 40	38 - 50	33 - 40	25 - 35	20 - 30
Calcium	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 30
Magnésium	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	1,7 - 4,5
Fer	1 - 3	1 - 3	1 - 3	1 - 3	3 - 15
Al	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	0,1 - 15
Pouvoir fermentescible	xx	xx	xx	-	(x x) (-)
Contamination bactériologique	xx	xx	x	x	(x) (x x) (-)

xx: important

x: faible

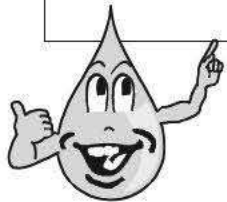
xx: nul



MOI J'AIME BIEN L'EAU

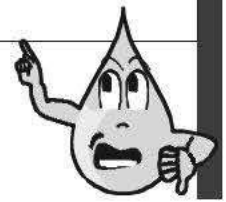
Favorables à la réduction de volume

- **Matières minérales**
- « grains de boue » de taille importante
- **Présence de matières de cohésion** (fibre, chaux, MES min, ...)
- **Densité globale du floc** (sel de fer, micro-sable, argile, limon, cellulose, TALC...)



Défavorables à la réduction de volume

- **Matières organiques**
- **Boues colloïdales**
- **Absence de matières de cohésion** (fibre, chaux, incuits, ...)
- **Faibles densité globale du floc** (sel de Al, floc organique)



Aptitude des boues à la décantation, à l'épaississement

IB, IM

Aptitude des boues au conditionnement, à la déshydratation

Tests de floculation



C.S.T, Rs, S



Essais pilote





TESTS DE FLOCCULATION

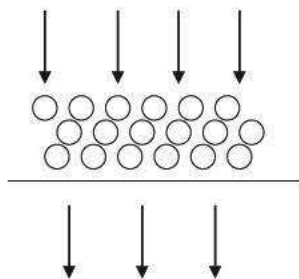


LA RESISTANCE SPECIFIQUE - LE COEFFICIENT DE COMPRESSIBILITE

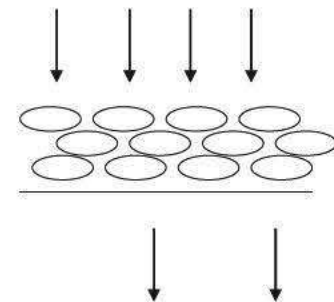
OBJECTIF :

Estimer la compressibilité de la boue pour valider sa possible déshydratation sur filtre-presse

Boue peu compressible



Boue compressible

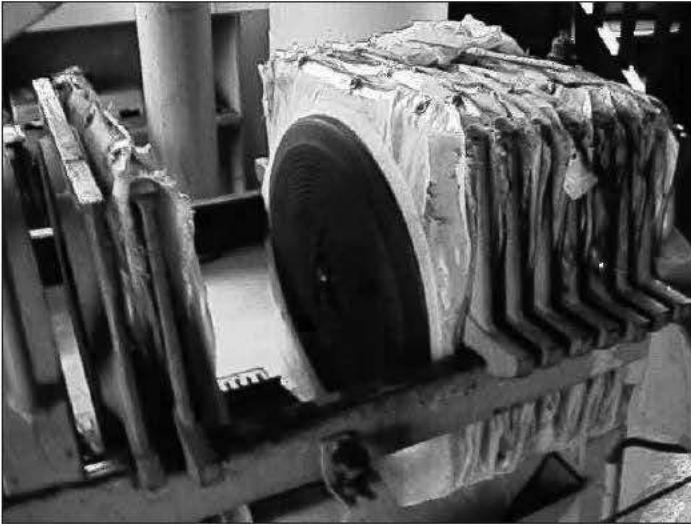


LA RESISTANCE SPECIFIQUE - LE COEFFICIENT DE COMPRESSIBILITE

Visualisation :

Boue peu compressible

Boue compressible

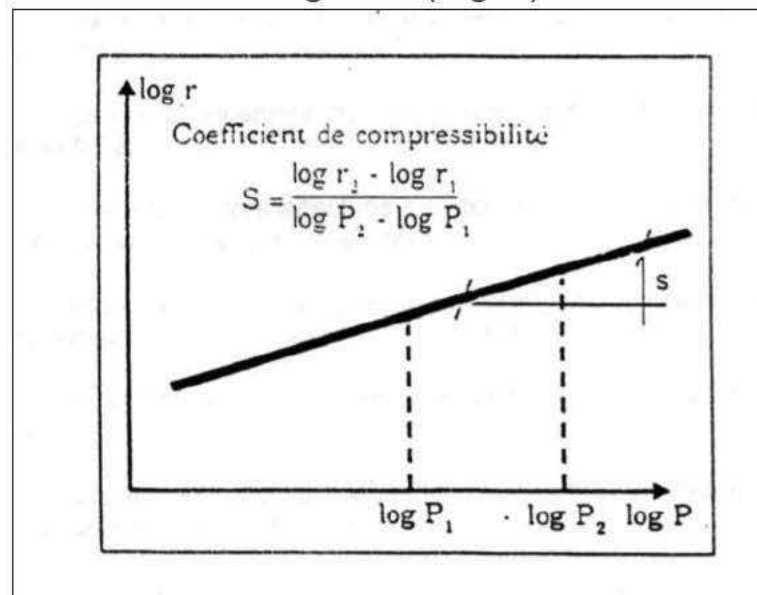


LE COEFFICIENT DE COMPRESSIBILITE Principe de calcul

Définition :

Le coefficient de compressibilité, noté **S** est la valeur de la pente de la droite

$$\log R = f(\log P)$$



LE COEFFICIENT DE COMPRESSIBILITE

Quelques valeurs repères

Valeurs de coefficient de compressibilité s :

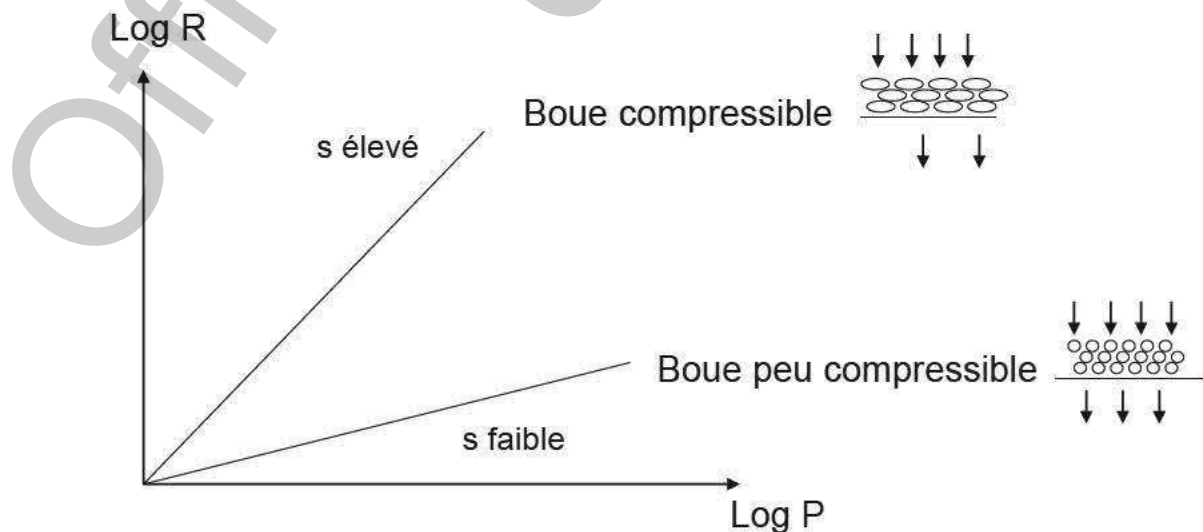
- Boues primaires : 0,45
- Boues digérées mixtes : 0,6 à 0,8
- Boues mixtes fraîches : 0,8 à 0,95
- Boues biologiques : >1

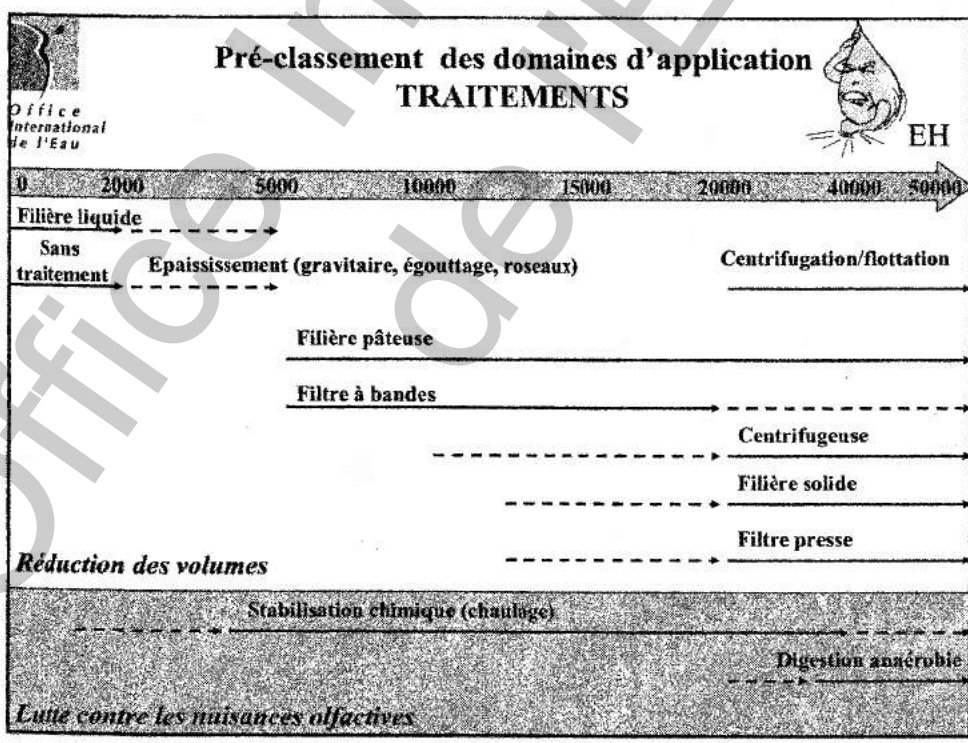
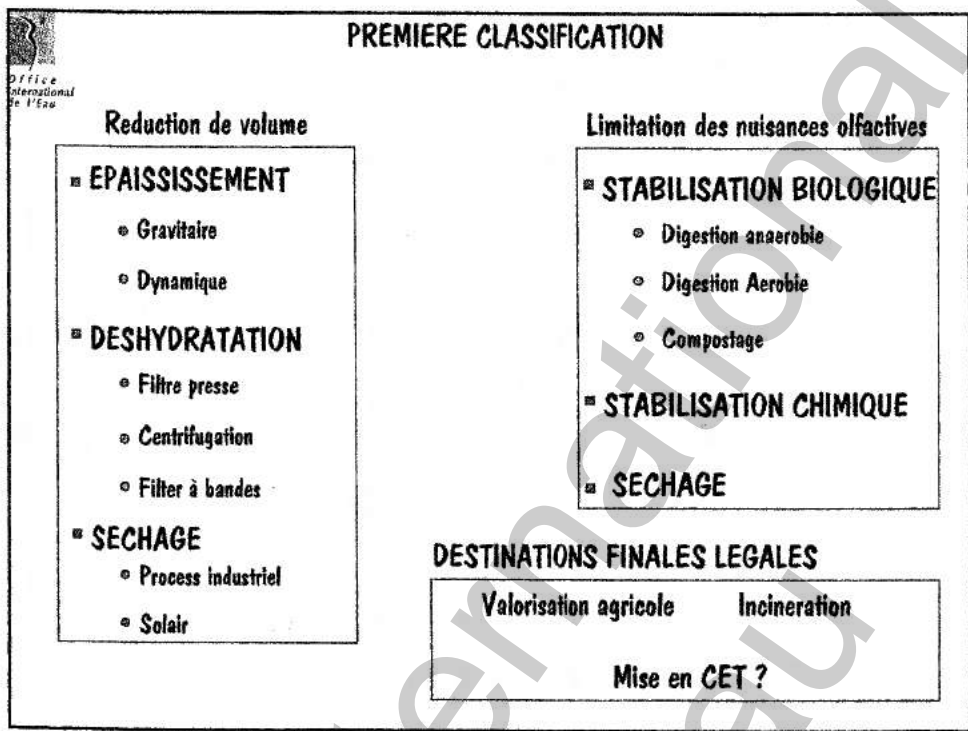
Pour qu'une boue soit déshydratée sur filtre-presse, il faut

$$s < 0,8$$

LE COEFFICIENT DE COMPRESSIBILITE

Comparaison de valeurs







OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

2

ÉPAISSISSEMENT



Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.
Office International de l'Eau

DFE/CNFM/EINT/ILLOGIST/UTILISAT/INJ/PEDAGO/SOMMAIRE EDF.DOC/19/05/03



ÉPAISSISSEMENT DES BOUES

OBJECTIFS

OBJECTIFS D'UNE FILIERE BOUE

TRAITER LES BOUES EN FONCTION DE LEUR DESTINATION FINALE

1 IMPERATIF Majeur :



1 IMPERATIF Secondaire :



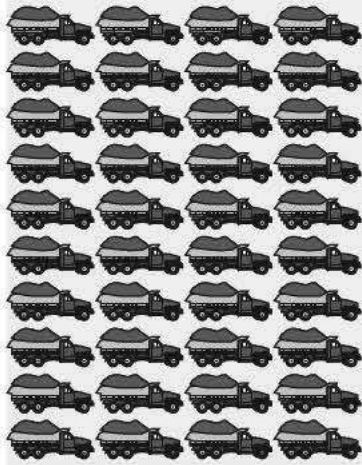


REDUCTION DU VOLUME DES BOUES

Boues liquides

(siccité ≈ 1%)

$V = 4000 \text{ l/j}$
 $= 4 \text{ m}^3/\text{j}$

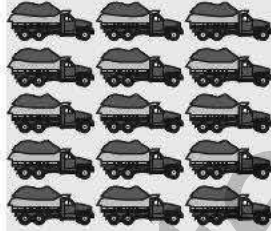


Production = 40g MES/EH/j
Si STEP = 1000 EH

Boues épaissies

(siccité ≈ 5%)

$V = 800 \text{ l/j}$



Boues déshydratées

(siccité ≈ 20%)

$V = 200 \text{ l/j}$



Boues séchées

(siccité ≈ 90%)

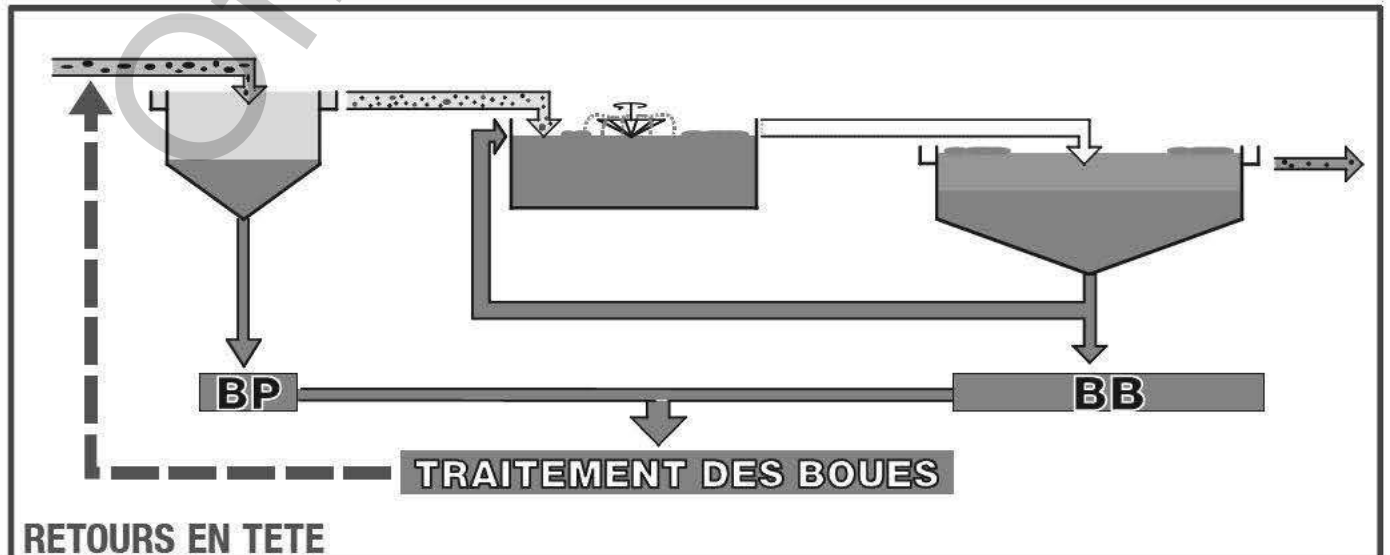
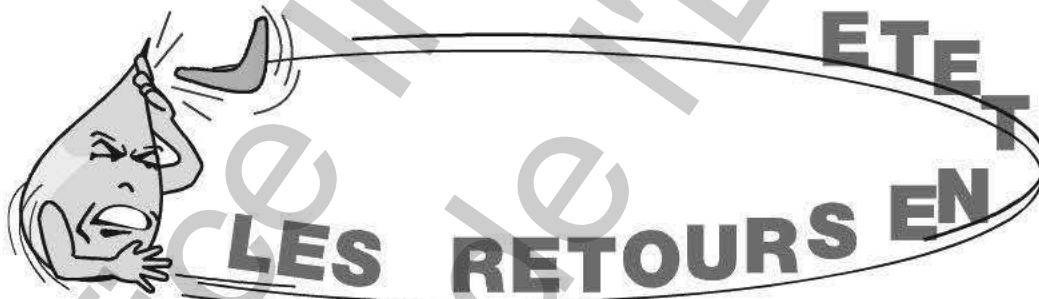
$V = 67 \text{ l/j}$



Cendres

(siccité ≈ 100%)

$V < 10 \text{ l/j}$



EPAISSISSEMENT

DIGESTION

DESHYDRATATION

SILO
DE STOCKAGE

- Charge hydraulique
- Charge organique
- Surproduction de boues
- Indice de boues
- Hydrolyse de boues
- Dégradation de la déshydratation



EPAISSISSEMENT DES BOUES

EPAISSISSEMENT GRAVITAIRE

EPAISSISSEMENT



2

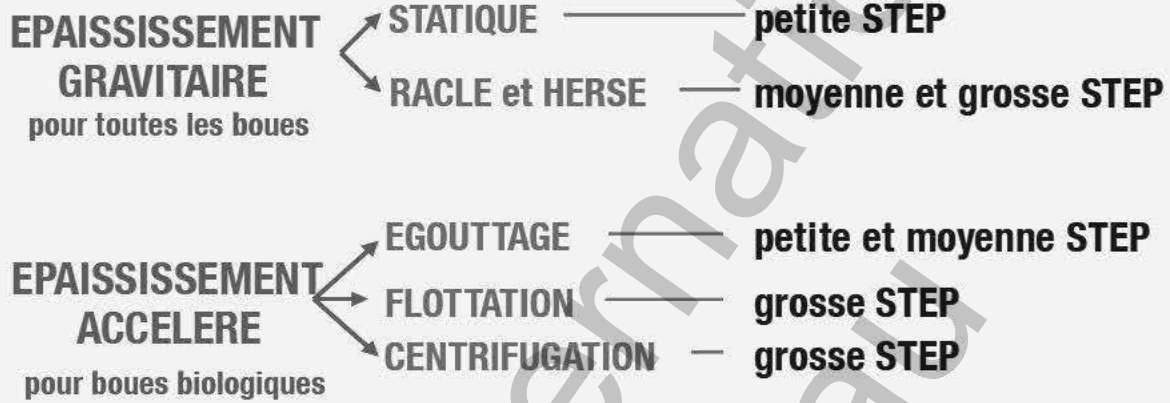
BUTS

CONCENTRER LA BOUE

→ 2,5 à 8 % de SICCIÉTÉ

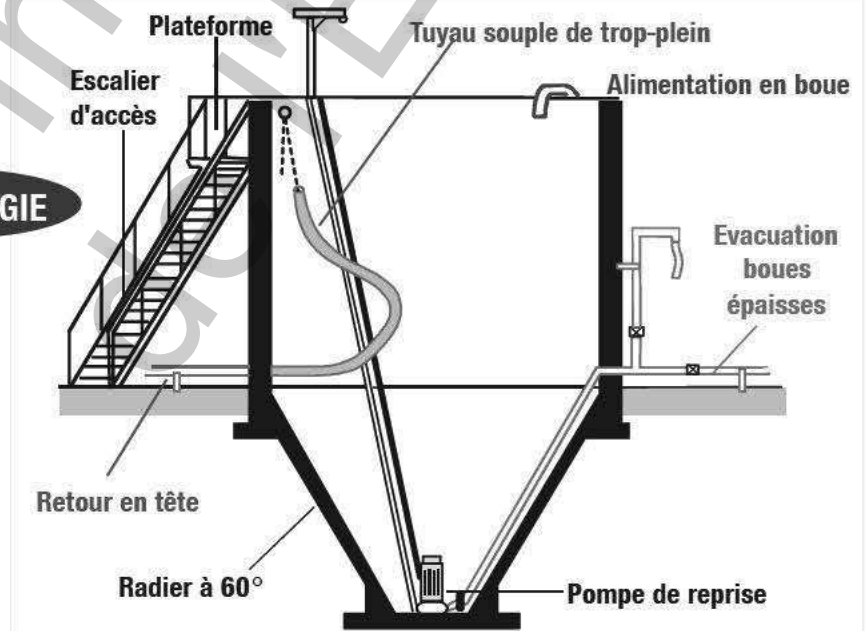
EVACUER EAU CLAIRE, NON SEPTIQUE

POSSIBILITÉS

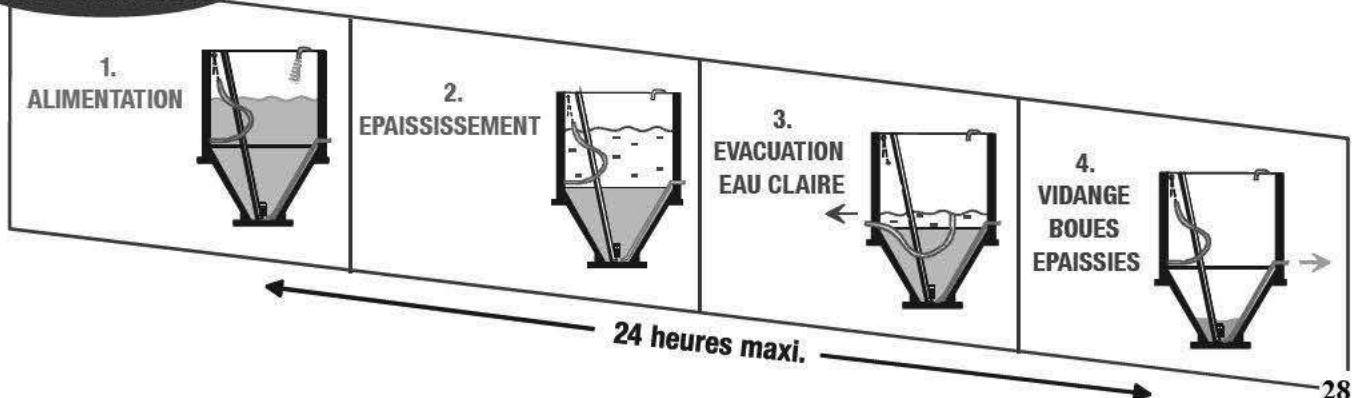


EPAISSISSEUR STATIQUE

TECHNOLOGIE



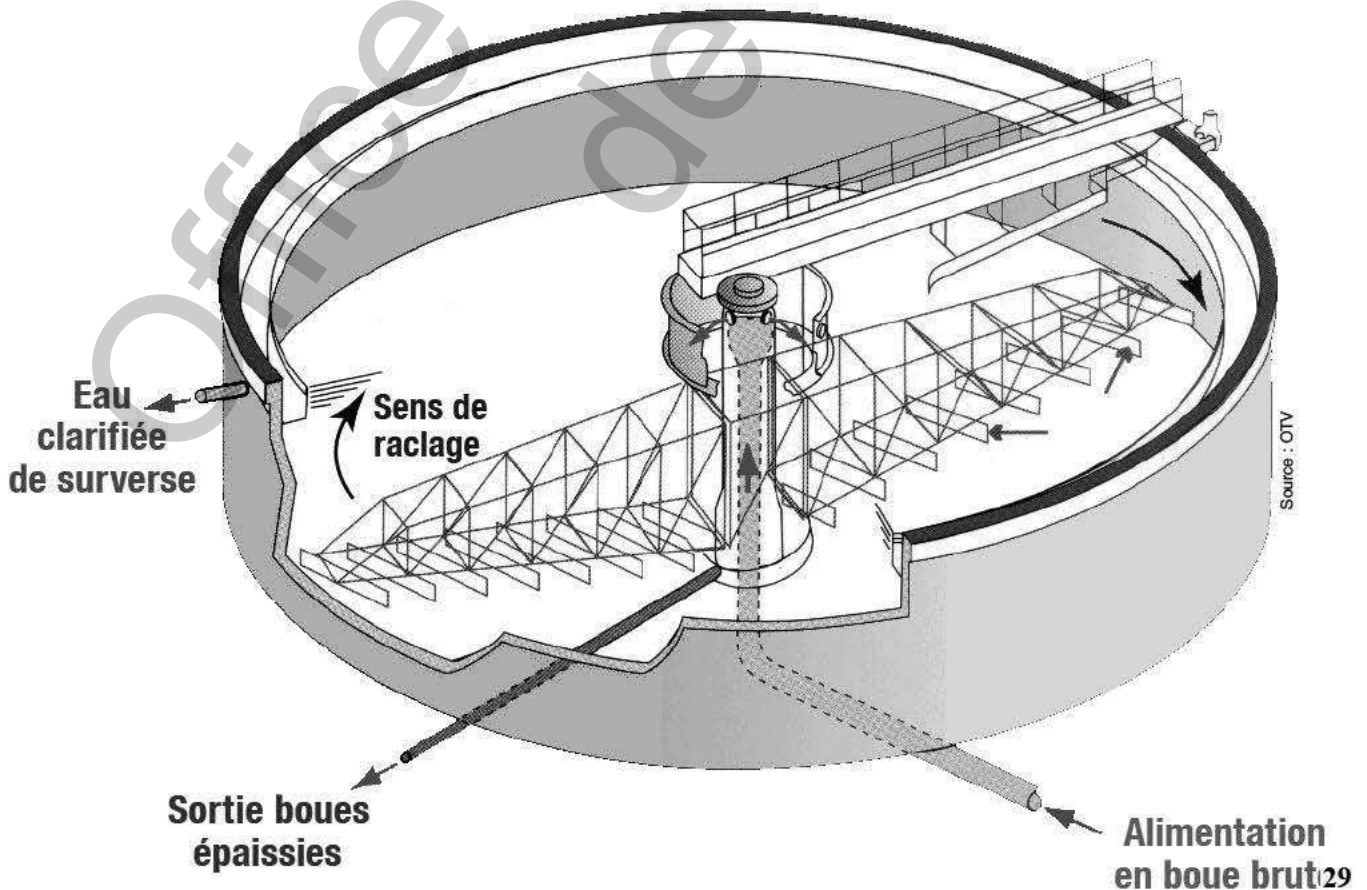
EXPLOITATION



CHARGES D'ALIMENTATION PRÉCONISÉES

Type de boue	Charge spécifique Kg MS.m ⁻² .j ⁻¹	Concentration possible En MS g.l ⁻¹
• Boue primaire	100 à 150	80 à 100
• Boue biologique	25 à 35	25 à 30
• Boue mixte	30 à 50	50 à 80

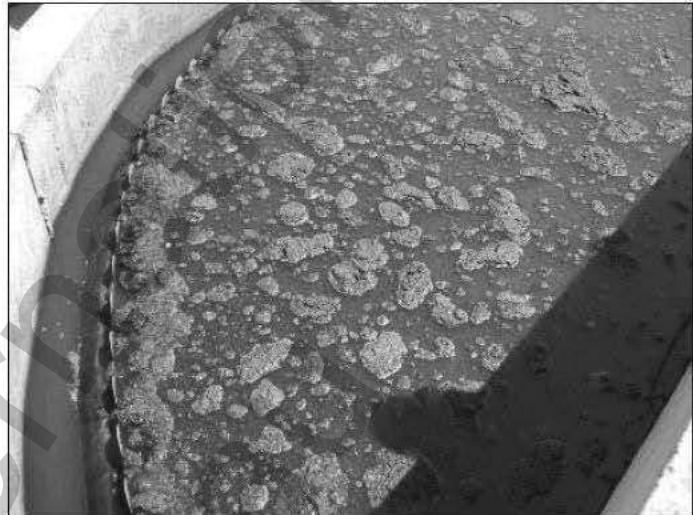
EPAISSISSEUR STATIQUE HERSE ET RACLE





Epaississement gravitaire

- Alimentation séquentielle
- En général sur les petites installations
- Limité en performances sur les boues à tendance organique/colloïdale
- Pas de polymère
- Investissement important
- Faible consommation énergétique



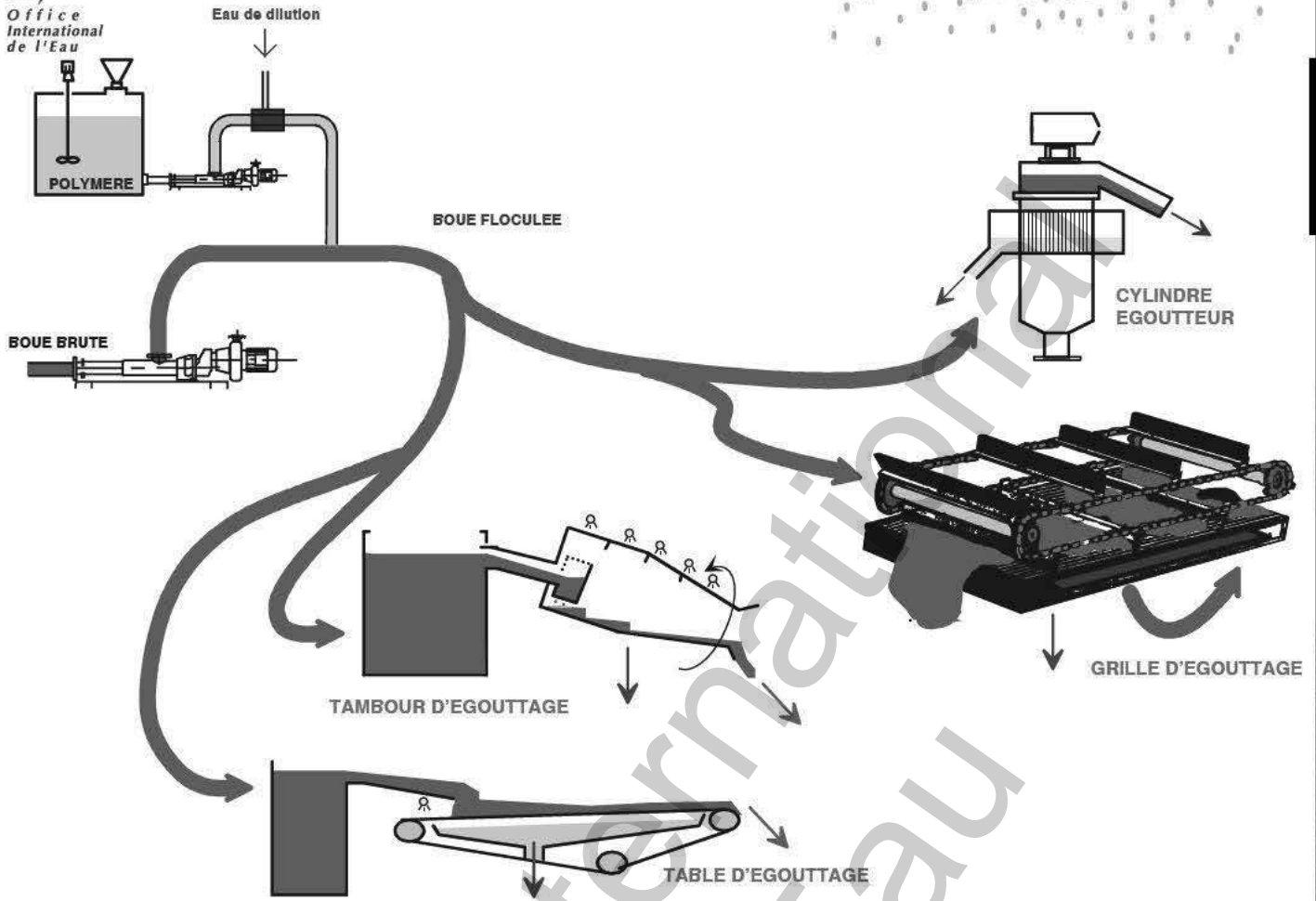
ÉPAISSISSEMENT DES BOUES

ÉGOUTTAGE



Office International de l'Eau

EPAISSISSEMENT PAR DRAINAGE



COPYRIGHT OIEau

2

EPAISSISSEMENT PAR EGOUTTAGE 01va - source JB 26/2 JB ./././...



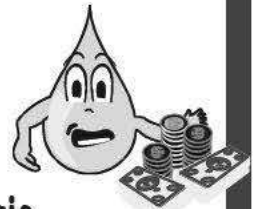
Office International de l'Eau

Epaississement par égouttage

○ Performances accrues (siccité, fraîcheur, retours)



○ Nécessite du polymère



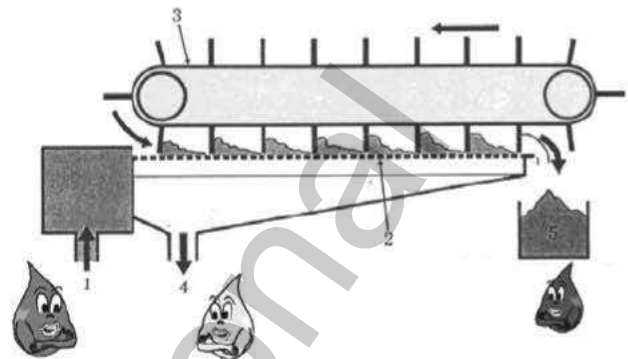
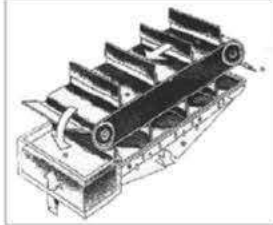
○ Plus compact (emprise au sol, capotage, ...)

○ Consomme plus d'énergie

○ Traitements plus rapides

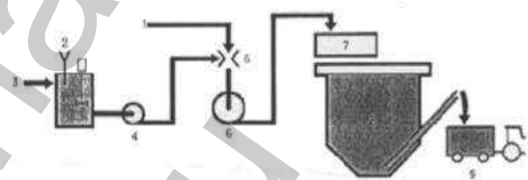
○ Exploitation plus « contraignante »

COPYRIGHT OIEau



- 1) Arrivée des boues
- 2) Grille d'égouttage
- 3) Raclage
- 4) Sortie d'eau
- 5) Sortie des boues épaissies

Vue d'ensemble et schéma simplifié



- 1) Boues à épaissir
- 2) Polymère
- 3) Eau de dilution
- 4) Pompe doseuse
- 5) Mélangeur statique
- 6) Pompe à boue
- 7) Grille GDE
- 8) Stockeur de boues
- 9) Tonne à lisier

Poste d'épaississement de boues avec grille GDE

CHARGES D'ALIMENTATION PRÉCONISÉES

Nature et concentration des boues brutes en MES	Capacité en kg.h ⁻¹ de MES par mètre de largeur de grille	Siccité des boues épaissies en %
1) ERU Aération prolongée < 10 g.l ⁻¹ > 10 g.l ⁻¹ Digestion anaérobie 15 à 25 g.l ⁻¹	30 à 70 60 à 200 70 à 140	5 à 6 5 à 8 7,5 à 9
2) Laiteries Filtre bactérien + aération prolongée 30 g.l ⁻¹	140 à 180	7 à 8
3) Clarification Hydroxydes d'aluminium 10 à 15 g.l ⁻¹	25 à 35	2,5 à 4,5

INTEGRER LES DIMENSIONS DES MACHINES

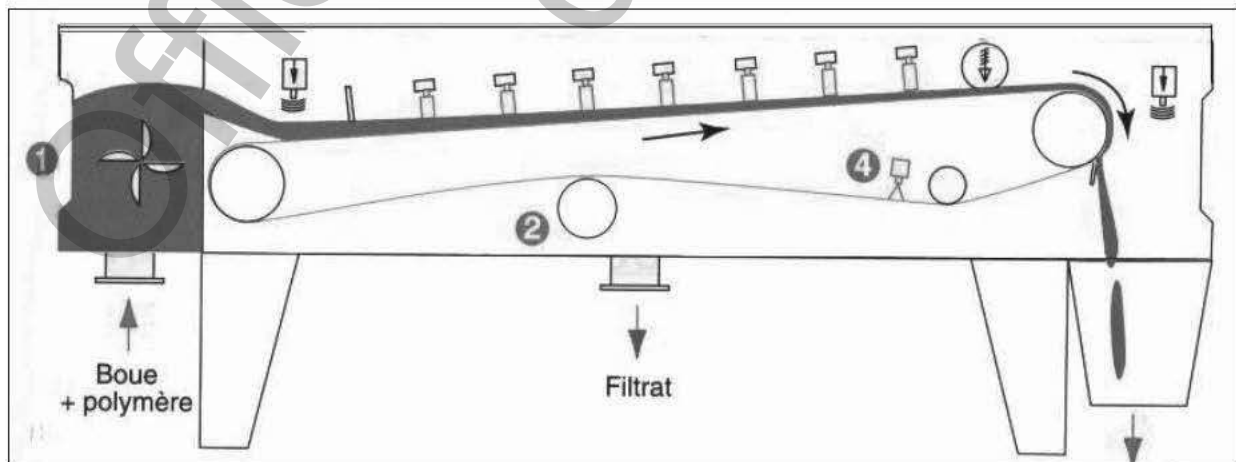
CHARGE MASSIQUE pour une table d'égouttage et boues d'AP :

- 120 kg MS/ml/h pour les machines courtes (2 m de longueur de toile)
↳ Soit débit limité à 35 m³/h
- 160-180 kg MS/ml/h pour les machines longues (3 m de longueur de toile)
↳ Soit débit limité à 50 m³/h

Attention : valeur maximales. A ajuster en fonction de la nature et qualité des boues

Épaississement par égouttage

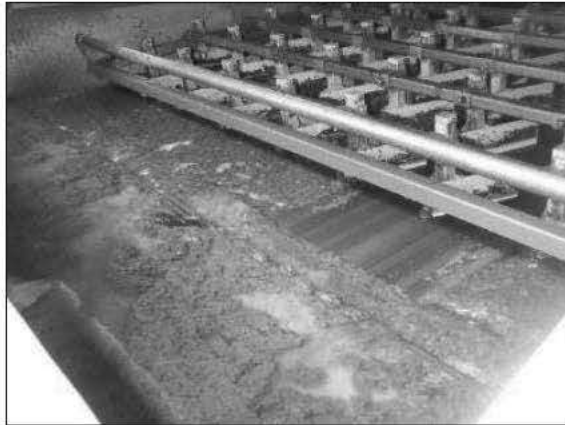
Table d'égouttage



Source : OTV



Table d'égouttage



Épaississement par égouttage

Tambour d'égouttage



EPAISSISSEMENT PAR DRAINAGE

PARAMETRES INFLUENÇANT LA QUALITE DU DRAINAGE

LA FLOCCULATION

- Choix du polymère
- Taux de conditionnement
- Vitesse du flocculateur
- Eau de dilution

LE RACLAGE

- Progression de la boue
- Evacuation de l'eau libérée

PROPRETE DE LA GRILLE

- Evacuation de l'eau libérée
- Cadence de lavage
- Eau de lavage

LE DEBIT MASSIQUE (kg MES/h)

- Bon compromis entre
 - .La production
 - .Les performances

EPAISSISSEMENT PAR DRAINAGE

LES REGLAGES OPTIMUM DE L'INSTALLATION S'APPRECIENT PAR DES ... :



- Aspect de la boue flocculée (taille des floccs)
- Aspect de la boue en sortie
- Progression de la boue
- Vitesse d'égouttage
- Encrassement du média (grille, toile, ...)
- Aspect du filtrat (chargé, visqueux, ...)



- Siccité de la boue égouttée (%)
- Teneur en MES des égouttures (mg MES/l)
- Consommation spécifique en polymère (kg Poly/ TMS)
- Débit massique horaire (kg MES /h)

Principales règles d'exploitation

Epaississeur gravitaire

- Limiter le temps de séjour :
 - 48 h ?
 - Week-end, jours fériés, ...
- Limiter les à-coups hydrauliques
- Vidange complète si fonctionnement par bâchée
- Lestage à la chaux éventuellement

Epaississeur par égouttage

- Optimisation du conditionnement
- Qualité du lavage
- Paramètres de la machine :
 - Vitesse d'avancement (toile, racleur)
 - Tension des toiles
 - Réglage des guides d'avancement



Principales critères d'exploitation

Le taux de conditionnement

4-7 kg polymère pur/ T MS

La production horaire

100 – 160 kg MS/ml/h

Le taux de capture

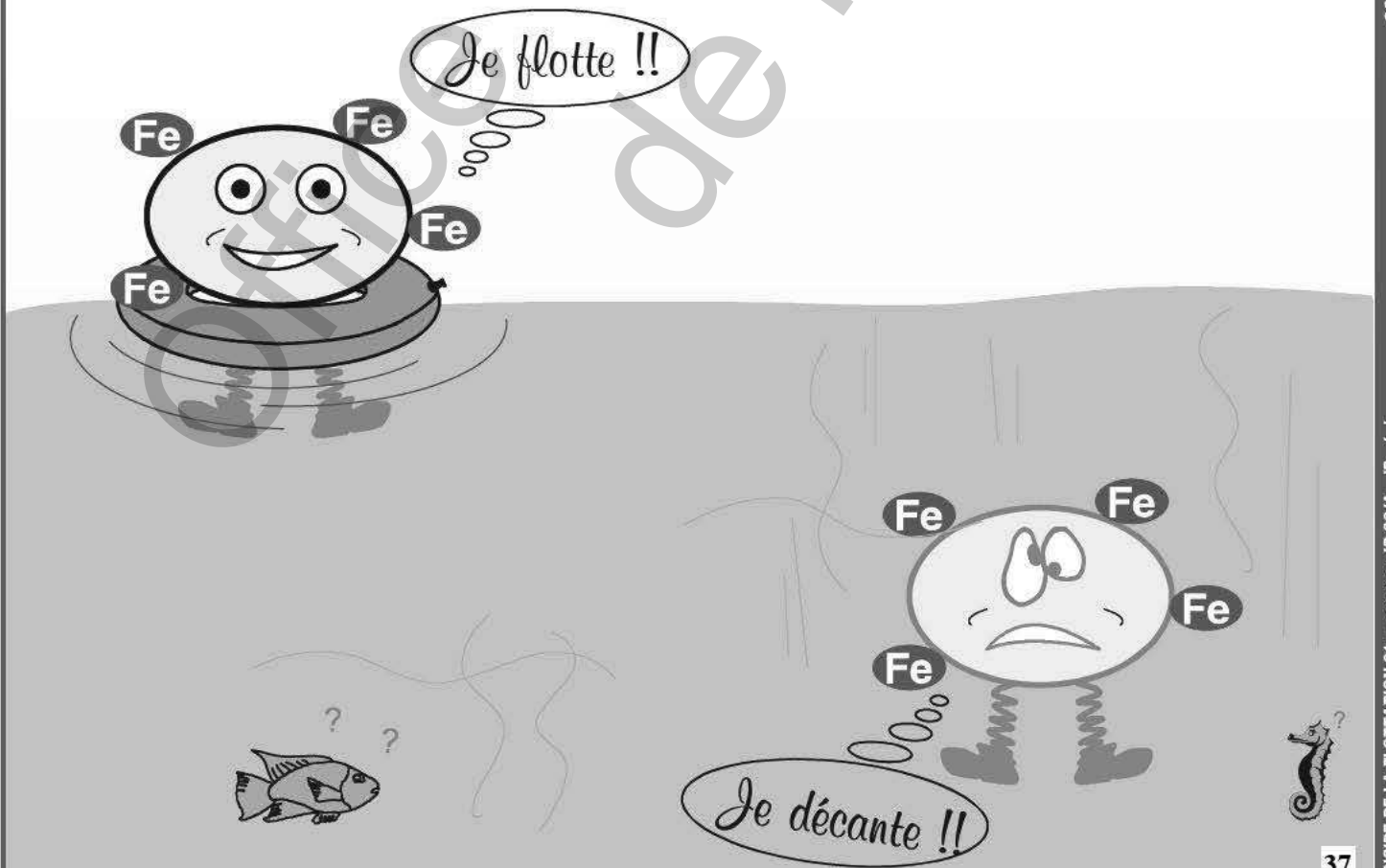
> 95 %

< 500 mg MES/l (filtrats)

ÉPAISSISSEMENT DES BOUES

FLOTTATION

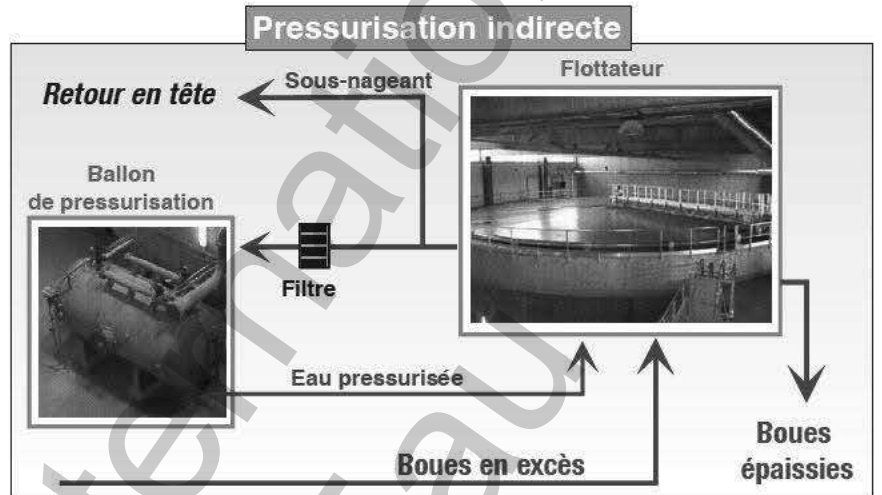
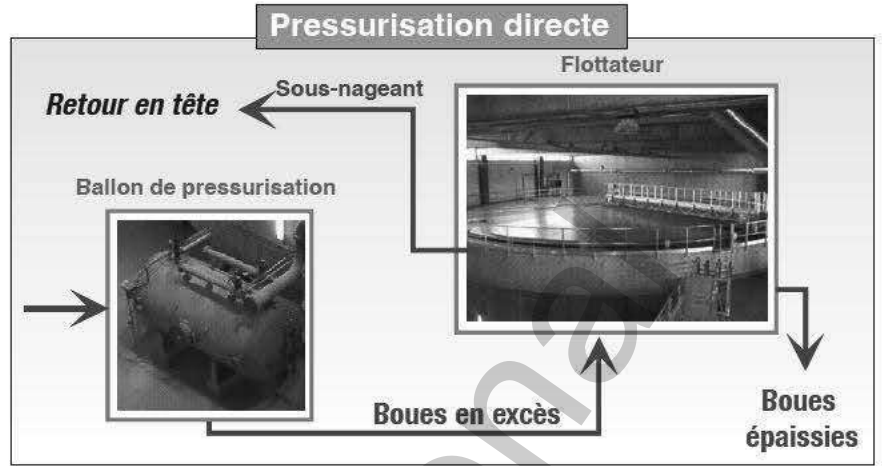
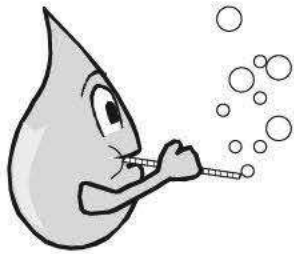
PRINCIPE DE LA FLOTTATION



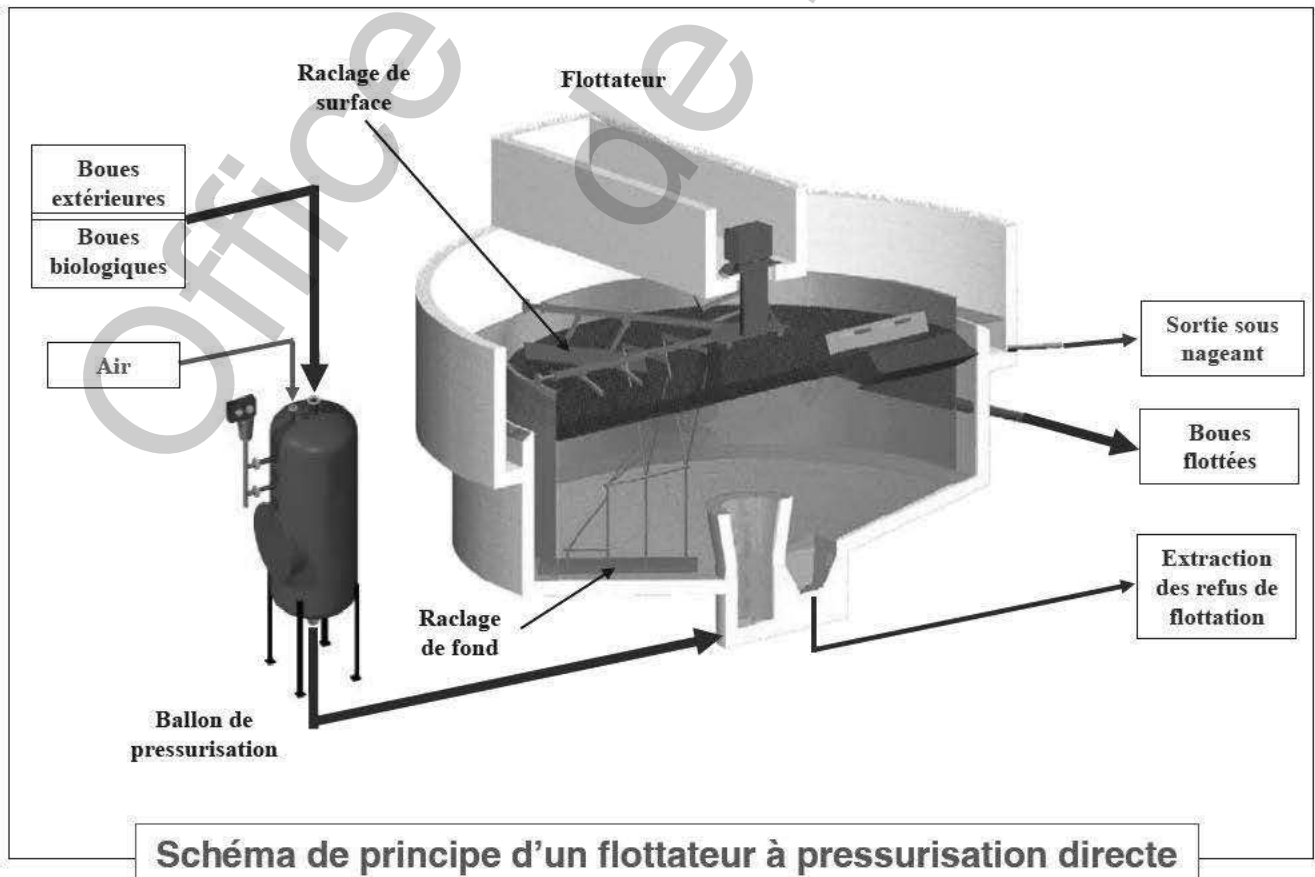
EPAISSISSEMENT DYNAMIQUE

LA FLOTTATION

Les différents types de pressurisation



EPAISSISSEMENT PAR FLOTTATION



FLOTTATEUR

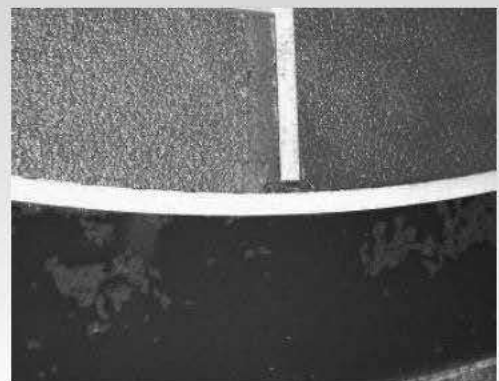
Matières épaissies	Boues activées
<ul style="list-style-type: none"> • Charge superficielle massique 	3 - 13 kg.m ² .h ⁻¹
<ul style="list-style-type: none"> • Charge superficielle hydraulique 	1 - 6 m.h ⁻¹
<ul style="list-style-type: none"> • Concentrations obtenues : <ul style="list-style-type: none"> · sans polymère · avec polymère 	25 - 30 g.l ⁻¹ 35 - 60 g.l ⁻¹

EPAISSISSEMENT DYNAMIQUE

LA FLOTTATION

PROCESS

- Procédé de flottation à air dissous : F.A.D.
- Flottation directe ou indirecte
- Taille des bulles entre 40 et 80 µm
- Consommation en air comprimé: 15-20 NI/m³
- Temps de séjour de l'eau : 20-40 min
- Temps de séjour de la boue ~1 heure
- ➔ Matelas de boue de 20 à 60 cm d'épaisseur
- Vitesse linéaire du racleur : 25-35 cm/min



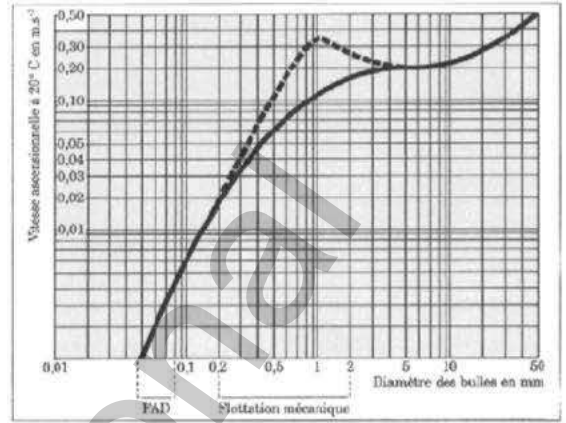
Flottateur STEP de Martigny (Suisse)

LA FLOTTATION : UNE HISTOIRE DE BULLE

- **Nombre de bulles**
(débits eau, air, pression d'air)
- **Taille des bulles**
(pression d'air, détente)
- **Répartition des bulles** (taille des bulles, mélange eau - eau blanche, système d'injection)



FLOTTATION Injection des bulles d'air

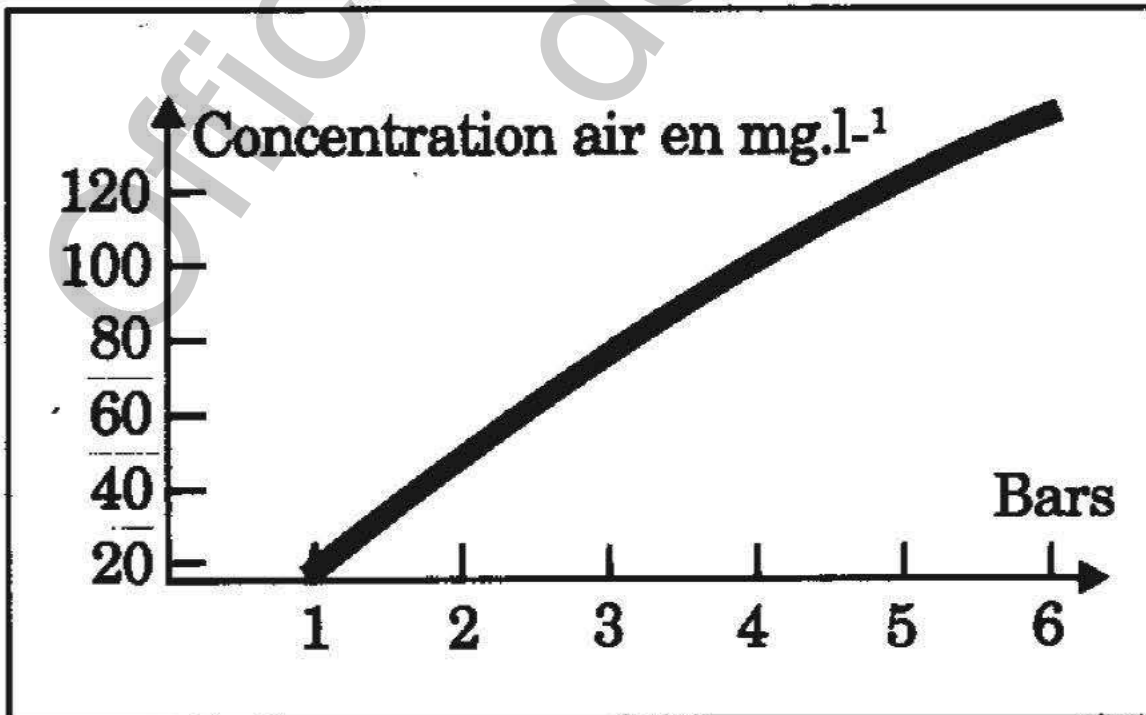
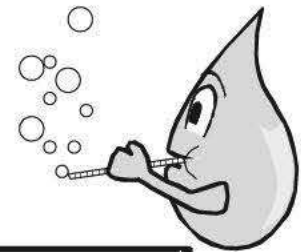


Vitesse ascensionnelle des bulles de gaz dans l'eau

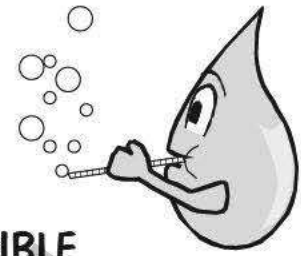


Dispositif d'injection d'eau blanche (Queue de carpe)

LA FLOTTATION : UNE HISTOIRE DE BULLE



LA FLOTTATION : AVEC OU SANS POLYMERE ?



- AUGMENTATION DE LA CHARGE ADMISSIBLE
- DOSAGE FREQUENT ~ 2kgpoly / TMS

LA FLOTTATION : CONDITIONS HYDRAULIQUES

- Vitesse ascensionnelle < 4 m/h
- Charge massique < 4 kgMES/m²/h

Performances et bilan machine

EGOUTTAGE

CRITERES DE BASE	CRITERES DE PERFORMANCES	CRITERES DE SUIVI
<u>Caractéristiques liées à la boue</u> > Concentration en MES des boues > Indice de Boue (Ib)	> Production en kg MS / j > Siccité des boues épaissies	⇨ MS _S , Q _S ⇨ MS _S
<u>Caractéristiques dimensionnelles</u> > Débit d'alimentation en boues ▪ Débit volumique (production) ▪ Débit massique (siccité) > Pression eau de lavage > Cadence de lavage > Vitesse : ▪ des raclettes (grille GDE) ▪ de rotation (tambour) ▪ de toile (table d'égouttage)	> Taux de capture (%) > Taux de conditionnement (kg polymère/t MS) > Consommation énergétique	⇨ MES _E , MS _S , MES _{Filtrat} Q _E , Q _S , Q _{Filtrat} ⇨ Volume de polymère consommé, débit d'eau de dilution. ⇨ kg MS/h, kWh

VALEURS REQUISES DES CRITERES DE PERFORMANCES
ORDRE DE GRANDEUR
Boues biologiques

Technologie	Critères de performances	Valeurs requises
Epaississeur statique	Siccité	> 2,5 %
	Temps de séjour	< 24 heures (été)
	Taux de capture	> 90 %
	Septicité	EHN > +100 mV
	Consommation énergétique	~5 kWh / T MS*
Flottateur	Siccité	> 5%
	Taux de capture	> 95 %
	Septicité	EHN > +100 mV
	Consommation d'énergie	100-130 kWh / T MS*
Egouttage	Siccité	> 3% (3-11 %)
	Taux de capture recherché	> 95 %
	Taux de conditionnement	4-7 kg poly/T MS
	Consommation d'énergie	~50 kWh / T MS*

* D'après OTV (1997).
 ** D'après SADOWSKI (FA) pour atelier complet avec chaulage.
 *** D'après SADOWSKI (FA).

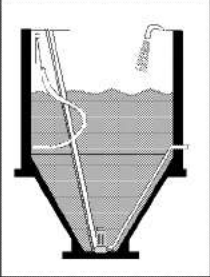
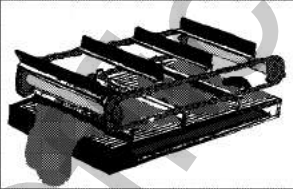
VALEURS REQUISES DES CRITERES DE PERFORMANCES
ORDRE DE GRANDEUR
Boues biologiques

Filtres à bandes	Siccité	15 – 20 %
	Taux de capture recherché	> 95 %
	Taux de conditionnement	4-7 kg poly/T MS
	Consommation d'énergie	120-160 kWh/T MS**
Centrifugeuse	Siccité	15 – 25 %
	Taux de capture recherché	> 95 %
	Taux de conditionnement	6-12 kg poly/T MS
	Consommation d'énergie	~200 kWh/T MS* 200-400 kWh/T MS***
Filtre Presse	Siccité	30 – 45 %
	Taux de capture recherché	> 95 %
	Taux de conditionnement	Traditionnel : 5-10 % FeCl ₃ + 30 % chaux
	Consommation d'énergie	30-40 kWh/T MS* 65-80 kWh/T MS***

* D'après OTV (1997).
 ** D'après SADOWSKI (FA) pour atelier complet avec chaulage.
 *** D'après SADOWSKI (FA).

Office International
de l'Eau

COMPARAISON DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES D'ÉPAISSISSEMENT

TECHNOLOGIE	AVANTAGES	INCONVENIENTS
EPAISSISSEMENT GRAVITAIRE 	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicité et facilité d'exploitation • Faible consommation d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • Encombrement important • Coût du génie civil • Faibles performances sur les boues biologiques • Risque de retours en tête septiques • Pas de filière boue en flux tendu
EGOUTTAGE 	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicité et facilité d'exploitation • Performances sur la siccité des boues • Procédé compact • Capotage intégral possible (sécurité, odeurs, ...) • Retours en tête peu chargés et faible risque de septicité • Performances accrues des ateliers de déshydratation 	<ul style="list-style-type: none"> • Main d'œuvre, présence nécessaire du personnel d'exploitation • Consommation importante d'eau de lavage <p>Polymère obligatoire (coût)</p>

COMPARAISON DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES D'ÉPAISSISSEMENT

TECHNOLOGIE	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<p>FLOTTATION</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Surface réduite • Peu de risque de fermentation • Performances accrues des ateliers de déshydratation 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu adapté à des régimes variables • Consommation élevée en énergie • Nécessité d'un dégazage avant digestion anaérobie • Coût du génie civil
<p>CENTRIFUGATION</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé compact • Capotage intégral possible • Performances sur la siccité des boues • Souplesse d'exploitation • Fortes possibilités d'automatisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Texture de la boue • Bruit • Maintenance et entretien spécialisé • Consommation très élevée en énergie • Investissement important

EPAISSISSEMENT

Recommandations constructives générales

➤ Préparation des polymères :

- Accessibilité
- Dispositifs permettant le contrôle des débits des pompes doseuses (tuyaux flexibles, accessibilité)

➤ Contrôle du process :

- Systèmes de mesure de débit pour les retours en tête
- Accessibilité pour contrôle visuel du process
- Matériaux anticorrosion pour éviter les vieillissements prématurés

➤ Sécurité :

- Accessibilité pour nettoyage, maintenance, ...
- Sols antidérapants ou mieux caillebotis en résine
- Point d'eau sous pression (lavage des sols)
- Locaux ventilés (Chaux sur boues septiques → ammoniac)
- Eclairage suffisant des locaux

EPAISSISSEMENT PAR EGOUTTAGE

Recommandations constructives

➤ Accessibilité :

- Pour la visualisation de l'égouttage
- Pour le nettoyage des grilles par dessous (plaques détachables)
- Pour la préparation des polymères

➤ Installations à l'extérieur :

- Prévoir canalisation de vidange totale en point bas (gel)

➤ Pour l'optimisation du conditionnement :

- Prévoir des possibilités d'injection (3)
 - En amont de la table
 - Juste en amont de la pompe à boue
 - En aval de la pompe à boue

➤ Prévoir une possibilité d'injection d'eau de dilution :

- Boues visqueuses
- Polymères visqueux

➤ Le choix du polymère doit se faire à la mise en service et selon les performances observées.

➤ Sécurité :

- Préférer les caillebotis en résine au revêtement antidérapant.
- Prévoir un point d'eau sous pression (lavage des sols)

VALEURS REQUISES DES CRITERES DE PERFORMANCES
ORDRE DE GRANDEUR

Boues biologiques

Technologie	Critères de performances	Valeurs requises
Epaisseur statique	Siccité	> 2,5 %
	Temps de séjour	< 24 heures (été)
	Taux de capture	> 90 %
	Septicité	EHN > +100 mV
	Consommation énergétique	~5 kWh / T MS*
Flottateur	Siccité	> 5%
	Taux de capture	> 95 %
	Septicité	EHN > +100 mV
	Consommation d'énergie	100-130 kWh / T MS*
Egouttage	Siccité	> 3% (3-11 %)
	Taux de capture recherché	> 95 %
	Taux de conditionnement	3-7 kg poly/T MS
	Consommation d'énergie	~50 kWh / T MS*
Filtres à bandes	Siccité	15 – 20 %
	Taux de capture recherché	> 95 %
	Taux de conditionnement	3-7 kg poly/T MS
	Consommation d'énergie	120-160 kWh/T MS**
Centrifugeuse	Siccité	15 – 25 %
	Taux de capture recherché	> 95 %
	Taux de conditionnement	6-12 kg poly/T MS
	Consommation d'énergie	~200 kWh/T MS* 200-400 kWh/T MS***
Filtre Presse	Siccité	30 – 45 %
	Taux de capture recherché	> 95 %
	Taux de conditionnement	Traditionnel : 5-10 % FeCl3 + 30-40 % chaux
	Consommation d'énergie	30-40 kWh/T MS* 65-80 kWh/T MS***

* D'après OTV (1997).

** D'après SADOWSKI (FA) pour atelier complet avec chaulage.

*** D'après SADOWSKI (FA).



Le conditionnement



CONDITIONNEMENT

Office International de l'Eau

- **OBJECTIF :** Modifier la structure d'une boue afin qu'elle puisse être compatible avec un traitement ultérieur
- **Effets recherchés sur la boue :**
 - Agglomération des particules de boue
 - Libération de l'eau interstitielle (hydrophobie)
 - Augmentation de la résistance mécanique :
 - A la pression (FB, FP)
 - Au cisaillement (CE)

CONDITIONNEMENT

Office International de l'Eau

Type de conditionnement

- **Minéral :**
 - Ajout de FeCl₃ + Chaux (conditionnement traditionnel avant FP)
 - Ajout de FeCl₃ + sciure (Essais)
- **Organique :**
 - Ajout de polyélectrolytes cationiques seuls
 - Ajout de FeCl₃ + polyélectrolytes

Office International de l'Eau

CONDITIONNEMENT

Minéral


- Détermination des doses de conditionnement
 - Prédéfnition avec le diagramme de GENTER
 - Tests de coagulation - floculation (CST, Rs, S)
 - Essais machine

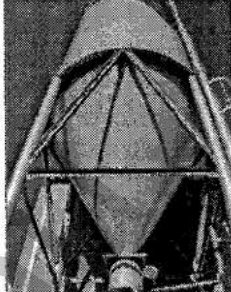
- Doses courantes
 - FeCl₃ : 3 - 10% /MS
 - Chaux : 25 - 35% /MS

↓

Dépend du type de boue (origine, fraîcheur, ...)

Pas fraîche ma boue ?





Office International de l'Eau

CONDITIONNEMENT


Organique

POIDS MOLECULAIRE


IONICITE : Cationicité

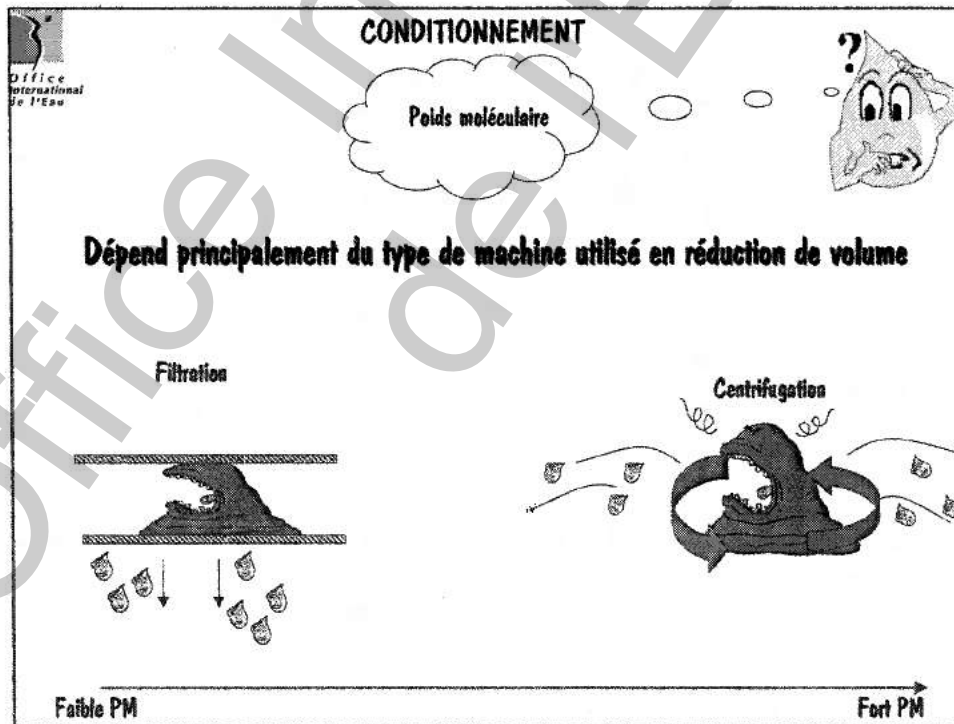
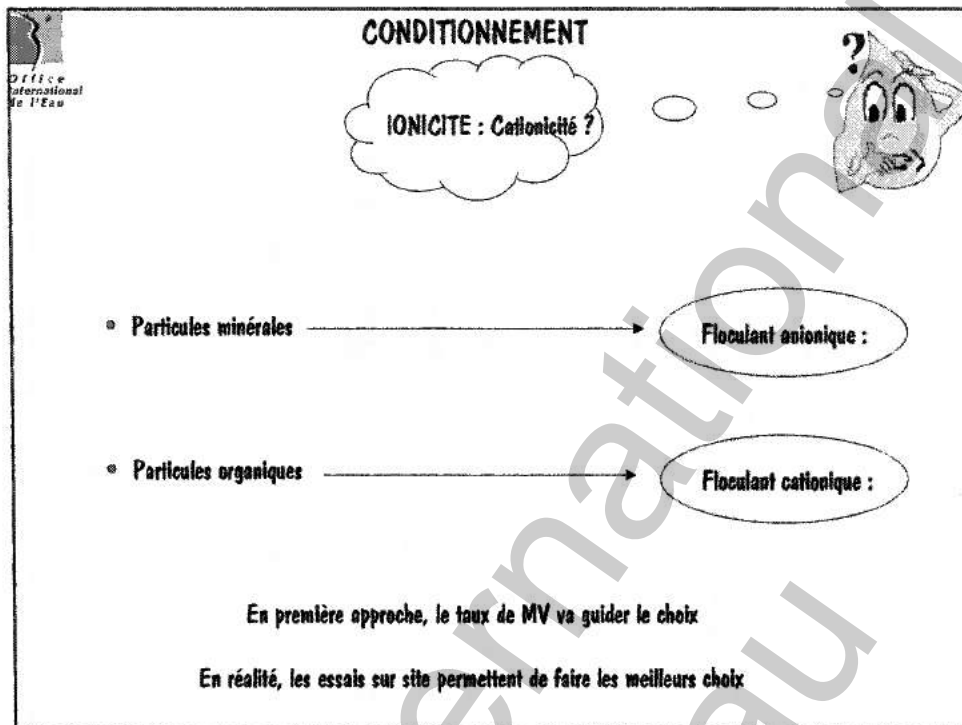
PRIX

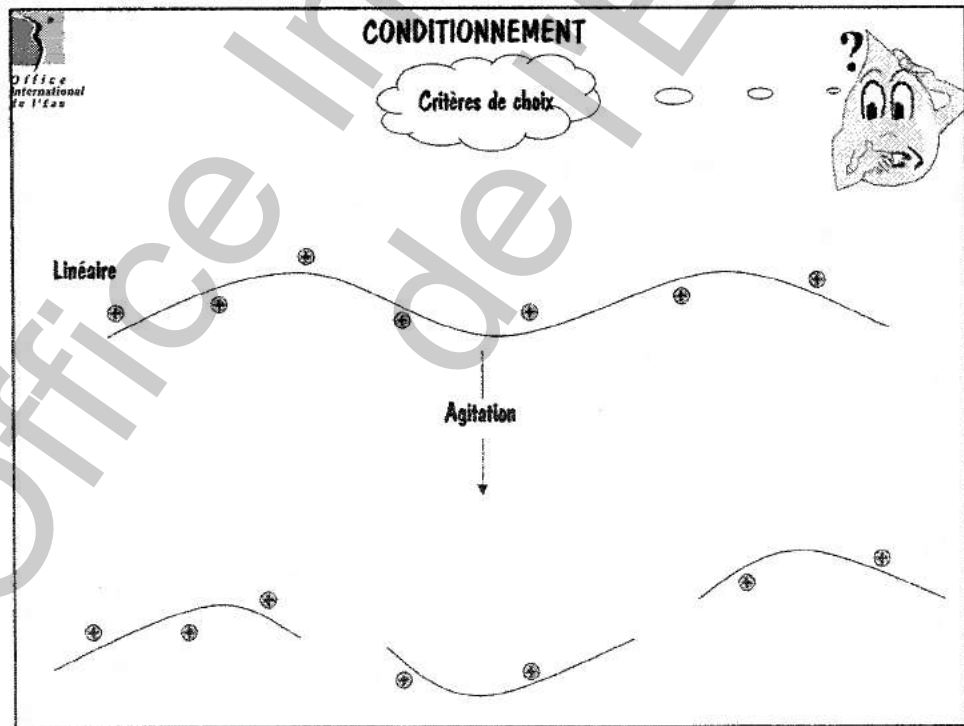
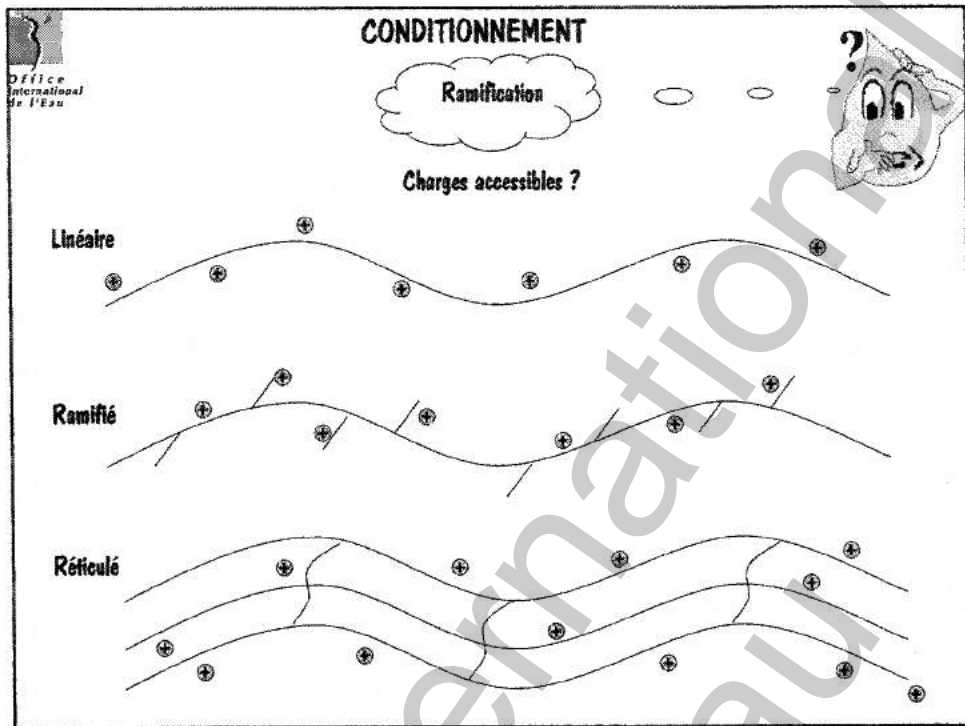
RAMIFICATION

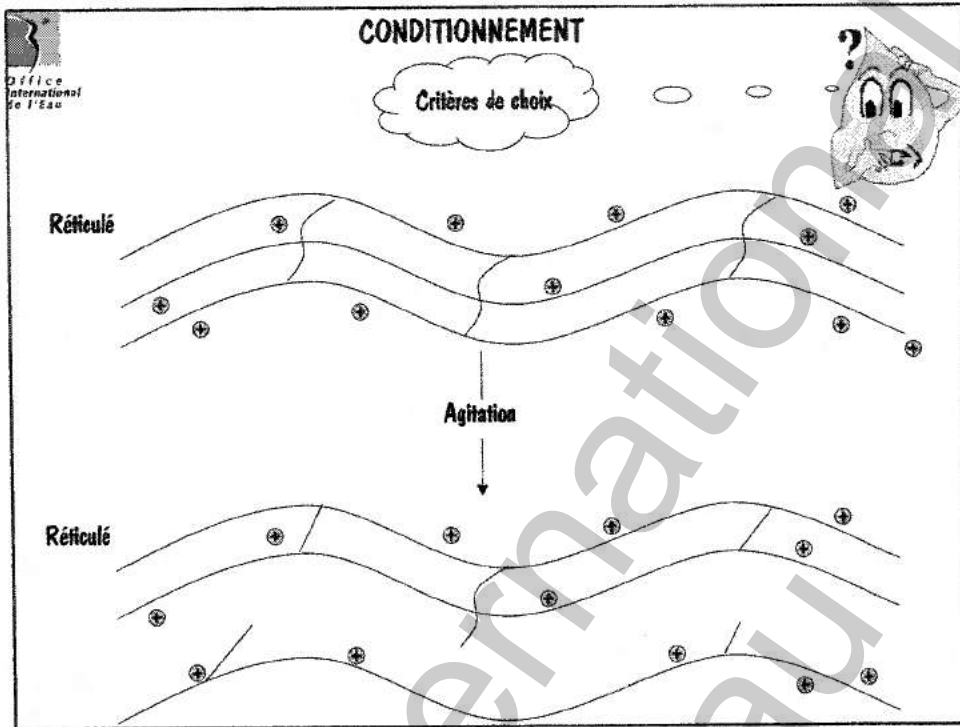


CONSOMMATION









CONDITIONNEMENT

Office International de l'Eau

Critères de choix

Structure du polymère	AVANTAGES	INCONVENIENTS
LINEAIRE	<ul style="list-style-type: none"> • Faible dosage • Large gamme de PM • Coûts plus faibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible résistance des floes
RETICULE	<ul style="list-style-type: none"> • Floes très résistants • Egouttage meilleur • Résistance au cisaillement 	<ul style="list-style-type: none"> • Dosage élevé • Coûts plus élevés

Vous allez donc me finir au polymère !!!

CONDITIONNEMENT

Organique

Polymères poudres :

- Pureté : 88-96%
- Poudre, micro-billes, billes
- Préparation in-situ : manuelle / automatique
- Concentration de la préparation : 1 - 5 g/l
- Temps de préparation à respecter : dissolution, maturation
- Qualité de l'eau de dilution - recyclage d'eau traitée (T°, TH°, Fe, Mn)
- Temps d'utilisation : 48 h conseillé

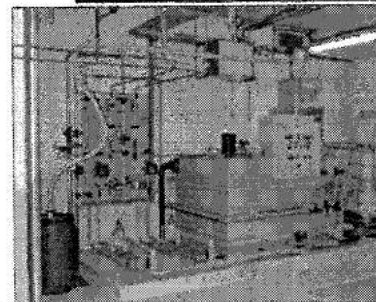
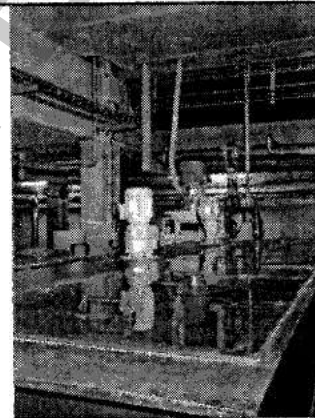
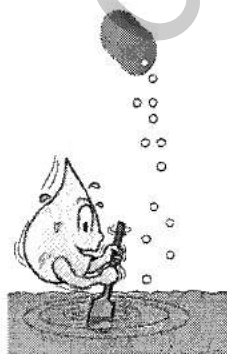
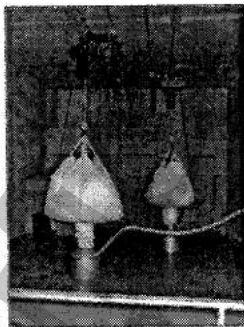
Durée de préparation mini :

- 40 min (Billes)
- 60 min (Poudres)



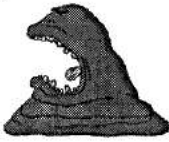
CONDITIONNEMENT

Préparation automatique



CONDITIONNEMENT

LIQUIDE OU EMULSION



Polymérisation en solution aqueuse
Dilution rapide et utilisation quasi immédiate

Monomère émulsionné dans un solvant
Polymérisation
Ajout de tensio-actif

Structure du polymère	AVANTAGES	INCONVENIENTS
LIQUIDE	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation facilitée • Utilisation quasi immédiate • Peu de mousses 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible concentration initiale • Moins performant sur l'ensemble des applications
EMULSION	<ul style="list-style-type: none"> • Fortes concentrations possibles • Structure spécifique du floe et meilleur résistance sur certaines application 	<ul style="list-style-type: none"> • Mousseage contraignant • Temps de maturation

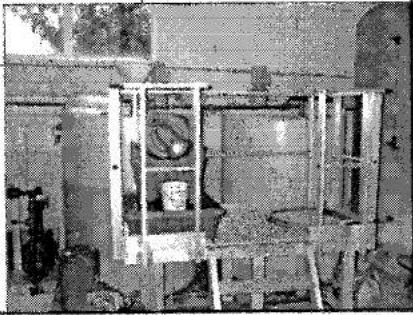
CONDITIONNEMENT

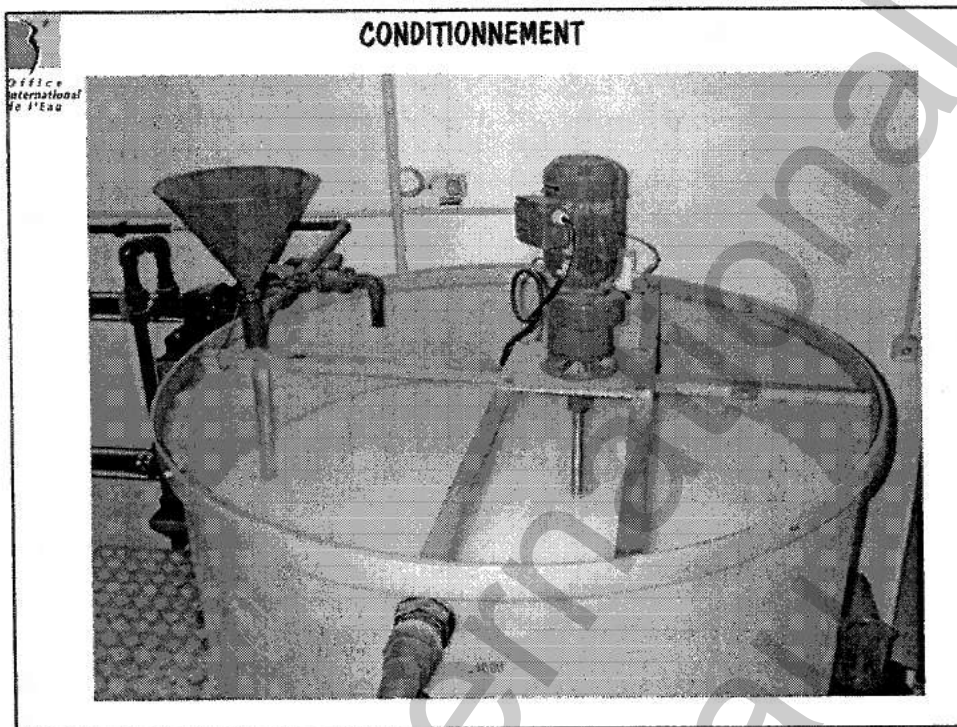
Polymères liquides et émulsion :

- Pureté : ~ 50%
- Préparation in-situ simplifiée, dissolution plus aisée
- Concentration de la préparation : 1 - 5 g/l
- Temps de préparation : dissolution, maturation (plus courts / poudre)
- Qualité de l'eau de dilution - recyclage d'eau traitée (T°, TH°, Fe, Mn)
- Temps d'utilisation : 48 h conseillé
- Polymères ramifiés (réticulés)

Durée de préparation mini :

- 0q1 min (liquide)
- 10 min (Emulsion)





CONDITIONNEMENT

Sécurité

Office International de l'Eau

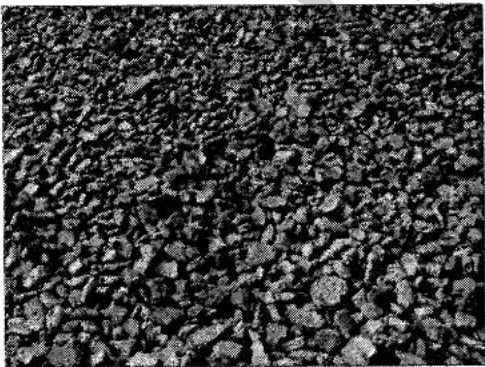
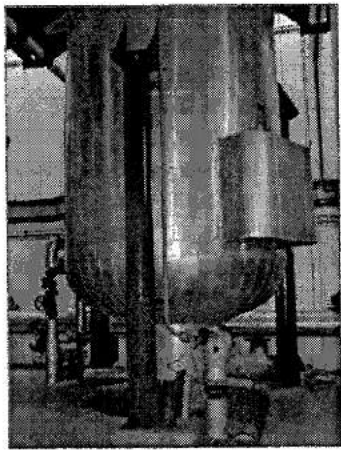
POLYMERES :	<ul style="list-style-type: none"> » Risque de chute » Inhalation » Contact direct muqueuses 	<ul style="list-style-type: none"> » Nettoyage, eau, produits spécifiques » Port d'un masque poussière » Ventilation éventuelle de la zone de préparation
FeCl₃ :	<ul style="list-style-type: none"> » Acidité » Ingestion » Contact direct 	<ul style="list-style-type: none"> » Protections individuelles » Vigilance
Chaux :	<ul style="list-style-type: none"> » Basicité » Inhalation, ingestion » Contact direct » Extinction 	<ul style="list-style-type: none"> » Protections individuelles » Vigilance » Stockage spécifique » Ventilation éventuelle

DISPOSER DES FICHES PRODUITS ET FICHES SECURITE

CONDITIONNEMENT

AUTRES

- **CONDITIONNEMENT THERMIQUE (PORTEUS, OVH ?)**



● **CRYOGENISATION (Essais au Japon)**

Office International de l'Eau



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

3

DIGESTION ANAEROBIE

Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.

Office International de l'Eau

DPECNFM/EI/NT/1/LOGIST/UTILISAT/LE PEDAG/SOMMAIRE EDF.DOC#27/08/02



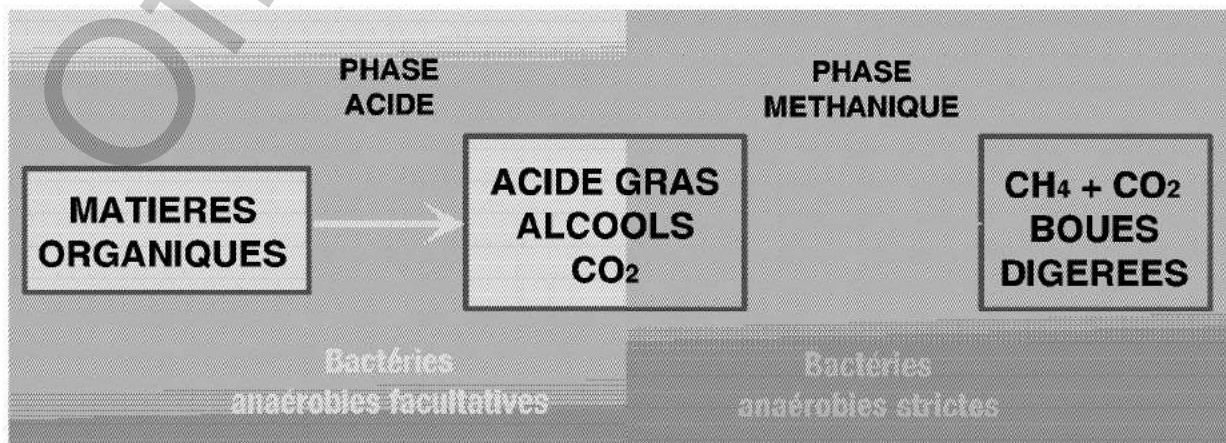


DIGESTION ANAEROBIE

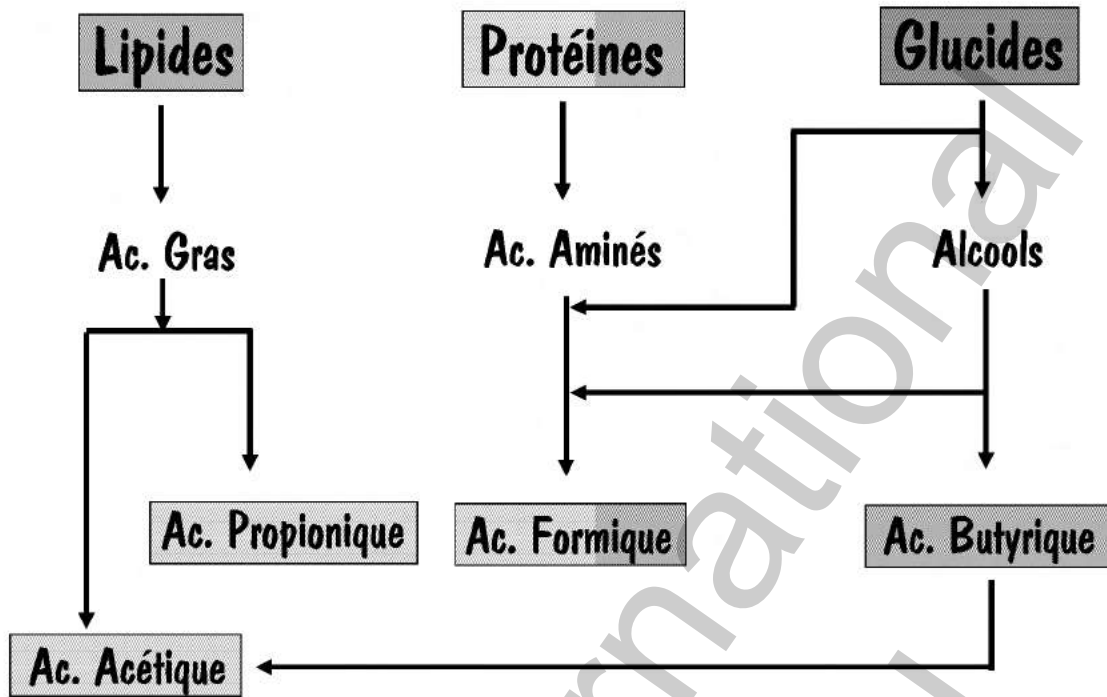


DIGESTION ANAEROBIE

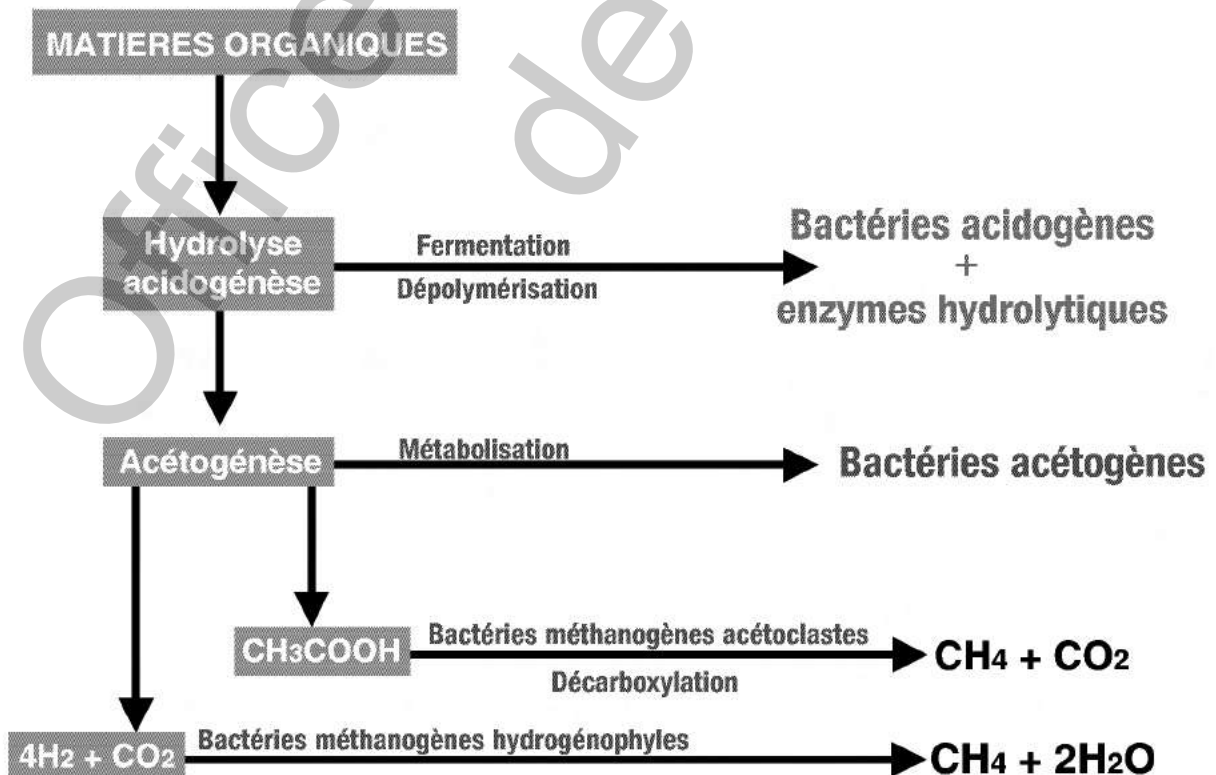
PRINCIPE



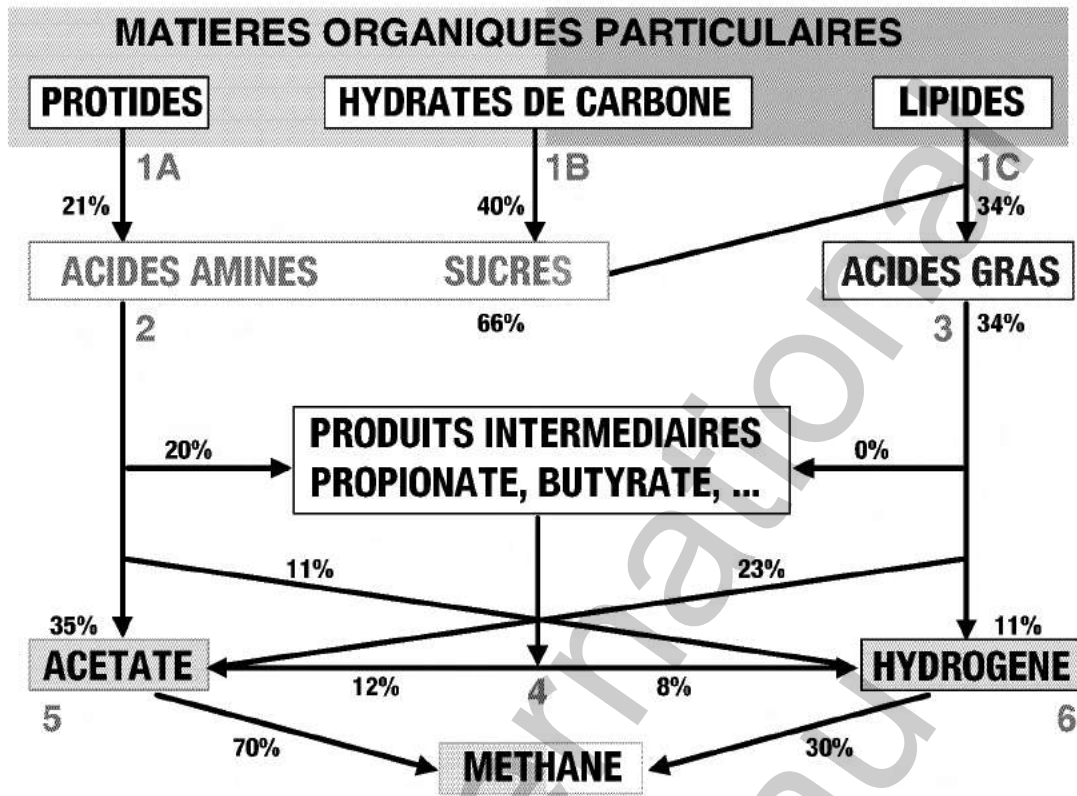
ACIDOGENESE : Hydrolyse des molécules complexes



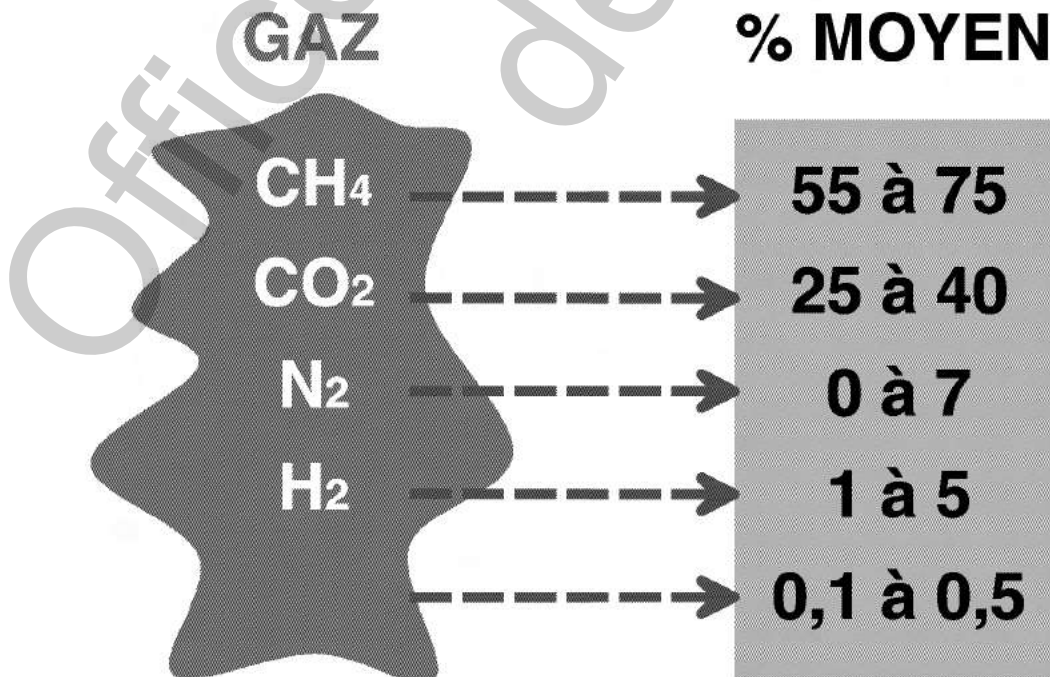
DIGESTION ANAEROBIE



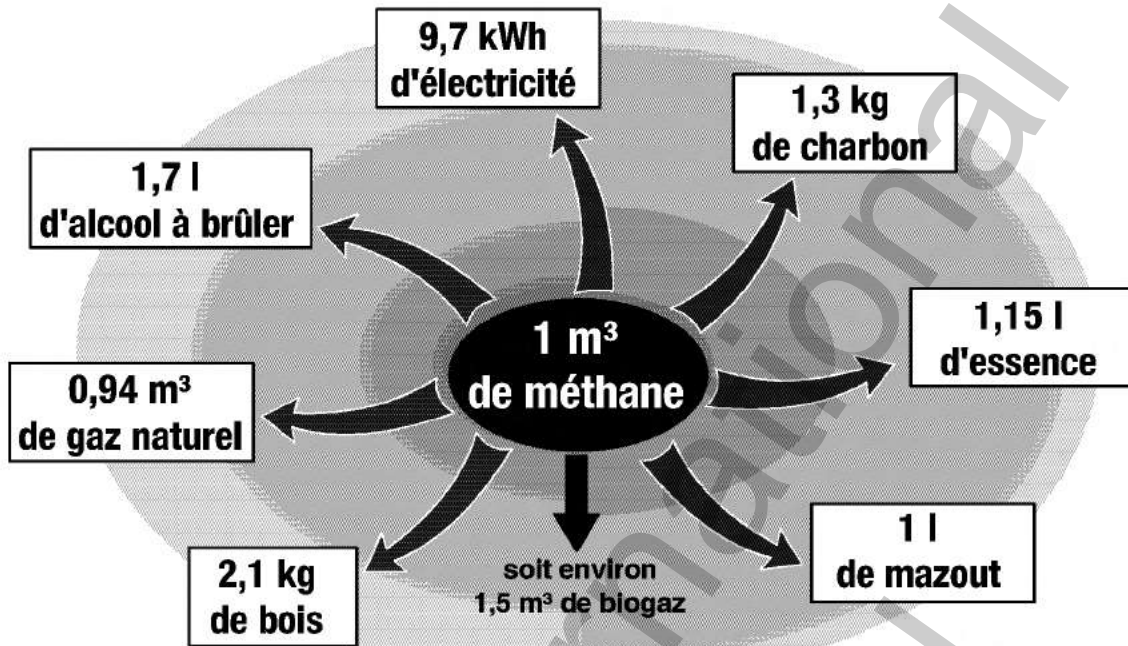
PRODUCTION DE METHANE



COMPOSITION MOYENNE DU BIOGAZ



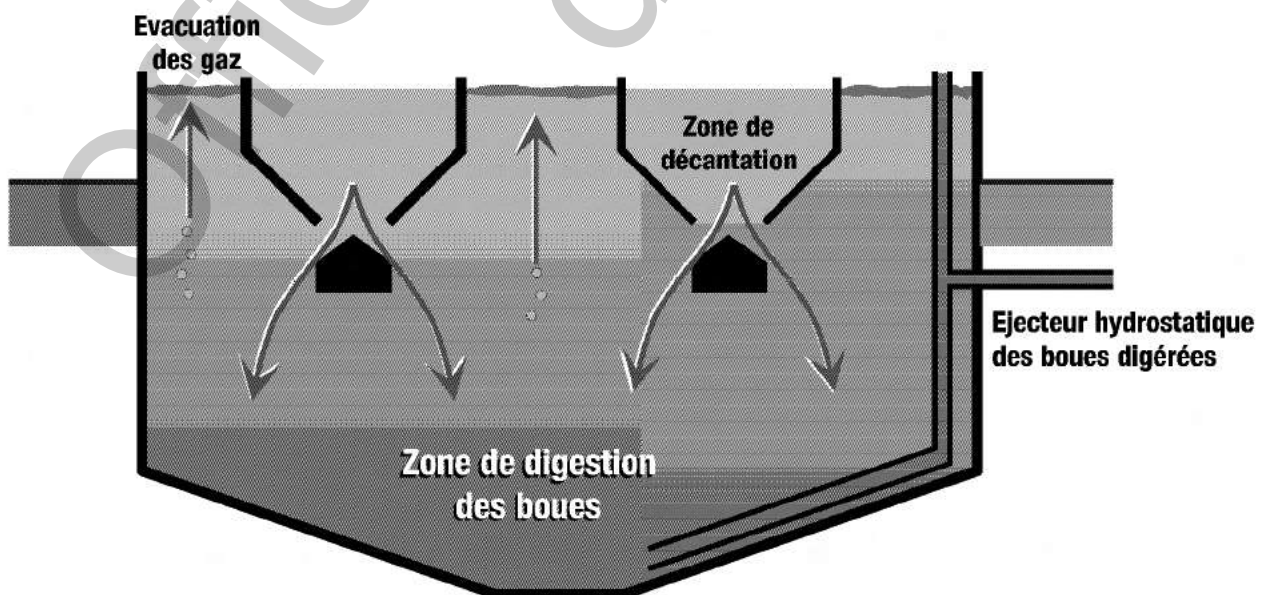
EQUIVALENT D'ENERGIE DU BIOGAZ



Source : R. Moletta - INRA
CEBEDEAU 2007

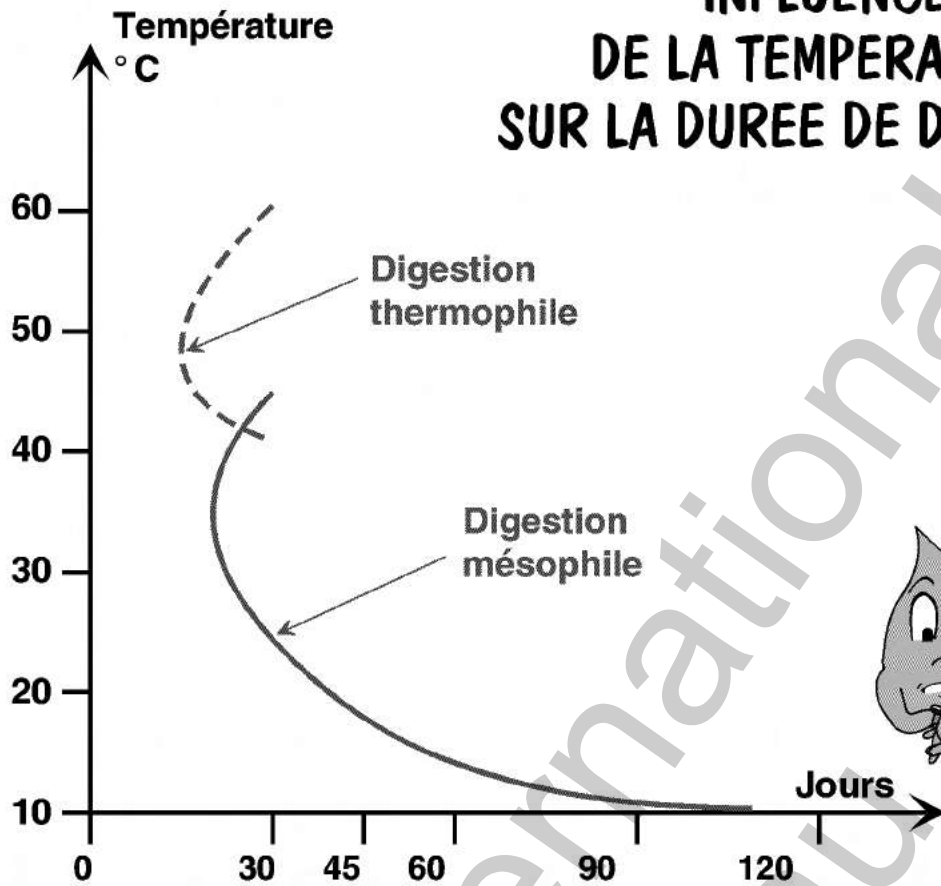
COPYRIGHT OIEAU
N°E 13/06/2007
source IAE 29/4
EQUIVALENT D'ENERGIE DU BIOGAZ 01

FOSSE IMHOFF

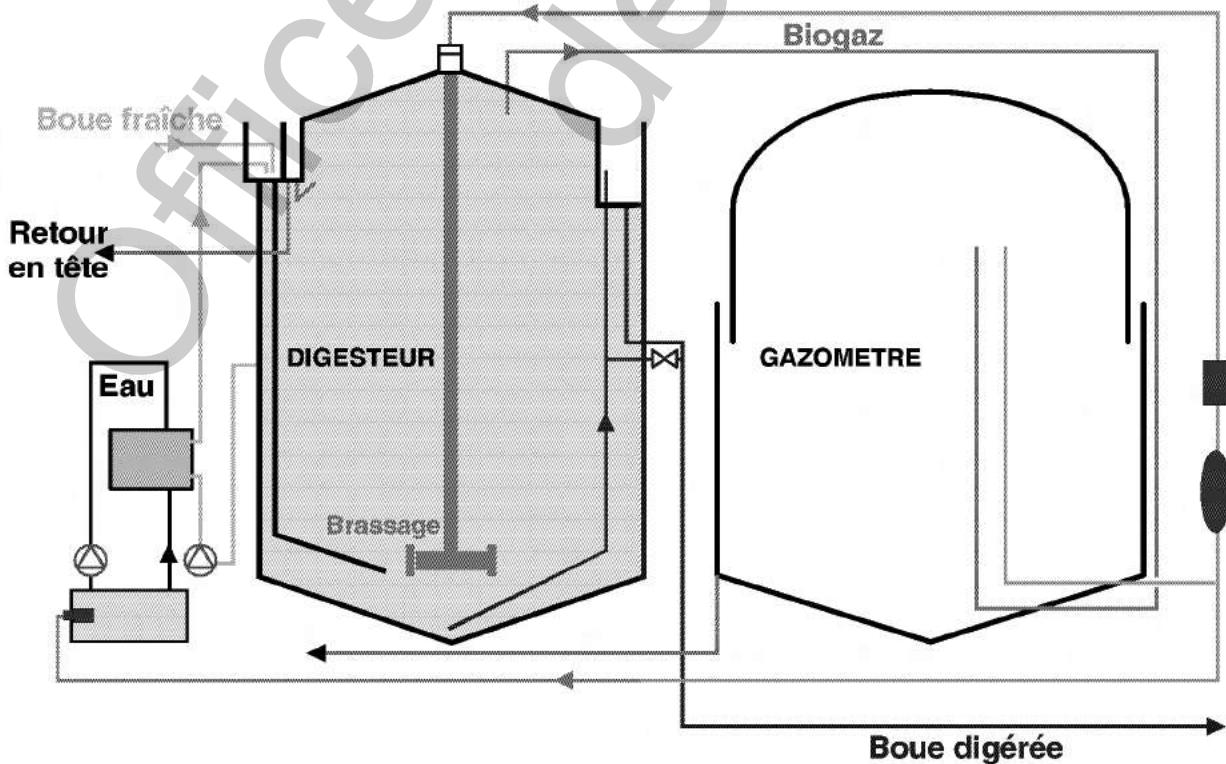


COPYRIGHT OIEAU
PB 72/6
DESCRIPTEUR D'UNE FOSSE IMHOFF 01 - source PB 72/6

INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA DUREE DE DIGESTION



DIGESTEUR EN UN STADE



EXEMPLE DE DIGESTION EN 2 STADES

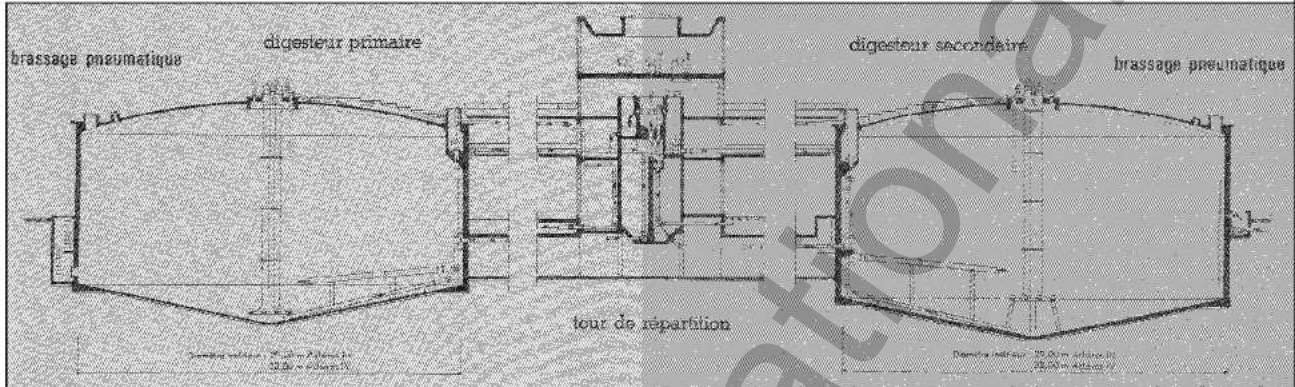


Schéma de principe pour AIII et AIV

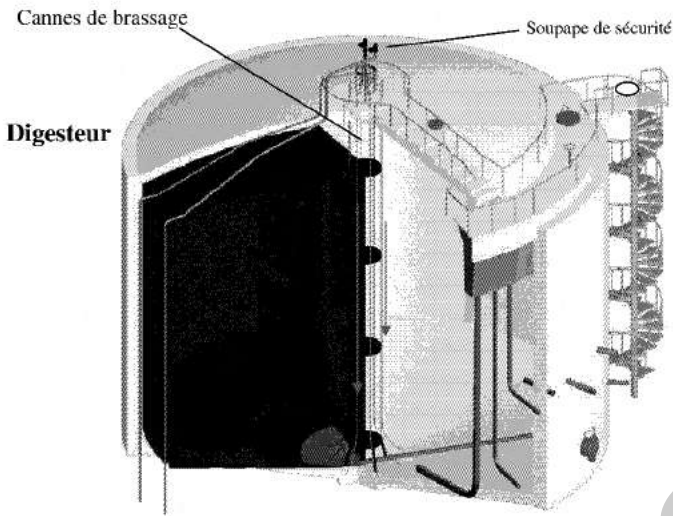
step SIAAP - Seine Aval à Achères

DIMENSIONNEMENT DES DIGESTEURS

	Digesteur primaire		Digesteur secondaire	Température
	MVS ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{j}^{-1}$)	Ts (j)	Ts (j)	°C
Moyenne charge	0,8 à 1,2	30 à 40	-	25
Forte charge (1 stade)	1,5 à 2	20 à 25	-	35 - 37
Forte charge (2 stades)	2 à 3	12 à 16	3 à 4	35 à 37
Forte charge thermophile	3 à 4	10 à 14	-	50 à 55

DIGESTION ANAEROBIE DES BOUES

Points importants



LE BRASSAGE

LE CHAUFFAGE

3

DIGESTION INSUFFISANTE



CRITERES DE CONSTAT

- VISUELS, OLFACTIFS :

- ▣ BOUE DIGEREE MALODORANTE, GRISATRE
- ▣ BOUE HETEROGENE

- CRITERES ANALYTIQUES

- ▣ AUGMENTATION DES AVT, de la résistance spécifique
- ▣ DIMINUTION DE LA QUANTITE DU BIOGAZ
- ▣ EVOLUTION DE LA QUALITE DU BIOGAZ (Réduction du %CH₄)
- ▣ ACIDITE DE LA BOUE DIGEREE (pH<7)
- ▣ FAIBLE RENDEMENT DE DIGESTION (Rapport MV/MS entrée et sortie)
- ▣ PERFORMANCE DE LA DESHYDRATATION EN BAISSÉ

Paramètres d'exploitation

Suivi analytique

- Température
- pH, alcalinité
- Acidité volatile
- %CH₄ dans biogas
- Siccité entrée-sortie
- %MV entrée-sortie

Paramètres d'exploitation

- Débits d'alimentation
- Débit de biogas
- Temps de séjour
- fonctionnement chaudière
- Fonctionnement échangeur
- Pots de purge
- Comportement de la déshydratation

Gestion technique

- Rendement de digestion
- Bilan énergétique
- Ratio AVt / TAC
- Maintenance
- Renouvellement
- Formation personnel

SUIVI DE LA DIGESTION ANAEROBIE

BOUE FRAICHE INITIALE	CRITERES	QUALITE DE LA DIGESTION			
		MAUVAISE	MEDIOCRE	BONNE	TRES BONNE
500 ↔ 100	ALCALINITE (mg Ca CO ₃ /l)	1000 ↔ 2500	2000 ↔ 3500	3000 ↔ 4500	4000 ↔ 5500
5 ↔ 7	pH	6 ↔ 7	6,5 ↔ 7	6,8 ↔ 7,3	7,4 ↔ 7,8
1800 ↔ 3600	ACIDES VOLATILS (mg CH ₃ COOH/l)	2500 ↔ 4000	1000 ↔ 2500	100 ↔ 1000	< 100
55 ↔ 80	MVS/MS (%)	55 ↔ 70	50 ↔ 60	45 ↔ 55	30 ↔ 45
10 ↔ 100	RESISTANCE SPECIFIQUE (x 10 ¹¹ m/kg)	5 ↔ 50	1 ↔ 10	0,5 ↔ 5	0,1 ↔ 1

RAPPEL : 10 mg CaCO₃ = 1° F

source : DEGREMONT

MOUSSAGE

- **ORIGINES COMPLEXES**

- **PRINCIPALES RAISONS**
 - Démarrage, à-coups de charges, variations sensibles de température
 - ⇒ Associée à un production brutale de biogaz

 - Dégradation partielle des détergents (réduction de la viscosité)

 - Dégradation incomplète des substances protéiniques contenant une part importante de tensio-actifs

AUTRES ASPECTS D'EXPLOITATION

- **CORROSION**

- **ENSABLEMENT**

- **ACCUMULATION DE FLOTTANTS**

- **MISE SOUS VIDE (DEPRESSIONS)**

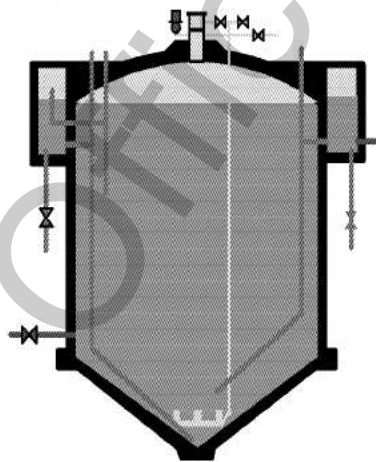
- **INHIBITION DE LA DIGESTION**

LES TOXIQUES POUR LA DIGESTION

Substances	Concentration limite dans les boues fraîches (% par rapport aux MS)	Remarques
Ammoniaque	2 %	Dépend du pH de la boue
Essence	1 %	Manque de données précises
Benzène	2%	
Toluène		
Cr ³⁺	0,05 à 0,4 %	
CN ⁻	0,01 à 0,02 %	
Trichloréthylène	0,001 %	Arrêt total à 0,5 %
Détergents	0,5 %	Problème d'écumes Addition possible de STEARINE
Oxyde de Méthylène	0,2 %	
Cu	0,2 à 0,5 %	Possible dans la boue sion a 1 mg/l dans l'eau usée
Solvants, alcool	0,5 à 1 %	Stimulant si très faible quantité
Huiles, lubrifiants		Boue flottante
Phénols	0,3 à 0,4 %	
Thiocyanates	1 %	
Sels	10 %	Dépend du type de Cation Toxicité croissante : Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺
Sulfates	1 %	Formation d'hydrogène sulfuré
Sulfures	0,1 %	
Zn	0,2 à 0,5 %	

FORME DES DIGESTEURS

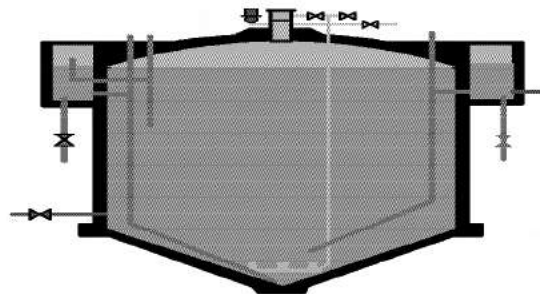
Verticaux



Rapport Hauteur / Diamètre

> 1,5

Horizontaux



Rapport Hauteur / Diamètre

Entre 1/3 et 1/2

➡ Influence le choix du mode de brassage

AUTRES ASPECTS D'EXPLOITATION

TEMPS DE SEJOUR HYDRAULIQUE



CONCENTRATION
DES BOUES FRAÎCHES

SOIGNER L'ÉPAISSISSEMENT PRÉALABLE

3

AUTRES ASPECTS D'EXPLOITATION

CONCENTRATION
DES BOUES FRAÎCHES

BOUES TROP DILUÉES



Temps de séjour trop court
Rendement de digestion en baisse

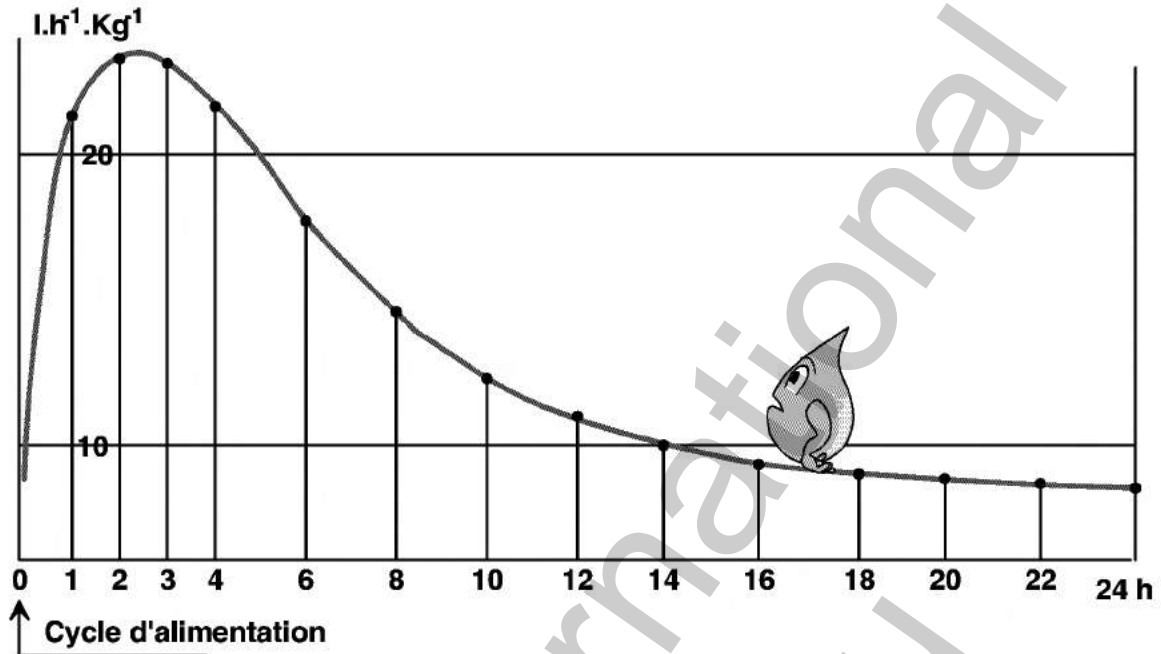
BOUES TROP CONCENTRÉES



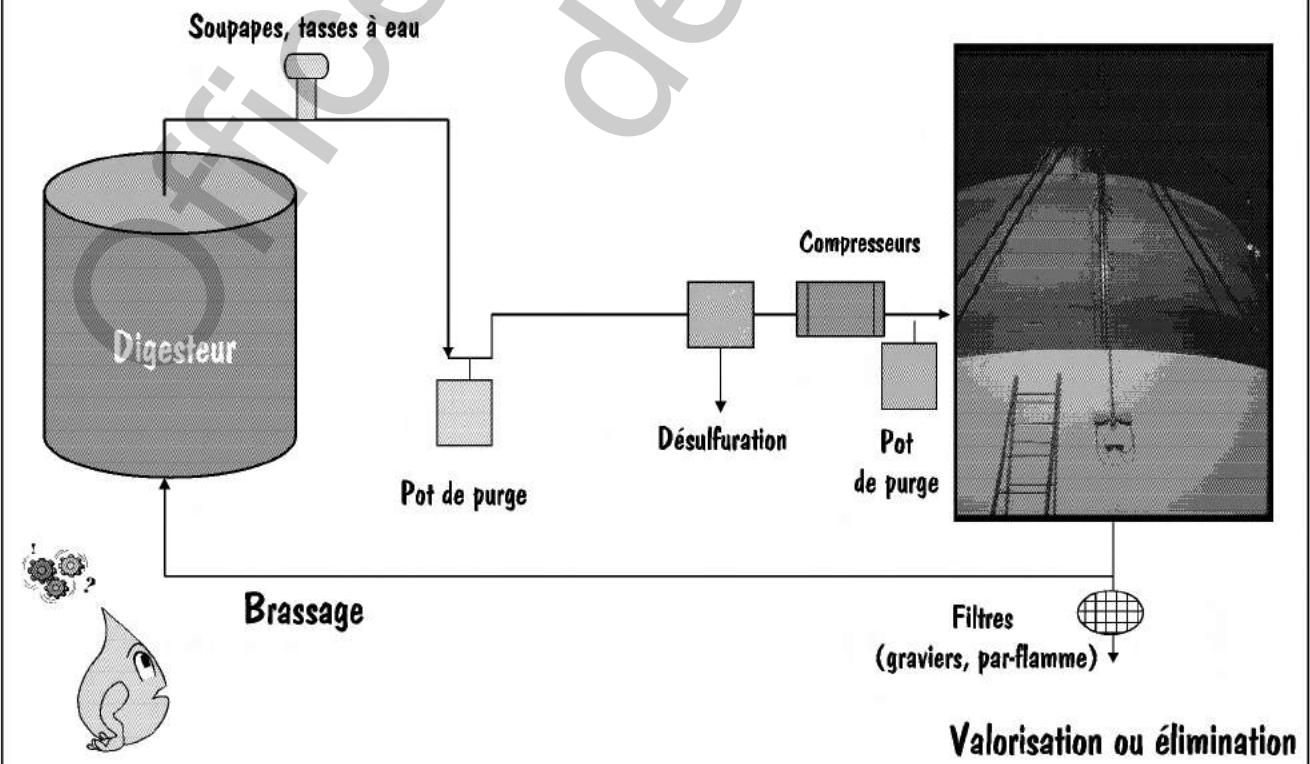
Difficultés de brassage

SOIGNER L'ÉPAISSISSEMENT PRÉALABLE

PRODUCTION DE BIOGAZ



LE CIRCUIT DU BIOGAZ ET SES PROTECTIONS



IMPACT DE LA DIGESTION ANAEROBIE SUR LA QUALITE DES BOUES

	Anaérobie
M.O.	Réduction de 30 - 50 %
M.M.	Constant dans l'absolu
N	Transformation de 40 % du N organique en NH ₄
P	Inchangé
Réduction de la masse de boue	Oui : 15 à 30 %
Fermentation ultérieure	Nulle
M.O.	45 - 60
N total	2 - 3
P	1,5 - 2,5
K	0,15 - 0,25
C	25 - 35
Mg	0,4 - 0,8
Fe	1 - 3
Ca	5 - 15

DIGESTION ANAEROBIE

Avantages



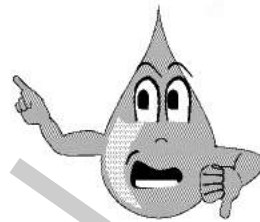
- **STABILISATION DÉFINITIVE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE**
- **RÉDUCTION DU POIDS DE BOUE**
- **AUGMENTATION DE LA DÉSHYDRATABILITÉ DES BOUES**
- **OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DE LA DÉSHYDRATATION**
- **PRODUCTION DE BIOGAZ – VALORISATION ÉNERGÉTIQUE**

... et filière de traitement et de valorisation pour d'autres sous-produits



DIGESTION ANAEROBIE

Inconvénients



- **INVESTISSEMENT**
- **RETOUR EN TÊTE CHARGÉS – TRAITEMENT SPÉCIFIQUES ?**
- **BOUES BIOLOGIQUES D'AÉRATION PROLONGÉE**
- **ASPECTS SÉCURITÉS**
- **PEU ADAPTÉ AU FLUX DE BOUES VARIABLES À TRAITER**



La digestion anaérobie des boues

Exemple

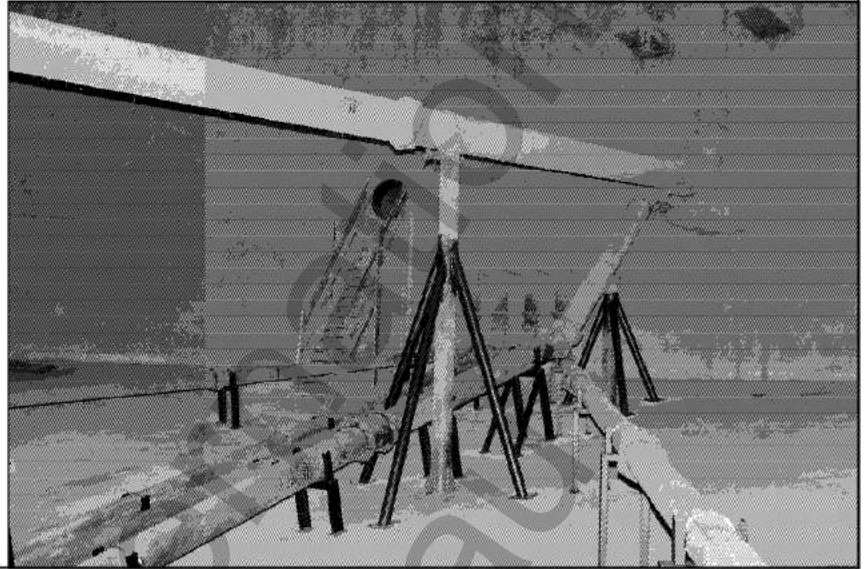
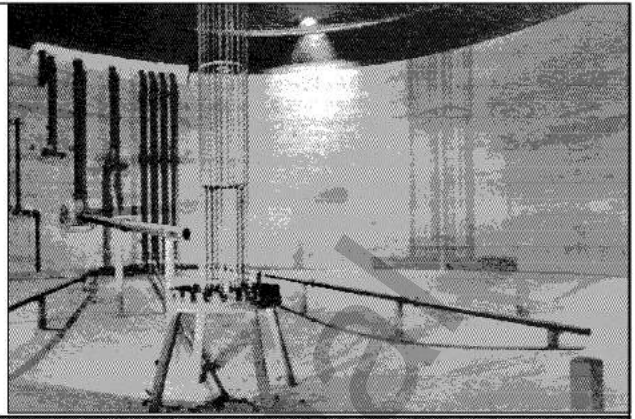


EQUIPEMENTS (Valenton 1)

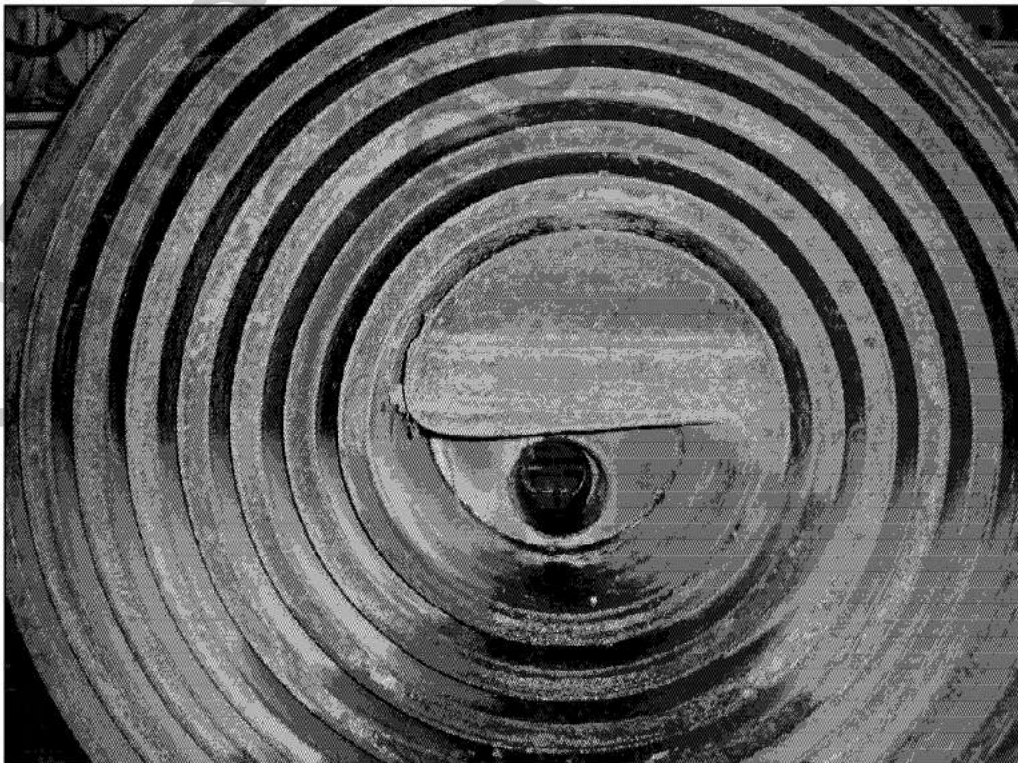
- 1 tour répartition (4 étages)
- 4 digesteurs primaires
 - D1 & D4 : 8300 m³
 - D2 & D3 : 9300 m³
- 1 digesteur secondaire
 - volume : 7710 m³

step SIAAP - Seine Amont à Valenton

Alimentation et reprise des boues

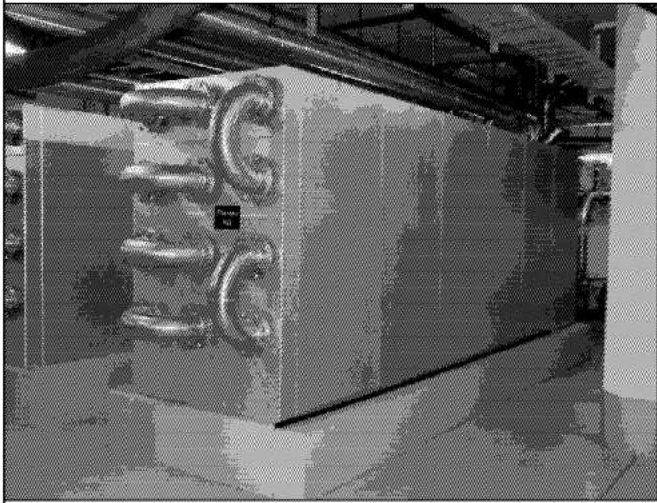


Réchauffement des boues fraîches - refroidissement des boues digérées

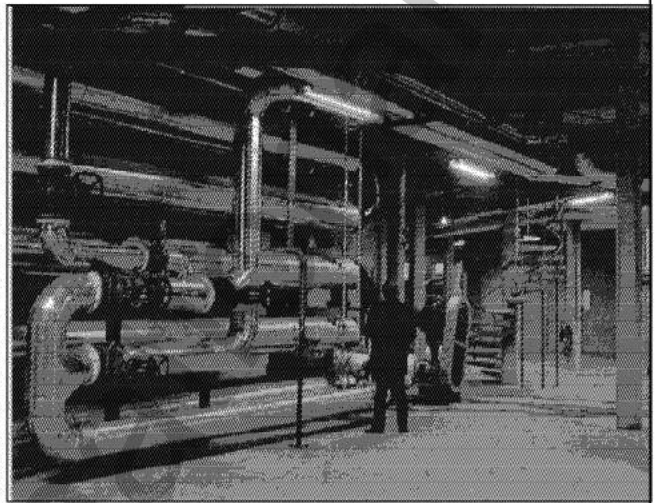


Echangeur Rosenblad sur Achères III

Réchauffement des boues fraîches - refroidissement des boues digérées



Echangeur Tubulaire sur Aïre - Genève



Echangeur Tubulaire sur Achères IV



LES EFFETS DE LA CORROSION

Diagnostic de réhabilitation lors d'une vidange sur Achères



Dôme de prélèvement



Accès au digesteur



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

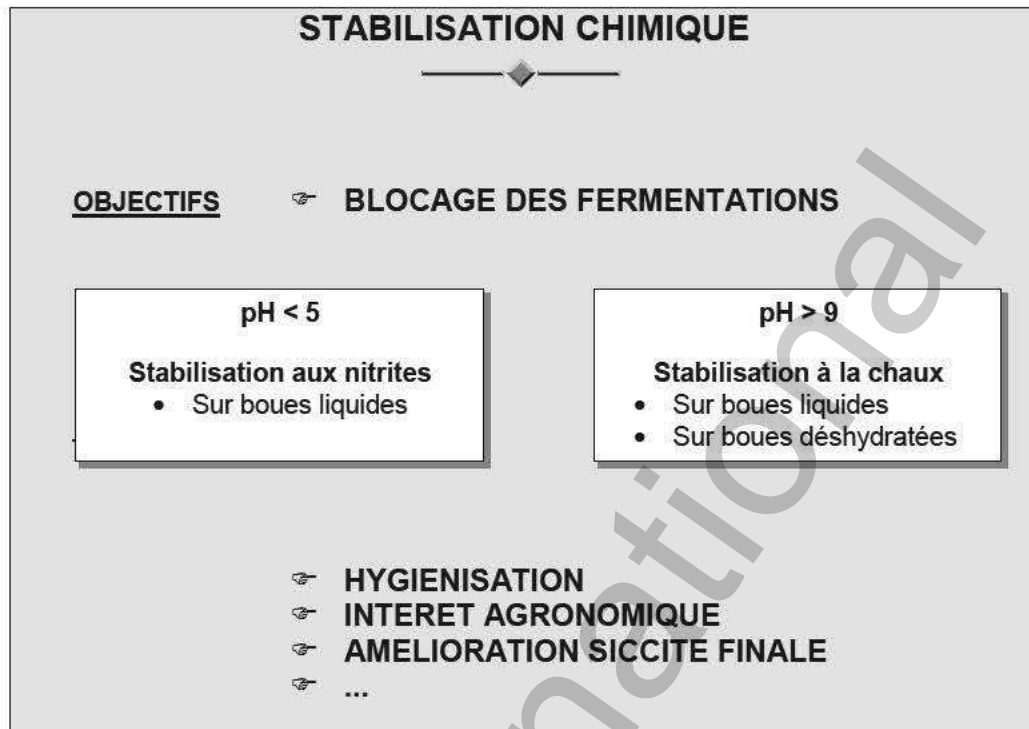
Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

4

STABILISATION CHIMIQUE



STABILISATION CHIMIQUE



Attention : l'effet pH n'est pas forcément durable stabilisation conjoncturelle

Chaulage de boues épaissies

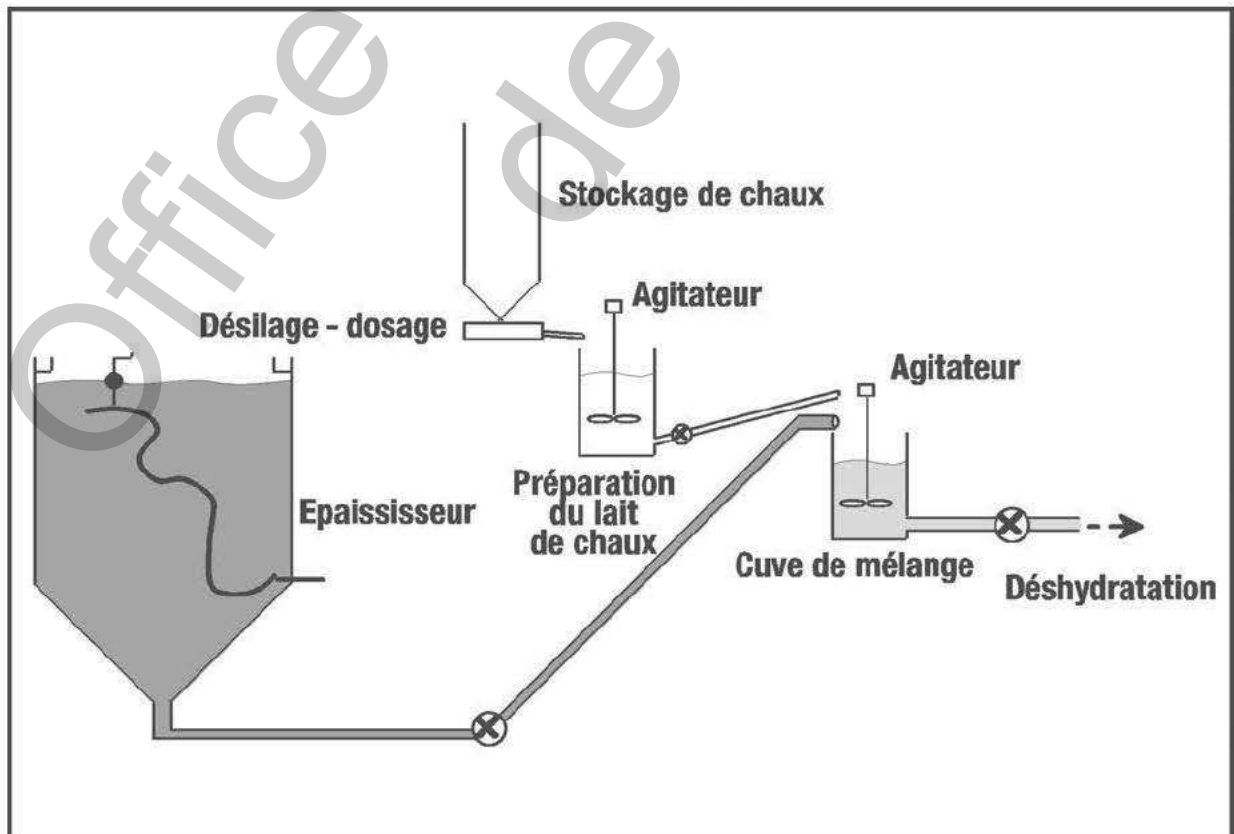
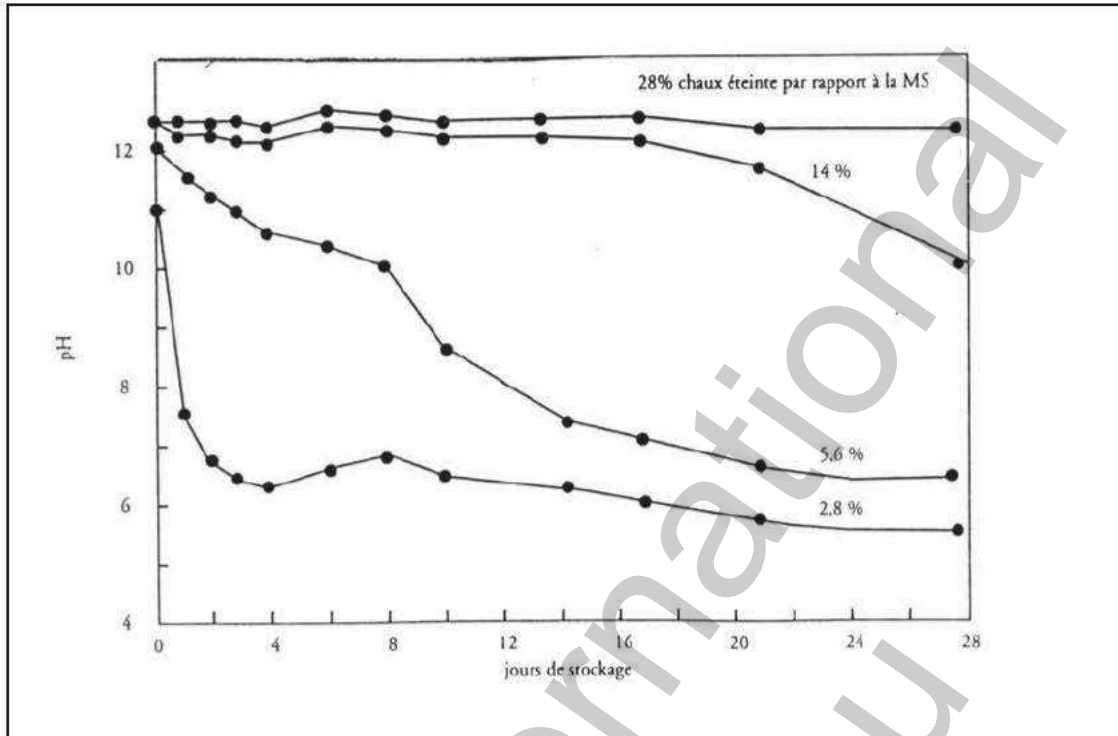


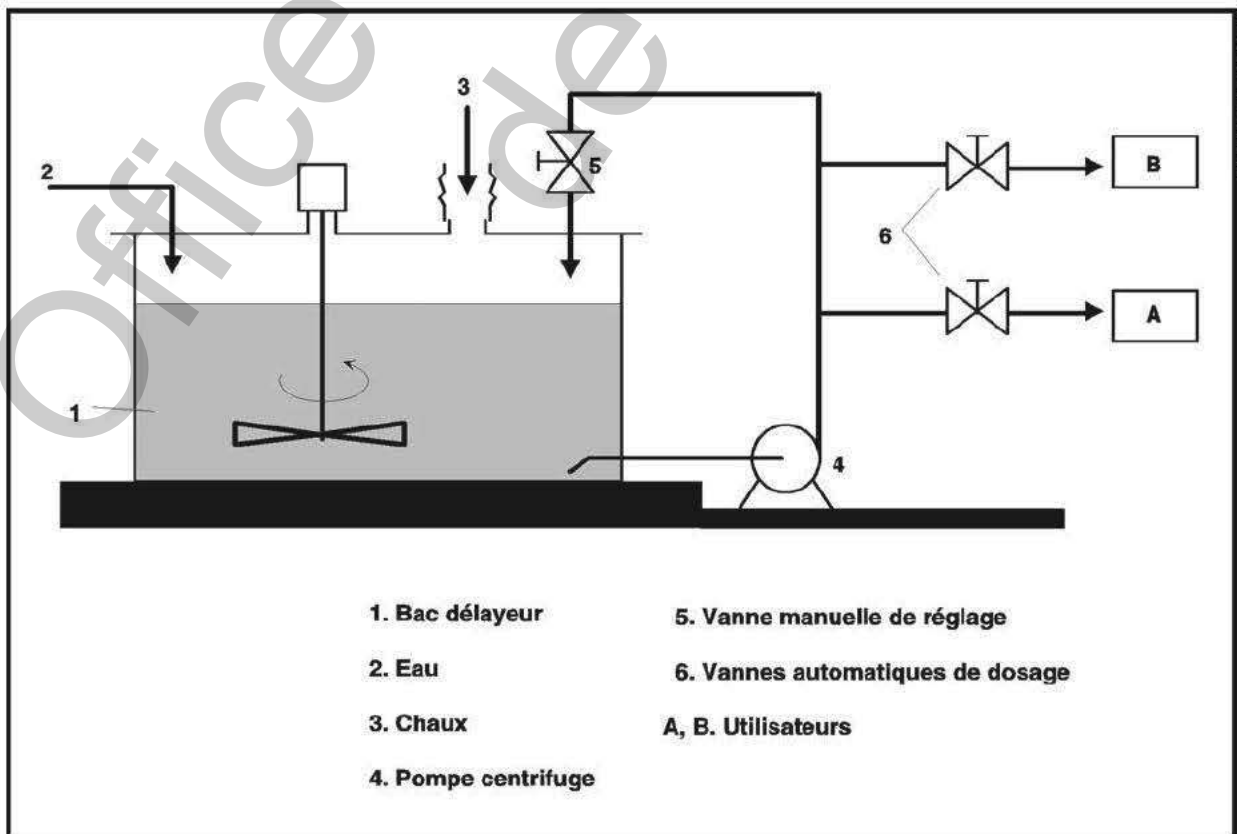
Schéma 2011 E. Guéhenneq - OIEau

Evolution du pH des boues liquides chaulées

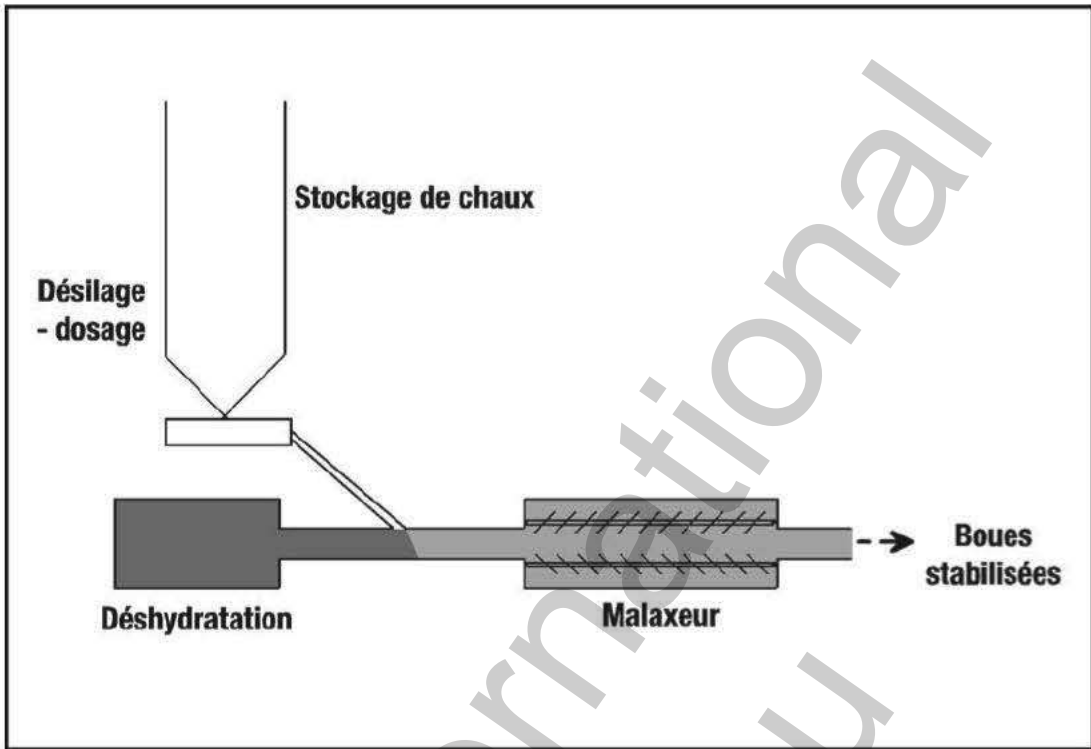


Source cahier technique Ademe n° 11 - 2001

Préparation et dosage de lait de chaux



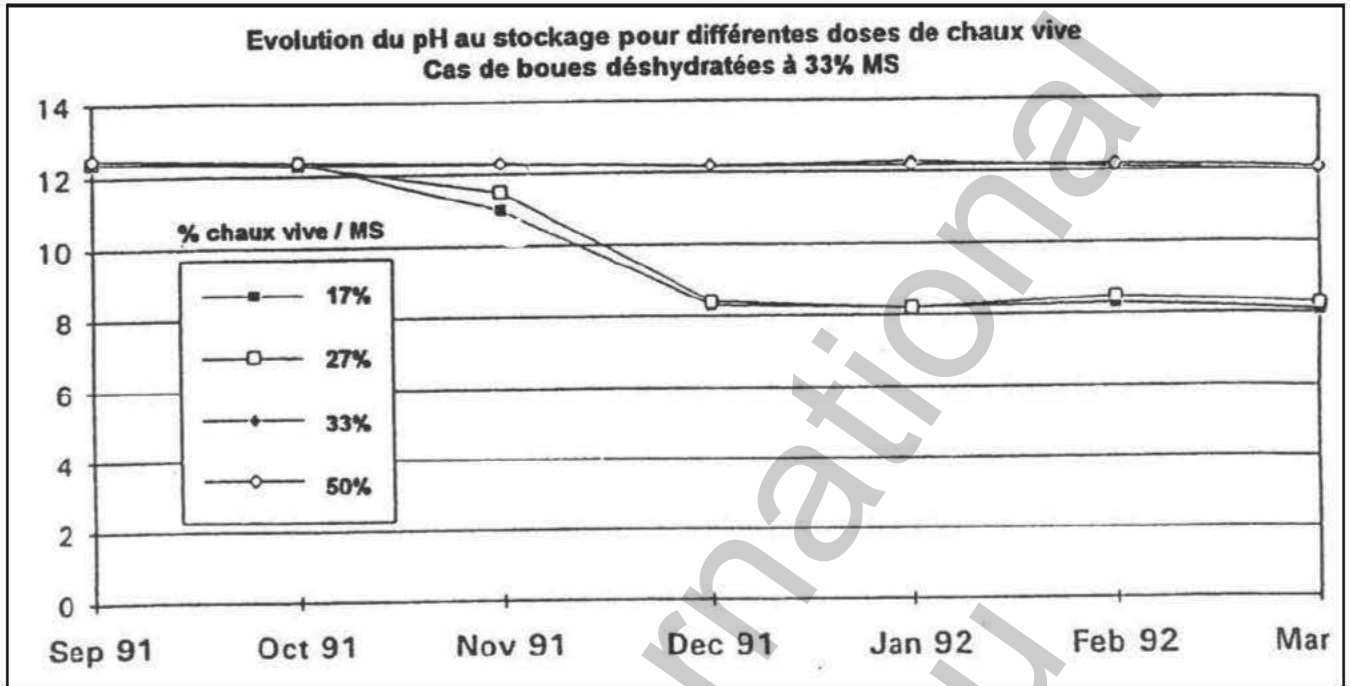
Mise en œuvre du chaulage des boues déshydratées



Livraison de chaux sur step

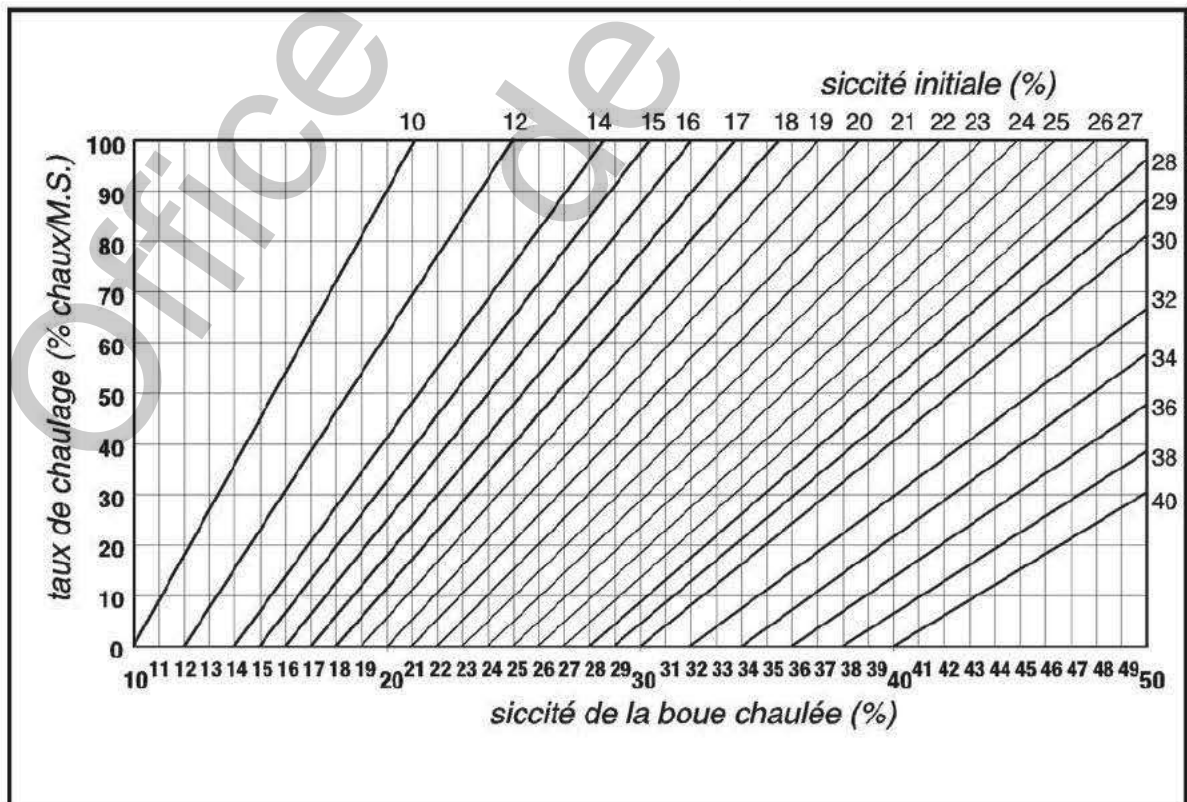


Evolution du pH sur boues déshydratées chaulées



Source cahier technique Ademe n° 11 - 2001

Augmentation de la siccité après chaulage



Source cahier technique Ademe n° 11 - 2001

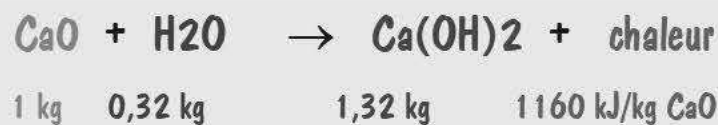
Stockage de boues déshydratées chaulées avec chaux vive



4

Evolution des températures lors du chaulage avec chaux vive

HYDRATATION CHAUX VIVE = REACTION EXOTHERMIQUE



CONSEQUENCES :

- ▶ EFFET D'ASSECHEMENT SUPPLEMENTAIRE
- ▶ EFFET D'HYGIENISATION (selon maintien température)
- ▶ EFFET DE LIBERATION DE NH₃ (odeur ammoniac)

Silo à chaux vive avec

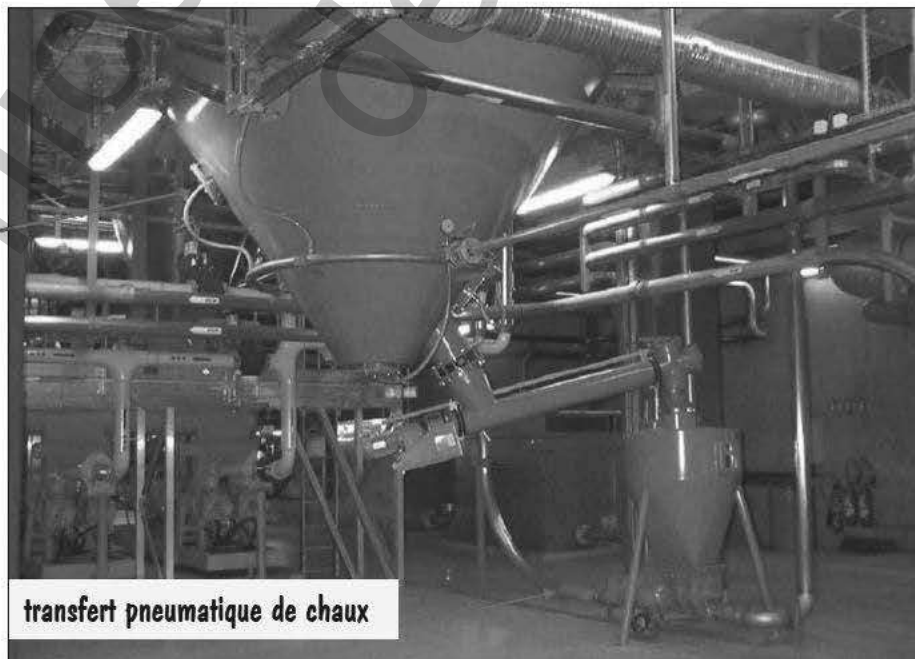
Vis doseuse

mobile rotatif en fond de cuve



Silo de stockage de chaux pulvérulente

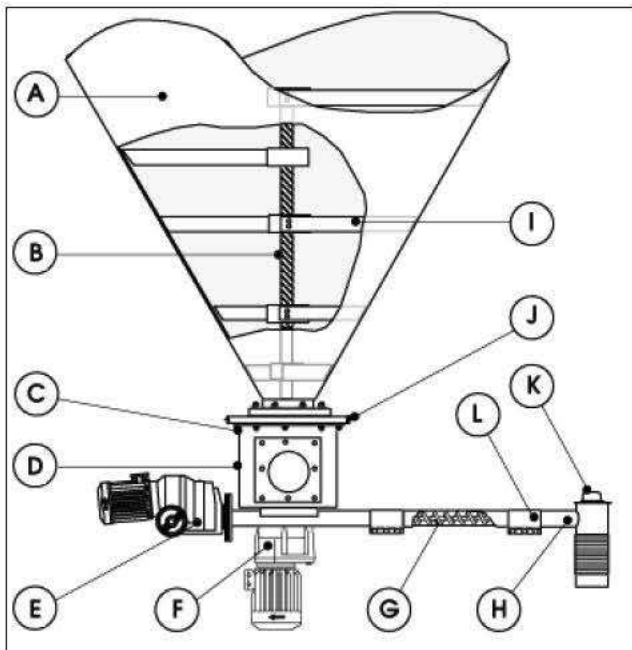
Dévoutage pneumatique



transfert pneumatique de chaux

Step de Colombes

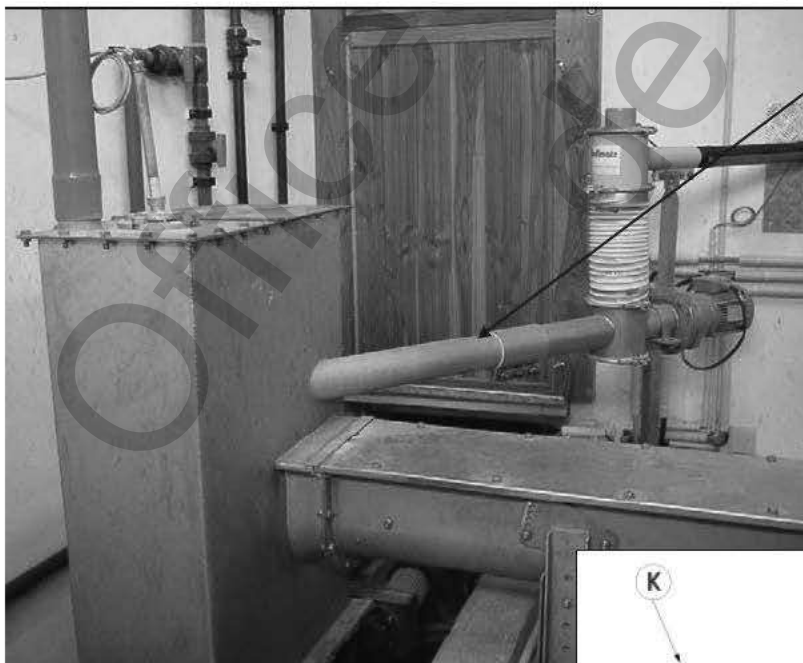
Dosage volumétrique : vis doseuse à vitesse variable



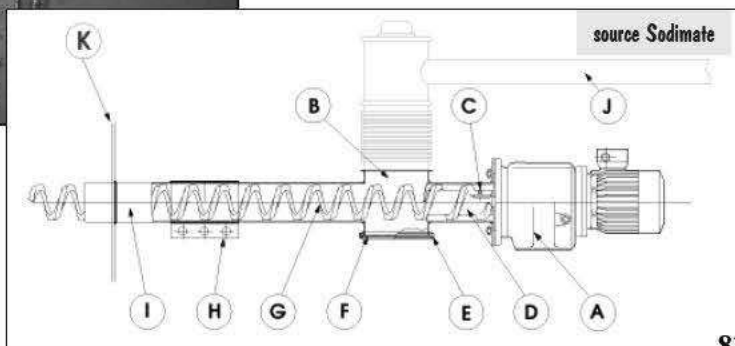
Ensemble de dévoutage et de dosage : source Sodimate

International de l'Eau

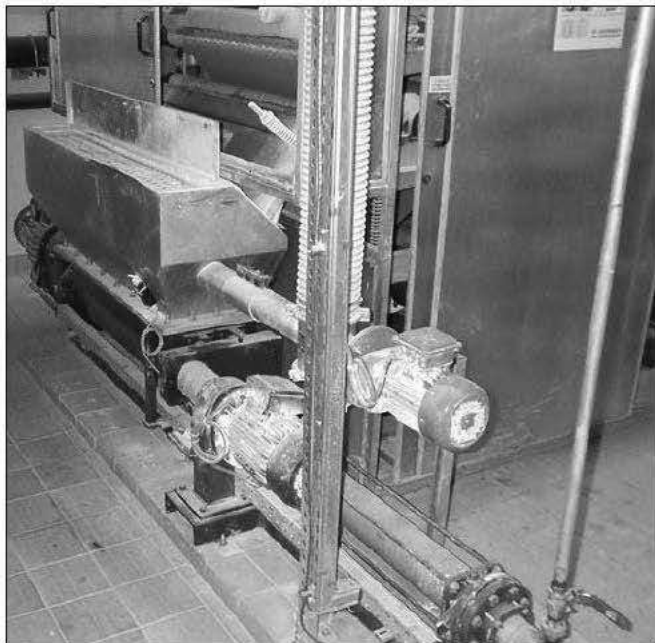
Dispositif d'injection



2 ÉTAGES CAR :
RISQUE DE REMONTÉE DE VAPEURS ET PRISE EN MASSE SUR LE 2^E ÉTAGE.
A LA FIN D'UN CYCLE ON PURGE LE 2^E ÉTAGE

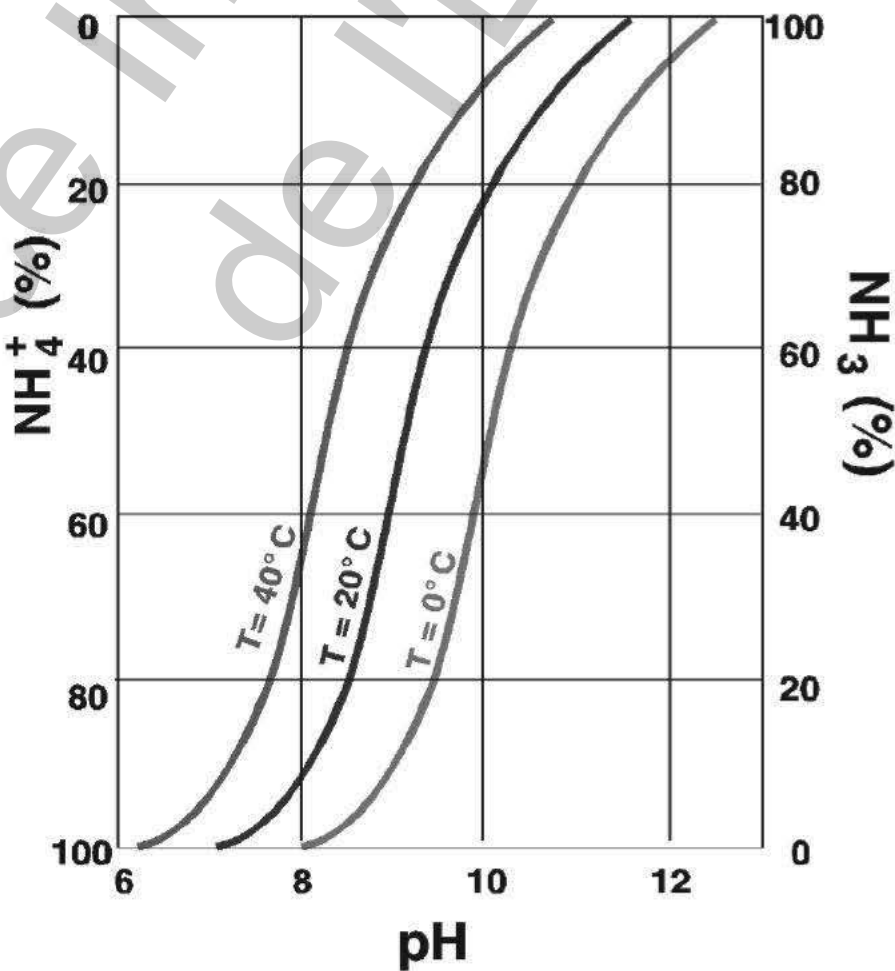


Transfert de boues chaulées



Transfert de boues chaulées par gavopompe

Volatilisation de NH_3 en fonction du pH





OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

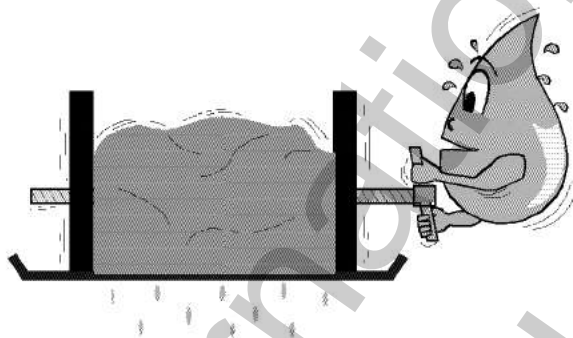
Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

5

DESHYDRATATION MECANIQUE

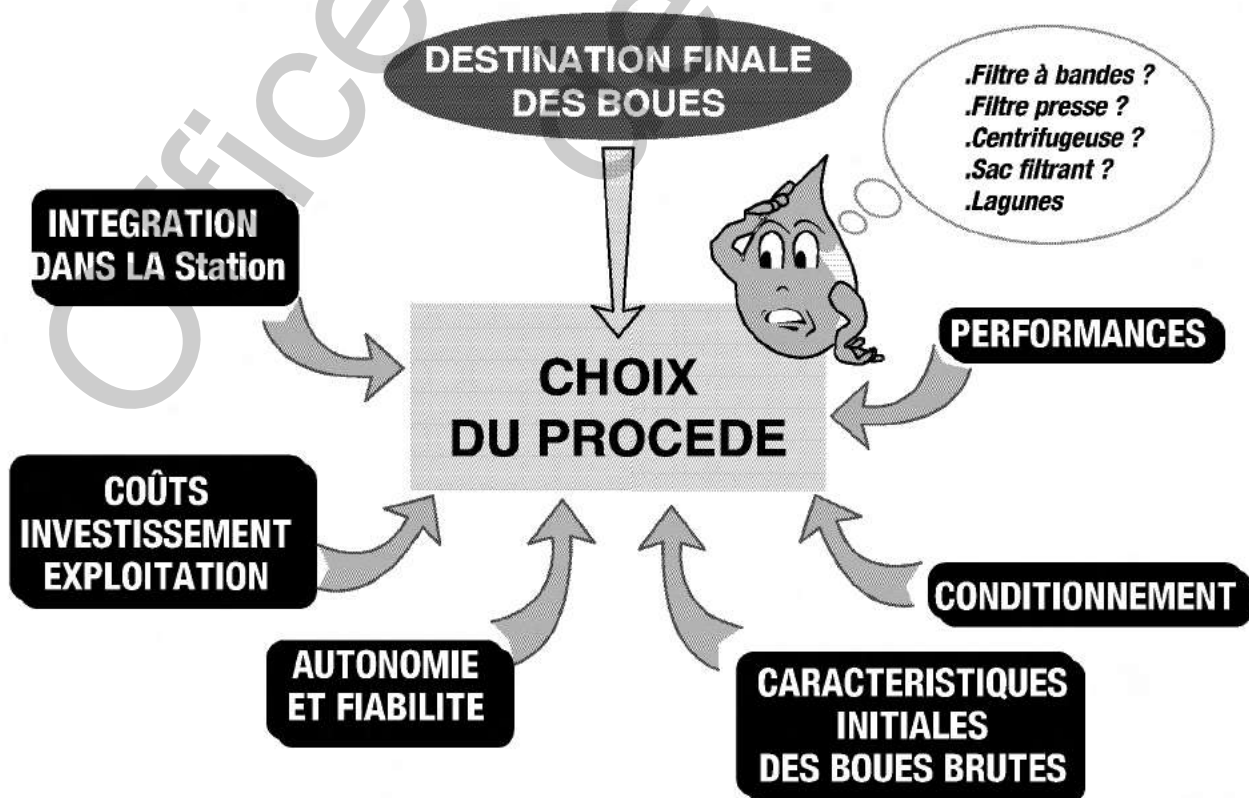


DÉSHYDRATATION DES BOUES D'ÉPURATION



5

DÉSHYDRATATION DES BOUES LES BONNES QUESTIONS POUR LE BON CHOIX

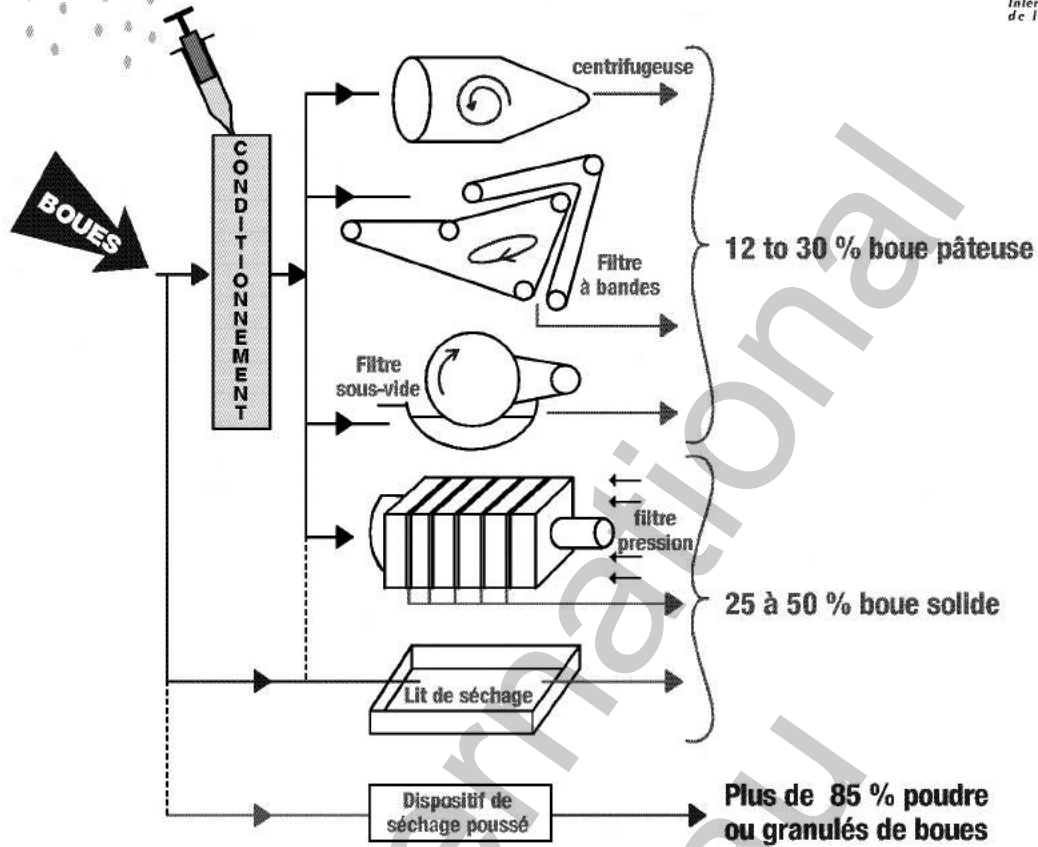


DESHYDRATATION

TECHNOLOGIES



COPYRIGHT OIEAU



DESHYDRATATION - DIFFERENTS PROCÉDES 01 - source JB 15/6 JB 17/6

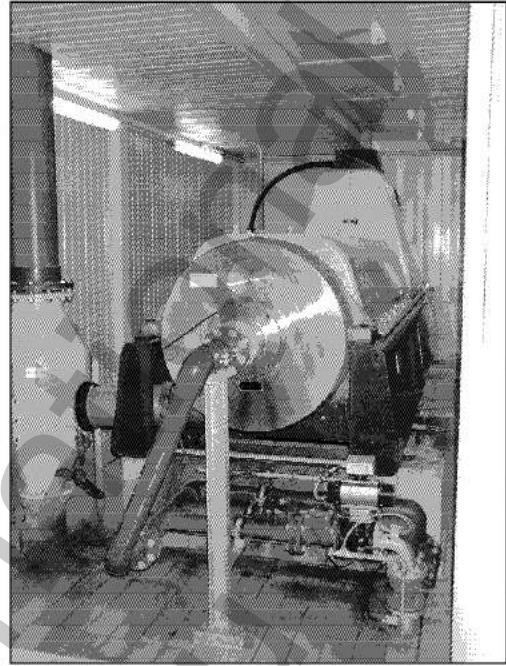
DESHYDRATATION DES BOUES

Performances



SICCITE	→	% MeS
PRODUCTION	→	kg MeS produit / h / . m² . m largeur
TAUX DE CAPTURE	→	%
TAUX DE CONDITIONNEMENT	→	kg poly. / Tonne MeS kg FeCl₃ / Tonne MeS kg Ca(OH)₂ / Tonne MeS
RENDEMENT ENERGETIQUE	→	kWh / Tonne MeS

Centrifugation

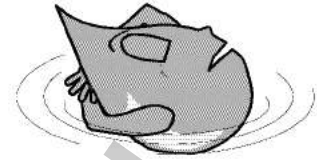


5

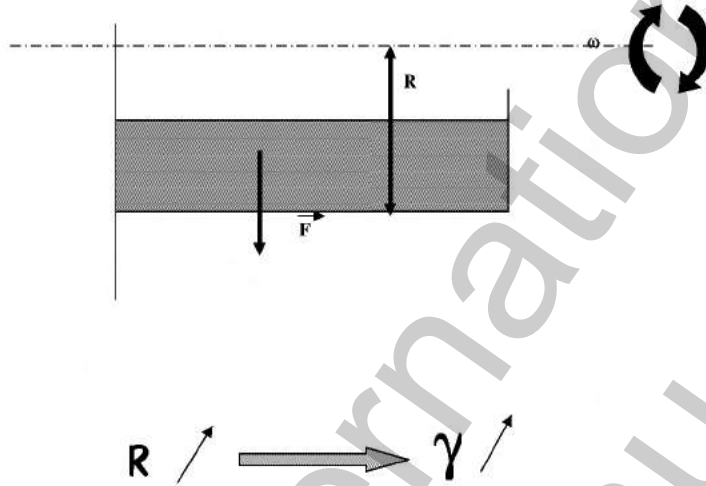


Centrifugation

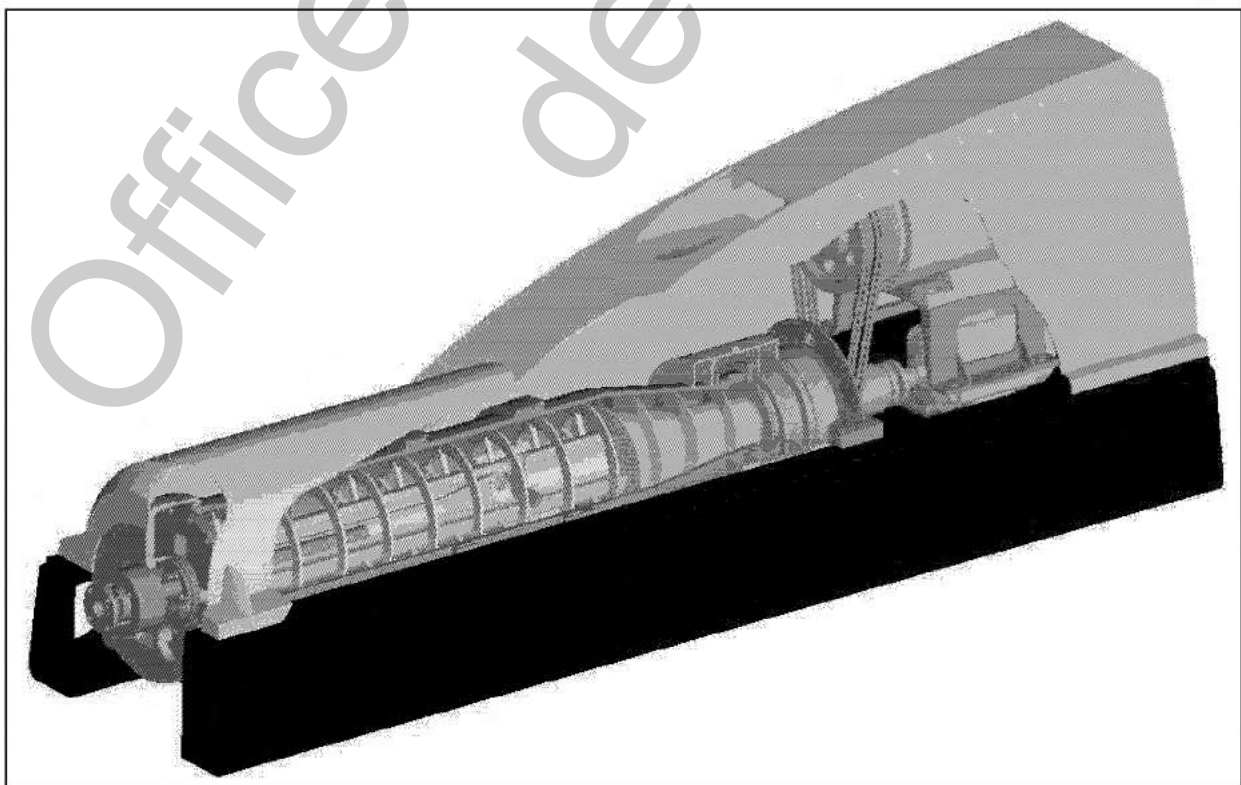
Principe



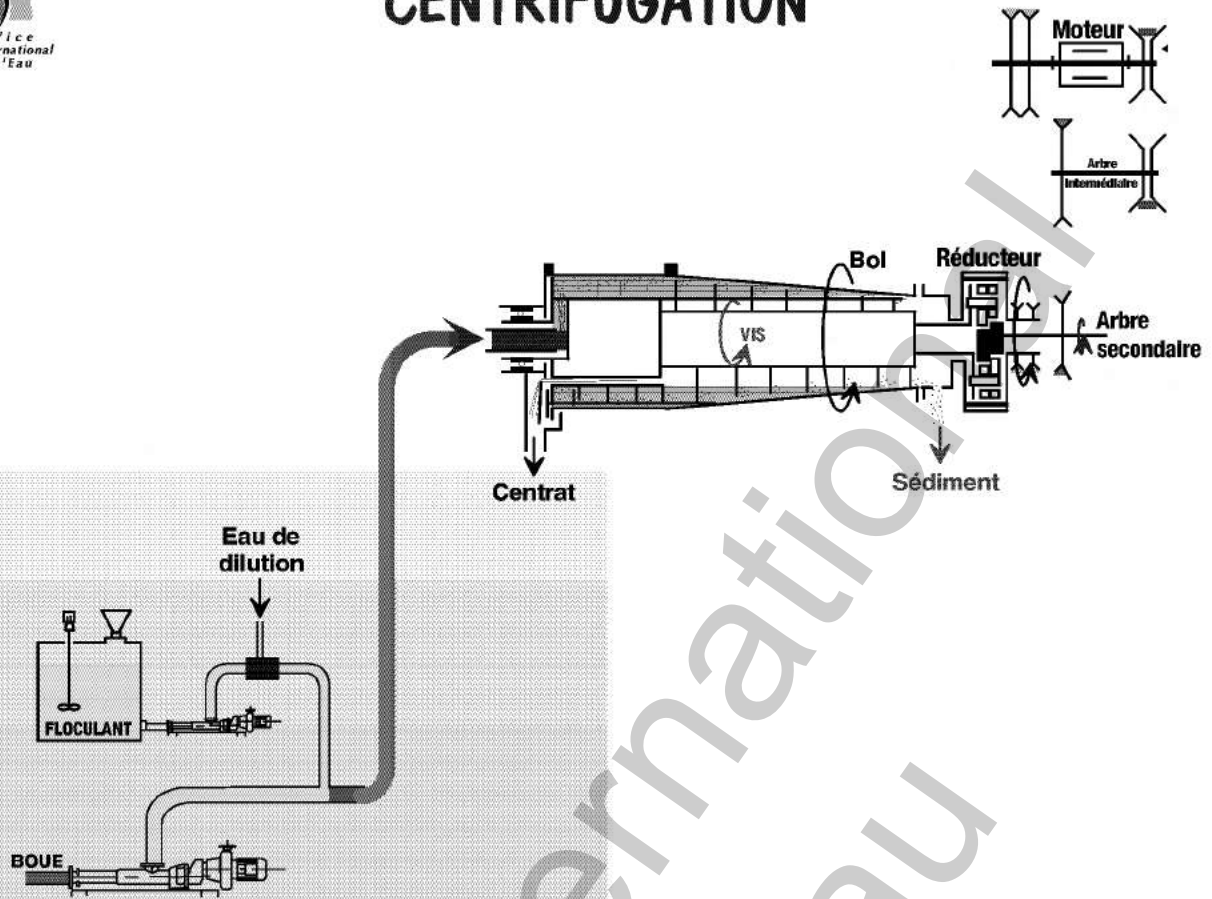
$$\text{Accélération centrifuge} = \gamma = \omega^2 R$$



Centrifugation



CENTRIFUGATION

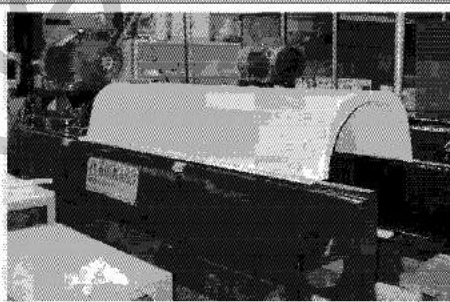
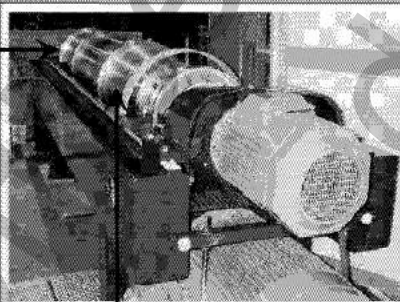


5

LES PRINCIPAUX ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UNE CENTRIFUGEUSE

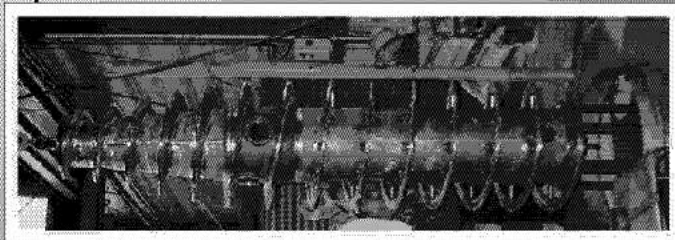
L'ENSEMBLE TOURNANT

LE CARTER



LE BOL

LA VIS D'EXTRACTION DES MS



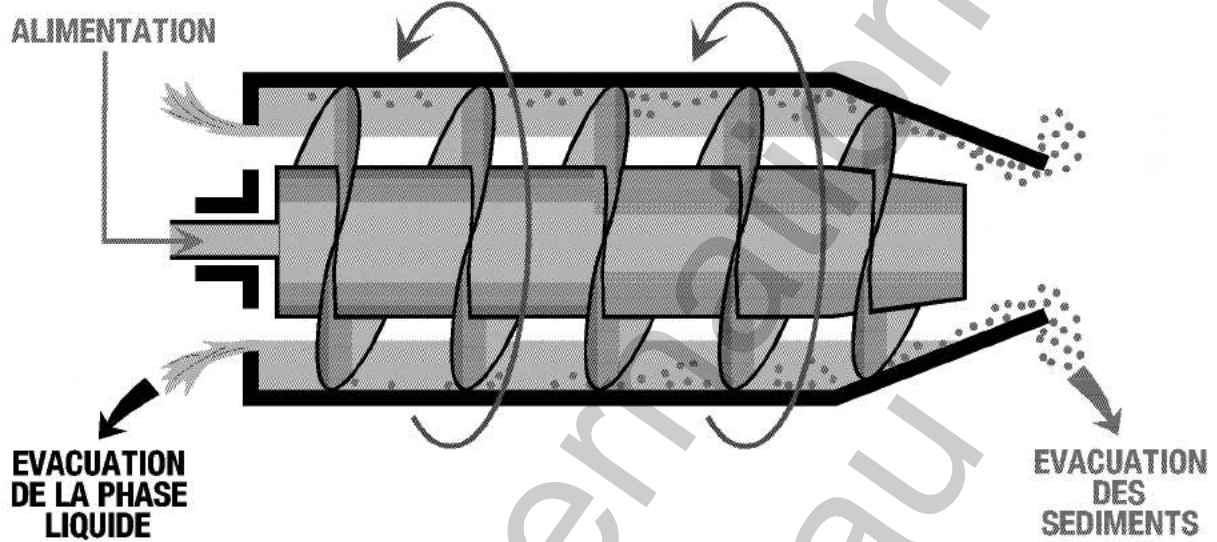
LE DIAPHRAGME : REGLAGE - SICCITE ET TAUX DE CAPTURE

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRIFUGEUSE

La vis collecte en continu les sédiments

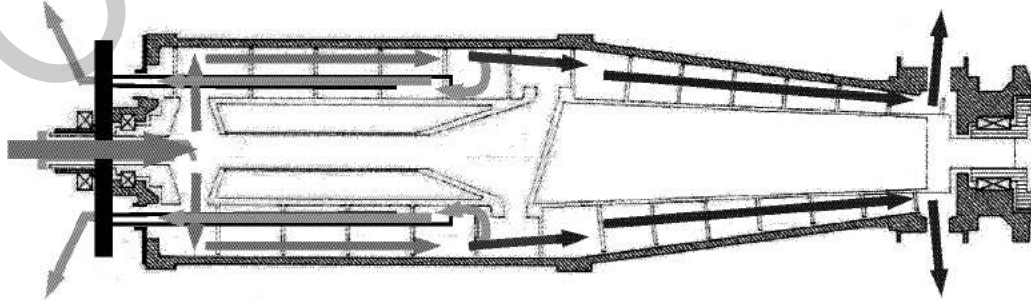
$$\text{Vitesse différentielle} = \frac{(\text{vitesse du bol} - \text{vitesse de la vis})}{\text{rapport de réduction}}$$

(Quelques tours par minutes)

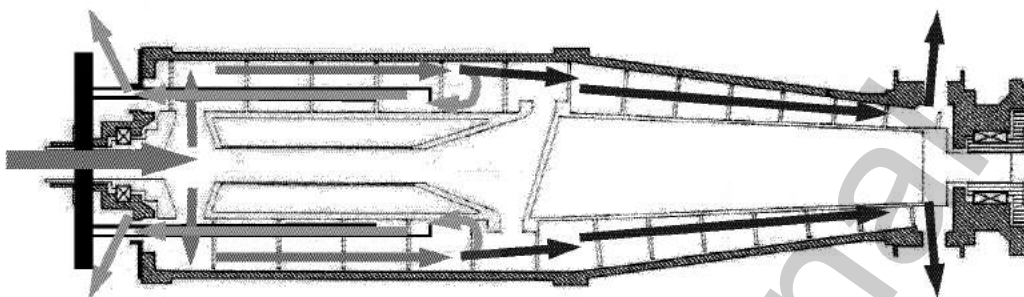


• Décanteuse polyvalente – Plan coupe

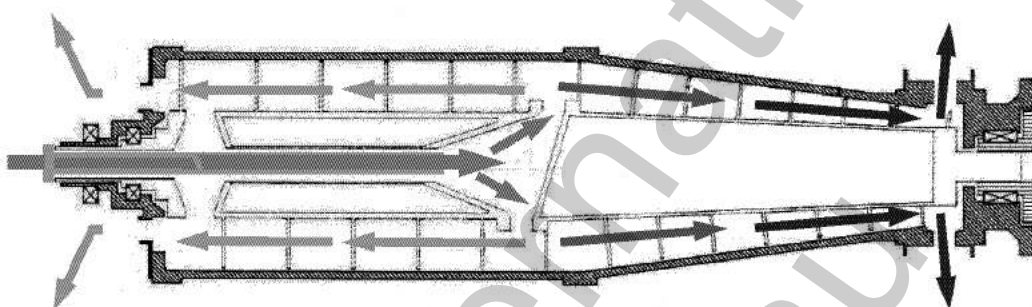
Polyvalence = + Fonctionnement contre-courant
Fonctionnement equi-courant



Boues « difficiles à déshydrater »

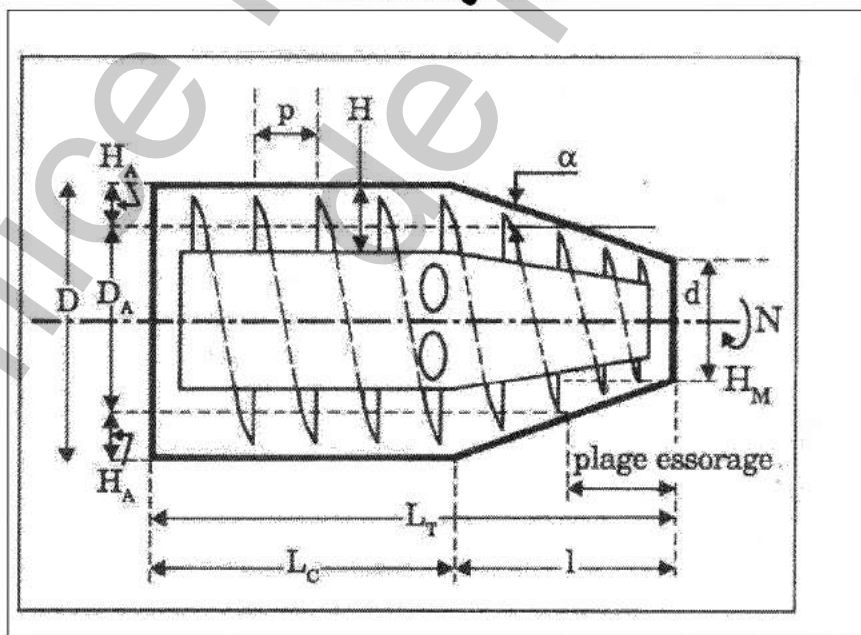


Boues « faciles à déshydrater »



5

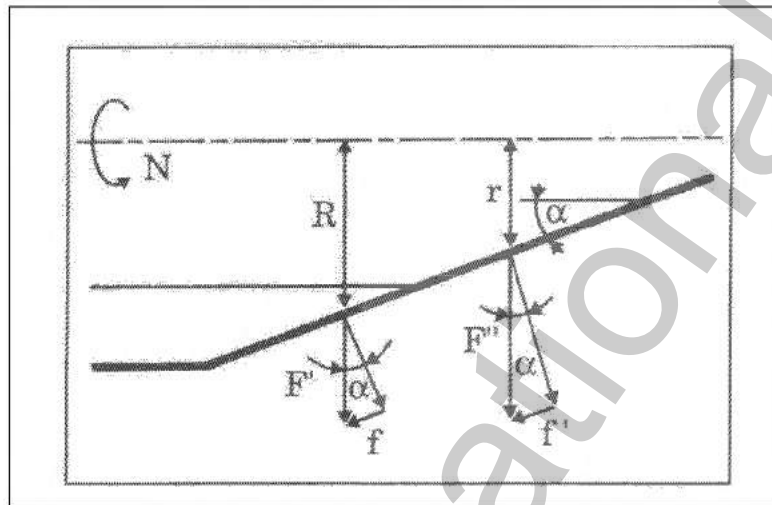
Centrifugation



- D : diamètre du bol côté cylindrique
- d : diamètre du bol sortie cône
- L_T : longueur totale
- P : Pas du racler
- H : Hauteur filet entre vis et bol
- α : angle de conicité
- D_A : diamètre interne de l'anneau liquide

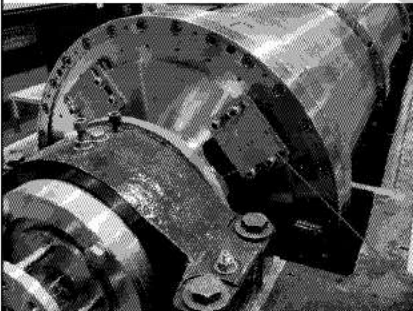
Centrifugation

Influence de la géométrie de la machine sur l'angle de cônecité

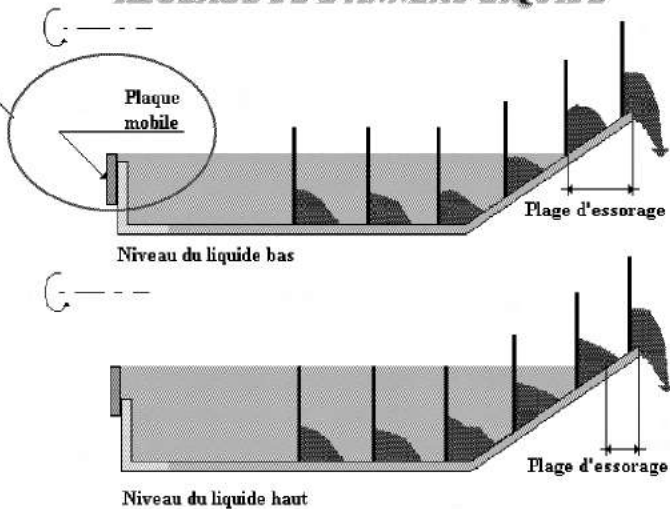


- L'encombrement de la machine (machines longues - courtes)
- La plage d'essorage

Centrifugation

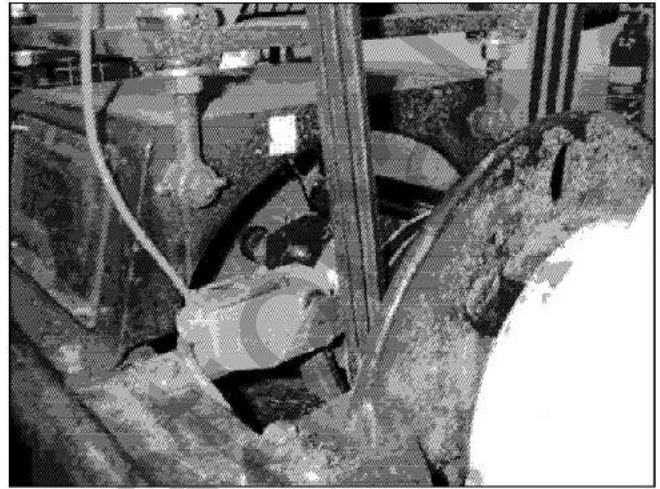


REGLAGE DE L'ANNEAU LIQUIDE

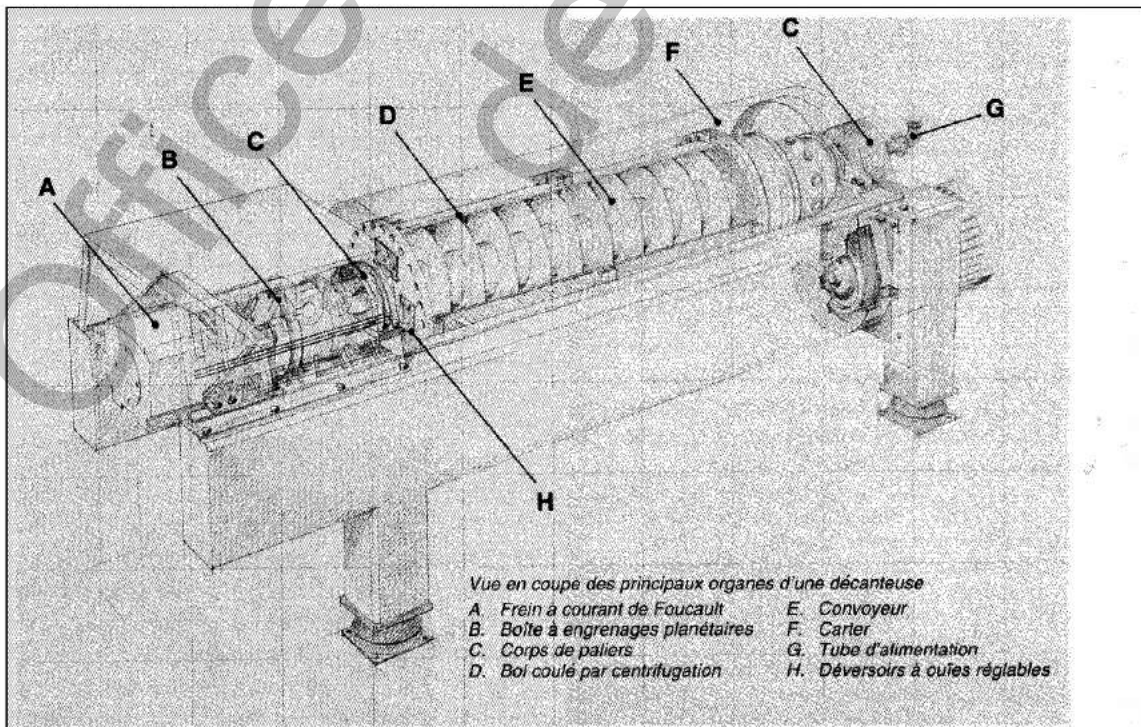


PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT

- Taux et qualité du conditionnement
- Régime de fonctionnement hydraulique et massique
- Paramètres machines :
 - ▣ Vitesse du bol
 - ▣ Vitesse relative
 - ▣ Couple résistant, pression du groupe hydraulique
 - ▣ Automatisation

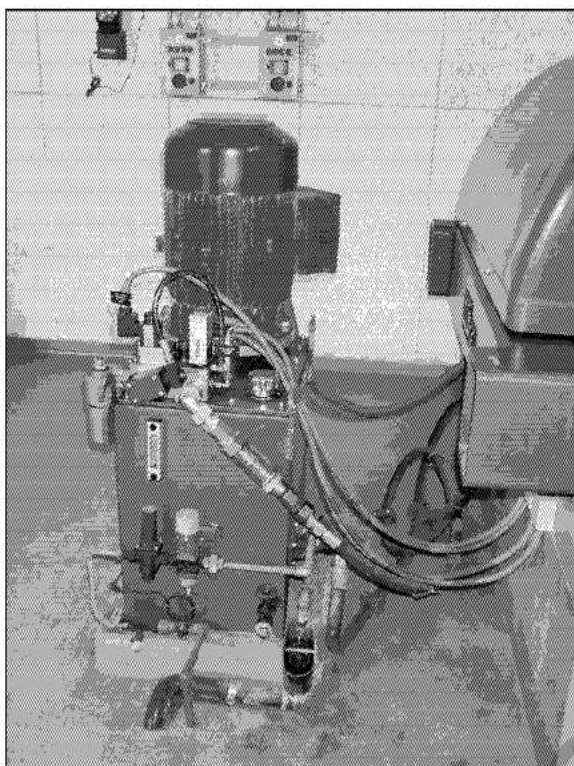


Gestion de la vitesse relative par courants de Foucault



Gestion de la vitesse relative par centrale hydraulique

Flottweg



KHD - Umbolt



Centrifugation Performances

		Boues primaires		Boues mixtes		Boues Aération prolongée	Boues physico-chimiques		Dépenses énergétiques
		Sans digestion	Avec digestion	Sans digestion	Avec digestion		Taux < 50 mg/l FeCl ₃	Taux > 100 mg/l FeCl ₃	
Centrifugation	Charge kg MS/h	400 - 600	400 - 600	300 - 500	300 - 500	200 - 350	400 - 600	300 - 500	50 à 80 kwh / TMS
	Siccité	29 - 37	29 - 37	17 - 24	17 - 22	14 - 19	26 - 33	22 - 25	
	Polymère	2 - 3	2 - 3	4 - 6	4 - 6	5 - 7	2 - 3	3 - 5	

SOURCE : LYONNAISE DES EAUX

Rubrique	Boues	Boue primaire Boue chimique		Boue biologique faible Cm		Boue mixte fraîche		Boue digérée anaérobie	
Centrifugeuse Consommables	Type	Classique	HP	Classique	HP	Classique	HP	Classique	HP
	Polymère kg m act./TMS	3	6	7	11	5	8	6	9
	Electricité kWh/TMS	25	35	60	80	40	55	55	70
Performances	Siccité entrée %	8		4		5		3	
	Siccité finale %	32	38	17	20	25	30	25	30
	Filtrat mg MeS/l	500							

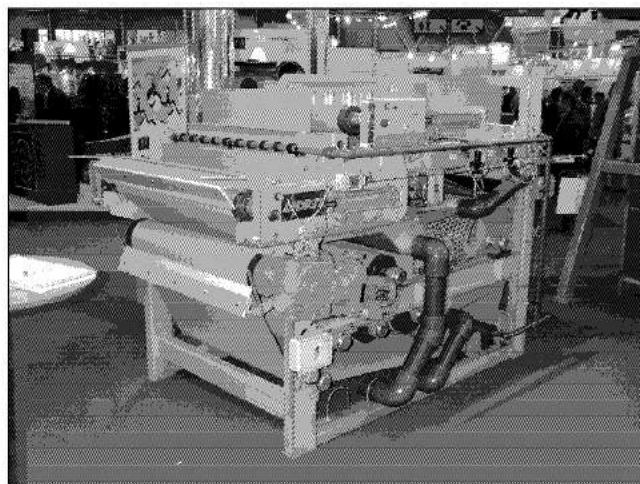
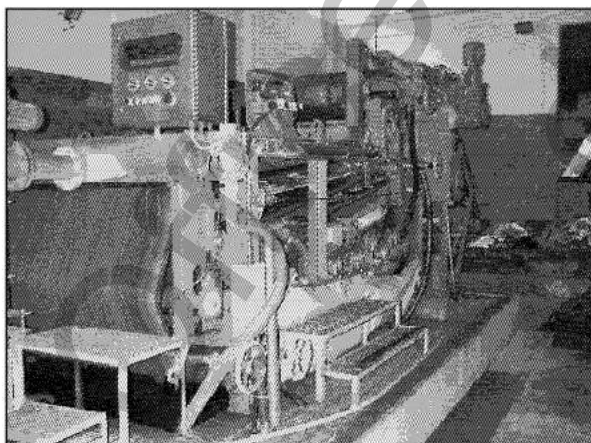
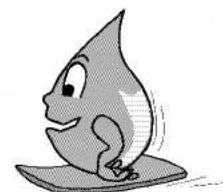
SOURCE OTV

Centrifugation

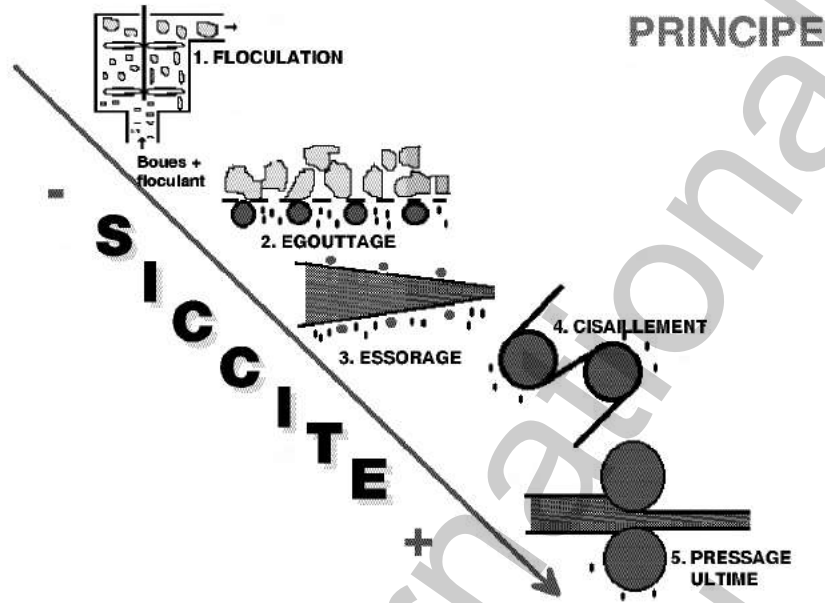
Critères de choix

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Très large gamme d'utilisation • Souplesse d'exploitation : <ul style="list-style-type: none"> . démarrage et arrêt rapide . surveillance réduite . automatisation très poussée possible . tolérance vis à vis de la fluctuation de la qualité des boues • Dispositif compact • Déshydratation en enceinte fermée : <ul style="list-style-type: none"> . pas de contact avec la boue . confinement des odeurs . faible consommation d'eau de lavage • Coût d'investissement moins élevé que pour l'installation de filtration sous pression 	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien nécessitant un personnel qualifié • Siccité souvent inférieure à 30 % : non admissible en décharge en l'état • Boue collante (si boue biologique) : dispositif de manutention adapté • Consommation d'énergie parfois importante • Equipement bruyant (problème atténué par capot d'insonorisation) • Nécessité d'un dégrillage (si présence de filasses pour éviter le colmatage du distributeur)

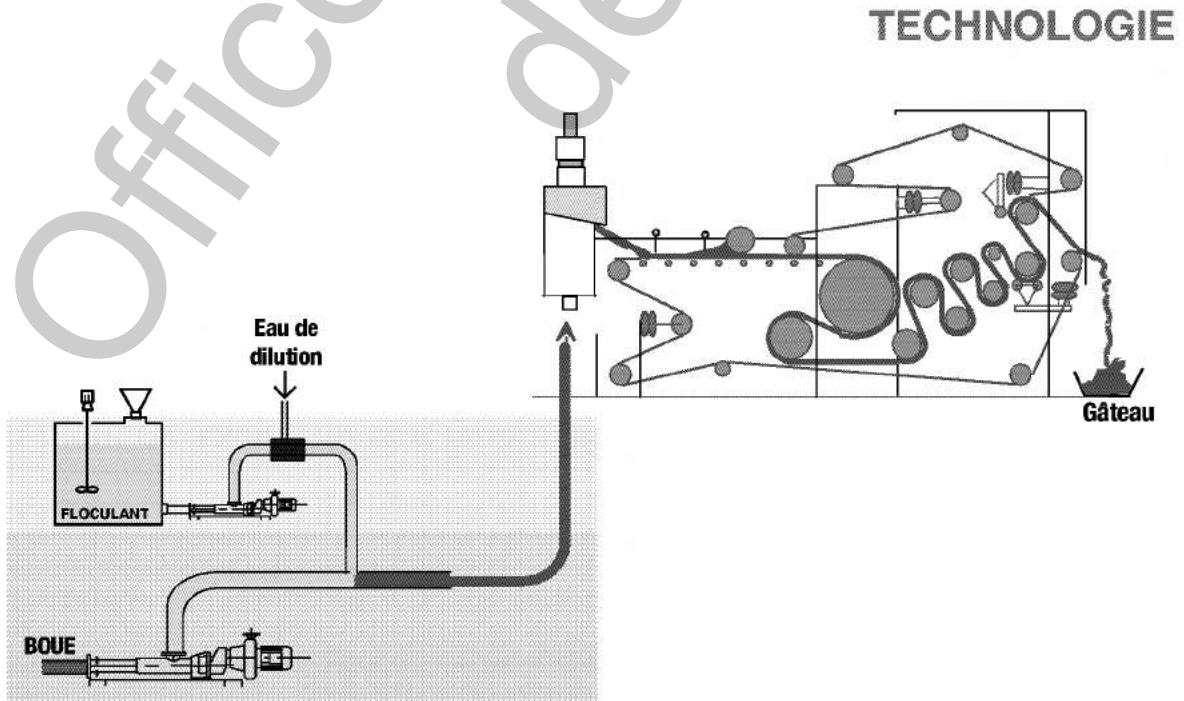
FILTRES A BANDES



FILTRE A BANDES PRESSEUSES

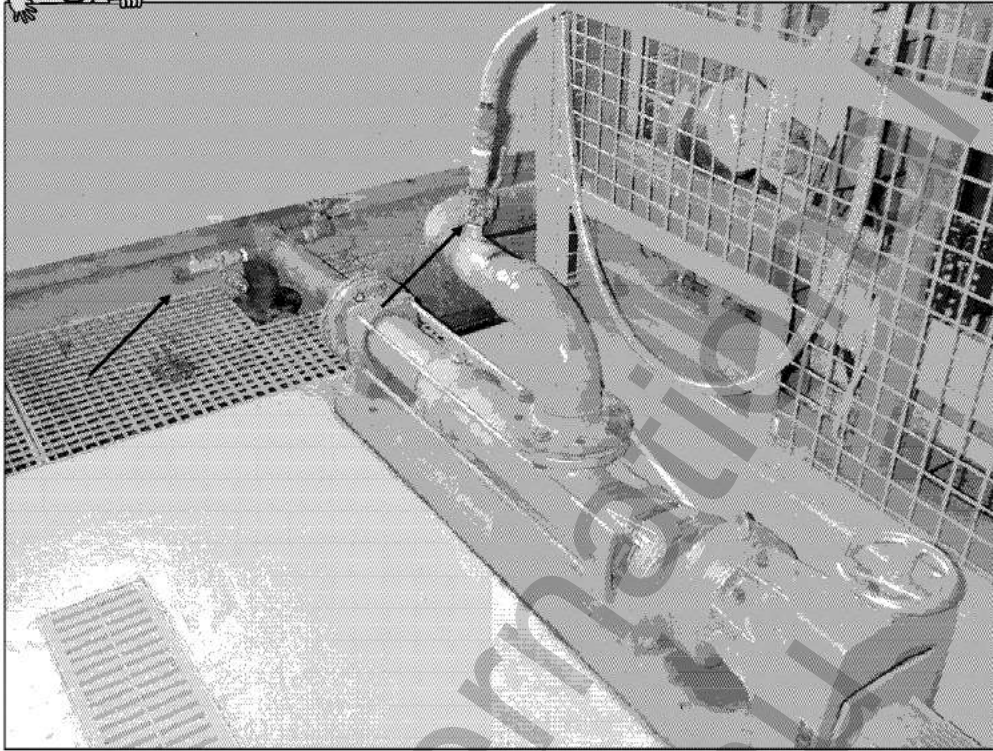


FILTRE A BANDES PRESSEUSES



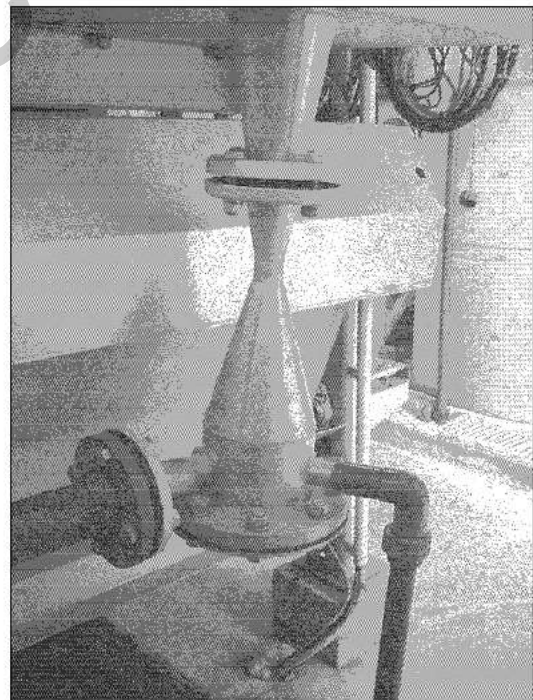


INJECTION DU POLYMERE



5

FLOCCULATION INITIALE



LA ZONE D'EGOUTTAGE PREALABLE

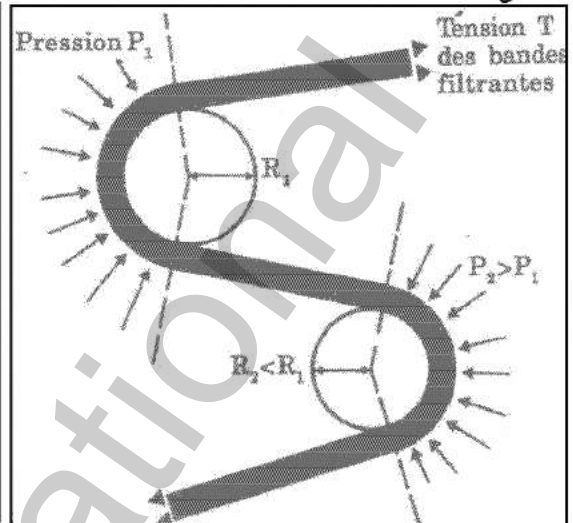
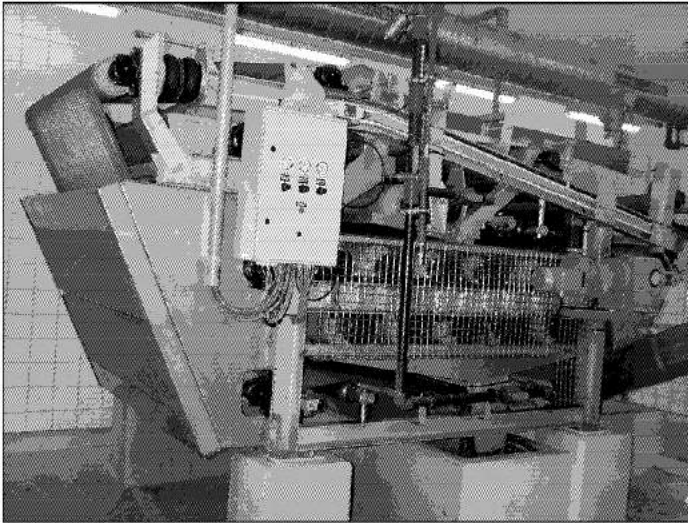


Le ROLE DES ROULEAUX AMONT



- Produire un tapis de boue égouttée uniforme (1 à 3 cm),
- Maintenir un bourrelet en amont, afin de refouler l'eau interstitielle restant en surface,
- Effectuer un premier compactage de la boue.

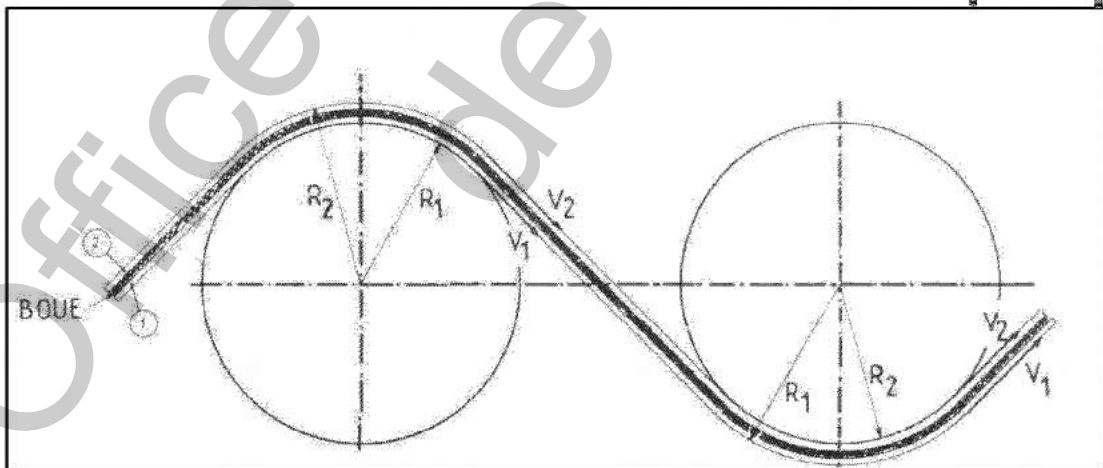
LE ROLE DES ROULEAUX ET TAMBOURS DE COMPRESSION



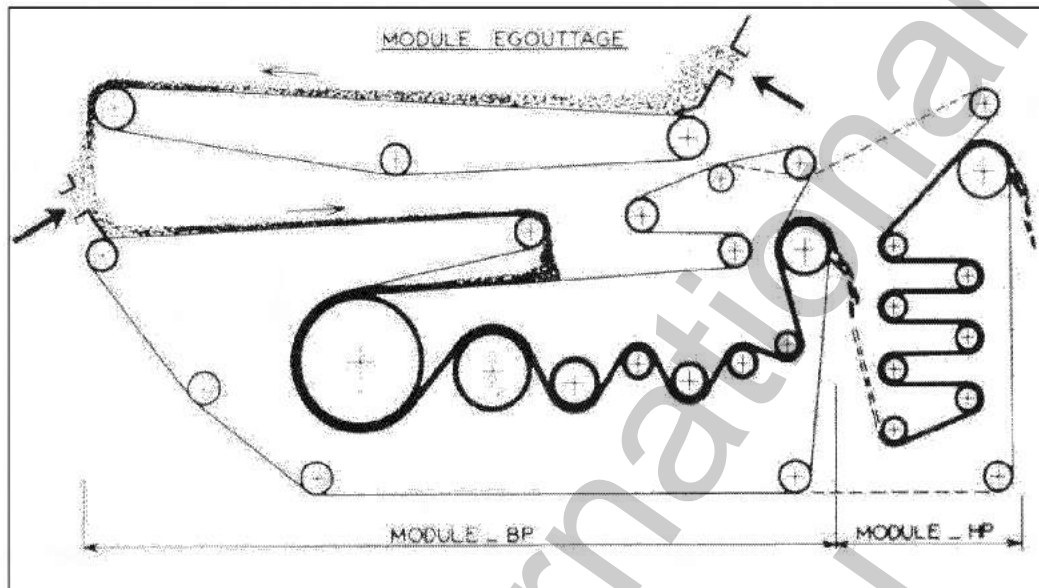
- Augmenter la pression et donc la siccité
- Créer des forces de cisaillement

5

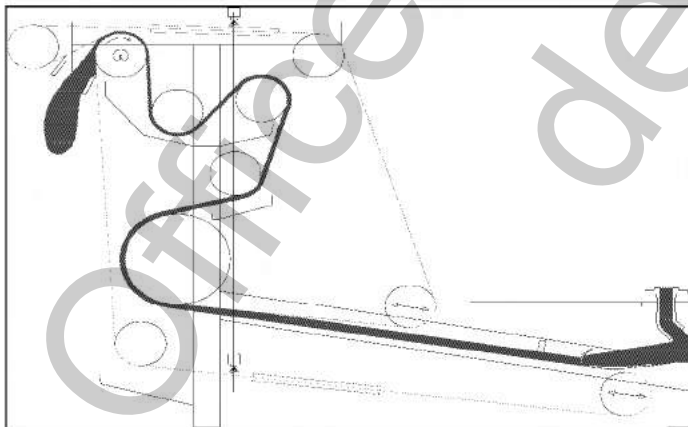
LES FORCES DE CISAILLEMENT



EXEMPLE DE CHEMINEMENT



EXEMPLE DE CHEMINEMENT

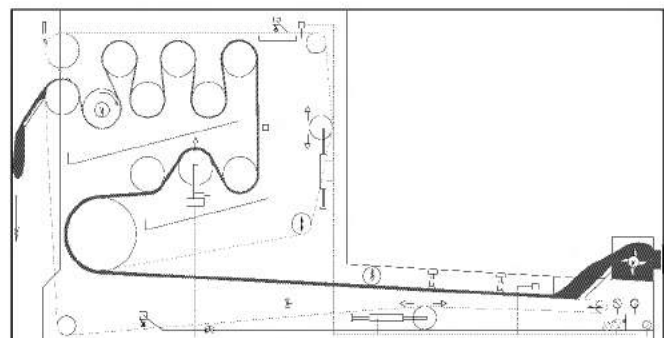


Omega Basse Pression SC

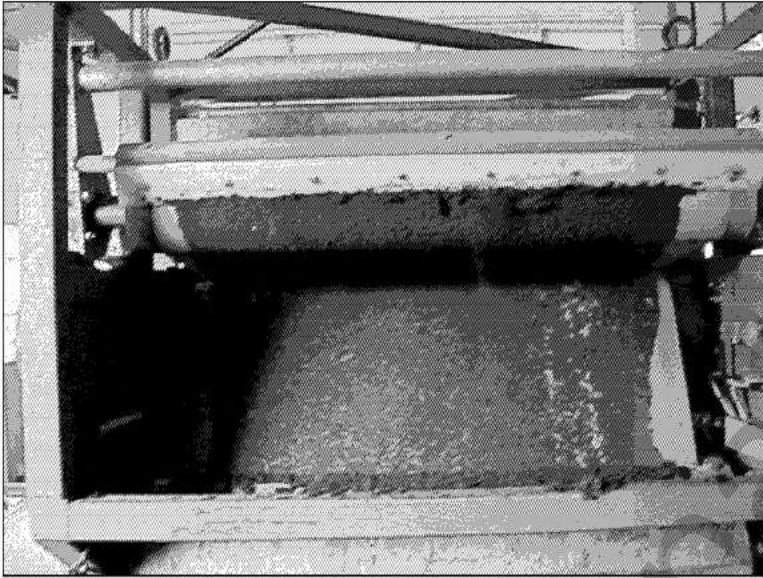
- 1 - Rouleaux de pressage = 5
- 2 - Zone de filtration gravitaire = 1.8 m
- 3 - Longueur de pressage = 2.5 m

Omega Moyenne Pression

- 1 - Rouleaux de pressage = 11
- 2 - Zone de filtration gravitaire = 2.8 m
- 3 - Longueur de pressage = 5,8 m



TENSION ET LAVAGE DES TOILES



5

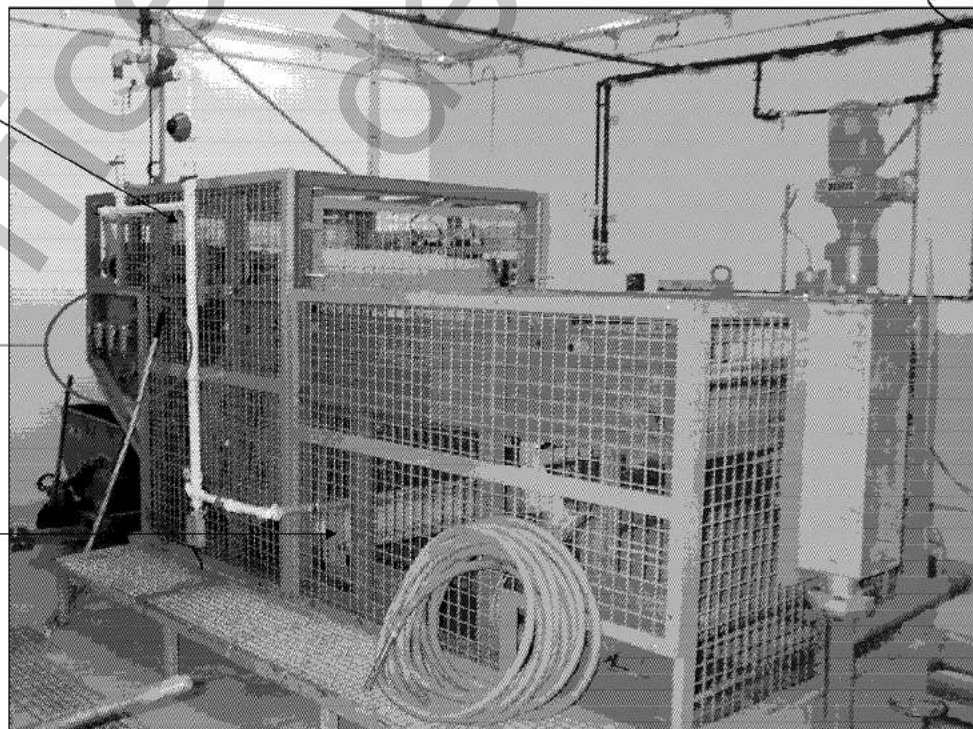
CARTER DE LAVAGE DES TOILES



Carter
supérieur

Pressostats

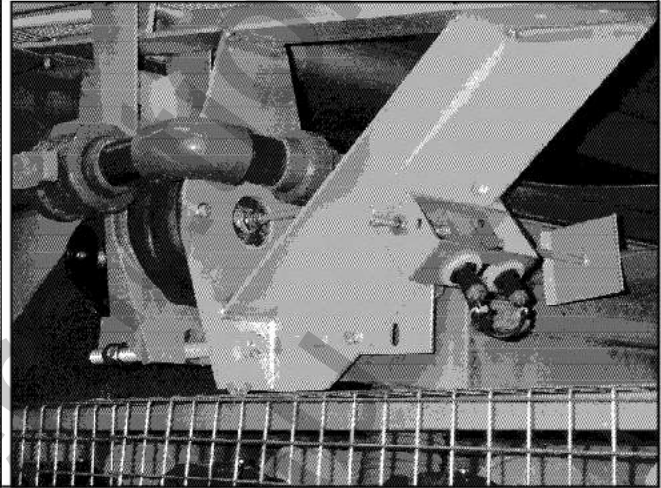
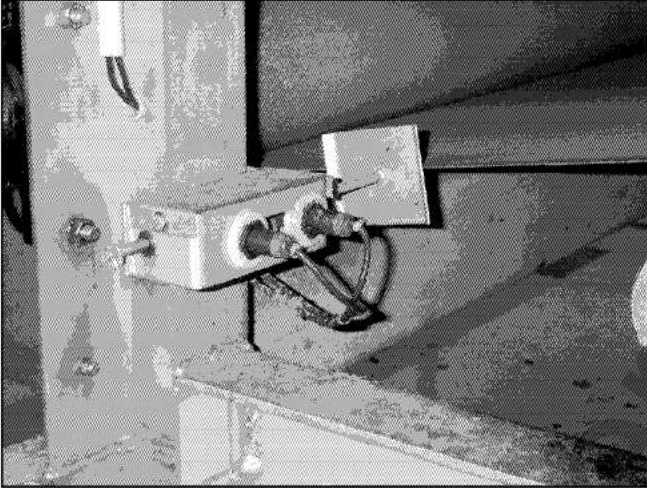
Carter
inférieur



CENTRAGE DES TOILES



- Guides plastiques
- Système pneumatique



LES REGLAGES...



- Débit d'alimentation en boues
- Choix du polymère
- Dosage du polymère (taux de conditionnement)
- Vitesse de rotation du flocculateur
- Point d'injection du polymère
- Débit d'eau de dilution
- Vitesse de défilement des toiles
- Tension des toiles (verrins pneumatiques)
- Hauteur du rouleau d'égouttage

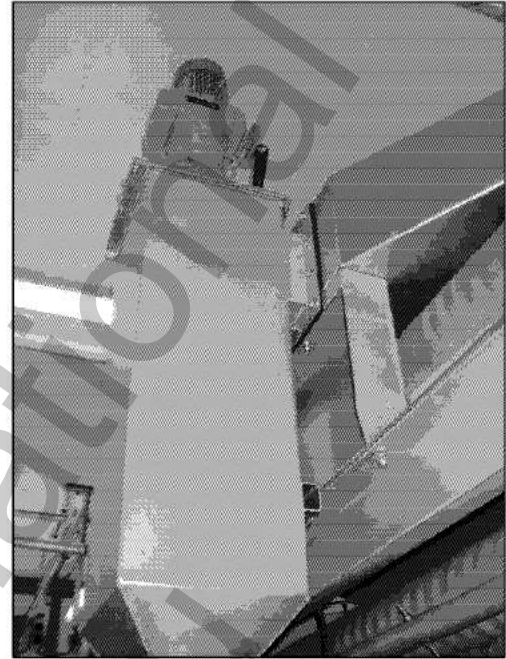
... pour des performances
accrues



Filtres à bandes presseuses

PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT

- Taux et qualité du conditionnement
- Régime de fonctionnement hydraulique et massique
- Paramètres machines :
 - ▢ Tension et vitesses d'avancement des toiles
 - ▢ Répartition de la boue sur la toile
 - ▢ Qualité du lavage des toiles
 - ▢ Régulation et guidage des toiles



Filtres à bandes Performances

		Boues primaires		Boues mixtes		Boues	Boues physico-chimiques		Dépenses énergétiques
		Sans digestion	Avec digestion	Sans digestion	Avec digestion	Aération prolongée	Taux < 50 mg/l FeCl ₃	Taux > 100 mg/l FeCl ₃	
Filtre à bande	Charge kg MS / ml / h Siccité Polymère	350 - 500 30 - 38 2 - 3	300 - 400 30 - 38 2 - 3	150 - 250 18 - 25 4 - 6	120 - 220 18 - 23 4 - 6	80 - 180 15 - 20 5 - 7	250 - 350 26 - 23 2 - 3	150 - 250 22 - 25 3 - 5	15 à 35 kwh / TMS

SOURCE : LYONNAISE DES EAUX

Rubrique	Boues	Boue primaire Boue chimique			Boue biologique faible Cm			Boue mixte fraîche			Boue digérée anaérobie		
		PB	MP	HP	PB	MP	HP	PB	MP	HP	PB	MP	HP
Consommables	Pression filtres Polymère kg m act./tMS	4			6			4			5		
	Eau lavage m ³ /m.h	8			8			8			8		
	Electricité kWh/tMS	30			40			40			40		
Performances	Siccité entrée %	8			4			5			3		
	Siccité finale %	22	27	30	14	17	18	18	23	26	18	23	26
	Filtrat mg MeS/l	500											

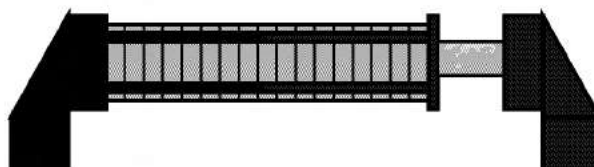
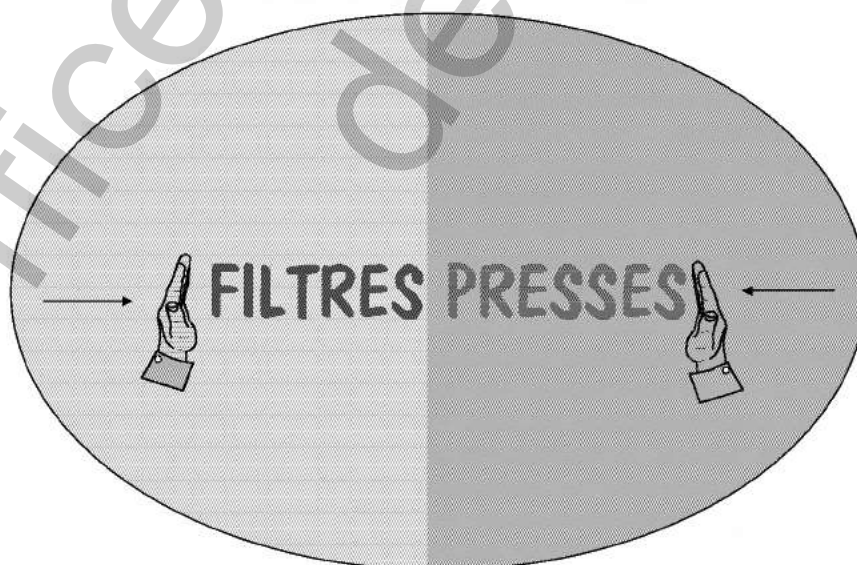
SOURCE : OTV

FILTRES A BANDES

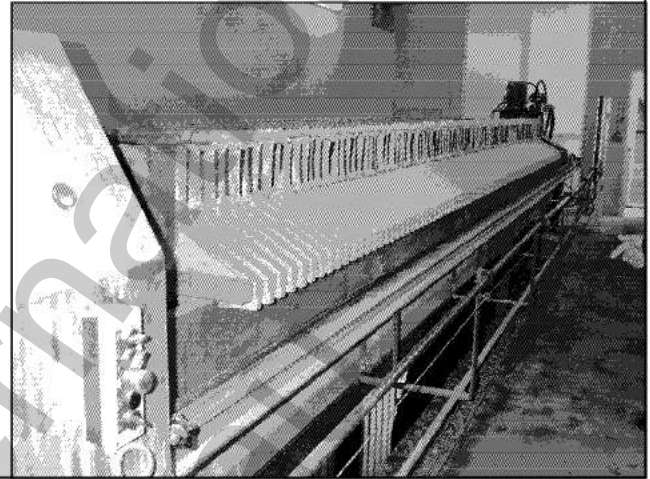
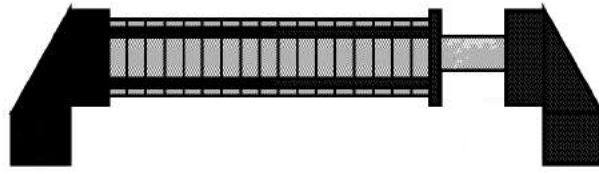
Critères de choix

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Large gamme d'utilisation • Fonctionnement continu à forte production • Faible consommation d'énergie • Machinerie simple autorisant l'entretien et le démarrage par l'exploitant • Bonne vision en général du déroulement des phases de la déshydratation 	<ul style="list-style-type: none"> • Siccité souvent inférieure à 30 % : non admissible en décharge • Forte consommation d'eau de lavage • Dispositif relativement encombrant et non confiné : <ul style="list-style-type: none"> . atmosphère humide . équipement de ventilation approprié • Très sensible aux variations de qualité de la boue (notamment sa fraîcheur) : impact sur le fluage et le colmatage des toiles • Dispositif nécessitant la présence du personnel "en pointillé" (pour surveillance et lavage)

DESHYDRATATION



DESHYDRATATION PAR FILTRE PRESSE



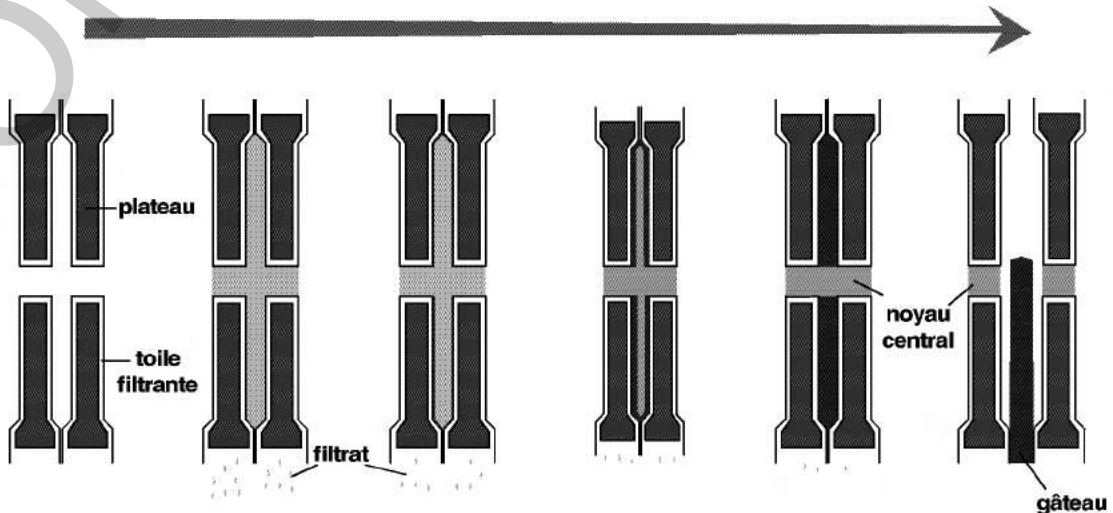
5

FILTRE PRESSE

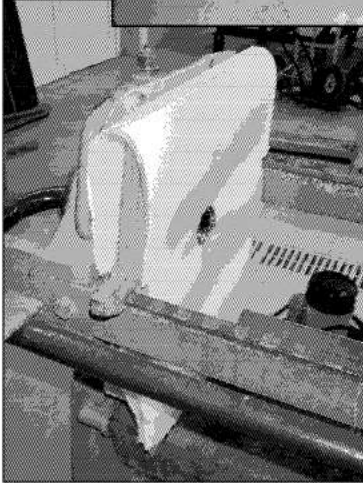
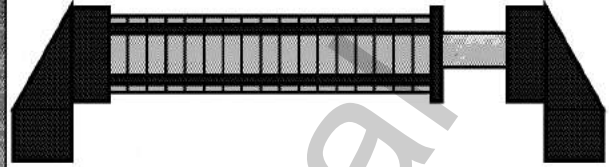
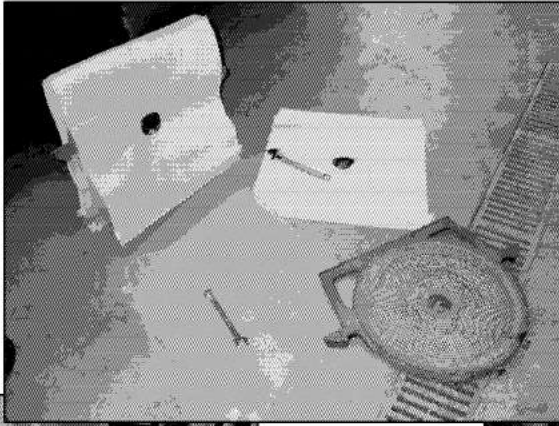
PRINCIPE

	BATISSAGE	REPLISSAGE	FILTRATION			DEBATISSAGE
DUREE	(1 mn)	(5 à 10 mn)	(60 à 360 mn)			(20 à 30 mn)

PRESSION	↓	↓	↙	↘	↗	↓
----------	---	---	---	---	---	---

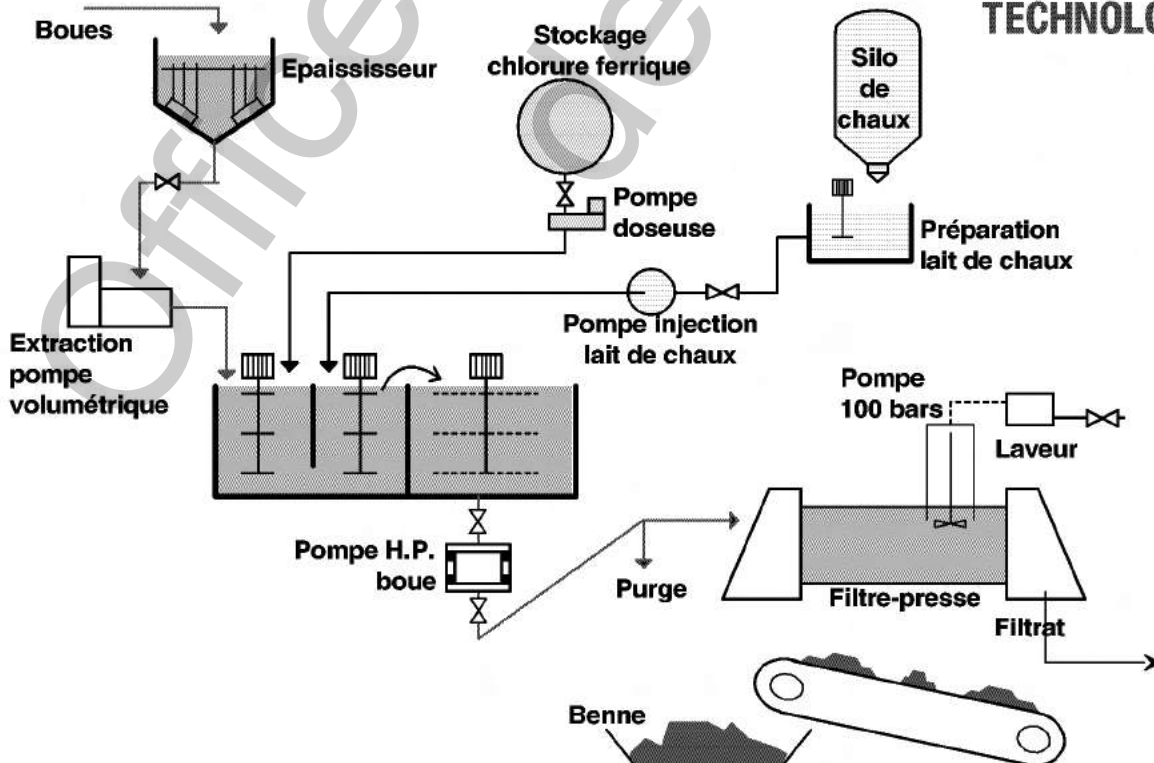


DESHYDRATATION PAR FILTRE PRESSE

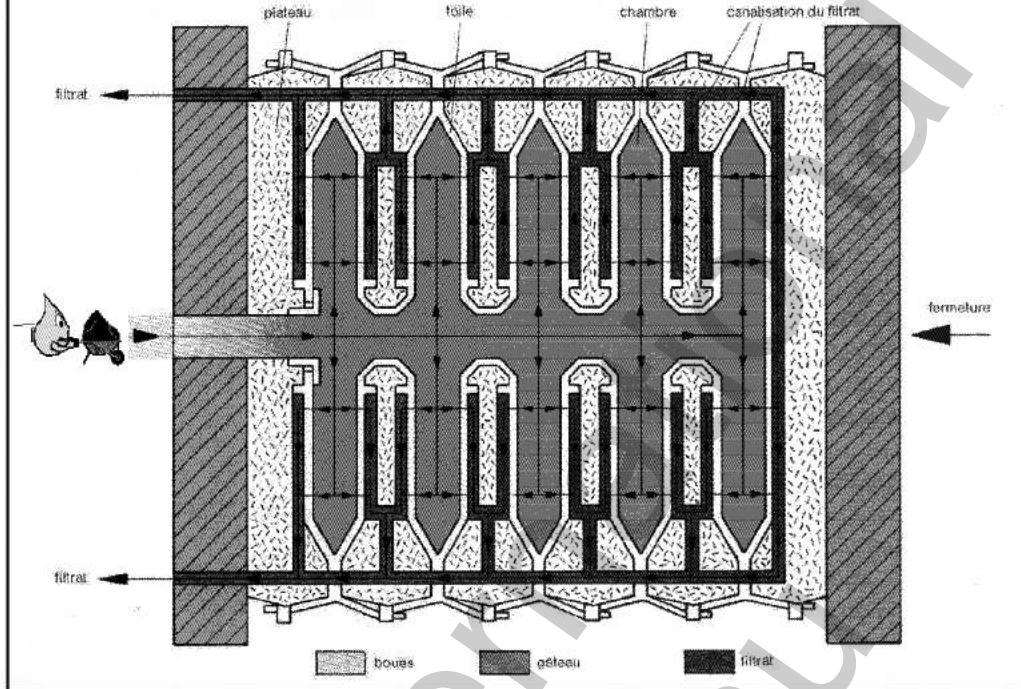


FILTRE PRESSE

TECHNOLOGIE

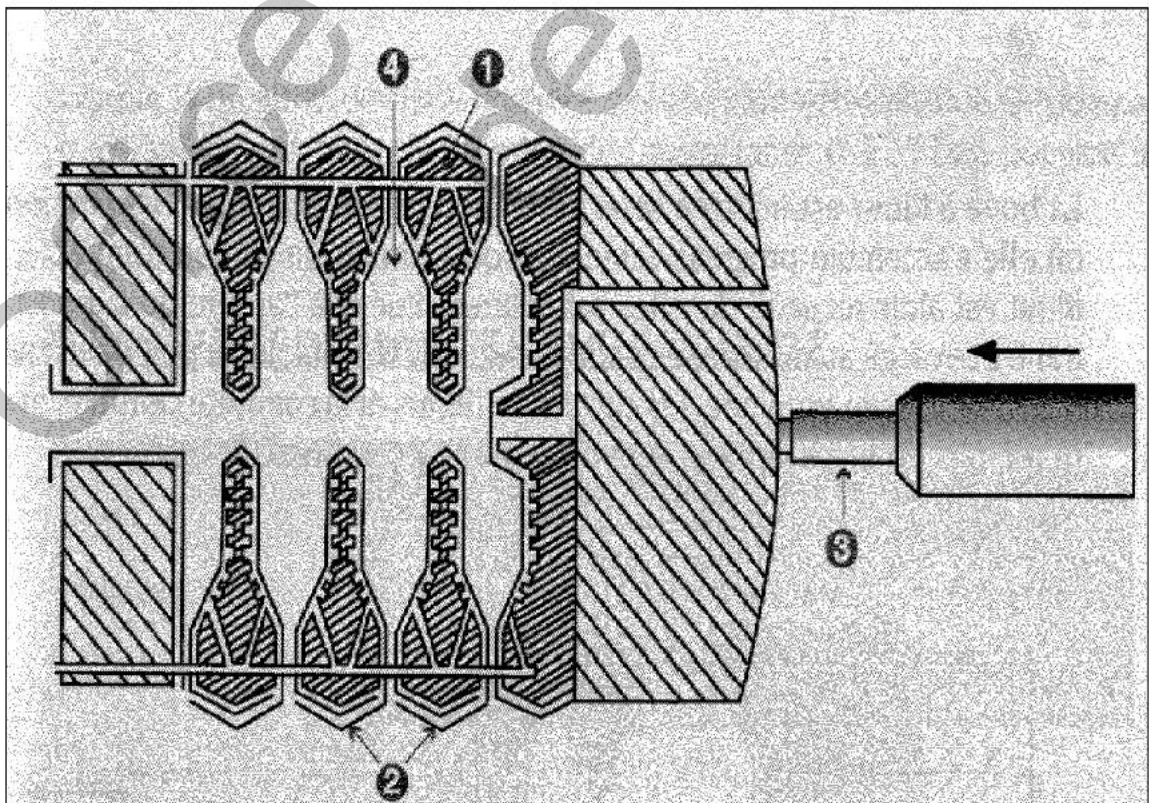


Représentation schématique de la formation du gâteau dans un filtre-pressé à chambres

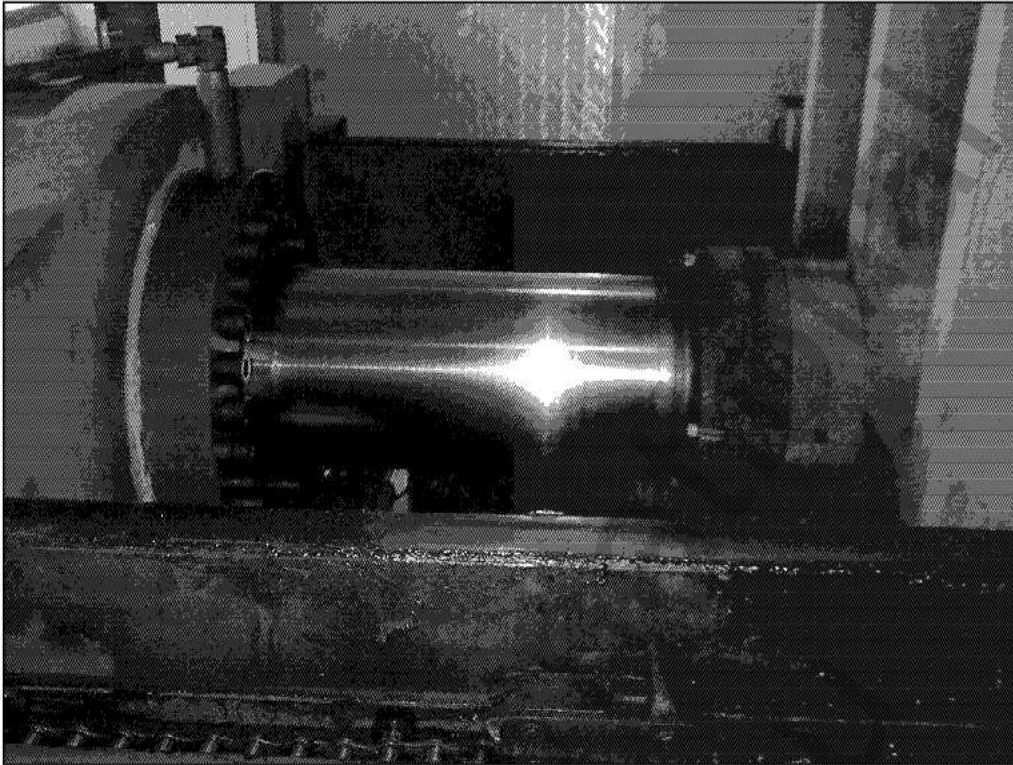


5

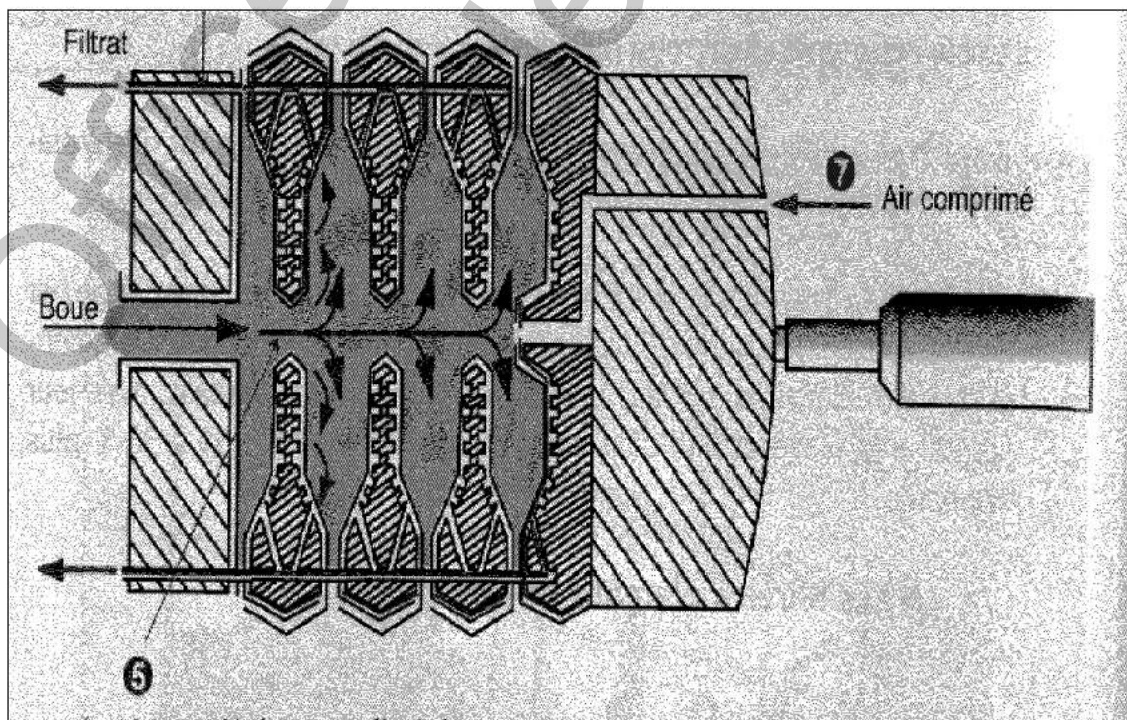
BATISSAGE



BATISSAGE



REPLISSAGE SOUS PRESSION DESHYDRATATION

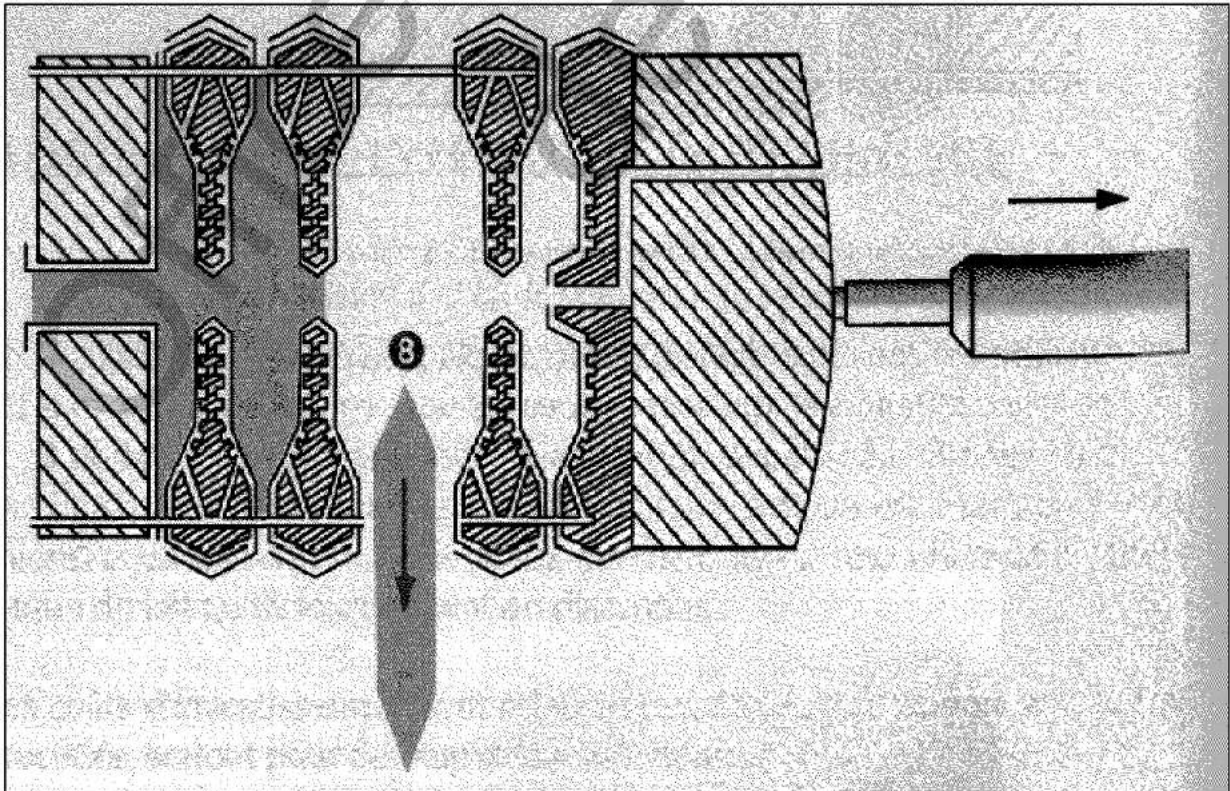


REPLISSAGE SOUS PRESSION DESHYDRATATION



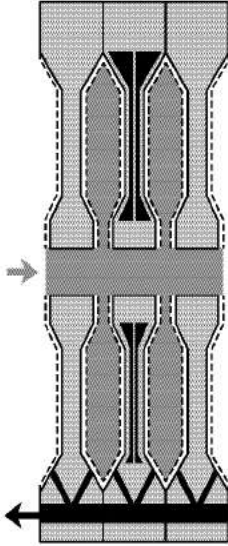
5

DEBATISSAGE

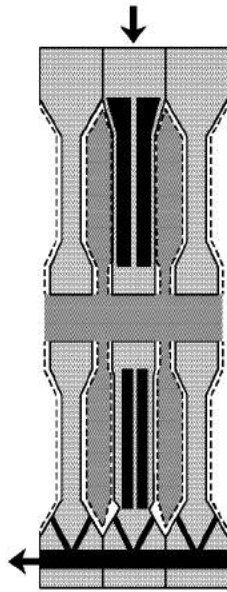


PRINCIPE DU FILTRE-PRESSE A PLATEAUX MEMBRANES

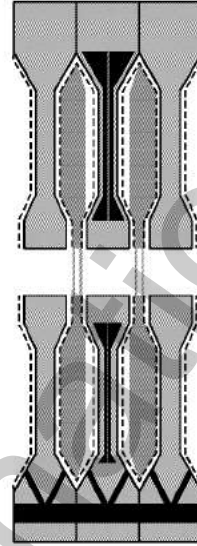
1
CYCLE DE FILTRATION



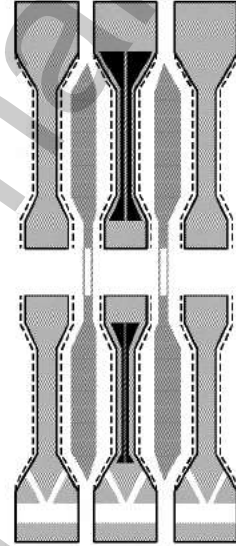
2
COMPACTAGE



3
DECOMPACTAGE



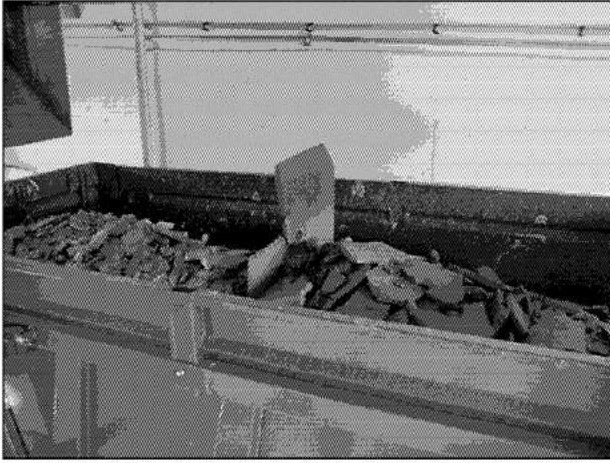
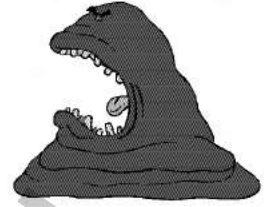
4
DEBATISSAGE



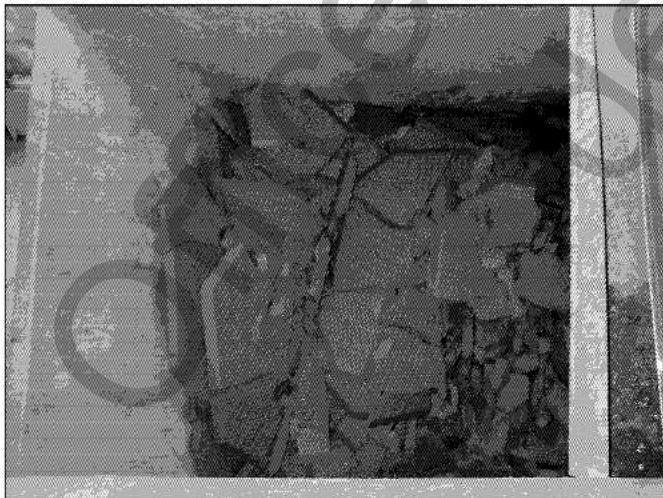
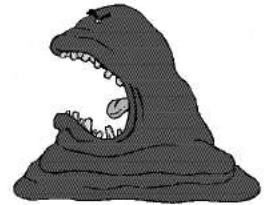
DEBATISSAGE



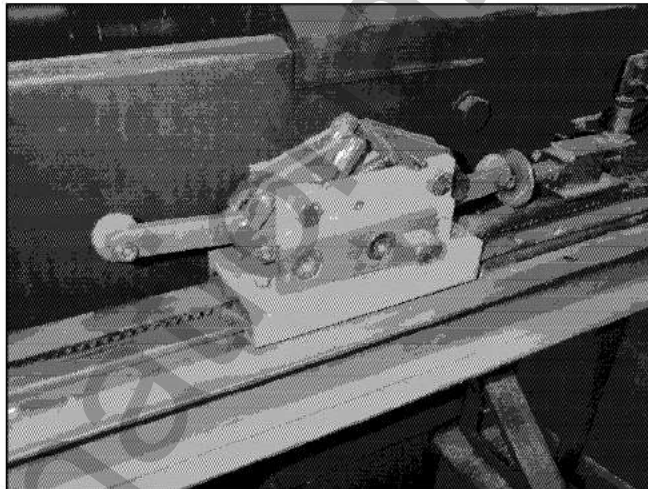
BOUES DESHYDRATEES



BOUES DESHYDRATEES

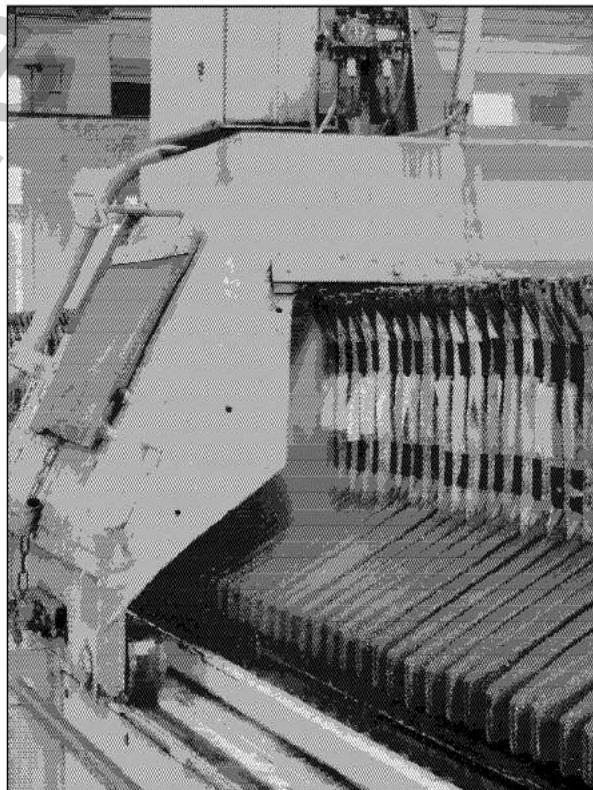
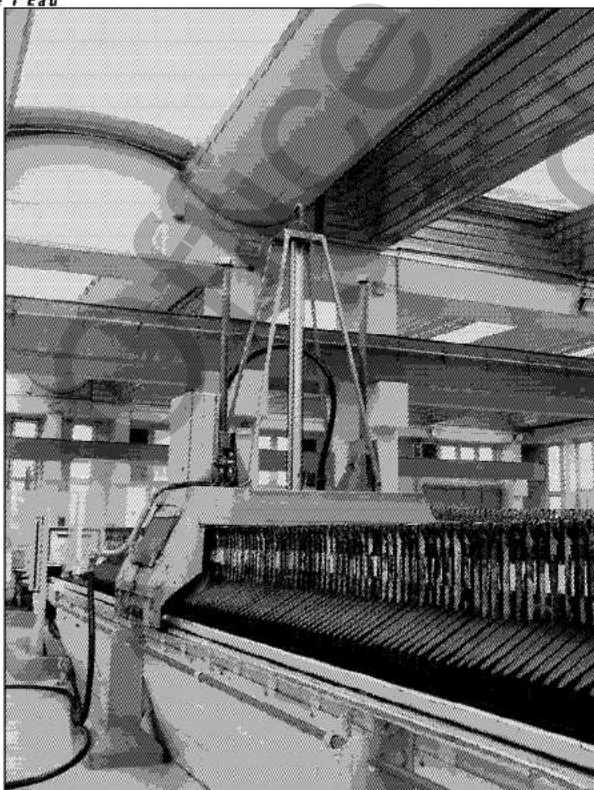


DEBATISSAGE AUTOMATIQUE

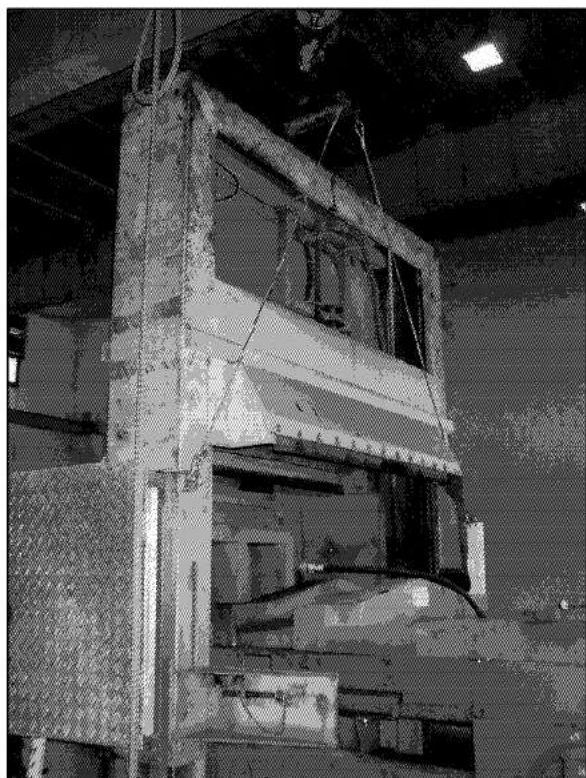


Chariots débâtitseurs

NETTOYAGE AUTOMATIQUE



NETTOYAGE AUTOMATIQUE



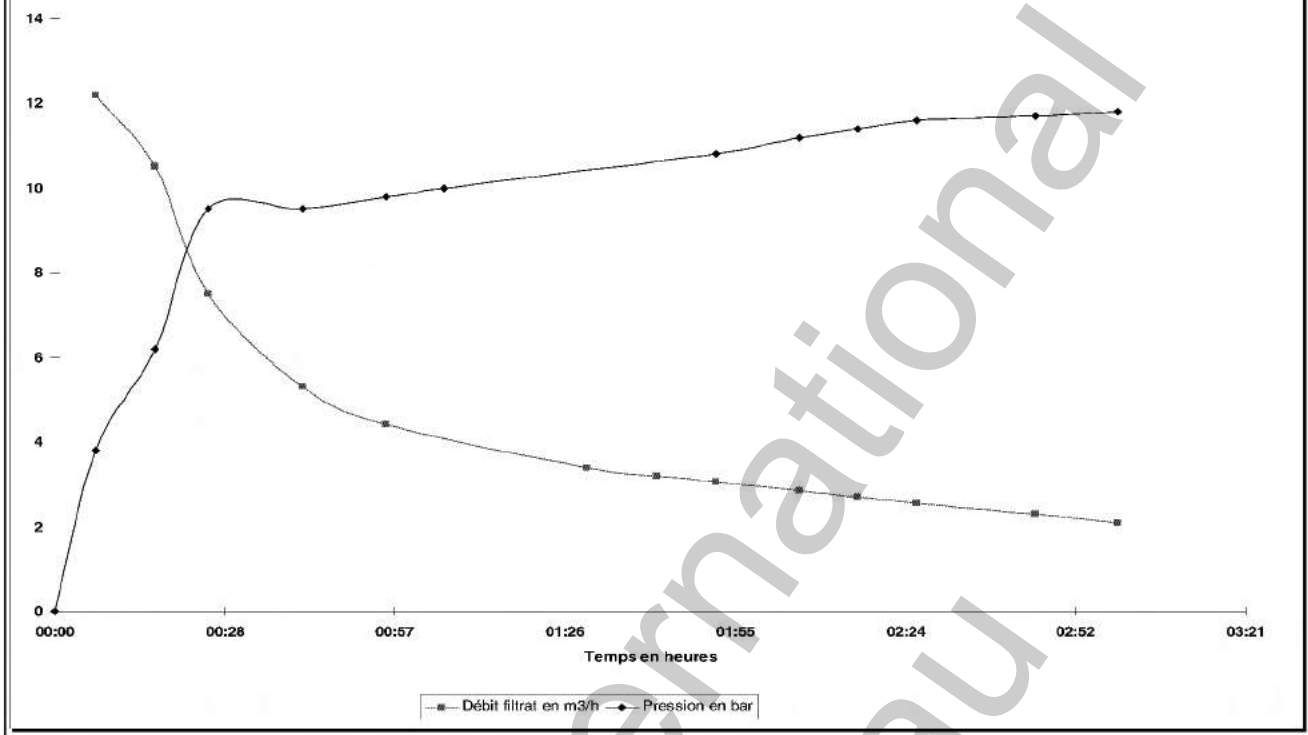
5

SECURITE

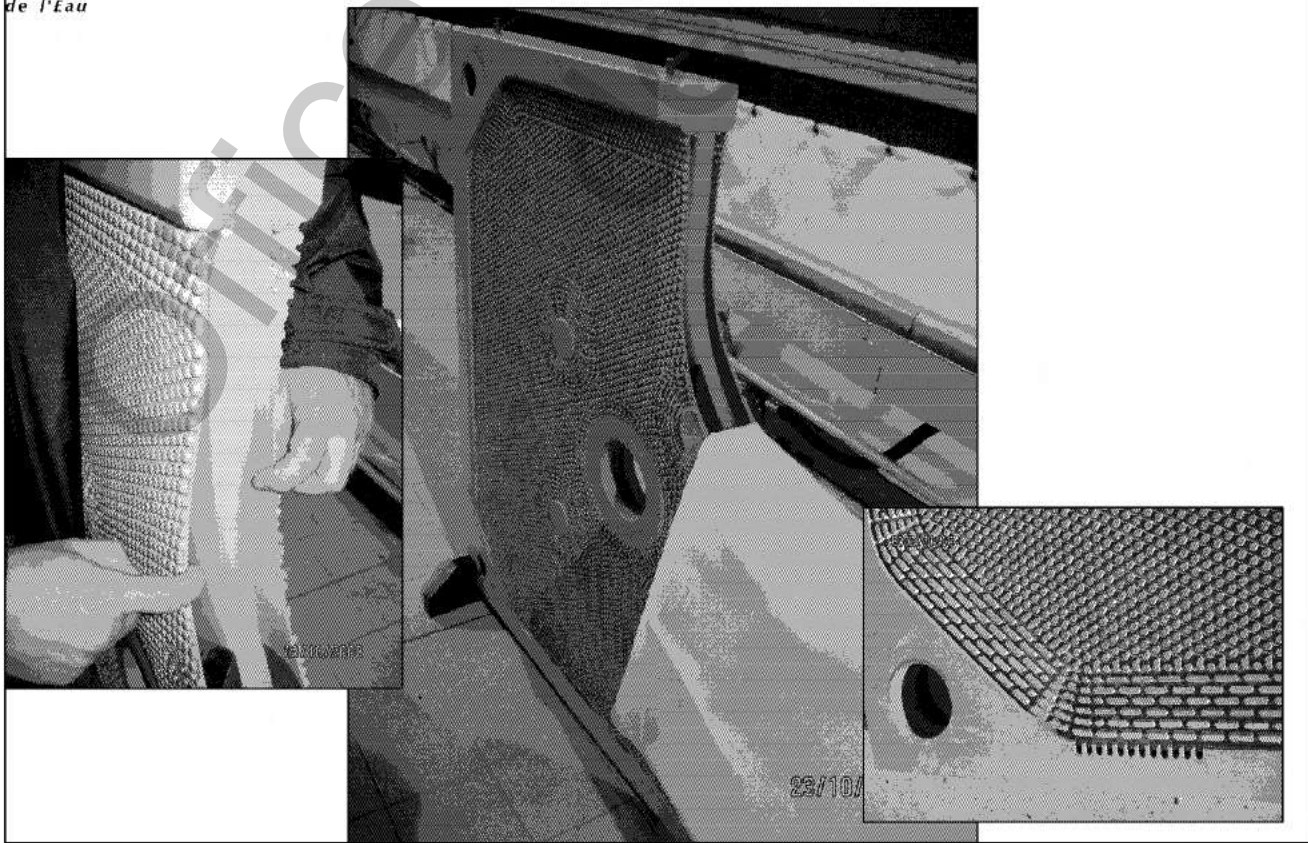


Panneau optique de sécurité

SUIVI PRESSEE



PLATEAU À MEMBRANES



PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT

- Taux et qualité du conditionnement
- Choix des toiles : En rapport avec les boues à traiter et le type de conditionnement
- Paramètres machines :
 - ▣ Pompe d'alimentation
 - ▣ Homogénéité de l'alimentation
 - ▣ Montée en pression et évolution de la pression



Filtre presse Performances

Filtre presse	Charge kg MS m ² / h	Boues primaires		Boues mixtes		Boues Aération prolongée	Boues physico-chimiques		Dépenses énergétiques
		Sans digestion	Avec digestion	Sans digestion	Avec digestion		Taux < 50 mg/l FeCl ₃	Taux > 100 mg/l FeCl ₃	
		Siccité	40 à 45	40 à 45	35 - 40	35 - 40	33 - 38	40 - 45	
	FeCl ₃	3	4	5 à 7	6 - 7	6 - 8	2	3	
	Ca(OH) ²	15	15	20 - 30	20 - 30	25 - 35	15	20 - 25	

SOURCE : LYONNAISE DES EAUX

Rubrique	Boues	Boue primaire Boue φ-chimique		Boue biologique faible Cm		Boue mixte fraîche		Boue digérée anaérobie									
		Plateaux	Membran	Plateaux	Membran	Plateaux	Membran	Plateaux	Membran								
Filtres Consommables	Type		6		6		9		9		6		6				
	Polymère kg/TMS																
	FeCl ₃ % / MS	3		3		9		9		5		5		6		6	
	Ca(OH) ₂ % / MS	20		20		28		28		19		19		22		22	
Performances	Electricité kWh/tMS	30	30	40	40	30	30	40	40	30	30	40	40	30	30	40	40
	Siccité entrée %	8				4				5				3			
	Siccité finale %	40	35	46	41	32	28	36	32	37	31	42	36	38	31	43	36
	Filtrat mg MeS/l	300															

SOURCE OTV

FILTRES PRESSES

Critères de choix

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">● Siccité élevée des boues (supérieures à 30 %)● auto-combustible● admissible en décharge● Boues gerbables : stockage facilité● Procédé fiable produisant une clarification excellente● Consommation d'énergie modérée	<ul style="list-style-type: none">● Procédé discontinu● Surveillance quasi-obligatoire du débatissage● Dispositif très encombrant :<ul style="list-style-type: none">· bâtiment à deux étages· ventilation appropriée· coût d'investissement plus élevé

Office International de l'Eau



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

LES POST-TRAITEMENTS

Compostage
Séchage thermique

6





OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

LE COMPOSTAGE

6

Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.
Office International de l'Eau

DFRICNMENT \LOGISTUTILISATNUEPEDAGOSOMMAIRE EDF.DOC.19/06/03



5 RAISONS PRINCIPALES



- 1/ STABILISATION DE LA MO (Limitation des mauvaises odeurs)
- 2/ HYGIENISATION DU COMPOST (Réduction des germes pathogènes)
- 3/ ELIMINATION DE L'EAU (Stabilité finale comprise entre 50 et 70%)
- 4/ AMELIORATION DE LA VALEUR AGRONOMIQUE
- 5/ AMELIORATION DE L'ASPECT DU RESIDU (Stockage, Manutention)

LE COMPOSTAGE DES BOUES DE STEP

AMELIORATION DE L'ASPECT DU PRODUIT

LE PRODUIT EST MIEUX ACCEPTE CAR :

ASPECT
STRUCTURE
ODEUR
HYGIENE

DIFFERENTS DE CEUX
DES BOUES





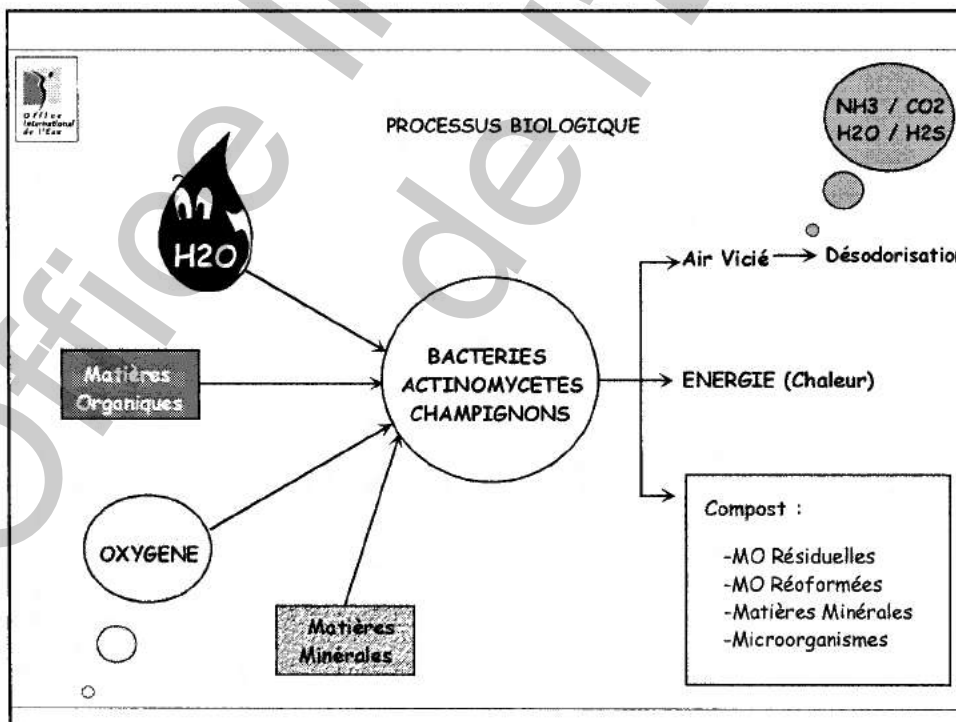
Principe du Compostage

Créer un mélange homogène composé de :

- De matières organiques fermentescibles (Boues de STEP, OM, ...)
- D'un agent structurant (Ecorce, copeaux, paille, sciure, plastique)
- Eventuellement d'un support carboné
- De différentes populations de microorganismes

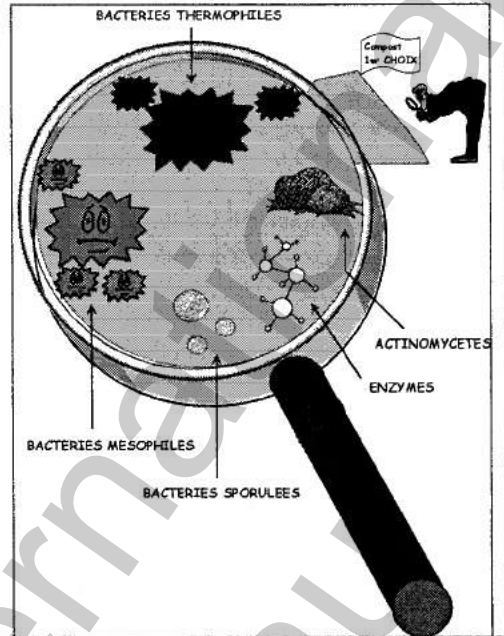
Permettre les réactions de dégradation de la M.O. en :

- Assurant une aération du compost (forcée, par retournement, ...)
- Controlant les paramètres de suivi (pH, Humidité, C/N, humidité)



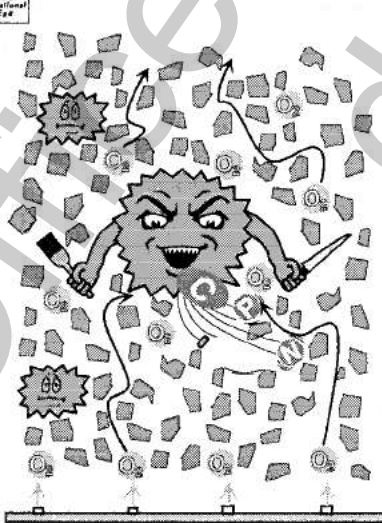
Le Compostage DES BOUES

- ▣ Mélange à composter
- ▣ Différentes populations de microorganismes
- ▣ 4 phases principales
- ▣ Synergie de population
- ▣ Temps de compostage

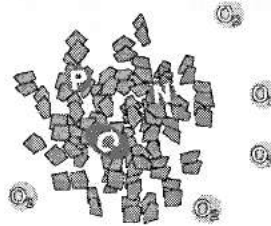


Exemple de pré-requis au compostage des boues

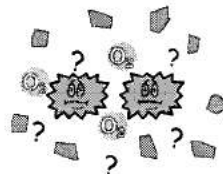
COMPOSTAGE LA POROSITE DU MELANGE



Bonne porosité (30 à 40%) = bonne aération

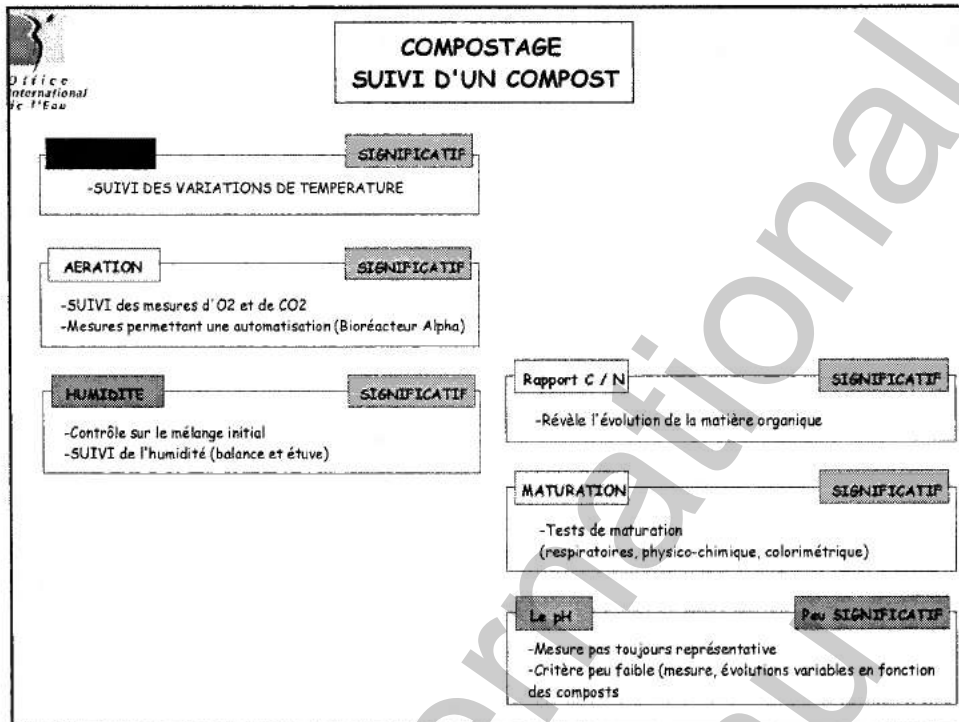


Une faible porosité = problème d'aération

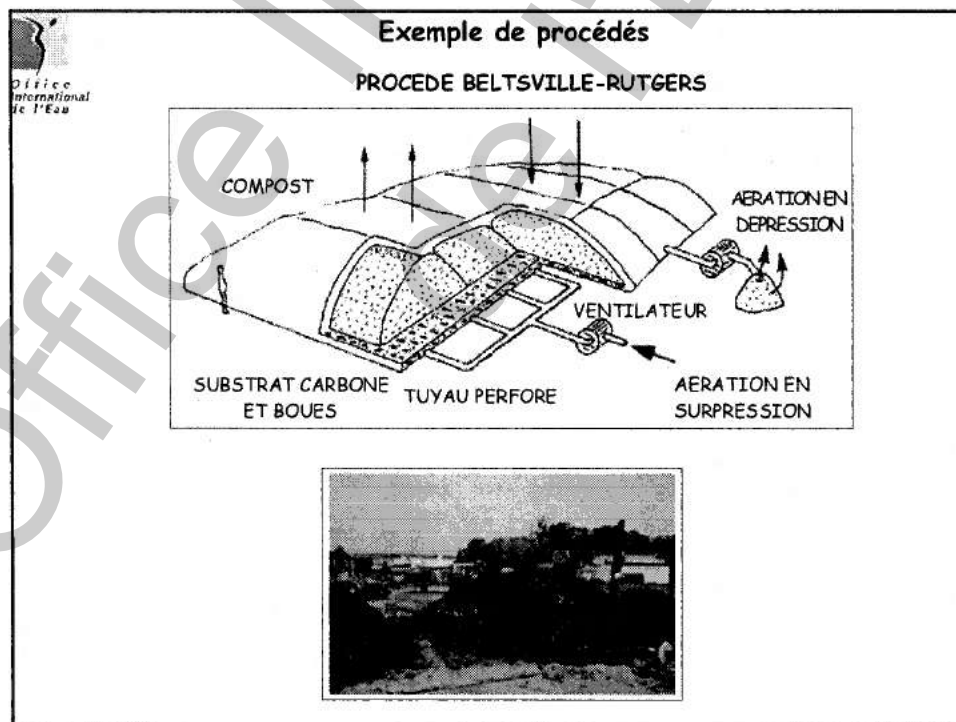


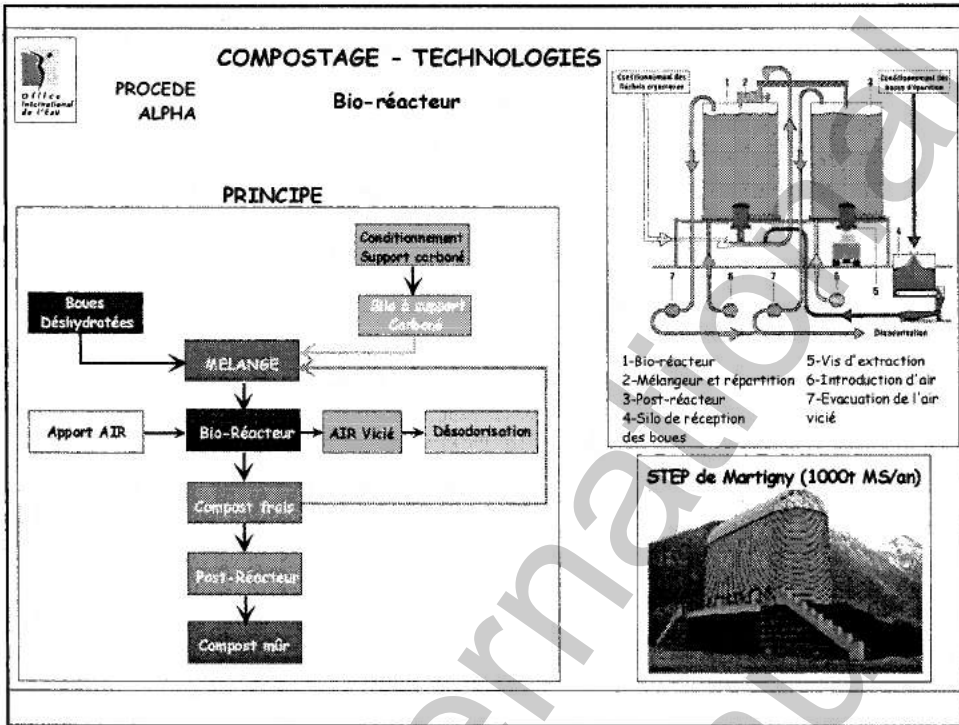
Une forte porosité = faible contact entre :

C/N/P/K et microorganismes



6





Office International de l'Eau

Avantages du composte sur les boues

<p>STABILISATION DE LA M.O. (Limitation des nuisances olfactives)</p> <p>HYGIENISATION POUSSÉE (Germe pathogènes, graines d'adventices)</p> <p>TEXTURE SEMI-SECHES (Amélioration du stockage, de la manutention, ...)</p> <p>BONNE SICCITE FINALE (Comprise entre 40% (Andains) et 70% (Aération forcée))</p>	<p>PRODUIT MIEUX ADAPTE A L'EPANDAGE (Qualité agronomique, revégétalisation des sols)</p> <p>AMELIORATION DE "L'IMAGE DE MARQUE" (Produit mieux accepté)</p> <p>FORT POTENTIEL D'USAGE (Valorisation agricole, revégétalisation, espaces verts, horticulture, arboriculture, sylviculture, ...)</p>
---	--



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

LE SECHAGE THERMIQUE



6



Office International
de l'Eau

Le SECHAGE THERMIQUE DES BOUES

Office International de l'Eau

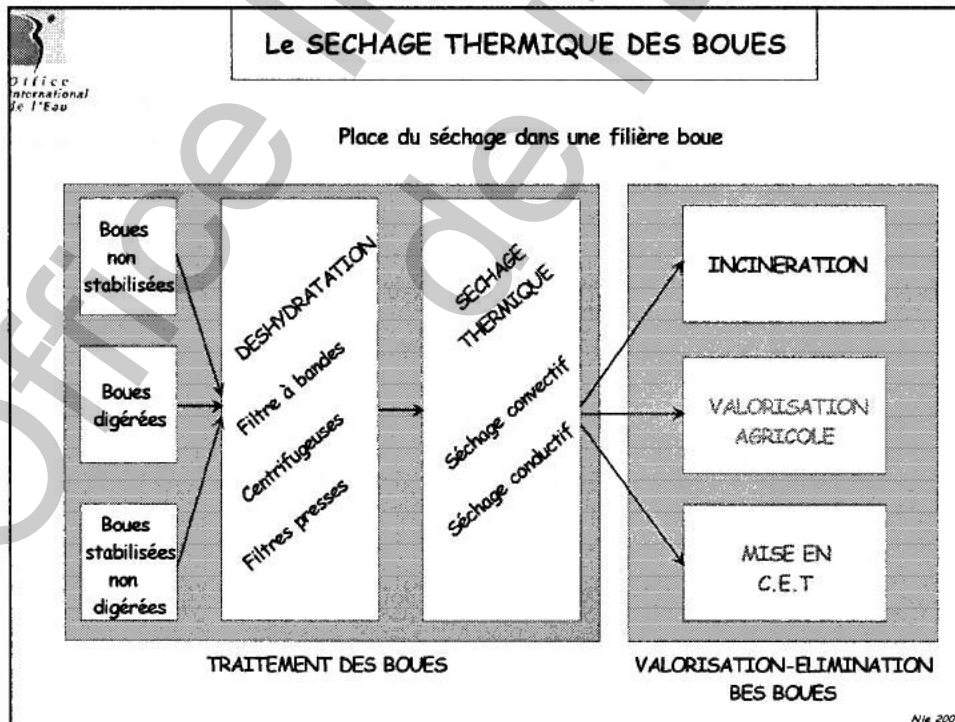
OBJECTIFS :

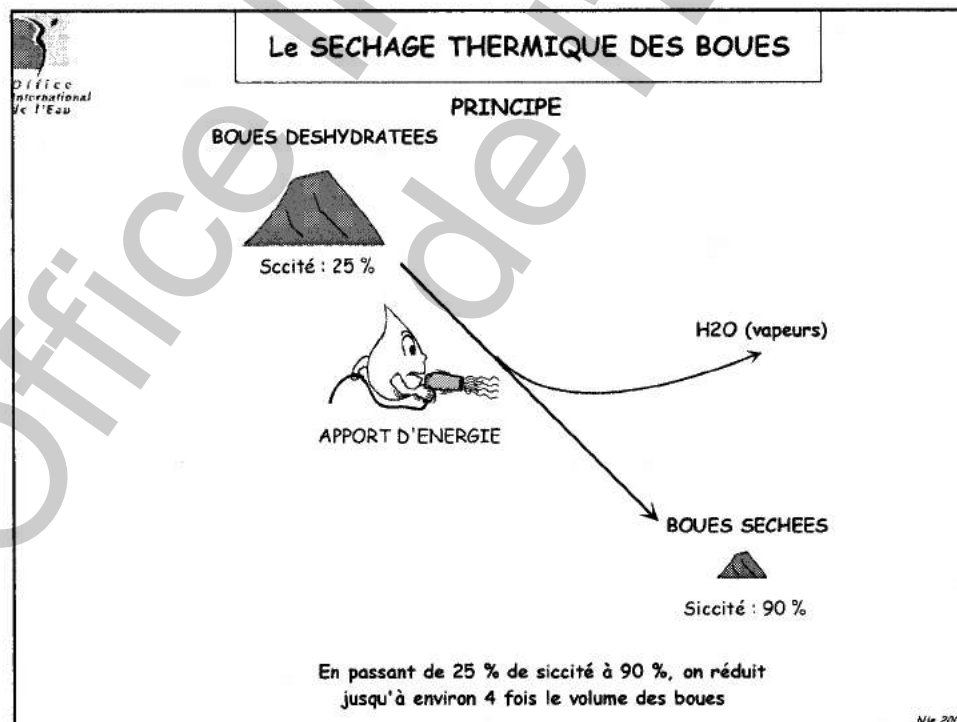
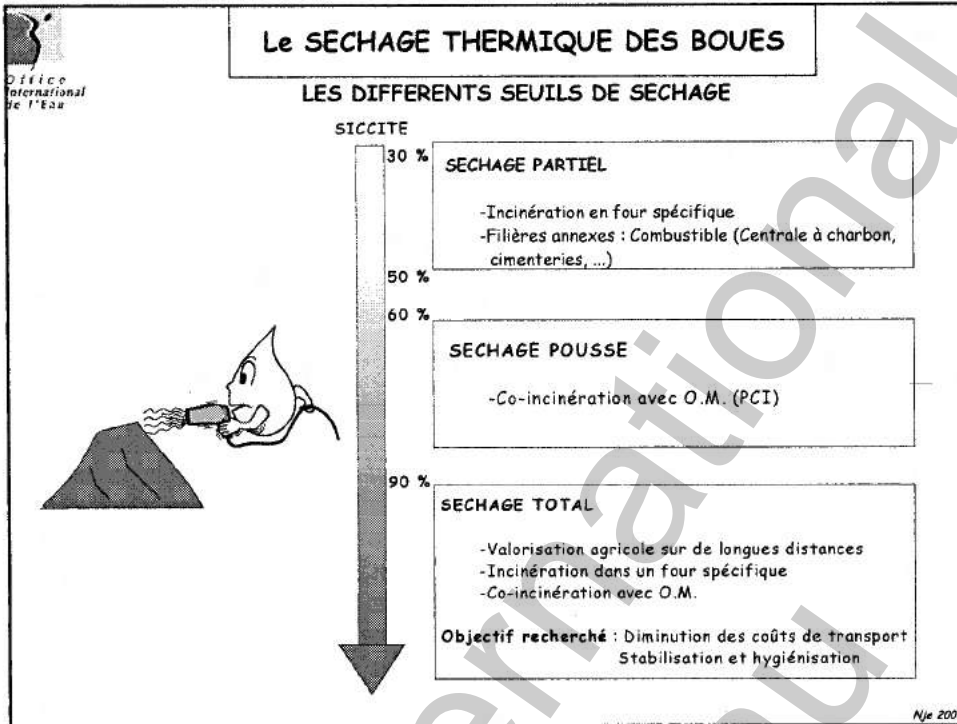
- Réduction du poids et des volumes** → Gains de siccité
- Transformation des boues en un produit qui peut être fini : Granulés, bâtonnets, briquettes, ...** → - Amélioration de l'image des boues
- Adaptation pour la valorisation finale
- Hygiénisation de la boue (sous certaines conditions)** → - Destruction des germes
- Blocage de la fermentation
- Diminution de l'humidité de la boue** → Augmentation de l'autocombustibilité

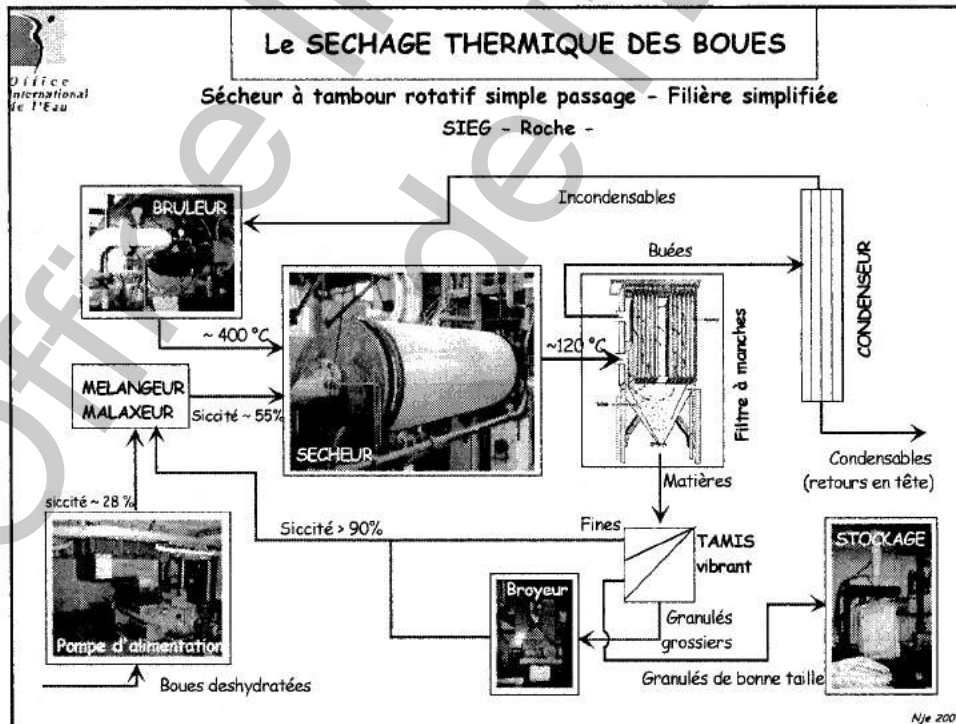
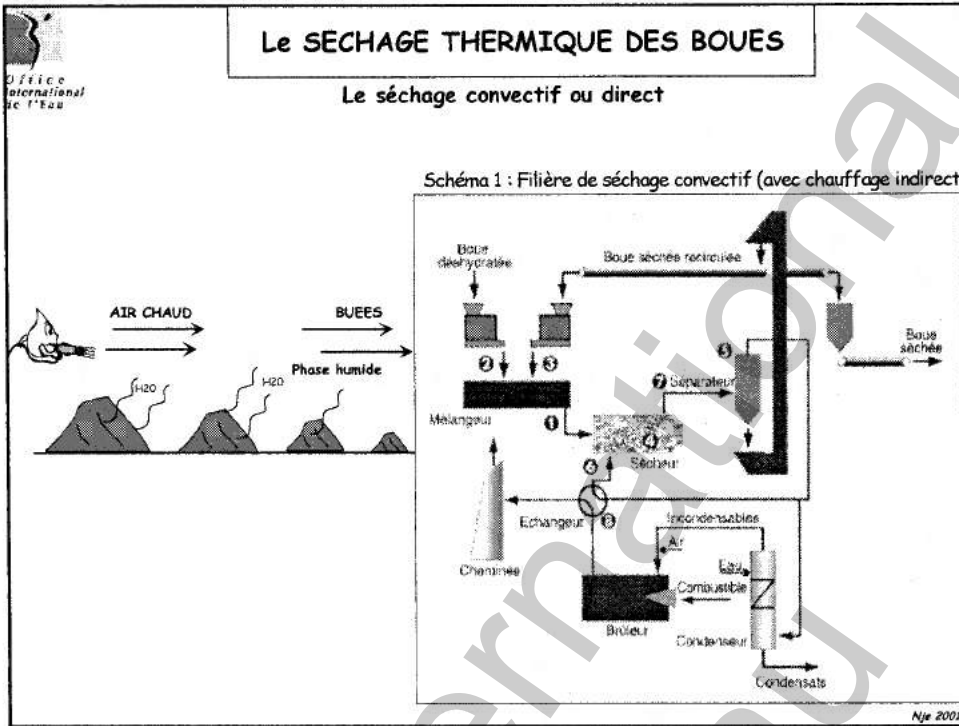
Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau
17005 LIMOGES cedex
FRANCE
tél. 05 85 11 42 20
fax. 05 85 11 42 01
internet : http://www.cneau.org
e-mail : cneau@ceau.fr

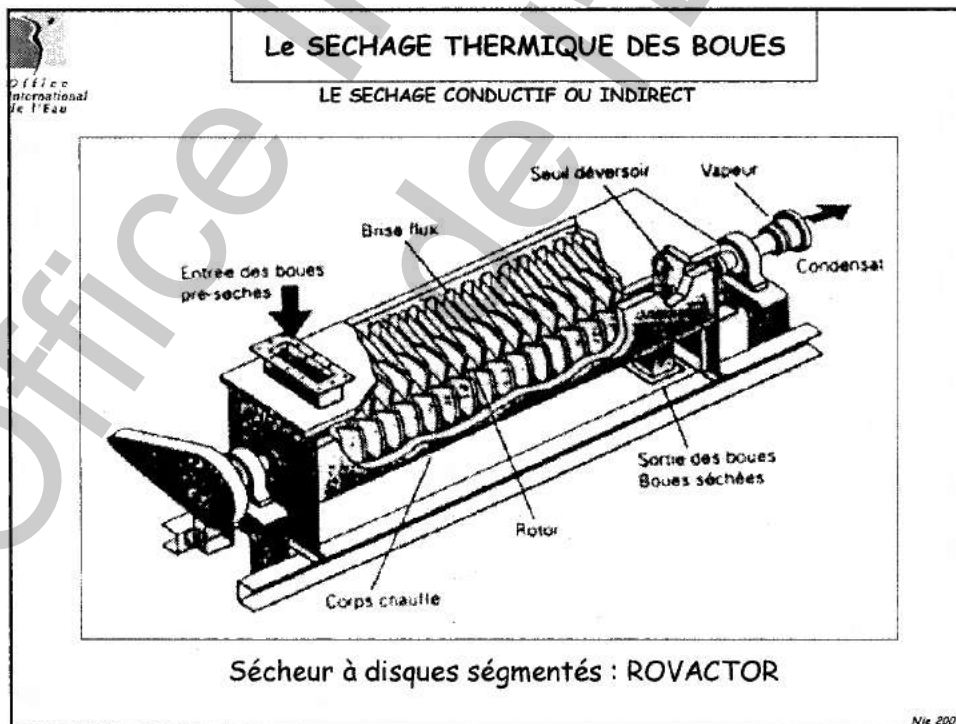
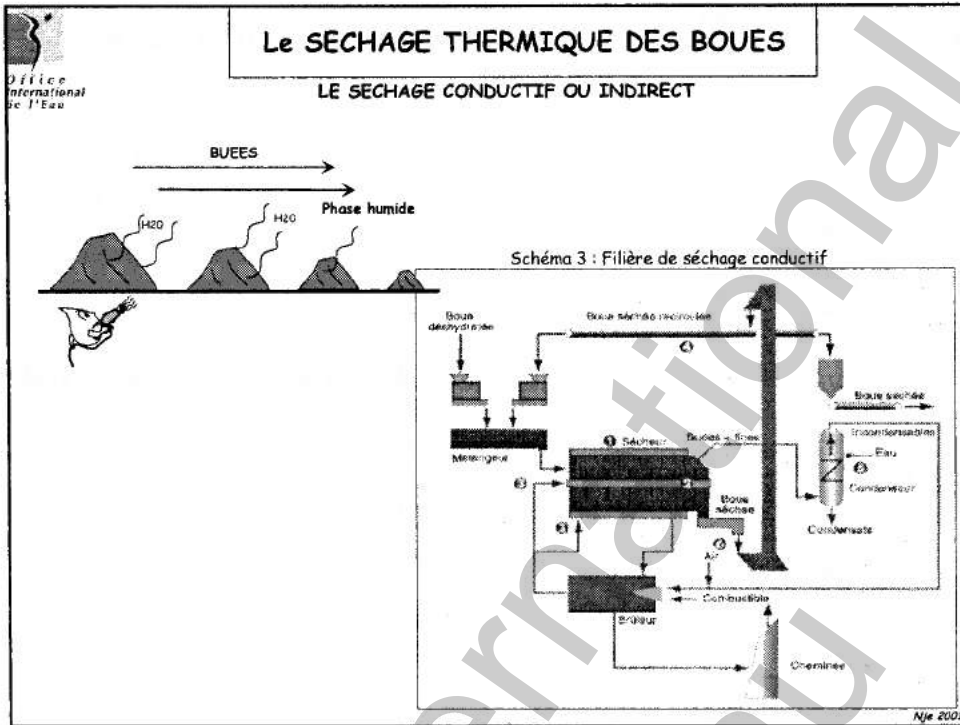
Nje 2001

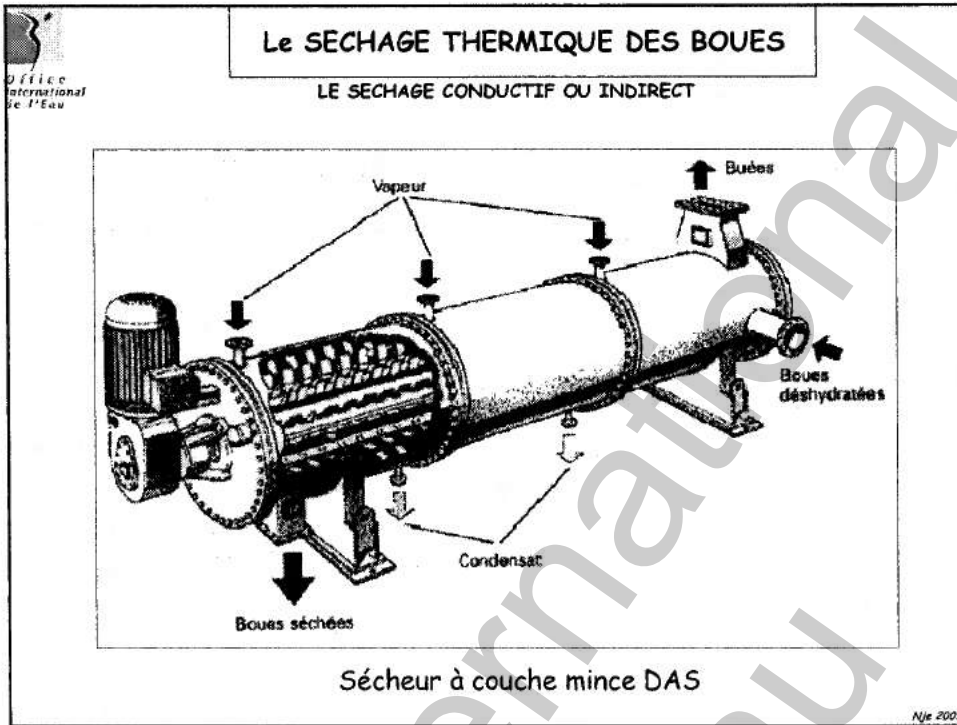
6



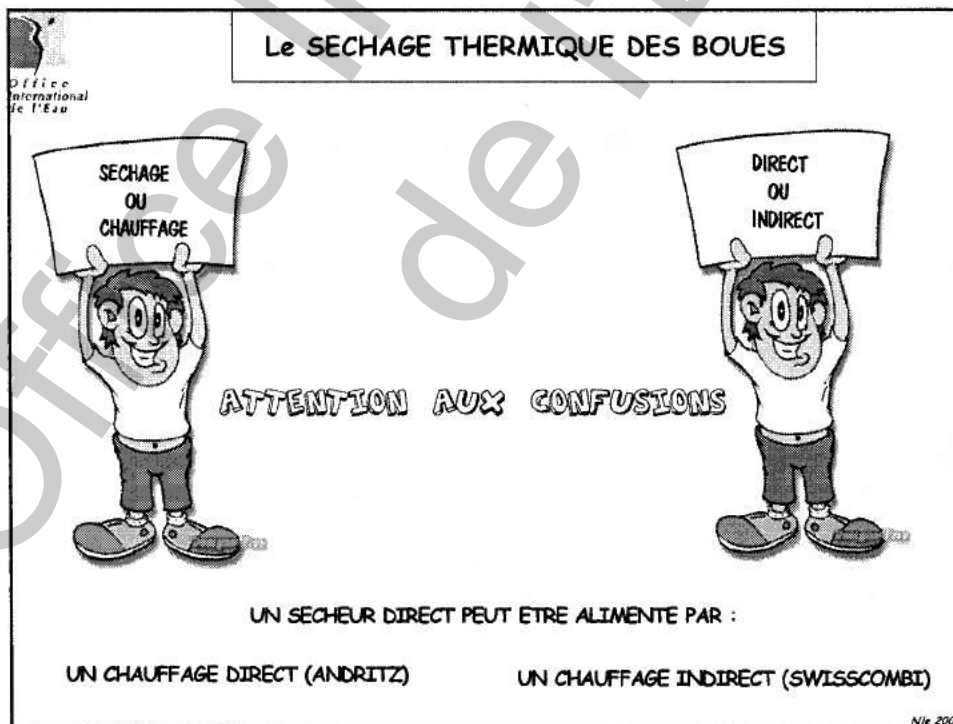








6



5

Office International de l'Eau

Le SECHAGE THERMIQUE DES BOUES

	Avantages	Inconvénients
Sécheur convectif	<ul style="list-style-type: none"> • Forte capacité évaporatoire • Appareil de technologie simple • Granulation plus aisée de la boue • Faible temps de séjour de la boue dans le sécheur • Nombreux points de contact entre la boue et l'air de séchage permettant un séchage doux (température de séchage plus basse) 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipements périphériques (traitement des vapeurs, poussières...) sophistiqués (coût important) et volumineux • Volume important de buées • Volume malodorant important • Plus sensible à la nature des boues • Mise en régime plus lente • Fonctionnement plus bruyant • Pertes calorifiques plus importantes

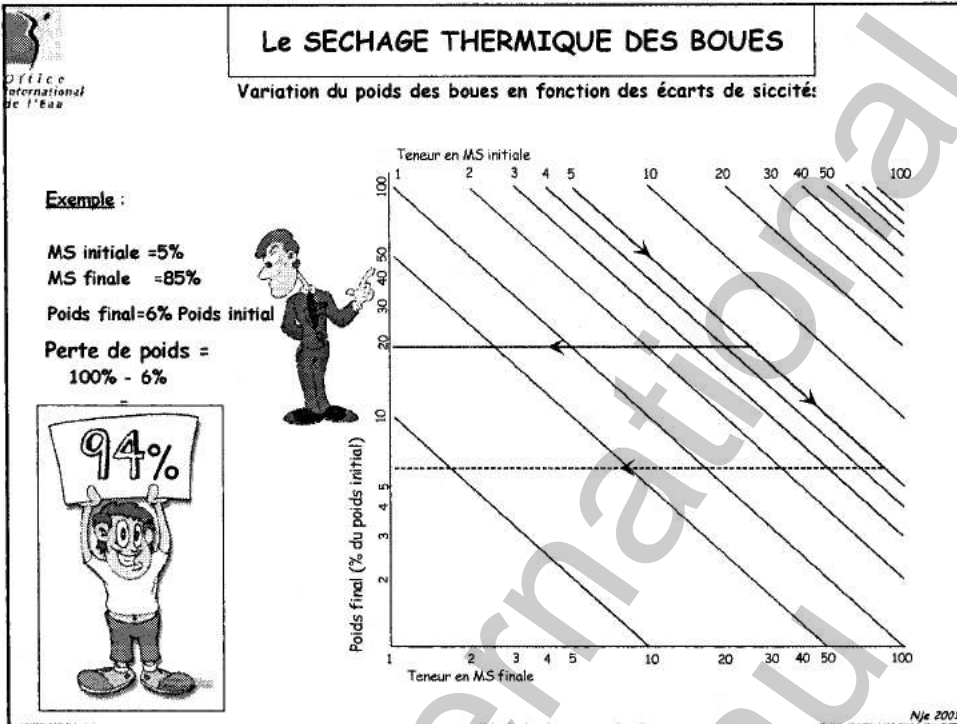
Nje 2001

Office International de l'Eau

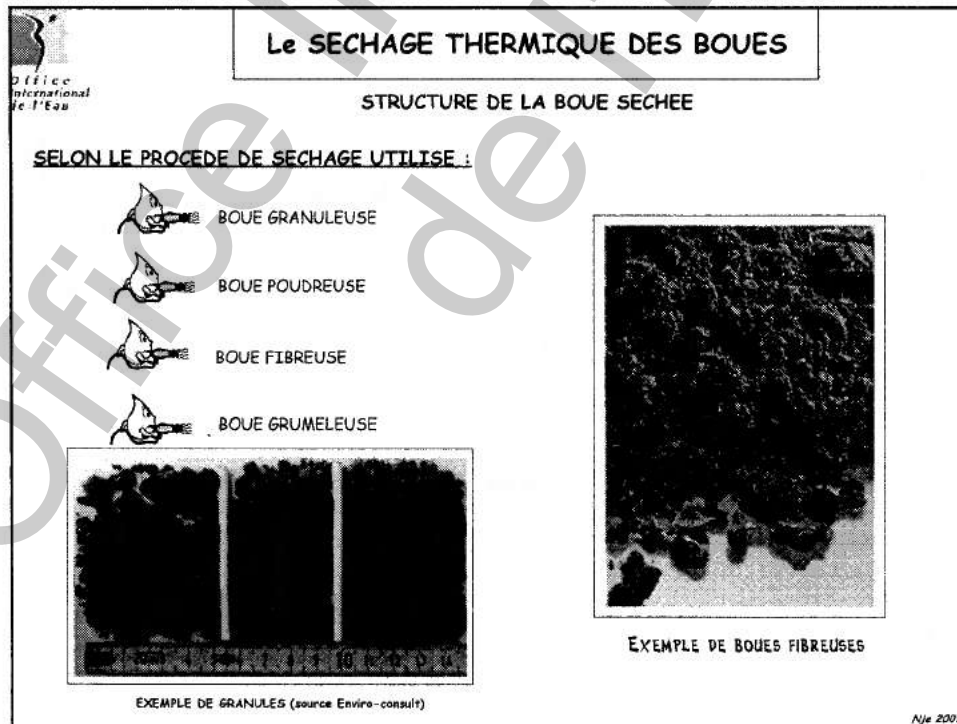
Le SECHAGE THERMIQUE DES BOUES

	Avantages	Inconvénients
Sécheur conductif	<ul style="list-style-type: none"> • Equipements périphériques simples • Facilement sécurisable • Peu de nuisance olfactive (faible production de buées) • Buées riches en eau (facilement condensable pour récupérer de l'énergie) • Buées peu poussiéreuses • Peu d'incondensables • Unité compacte • Fonctionnement moins bruyant • Haute performance en terme de siccité 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécheur sophistiqué • Capacité évaporatoire limitée • Fort temps de séjour (généralement) • Peut-être soumis à la réglementation des équipements à pression de vapeur (CODAP) • Points de contact entre boue et chaleur limités • Risque plus important de collage des boues sur les parois d'échange

Nje 2001



6



7

Le SECHAGE THERMIQUE DES BOUES

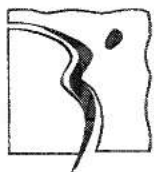


Avantages

- Forte réduction de volume
- Faible humidité des boues séchées :
 - Facilités de stockage, de manipulation
 - Bloquage des processus de fermentation
- Hygiénisation : destruction des germes sous certaines conditions
- Possibilité d'augmenter l'autocombustibilité des boues (incinération)

Inconvénients

- Coûts d'investissement et d'exploitation élevés
- Peu adapté au contexte des petites collectivités
- Etape du traitement des boues et non une valorisation finale
- Technologie complexe : fiabilité du fonctionnement ?



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

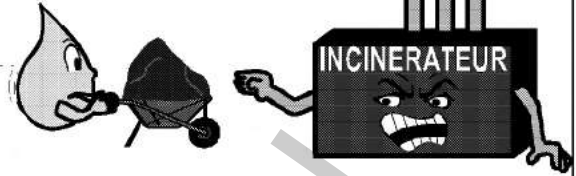
INCINERATION

7



LA VALORISATION THERMIQUE

OBJECTIFS :



○ DESTINATION FINALE DES BOUES	Elimination des boues
○ Réduction du poids et des volumes	1 Kg MS (cendres) ~ 125 kg boues liquides
○ Destruction des MV	Minéralisation Stabilisation
○ Hygiénisation de la boue	Destruction totale des germes



De plus, possibilités de récupération d'énergie

REGLEMENTATION SUR L'INCINERATION

l'arrêté 2002-540 du 18 Avril 2002 →

Nomenclature



l'arrêté du 20 Septembre 2002 →

Réglementation pour les installations d'incinération

Nouvelle réglementation applicable pour les installations autorisées après le 28 Décembre 2002

- Contraintes sur la réception et le stockage des déchets
- Contraintes sur les conditions d'incinération
- Contraintes sur la dépollution des fumées
(directive CE 76 du 04 Décembre 2000 - Arrêté du 20 Septembre 2002)
- Contraintes sur le traitements des eaux usées issues de la dépollution des fumées

C'est l'arrêté d'autorisation préfectoral qui fixe le niveau des contraintes

Définitions et Rappels

COMBUSTION

Réaction chimique de combinaison d'un corps avec l'oxygène et produisant de la chaleur

Exemple : $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 97,6 \text{ KCal}$

COMBURANT

Gaz nécessaire à la combustion.

Exemple : l'oxygène

COMBUSTIBLE

Matières susceptibles de brûler

Exemples :

- Solide : Charbon, OM, Boues
- Liquide : Pétrole, Huiles, goudrons
- Gazeux : Butane, Biogaz

POUR BRULER, UN CORPS DOIT CONTENIR
UNE FRACTION SUFFISANTE DE
MATIERES ORGANIQUES

Pour qu'il y ait combustion, il faut :

- Un combustible (Fuel, boues)
- un comburant (oxygène de l'air)
- Porter les deux corps à la **température d'inflammation** (température minimale pour déclencher la combustion, 600 - 800 °C)



Terminologie

POUVOIR CALORIFIQUE :

Quantité de chaleur (KCal) dégagée par la combustion **complète** d'une quantité précise de combustible.

PCS : Pouvoir calorifique supérieur : Pouvoir calorifique calculé en tenant compte de la chaleur dégagée par la condensation de l'eau (contenue dans les fumées) jusqu'à 0°C.

PCI : Pouvoir calorifique sans tenir compte de l'énergie de condensation

PCS = PCI + CHALEUR DE CONDENSATION (597 KCal/Kg)

Exemples de PCI :	-Boues fraîches	: 4500 à 5500 KCal/kg MVS
	-Boues Digérées	: 4000 à 5000 KCal/kg MVS
	-Fuel	: 10000 KCal/kg

LA VALORISATION THERMIQUE

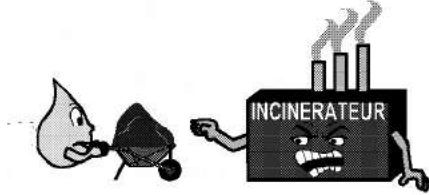
Exemples de PCI

PCI en fonction de la nature des boues

Siccité	% MV/MS	PCI kCal/kg Boue
20	70	320
20	80	433
60	70	2150



Caractéristiques et PCI de boues deshydratées (exemples)



Type de boue	Primaire	Mixte	Aération Prolongée	Digérée
MS _{moy}	31%	26%	17%	22%
MV _{moy}	67%	72%	65%	55%
PCI kCal/kg MV	5600	5400	5300	5200
Autocombustibilité	Presque toujours	Souvent	Rarement	rarement

PCI d'autres déchets de STEP

Type de déchets	Graisses	Refus compactés
% MS	50	45
% MV	98	80
PCI Kcal/kg MV	8800	5500

LA VALORISATION THERMIQUE

Exemples de PCI de différents combustibles



Combustibles

BOUES FRAICHES
 BOUES DIGEREES
 ORDURES MENAGERES
 FUEL
 CHARBON
 METHANE
 BIOGAZ à 65 % de CH4

PCI

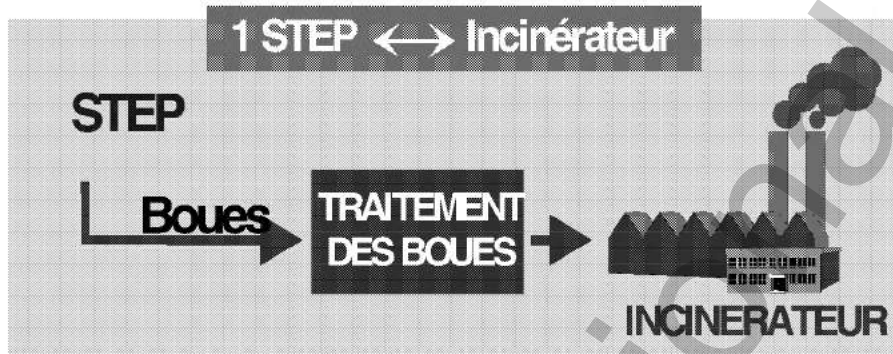
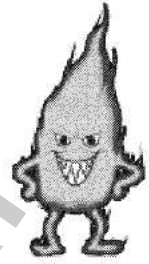
4500 à 5500 Kcal/Kg MV
 4000 à 5000 KCal/Kg MV
 2000 à 2200 KCal/Kg brut
 10 000 KCal/Kg
 8000 à 9000 KCal/Kg
 8500 KCal/Nm3
 5500 KCal/Nm3



$$1 \text{ KCal/ Kg} = 4,186 \text{ KJ/ Kg}$$

LA VALORISATION THERMIQUE

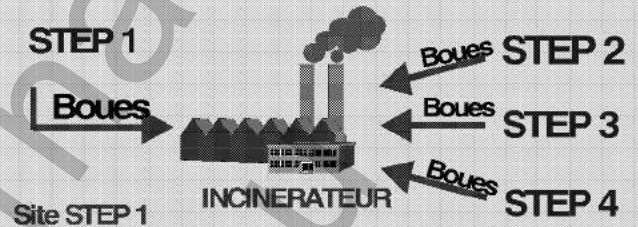
3 Variantes



Plusieurs STEP s'associent pour utiliser le même four



1 STEP + des STEP périphériques ↔ Incinérateur

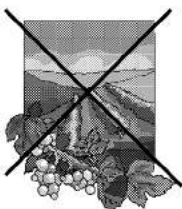
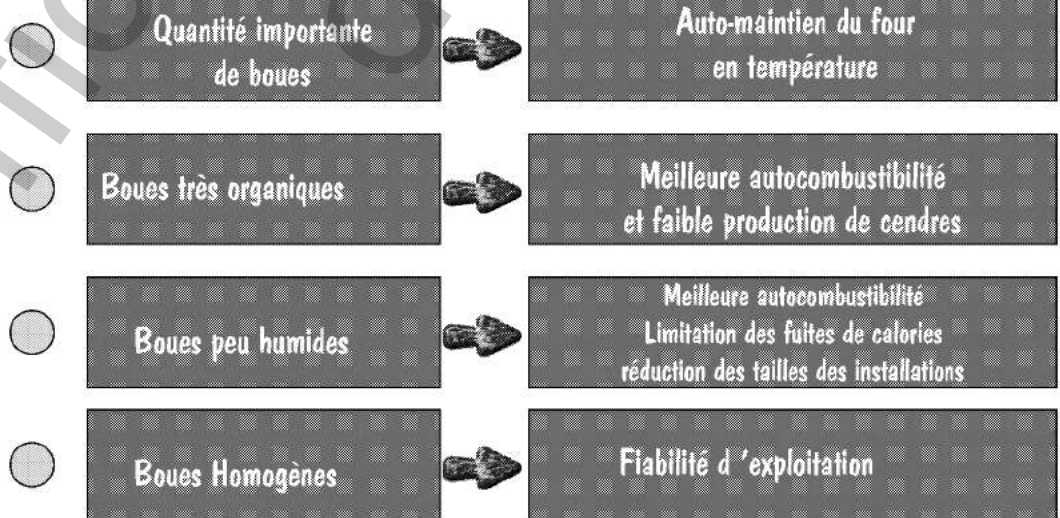


LA VALORISATION THERMIQUE

Quand faut-il penser à l'incinération ?

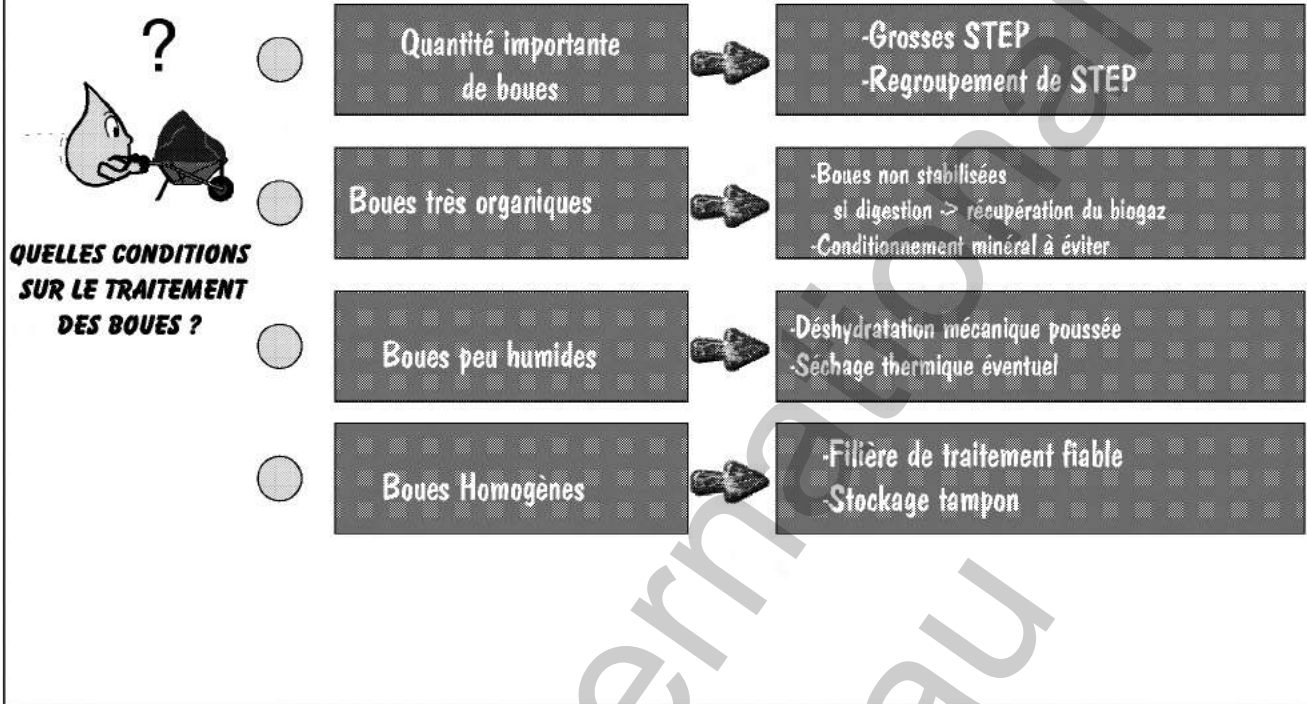


INCINÉRATION ENVISAGEABLE SI



LA VALORISATION THERMIQUE

Traitement des boues



LA VALORISATION THERMIQUE

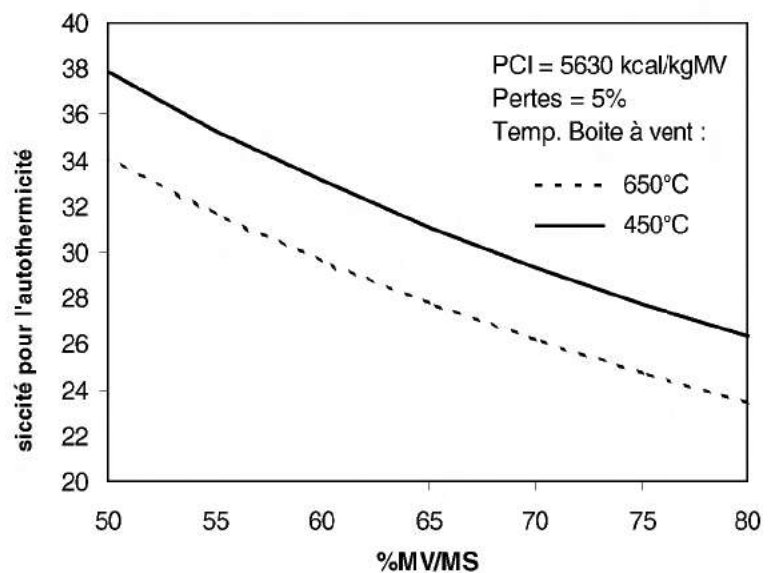
L'autocombustibilité

La consommation de combustible d'appoint dépend directement de :

- La siccité des boues
- La fraction de MV dans la boue
- Des pertes de calories
- De la température de la boîte à vent.

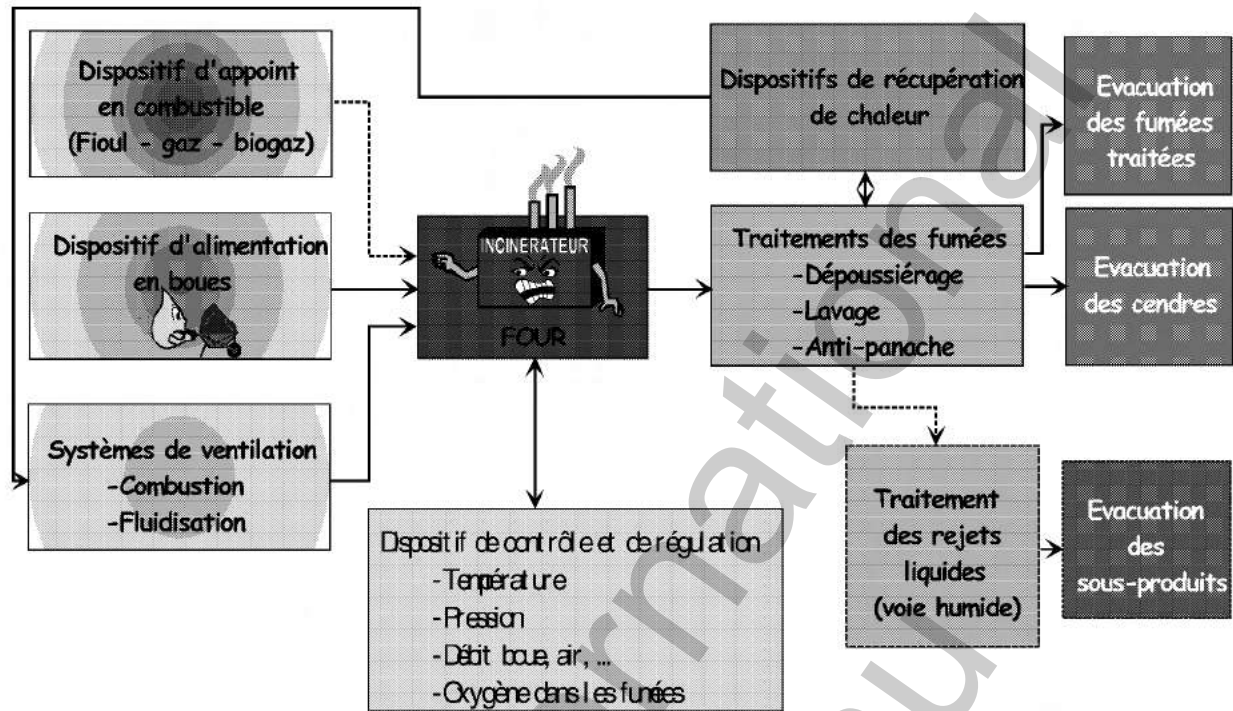
L'ensemble de ces facteurs déterminent :

L'AUTOTHERMICITE



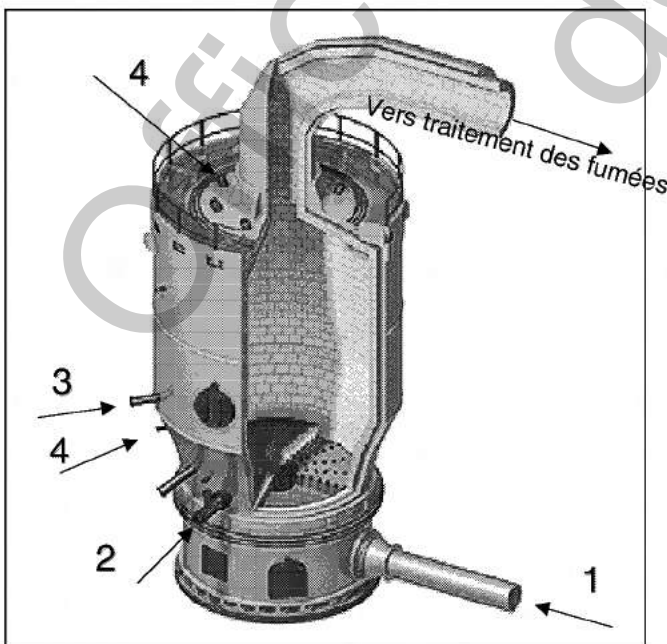
LA VALORISATION THERMIQUE

Les principaux éléments constitutifs d'une filière d'incinération

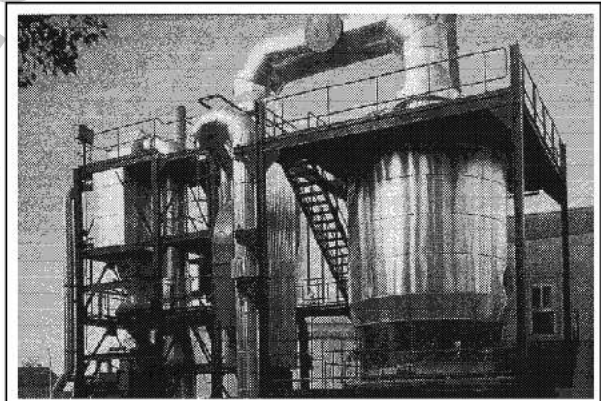


LA VALORISATION THERMIQUE

Technologies d'incinération
Le four à lit fluidisé



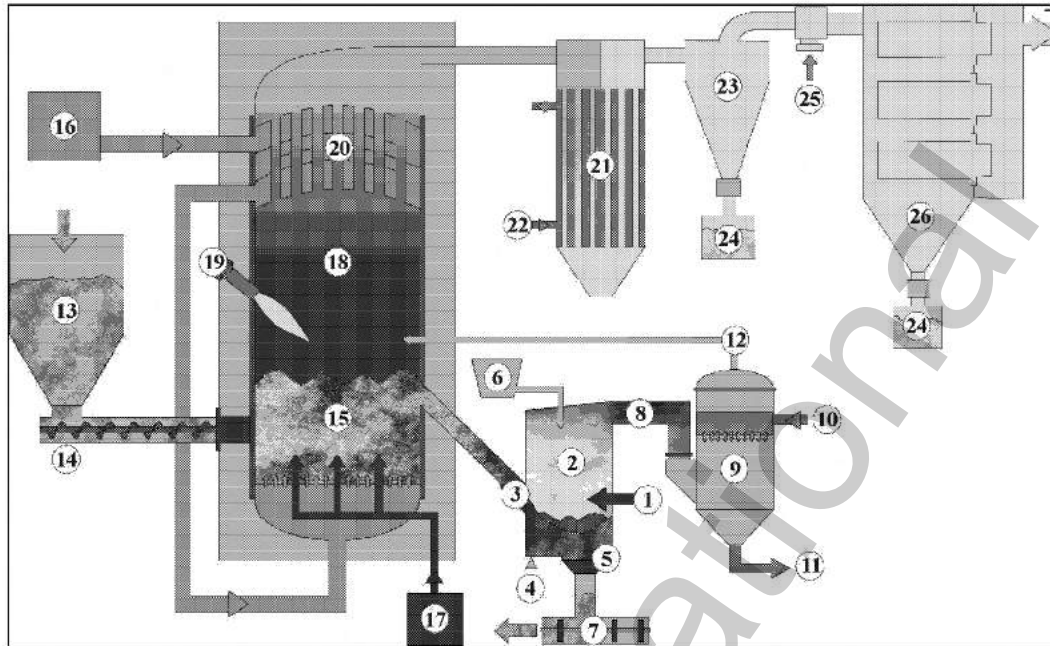
Four Pyrofluid (OTV)



Four Pyrofluid du Havre

- 1 : Air de Fluidisation
- 2 : Injection des boues
- 3 : Appoint en sable
- 4 : Correction température (eau, combustible)

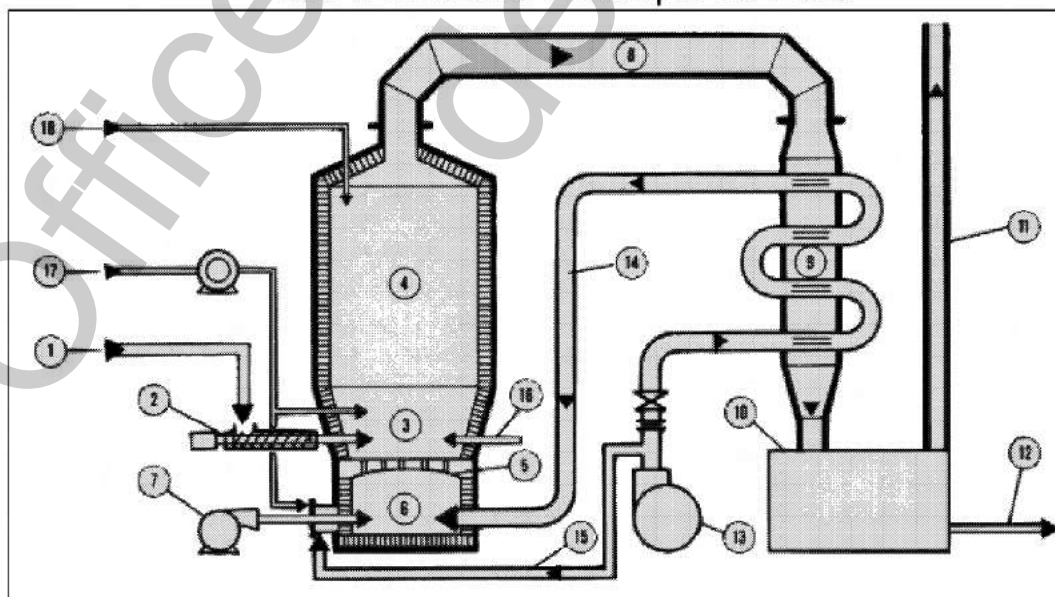
Procédé SUN SAND®



- | | | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1 Alimentation des boues | 7 Convoyeur à chaîne | 14 Convoyeur à vis | 21 Echangeur Air/Eau |
| 2 Sécheur-mélangeur | 8 Evacuation vapeur | 15 Lit fluidisé | 22 Eau de refroidissement |
| 3 Vanne introduction sable | 9 Condenseur | 16 Air de combustion | 23 Cyclone |
| 4 Pesage automatique | 10 Eau de condensation | 17 Buses d'apport gaz | 24 Cendres |
| 5 Sonde de température | 11 Eau et vapeur condensée | 18 Postcombustion | 25 Air de dilution/injection |
| 6 Distributeur de calcaire | 12 COV à incinérer | 19 Brûleur(s) de PC | 26 Dépoussiérage fumées |
| | 13 Silo de régulation | 20 Echangeur Air/Air | |

LA VALORISATION THERMIQUE

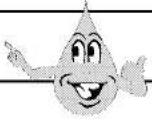
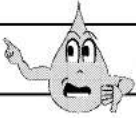













Technologies d'incinération four à lit fluidisé : exemple de filière



- | | | |
|---------------------------------|--|---|
| 1 : Arrivée des boues | 7 : Brûleur de démarrage | 13 : Ventilateur de fluidisation |
| 2 : Pompe d'injection des boues | 8 : Carneau | 14 : Canalisation d'air de fluidisation |
| 3 : Lit de sable fluidisé | 9 : Récupérateur | 15 : Canalisation d'air de préchauffage |
| 4 : Réacteur | 10 : Ensemble de traitement des fumées | 16 : Injecteur de combustible d'appoint |
| 5 : Voûte | 11 : Cheminée | 17 : Air comprimé |
| 6 : Boîte à vent | 12 : Sortie des cendres | 18 : Eau sous pression |

LA VALORISATION THERMIQUE

Le Four à lit fluidisé

AVANTAGES 	INCONVENIENTS 
 GRANDE COMPACTITE ↳ Faibles pertes thermiques	 LES CENDRES PARTENT AVEC LES FUMÉES ↳ Traitement poussé et complexe des fumées
 FONCTIONNEMENT STATIQUE ↳ Pas de pièces mécaniques en mouvement	 FOUR RESERVE AUX PARTICULES DE PETITES TAILLES
 GRANDE INERTIE THERMIQUE ↳ Fonctionnement en discontinu pas trop pénalisant	 CONSOMMATION ELECTRIQUE IMPORTANTE ↳ 20 à 30 % en plus (air de fluidisation)
 BONNE COMBUSTION DES GAZ	 TECHNIQUES CONSTRUCTIVES SPECIFIQUES ↳ Génie Civil, implantation des tuyères
 DISPERSION DES BOUES DANS LE SABLE ↳ Peu d'imbrûlés	 RSIQUES DE PRISE EN MASSE DU LIT ↳ Fortes concentrations des boues en : ↳ Sulfate ↳ Carbonate ↳ Chlorure (sodium, potassium ou magnésium)
 FONCTIONNEMENT ADAPTE AUX BOUES	
 MEILLEUR MAITRISE DES TEMPERATURES	
 EXCES D'AIR RELATIVEMENT BAS (~40%)	

LA VALORISATION THERMIQUE

Après toute **combustion**, il reste ...

...Des Fumées



... Et des cendres !



LA VALORISATION THERMIQUE

Réglementation : incidences techniques sur l'incinération

ARRÊTÉ DU 20/09/2002

L'INCINÉRATION DOIT SATISFAIRE LES CONDITIONS SUIVANTES :



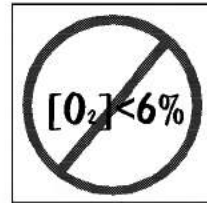
Température Minimale:
850 °C



Durée minimale :
2 s



Quantité d'O₂ minimale :
6% (conditions réelles)



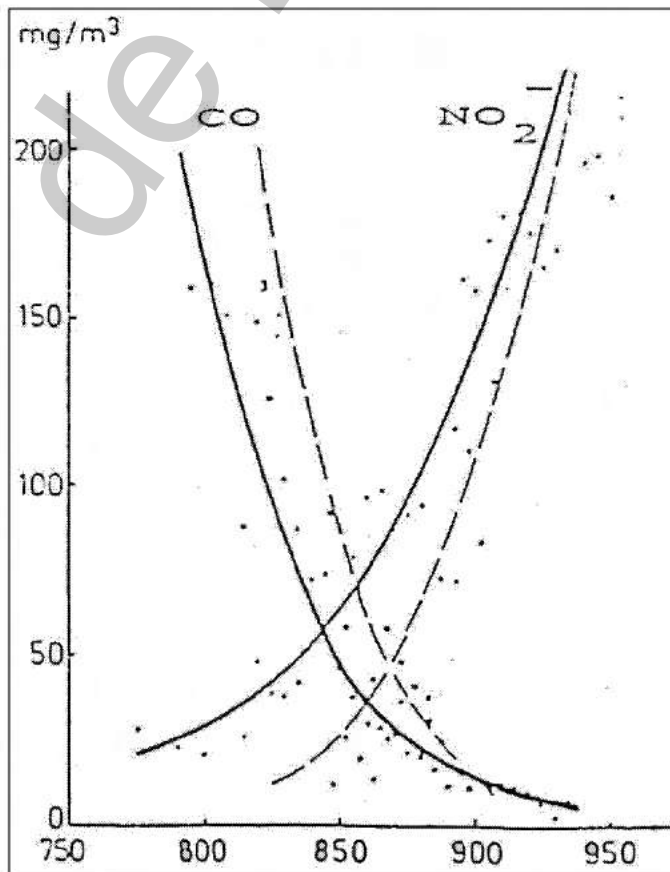
LA VALORISATION THERMIQUE



Température Minimale:
850 °C



Température Maximale:
???





LA VALORISATION THERMIQUE

Réglementation : incidences techniques sur la qualité de l'air

Capacité nominale T/h	Arrêté du 25/01/91			Arrêté du 10/10/96		Projet de loi européenne		Valeurs moyennes
	< 1	1 - 3	> 3	Pour toutes capacités				sortie four
Vitesse cheminée m/s	> 8	> 8	> 12	> 12				
Moyenne				journée	½ heure	Journée	½ heure	
Poussières totales	200	100	30	10	30	10	30	25000-65000
Carbone total	20	20	20	10	20	10	20	5 - 50
Monoxyde de carbone	Moy. horaire : < 100 Moy. horaire pendant 24 h : 90 % des mesures < 150			Moy. sur 10 mn pendant 24 h : 95 % des mesures < 150 Moy. sur ½ h pendant 24 h : 100 % des mesures < 100 Moy. journalière : < 50		50		
Acide chlorhydrique	250	100	50	10	60	10	60	50 - 400
Acide fluorhydrique	-	4	2	1	4	1	4	0 - 6
Dioxyde de soufre	-	300	300	50	200	50	200	500 - 1500
NOx	-	-	-	-	-	300-200		< 200
Ammoniac	-	-	-	-	-	10	20	
Prélèvement mini-maxi				1/2H - 8H		4H - 8H		
Pb + Cr + Cu + Mn	-	5	5	-	-	-	-	
Ni + As	-	1	1	-	-	-	-	
Cd + Hg	-	0,2	0,2	-	-	-	-	
Cd + Ti	-	-	-	0,05	-	-	-	
Hg	-	-	-	0,05	-	-	0,05	
Cd	-	-	-	-	-	-	0,05	
Somme 1	-	-	-	0,5	-	-	-	
Somme 2	-	-	-	-	-	-	0,5	
Somme 3	-	-	-	5	-	-	-	
Dioxines et furanes en ng/Nm ³	-			0,1		0,1		0,02 - 0,09
Mesure dans les gaz de combustion	Température	Température		Température, CO, O2, H2O**				
Mesures en cheminée en continu		Pouss., CO, O2, HCl		Pouss., COT, O2, HCl, HF***, SO2, H2O**				
Mesures en cheminée ponctuelles (/an)	Pouss., CO, O2, COT	Pouss., CO, O2, HCl, métaux, HF, SO2 et COT		Deux fois par an : sur tous les paramètres				

Les concentrations sont exprimées en mg/Nm³

➤ somme 1 : Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V + Sn + Se + Te

➤ Somme 2 : Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V + Sn

➤ Somme 3 : Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V + Sn + Se + Te + Zn

➤ Les moyennes ½ heure sont des valeurs limites de pointe acceptables.

➤ (***) Mesure inutile si les autres analyses se font sur gaz secs.

➤ (***) HF n'est pas utile si le HCl est traité spécifiquement de façon à respecter la norme de rejet

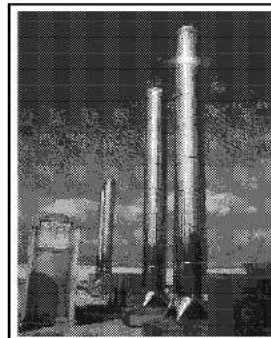
➤ La capacité nominale d'une installation est la somme des capacités des incinérateurs qui composent l'installation.

➤ Les prélèvements de dioxines doivent durer entre 6 et 8 heures.

LA VALORISATION THERMIQUE

ROLES ET OBJECTIFS DU TRAITEMENT DES FUMÉES ?

- PROTECTION DE LA QUALITE DE L'AIR
- REFFROIDISSEMENT DES FUMÉES
- SEPARER ET RECUEILLIR LES POLLUANTS
- CONSERVER UN REJET VISUELLEMENT ACCEPTABLE DANS L'ATMOSPHERE (ANTI - PANACHE)



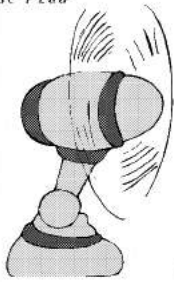
ETAPES DU TRAITEMENTS DES FUMÉES

- 1/ REFFROIDISSEMENT
- 2/ DEPOUSSIERAGE
- 3/ TRAITEMENT DES POLLUANTS ACIDES
- 4/ TRAITEMENTS SPECIFIQUES :
 - NOx
 - ETM
 - DIOXINES ET FURANES
 - ANTI-PANACHE

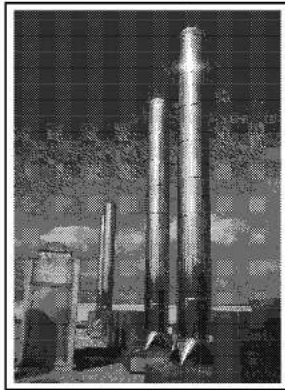
Comment traiter les fumées ?

- Voie sèche
- Voie semi-sec ou semi-humide
- Voie humide ou combinée

LA VALORISATION THERMIQUE



QUE RETROUVE-T-ON DANS LES FUMÉES ?



POUSSIERES :

- Cendres
- érosion du sable

ELEMENTS TRACES METALLIQUES

Hg, Cd, As, Zn

GAZ ACIDES :

- oxydes d'azote (SOx)
- acide chlorhydrique (HCl)
- acide fluorhydrique (HF)

AUTRES POLLUANTS :

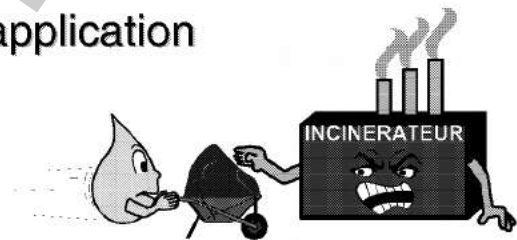
- Monoxyde de carbone
- Oxydes d'azote
- Dioxines
- Furanes

GAZ INERTES

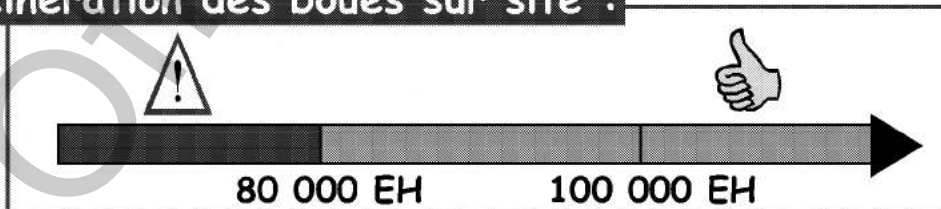
- CO₂
- H₂O

LA VALORISATION THERMIQUE

Domaines d'application



Incinération des boues sur site :



Co-incinération avec des ordures ménagères ou incinération de boues de plusieurs STEP :

- A priori toute gamme. Le choix dépend :
- .De la distance
 - .Des caractéristiques de la boue
 - .De la disponibilité du four

LA VALORISATION THERMIQUE



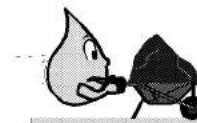
Eléments de choix d'une technique de valorisation thermique

Type d'oxydation thermique	Four spécifique			Co-incinération avec O.M.		OVH
	Sur site	Sur une autre usine	Regroupement d'usines sur site spécifique	Boues solides	Boues sèches	
Taille de la station						
Petites stations (< 10.000 EH)	---	++	++	++	+	-
Moyennes stations (<100.000 EH)	+	++	+++	++	+++	+++
Grandes STEP (>100.000 EH)	+++	+	---	-	++	++

INCINÉRATION EN CIMENTERIE : TRÈS LIÉE AU CONTEXTE LOCAL ET NOTAMMENT À LA PRÉSENCE D 'UN CIMENTIER ACCEPTANT LES BOUES

LA VALORISATION THERMIQUE

INCINERATION



Avantages

Inconvénients

- La plus forte réduction de volume possible
- Destruction totale des matières organiques
- Stabilité : pas de risque de fermentation
- Hygiénisation : destruction totale des germes

- Coûts d'investissement et d'exploitation élevés
- Nécessité d'un traitement des fumées
- Auto-combustibilité de la boue sinon apport de combustible fossile
- Génère des sous-produits (élimination !)
- Peu adapté au contexte des petites collectivités
- Pas de nécessité de veille sur la qualité des eaux usées

AUTRES VOIES DE TRAITEMENT THERMIQUE

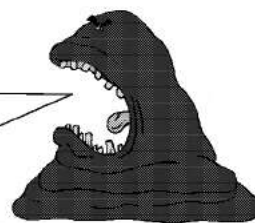


**CO-INCINERATION
ORDURES MENAGERES**

**INCINERATION
EN CIMENTERIE**

**OXYDATION PAR
VOIE HUMIDE**

De toute façon
je suis cuit !!!



Office International
de l'Eau

Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux

Annexe I : Valeurs limites de rejets atmosphériques pour les installations d'incinération

a) Monoxyde de carbone

Les valeurs limites d'émission suivantes ne doivent pas être dépassées pour les concentrations de monoxyde de carbone (CO) dans les gaz de combustion, en dehors des phases de démarrage et d'extinction :

- 50 mg/m³ de gaz de combustion en moyenne journalière ;
- 150 mg/m³ de gaz de combustion dans au moins 95 % de toutes les mesures correspondant à des valeurs moyennes calculées sur dix minutes ou 100 mg/m³ de gaz de combustion dans toutes les mesures correspondant à des valeurs moyennes calculées sur une demi-heure au cours d'une période de vingt-quatre heures.

L'arrêté préfectoral d'autorisation peut fixer une valeur limite différente pour une installation d'incinération utilisant la technologie du lit fluidisé.

Toutefois, cette valeur limite ne pourra dépasser 100 mg/m³ en moyenne horaire.

b) Poussières totales, COT, HCl, HF, SO₂ et NO_x

Paramètre	Valeur en moyenne journalière	Valeur en moyenne sur une demi-heure
Poussières totales	10 mg/m ³	30 mg/m ³
Substances organiques à l'état de gaz ou de vapeur exprimées en carbone organique total (COT)	10 mg/m ³	20 mg/m ³
Chlorure d'hydrogène (HCl)	10 mg/m ³	60 mg/m ³
Fluorure d'hydrogène (HF)	1 mg/m ³	4 mg/m ³
Dioxyde de soufre (SO ₂)	50 mg/m ³	200 mg/m ³
Monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO ₂) exprimés en dioxyde d'azote pour les installations existantes dont la capacité nominale est supérieure à 6 tonnes par heure ou pour les nouvelles installations d'incinération	200 mg/m ³ (*)	400 mg/m ³ (*)
Monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO ₂)) exprimés en dioxyde d'azote pour les installations d'incinération existantes dont la capacité nominale est inférieure ou égale à 6 tonnes par heure	400 mg/m ³ (*)	
(*) Jusqu'au 1er janvier 2007, cette valeur limite d'émission pour le NO _x ne s'applique pas aux installations n'incinérant que des déchets dangereux		

L'arrêté préfectoral d'autorisation peut prévoir une valeur limite différente pour les NO_x pour les installations existantes :

- dont la capacité est inférieure ou égale à 6 tonnes par heure, à condition que la valeur limite en moyenne journalière soit inférieure ou égale à 500 mg/m³, et ce jusqu'au 1er janvier 2008 ;
- dont la capacité nominale est supérieure à 6 tonnes par heure, mais inférieure ou égale à 16

tonnes par heure, à condition que la valeur limite en moyenne journalière soit inférieure ou égale à 400 mg/m³ et que la valeur en moyenne sur une demi-heure ne dépasse pas 600 mg/m³, ce jusqu'au 1er janvier 2010 ;

- dont la capacité nominale est supérieure à 16 tonnes par heure, mais inférieure à 25 tonnes et qui ne produit pas de rejets d'eaux usées, à condition que la valeur limite en moyenne journalière n'excède pas 400 mg/m³, et ce jusqu'au 1er janvier 2008.

L'arrêté préfectoral d'autorisation peut prévoir une valeur limite différente pour les poussières pour les installations existantes, à condition que la valeur limite en moyenne journalière n'excède pas 20 mg/m³, et ce jusqu'au 1er janvier 2008.

c) Métaux

Paramètre	Valeur
Cadmium et ses composés, exprimés en cadmium (Cd) + thallium et ses composés, exprimés en thallium (TI)	0,05 mg/m ³
	0,1 mg/m ³ (*)
Mercure et ses composés, exprimés en mercure (Hg)	0,05 mg/m ³
	0,1 mg/m ³ (*)
Total des autres métaux lourds (Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V)	0,5 mg/m ³
	1 mg/m ³ (*)
(*) Jusqu'au 1er janvier 2007, valeur applicable aux installations existantes autorisées à incinérer des déchets dangereux avant le 31 décembre 1996 et qui n'incinèrent que des déchets dangereux	

Le total des autres métaux lourds est composé de la somme :

- de l'antimoine et de ses composés, exprimés en antimoine (Sb) ;
- de l'arsenic et de ses composés, exprimés en arsenic (As) ;
- du plomb et de ses composés, exprimés en plomb (Pb) ;
- du chrome et de ses composés, exprimés en chrome (Cr) ;
- du cobalt et de ses composés, exprimés en cobalt (Co) ;
- du cuivre et de ses composés, exprimés en cuivre (Cu) ;
- du manganèse et de ses composés, exprimés en manganèse (Mn) ;
- du nickel et de ses composés, exprimés en nickel (Ni) ;
- du vanadium et de ses composés, exprimés en vanadium (V).

La méthode de mesure utilisée est la moyenne mesurée sur une période d'échantillonnage d'une demi-heure au minimum et de huit heures au maximum. Ces valeurs s'appliquent aux émissions de métaux et de leurs composés sous toutes leurs formes physiques.

d) Dioxines et furannes

Paramètre	Valeur
Dioxines et furannes	0,1 ng/m ³

La concentration en dioxines et furannes est définie comme la somme des concentrations en dioxines et furannes déterminée selon les indications de l'annexe III.

La méthode de mesure employée est la moyenne mesurée sur une période d'échantillonnage de six heures au minimum et de huit heures au maximum.



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

VALORISATION AGRICOLE



8

Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.

Office International de l'Eau

DFE\CNFME\INT\LOGIST\UTILSAT\MEP\PEDAGO\SOMMAIRE EDF.DOC\97/05/02





CADRE REGLEMENTAIRE



DIRECTIVE CADRE DECHET (1975)

DIRECTIVE BOUES (1986)
Nouvelle directive en gestation depuis 3 ans (4e draft)

VALORISATION AGRICOLE

Décret 97-1133 du 8/12/97

Arrêté du 8/01/98

INCINERATION

Arrêté du 18 avril 2002

Arrêté du 20 septembre 2002

Mise en décharge

Loi du 13 juillet 1992

Échéance 1/07/02

Abrogé : intégré dans le code de l'environnement (R211-25 à R211-47)

Filière agricole : organisation - pérennisation

RAPPEL REGLEMENTAIRE

Directive 75/442/CEE
Déchet

LOI 75-633 15/07/75
Déchet

Directive 86/278/CEE
Boue - VAB

Directive 91/271/CEE
Eau

LOI 92-3 03/01/92
(LOI du 30/12/06)
Eau

*Abrogé : intégré dans le code de l'environnement
(R211-25 à R211-47)*

~~DECRET 8/12/97~~
Epannage des boues

Art 16 (dec 8/12/97)

Arrêté du 8/01/98

Arrêté X ...

Epannage des boues sur les sols agricoles

Autres formes d'épannages de boues

Epannage en forêt / Revégétalisation

REGLEMENTATION SUR L'INCINERATION

l'arrêté 2002-540 du 18 Avril 2002 → Nomenclature

l'arrêté du 20 Septembre 2002 → Réglementation pour les installations d'incinération

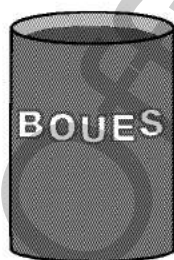


Nouvelle réglementation applicable pour les installations autorisées après le 28 Décembre 2002

- **Contraintes sur la réception et le stockage des déchets**
- **Contraintes sur les conditions d'incinération**
- **Contraintes sur la dépollution des fumées**
(directive CE 76 du 04 Décembre 2000 - Arrêté du 20 Septembre 2002)
- **Contraintes sur les traitements des eaux usées issues de la dépollution des fumées**

C'est l'arrêté d'autorisation préfectoral qui fixe le niveau des contraintes

INTERET AGRONOMIQUE



INTERET AGRONOMIQUE

EFFET STRUCTURANT
dû à la matière organique

AZOTE ORGANIQUE
(disponible après minéralisation)

ACIDE PHOSPHORIQUE

AUTRES MINERAUX

- Calcium
- Magnésium
- Oligo-éléments

L'EPANDAGE NE DOIT APPORTER QUE LES QUANTITES D'ELEMENTS FERTILISANTS UTILISEES PAR LA PLANTE

VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



Code de l'environnement
(R211-25 à R211-47)

Quelles sont les matières épandables ?

- Les sédiments résiduels des installations de traitements des eaux usées
- Les matières de curage des ouvrages de collecte des eaux usées après élimination des sables et des graisses
- Les matières de vidange de l'assainissement individuel

→ Le mélange de boues provenant d'installations de traitement distinctes est interdit ...
Toutefois, le préfet peut autoriser le groupement de boues dans des unités d'entreposage ou de traitement.

→ Idem pour le mélange de boues et d'autres déchets

VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



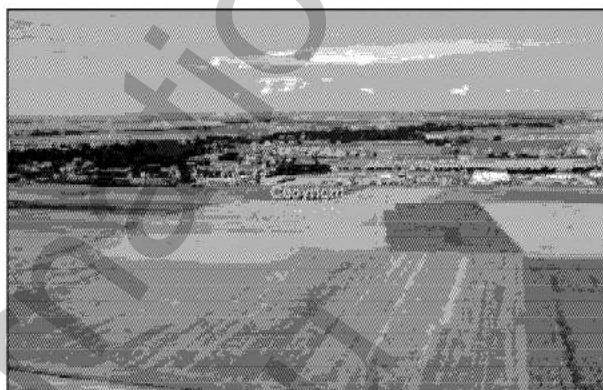
Code de l'environnement
(R211-25 à R211-47)

SOLUTION ALTERNATIVE D'ELIMINATION OU DE VALORISATION DES BOUES :

Elle doit être prévue
pour pallier tout empêchement
Temporaire de se conformer
aux dispositions du présent
décret

1/ l'étude préalable

- ▣ Origine, quantité et caractéristiques des boues
- ▣ Contraintes dues aux sols visés, aux milieux naturels, aux types de cultures
- ▣ Descriptif des modalités d'épandage
- ▣ Préconisation d'utilisation de boues
- ▣ Représentations cartographiques des zones d'épandage pressenties
- ▣ Justification de l'accord écrit des utilisateurs de boues



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

ARRETE DU 08 JANVIER 1998



Article 13 I

TERMINOLOGIE

**BOUES
SOLIDES**

Boues déshydratées dont le tas sur une hauteur d'un mètre présente une pente > 30°

**BOUES
STABILISEES**

Boues traitées dont la fermentation est :
▶ **achevée**
ou
▶ **bloquée sur toute la période d'entreposage**

**BOUES
HYGIENISEES**

Boues traitées pour lesquelles la population d'agents pathogènes est à un niveau non détectable



ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Article 2d

Les sols ne doivent pas être contaminés

tableau 2

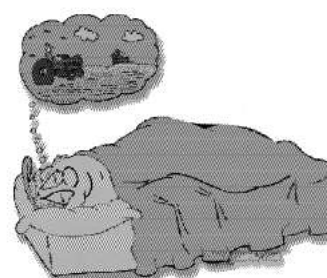
éléments traces	valeur limite en mg/kg MS
cadmium	2
chrome	150
cuivre	100
mercure	1
nickel	50
plomb	100
zinc	300

au delà de ces limites, l'apport de boues est INTERDIT

Filière agricole : organisation - pérennisation

2/ Procédure d'autorisation ou de déclaration

- 800 TMS/an (>50 000EH) ———> Autorisation (dont enquête publique, avis du CDH)
 (40 T NGL/an)
- 3 - 800 TMS/an (<50 000EH) ———> Déclaration (vérification du dossier et récépissé)
 (0,15 à 40 T NGL/an) Pas d'avis du CDH obligatoire sauf règles particulières



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



Code de l'environnement
(R211-25 à R211-47)

Epandage des boues issues du traitement des eaux usées

AUTORISATION



POUR PRODUCTION DE BOUES EPANDUES

- 800 tonnes MS/an
- 40 tonnes NGL/an

DECLARATION



POUR PRODUCTION DE BOUES EPANDUES

- 3 à 800 tonnes MS/an
- 0,15 à 40 tonnes NGL/an

En dessous la déclaration est facultative mais la réglementation doit être respectée
(plan d'épandage)

QUI EST CHARGE DE REMETTRE DE DOSSIER EN PREFECTURE ?



Art 2 et 26
Du décret 93-742
(Procédure)

« Toute personne souhaitant réaliser une installation, un ouvrage, des travaux ou une activité soumise à autorisation (art 2 - ou déclaration art 26) adresse une demande au préfet du département ... »

Exploitant

Maître d'ouvrage

Dans le cas d'un plan d'épandage, c'est l'exploitant qui en a la responsabilité, car c'est une activité.

VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



Code de l'environnement
(R211-25 à R211-47)

LES OBLIGATIONS DU PRODUCTEUR DE BOUES

Réalisation d'une étude préalable à tout épandage

**Mise en place d'un dispositif de surveillance
.tenue d'un registre des épandages consultable
par agents de contrôle sur 10 ans**

Monsieur le Préfet

Synthèse annuelle du registre des épandages

Monsieur le Préfet

Pour STEP \geq 2000 EH

**Etablissement d'un programme prévisionnel d'épandage
(liste des parcelles et de leurs cultures, calendrier et doses
d'épandage)**

**Constitution du bilan agronomique de chaque campagne
annuelle**

Filière agricole : organisation - pérennisation

3/ Suivi et auto-surveillance de l'épandage

- ▣ Le programme prévisionnel (rédaction par le producteur avant l'opération)
- ▣ Le registre d'épandage (rédaction par le producteur après l'opération)
- ▣ Le bilan agronomique (remis à l'administration par le producteur - synthèse des opérations)



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Article 3 - I

LE PROGRAMME PREVISIONNEL D'EPANDAGE COMPREND :

- a) • La liste des parcelles concernées par la campagne d'épandage et la caractérisation des systèmes de culture
- b) • Des analyses de sol (valeur agronomique)
- c) • Une caractérisation des boues à épandre
- d) • Les préconisations spécifiques d'utilisation des boues (calendrier prévisionnel, doses d'épandage par unité culturale, ...)
- e) • Les modalités de surveillance
- f) • L'identification des personnes intervenant dans la réalisation de l'épandage

Ce programme est transmis au préfet au plus tard un mois avant le début de la campagne d'épandage



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Article 3 1b
et annexe 3

Les sols doivent être caractérisés dans le cadre du programme prévisionnel

Éléments de caractérisation de la valeur agronomique des sols

- granulométrie
- M.S.
- M.O.
- pH
- azote total ; azote ammoniacal
- C/N
- P₂O₅ ; K₂O ; MgO et CaO échangeables
- oligo-éléments (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn)

LE REGISTRE DES EPANDAGES

IL COMPORTE :

- a) Les quantités de boues produites dans l'année
 - volumes bruts
 - tonnage MS (hors et avec ajout de réactifs)
- b) Les méthodes de traitement des boues
- c) Les quantités épandues par unité culturale
- d) L'ensemble des résultats d'analyse
- e) L'identification des personnes chargées :
 - des opérations d'épandage
 - des analyses

La synthèse annuelle du registre est adressée en fin d'année

- ↳ au service de la police des eaux
- ↳ à chaque utilisateur

LE BILAN COMPREND :

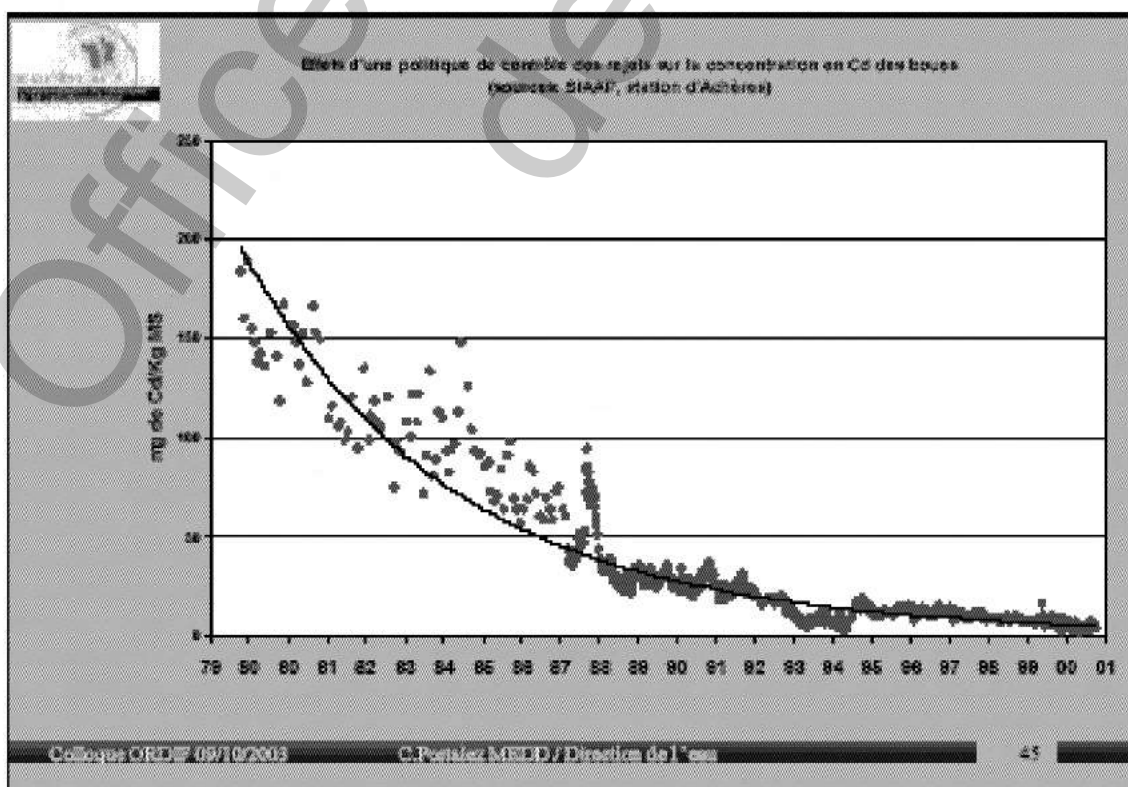
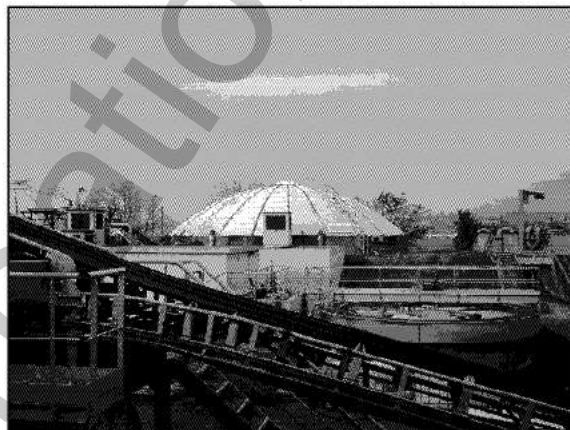
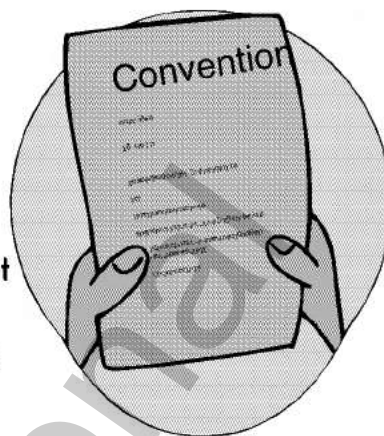
- a) • Un bilan qualitatif et quantitatif des boues épandues
- b) • L'exploitation du registre d'épandage
- c) • Les bilans de fumure
- d) • La remise à jour éventuelle des données

*Ce bilan est transmis au préfet
au plus tard en même temps
que le programme prévisionnel
d'épandage de la campagne suivante*



4/ Maîtrise des rejets dans le réseau d'assainissement

- Police des réseaux (dépend du M.Ou)
- Règlement d'assainissement
- Autorisation de rejet - Convention de raccordement
 - Etude de flux
 - Prétraitements in situ, traitements spécifiques
 - Réduction de la pollution à sa source



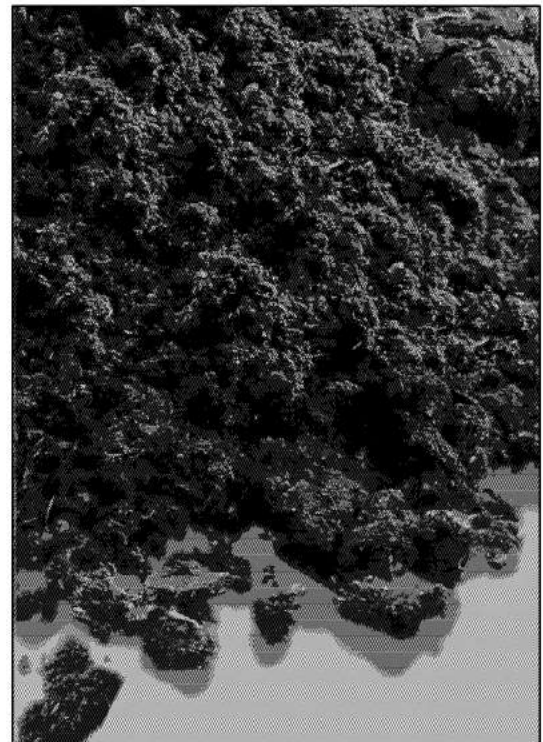


5/ Produire des boues de qualité

- ▣ Valeur agronomique adaptée au type de sol (chaulage, compostage, ...)
- ▣ Aspect physique (privilégier liquide et solide, pâteux ??)
- ▣ Nuisances olfactives (stabilisation, enfouissement, distances des habitations)
- ▣ Logique produit (homologation, Normalisation)



5/ Produire des boues de qualité



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Article 5

LES OUVRAGES D'ENTREPOSAGE

Sont dimensionnés

- ▶ pour faire face aux périodes où l'épandage est *impossible*

Sont conçus

- ▶ pour retenir les licitais

Sont conçus et gérés

- ▶ pour minimiser les émissions d'odeur perceptibles par le voisinage

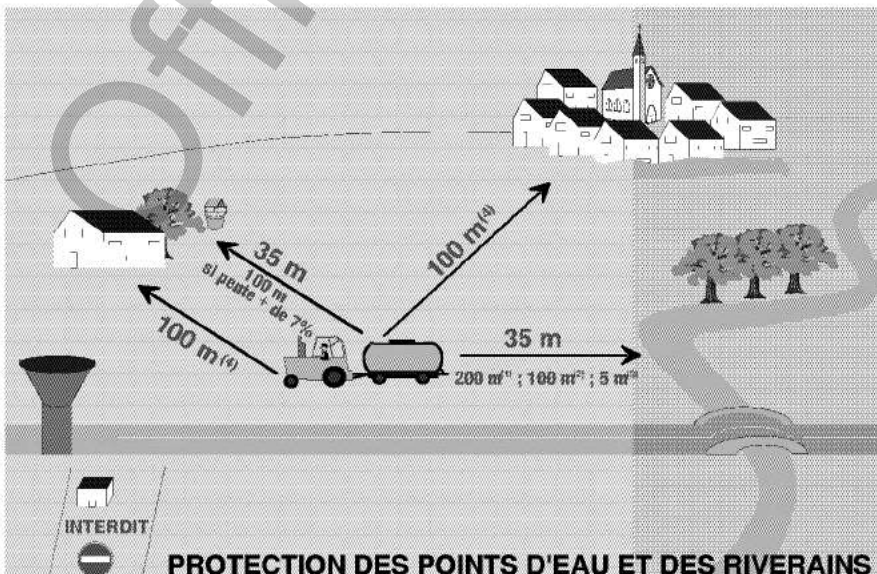
VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Article 13
et annexe 2

Les parcelles doivent être sélectionnées



(1) : 200 m si boues non stabilisées ou non solides et pente > 7%

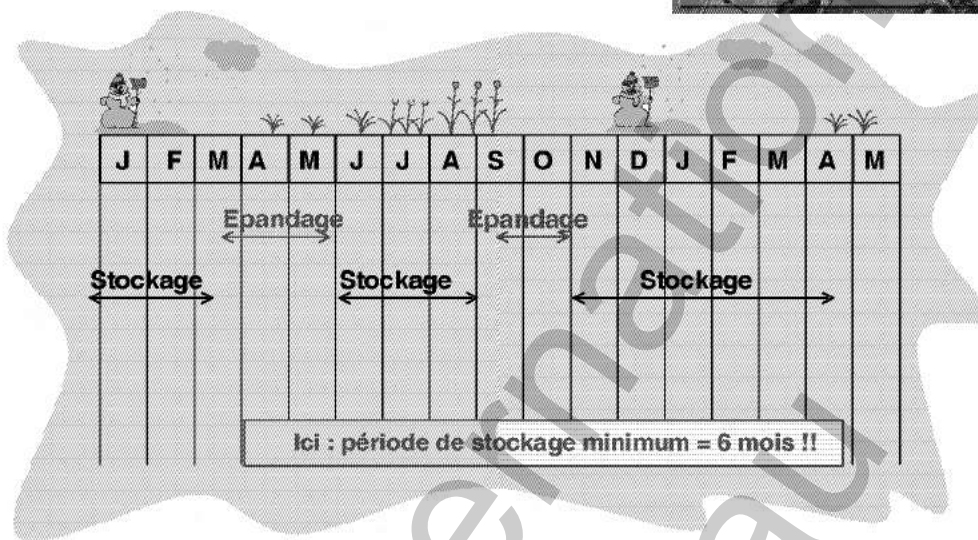
(2) : 100 m si boues solides et stabilisées et pente > 7%

(3) : 5 m si boues stabilisées et enfouies immédiatement (pente < 7%)

(4) : sans objet pour les boues hygiénisées, boues stabilisées et enfouies immédiatement

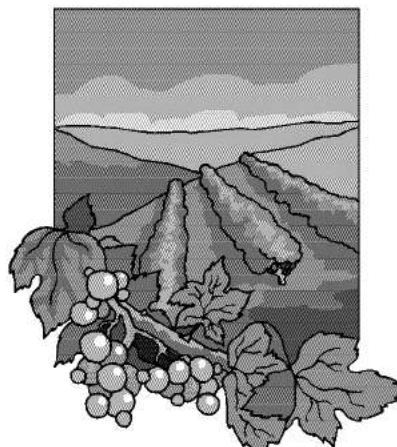
6/ Capacités de stockage adéquates

- Calendrier culturaux
- Contraintes climatiques
- Gestion par lots ?



7/ Certification de la filière

- Référentiel SYPREA, homologation, normalisation (NF-EN 44-095)
- Respect de la réglementation
- Logique qualité (norme ISO, procédure de traitement des réclamations, ...)
- Manuel d'instruction - Assurance sur la responsabilité civile des acteurs
- Maîtrise des doses apportées et assurer la qualité de l'épandage
- Garantir la traçabilité
- Participer à la fertilisation raisonnée (flux d'azote, lessivage des sols)



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES



Article 14
annexe 1 et 3

ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Surveillance des boues

LES MESURES

LA VALEUR AGRONOMIQUE

- MS - MO - pH - NGL - N NH₄ - C/N - P_T - Ca_T - Mg_T
- Oligo éléments (B - Co - Cu - Fe - Mn - Mo - Zn)

LESQUELLES ?

LES ELEMENTS TRACES

- Cd - Cr - Cu - Hg - Ni - Pb - Zn
- Sn (épandage sur pâturages)

LES COMPOSES TRACES ORGANIQUES

- PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180
- Fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(a)pyrène,

AUTRES SUBSTANCES OU MICROORGANISMES

- Si nécessité particulière



ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Suivi de la qualité des boues périodicité et nature des analyses des boues

Article 14 II
Annexe 4

Lors de la première année

Tonnes de MS épanchées (hors chaux)	< 32	32 à 160	161 à 480	481 à 800	801 à 1600	1601 à 3200	3201 à 4800	> 4800
Valeur agronomique	4	8	12	16	20	24	36	48
As, B				1	1	2	2	3
Eléments traces	2	4	8	12	18	24	36	48
Composés organiques	1	2	4	6	9	12	18	24

VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

ARRETE DU 08 JANVIER 1998



Article 14 III
annexe 4

Suivi de la qualité des boues périodicité et nature des analyses des boues

Les années suivantes

Tonnes de MS épanchées (hors chaux)	< 32	32 à 160	161 à 480	481 à 800	801 à 1600	1601 à 3200	3201 à 4800	> 4800
Valeur agronomique *	2	4	6	8	10	12	18	24
Eléments traces **	2	2	4	6	9	12	18	24
Composés organiques **		2	2	3	4	6	9	12

* : si écart entre valeurs mini/maxi < 30%

** : si tous les résultats de l'année précédente
restent inférieurs à 75% des teneurs limites

ARRETE DU 08-01-98 - SUIVI DE LA QUALITE DES BOUES 01 - source JB 47/8 JB 28/05/1998



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Article 11b

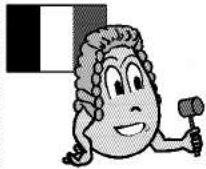
Les boues doivent être conformes ...

➔ à des teneurs limites en métaux lourds

tableau 1a

éléments traces	valeur limite dans les boues (mg/kg MS)
cadmium	20 (15 au 01/01/2001) (10 au 01/01/2004)
chrome	1000
cuivre	1000
mercure	10
nickel	200
plomb	800
zinc	3000
chrome + cuivre + nickel + zinc	4000

TENEURS LIMITES EN METAUX LOURDS 01 - source JB 45/7 JB 28/05/1998



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

ARRETE DU 08 JANVIER 1998



Article 11b

Les boues doivent être conformes ...

➔ **à des teneurs limites en composés traces organiques**

tableau 1b

Composés traces	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)	
	cas général	épandage sur pâturages
Total des 7 principaux PCB *	0,8	0,8
Fluoranthènes	5	4
Benzo (b) fluoranthène	2,5	2,5
Benzo (b) pyrène	2	1,5

* PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

PROJET EVOLUTION SEUILS EN CTM

CRITERES	Évolution vers 2015		Évolution vers 2025	
	Concentrations limites (mg/kg MS)	exportations limites (g/ha/10ans)	Concentrations limites (mg/kg MS)	exportations limites (g/ha/10ans)
CADMIUM	5	15	2	6
CHROME	800	2 400	600	1 800
CUIVRE	800	2 400	600	1 800
MERCURE	5	15	2	6
NICKEL	200	600	100	300
PLOMB	500	1 500	200	600
ZINC	2 000	6 000	1 500	4 500

Source : document de travail - 3^{ème} projet - 25 avril 2000

VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

PROJET EVOLUTION SEUILS EN CTO & Dioxines	
composés	Concentrations limites (mg/kg MS ou ng TE/kg MS*)
AOX somme organohalogénés	500
LAS Alkylbenzènesulfonates linéaires	2 600
DEHP Di(2-éthylhexyl)phthalate	100
NPE nonyphénol & éthoxylates nonyphénol	50
HAP somme 11 hydrocarbures aromatiques	6
PCB somme 7 polychlorobiphényles	0,8
PCDD/F polychlorodibenzodioxines/furanes	100*

Source : document de travail - 3^{ème} projet - 25 avril 2000



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

ARRETE DU 08 JANVIER 1998

Surveillance des sols

LES MESURES



Article 15
annexe 5

LESQUELLES ?
OU ?

Métaux lourds - pH

Parcelle de référence → | . Homogène
| . < 20 hectares

COMMENT ?

Dans un cercle de $\varnothing = 7,5$ m autour du point de référence

avec 16 prélèvements élémentaires
selon Norme NFX 31 100

COMBIEN ?

.Avant le 1^{er} épandage
.Au minimum tous les 10 ans
.Après l'ultime épandage

COPYRIGHT OIEAU

ARRETE DU 08-01-98 - SURVEILLANCE DES SOLS 01 - source JB 47/3 JB 04/09/1998

8/ Communiquer et assurer la transparence

- ▣ Règles d'affichage
- ▣ Diffusion de l'information sur simple demande
- ▣ Réunions d'information, de préparation
- ▣ Intégrer tous les acteurs dès le départ sur les projets
- ▣ Informer les organismes assujettis à une convention de raccordement (industriels)



VALORISATION AGRICOLE DES BOUES

ARRETE DU 08 JANVIER 1998



Article 13 II

DEROGATION AU TRAITEMENT DE STABILISATION et/ou D'HYGIENISATION

Si il s'agit de :

Matières de vidange

Boues issues de STEP < 2000 EH

et si

**Enfouissement immédiat des boues
après épandage**



ARRETE DU 08 JANVIER 1998

LE DEPOT TEMPORAIRE sur parcelle et sans travaux d'aménagement

POSSIBLE

SI :

Les boues sont solides et stabilisées

▶ à défaut : durée maximale de dépôt = 48 heures

**Précautions pour éviter tout ruissellement
et percolation rapide**

Respect des distances d'isolement:

▶ distance dépôt/routes et fossés ≥ 3 m

**Limitation des quantités de boues entreposées
aux doses nécessaires à l'épandage de la parcelle
(sauf si boues hygiénisées)**

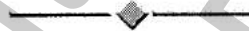
SIMULTANEMENT



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

LA BIOFILTRATION



9



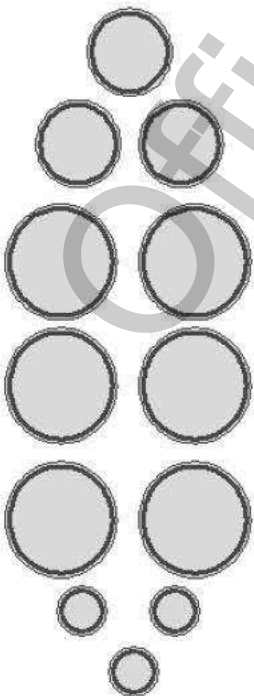
LA BIOFILTRATION

Biofiltration des eaux résiduaires sur support granulaire fixe, immergé et aéré

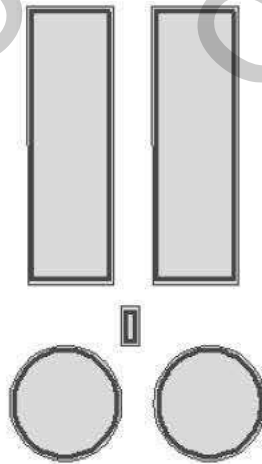
- étape dans l'intensification des procédés biologiques,
- différents types de traitement :
 - carbone
 - nitrification
 - dénitrification

Biofiltration : occupation au sol

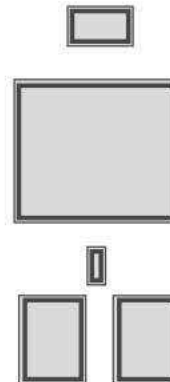
Lits bactériens



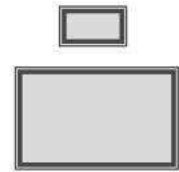
Bassins d'oxydation



Boue Activée en cuves profondes



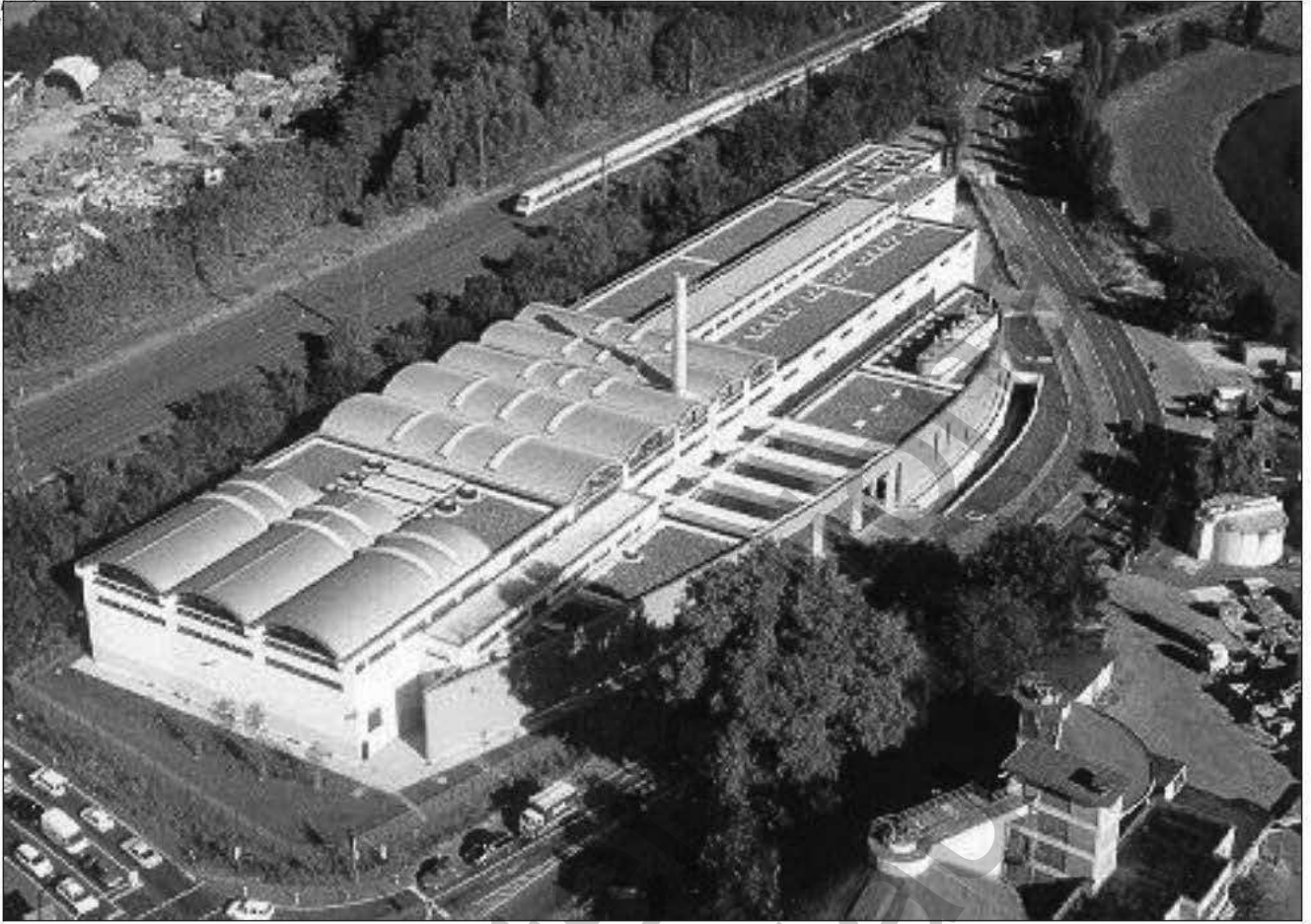
Biofiltres



Procédé compact



Exemple d'application HERFORD



LES FACTEURS INFLUENTS LE BON TRAITEMENT BIOLOGIQUE

- **UNE BONNE ALIMENTATION**

- Qualité (DCO/DBO₅ ; des nutriments N et P ...)
- Quantité (ratio alimentaire, mode de bassin)

- **UN BON CONTACT**

- Brassage
- Nombres de passages

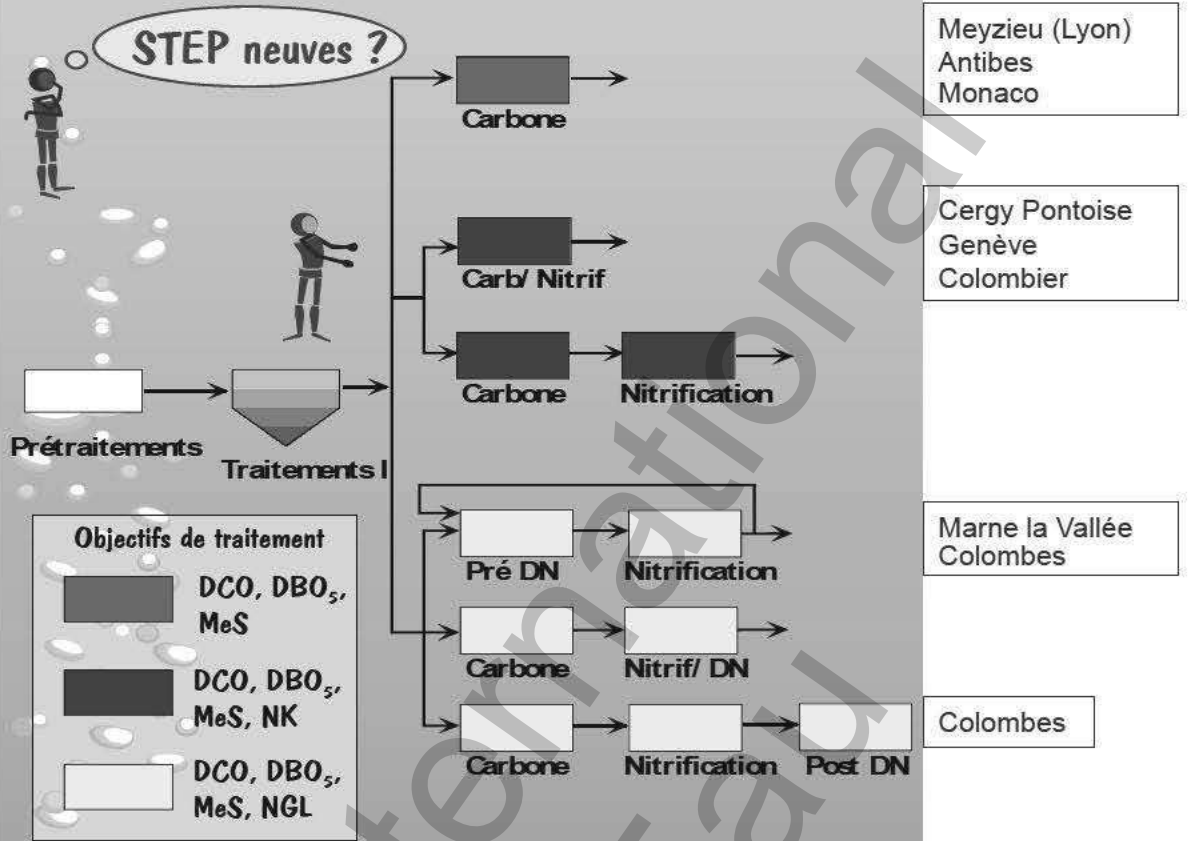
- **DE BONNES CONDITIONS**

- Pas trop de toxiques, pas trop froid
- Temps (temps de séjour)

BIOFILTRATION

Domaines d'application

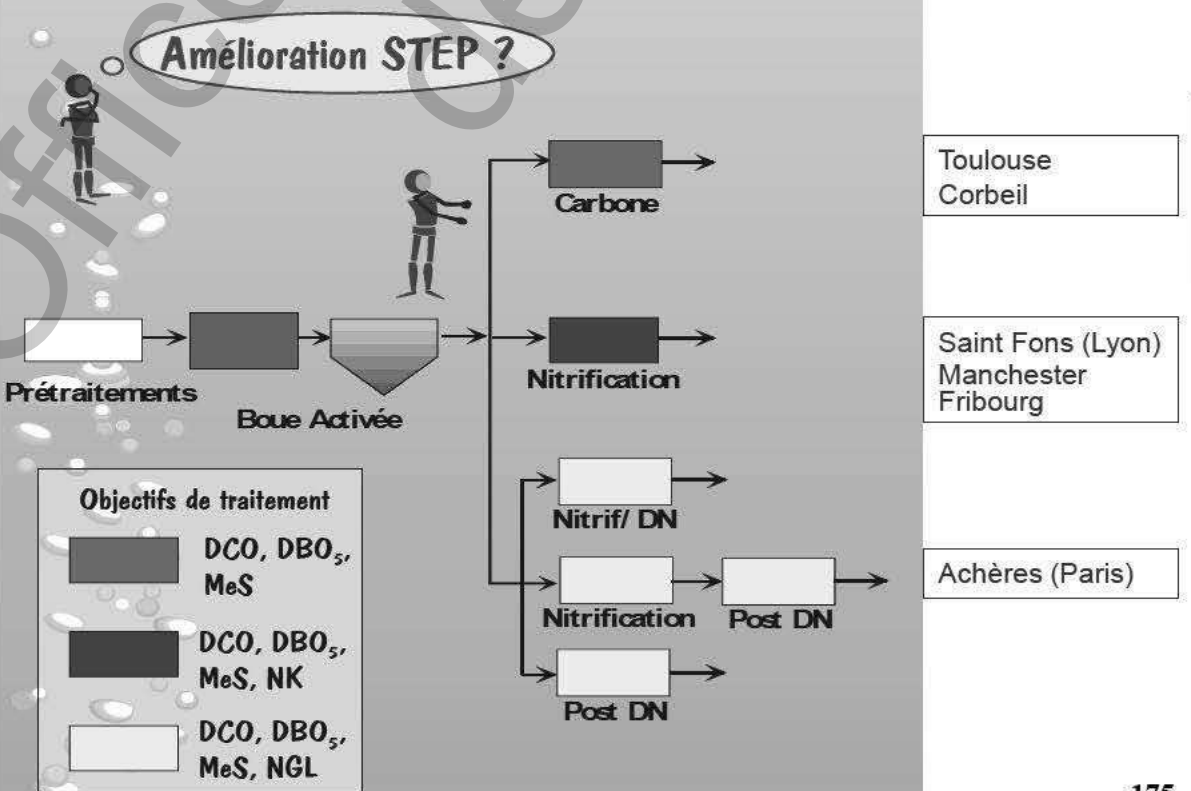
Traitement de la pollution

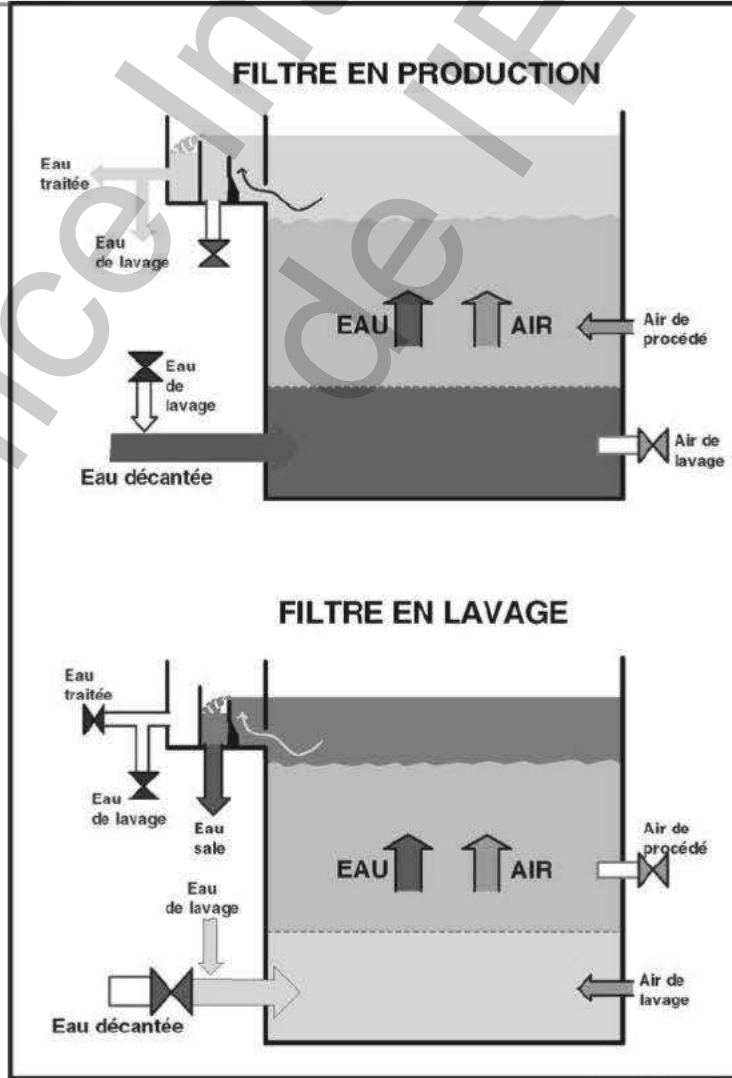
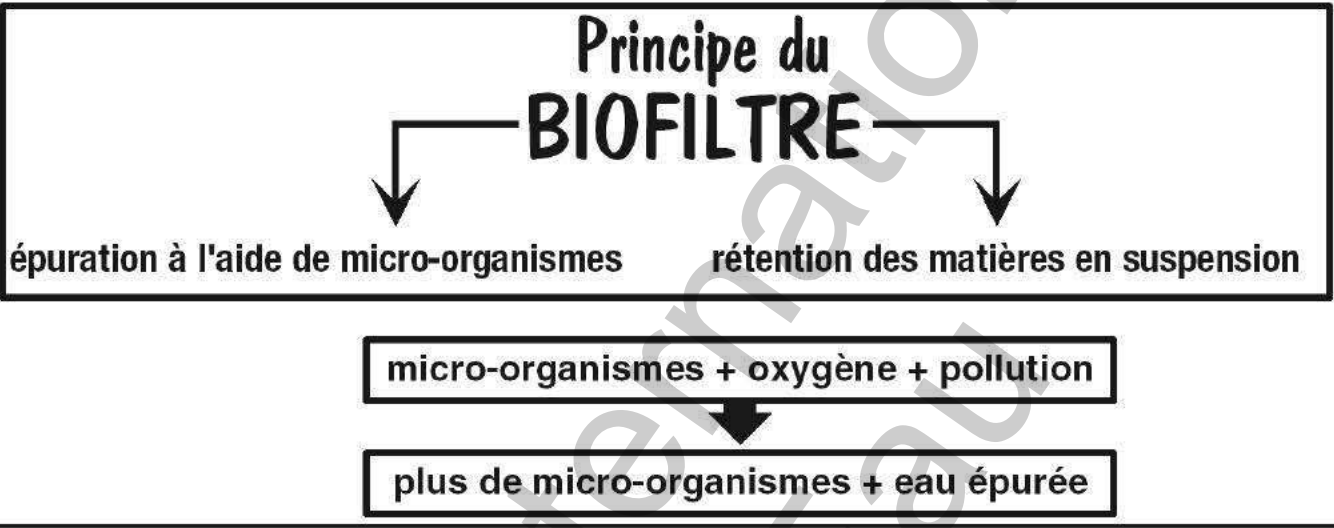
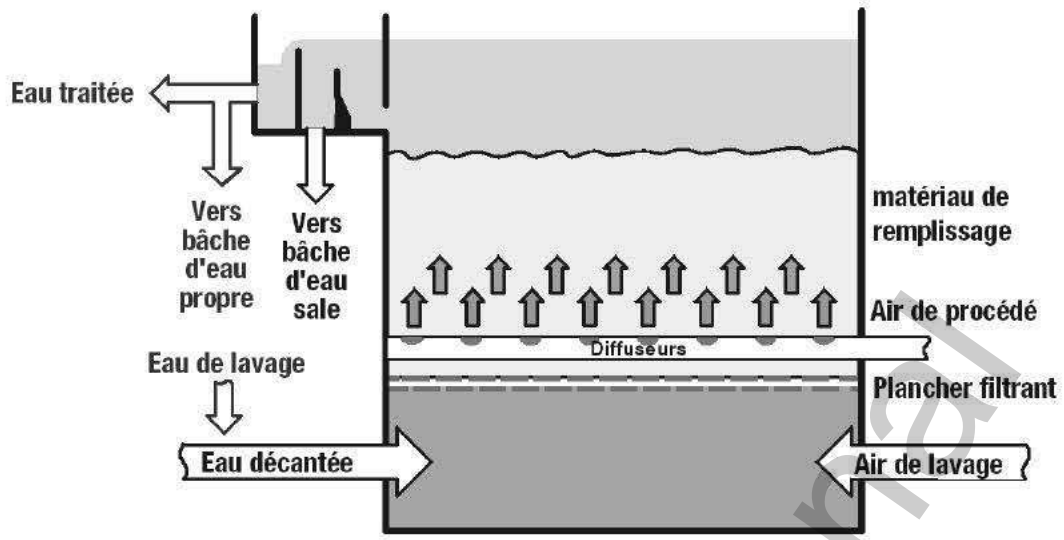


BIOFILTRATION

Domaines d'application

Traitement de la pollution





LE MATERIAU DE REMPLISSAGE

GRANULOMETRIE
= Ø 3 - 6 mm

TROP FAIBLE → Colmatage rapide

TROP FORTE → Surface interne
de filtration réduite

UNIFORMITE DES GRAINS Doit être forte pour augmenter la porosité

DENSITE
= 1,5

TROP FAIBLE → Entraînement lors des lavages

TROP FORTE → Poids élevé --> détassage difficile

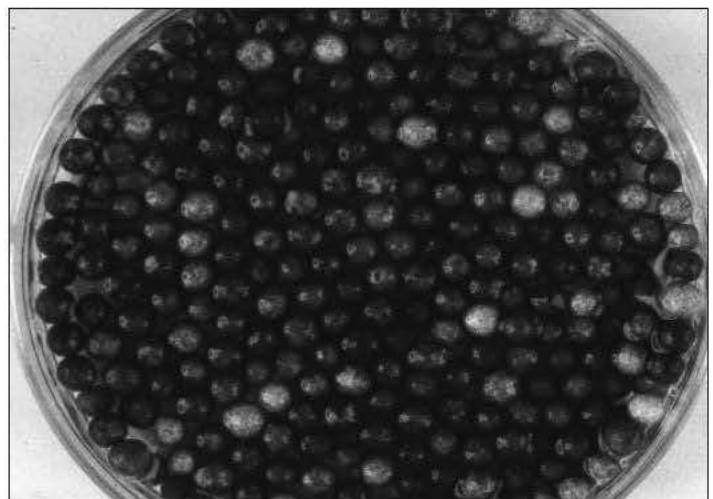
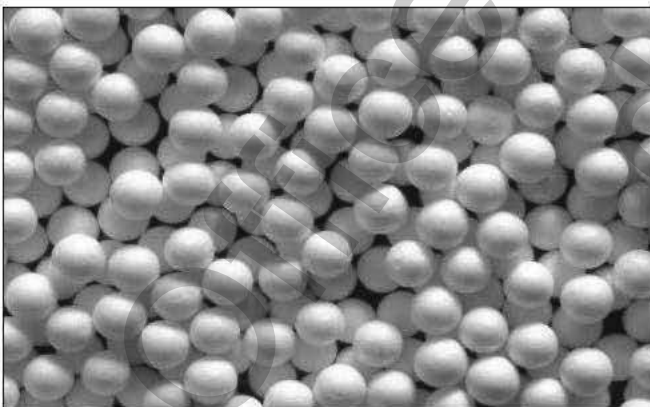
**FORME
DES GRAINS**

ANGULEUX → Tendence au tassage

SPHERIQUE → Surface interne de filtration supérieure

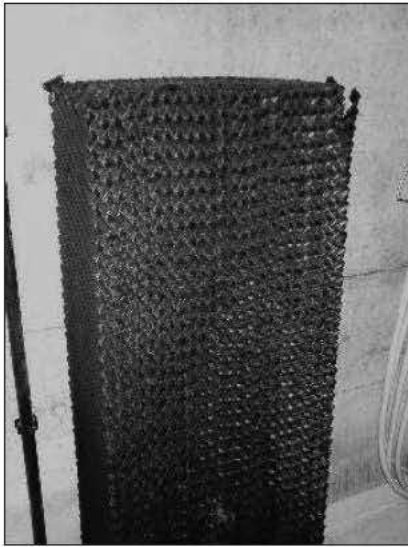
NATURE DU MATERIAU Peu importante

Le matériau: Biostyrène®[®], neuf



-Taille : $\phi = 3,6$ mm

FILTRE BIOPUR : support ordonné

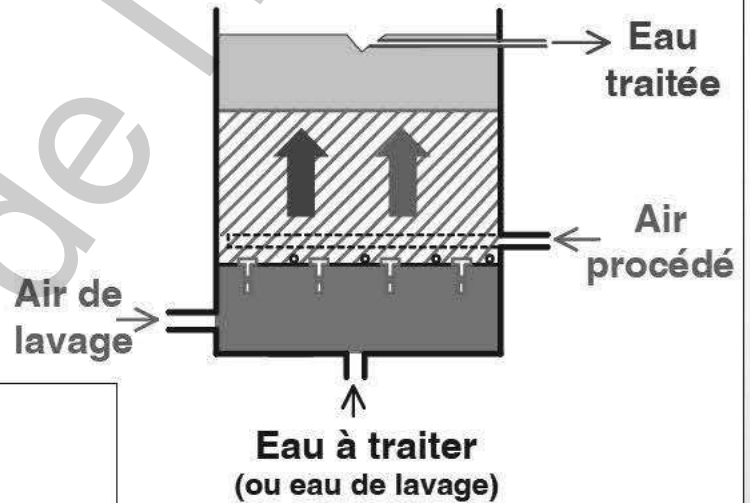


Vue du biofilm sur support modulaire step Anniviers

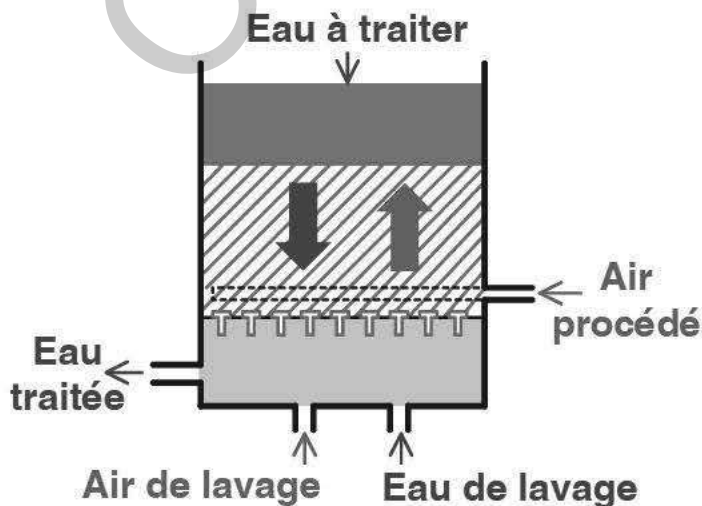


LA CIRCULATION DES FLUIDES : AIR - EAU

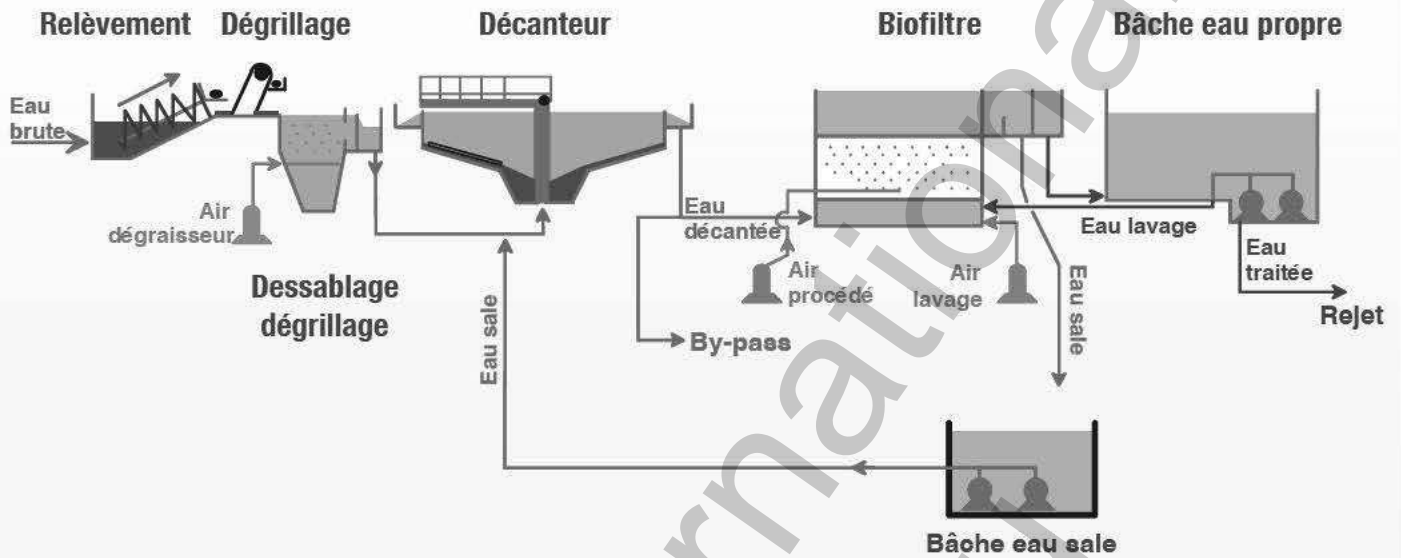
CO - COURANT



CONTRE - COURANT



EXEMPLE



Les paramètres d'exploitation

- Les charges volumiques : carbone & azote
- La charge hydraulique
- Les rendements épuratoires
- Les besoins en oxygène
- Les lavages
- La production de boues

BIOFILTRATION

Dimensionnement

☞ Paramètres de dimensionnement

Charge volumique : $\text{kg}/\text{m}^3.\text{j}$

$$\frac{C \times Q}{V}$$

C : concentration moyenne (kg/m^3)

Q : débit (m^3/j)

V : volume de matériau (m^3)

Charge hydraulique : $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{j}$

$$\frac{Q}{S}$$

Q : débit (m^3/j)

S : surface du biofiltre (m^2)

Notion de Charges Volumiques (ou organiques)

$$C_v \text{ appliquée} = \frac{\text{Flux journalier entrée}}{\text{Volume total du matériau}}$$

$$C_v \text{ éliminée} = \frac{(\text{Flux entrée} - \text{Flux sortant})}{\text{Volume total du matériau}}$$

Charges volumiques

Données Constructeurs

Charge volumique	Carbone	Nitrification		Dénitrification		Nitrification/dénitrification sur filtre unique
		Secondaire	Tertiaire	Pré dénitrification	Post dénitrification	
10 kg DCO/m ³ /jour <small>(difficile de respecter 125 mg/l en DCO en sortie) (acceptable en 1^{er} étage)</small>	0,7 kg NK/m ³ aéré/j	1,2 à 1,5 kg NK/m ³ aéré/j	0,7 à 0,9 kg NNO ₃ ⁻ /m ³ anoxie/j	>1,5 kg NNO ₃ ⁻ /m ³ anoxie/j	0,7	

Source : Cemagref, cahier Technique FNDAE n°25

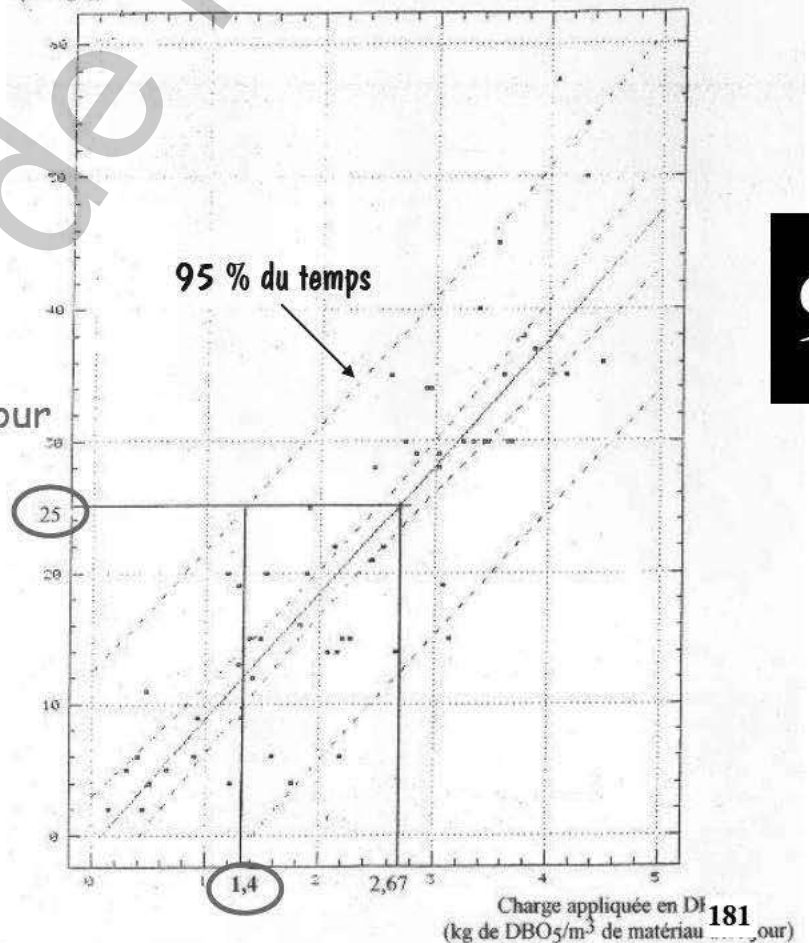
Charges volumiques

Données exploitation

concentration en DBO₅ (en mg/l)

Pour respecter DBO_{5 ET} = 25 mg/l à 95% du temps,

Il faut Cv = 1,5 kg DBO₅/m³aéré/jour

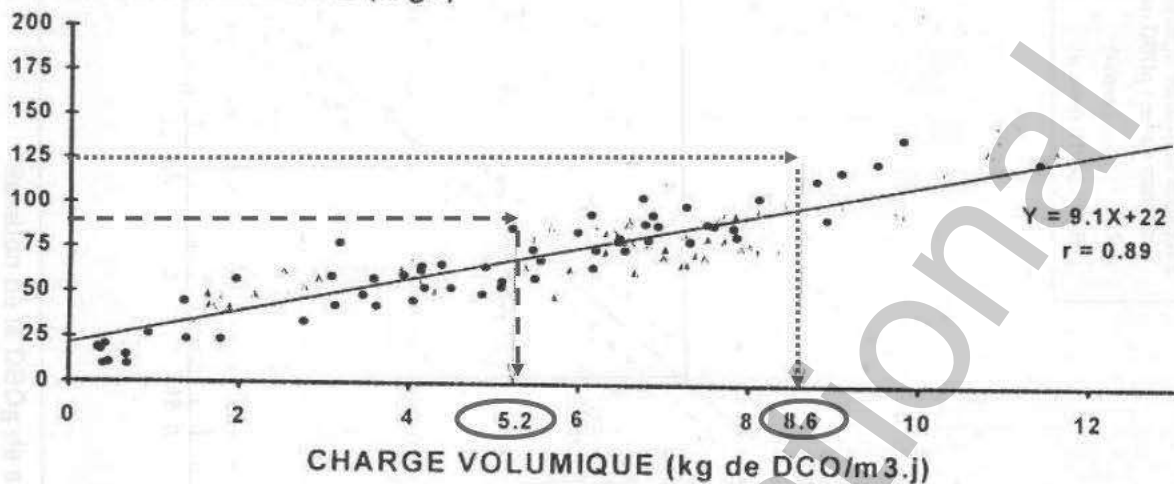


Source : Cemagref

Charges volumiques

Données exploitation

DCO SORTIE BIOFILTRE (mg/l)



Pour respecter

DCO ET = 125 mg/l à 95% du temps, il faut $C_v = 8,6$ kg DCO/m³aéré/jour

DCO ET = 90 mg/l à 95% du temps, il faut $C_v = 5,2$ kg DCO/m³aéré/jour

Source : Cemagref

BIOFILTRATION

Dimensionnement

👉 Bases de dimensionnement



Elimination du Carbone

Objectifs : DCO < 125 mg/l
DBO₅ < 25 mg/l

C. Volumique	4,5 kg DCO/m ³ .j
C. Hydraulique	2 à 4 m/h
Besoin Air	30 à 40 Nm ³ /kg DCO

BIOFILTRATION

Dimensionnement

☞ Bases de dimensionnement



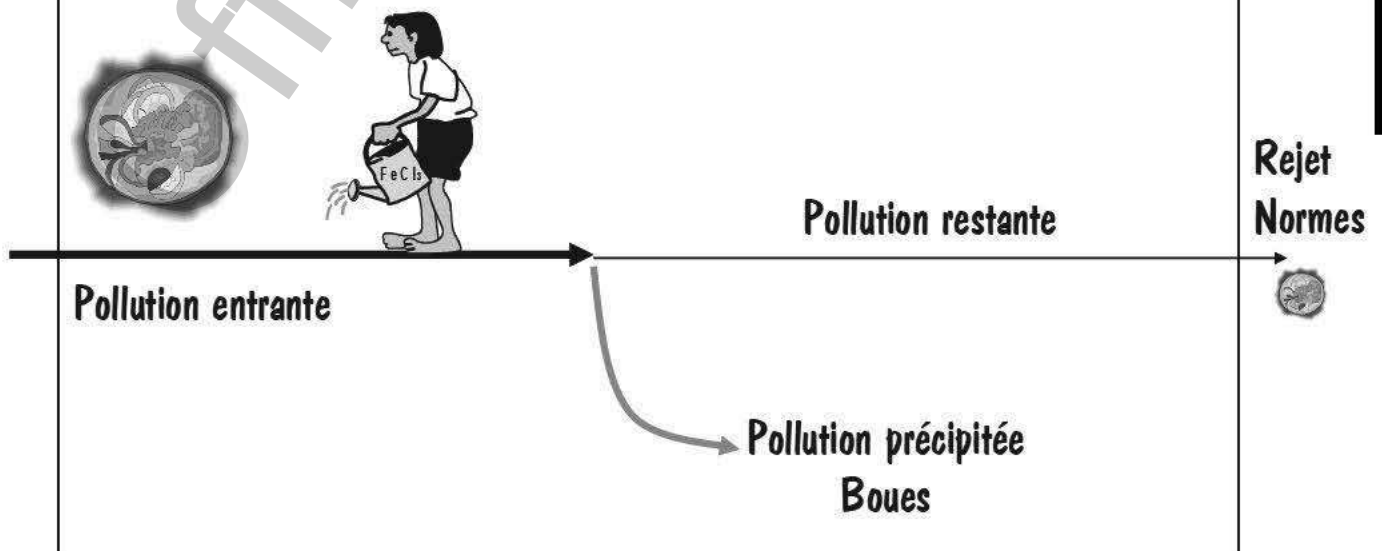
Nitrification secondaire

Objectifs : DCO < 125 mg/l
DBO₅ < 25 mg/l
NK < 10 mg/l

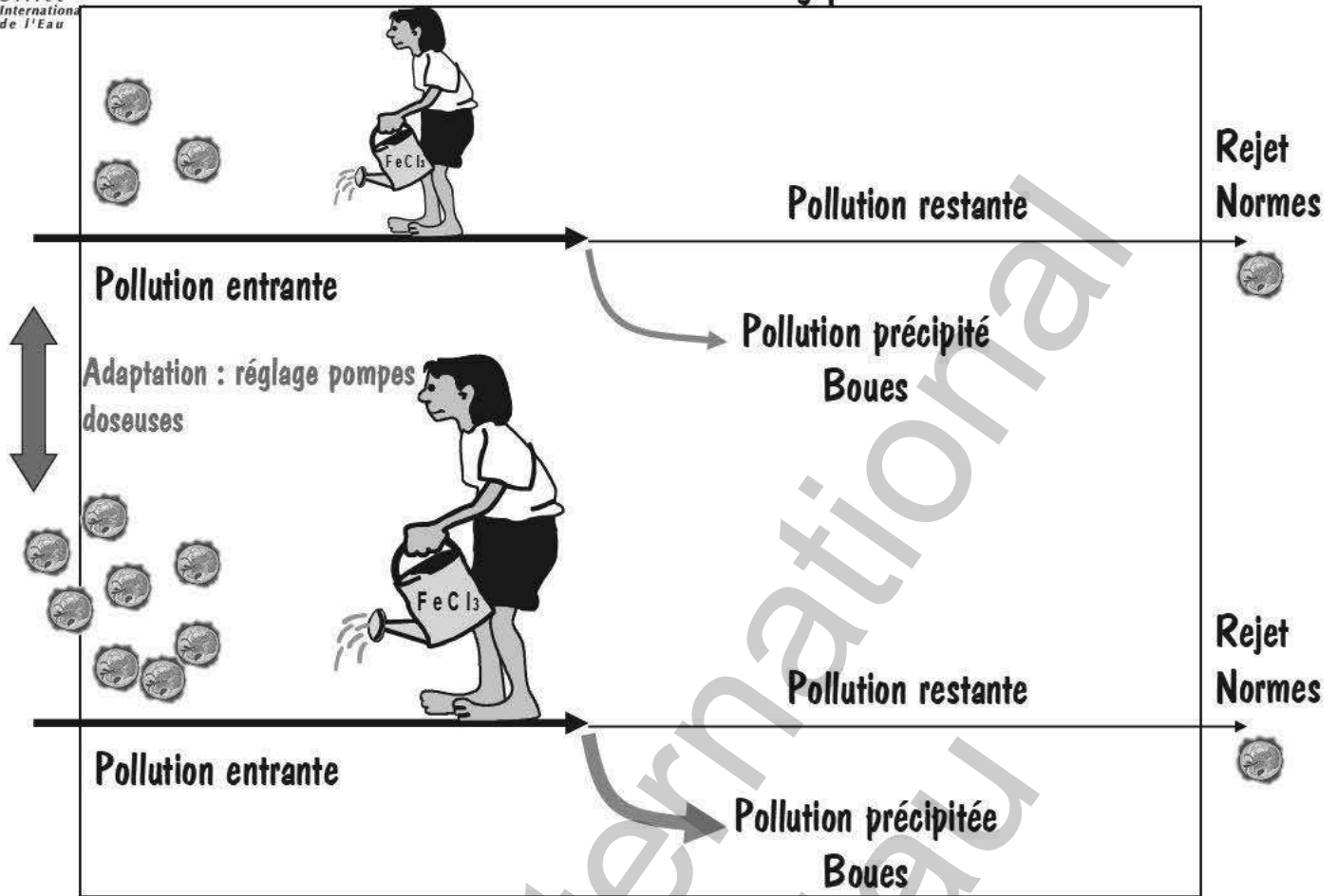
C. Volumique	0,7 kg N-NH ₄ /m ³ .j
C. Hydraulique	3 m/h
Besoin Air	250 Nm ³ /kg N-NH ₄

La LOGIQUE de la charge à traiter ... du traitement chimique au traitement biologique

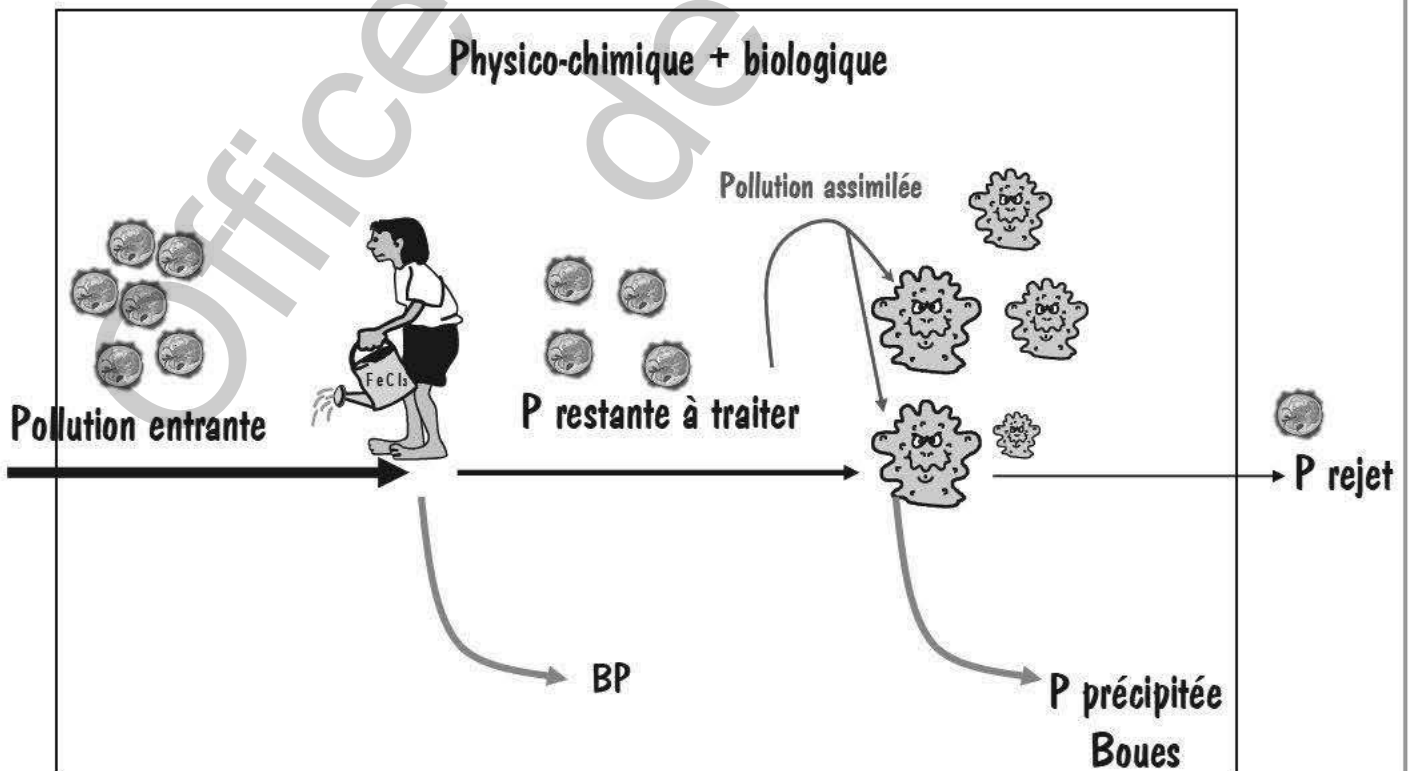
Traitement physico-chimique seul

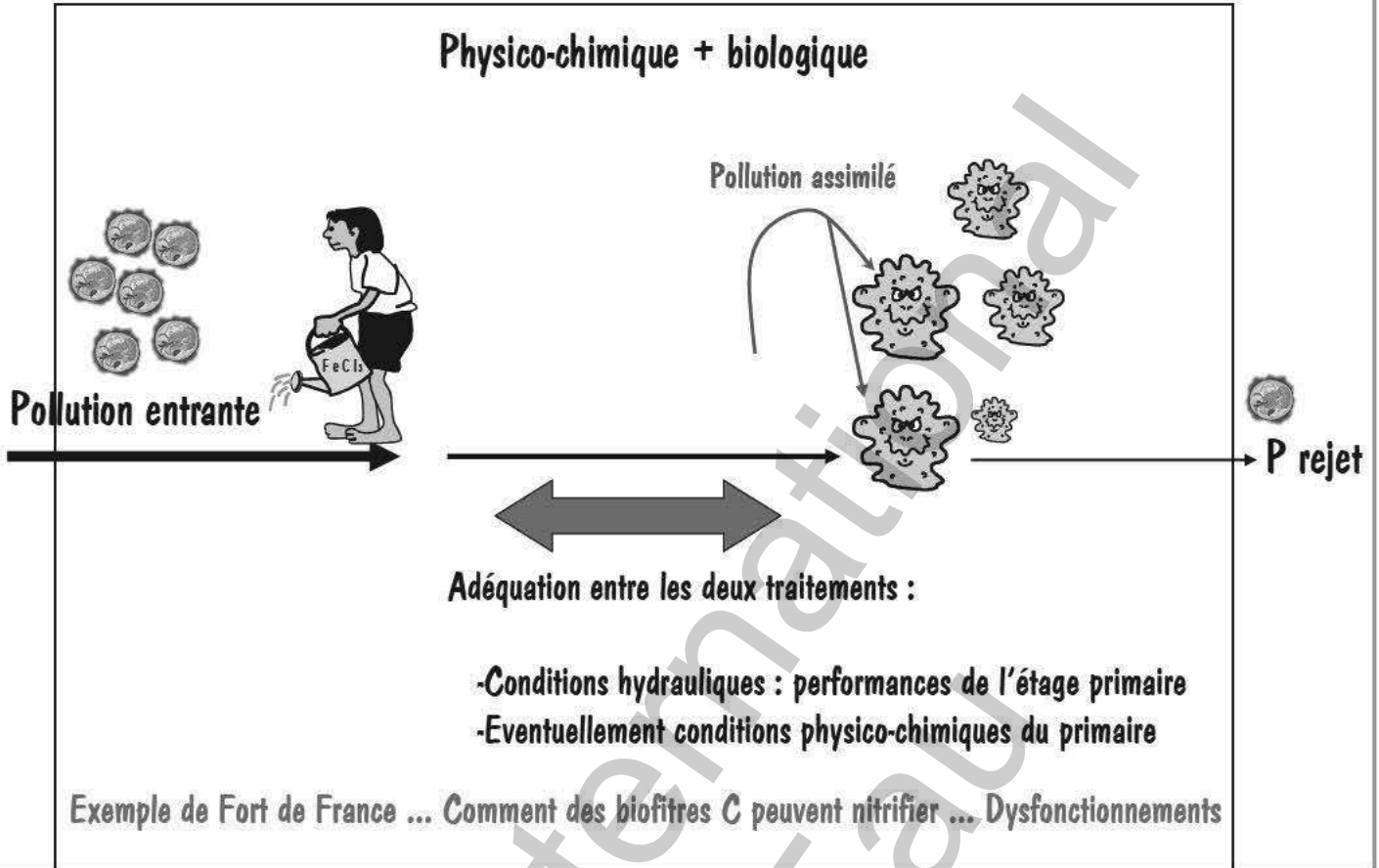


La LOGIQUE de la charge à traiter ... du traitement chimique au traitement biologique



La LOGIQUE de la charge à traiter ... du traitement chimique au traitement biologique





Rendements épuratoires

Rendements épuratoires des biofiltres après décantation primaire ou après un traitement biologique

	Décantation Primaire	Traitement biologique
MES	60-80%	40-70%
DBO ₅	65-85%	40-70%
DCO totale	55-75%	30-55%
Nitrification	70%	80-90%

Granulométrie du matériau : 3 mm

Si < 3 mm, gain de 5 points sur les rendements

Calcul des Besoins en Air

$$Q_{\text{air}} \text{ consigne en filtration (Nm}^3\text{/h)} = \frac{A \times \text{DCO soluble éliminée}}{N_f}$$

$A \sim 20,7$

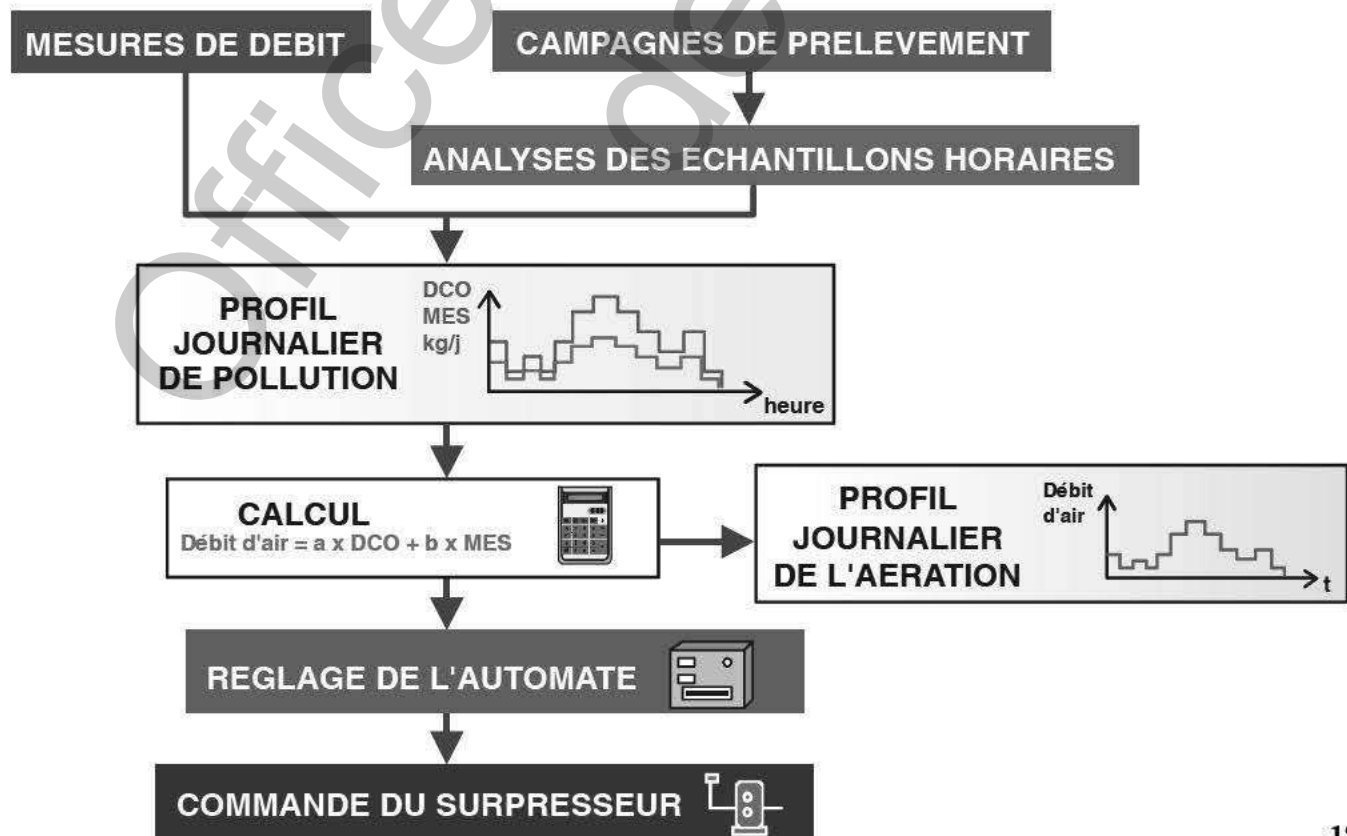
DCO soluble éliminée en kg DCO soluble éliminée/j

N_f : nombre de cellules de filtration

Source : constructeur




LE REGLAGE DE L'AERATION

(Pour que les biofiltres ne manquent pas d'air ...)





LES LAVAGES

sont pénalisants pour l'épuration

-  brusque variation de charge sur les autres biofiltres
-  surcharge du traitement primaire
-  période de redémarrage du biofiltre

nécessitent beaucoup d'énergie

-  un important débit d'eau propre (5 à 10 fois le débit d'eau usée)
-  un important débit d'air de lavage (3 à 10 fois le débit d'air procédé)

donc :

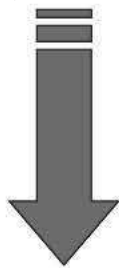
Il faut obtenir des cycles de fonctionnement le plus long possible (24 - 48 heures)

INWCI design - CIPME

Pertes de charge

PdC avant lavage =

PdC début du cycle + Prise PdC (Boues produites)



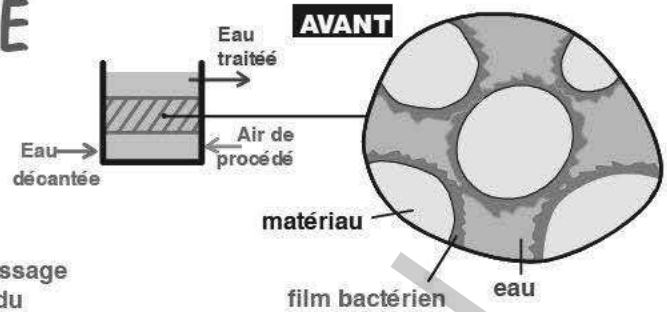
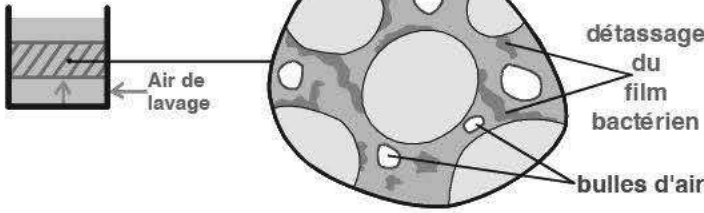
Doit être restaurée
après lavage



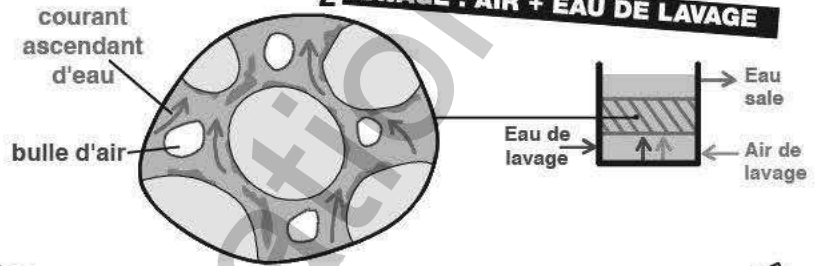
Doit être supprimée
après lavage

UN CYCLE DE LAVAGE

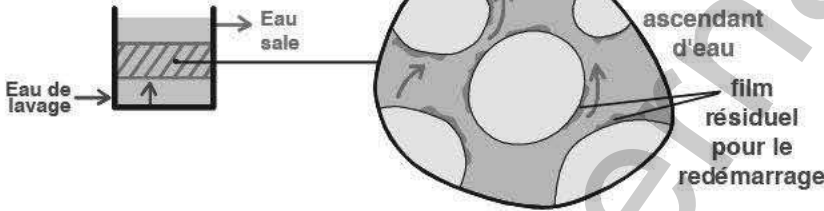
1 DETASSAGE : AIR DE LAVAGE



2 LAVAGE : AIR + EAU DE LAVAGE

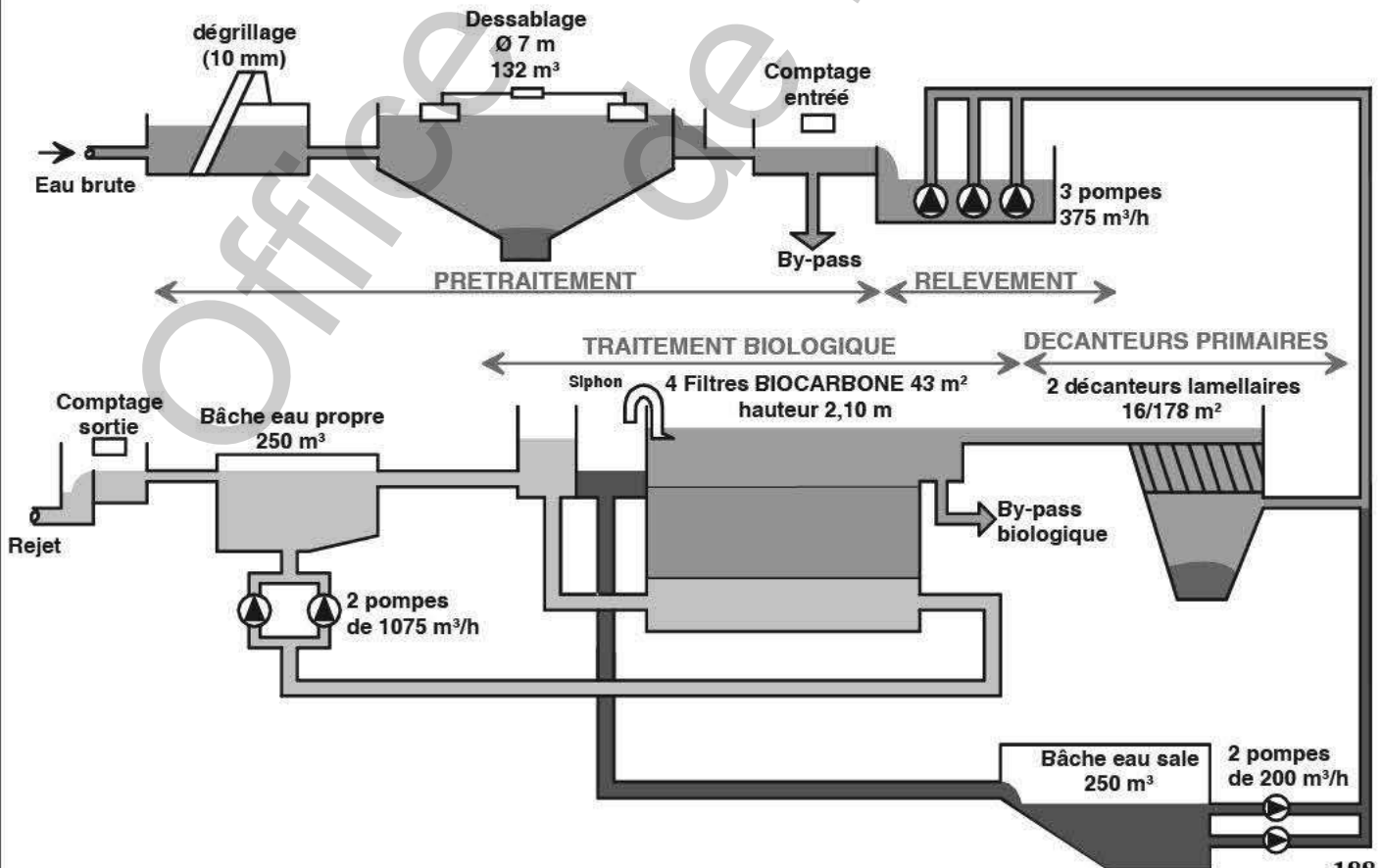


3 RINCAGE : EAU DE LAVAGE



Volume d'eau nécessaire
2,5 à 3 m³ d'eau/m³ matériau

STATION AVEC BIOCARBONE PRINCIPE





Office International de l'Eau

Vue d'ensemble STEP Biocarbone



Biocarbone en lavage

Biocarbone en production



Biocarbone en rinçage

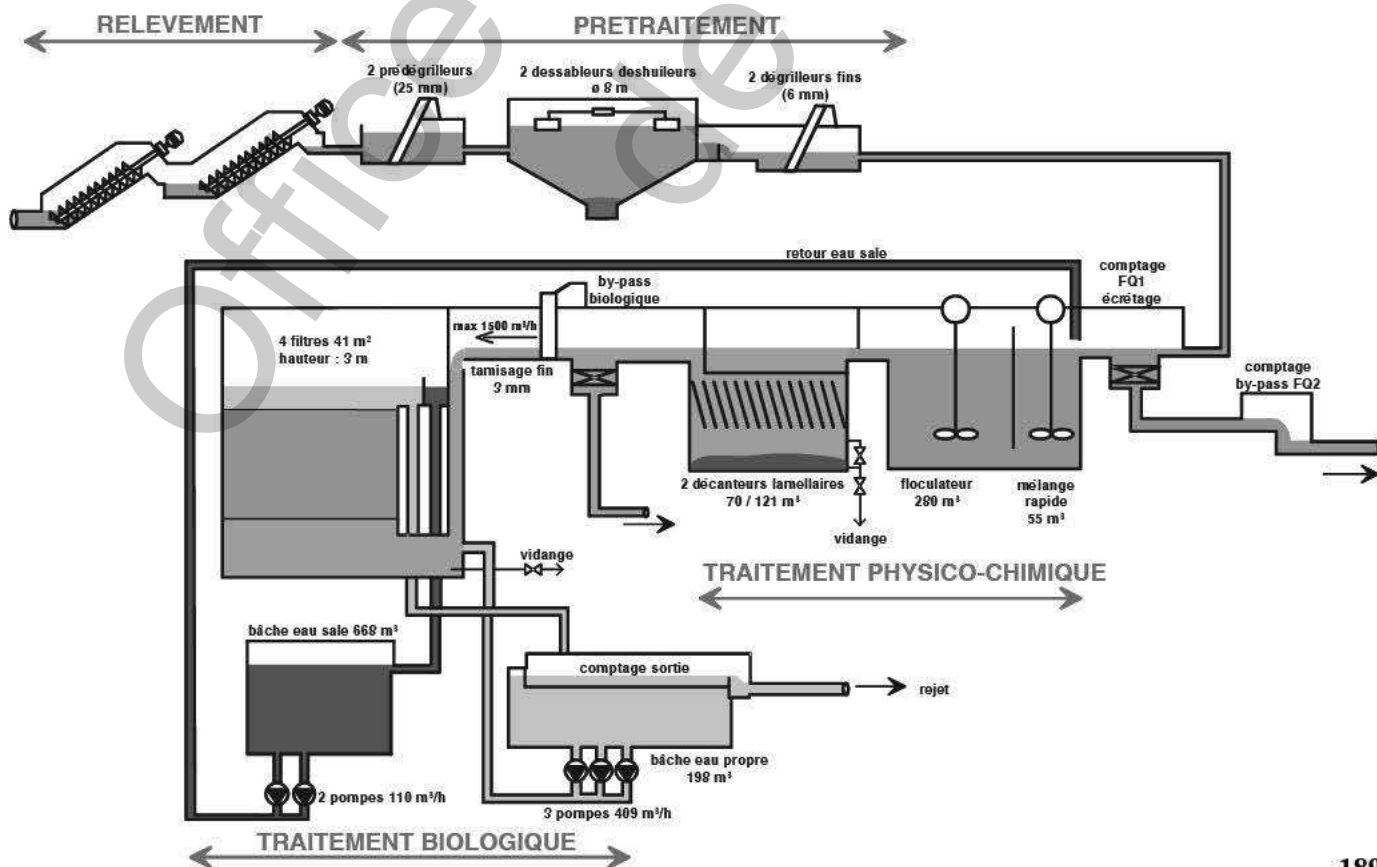


Step de Martigny - Biocarbone

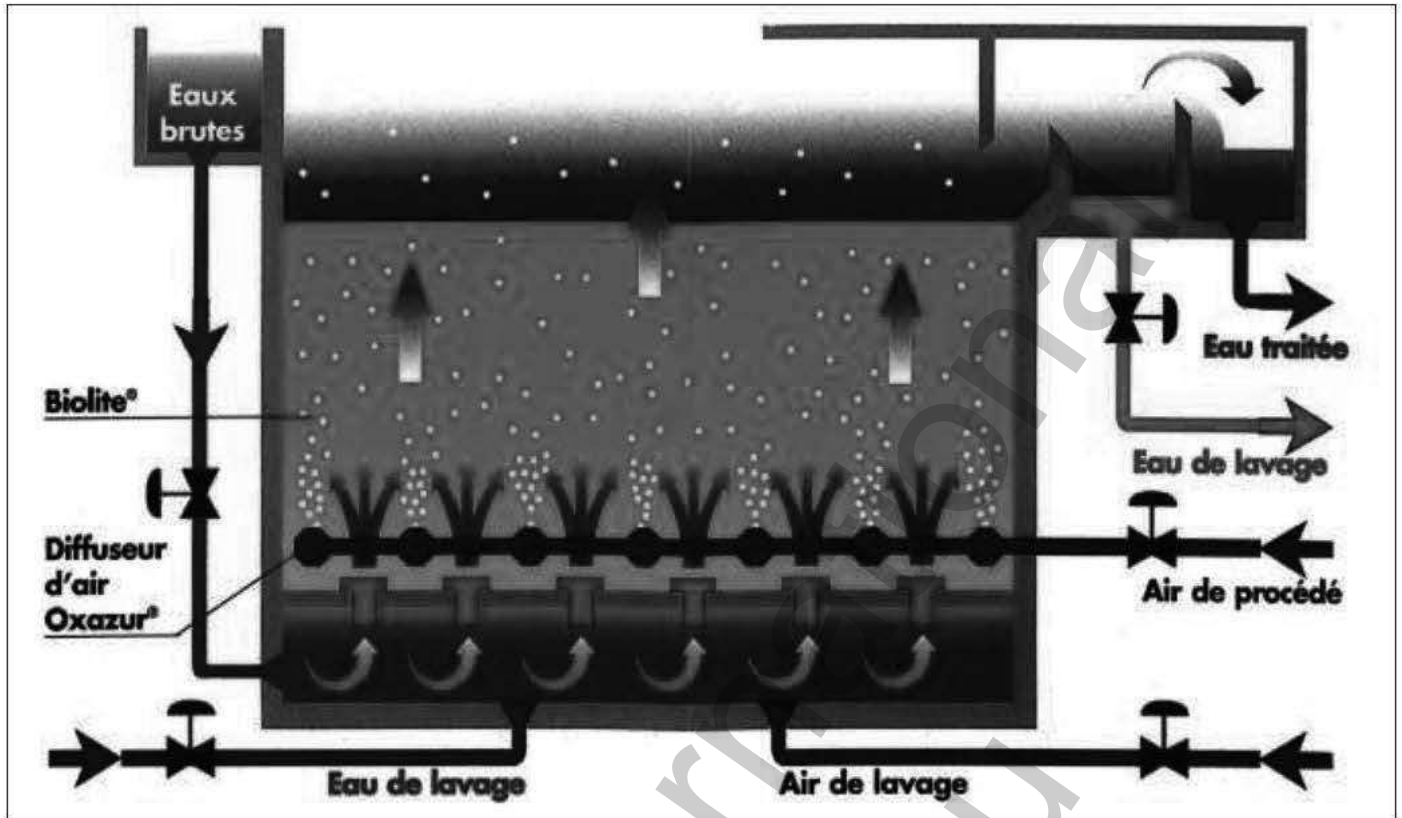


Office International de l'Eau

STATION AVEC BIOFOR



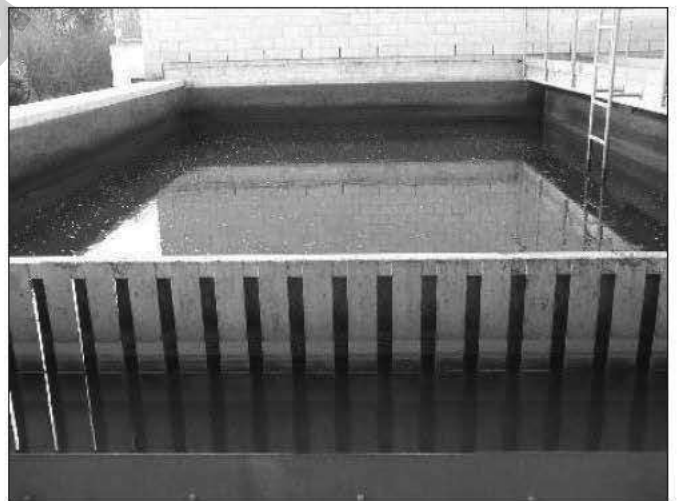
BIOFOR, Degrémont : PRINCIPE



FILTRE BIOFOR

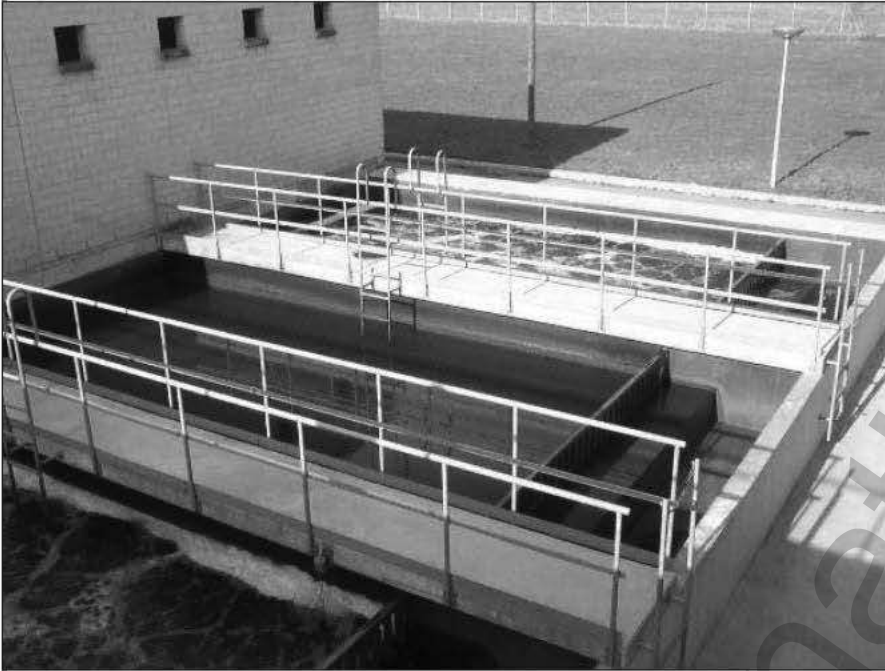


Biofor en production



Biofor en veille

FILTRE BIOFOR

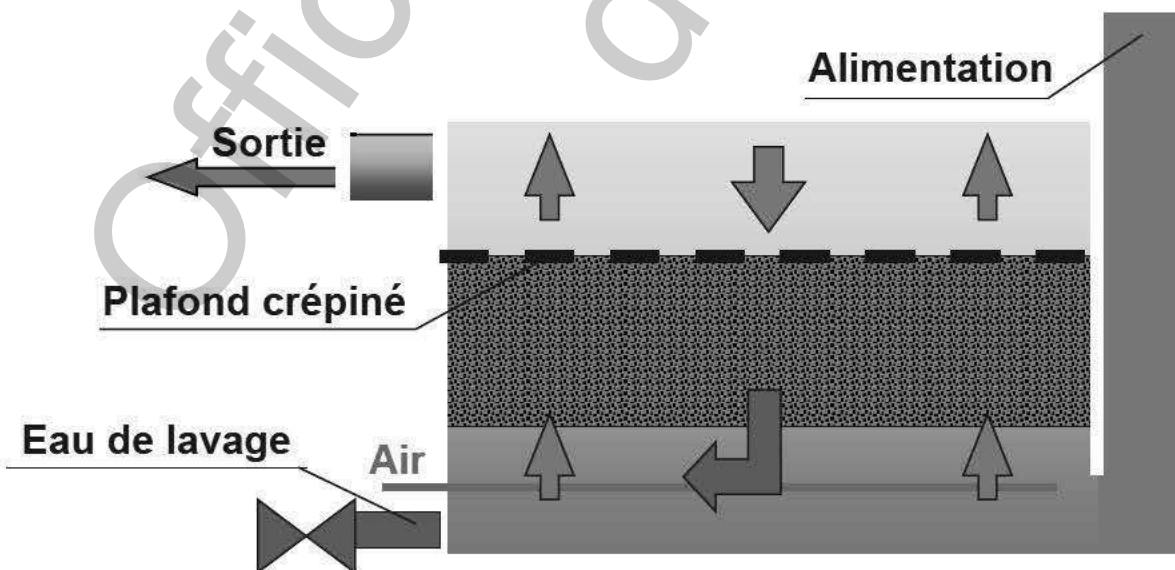


Vue sur les cellules Biofor en plein air

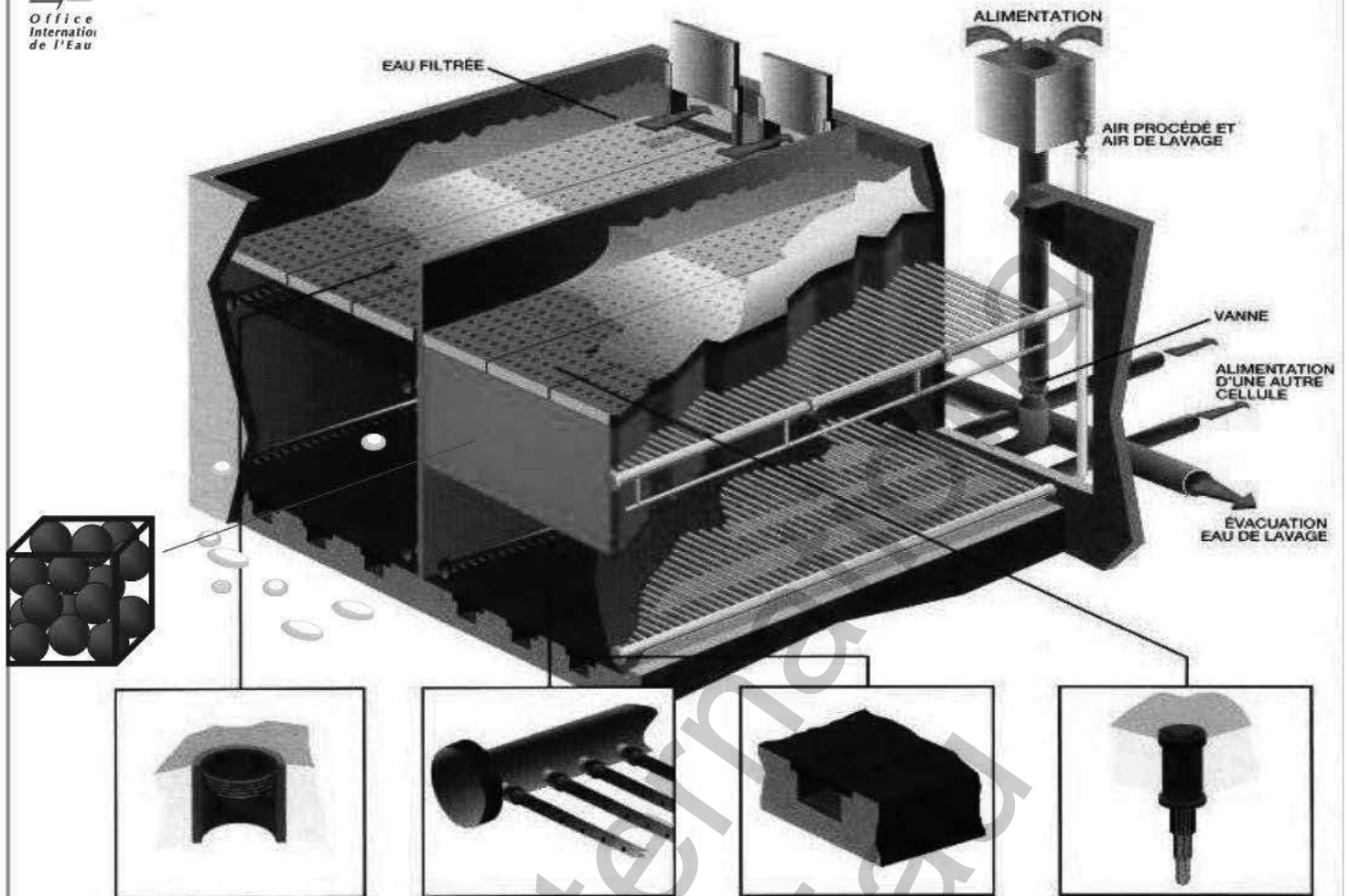


Sortie eau traitée d'un Biofor
STEP DE NYON

BIOSTYR, OTV : PRINCIPE



BIOSTYR, OTV



BIOSTYR

Séquence Mini Lavage

PHASE	SEQUENCE	TEMPO	VITESSE
Eau	Eau seule	15 à 60 s	55 m/h
Air	Détassage air seul	30 à 120 s	12 Nm/h
Stabilisation	Stabilisation	0 à 300 s	
Eau	Rinçage	60 à 190 s	55 m/h

BIOSTYR

Lavage normal

PHASE	SEQUENCE	TEMPO	VITESSE
Eau	Prélavage	15 à 60 s	55 m/h
Air	Détassage air seul	30 à 120 s	12 Nm/h
Stabilisation	Stabilisation	0 à 300 s	
Eau	Eau seule	60 à 180 s	55 m/h
Air	Détassage air seul	30 à 120 s	12 Nm/h
Stabilisation	Stabilisation	0 à 300 s	
Eau	Rinçage	120 à 360 s	55 m/h
Tempo entre 2 lavages		30 à 60 mn	

N phases

BIOSTYR

Lavage normal

step de Colombier

PHASE	SEQUENCE	TEMPO	VITESSE
Eau	Prélavage	120 s	55 m/h
Air	Détassage air seul	60 s	12 Nm/h
Stabilisation	Stabilisation	60 s	
Eau	Eau seule	120 s	55 m/h
Air	Détassage air seul	60 s	12 Nm/h
Stabilisation	Stabilisation	60 s	
Eau	Rinçage	250 s	55 m/h

N phases

Vitesse eau lavage = 55 m/h pour ouverture vanne VREL à 43%

→ Calage définitif : Ne plus toucher après optimisation même lors des opérations de maintenance

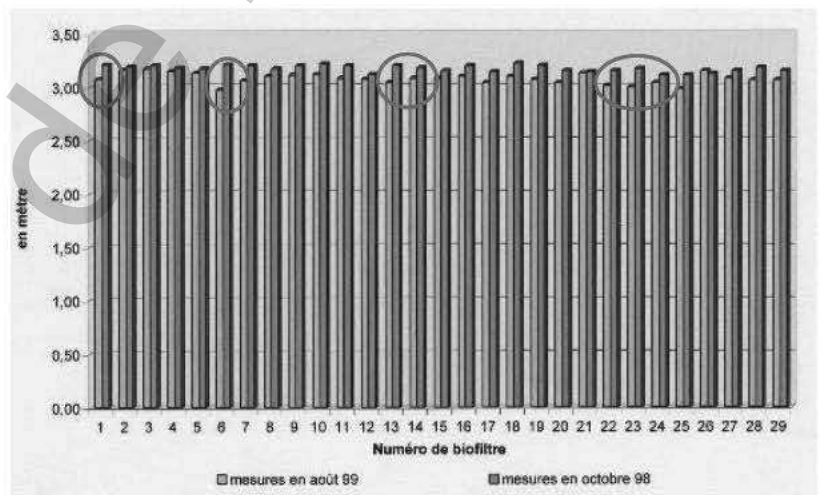
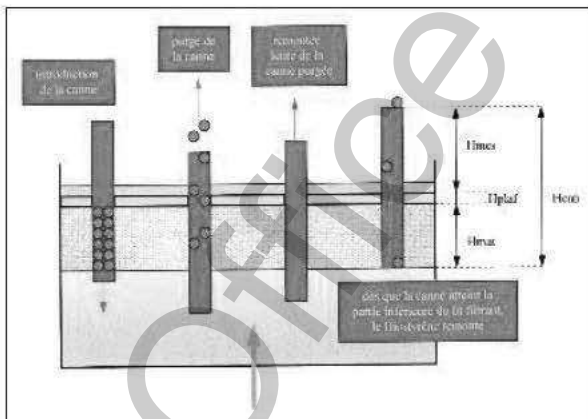
Lavage exceptionnel (pour limiter expansion du matériau)

N phases

PHASE	SEQUENCE	TEMPO
Eau	Prélavage	15 à 60 s
Air	Détassage air seul	30 à 120 s
Stabilisation	Stabilisation	0 à 300 s
Eau	Eau seule	30 à 180 s
Air	Détassage air + eau	30 à 180 s
Stabilisation	Stabilisation	0 à 300 s
Eau	Rinçage	120 à 360 s
	Purge réseau d'air	0 à 300 s

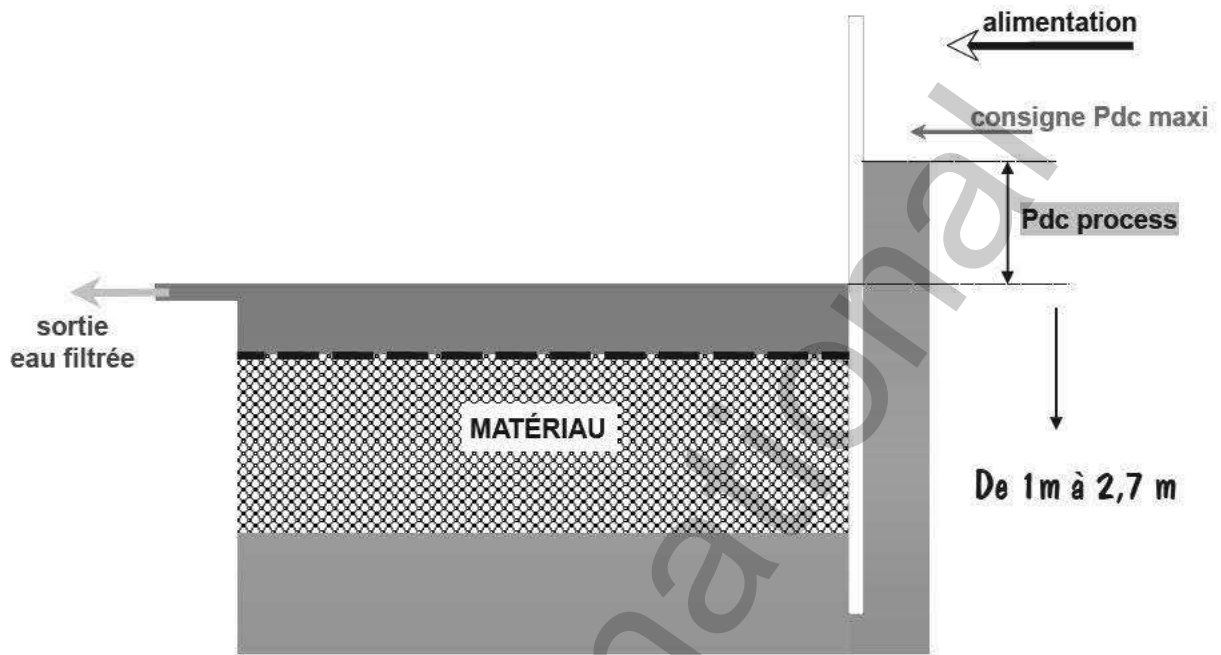
N phases

Prélèvement de Biostyrène



Perte maxi : Biostyr 6 : $3,2 - 2,9 = 0,3$ m soit $\sim 10\%$ de perte

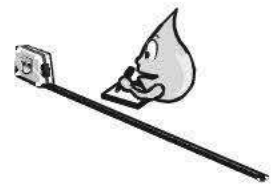
Perte de Charge du Biostyr®



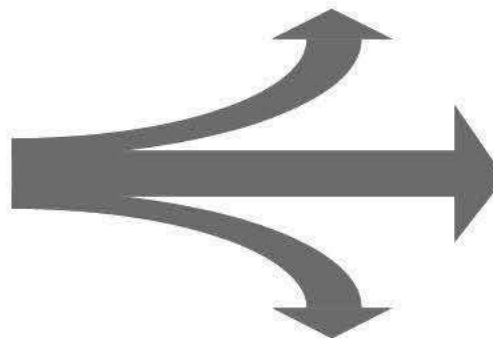
Comportement Hydraulique du Biostyr®

Colonisation homogène sur toute la hauteur

Hauteur de matériau



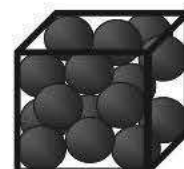
Perte de charge sur filtre propre



Vitesse en eau



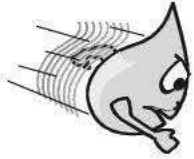
Porosité



Perte de Charge hydrauliques sur biofiltre

Conséquences en exploitation

- **H mat :** - Perte de matériau,
- Hauteur non homogène sur l'ensemble des Biostyrs
- **V eau :** - Pointe de débit - périodes de pointe - débit limite admissible avant by-pass
- Attention aux lavages !



Retraitement des eaux de lavage

Augmentation du débit retourné en tête

Limitation du nombre de cellule en filtration

Augmentation de la charge hydraulique sur chaque biofiltre

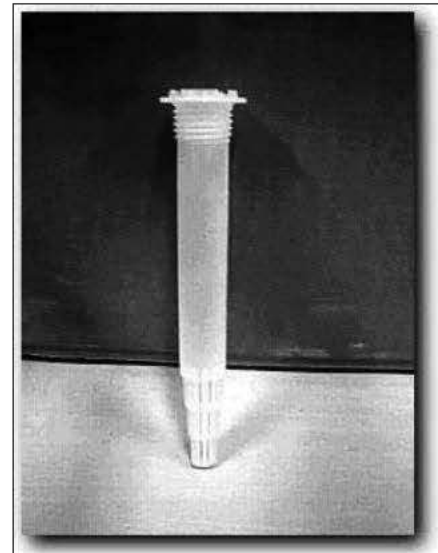
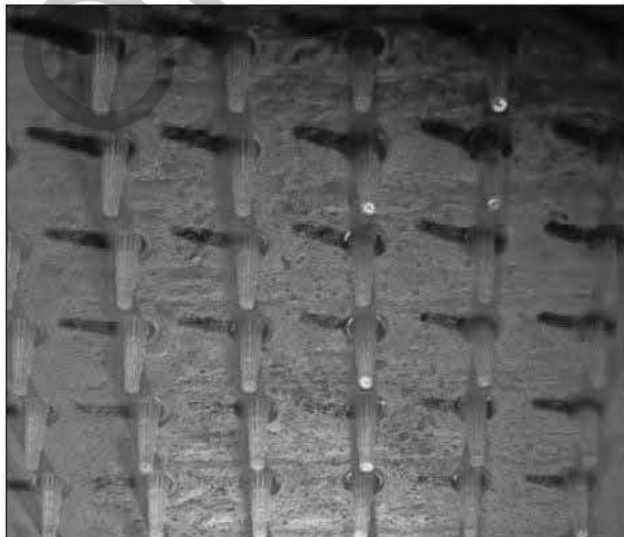
Source SIAAP

Step Manchester

Serrage des buselures sur le plancher



Serrage manuel



LA MISSION DE L'EXPLOITANT

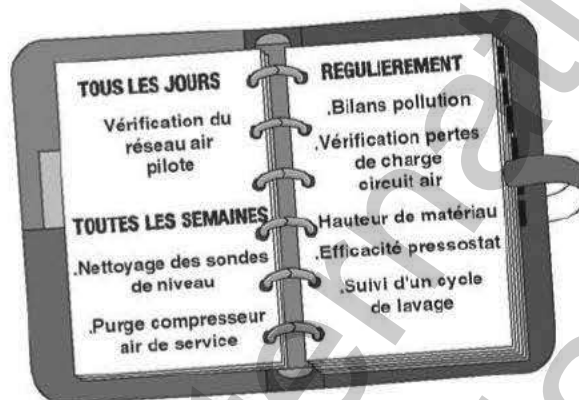
ASSURER LA REGULARITE DU TRAITEMENT

- .Traitement primaire
- .Traitement des boues
- .Adaptation à la charge
- .Efficacité des cycles de lavage

ASSURER LA CONTINUITÉ DU TRAITEMENT

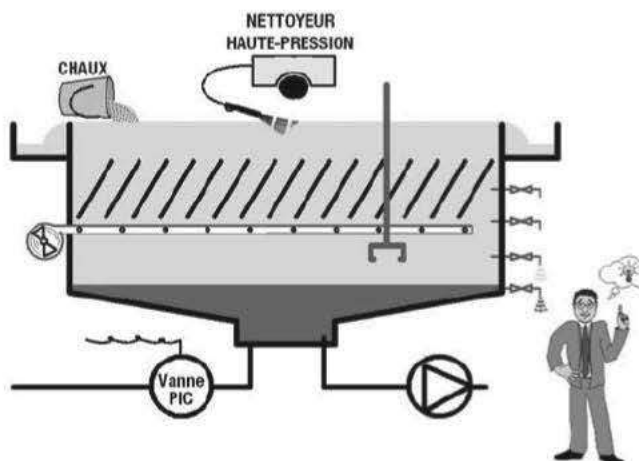
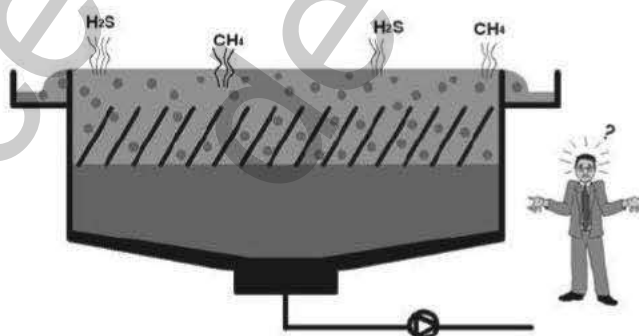
- .Entretien préventif; sondes, pompes, vannes, compresseurs
- .Réseau air pilote

LE PLANNING DE L'EXPLOITANT



1927 design-7 - CIPRA

DYSFONCTIONNEMENT Physico-chimique



1927 design-7 - CIPRA

DYSFONCTIONNEMENT Biofiltration

Comment détecter
un colmatage ?

- . Nombre de lavages importants
- . "Geysers" en surface du filtre
- . Répartition non uniforme du matériau
- . Temps de vidange long
- . Pertes de charges importantes
- . Pertes de matériau (siphon, bache)



Office
International
de l'Eau

P817.dossier-4 CNFM

DYSFONCTIONNEMENT Biofiltration

Comment suivre un biofiltre
au cours du temps ?

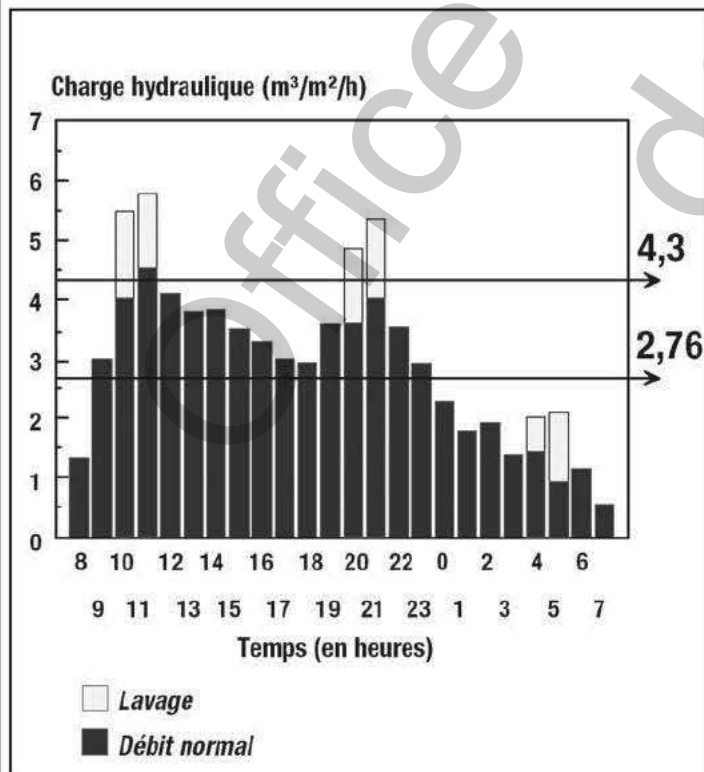
- . Echantillonnage de l'eau sale en fonction du temps
- . Carottage du matériau pour l'étude de la biomasse, des MES, ...
- . Vider une fois tous les 5 à 8 ans pour vérifier le plancher, les buselures, ...
- . Laver à la soude si le colmatage est vraiment très important



Office
International
de l'Eau

P817.dossier-5 CNFM

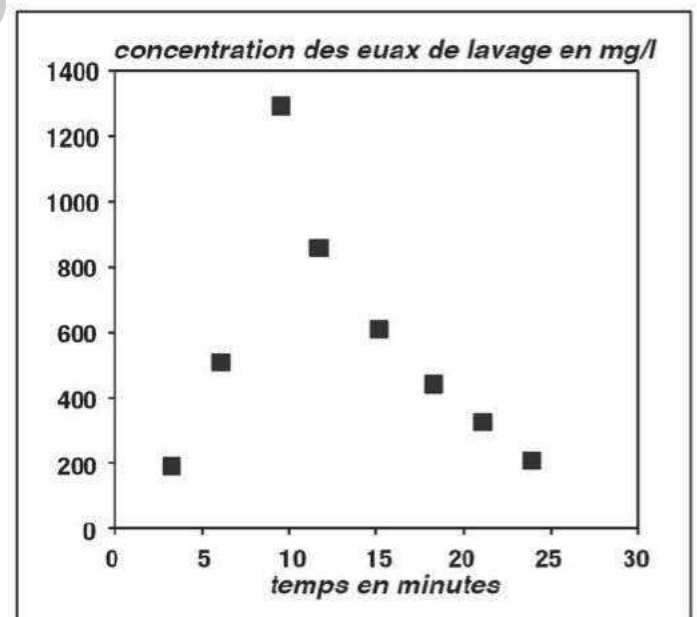
DYSFONCTIONNEMENT Les lavages



Office
International
de l'Eau

P817.dossier-2 CNFM

Courbe de concentration des eaux de lavage



Office
International
de l'Eau

P817.dossier-6 CNFM

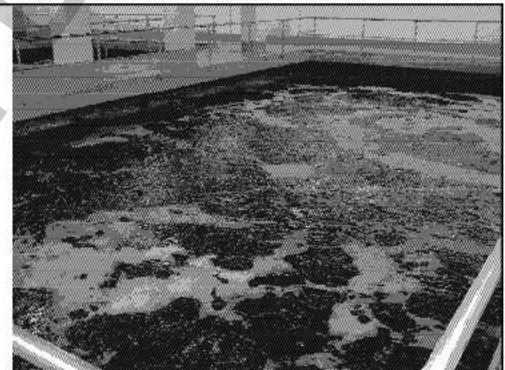
Office International de l'Eau

- Paramètres de suivi
- Indicateurs de dysfonctionnement
- Éléments nécessaires pour le bilan d'exploitation

Gestion d'une biofiltration

Paramètres de suivi

- Qualité EB-ED-ET
- Rendements épuratoires
- Charges volumiques - hydrauliques appliquées sur biofiltres
- Pertes de charge - point zéro et évolution
- Lavage des filtres
 - Fréquence, Durée, Efficacité
 - Concentration des eaux de lavage - échantillonnage
 - Equi-répartition de l'air
 - Vitesse de lavage - rinçage



Paramètres de suivi

- Evolution du matériau
 - Hauteur - carottage
 - Tassement - pertes
- Fonctionnement des réseaux air et eau
- Pertes de charge réseau air
- Consommation d'air et évolution (process et lavage)
- Consommation d'eau traitée pour les lavages
- Pour le traitement de l'azote - suivre les ratios :
 - N : DCO/NH₄ < 5,5
 - DN : DCO/N-NO₃ = 8
- Tous les 5-8 ans : vérification de l'état des planchers et buselures

Indicateurs de dysfonctionnement

- Qualité ED-ET
- Enclenchement des by-pass
- Evolution des pertes de charge - Efficacité des lavages
- Nb de lavage par jour / recours aux lavages exceptionnels
- Perte de matériau —————> Etat de la bache d'eau sale
- Concentration anormale des eaux de lavage
- Surface bosselée et geysers - temps de vidange plus long
- Augmentation des ratios de consommation d'O₂
- Augmentation du nb de panne —————> Maintenance



Paramètres du bilan d'exploitation

- Qualité EB-ET
- Energie consommée
- Charge DCO appliquée - charge NH₄ - NO₃
- DCO éliminée
 - Rendement DCO - NH₄ - NO₃
 - Par étage - par ouvrage selon besoins
- DCO soluble / DCO totale
- Charge MES appliquée - MES éliminées - Rendement
- Vitesse de filtration - charge hydraulique
- Qair process - lavage

Paramètres du bilan d'exploitation

- Nb de lavage par jour ou temps moyen entre deux lavages
- Nb de mini lavage (bicarbonate et biostyr)
- Q eau lavage - volume d'eau sale générée
- Production de boue

ETABLIR au minimum les ratios suivants :

- Consommation d'énergie / m³ traité
- Rendements d'élimination
- Besoins en air ou O₂ par kg de pollution éliminée, m³ traité, EH, ...



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

LA DESODORISATION



Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.
Office International de l'Eau

DFE16NFME\ANT1\LOG16\TUT1\USAT\NUE\PEDAGOG\BOMMAIRE EDF.DOC\6765/e2





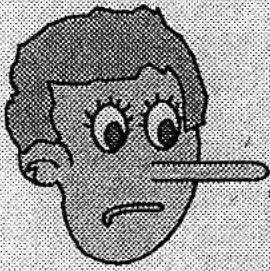
SOMMAIRE

I - ODEUR - ODORAT	3
I-1 Le système olfactif	3
I-2 Les odeurs	5
I-3 Les odeurs en station d'épuration	7
I-4 Formation des odeurs	9
II - LA CHIMIE DES ODEURS	11
II-1 La mesure	11
II-2 La concentration	11
II-3 Composition chimique	13
III - LA LUTTE CONTRE LES ODEURS	15
III-1 Prévention à la source	15
III-2 Traitement de l'air	17
IV - DESODORISATION	23
IV-1 Dispersion	23
IV-2 Traitement avec transfert gaz-liquide	23
V - CONFIGURATION DES TOURS DE LAVAGE	29
V-1 Colonne à pulvérisation	29
V-2 Colonne à garnissage	29
V-3 Les organes de régulation	31
V-4 Consignes d'exploitation	33
VI - AUTRES PROCÉDES	39
VI-1 Oxydation à l'ozone	39
VI-2 Traitement des odeurs par voie biologique	41
VI-3 Charbon actif	43
VI-4 Incinération des gaz	45

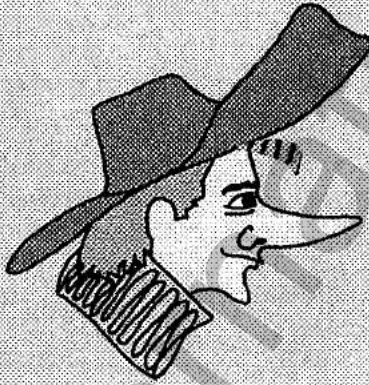
ANNEXES

ODEUR

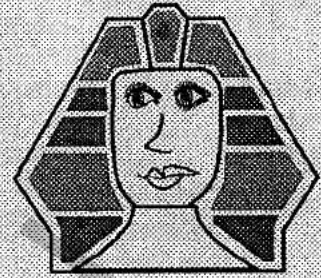
le nez



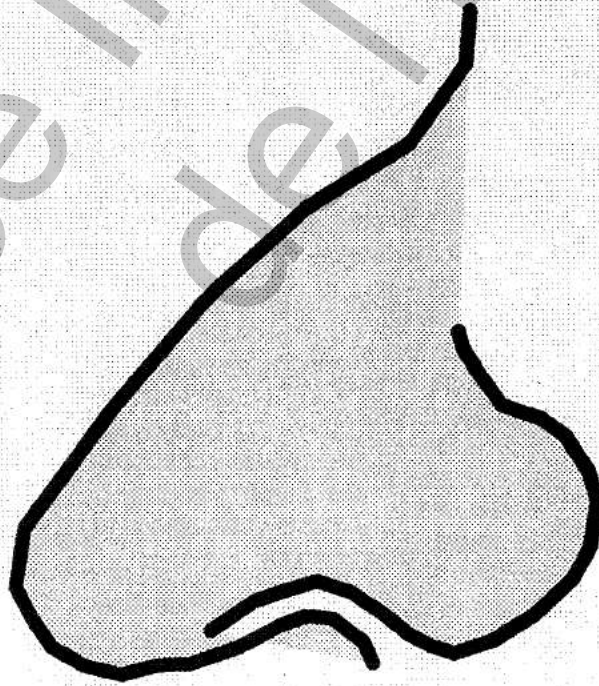
Pinocchio



Cyrano



Cléopâtre



I - ODEUR - ODORAT

I-1) LE SYSTEME OLFACTIF

La nature a doté l'homme d'un système performant qui lui permet de distinguer, mémoriser les différentes émanations qui s'exhalent autour de lui.

Ce système est placé en vedette au centre du visage entre les yeux et la bouche : LE NEZ. Certains sont célèbres : PINOCCHIO, CLEOPATRE, CYRANO ... !

Mais le nez n'est qu'une partie de ce système. Il faut, pour apprécier l'odeur, un réseau de nerfs olfactifs qui transmet l'information au cerveau. Il semble aussi, que la reconnaissance d'une odeur soit liée au contexte dans lequel elle est détectée, et au souvenir qui s'y rattache.

"Point d'odeur, bonne odeur" CICERON.

"L'âme des uns voyage avec le parfum, comme l'âme des autres voyage avec la musique" BAUDELAIRE.

Il faut, pour mieux comprendre ce système, le définir de façon scientifique.

Au sommet et au fond des fosses nasales, se trouve une zone sensorielle. Branchée en dérivation du canal respiratoire, cette zone est balayée par 10 % du volume d'air inspiré, mais l'action de FLAIRER porte à 100 % du volume d'air, la zone balayée.

Cette zone sensorielle est constituée de neurones dont une extrémité porte des cils et l'autre extrémité donne naissance à une fibre nerveuse reliée au cerveau.

Lorsqu'une odeur (molécule odorante) arrive au contacts des cils, une cascade de réactions enzymatiques se déclenche et aboutit à l'envoi d'un signal électrique au cerveau.

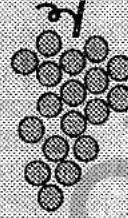
Les odeurs, bonnes ou mauvaises ?



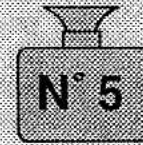
Vin



Fleur



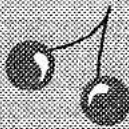
Raisin



Channel

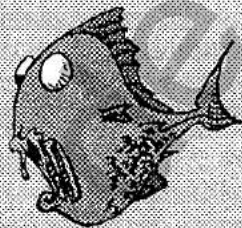


Cuisine

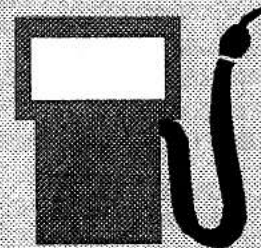


Cerises

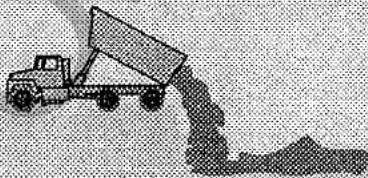
Citez de "bonnes odeurs"



Poisson pourri



Essence



Décharge

Citez de "mauvaises odeurs"

I-2) LES ODEURS

Bonnes ou mauvaises, les odeurs sont véhiculées dans l'air et font partie de notre environnement. Nul ne peut y échapper, leur perception est incontournable.

Mais peut-on décrire correctement une odeur ?

- . Par son intensité : forte, faible.
- . La sensation : agréable, désagréable.
- . Par sa nature spécifique : caractéristique ou pas : même que, ou différente.

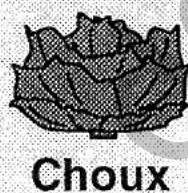
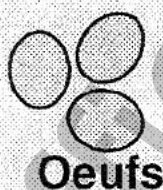
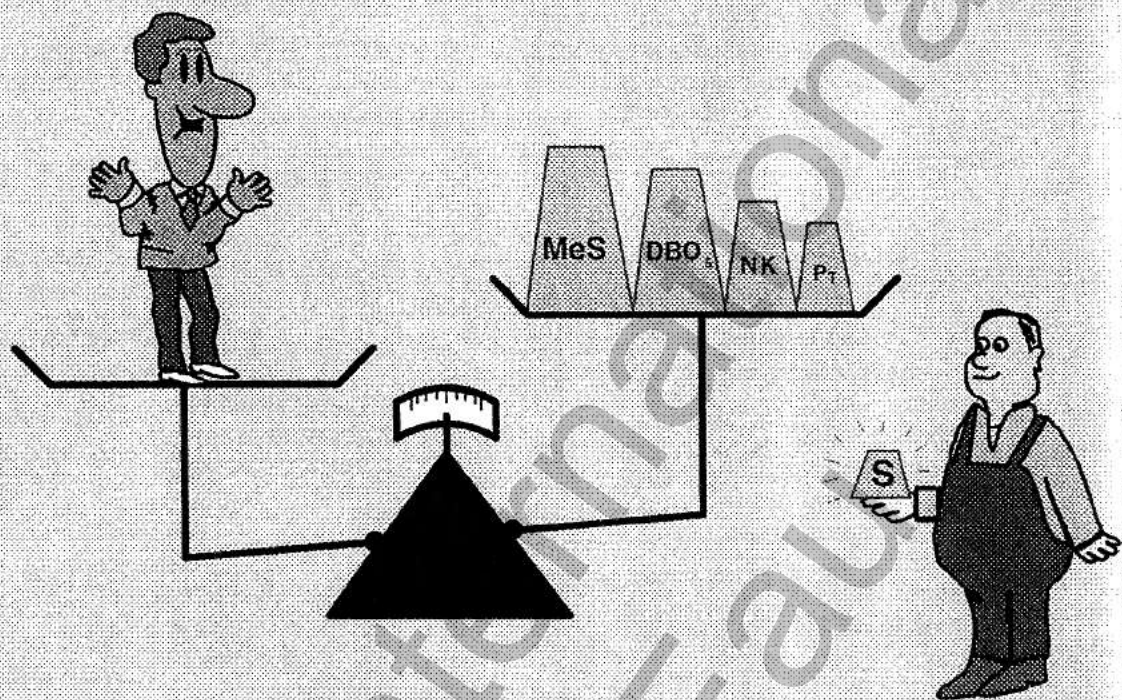
En réalité, aucune description rigoureuse ne peut être donnée d'une odeur.

Les définitions rencontrées dans les annuaires spécialisés, ne sont qu'une assimilation grossière de l'odeur de chaque substance à une odeur assez couramment rencontrée, et de ce fait connue par la personne.

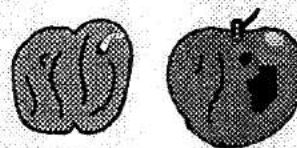
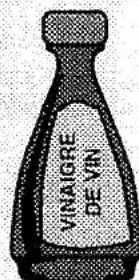
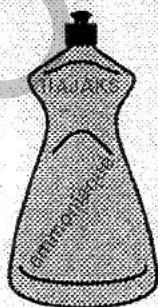
En 1885, ZVOODERMAKER a tenté une classification des "*familles d'odeurs*", que je laisse à votre appréciation.

CLASSIFICATION DE L'ODEUR	DESCRIPTION
1. Odeur d'éther	Ethers ou parfums fruité, cire d'abeille, éther, ...
2. Odeur aromatique	Camphre, épices, anis, citron, amande, ...
3. Odeur embaumée	Fleurs, vanille, baume, ...
4. Odeur d'ambrosie	Ambre, musc, ...
5. Odeur alliagée	Oignon, acétylène, iode, ...
6. Odeur de brûlé	Café torréfié, fumée de tabac, xylol, naphthaline, ...
7. Odeur de bouc (héroïne)	Odeur de bouc, de fromage, de sueur, de châtaigne, ...
8. Odeur fétide	Narcotiques, certaines punaises, certaines fleurs, ...
9. Odeur nauséabonde	Charogne, fleurs pourries, matières fécales, ...

Pollution, odeurs en station d'épuration



Placez
le composé chimique
au bon endroit !



Fruits trop murs

I-3) LES ODEURS EN STATION D'EPURATION

Les eaux usées transportent la pollution. Vous savez que l'activité du corps humain génère un certain nombre de composés qui seront traités en station d'épuration :

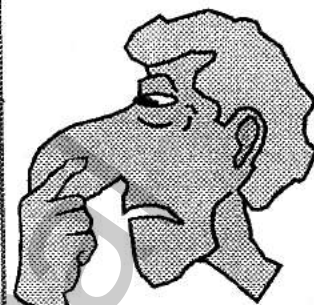
- . *Matière organique* : DBO₅, DCO, COT par exemple dans les matières fécales, les urines, qui est insoluble ou dissoute.
- . *Matière azotée* : les urines,
- . *Matière phosphorée* : corps humain, lessives,
- . Si l'habitant servant à dimensionner la station s'arrête là, il ne faut pas oublier, et c'est très important pour les odeurs, le SOUFRE (2 g par habitant et par jour).

Tous ces composés EVOLUENT depuis leur rejet dans le RESEAU jusqu'à et pendant leur traitement à la station d'épuration : relèvement, prétraitement, biologique, traitement des boues

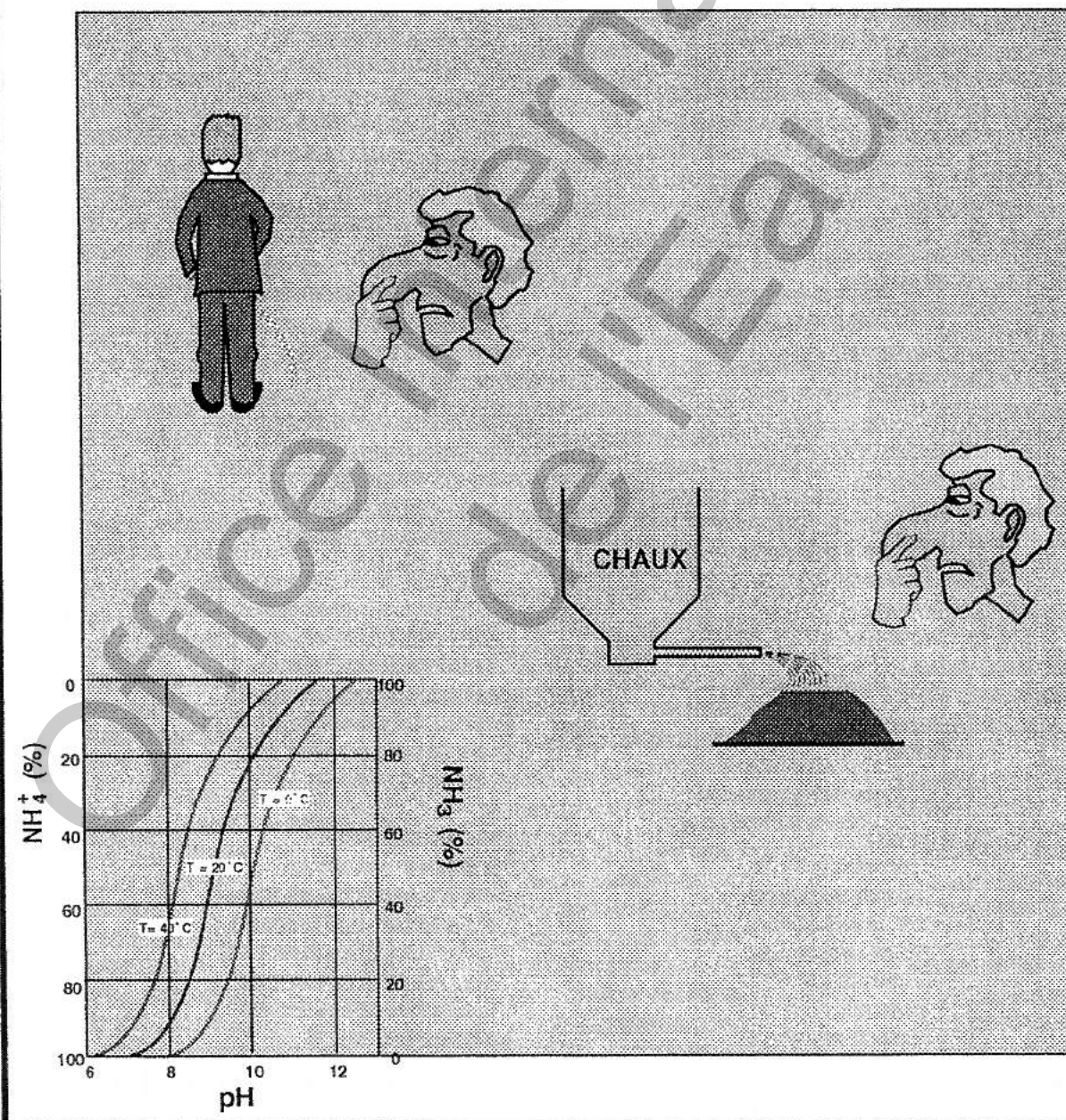
On peut tenter une classification de ces composés odorants rencontrés dans les stations d'épuration :

- . *COMPOSES SOUFRES* : odeur nauséabonde repoussante : oeuf pourri, choux pourri.
- . *COMPOSES AZOTES* : odeur d'ammoniac
- . *COMPOSES ACIDES* : odeur vinaigrée, rance
- . *COMPOSES CETONES* : du suffoquant au fruit très sucré.

Température Note	5° 0	10° 2	15° 4	20° 10	>20° 20
Temps de séjour moyen 24 h Note	1h 0	3h 1	6h 4	12h 6	24h 15
Vitesse moyenne du flux m/s Note	1 0	0,8 1	0,6 2	0,4 6	0,2 10
Vitesse instantanée < 1 m/s Note	0	0	0	2	6
Vitesse instantanée > 1,5 m/s Note	0	0	0	2	6
Potentiel redox mV Note	+200 0	+100 3	0 15	-100 30	-200 30



Si la somme des points est : 0 - 5 : risque nul 10 - 20 : risque important
5 - 10 : risque faible 20 - 30 : risque certain



I-4) FORMATION DES ODEURS

La formation des odeurs est essentiellement due à des processus BIOLOGIQUES de fermentation.

I-4-1) Composés soufrés

Lorsque l'effluent atteint la SEPTICITE, les bactéries spécifiques réduisent les sulfates (SO_4^-) et certains acides en SULFURES (S^-).

Ces bactéries sont ANAEROBIES et se développent dans des conditions particulières de pH (acide/basique), de potentiel rédox (mV), de température, de temps de séjour. Toutes ces conditions sont quelquefois malheureusement réunies dans le RESEAU d'assainissement : voir tableau ci-contre, les composés soufrés donnent naissance à l'hydrogène sulfuré et aux mercaptans.

I-4-2) Composés azotés

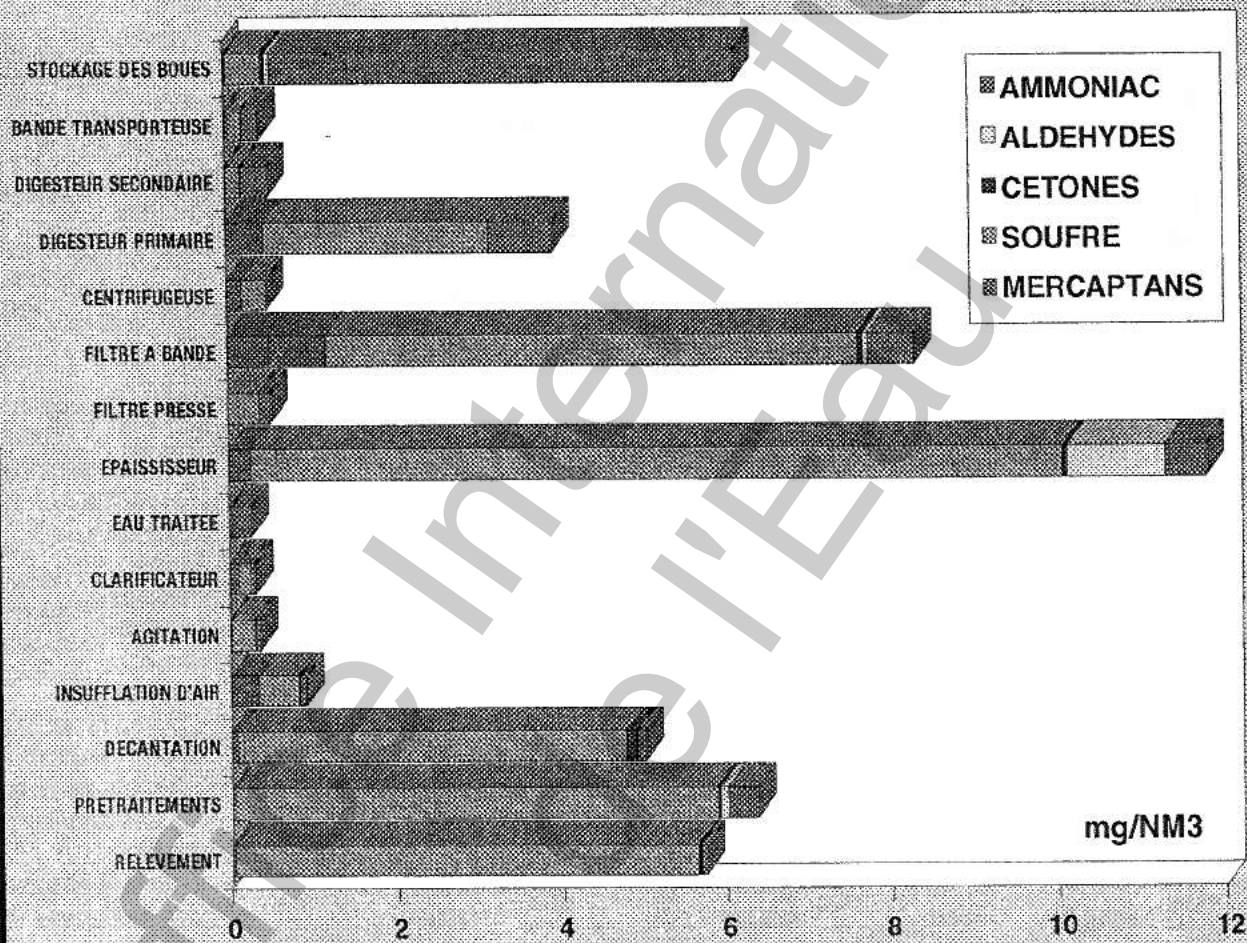
◆ Les composés donnant des molécules odorantes proviennent essentiellement de la dégradation des urines et de ses composants, en anaérobiose.

La composition de l'urine est la suivante :

- Urée	25 g/l
- Acide urique	0,6 g/l
- Créatine	1,5 g/l
- Ammoniac	0,6 g/l

◆ Une deuxième source azotée peut engendrer des odeurs d'ammoniac : lorsque l'on ajoute de la chaux aux boues de station, l'azote ammoniacal est transformée en gaz ammoniac par élévation du pH (voir courbe ci-contre).

PROVENANCE DES ODEURS



I-4-3) Composés acides et cétones

Ce sont des produits de la fermentation bactérienne des hydrates de carbone :

- acidification : acide butyrique, valérique (transpiration),
- formation d'aldéhyde et cétone (fruits trop murs).

II - LA CHIMIE DES ODEURS

II-1) LA MESURE

Deux types de mesure sont disponibles : la détermination analytique et l'olfactométrie. La mesure analytique paraît irréprochable car l'odeur provient systématiquement d'une molécule présente.

Malheureusement, certaines de ces molécules sont odorantes à des teneurs si faibles que la plupart des analyseurs sont incapables de les déceler. La mesure de la gêne procurée par les composés odorants ne peut donc se faire qu'en soumettant un être humain à un test sensitif s'apparentant à la dégustation de l'eau. On cherche un SEUIL DE PERCEPTION par des dilutions successives, et on peut aussi par comparaison à des étalons, mesurer l'INTENSITE ODORANTE d'une atmosphère.

II-2) LA CONCENTRATION (tableau ci-contre)

Elle est exprimée en milligramme de produit par mètre cube d'air aux conditions normalisées de pression et température du gaz : pression atmosphérique, zéro degré celcius :

mg / Nm³

NATURE DES COMPOSES

Classe du composé	Composé Masse moléculaire (g)	Formule chimique	Caractéristique de l'odeur
Soufrés	Hydrogène sulfuré Méthylmercaptan Ethylmercaptan Diméthylsulfure Diéthylsulfure Diméthyldisulfure	H ₂ S CH ₃ SH C ₂ H ₅ SH 2(CH ₃) ₂ S 2(C ₂ H ₅) ₂ S 2(CH ₃) ₂ S	oeuf pourri choux, ail choux en décomposition légumes en décomposition éthérée putride
Azotés	Ammoniac Méthylamine Ethylamine Diméthylamine Indole Scatole Cadavérine	NH ₃ CH ₃ -NH ₂ C ₂ H ₅ -NH ₂ 2(CH ₃) - NH C ₈ H ₆ - NH C ₉ H ₈ -NH NH ₂ -(CH ₂) ₅ -NH ₂	très piquant, irritant poisson en décomposition piquant, ammoniacale poisson avarié fécal, nauséabond fécal, nauséabond viande en décomposition
Acides	Acétique Butyrique Valérique	CH ₃ -COOH C ₃ H ₇ -COOH C ₄ H ₉ -COOH	vinaigre beurre rance sueur, transpiration
Aldéhydes & Cétones	Formaldéhyde Acétaldéhyde Butyraldéhyde Isovaléraldéhyde Acétone	H-CHO CH ₃ -CHO C ₃ H ₇ -CHO 2(CH ₃)-CH-CH ₂ -CHO CH ₃ -CO-CH ₃	acre, suffocant fruit, pomme rance fruit, pomme fruit, doux

II-3) COMPOSITION CHIMIQUE

Chacun des composés que nous venons de définir par son odeur a aussi un nom chimique et bien sûr, une formule chimique, exemple :

composé soufré \Rightarrow hydrogène sulfuré \Rightarrow H_2S \Rightarrow odeur d'oeuf pourri

On peut aussi calculer sa masse molaire :

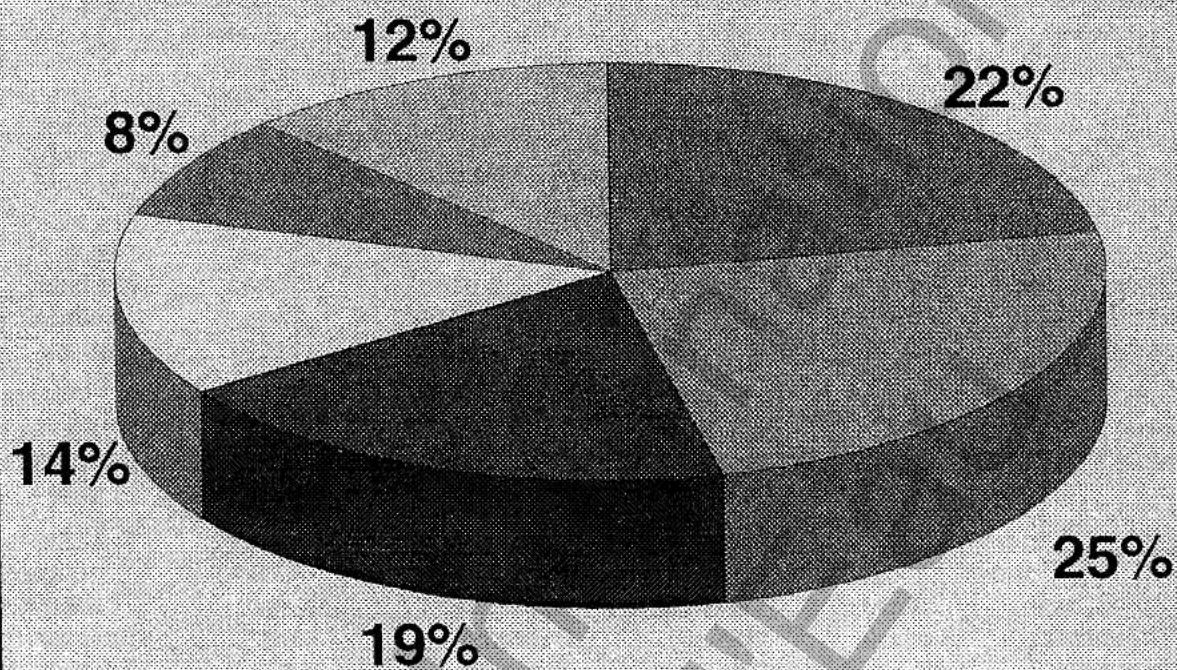
$$H = 1 \quad S = 32 \quad \Rightarrow \quad H_2S = 32 + (2 \times 1) = 34 \text{ g}$$

Faites en autant pour les composés rencontrés, le plus souvent, dans les odeurs de station d'épuration, grâce à ce guide :

H	1	Hydrogène
S	32	Soufre
C	12	Carbone
N	14	Azote
O	16	Oxygène

Essayez de vous imaginer l'odeur ... mais aussi l'odeur du mélange de ces différents gaz !

SOURCES D'ODEURS (ALLEMAGNE)



■ DEVERSEMENT DANS LE RESEAU

■ DEGAZAGE INDESIRABLE

■ FERMENTATION DANS LE RESEAU

■ ERREURS DE DIMENSIONNEMENT

■ ERREURS D'EXPLOITATION

■ CAUSES DIVERSES

III - LA LUTTE CONTRE LES ODEURS

III-1) PREVENTION A LA SOURCE

Les odeurs sont source de conflit avec le voisinage.

Il ne faut pas ignorer les risques d'odeurs nauséabondes sous peine de voir se multiplier les plaintes des habitants alentours de la station d'épuration.

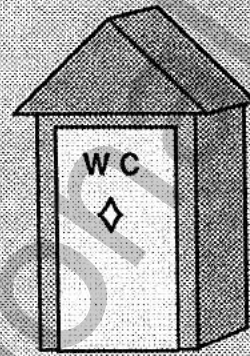
Cependant, ces risques ne sont pas une fatalité. Beaucoup de facteurs qui influencent la "production" d'éléments odorants, peuvent être plus ou moins limités :

- les produits industriels déversés dans le réseau : convention de raccordement ;
- fermentation dans le réseau : traitement préventif et curatif sur celui-ci ;
- erreurs d'exploitation : par exemple, limiter le temps de séjour des boues dans l'épaississeur ;
- dégazage indésirable : par exemple, éviter les chutes d'eau importantes au prétraitement ;
- erreurs de dimensionnement : surcharge du traitement des eaux et/ou des boues ;
- etc ...

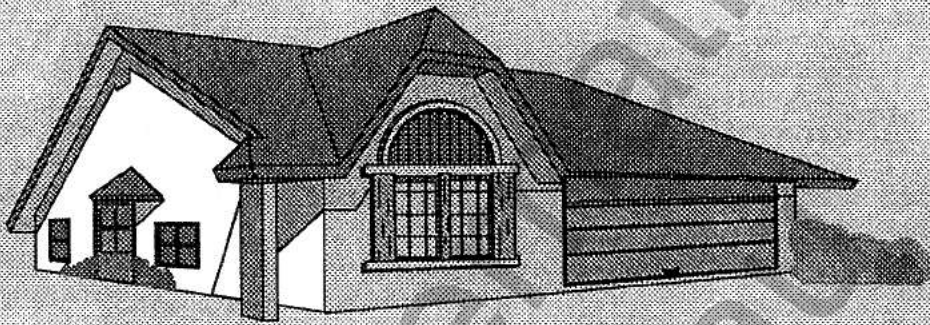
ODEURS - EXTRACTION



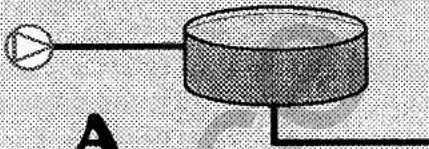
A



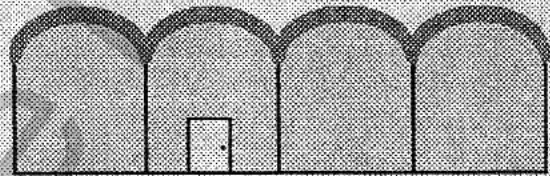
B



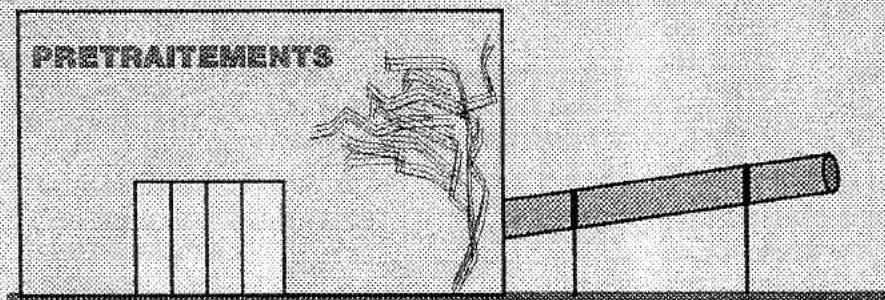
C



A
Epaississeur



B
Biofiltres Fontaine/Saone



C

..... ?

III-2) TRAITEMENT DE L'AIR

Avant tout traitement proprement dit, il est indispensable d'isoler les sources d'odeurs et d'extraire l'air vicié vers l'installation de traitement.

ATTENTION ! Le coût du traitement dépend directement du débit d'air à traiter, il est important de considérer :

- l'isolement des sources d'odeur le plus près possible du point d'émission,
- le choix de l'emplacement des bouches d'aspiration,
- le taux de renouvellement à l'intérieur des ouvrages.

III-2-1) La couverture des ouvrages

Type A :

Couverture rapprochée, par exemple épaisseur, fosse à boue ..., placée au plus près de l'ouvrage. L'atmosphère confinée ne permet pas l'activité humaine. Les contrôles sont effectués grâce à des trappes. La construction est de type matériau composite, les équipements situés à l'intérieur sont en inox, et le béton au contact de l'air vicié revêtu de résine.

Type B :

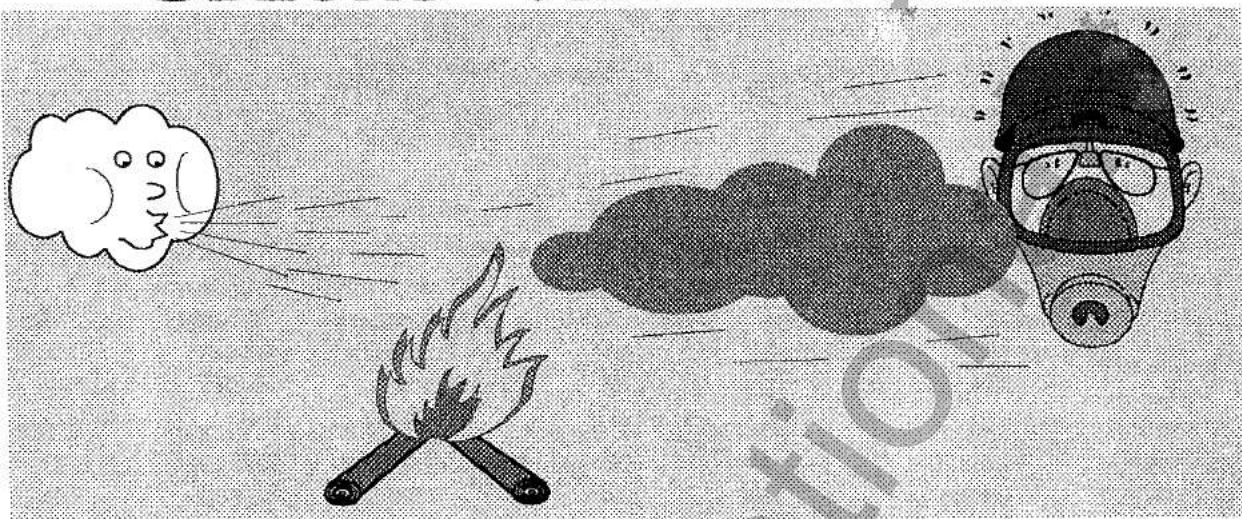
Couverture surélevée et individuelle d'un ouvrage, permettant la circulation du personnel.

Les structures sont du type ossature métallique et bardage en matériau composite.

Type C :

Couverture surélevée d'un ensemble d'ouvrages en complément du type A, et construction de type métallique ou béton.

ODEURS - VENTILATION



ODEURS - RENOUVELLEMENT

TAUX ... 1



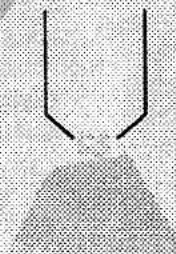
1 m³



TAUX ... 2



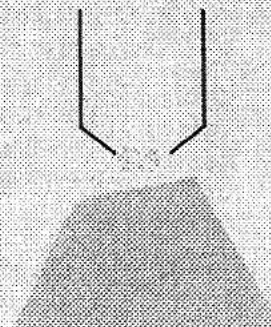
2 m³



TAUX ... 4



4 m³



III-2-2) Ventilation

Objectifs de la ventilation :

- maintenir une concentration en "odeurs" (composés volatils toxiques) en **DESSOUS** des valeurs limites relatives à la santé des travailleurs ;
- assurer la protection contre la corrosion des matériels,
- maintenir les ouvrages en **DEPRESSION** pour éviter les "fuites d'odeurs" vers les riverains,
- transporter les odeurs vers le traitement,
- assurer tous ces objectifs avec un minimum de débit.

On peut donc définir le nombre de m³ d'air qu'il faut pour assurer correctement le renouvellement. Lorsque l'on connaît le **VOLUME** de l'ouvrage, on établira le **TAUX DE RENOUVELLEMENT** ou taux de ventilation qui représente le nombre de fois où est renouvelé l'air dans le local pendant **UNE HEURE**.

Exemple : Local de 500 m³
Taux de renouvellement : 4
Soit débit d'air : $500 \times 4 = 2\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$

A vous de jouer !

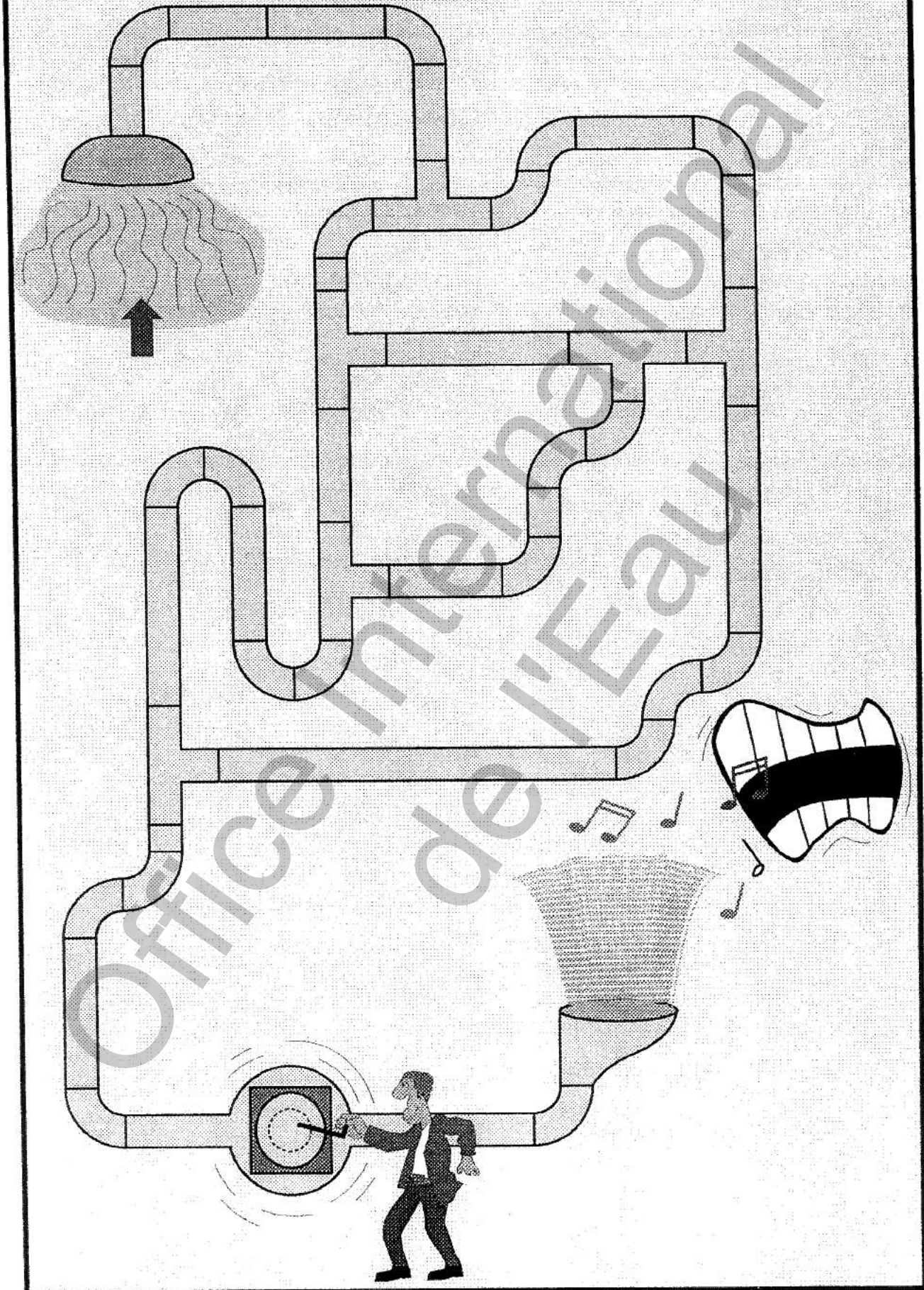
Local de 2 500 m³
Débit d'air de 12 500 Nm³/h
Taux de renouvellement :

NOTE : PLUS IL Y A DE RISQUES, PLUS LE TAUX DE RENOUVELLEMENT EST ELEVE.

Prétraitement : 3 à 8

Epaississeur : 6 à 10

RESEAU - VENTILATION



III-2-3) Réseau de ventilation

La circulation de l'air se fait grâce à des BOUCHES D'AERATION et d'EXTRACTION qui sont généralement diamétralement opposées afin d'assurer un balayage de bas en haut du local.

Le réseau de gaines est conçu pour limiter au maximum les pertes de charge. De plus, la vitesse de circulation de l'air est réduite pour ne pas générer de bruit.

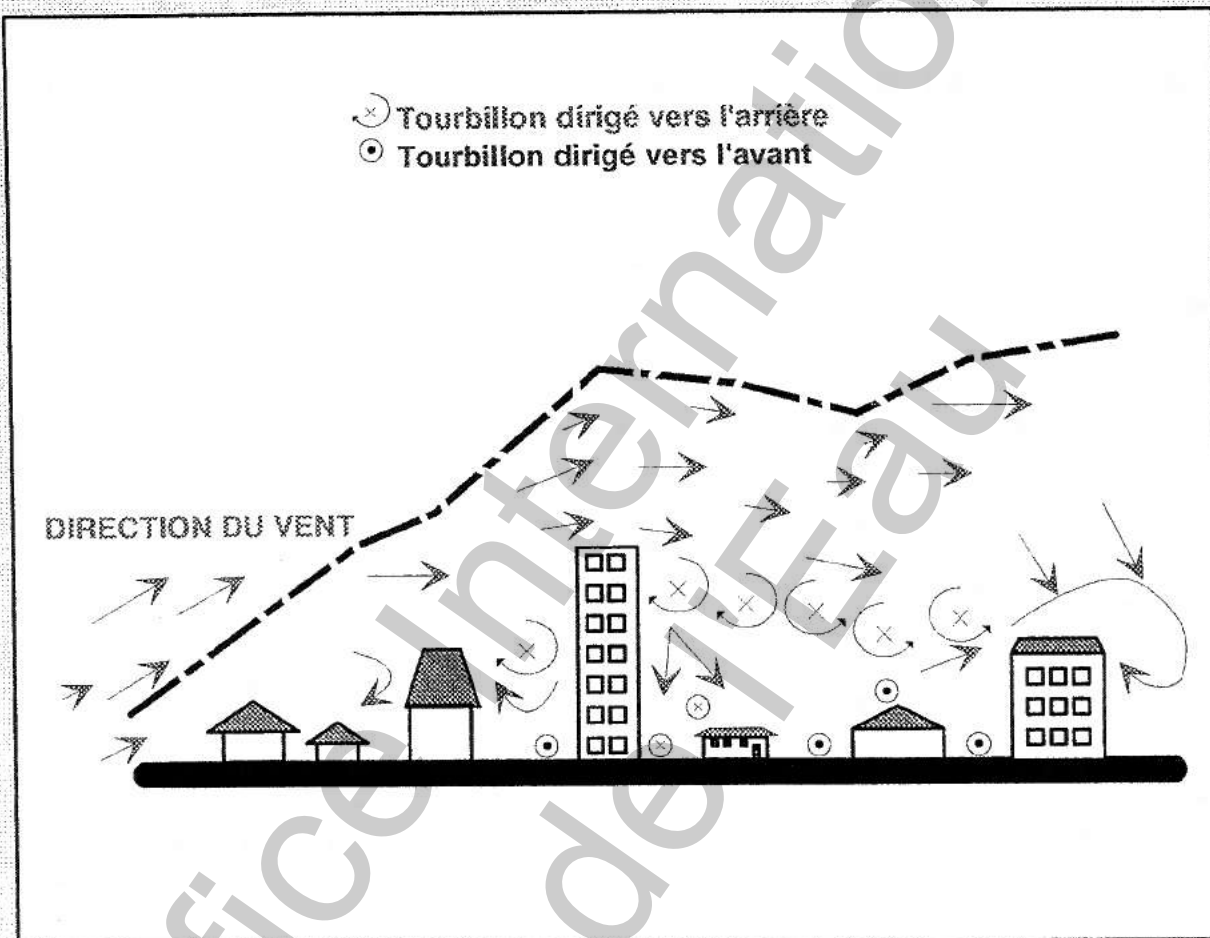
Diamètre 300 mm $v \leq 6$ m/s

Diamètre 1 000 mm $v \leq 10$ m/s

Il est judicieux de prévoir en supplément des "pièges à son".

Le matériau utilisé diffère suivant les zones que l'on doit ventiler, mais généralement on utilise du matériau plastique (PVC).

DISPERSION



IV - DESODORISATION

IV-1) DISPERSION

Cette méthode simple est basée sur la dilution des composés odorants dans l'atmosphère dans des proportions telles que l'on se situe en dessous du seuil olfactif.

Ce n'est pas un traitement à proprement parler, et bien qu'en apparence simple, cette méthode est très sensible aux inversions de température et rafales de vent rabattant la pollution au sol. De plus, il faut tenir compte des obstacles de proximité : arbre, maisons, immeuble, et de la topographie.

IV-2) TRAITEMENT AVEC TRANSFERT GAZ - LIQUIDE

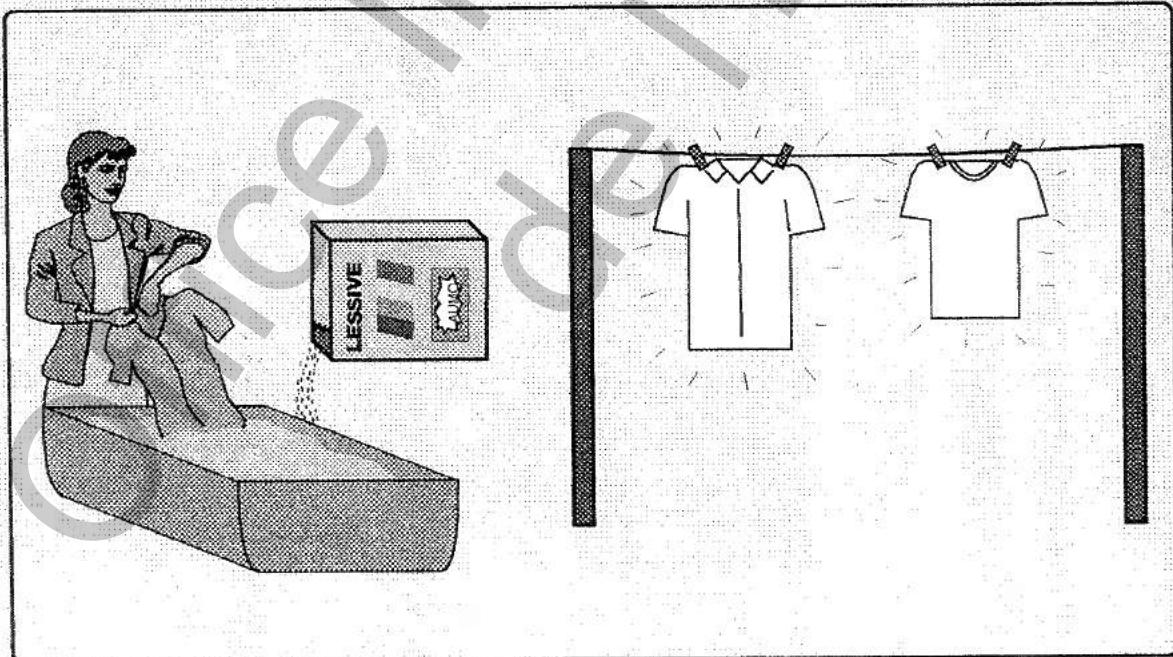
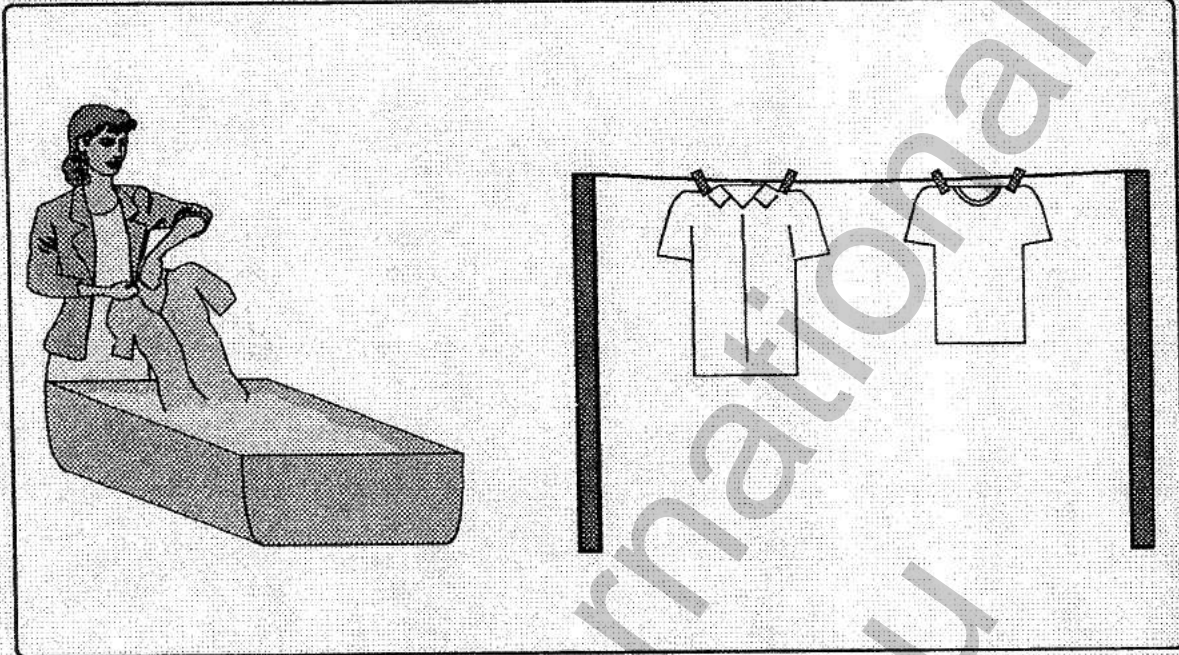
Ce procédé consiste à transférer les composés odorants de la phase GAZEUSE vers la phase LIQUIDE :

- si les molécules gazeuses ne subissent aucune modification, seule l'absorption physique intervient,
- si les molécules transférées sont dissociées et/ou oxydées par les réactifs de lavage, il s'agit d'une absorption physico-chimique.

Le transfert gaz-liquide nécessite l'emploi de contacteurs, ou laveurs gaz-liquide qui assurent le contact intime entre les deux phases.

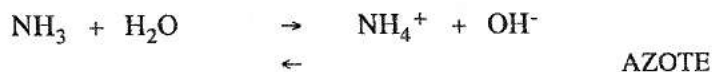
Le nombre de laveurs et le type de solution de lavage dépend de la nature et de la concentration des composés odorants. En général, le procédé complet est constitué de deux, trois, voir quatre laveurs en série.

DESODORISATION - LAVAGE

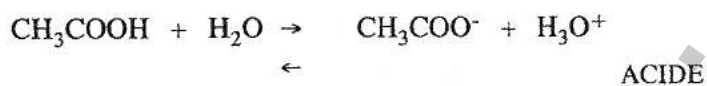


IV-2-1) Lavage à l'eau

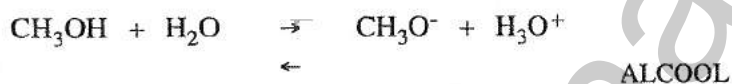
Dans l'eau, de nombreux gaz odorants se solubilisent.



← AZOTE
Ammoniac + eau → ammoniacque + basicité
←



← ACIDE
acide acétique + eau → acétate + acidité
←



← ALCOOL
méthanol + eau → méthyl + acidité
←

IV-2-1) Lavage ACIDE / BASIQUE

Les trois réactions chimiques précédentes permettent de mettre en évidence le fait que :

- l'ammoniac libère de la BASICITE ; sa neutralisation peut se faire par l'ACIDE ;
- l'ACIDE se neutralise par une BASE ;
- l'ALCOOL libère de l'ACIDITE, sa neutralisation peut se faire par une BASE.

IV-2-2) Cas des composés soufrés

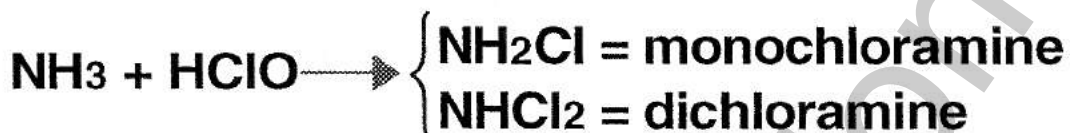
En ce qui concerne l'hydrogène sulfuré (H_2S), il est très peu soluble dans l'eau. Seule l'espèce sulfure (S^-) est soluble.

Pour obtenir S^- il faut augmenter le pH par ajout d'une base :



DESODORISATION - LAVAGE

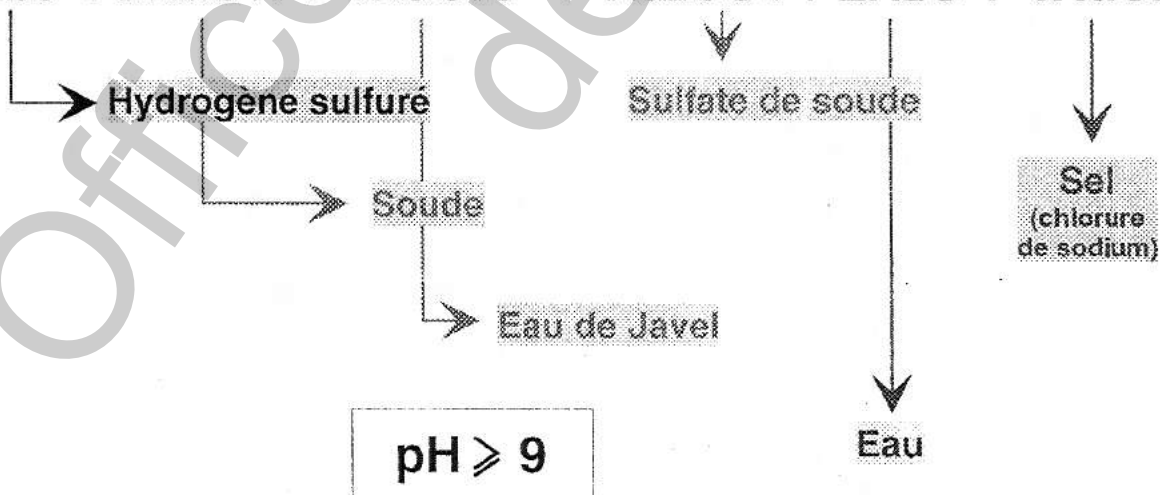
Composés AZOTES



à votre avis ... utilisable ?

OUI
 NON

Composés SOUFRES



IV-2-3) Lavage oxydant

Lorsque l'on utilise un lavage acide ou basique, on n'élimine pas réellement les composés, on les PIEGENT. Pour être sûr de ne pas libérer à nouveau ces composés, il faut utiliser beaucoup de réactifs.

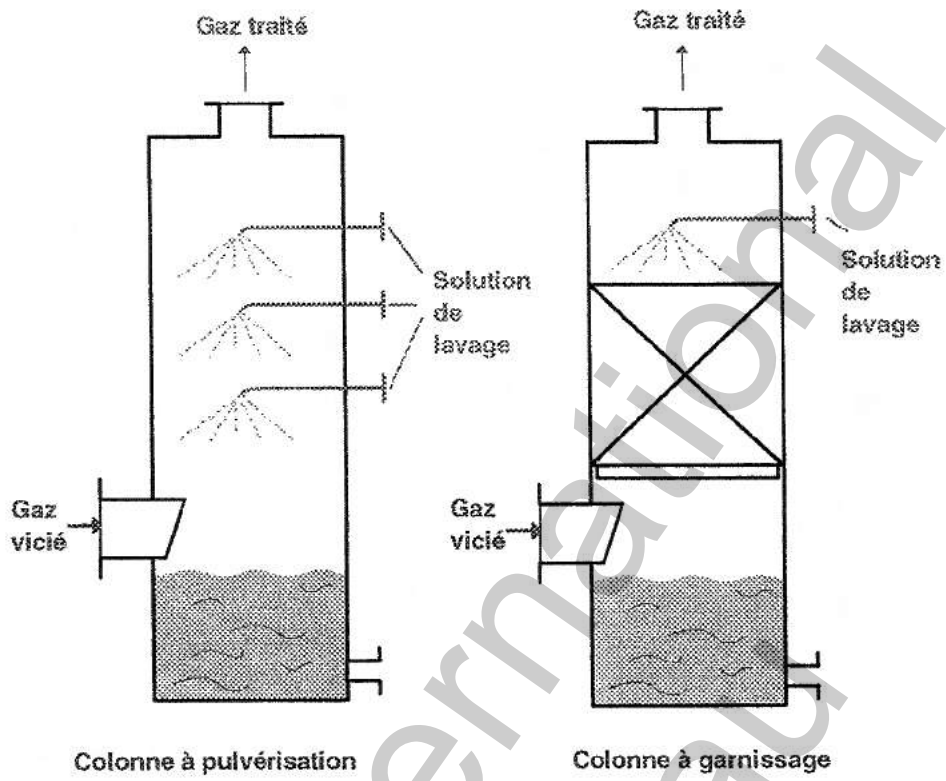
Pour limiter ces ajouts, il est intéressant de DETRUIRE ces produits piégés, ce qui aura pour effet de rendre à nouveau utilisable les réactifs acides et basiques. Cette opération est une OXYDATION, il faut employer un OXYDANT :

CHLORE	Cl ₂ (préparé sur place ou livré en bouteilles)
EAU DE JAVEL	NaClO (livrée en citerne)
OZONE	O ₃ (préparé sur place)

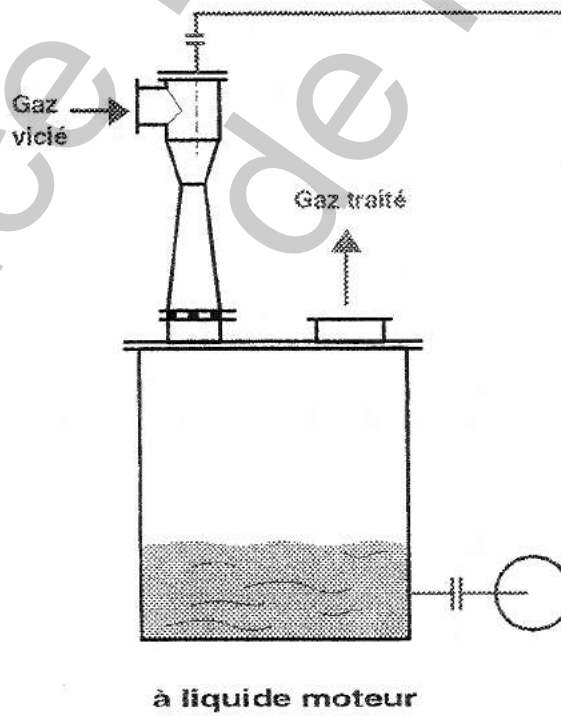
L'utilisation du chlore ou de l'eau de javel conduit dans les deux cas, à la formation d'acide hypochloreux HClO.

- L'utilisation de composés chlorés pour oxyder les composés azotés est déconseillée, car elle conduit à la formation de produit malodorant du type mono et dichloramine (ce sont des composés, eux aussi, malodorants). On effectuera donc un simple lavage acide.
- Pour les composés soufrés, si l'on veut oxyder simultanément l'hydrogène sulfuré et les mercaptans, il faut un pH ≥ 11 ce qui, dans ce cas, multiplie par 4 la consommation de chlore et conduit à l'ENTARTRAGE par dépôt de carbonate.

COLONNES



VENTURI



V - CONFIGURATION DES TOURS DE LAVAGE

Les technologies mises en oeuvre pour assurer un contact entre les phases liquides et gazeuses font appel à de nombreux systèmes gaz-liquide. Les plus employés sont :

- les colonnes à pulvérisation,
- les colonnes à garnissage,
- les venturi à liquide moteur.

V-1) COLONNE A PULVERISATION

Appelée aussi tour vide ou atomiseur, c'est le système le plus simple. Le liquide est pulvérisé sous forme de fines gouttes sur le gaz transitant à contre courant. La vitesse du gaz est de 0,5 à 2 m/s. La taille des gouttes est suffisante pour empêcher l'entraînement avec le gaz.

V-2) COLONNE A GARNISSAGE

C'est le contacteur le plus utilisé en station d'épuration ; de bas en haut il est constitué de :

- Un **PIED DE CUVE** qui sert de capacité de stockage pour la solution de lavage dont le volume, compte tenu du recyclage, représente un temps de séjour de 1,5 mn. A ce niveau-là, on effectue :
 - . le pompage vers l'absorption,
 - . la déconcentration,
 - . l'apport d'eau,
 - . la vidange et le trop plein.

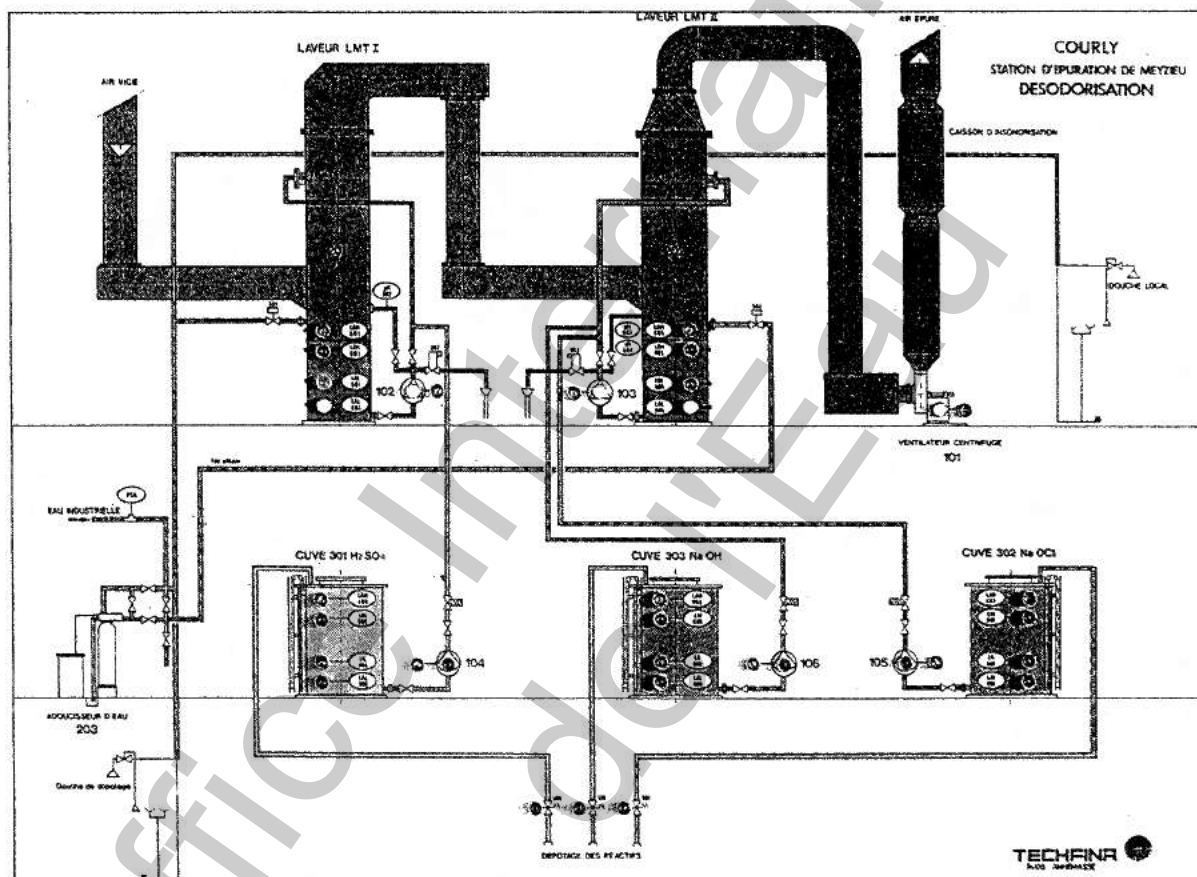
En tour plastique, le pied de cuve est fermé, en construction béton il est ouvert. Il est équipé d'un trou-homme pour les visites et interventions.

- Un **PLATEAU DE SUPPORT** qui supporte le poids du matériau humide et assure la distribution des fluides.
- Un **MATERIAU DE GARNISSAGE** : c'est le poumon de la tour, de type :
 - . anneaux de RASCHIG de type empilé,
 - . de type encastré.

La hauteur d'empilement est d'environ 1 m à 2,5 m avec une surface spécifique de 200 à 300 m²/m³.

ATTENTION ! La perte de charge doit être la plus faible possible pour limiter la puissance du ventilateur.

DESODORISATION - Unité de lavage



- Les BUSELURES D'ASPERSION qui assurent la répartition du liquide sur le garnissage.
- Le DEVESICULEUR qui a pour objectif de limiter les pertes en liquide et éviter la pollution de la colonne située en aval. Son principe repose sur l'arrêt des fines gouttelettes par un obstacle physique de type CHICANE ou MATELAS. Il ne faut pas dépasser des vitesses de 2,5 à 2,8 m/s pour le gaz, sous peine de réentraîner le liquide piégé.

Note : Pour des débits d'air de 5 000 à 25 000 Nm³/h, le matériau est généralement en PVC, polyester ou polypropylène ; au-delà, les tours seront en béton revêtu de résine époxy.

V-3) LES ORGANES DE REGULATION

Le bon fonctionnement d'une désodorisation passe par le respect d'un certain nombre de consignes, telles que pH, EH, teneur résiduelle en chlore.

V-3-1) Régulation du pH

L'acidité ou la basicité, des solutions de lavage est mesurée en permanence par des sondes pH et l'injection d'acide, ou de base se fait par des régulateurs, soit :

- . du type PID : à point de consigne pilotant la FREQUENCE D'IMPULSION,
- . à seuil HAUT et BAS, le débit de la pompe étant préajusté par rapport à la rapidité de réaction souhaitée.

V-3-2) Régulation de l'oxydant

Le maintien de la teneur en chlore dans la plage optimale se fait, soit :

- . par REGULATION du potentiel d'oxydoréduction EH (improprement appelé rH),
- . par MESURE du chlore dans la solution de lavage (chloromat).

EXPLOITATION - DESODORISATION

OPERATIONS	FREQUENCE	NATURE
PHmètres	1 fois/semaine	Etalonnage
Pompes doseuses		Mesure du débit
EHmètre		Vérification
Purges		Vérification
Débit d'air	1 fois/2 mois	Avec anémomètre
Tours	1 à 3 fois/an	Nettoyage complet par lavage à l'eau chaude ou à l'acide dilué

V-4) CONSIGNES D'EXPLOITATION

V-4-1) Ventilation

Le débit d'air vicié traité est mesuré 4 à 6 fois/an par anémomètre.

V-4-2) Tour acide (H_2SO_4)

- Le pH optimum se situe aux environs de $pH = 2$ à 3 .
On peut donc fixer une plage d'ajout et d'arrêt d'acide pour la pompe doseuse.
Exemple : FONTAINE/SAONE 2,3/2,7.
- Le pHmètre doit être vérifié et étalonné REGULIEREMENT :
1 fois/semaine.
- La vérification du bon fonctionnement des purges : soit en continu, soit par cycles (2 à 3 fois/j).
- Vérifier le bon fonctionnement de l'adoucisseur d'eau d'appoint (éviter la formation de gypse, tartre dans la tour et les canalisations) et après mesure du TH, 1 fois/semaine, effectuer la régénération si nécessaire.
- l'apport d'eau est mesuré par un rotamètre.

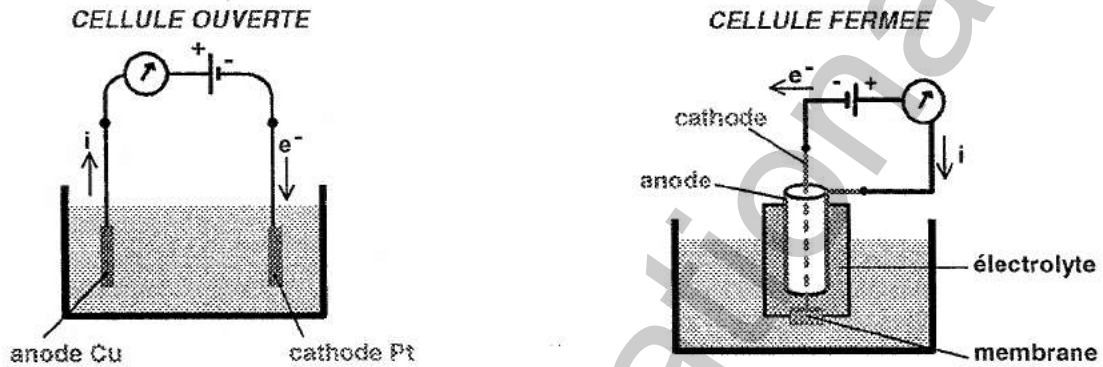
V-4-3) Tour basique

- Le pH optimum pour H_2S se situe à 9 et pour les mercaptans, il faut atteindre 11. Néanmoins pour éviter l'entartrage, on régule assez souvent exclusivement à $pH = 9$ (voir $pH = 10$).
La plage d'ajout et d'arrêt est par exemple :
FONTAINE/SAONE 8,8/9 (alarme 8,5/10).
- La vérification et l'étalonnage du pHmètre s'effectue 1 fois/semaine.

DESODORISATION - Mesure du chlore

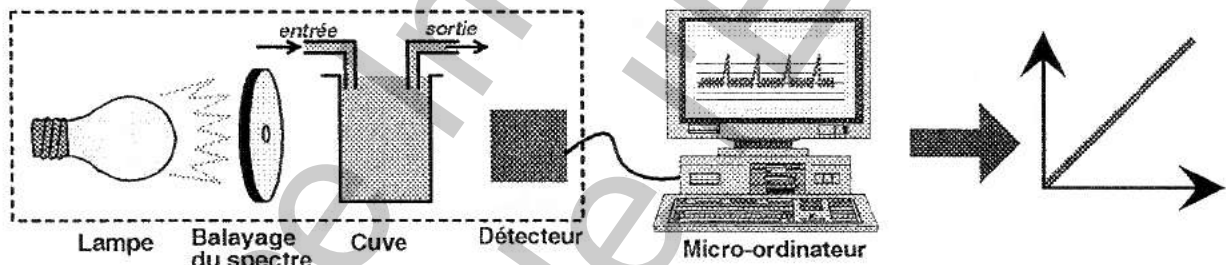
AMPEROMETRIE

Mesure du courant de dépolarisation entre deux électrodes, proportionnel au chlore (après dilution de l'échantillon)



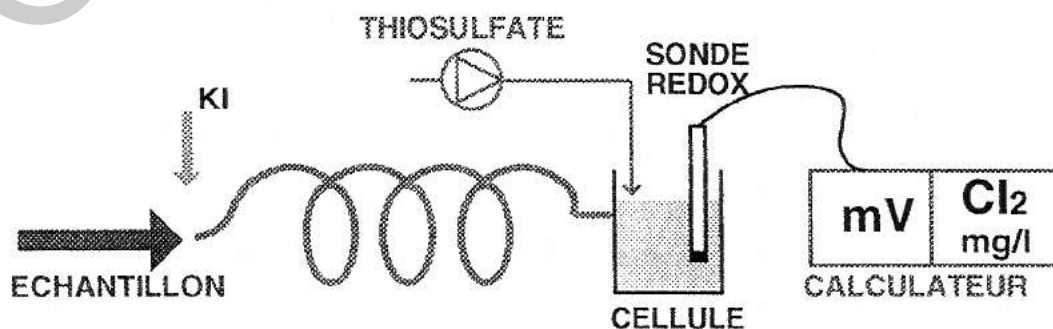
SPECTROPHOTOMETRIE (OTV)

Analyse d'un spectre d'absorption et traitement du signal par micro-ordinateur



TITRATION POLYMETRON

Titration par oxydo-réduction : Solution de KI, électrode Rédox



V-4-4) Tour oxydant

- L'ajout d'oxydant se fait à partir de la mesure de Redox (potentiel d'oxydoréduction). Il faut se situer en milieu très oxydant 740 - 760 mV.
- La sonde EH indique un potentiel mV par rapport à une référence. Cette mesure est fiable et la sonde ne s'étalonne pas. Néanmoins, en cas de dérive, on peut effectuer un contrôle par rapport à une solution étalon Redox. Si la réponse est mauvaise, on peut polir l'électrode de platine ; si cela ne suffit pas, il faut changer la sonde.

ATTENTION ! Dans la zone de pH utilisée, la sensibilité de la sonde est faible et la proportionnalité EH - Cl₂ n'est pas directe.

- Couplée à la mesure du EH, il est possible de mesurer le chlore actif (Cl₂) présent dans la solution, soit par analyse laboratoire, soit par analyseur en continu. La valeur de référence 500 mg/l peut être largement dépassée, 1000 à 1200 mg/l pour éliminer les mercaptans à un pH inférieur à 11.

V-4-5) Détartrage

Cette opération a pour but d'éliminer tous les dépôts formés dans la tour et les canalisations par action du soufre oxydé (sulfate), et de la soude.

Cette opération nécessite l'arrêt de l'installation, la vidange des pieds de colonne, le remplissage en eau adoucie, puis l'ajout de solution acide (HCl) et enfin une circulation dans la tour de quelques heures avant la vidange à l'égout (retour en tête).

Cette opération peut, dans certains cas, être effectuée 3 à 4 fois / an.

DESODORISATION - Choix du système



2 TOURS

1. ACIDE : piégeage composés azotés
2. BASIQUE - OXYDANTE : piégeage H₂S



3 TOURS

1. ACIDE : piégeage composés azotés
2. BASIQUE - OXYDANTE : piégeage H₂S
3. BASIQUE : mercaptants - cétones - aldéhydes



on obtient un résiduel de Cl₂ dans la tour 3

soit : Dévésiculateur adapté sur tour 2 :
5 à 10 % de Cl₂ dans tour 3

soit : Envoi de la purge tour 2 dans tour 3
(entartrage possible)



4 TOURS

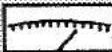
Idem avec 3 mais ...

4. REDUCTRICE : piégeage éventuel du chlore résiduel

LAVAGE - REDUCTEUR

Equations de base :



S₂O₃²⁻ : THIOSULFATE  EH

300
450

 mV

SO₃²⁻ : BISULFITE  EH

250
350

 mV

V-4-6) Traitement complémentaire

Le type de laveur que nous venons d'étudier, peut dans certains cas, être complété par un traitement consistant à réduire le chlore rejeté dans l'air, dans le cas de rejet en zone fortement urbanisée (MONACO, ...).

Ce traitement s'appelle la DECHLORATION.

Le principe consiste à neutraliser le chlore OXYDANT par un réactif REDUCTEUR. Un autre avantage de ce lavage complémentaire est l'élimination du résiduel d'acides gras, aldéhydes et cétones.

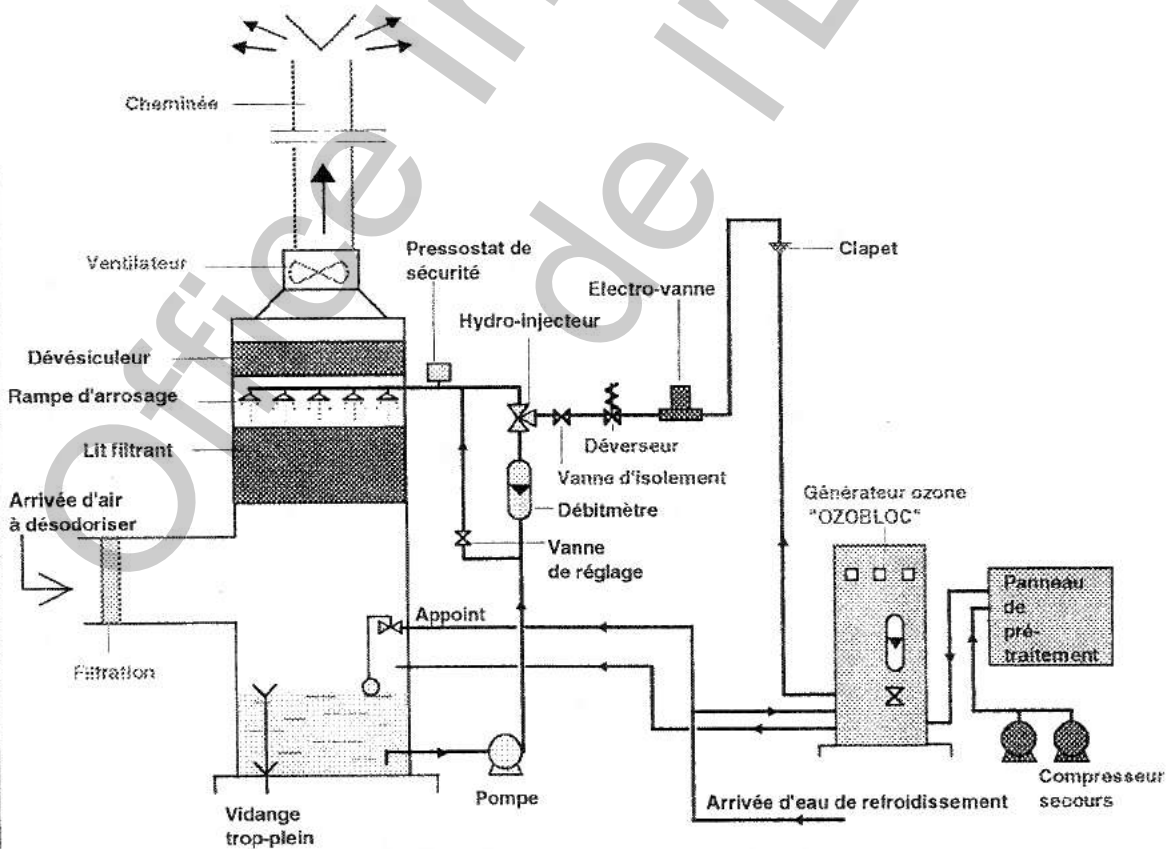
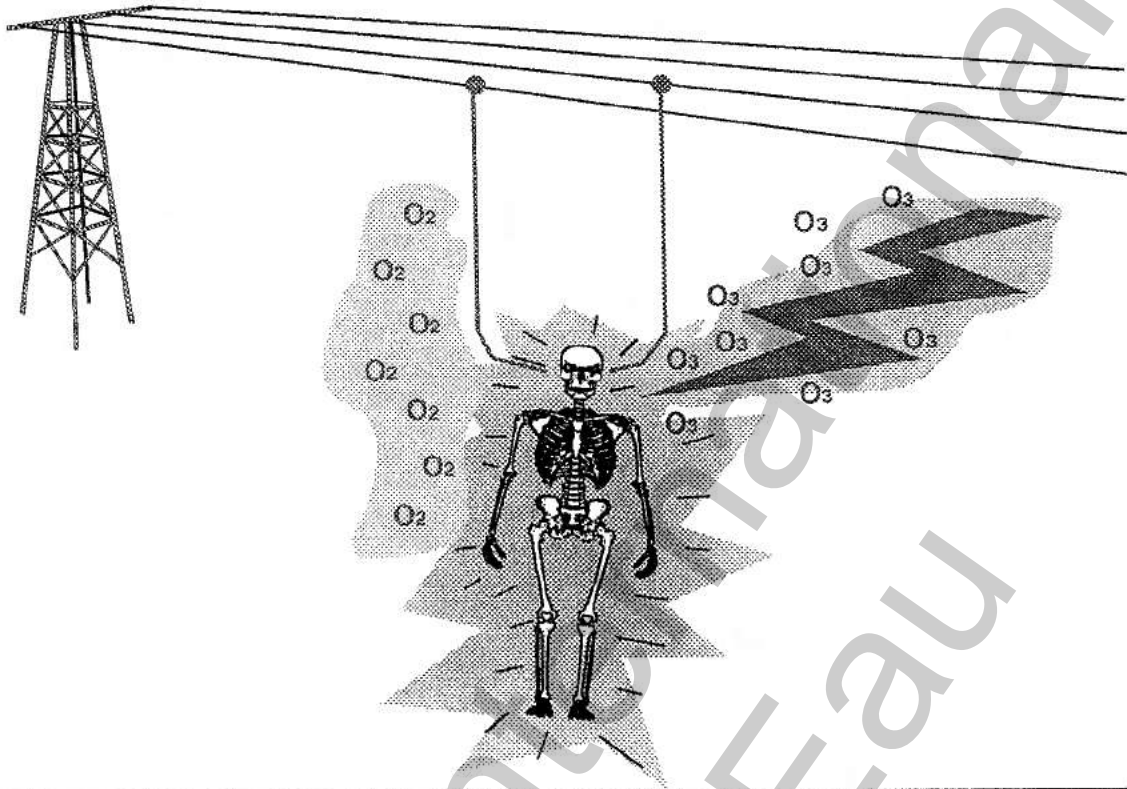
Les réactifs usuels sont :

- le BISULFITE DE SODIUM : NaHSO_3
- le THIOSULFATE DE SODIUM : $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

L'emploi de ces produits conduit à des réactions acides qu'il est nécessaire de neutraliser.

Office International
de l'Eau

OZONATION



VI - AUTRES PROCÉDES

VI-1) OXYDATION A L'OZONE

Lorsque l'on applique une forte différence de potentiel : 5 000 à 30 000 Volts à de l'air, l'oxygène O₂ est ionisé en ozone O₃.

L'ozone est instable, il doit être préparé sur place par un ozoneur, sorte de gros condensateur.

On obtient un air ozoné qui contient de 10 à 20 g O₃ / Nm³ d'air.

L'ozone se dissout dans l'eau, c'est un oxydant très puissant.

Lorsque l'on a réalisé l'adsorption des composés malodorants dans la solution de lavage, l'ozone décompose les molécules.

Exemple :

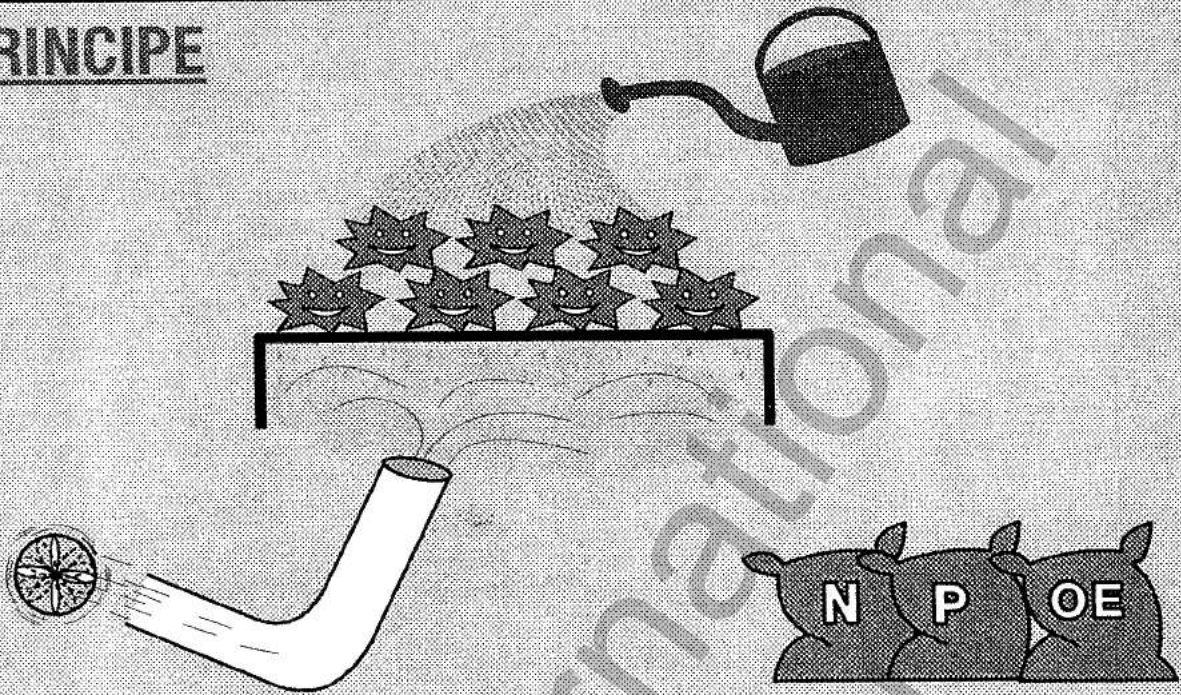


hydrogène sulfuré + ozone → acide sulfurique + oxygène

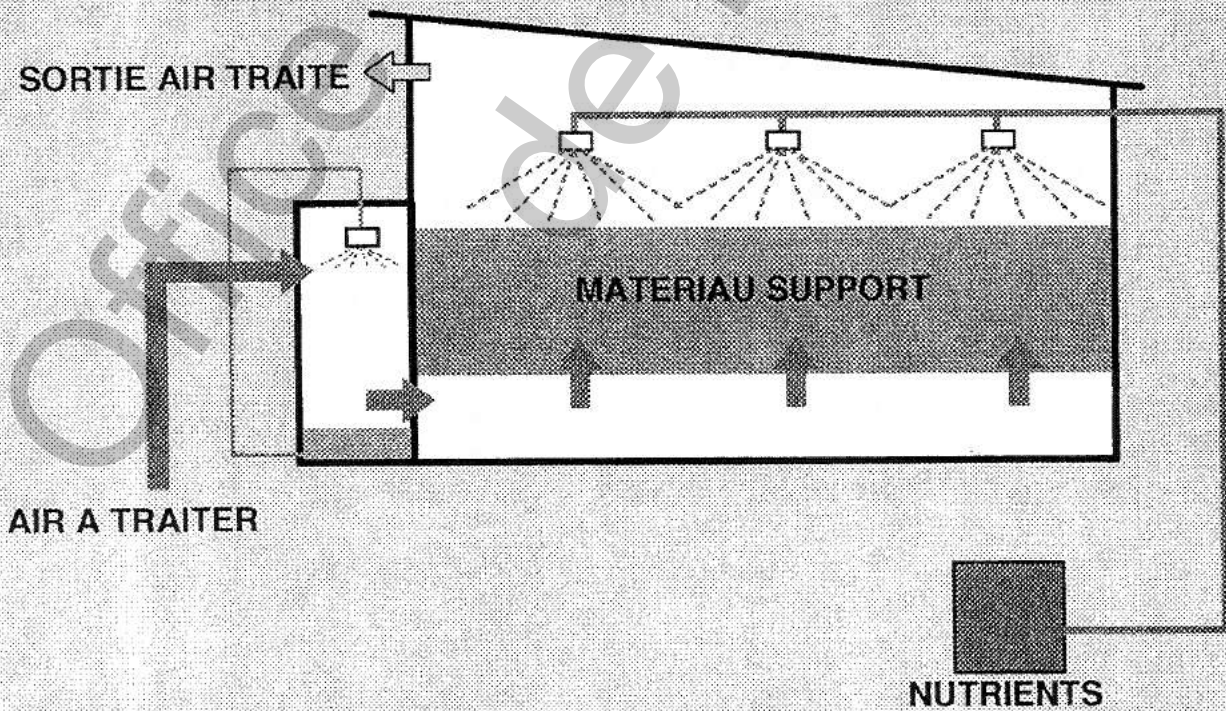
L'ozone réagit aussi avec les composés azotés, mercaptans, aldéhydes et cétones. Les réactions sont d'autant plus rapides que le pH est BASIQUE.

DESODORISATION BIOLOGIQUE

PRINCIPE



TECHNOLOGIE



VI-2) TRAITEMENT DES ODEURS PAR VOIE BIOLOGIQUE

L'épuration biologique des gaz viciés est similaire à l'épuration de l'eau :



ATTENTION ! Le substrat doit être EQUILIBRE : C/N/P 100/5/1. Une partie est apportée par le gaz, l'autre devra être rajoutée avec l'eau d'arrosage.

L'oxygène nécessaire aux bactéries est apporté par l'air vicié. Il est aussi nécessaire d'apporter des oligo-éléments et du carbone organique, (nourriture pour bactéries).

Les réactions mises en jeu pour chaque composé sont :

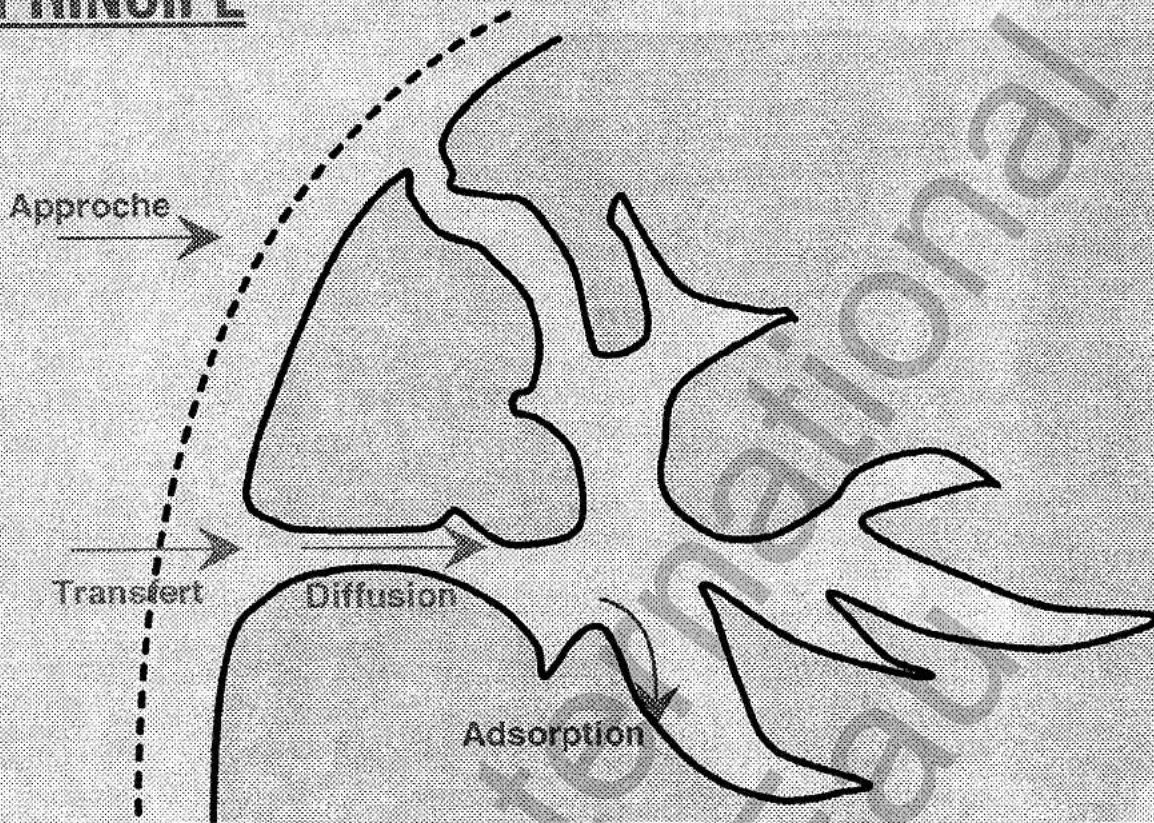
- . composés azotés + O₂ + bactéries → nitrate
(aérobies hétérotrophes)
- . composés soufrés + O₂ + bactéries → sulfate
(aérobies chimioautotrophes)

Plusieurs technologies sont disponibles :

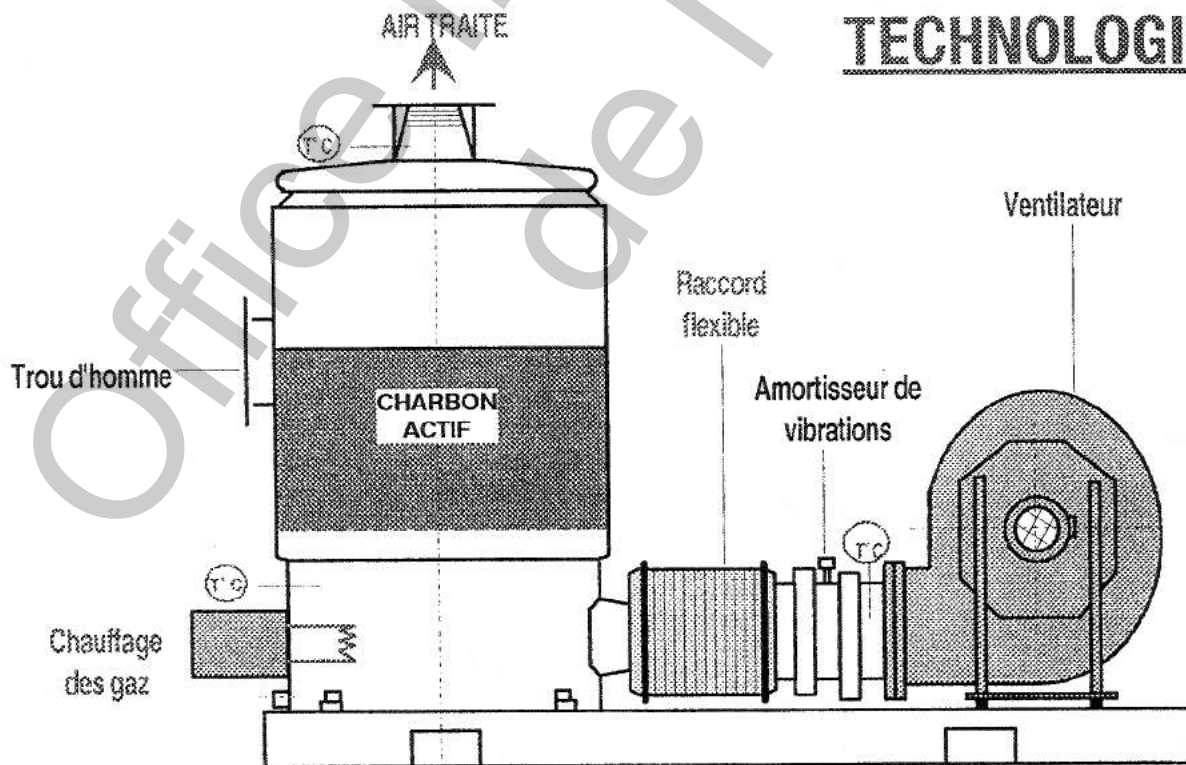
- Lit bactérien à garnissage : anneaux de RASHIG, cloisonyl,
- Biolaveur à lit de tourbe (Biofiltre).

DESODORISATION - Charbon actif

PRINCIPE



TECHNOLOGIE



VI-3) CHARBON ACTIF

Le charbon actif est une substance carbonée microporeuse de couleur noire. Il se présente soit :

- en poudre,
- en grain,
- en bâtonnet.

Il est obtenu par carbonisation de produit naturel, tel que :

- tourbe,
- bois,
- coque de fruits,
- houille,
- lignite.

L'activation se fait par des sels métalliques, pendant ou après la carbonisation.

On peut aussi améliorer l'adsorption par IMPREGNATION du charbon actif avec des produits minéraux ou organiques :

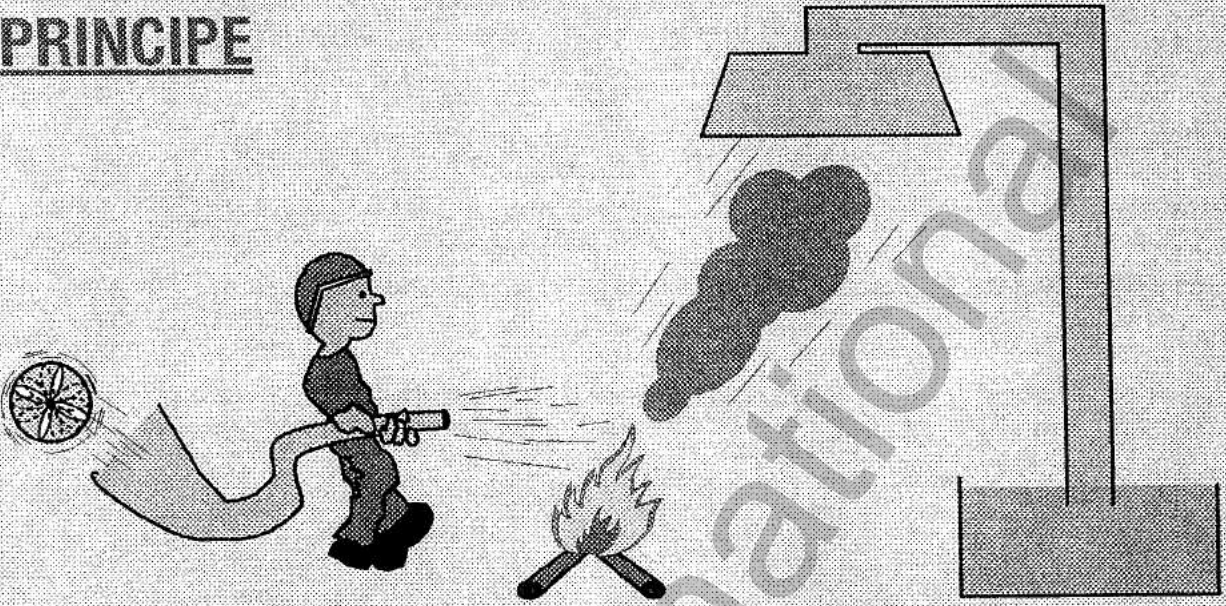
- sels métalliques → piègeage de H_2S
- acide carboxylique → piègeage de NH_3

La technologie du procédé consiste à faire circuler l'air vicié dans une colonne garnie de charbon actif.

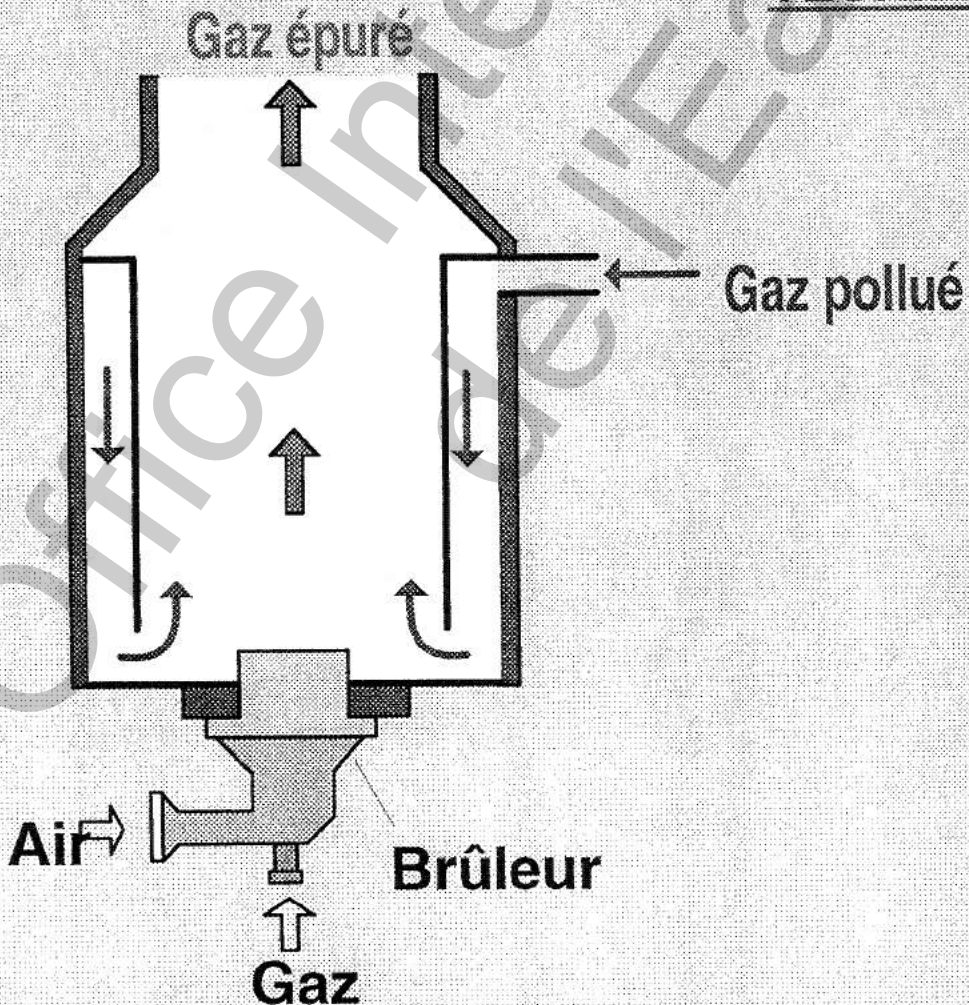
Lorsque le charbon est saturé (plus de capacité d'adsorption), on peut le régénérer, mais généralement, il est plus simple de le REMPLACER.

DESODORISATION - Incinération

PRINCIPE



TECHNOLOGIE



VI-4) INCINERATION DES GAZ

L'incinération des gaz est le procédé le PLUS SUR, mais aussi le PLUS CHER ... !

Ce procédé est envisageable pour de faibles débits 2 000 Nm³/h et s'avère rentable lorsque la station d'épuration est équipé d'un four (incinération des boues).

L'air vicié constitue le COMBURANT.

La température de combustion doit être suffisante (500 à 800°C) pour assurer l'OXYDATION complète :



Il faut bien sûr penser à récupérer la chaleur, et aussi assurer le lavage des fumées ... !



Office
International
de l'Eau

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

L'ELECTRICITE ET L'OPTIMISATION ENERGETIQUE



Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.

Office International de l'Eau

DFE/CNFME/INT/LOGIST/UTILISAT/UE/PEDAGO/SOMMAIRE EDF DOO/23/08/2012



11

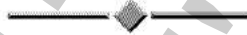


Office
International
de l'Eau

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

OPTIMISATION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DANS LE DOMAINE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT



Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.
Office International de l'Eau

DFE/CNFME/INT/1/LOGIST/TUTL/ISAT/NL/E/PEDAG/0/SOMMAIRE EDF.DOC/23/08/2012



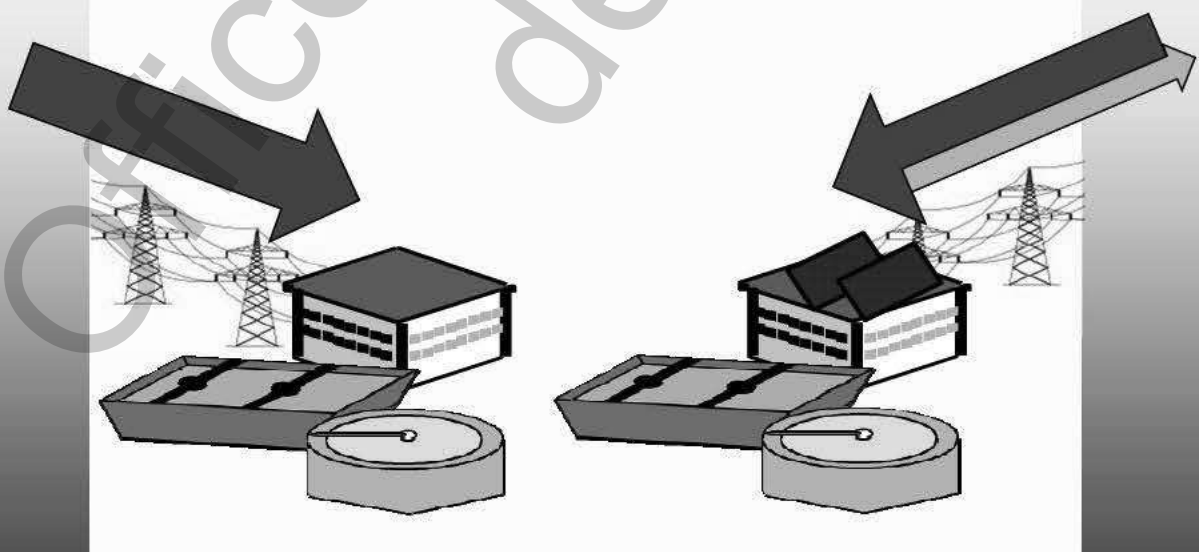


OPTIMISATION DES CONSOMMATIONS ÉNERGETIQUES DANS LE DOMAINE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

Office International de l'Eau
Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau

Diapositive n° 1

OPTIMISATION VS. PRODUCTION

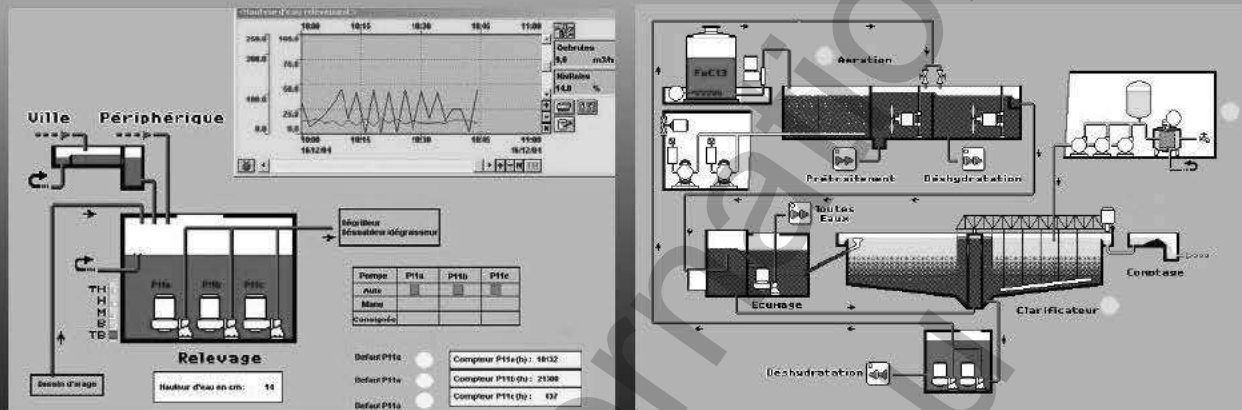


Diapositive n° 2

Diapositive n° 2

Inventaire des plus gros consommateurs dans le traitement des eaux usées domestiques

- Les systèmes d'aération (surpresseurs d'air)
- Le poste de relevage
- Le traitement des boues



Diapositive n° 3

Cas d'une STEP 5 000 EH

Boues activées
Épaississement dynamique
Stockage des boues



Postes	Valeurs
Relèvement	26 %
Prétraitements	3 %
Brassage	10 %
Aération	44 %
Recirculation	11 %
Traitement des boues	6 %
Traitement de l'eau	94 %
Traitement des boues	6 %
Consommation	1,8 kWh / kg DBO ₅ élim.

Diapositive n° 4

Cas d'une STEP 35 000 EH

Boues activées

Traitement N et P (4 zones)

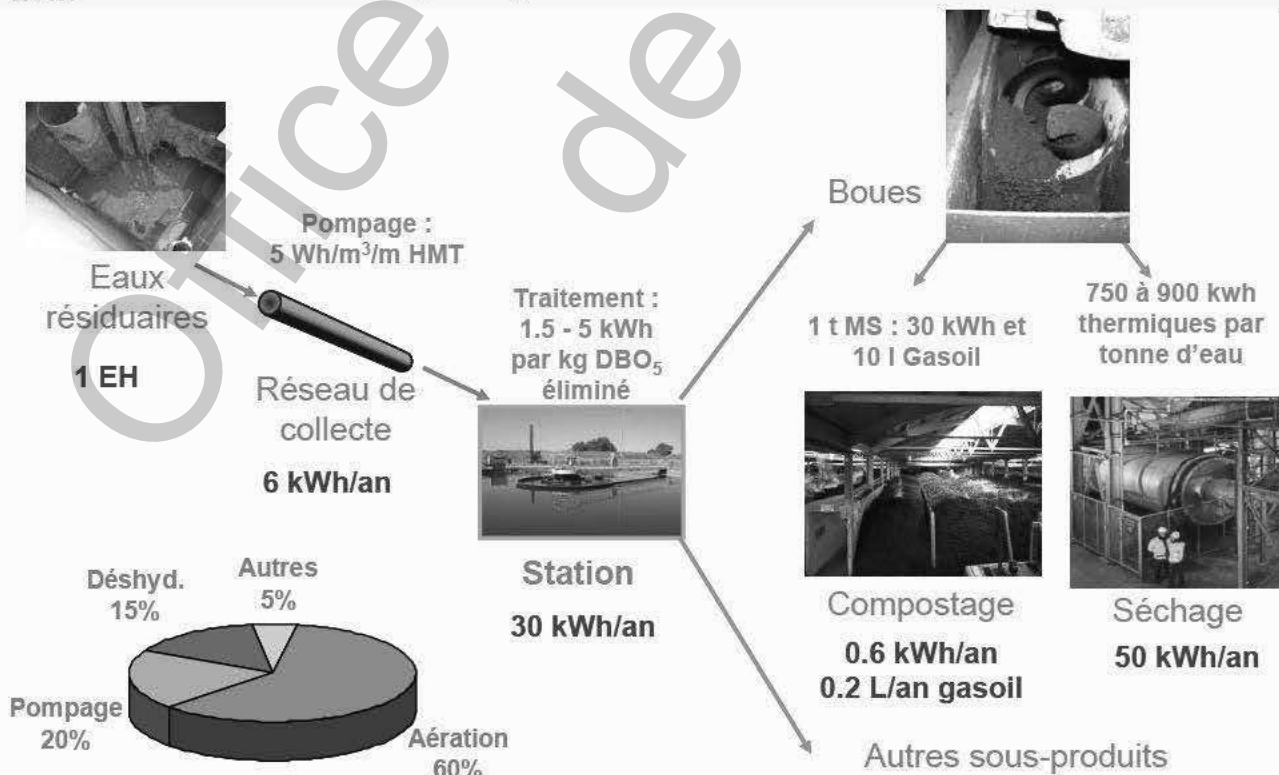
Épaississement gravitaire + déshydratation par centrifugeuse

Chaulage des boues, Désodorisation

Postes	Valeurs
Traitement des graisses	6 %
Prétraitements	4 %
Brassage	11 %
Aération	36 %
Recirculation des boues et des NO ₃ ⁻	14 %
Traitement des boues	13 %
Désodorisation	17 %
Traitement de l'eau	70 %
Traitement des boues	13 %
Consommation	2,2 kWh / kg DBO ₅ élim.

Diapositive n° 5

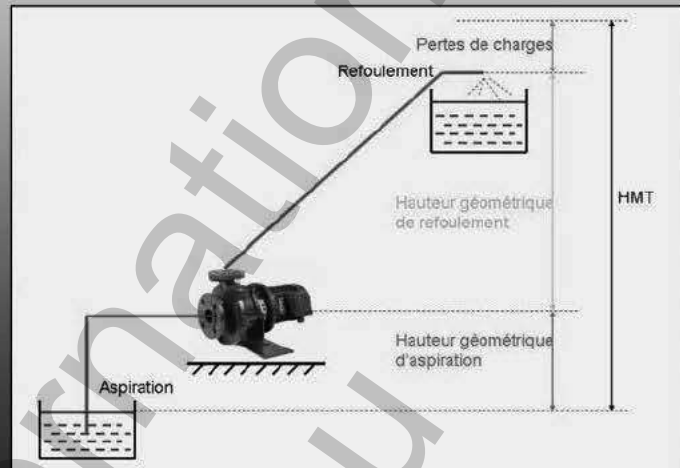
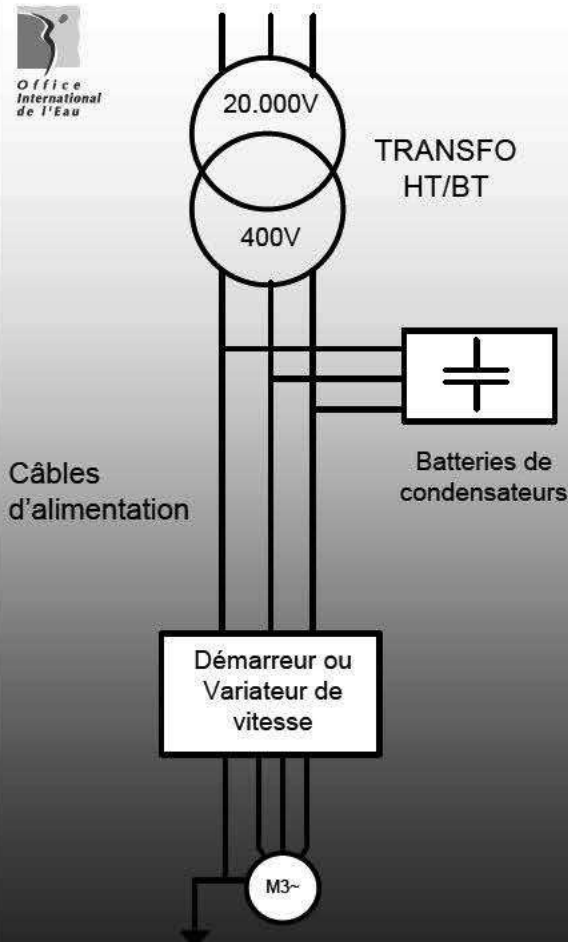
Coût énergétique de l'assainissement



Source : Lyonnaise Suez

Elimination : besoins variables

Chaine de distribution de l'énergie transfo → pompe



Diapositive n° 7

ENERGIE

$$W = P \times t$$

W : Énergie exprimée en Wh ou kWh

P : Puissance instantanée en W ou kW

t : temps en heures

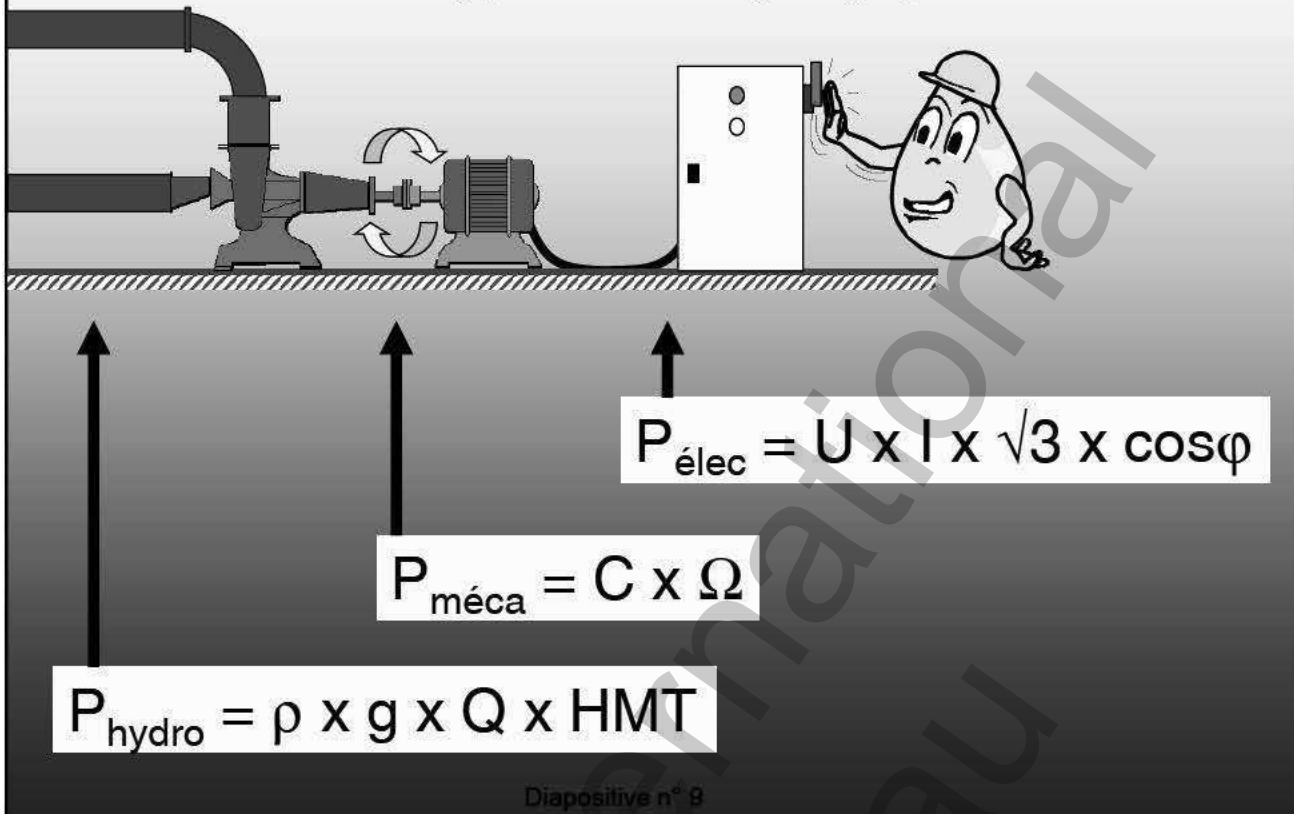
W : consommation d'énergie qui est facturée par le distributeur

P : puissance instantanée nécessaire pour faire fonctionner les installations

Diapositive n° 8

PUISSANCE

Application au pompage



FACTEUR DE PUISSANCE

= proportion de puissance réellement productrice de travail/chaaleur, par rapport à l'ensemble de la puissance fournie.

Tient compte du $\cos \phi$ et des harmoniques

Puissance réactive + harmoniques

Pertes / rendements

Puissance apparente fournie

Puissance utile

INCONVÉNIENT D'UN MAUVAIS FACTEUR DE PUISSANCE

- Diminution de la puissance disponible au secondaire d'un transformateur
- Augmentation du courant en ligne
- Pertes par effet Joules plus importantes
- Facturation de l'énergie réactive

Diapositive n° 11

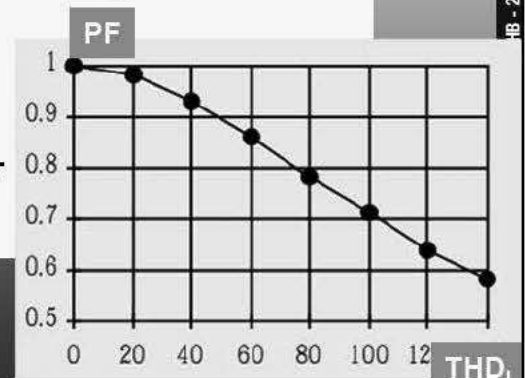
Facteur de puissance et variation de vitesse

Influence de l'installation d'un variateur :
Cosinus phi en amont du variateur = 0,98



Mais : facteur de puissance \neq cos phi
il faut corriger la valeur :

$$PF = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + THD^2}}$$



- ** PF : Facteur de Puissance (Power Factor)
- ** THD : taux de distorsion harmonique en courant

Diapositive n° 12

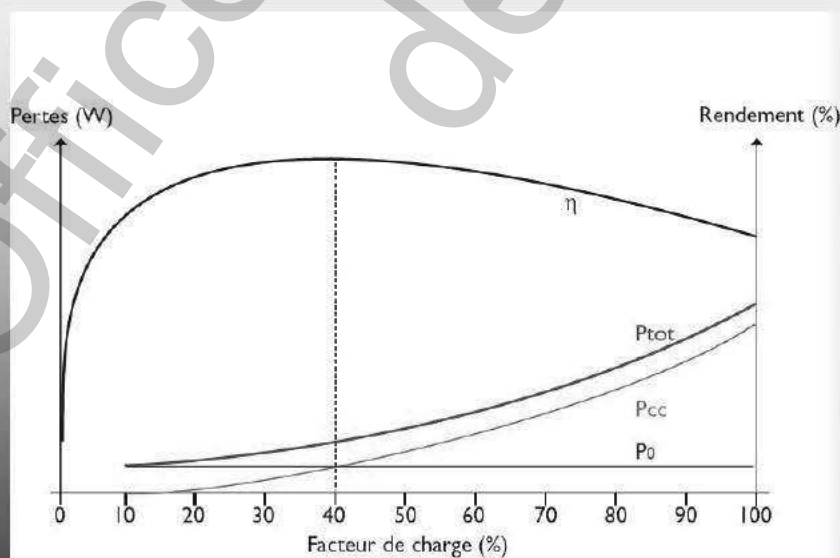
Caractéristiques électriques des transformateurs de distribution HT/BT



Pu en kVA	50	100	250	400	630
Pertes à vide W	190	320	650	930	1300
Pertes dues à la charge	1100	1750	3250	4600	6500
I à vide en %	2,9	2,5	2,1	1,9	1,8
U court circuit %	4	4	4	4	4
Chute de tension à 100% de charge	3,77	3,57	3,33	3,25	3,17
Rendement à 100 %	96,9	97,5	98	98,3	98,5

Diapositive n° 13

Evolution du rendement d'un transformateur

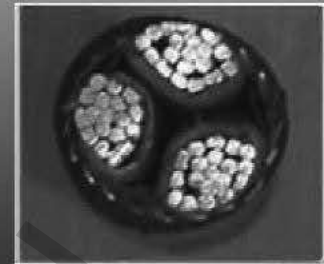


η : rendement
 P_{cc} : pertes en charge
 P_{tot} : pertes totales
 P_0 : pertes à vide

Diapositive n° 14



Pertes dans les câbles de distribution



Diapositive n° 15

Pertes dans les câbles Chute de tension admissible

- **Installation alimentée en BT**
 - Éclairage : $\Delta U/U < 3\%$
 - Autre usage : $\Delta U/U < 5\%$
- **Installation alimentée par un poste HT**
 - Éclairage : $\Delta U/U < 6\%$
 - Autre usage : $\Delta U/U < 8\%$

Note : Chute de tension = Perte de charge

Diapositive n° 16

Importance du choix de la section d'un câble

- **Problème : Câble d'alimentation d'un moteur de 55 kW, $\cos\phi=0,8$, $I=100A$, longueur = 150m**
 - Section de 16 mm² :
 - Chute de tension = 15V
 - Perte puissance Joules = 2000 W
 - Section de 25 mm² :
 - Chute de tension = 11V
 - Perte puissance Joules = 1500 W
 - **Bilan annuel pour 3000h de marche → économie de 1500kWh en utilisant un câble de 25 mm² de section**

Diapositive n° 17

Economies sur les solutions d'éclairage : équivalences des diverses technologies actuelles

- **Ampoules à incandescence**
 - 1200h, 60W, 3285 kWh/an (30 ampoules)
- **Ampoules fluo compactes**
 - 8000h, 15W, 767 kWh/an
- **Ampoules à LED**
 - 50.000h, 8W, 329 kWh/an

Diapositive n° 18

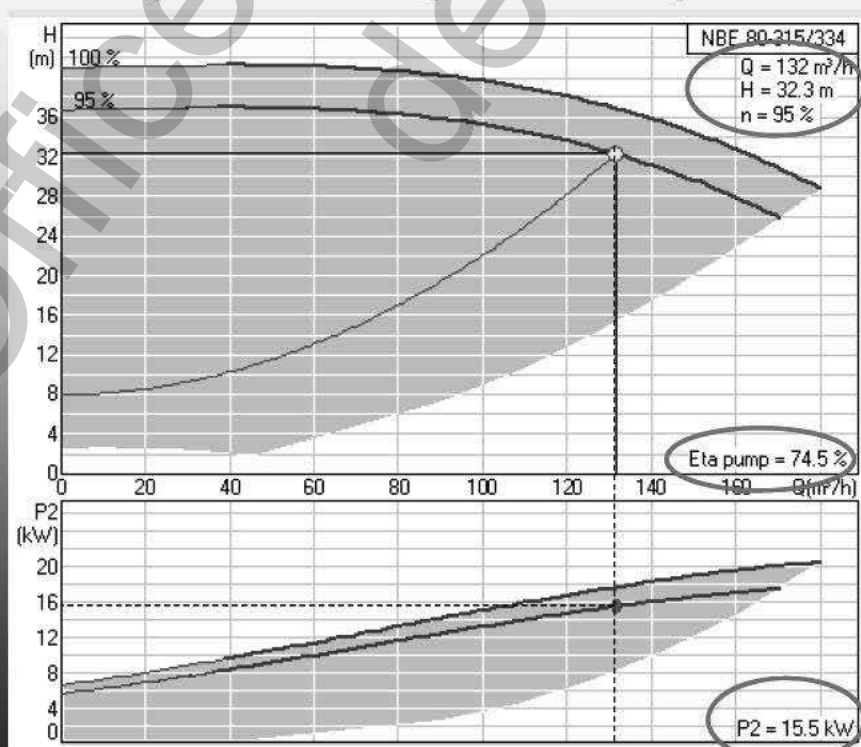
Coût global d'un système de pompage

- Puissance < 5 kW
→ Energie : 40 %
- Puissance > 100 kW
→ Energie : 85 %

Economies d'énergies = optimisations des rendements de **tous** les composants de la chaîne de pompage

Diapositive n° 19

Courbes caractéristiques d'une pompe pour le transport d'eau potable



RENDEMENT D'UNE POMPE

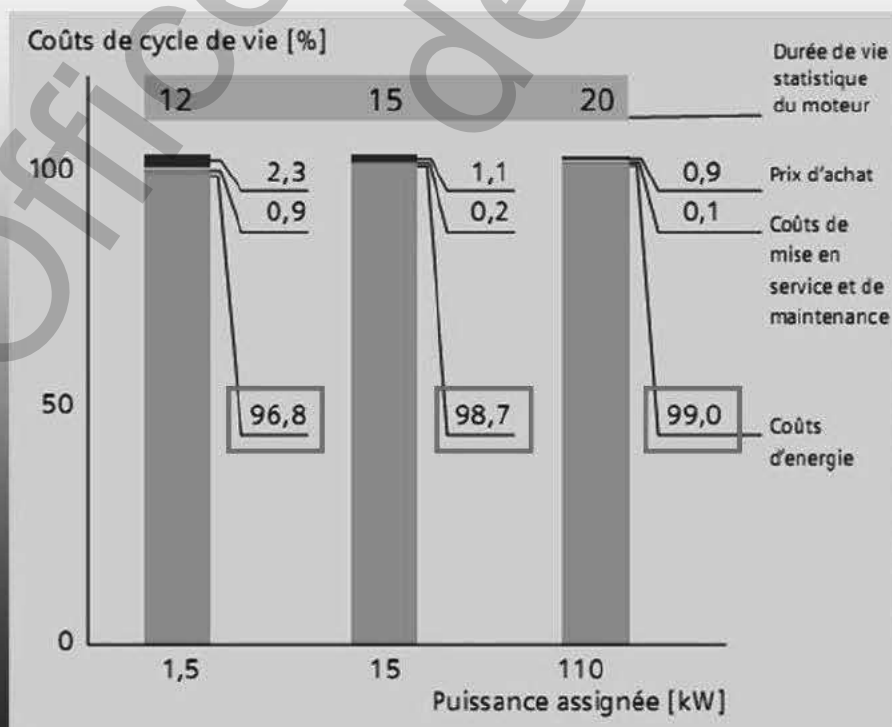
- Rendement initial : 45 à 90% selon le point de fonctionnement
- Evolution du rendement au cours de la vie de la pompe
 - Baisse d'environ 2% par an
 - Sur 10 ans → perte de 20%
 - Rendement initial : 75% → 55% (après 10 ans)



Intérêt de la maintenance préventive

Diapositive n° 21

Evaluation du coût global d'un moteur électrique



Diapositive n° 22

Classes de rendement moteur

Normalisation :

- IEC 60034-30-1 (2014) : classes de rendement pour les moteurs à courant alternatif alimentés par le réseau
- IEC 60034-30-2 (2016) : classes de rendement pour les moteurs à courant alternatif à vitesse variable

Classe de rendement	Niveau de rendement
IE1	Standard
IE2	Haut
IE3	Premium
IE4	Super Premium
IE5	Classe pour l'instant réservée aux moteurs alimentés par variateur

Diapositive n° 23

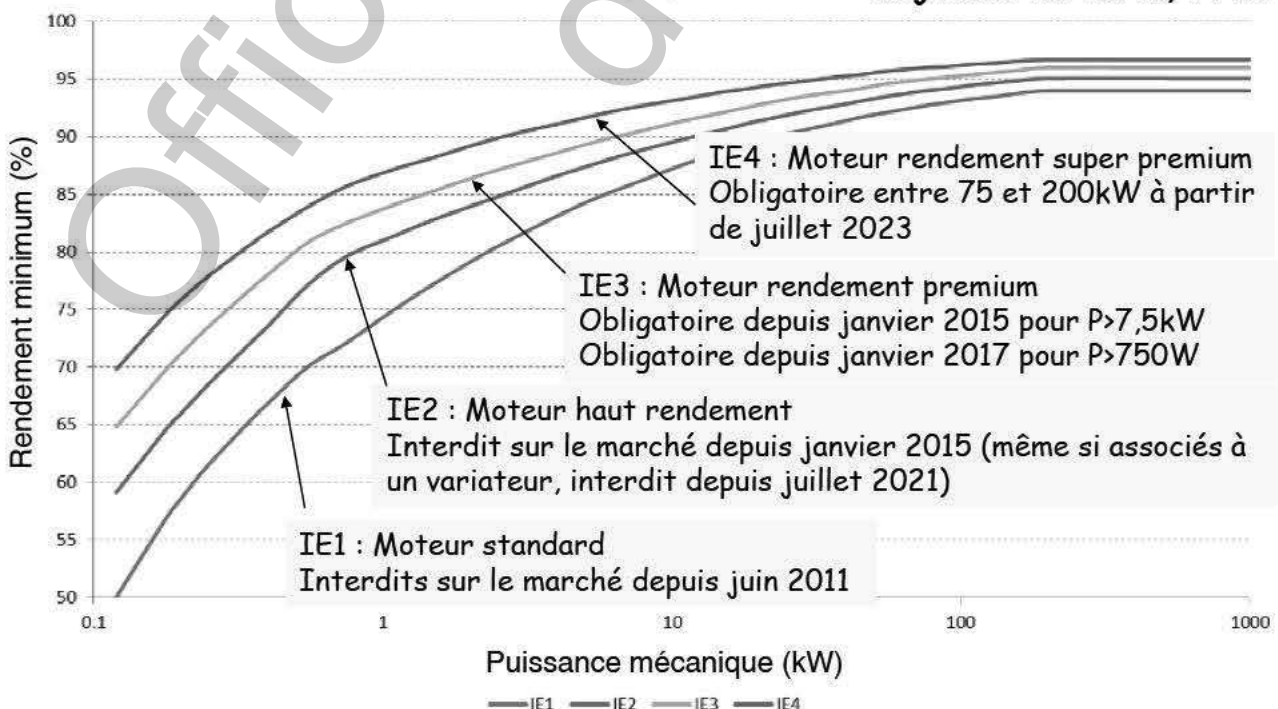
Directive EuP (Eco-design)

Règlement 640/2009 du 22/07/2009

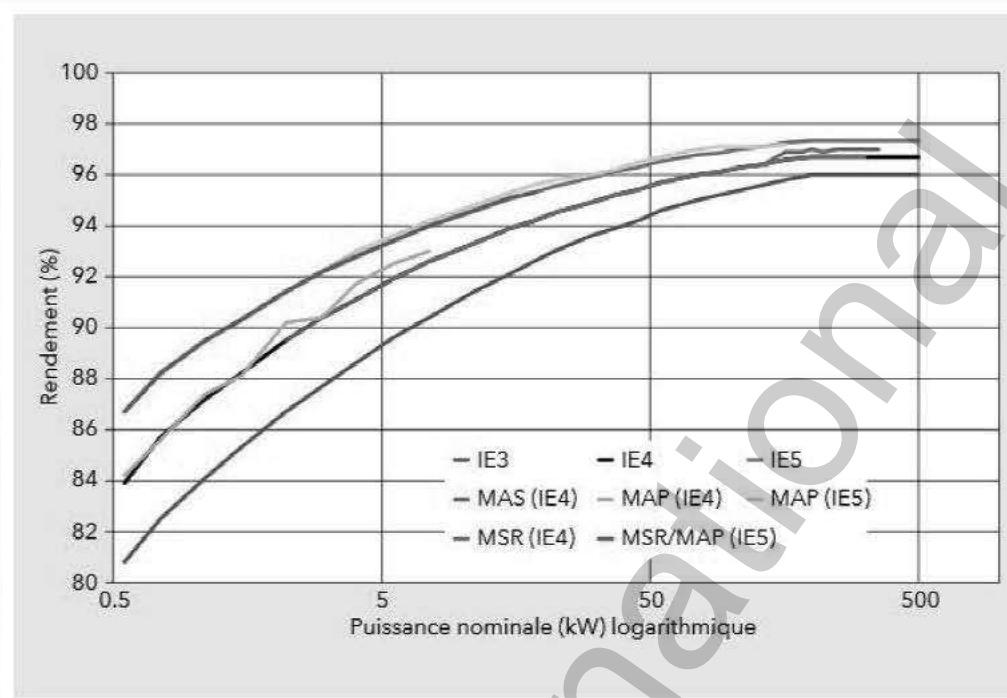
Règlement 4/2014 du 6/01/2014

Règlement UE 2019/1781

50 Hz / 4-pole



INDICE IE5



Source : Fiche technique n°29 – Top Motors

Diapositive n° 25

RENDEMENT DES MOTEURS ELECTRIQUES

N heures	3500	3500	2000	2000	6000
P en kW	22	22	22	22	22
Charge %	75	50	75	90	75
cout €	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Rend std	75	75	75	75	75
Rend IE2	88	88	88	88	88
eco /an en €	569 €	379 €	325 €	390 €	975 €

Puissance et énergie

FULL					0:00:10	
	L1	L2	L3	Total		
kW				24.5		
kVA				29.7		
kVAR				16.8		
PF				0.83		
Cosφ						
R rms	45	45	45			
	L12	L23	L31			
V rms	383.3	382.2	383.1			
20/04/05 13:30:44 398V 50Hz 3Ø DELTA EN50160						



MOTEURS A HAUT RENDEMENT (IE5 ?)



Diapositive n° 27



Optimisation des consommations énergétiques - BP, PHB - 2021

COPYRIGHT OIEau

VARIATION DE VITESSE = ECONOMIE D'ENERGIE ??

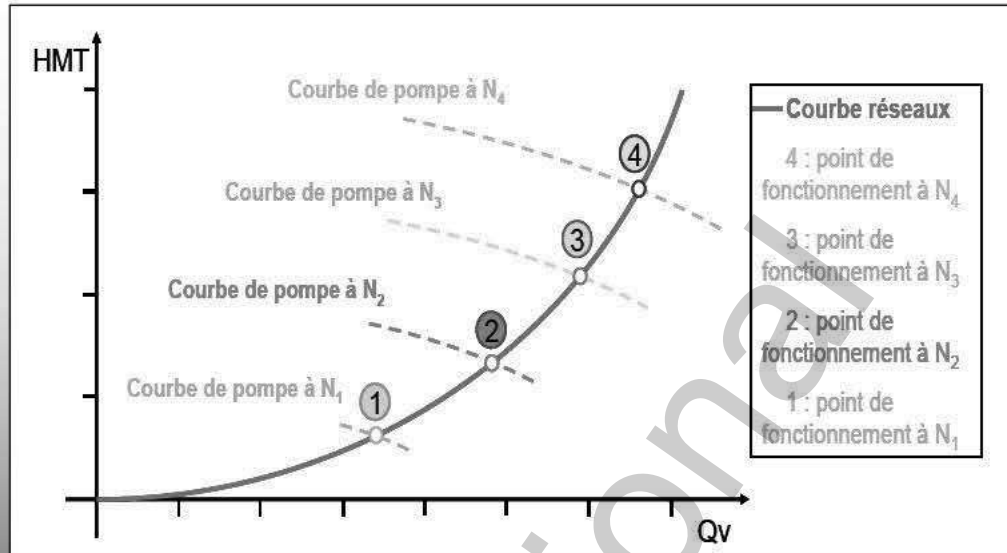


Diapositive n° 28

Diapositive n° 28

Optimisation des consommations énergétiques - BP, PHB - 2021

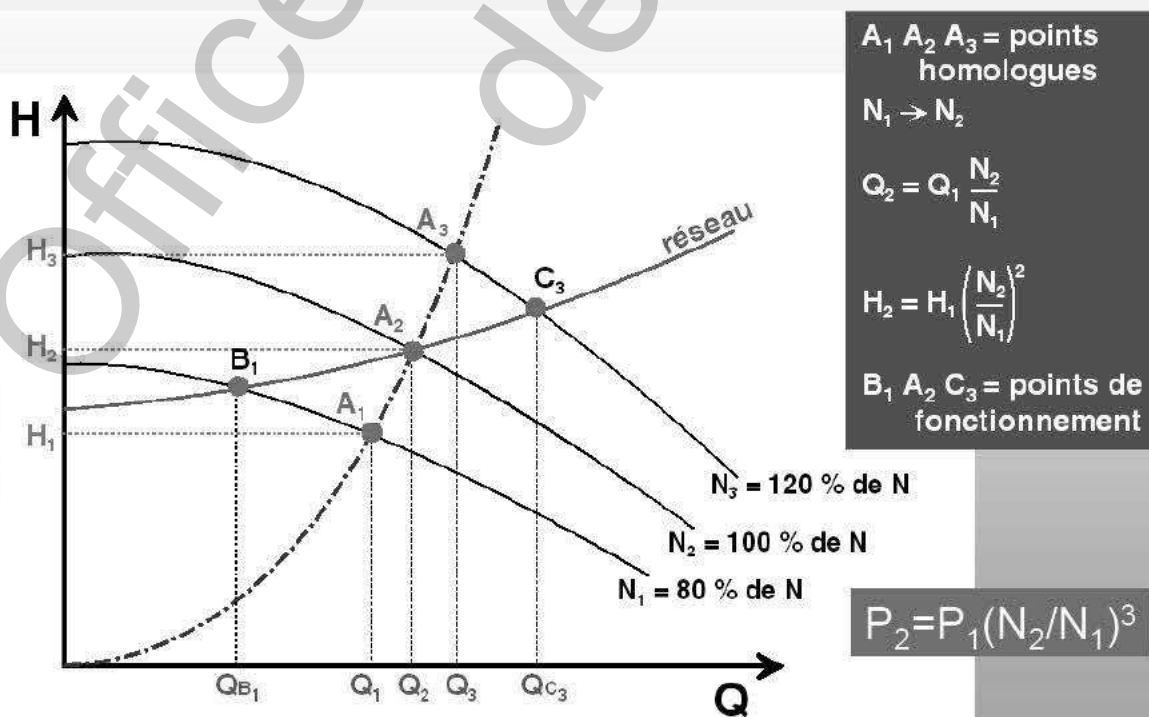
COPYRIGHT OIEau



Vitesse variable associée au pompage et à la production d'air

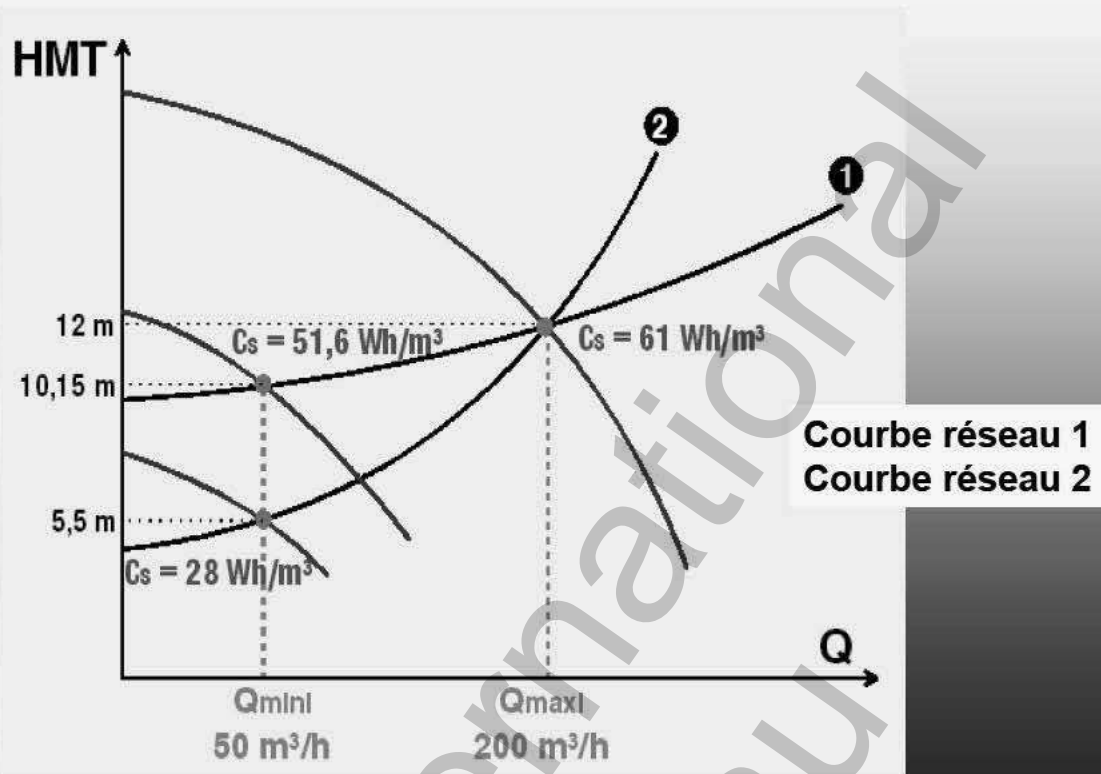
Diapositive n° 29

Vitesse variable et lois de l'hydraulique



Diapositive n° 30

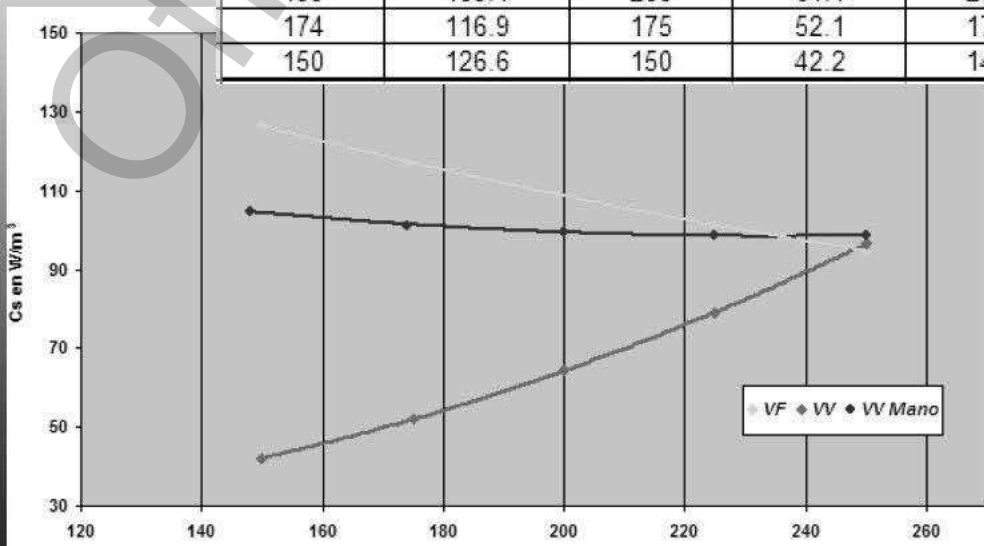
Vitesse variable - Consommation spécifique



Diapositive n° 31

Comparatif vannage / vitesse variable / régulation

Vitesse fixe		Vitesse variable		Vitesse variable régul Mano	
Q	Cs conso spé	Q	Cs conso spé	Q	Cs conso spé
m ³ /h	W/m ³	m ³ /h	W/m ³	m ³ /h	W/m ³
250	94.5	250	96.6	250	98.5
225	101.6	225	79.1	225	98.7
199	109.1	200	64.4	200	99.5
174	116.9	175	52.1	174	101.1
150	126.6	150	42.2	148	104.8



Diapositive n° 32

BILAN DES RENDEMENTS

- Pompe : 45 à 90 %
- Moteur électrique : 80 à 95 %
- Variateur de fréquence : 95 à 98 %
- Transformateurs de puissance : 97 à 99%

Rendement total = Produit de tous les rendements

Ex : pompe = 70%; moteur = 90%; variateur = 95%
→ **Rendement total = 60%**

Diapositive n° 33

SURVEILLANCE DES CONSOMMATIONS

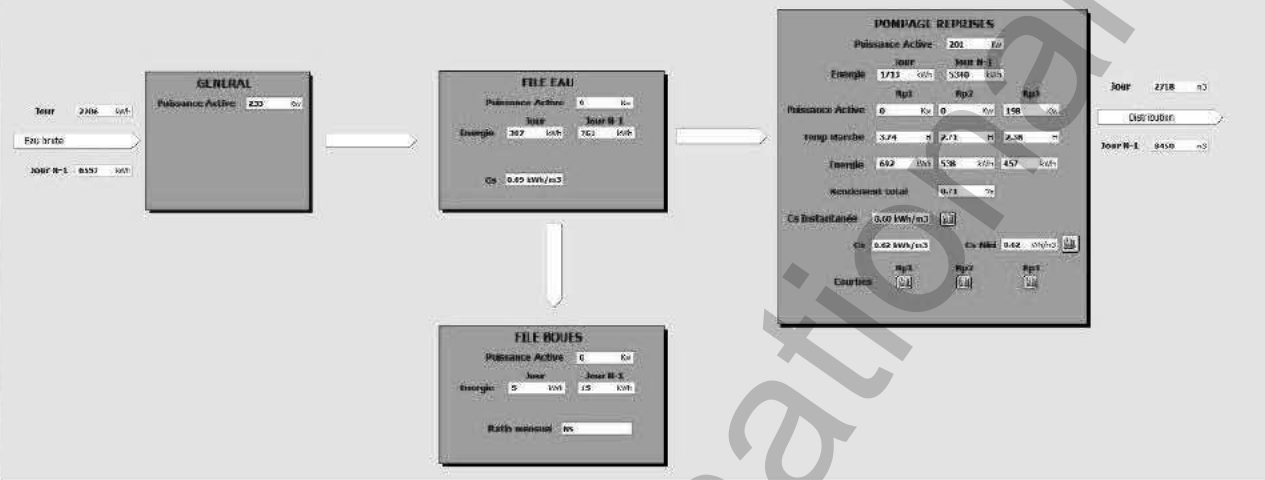


Diapositive n° 34

SURVEILLANCE DES CONSOMMATIONS

VUE GLOBALE ENERGIE

Défile les mesures



Diapositive n° 35

SURVEILLANCE DES CONSOMMATIONS

Systemes, Statistiques, Sites, Titulaires, Saisies, Synoptiques, Bilans, Débits

CENTRALES DE MESURE

DIRIS TGBT Mesures			
	U1 U2	U2 U3	U1 U3
Tension	416 V	416 V	414 V
	U1 N	U2 N	U3 N
Tension	239 V	239 V	239 V
	U1	U2	U3
Courant	327 A	332 A	340 A
	U1	U2	U3
Puiss Active	76 Kw	78 Kw	79 Kw
Puiss Réactive	18 kvar	14 kvar	21 kvar
Puiss Apparente	78 kVA	79 kVA	81 kVA
std U	2.70	2.80	2.80
std V	2.80	2.70	2.40
std I	10.20	10.10	9.70
			33.90
DIRIS TGBT Compteur	Cs J-1		0.78 kWh/m3
	Jour Valeurs	Jour N-1 Valeurs	Unités
Energie active +	2228 kWh	6567 kWh	kWh
Energie réactive +	616 kvarh	1656 kvarh	kvarh
Energie apparente	2296 kVAh	6742 kVAh	kVAh
Energie active -	0 kWh	0 kWh	kWh
Energie réactive -	0 kvarh	1 kvarh	kvarh

DIRIS TRAITEMENT Mesures			
	U1 U2	U2 U3	U1 U3
Tension	416 V	415 V	415 V
	U1 N	U2 N	U3 N
Tension	239 V	240 V	239 V
	U1	U2	U3
Courant	19 A	17 A	14 A
	U1	U2	U3
Puiss Active	3 Kw	0 Kw	0 Kw
Puiss Réactive	-2 kvar	6 kvar	3 kvar
Puiss Apparente	45 kVA	42 kVA	34 kVA
std U	2.92	2.81	2.48
std V	2.77	2.61	2.72
std I	85.12	84.10	101.66
DIRIS TRAITEMENT Compteur	Cs J-1		0.09 kWh/m3

DIRIS REPRISES ET FILTRE AC.TIF Mesures			
	U1 U2	U2 U3	U1 U3
Tension	416 V	415 V	414 V
	U1 N	U2 N	U3 N
Tension	239 V	239 V	239 V
	U1	U2	U3
Courant	267 A	288 A	300 A
	U1	U2	U3
Puiss Active	82 Kw	86 Kw	69 Kw
Puiss Réactive	14 kvar	10 kvar	16 kvar
Puiss Apparente	84 kVA	69 kVA	71 kVA
std U	2.70	2.80	2.80
std V	2.80	2.70	2.40
std I	11.20	10.70	10.10
DIRIS REPRISES Compteur	Cs J-1		0.82 kWh/m3

DIRIS BOUES Mesures			
	U1 U2	U2 U3	U1 U3
Tension	416 V	415 V	415 V
	U1 N	U2 N	U3 N
Tension	240 V	240 V	239 V
	U1	U2	U3
Courant	1 A	1 A	0 A
	U1	U2	U3
Puiss Active	0 Kw	0 Kw	0 Kw
Puiss Réactive	2 kvar	1 kvar	1 kvar
Puiss Apparente	5 kVA	4 kVA	3 kVA
std U	2.84	2.82	2.47
std V	2.70	2.61	2.73
std I	29.58	44.50	13.66
DIRIS BOUES Compteur	ratio Mensuel NS		

	Jour Valeurs	Jour N-1 Valeurs	Unités
Energie active +	208 kWh	761 kWh	kWh
Energie réactive +	9 kvarh	23 kvarh	kvarh
Energie apparente	418 kVAh	1112 kVAh	kVAh
Energie active -	0 kWh	0 kWh	kWh
Energie réactive -	2 kvarh	7 kvarh	kvarh

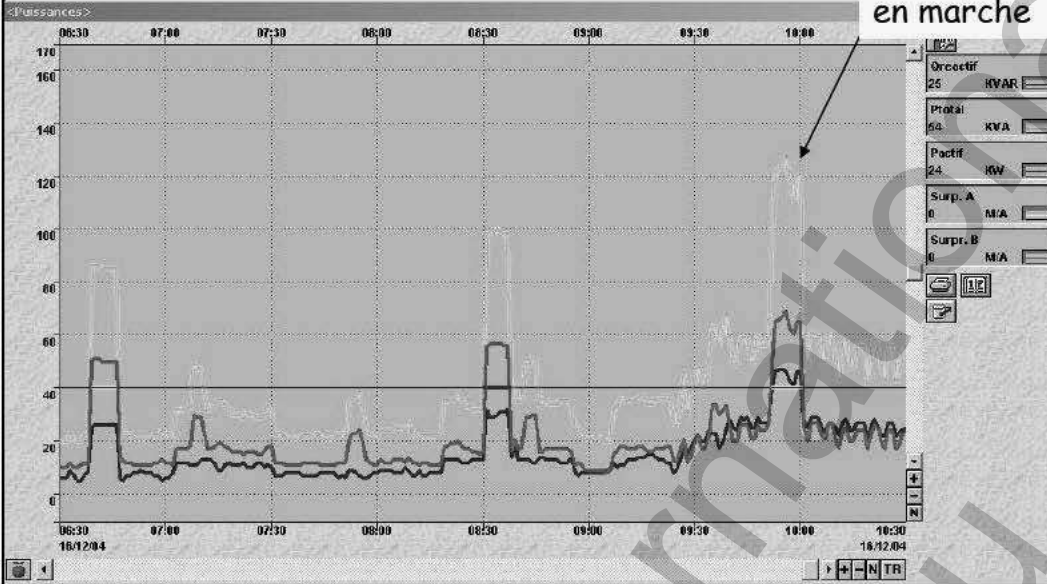
	Jour Valeurs	Jour N-1 Valeurs	Unités
Energie active +	1733 kWh	5340 kWh	kWh
Energie réactive +	452 kvarh	1308 kvarh	kvarh
Energie apparente	1641 kVAh	3676 kVAh	kVAh
Energie active -	0 kWh	0 kWh	kWh
Energie réactive -	54 kvarh	68 kvarh	kvarh

	Jour Valeurs	Jour N-1 Valeurs	Unités
Energie active +	5 kWh	15 kWh	kWh
Energie réactive +	8 kvarh	11 kvarh	kvarh
Energie apparente	8 kVAh	28 kVAh	kVAh
Energie active -	0 kWh	0 kWh	kWh
Energie réactive -	6 kvarh	0 kvarh	kvarh

Diapositive n° 36

Mise en évidence des pointes de puissance électrique

Appel de puissance au
démarrage du surpresseur
d'air, pompes de relèvement
en marche



Diapositive n° 37

Axes d'optimisation de la consommation énergétique en assainissement

- Limitation de la quantité d'eaux usées à traiter
- Mise en œuvre de réseaux séparatifs
- Limitation des eaux parasites de nappe
- Limitation de la consommation d'eau potable dans la station d'épuration

Diapositive n° 38

Axes d'optimisation de la consommation énergétique en STEP

Optimisation de la gestion du relèvement :

- Bien choisir le modèle de pompe
- Obtenir un meilleur rendement de l'ensemble pompe/ moteur /système d'entraînement
- Utiliser la variation de vitesse
- Rehausser au maximum le niveau de démarrage des pompes (HMT moindre)

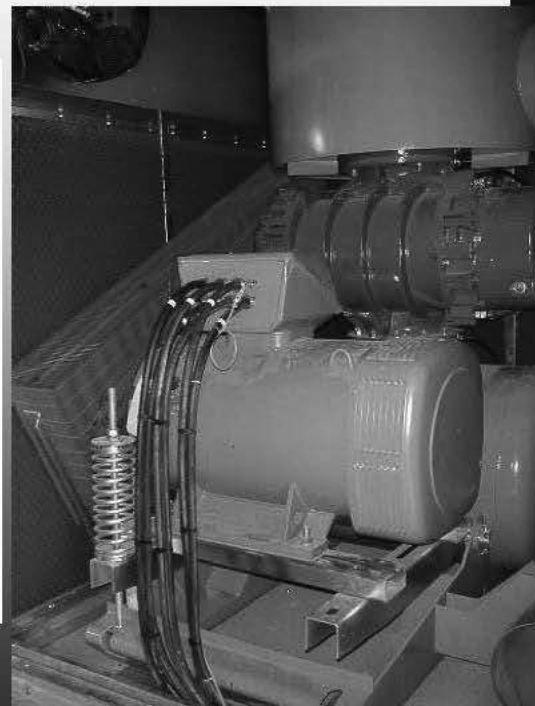


Diapositive n° 39

Axes d'optimisation de la consommation énergétique en STEP

Optimisation de la gestion de l'aération

- Aérer au juste utile
- Optimiser les étapes de Nitrification et dénitrification
- Asservir à l'aide de capteurs O_2 et / ou rédox
- Faire un suivi rigoureux des NO_3^- et NH_4^+
- Utiliser des capteurs spécifiques



Diapositive n° 40

Axes d'optimisation de la consommation énergétique en STEP

- Dissocier les fonctions brassage et aération
- Utiliser la variation de vitesse
- Aération fines bulles pour de meilleurs rendements d'aération
- Travailler à une [MES] juste utile dans le bassin d'aération (2 à 4 g/l)
- Optimiser la forme et la profondeur des bassins et la répartition des zones d'aération et de brassage
- Entretenir les canalisations et diffuseurs d'air (encrassement)



Diapositive n° 41

Axes d'optimisation de la consommation énergétique en STEP

Optimisation de la gestion de la recirculation

- Recirculer au juste utile
- Capteurs rédox
- Détecteur de voile de boues
- Mesure des [MES] recirculées
- Mesurer et réguler le débit
- Utiliser la variation de vitesse



Diapositive n° 42

Axes d'optimisation de la consommation énergétique en STEP

Choix de traitement des eaux peu
énergétivores ... et répondant aux
objectifs :

- Lagunage naturel
- Infiltration, percolation
- Filtres plantés de roseaux et
épuration par macrophytes
- Voire lit bactérien et disques
biologiques ...

... et éviter le surdimensionnement
des équipements pour répondre à
une situation hypothétique sur 15
ans. Adapter la capacité des
équipements à la pollution à traiter
et non pas à la taille de la STEP



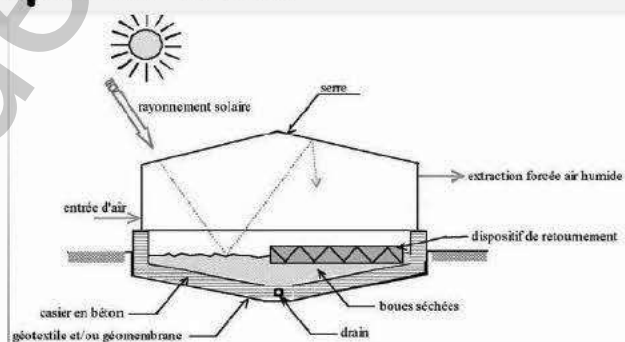
Diapositive n° 43

Axes d'optimisation de la consommation énergétique en STEP

Choix de traitement des boues peu
énergétivores

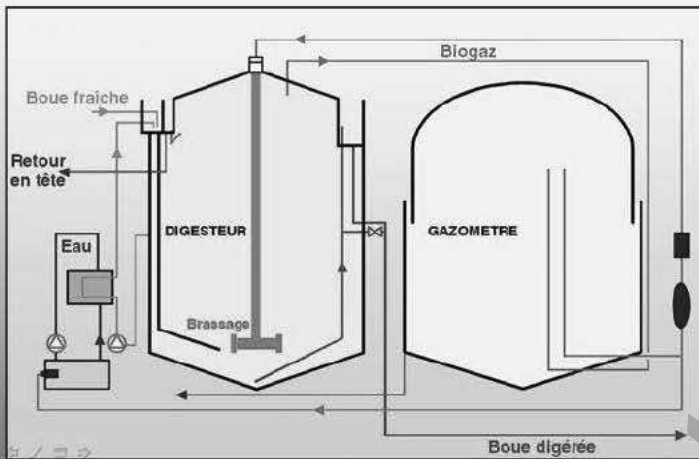
... et répondant aux objectifs

- Lits de séchage plantés de
roseaux
- Séchage solaire
- Digestion anaérobie et
récupération du biogaz et
génération d'énergie
- Retours en tête maîtrisés en
qualité et quantité
- Epaissements primaires peu
énergétivores et garantissant
une forte limitation des volumes
en déshydratation



Diapositive n° 44

Production de biogaz à partir d'un digesteur



- Alimentation d'une chaudière en remplacement du gaz naturel
- Production d'énergie électrique et cogénération
- Intérêt du bon dimensionnement pour une meilleure production de biogaz

Diapositive n° 45



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

ECONOMIES D'ENERGIE EN POMPAGE ET SURPRESSION D'AIR

- . *L'utilisation des moteurs électriques à haut rendement*
- . *Le pompage et la production d'air à vitesse variable*
- . *Le maintien de la qualité de l'énergie (EN50160)*

Bruno PORTERO
Office International de l'Eau

11



SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
I. PRINCIPAUX ELEMENTS INFLUANT SUR LE RENDEMENT GLOBAL D'UN SYSTEME DE POMPAGE	7
II. LES SOLUTIONS DE POMPAGE	9
III. LES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES	11
IV. LES SYSTEMES DE DEMARRAGE	13
V. LES VARIATEURS DE VITESSE	15
VI. LES MACHINES DE PRODUCTION D'AIR	19
VII. LES CABLES D'ALIMENTATION	21
VIII. LES BATTERIES DE CONDENSATEURS	21
IX. LE TRANSFORMATEUR HAUTE TENSION - BASSE TENSION	23
X. CONCLUSION	23



Les limites et perspectives

- **Pétrole** : au rythme actuel le manque apparaîtra dans 30 à 50 ans
- **Charbon** : abondant pendant encore 200 ans au rythme actuel
- **Uranium** : problèmes d'approvisionnement dans moins de 100ans si on n'améliore pas le rendement qui est d'aujourd'hui 1%

Les énergies renouvelables

- **Hydraulique** : ressource saturée (<15%)
- **Eolien** : limité à 5%
- **Biomasse** : problème du transport des matières premières
- **Géothermie** : limité à certains sites
- **Solaire** : Energie la + abondante mais cout élevé des panneaux photovoltaïque
- **Déchets** : production limitée à 1 ou 2%
- **Energie des mers** : marée, houle (en développement)

INTRODUCTION

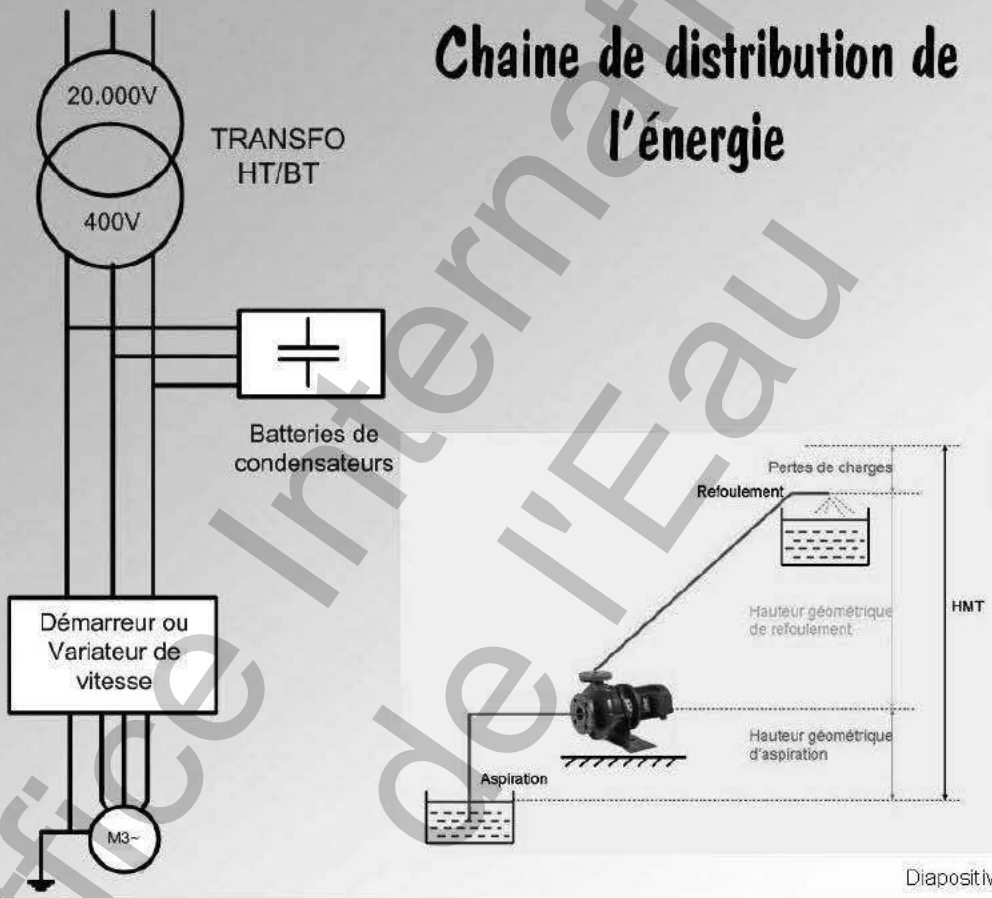
Le contexte économique et environnemental influe de manière significative sur les coûts d'exploitation des stations de pompage. En effet, le prix du baril a dépassé depuis quelques mois les 100 dollars et son incidence sur les coûts de l'énergie n'est plus à démontrer même si le contexte français est plus favorable que dans d'autres pays européens grâce à la production nucléaire d'énergie électrique.

Il n'en demeure pas moins que les clés d'actions sont peu nombreuses et parfois difficiles à mettre en œuvre. Le développement des énergies renouvelables ne représente aujourd'hui qu'un pourcentage encore trop faible dans la part prise de la production d'énergie. Certes des progrès significatifs ont été réalisés et la diversité des solutions témoigne des résultats prometteurs à venir. Mais une solution unique miraculeuse n'est pas à attendre et une diversification des moyens de production s'imposera avec pour conséquence une décentralisation accrue.

Dans l'immédiat il semble plus simple et plus raisonnable d'agir sur l'optimisation de l'utilisation de l'énergie et la recherche d'économies dans toutes les niches possibles. Cette conclusion s'impose d'elle-même quand on s'intéresse à l'avenir des matières premières (30 à 50 ans de réserve pétrolière, 60 ans pour le gaz, 50 ans pour l'uranium et 200 ans pour le charbon).



Chaine de distribution de l'énergie



Diapositive n° 4



I. PRINCIPAUX ELEMENTS INFLUANT SUR LE RENDEMENT GLOBAL D'UN SYSTEME DE POMPAGE

La chaîne d'utilisation de l'énergie dans les systèmes de pompage se compose des éléments suivants :

- transformateur et/ou groupe électrogène,
- les batteries de condensateurs,
- les variateurs de fréquence,
- les câbles d'alimentation des moteurs,
- le moteur triphasé asynchrone,
- la pompe.

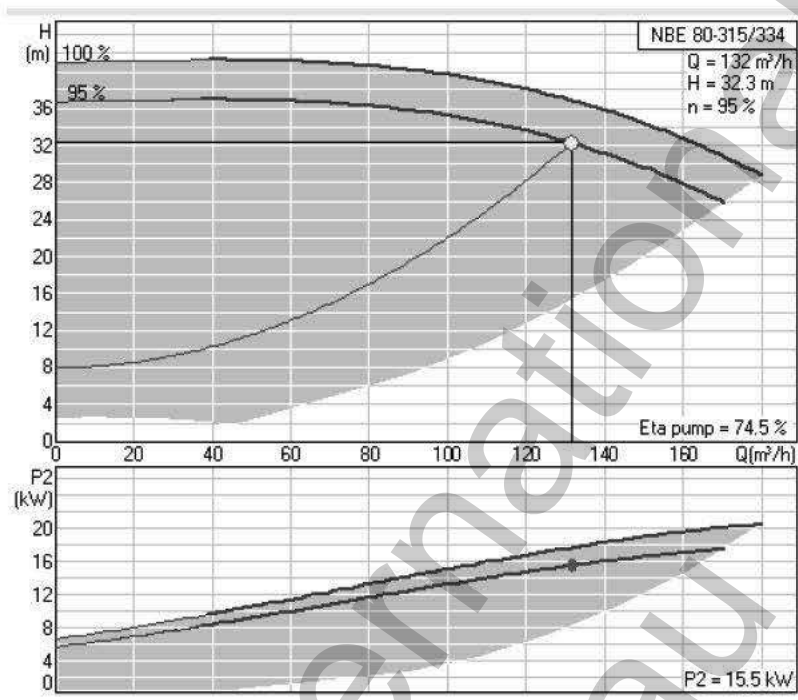
Tous ces éléments, de par leur technologie, contribuent au calcul d'un rendement global de la chaîne de pompage.

Nous allons dans cet article faire le point des solutions possibles et connues à ce jour qui permettent d'améliorer le rendement global. Nous commencerons notre analyse par le dernier élément qui constitue en fait le moyen de transporter un volume d'eau d'un point à un autre, à savoir le système de pompage.

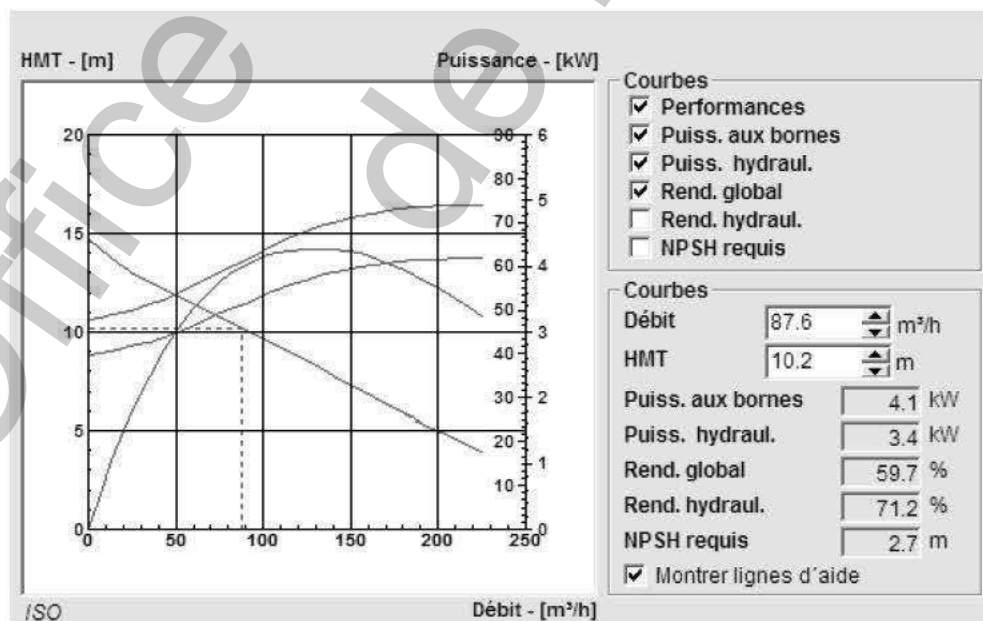
Afin d'alimenter le débat on peut également remarquer que le coût de l'énergie dans l'approche du coût global d'un système de pompage varie entre 40 % dans le cas des pompes d'une puissance < 5 kW pour atteindre 85 % dans le cas des pompes d'une puissance supérieure à 100 kW. Ces chiffres nous donnent la mesure de l'importance du coût énergétique par rapport aux autres éléments.



Utilisation du logiciel Grundfos – Wincaps : rendement global = 74,5%



Logiciel de choix de pompe – Flips - Flygt



II. LES SOLUTIONS DE POMPAGE

Nous nous contenterons dans cet exposé de traiter le cas des pompes centrifuges, qui sont de loin les principaux systèmes de pompage utilisés dans le domaine de l'eau.

Le cahier des charges d'un système de pompage repose principalement sur le choix du point de fonctionnement de la pompe. Celui-ci est obtenu par l'intersection de la courbe HMT/Débit de la pompe et de la courbe du réseau. Ce point de fonctionnement est associé à une puissance absorbée et à un rendement hydraulique.

C'est le choix judicieux du type de roue de la pompe qui détermine le point de fonctionnement et donc son rendement. On remarque que, de manière générale ce rendement évolue entre 45 et 90 %. C'est donc un point très critique dans la conduite d'un projet.

Les constructeurs de pompes ont élaboré des logiciels de simulation qui apportent une aide au choix de pompes en fonction du cahier des charges de l'installation visée. Les informations obtenues tiennent compte de la technologie de la pompe proposée qui intègre parfois le moteur électrique associé. On a donc un rendement global qui intègre à la fois le rendement de la pompe et le rendement du moteur associé.

Exemple de simulation à l'aide du logiciel Flyps de la société Flygt :

- Pompe centrifuge à roue N :
- Débit : 78 m³/h pour une HMT de 15 m
- Puissance aux bornes du moteur :5,6 kW
- Puissance hydraulique :4,8 kW
- Rendement global :58 %

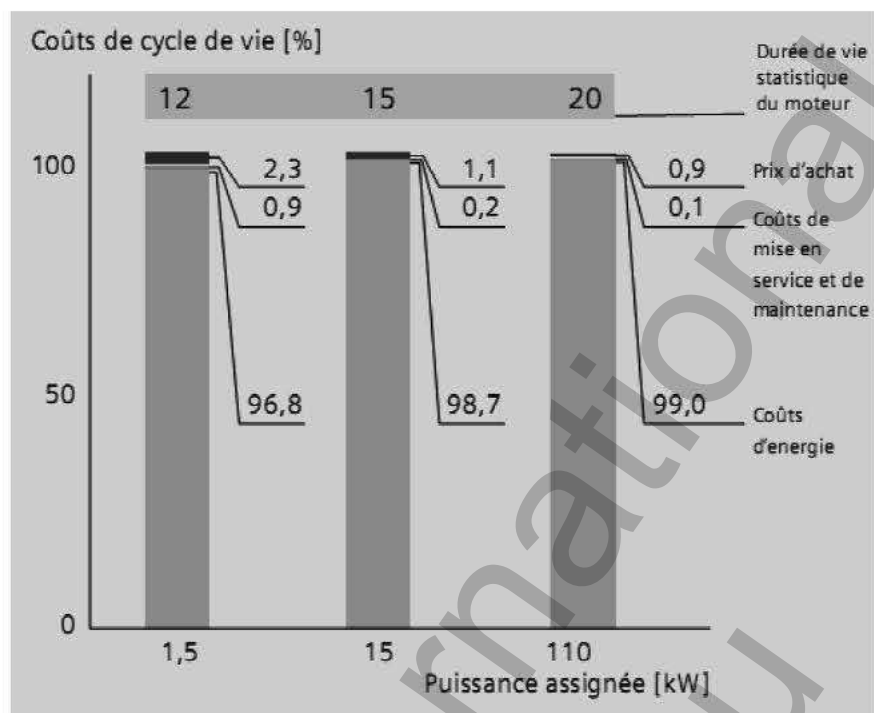
On peut également citer les logiciels de Grundfos et KSB, de Salmson qui intègrent également de manière avancée des paramètres d'optimisation et de consommation énergétique.

Il faut remarquer que le rendement des systèmes de pompage donnés ne sont représentatifs que d'un état initial, c'est-à-dire pompe et moteur neufs. Tout au long de la vie de la pompe son rendement va évoluer, on estime que la baisse de rendement approche les 2 % par an (très variable en fonction de l'application). Cela signifie que si rien n'est entrepris pendant 10 ans, la baisse de rendement atteint les 20 % ; ce qui nous fait passer pour un rendement initial de 75 % à un rendement final de 55 %.

On voit donc tout l'intérêt de maintenir ce rendement dans des valeurs optimales par le biais d'actions de maintenance préventive systématique adaptées à la criticité du système en place.



Coût global et cout de l'énergie



Comparatifs réalisés sur un moteur triphasé d'une puissance de 22kW

N heures	3500	3500	2000	2000	6000
P en kW	22	22	22	22	22
Charge %	75	50	75	90	75
cout €	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Rend std	80	75	80	85	80
Rend eff1	90	88	90	92	90
eco /an en €	401	379	229	177	688

Exemple d'un résultat de mesure avec un energimètre Fluke 434

Puissance et énergie				
FULL 0:00:10				
	L1	L2	L3	Total
kW				24.5
kVA				29.7
kVAR				16.8
PF				0.83
cosφ				
Arms	45	45	45	
	L12	L23	L31	
Vrms	383.3	382.2	383.1	
20/04/05 13:30:44 398V 50Hz 3Ø DELTA EN50160				



III. LES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

Les moteurs électriques associés aux pompes sont des moteurs asynchrones triphasés dont le rotor est en court-circuit. Les caractéristiques des moteurs électriques dépendent du type de moteur sélectionné mais également du point de fonctionnement que l'on a choisi en fonction de la pompe associée. On voit donc que le problème est similaire à celui du pompage. Dans le cas du moteur, le point de fonctionnement est obtenu par l'intersection de la courbe de couple moteur et de la courbe de couple résistant de la pompe. Dans bien des cas le choix du moteur électrique est réalisé par le fournisseur de pompe lui-même. Cependant on rappellera qu'il existe aujourd'hui des moteurs dont la fabrication permet d'atteindre des rendements élevés pour des surcoûts modérés.

Le rendement des moteurs électriques dépend essentiellement de 2 paramètres :

- leur classe d'efficacité : IE ou anciennement EFF (classement selon le Comité Européen de Constructeurs de Machines Électriques de Puissance – CEMEP)
- et de la charge du moteur

Les moteurs à haut rendement EFF1 ont permis de réduire en moyenne les pertes énergétiques d'environ 40 % ; cela se traduit par une amélioration de leur rendement global de l'ordre de 5 % avec un surcoût de 20 %. On estime que l'utilisation de tels moteurs est justifiée économiquement parlant pour un temps de fonctionnement supérieur à 3500 h/an. De plus on peut constater que l'intérêt d'une telle mesure est d'autant plus justifié que la charge du moteur est élevée. En effet le rendement électromécanique d'un moteur augmente avec la charge du moteur.

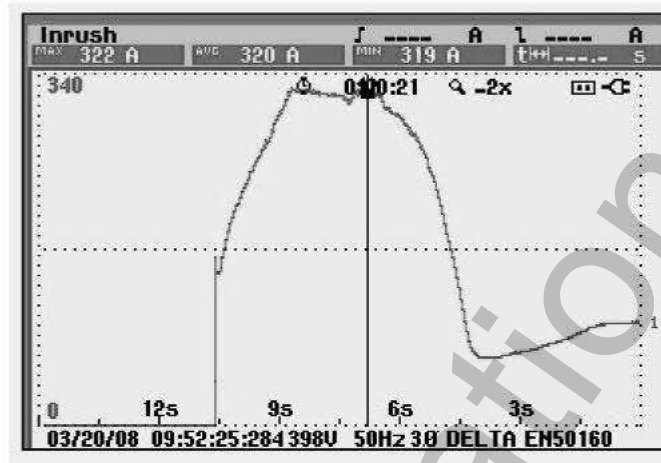
Une deuxième approche réside dans l'analyse du type d'énergie consommée par un moteur asynchrone triphasé. En effet, un tel moteur absorbe de l'énergie active (P en kW) pour produire le travail qui lui est demandé mais également de l'énergie dite « réactive » (Q en kVAR) qui lui permet de générer le champ magnétique dont il a besoin pour fonctionner. Le ratio entre énergie active (en kWh) et énergie réactive (en kVARh) permet de calculer le facteur de puissance (ou cosinus). Le cosinus d'un moteur est compris entre 0 et 1 et pourrait donc être assimilé à un rendement électrique du moteur. Ce paramètre apparaît dans la facturation EDF sous le nom de « tangente », il évolue en sens inverse du cosinus.

Ce rendement (cosinus) varie en fonction de la charge qui est appliquée au moteur. Pour un moteur à vide, le cosinus est proche de 0,2; passe à 0,8 pour un moteur à $\frac{1}{4}$ de charge et atteint 0,90 quand le moteur est à $\frac{4}{4}$ de charge. On en déduit aisément que dans un contexte d'amélioration des rendements globaux de la consommation énergétique on a tout intérêt à ne pas trop sur dimensionner un moteur si l'on souhaite que ce rendement soit maintenu à une valeur maximale.

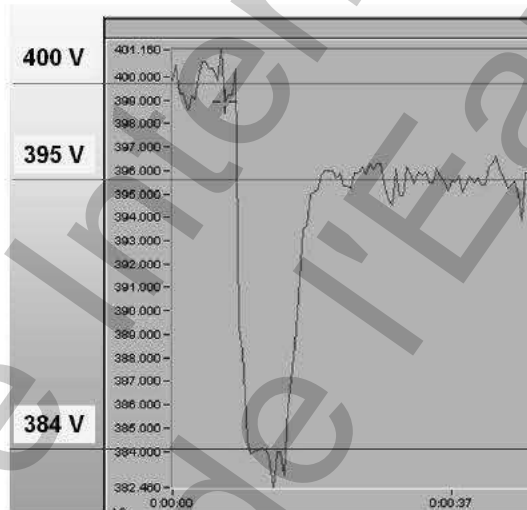
Comme nous venons de l'évoquer, il est important de bien connaître son installation et donc d'être capable d'avoir des indications fiables qui collent à la réalité. Cela peut être réalisé par des mesures réalisées à l'aide d'un energimètre qui permet de mettre en évidence tous les paramètres électriques représentatifs.



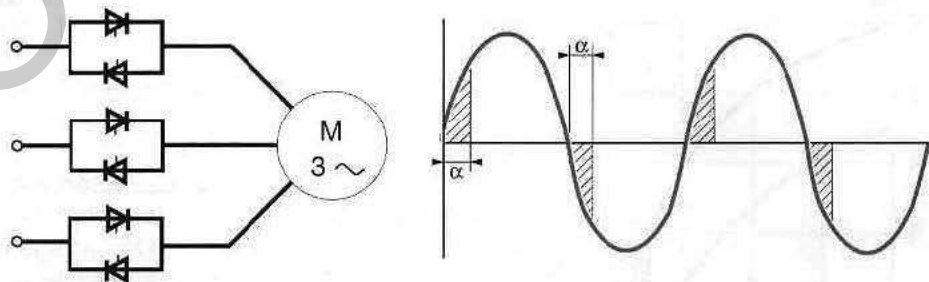
Courant de démarrage d'un moteur de surpresseur d'air 37 kW
équipé d'un démarreur électronique



Chute de tension au démarrage



Synoptique d'un démarreur - ralentisseur progressif



IV. LES SYSTEMES DE DEMARRAGE

Lors de la phase de démarrage d'un groupe de pompage, un appel de courant pouvant atteindre 8 fois le courant nominal du moteur apparait sur l'installation électrique. Cet appel de courant est à l'origine d'une chute de tension sur le réseau. Cette chute de tension est également préjudiciable pour tous les autres récepteurs voisins. On se rappellera que le couple produit par un moteur asynchrone triphasé est proportionnel au carré de la tension et donc qu'une chute de tension de 10% entraîne une baisse de couple d'environ 20%. C'est pour cette raison qu'on contrôle le démarrage des pompes à l'aide de systèmes électromécaniques conventionnels (démarreur étoile-triangle, ou démarreur à résistances statoriques) mais plus fréquemment à l'aide de démarreurs progressifs électroniques.

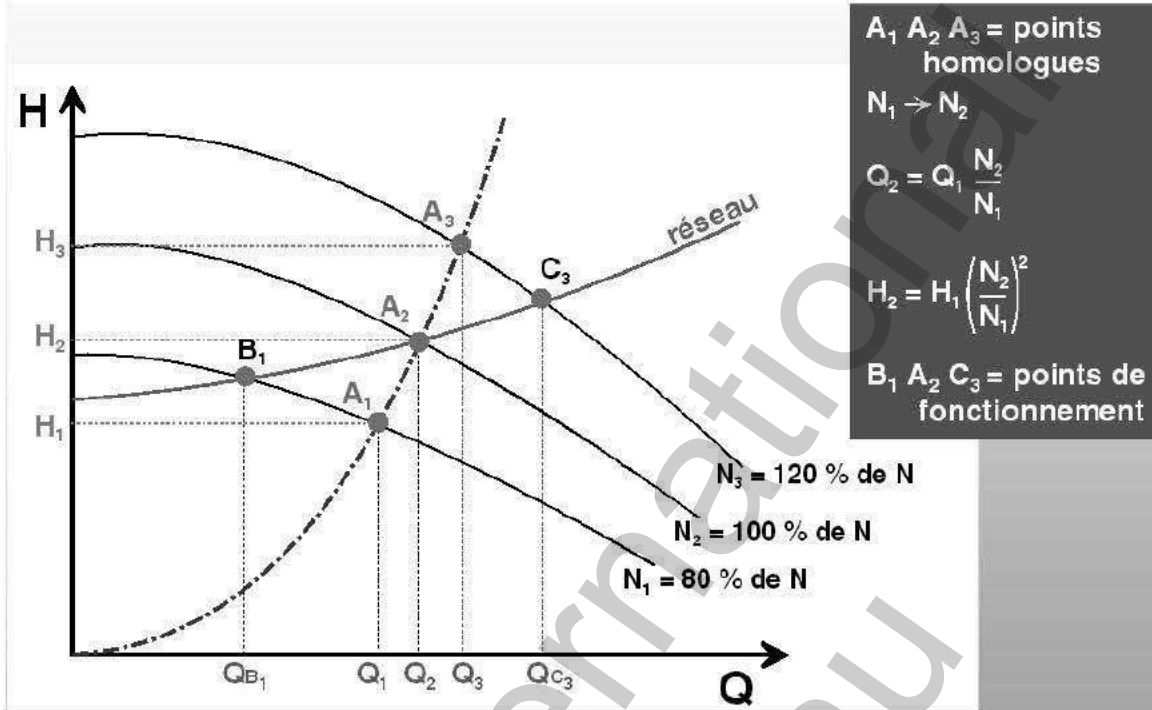
Cette technologie permet de maîtriser efficacement les démarrages en maintenant un bon compromis entre le couple fournis et l'appel de courant pendant la phase de montée en vitesse de la pompe. Comme le couple résistant d'une pompe au démarrage est faible, on arrive à maintenir les courants d'appels entre 3 et 5 fois le courant nominal en fonction de la charge entraînée (démarrage vanne fermée ou démarrage vanne ouverte).

Le démarreur électronique est construit autour d'une électronique de puissance à base de thyristors ou de transistors IGBT et d'une électronique de commande qui assure la protection thermique, magnétique du moteur. Le fait de laisser le démarreur en ligne en fonctionnement normal entraîne une surconsommation due aux seuils de conduction des semi-conducteurs.

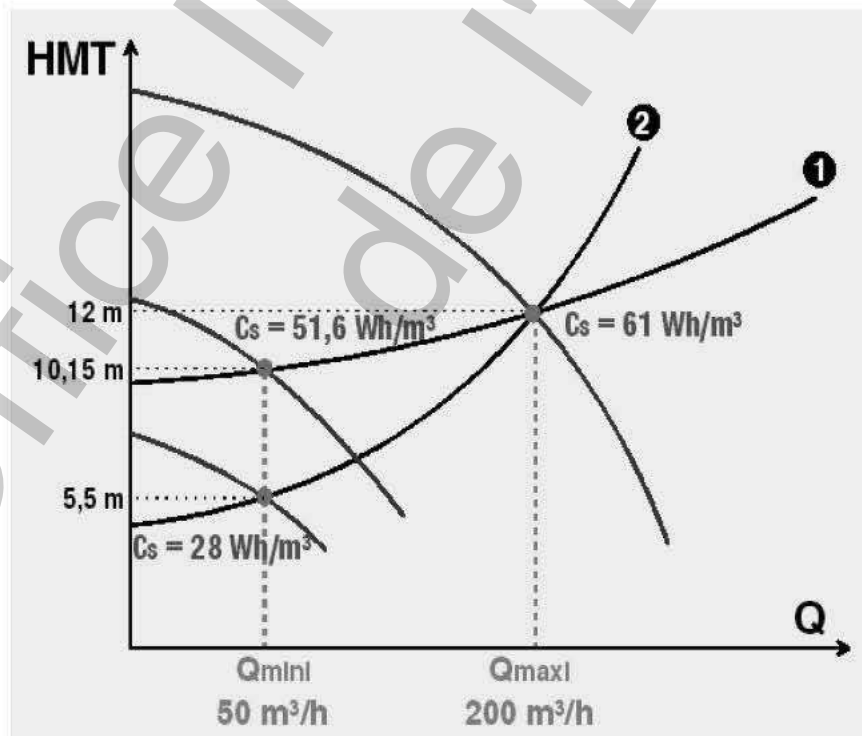
A titre d'exemple, un moteur qui absorbe un courant nominal de 100 A (55kW), voit une dissipation d'énergie sous forme de chaleur dans le démarreur égale d'environ 180 Watts. C'est pour cela que les constructeurs proposent de plus en plus souvent des circuits de court-circuitage de l'étage puissance du démarreur en fin de démarrage.



Variation de vitesse et lois de l'hydraulique



Variation de vitesse et consommation spécifique (C_s)



V. LES VARIATEURS DE VITESSE

La solution traditionnellement retenue pour faire varier le débit d'une pompe est l'installation d'une vanne au refoulement de la pompe. L'inconvénient majeur de cette technique est que l'énergie excédentaire est dissipée en perte de charges quand la vanne se ferme (le point de fonctionnement se déplace sur la courbe de la pompe).

Il existe aujourd'hui une solution bien plus séduisante qui consiste à faire varier la vitesse de la pompe (modification de la courbe pompe) à l'aide d'un convertisseur de fréquence (parfois appelé variateur de vitesse).

En effet la vitesse d'un moteur asynchrone triphasé est directement proportionnelle à la fréquence du réseau électrique qui l'alimente. Il suffit donc de construire un équipement électronique qui génère à partir de la tension réseau 400V sous 50Hz, un réseau dont la fréquence varie entre 0 et 50Hz pour alimenter le moteur asynchrone.

Cette solution technique présente aujourd'hui des avantages indéniables en matière de contrôle automatique du moteur mais aussi en matière de réduction de la consommation d'énergie. Mais attention, on rappellera que les lois de similitudes qui régissent le pompage à vitesse variable ne s'appliquent qu'à des points de fonctionnement présentant des conditions d'écoulement semblables dans la roue de la pompe.

Rappel des lois de similitude :

- le débit est proportionnel à la vitesse de la pompe
- la HMT de la pompe est proportionnelle au carré de la vitesse
- le couple résistant proportionnel au carré de la vitesse
- la puissance absorbée est proportionnelle au cube de la vitesse

Le raccourci qui consisterait à dire que si l'on divise la vitesse par 2 le débit est divisé par 2 et la puissance par 8 n'est vrai que sur des points dits homologues. En effet cette affirmation n'est en général pas vérifiée sur site car on est alors tributaire des conditions de fonctionnement (courbes réseau). On peut dire de manière générale que cela est d'autant plus vrai que le réseau dans lequel débite la pompe présente plus de pertes de charges.

Exemple de l'incidence de la forme de la courbe du réseau :

Courbe 1 :

- Hauteur géo = 10 m
- Diamètre canalisation = 200 mm
- Longueur de la canalisation : 130 m

Courbe 2 :

- Hauteur géo = 5 m
- Diamètre canalisation = 200 mm
- Longueur de la canalisation : 460 m

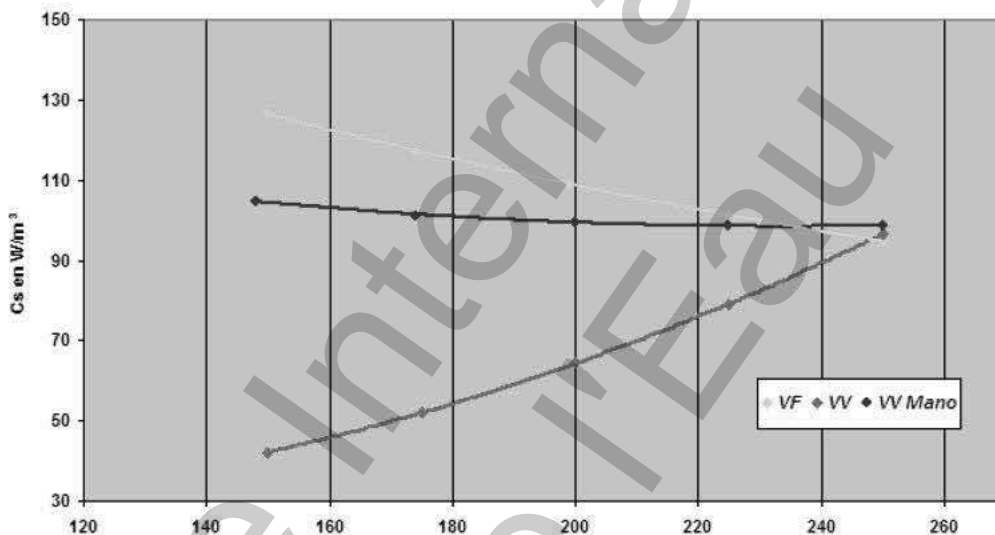
On constate sur cet exemple que la variation de vitesse est plus avantageuse dans le cas de la courbe 2 puisque la consommation spécifique passe de 51 Wh/m³ pour la courbe 1 à 28 Wh/m³ pour une même plage de variation de débit (50 à 200 m³/h)



Résultats obtenus sur un banc de pompage avec les 3 variantes
(Vannage, variation de vitesse, variation et régulation de pression)

Vitesse fixe		Vitesse variable		Vitesse variable régul Mano	
Q	Cs conso spé	Q	Cs conso spé	Q	Cs conso spé
m ³ /h	W/m ³	m ³ /h	W/m ³	m ³ /h	W/m ³
250	94.5	250	96.6	250	98.5
225	101.6	225	79.1	225	98.7
199	109.1	200	64.4	200	99.5
174	116.9	175	52.1	174	101.1
150	126.6	150	42.2	148	104.8

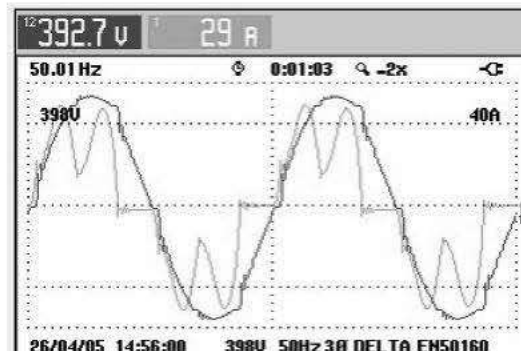
Calcul de la consommation spécifique Cs en W/m³ en fonction du débit



Mesures réalisées avec un energimètre Fluke 434
(Oscillogramme, tableau de distorsion harmonique en tension et en courant)

TABLEAU HARMONIQUES			
Voit	L12	L23	L31
THD% _r	6.2	6.0	6.2
H3% _r	0.2	0.1	0.4
H5% _r	3.8	3.7	3.9
H7% _r	2.5	2.4	2.3
Amp	L1	L2	L3
H3% _r	1.9	2.9	3.0
H5% _r	32.9	31.1	31.6
H7% _r	11.1	11.8	10.9

26/04/05 14:51:28 398V 50Hz 3Ø DELTA EN50160



Les systèmes de pompage qui utilisent la variation de vitesse sont assez fréquemment associés à un dispositif de régulation. Le paramètre régulé dépend de l'application : niveau, pression, débit, ... En adduction d'eau il est fréquent de procéder à une régulation de la pression. On a souvent tendance à comparer un fonctionnement avec vannage à un fonctionnement avec variateur de vitesse (boucle ouverte) alors qu'il serait plus judicieux de s'intéresser à un fonctionnement avec variation et régulation (boucle fermée).

Remarques sur les variateurs de vitesse et la pollution harmonique :

Les variateurs de fréquence utilisent pour produire une tension à fréquence variable un premier étage constitué de redresseurs à base de semi-conducteurs. Ceux-ci constituent pour le réseau électrique une charge non linéaire qui se traduit par l'absorption d'un courant global qui se décompose en un courant sous 50 Hz et des courants harmoniques multiples du 50 Hz (h5, h7, h11, h13).

On peut observer que ces courants harmoniques ne participent en aucune manière à la production d'une puissance exploitable. En effet ils ne produisent que chaleur par effet Joule dans les câbles, transformateurs et autres moteurs non équipés de variateur (équivalent à une chute de rendement des équipements non équipés de variateurs).

La quantité de courants harmoniques est évaluée par un paramètre appelé THD (Taux de distorsion harmonique) qui s'exprime en %. La norme EN50160 limite la distorsion harmonique en tension à une valeur inférieure à 8 %. Cette valeur est maîtrisée si la quantité de courants harmoniques est faible et/ou l'impédance du réseau à cette fréquence faible (loi d'Ohm).

On commence à s'inquiéter des effets des courants harmoniques lorsque la charge représentée par les variateurs dépasse 30 à 40 % de la charge totale sur le transformateur. Les effets produits par les harmoniques sont multiples, on peut citer parmi ceux-ci la dégradation de la qualité de l'énergie sur le réseau amont, les dysfonctionnements des dispositifs à courants faibles, les pertes par effet Joule dans les conducteurs et les transformateurs, les déclenchements intempestifs des disjoncteurs de distribution.

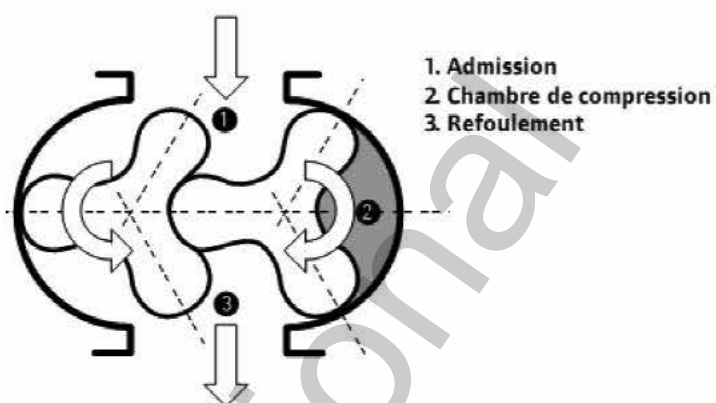
On sera donc attentif lors de la mise en œuvre de variateurs de fréquence de puissance supérieure à 22 kW à l'impact sur la qualité de l'énergie électrique dans l'installation visée. Pour cela des appareils tels que les energimètres permettent de mettre en évidence ces phénomènes.

On peut cependant constater que les nouvelles générations de variateurs de fréquence produisent de moins en moins d'harmoniques grâce aux nombreuses recherches initiées dans ce domaine par les constructeurs de variateurs et que dans le cas d'installation à forte distorsion harmonique on recommande l'utilisation de filtres actifs installés au plus près du transformateur d'alimentation de l'usine.

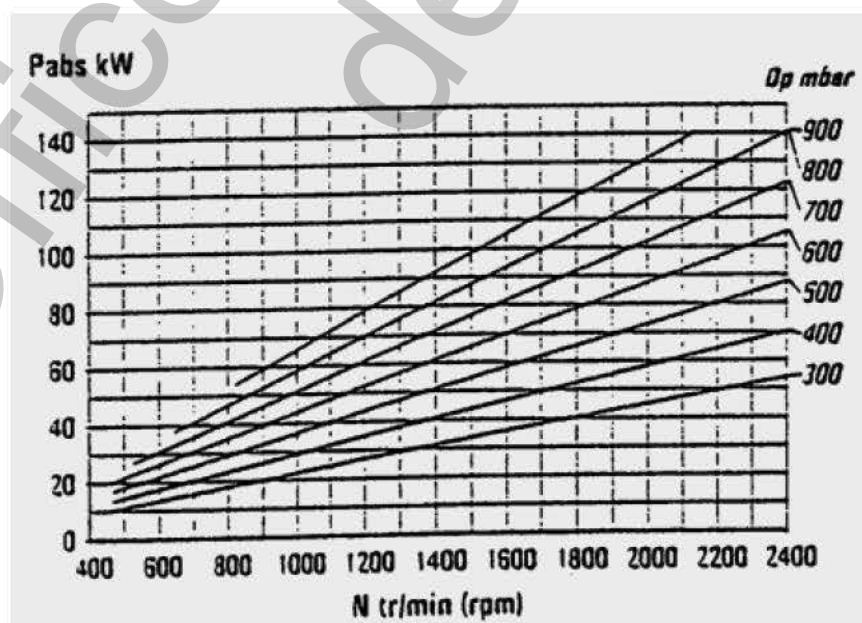
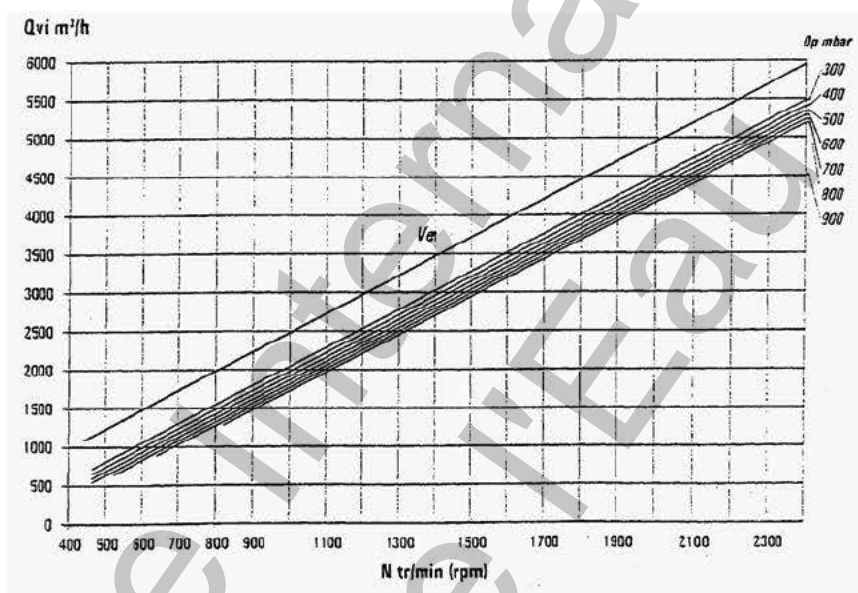
En matière de rendement, on adoptera une valeur indicative de 95 % pour le rendement global d'un variateur de fréquence.



Surpresseur d'air volumétrique type Roots (Hibon)



Exemple de courbes d'un surpresseur d'air volumétrique type Roots en fonction de la vitesse



VI. LES MACHINES DE PRODUCTION D'AIR

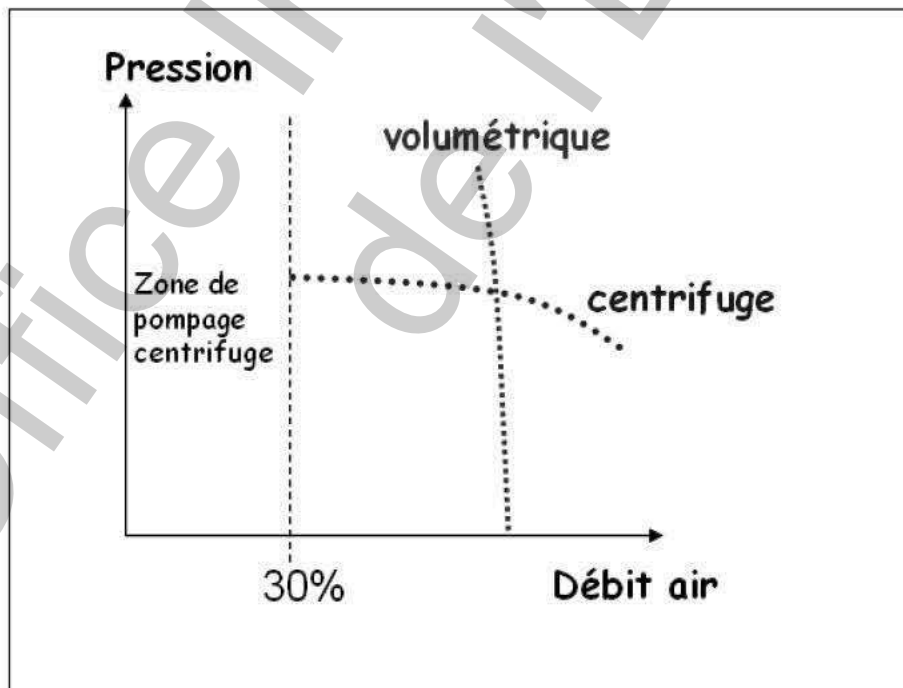
Cas des machines centrifuges :

Ces machines possèdent des caractéristiques assez proches des pompes centrifuges et le raisonnement adopté pour les systèmes de pompage peut s'appliquer. Cependant, la variation de vitesse des machines centrifuges dans le cas de la production d'air est rendue difficile dans la mesure où les courbes sont pratiquement plates. On préfère pour faire varier le débit utiliser un vannage à l'admission d'air.

Cas des machines volumétriques :

L'utilisation d'une machine volumétrique associée à un variateur de vitesse est un problème beaucoup plus simple à résoudre que l'utilisation d'une machine centrifuge. En fait, les courbes nous indiquent que le débit est directement proportionnel à la vitesse. Plusieurs courbes peuvent être données afin d'indiquer la pression de refoulement. L'énergie consommée est donc directement proportionnelle à la quantité d'air produite.

Comparatif entre un surpresseur volumétrique et un surpresseur centrifuge



CHUTE DE TENSION ADMISSIBLE

- **Installation alimentée en BT**
 - Éclairage : $\Delta U/U < 3\%$
 - Autre usage : $\Delta U/U < 5\%$
- **Installation alimentée par un poste HT**
 - Éclairage : $\Delta U/U < 6\%$
 - Autre usage : $\Delta U/U < 8\%$

Variation du facteur de puissance en fonction de la charge du moteur

Charge	0%	50%	75%	100%
Cosinus	0,17	0,73	0,80	0,86
Tangente	5,8	0,94	0,75	0,59

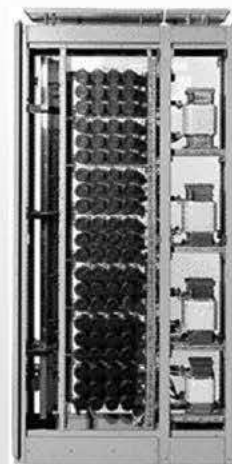
BATTERIES DE CONDENSATEURS



Batterie de condensateurs fixes



Batterie de condensateurs à gradin avec régulateur de charge



Batterie de condensateurs et filtre anti-harmonique

VII. LES CABLES D'ALIMENTATION

Les câbles d'alimentation constituent un élément essentiel de la chaîne de transmission de l'énergie depuis le transformateur jusqu'aux moteurs électriques. Leur dimensionnement correct permet de maintenir des chutes de tension faibles (en général inférieures à 5 %).

Cependant il faut remarquer qu'une chute de tension représente l'équivalent d'une perte de charge en hydraulique et donc au final une perte d'énergie. En effet lorsqu'une chute de tension apparaît dans un câble dans lequel circule un courant, une puissance est dissipée par effet joule et constitue donc de l'énergie perdue.

Exemple de choix de section d'un câble :

Transport d'un courant de 100A pour alimenter un moteur de 55 kW avec un cosinus de 0,8

- choix n°1 : câble d'une section de 16 mm^2 → chute de tension sur 150 m = 15 V soit 2 kW de perte en puissance sous forme de chaleur
- choix n°2: câble d'une section de 25 mm^2 → chute de tension sur 150 m = 11 V soit 1,5 kW de perte en puissance sous forme de chaleur
- soit un gain de 0,5 kW, pour un fonctionnement annuel de 3000 h = 1500 kWh/an

VIII. LES BATTERIES DE CONDENSATEURS

Les batteries de condensateurs sont utilisées pour relever la valeur du cosinus de l'installation et sont installées en général au plus près du transformateur. Elles permettent donc d'augmenter le rendement global de l'installation électrique d'une usine.

Elles fournissent l'énergie réactive dont les moteurs ont besoin. Elles permettent ainsi d'optimiser la puissance fournie par le réseau amont (le transformateur ou le groupe électrogène). Elles sont cependant sensibles à la présence d'harmoniques dus aux variateurs de fréquence et doivent être protégées par des selfs anti-harmoniques.

Elles permettent en outre de respecter l'impératif défini par le fournisseur d'énergie qui est de faire payer des pénalités lorsque le cosinus de l'installation est inférieur à 0,93.

On peut remarquer par ailleurs, que l'utilisation de variateurs de fréquence permet à lui seul d'augmenter de manière significative le cosinus de l'installation. En effet, de manière théorique et si l'on fait abstraction de la présence de courants harmoniques le cosinus présenté par un variateur de fréquence est très proche de 1. Lorsque le taux d'harmoniques est élevé le cosinus diminue mais reste toujours meilleur que pour une installation dépourvue de variateurs de vitesse.



Caractéristiques électriques des transformateurs HT/BT

Pu en kVA	50	100	250	400	630
Pertes à vide W	190	320	650	930	1300
Pertes dues à la charge	1100	1750	3250	4600	6500
I à vide en %	2,9	2,5	2,1	1,9	1,8
U court circuit %	4	4	4	4	4
Chute de tension à 100% de charge	3,77	3,57	3,33	3,25	3,17
Rendement à 100 %	96,9	97,5	98	98,3	98,5

Dimensionnement d'un transformateur et calcul des harmoniques présents
Logiciel Drive Size (ABB)

Network Check - [ACS800-01-0070-3]

Network and Transformer data

Primary voltage [V] Secondary voltage [V] 400
 Frequency [Hz]
 Network Sk [MVA] unknown
 Transformer Sn [kVA]
 Transformer Pk kw
 Transformer Zk [%]
 Supply cable type Cable Busbar
 Cable quantity Cable impedance [uOhm]
 Cable length [m]

Supply unit data

Lac [uH]
 Cdc [mF]
 Pdc [kW]

Result

Cos φ1 **0,98**
 Tot. power factor **0,90**
 Udc [V] **522,4**

Harmonics

THD	Current	Voltage	n	f [Hz]	Current [A]	In/I1	Voltage [V]	Un/U1	IEEE Current
IEC Result	44.5 %	2.4 %	1	50	89.7	100.0 %	398.3	100.0 %	
IEEE Calc			2	100	0.1	0.1 %	0.0	0.0 %	
IEEE Limit			3	150	0.1	0.1 %	0.0	0.0 %	
			4	200	0.1	0.1 %	0.0	0.0 %	
			5	250	35.2	39.3 %	6.7	1.7 %	
			6	300	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	
			7	350	15.8	17.6 %	4.1	1.0 %	
			8	400	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	
			9	450	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	
			10	500	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	
			11	550	7.5	8.4 %	3.1	0.8 %	
			12	600	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	
			13	650	4.8	5.3 %	2.3	0.6 %	
			14	700	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	
			15	750	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	
			16	800	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	
			17	850	3.6	4.0 %	2.4	0.6 %	

Data

Primary side
 Secondary side

Show Mode

Table
 Graph



IX. LE TRANSFORMATEUR HAUTE TENSION – BASSE TENSION

Le transformateur HT/BT permet d'abaisser la tension du réseau de 20 Kv à 400 V et constitue ainsi l'élément de raccordement au réseau de distribution d'énergie.

Sa capacité à alimenter des consommateurs d'énergie s'exprime en kVA. Cette unité représente la puissance totale équivalente à une puissance active et à une puissance réactive appelées. La puissance en kVA du transformateur doit être d'autant plus élevée que le cosinus de l'installation est faible (rendement électrique). L'optimisation de la taille du transformateur passe donc par la maîtrise d'un cosinus aussi proche de 1 que possible.

Mais le transformateur constitue également un composant qui présente un rendement électrique comme tout autre équipement électrique.

Le rendement du transformateur dépend de sa charge exprimée en %. Plus sa charge est élevée meilleur sera le rendement. Ce raisonnement nous conduirait donc à optimiser une installation en adaptant au mieux la puissance du transformateur aux besoins des moteurs.

On prendra garde cependant à ce qu'un tel raisonnement n'aille pas dans le sens de la diminution de la pollution harmonique qui demande une impédance de réseau faible et donc un transformateur plutôt surdimensionné ou du moins pas trop chargé. On voit donc par là que tout est affaire de compromis entre présence ou non de variateurs de fréquence et obtention d'un rendement élevé. Remarquons simplement que la variation de rendement en fonction de la charge n'est pas très importante, le rendement du transformateur passe d'une valeur proche de 95 % à pleine charge pour chuter à 90 % à $\frac{1}{2}$ charge.

X. CONCLUSION

L'optimisation d'un système de pompage passe par la maîtrise d'un nombre d'éléments important. C'est chaque étape qui doit retenir notre attention et chaque pourcent gagné permet d'améliorer le rendement général. En effet, on se rappellera que le rendement global d'une installation est égal au produit des rendements de tous les éléments entrant dans la chaîne de consommation d'énergie.

On peut constater que chaque élément pris séparément (la pompe, le moteur, le variateur) a fait l'objet de toutes les attentions des constructeurs qui n'ont cessé de rechercher à augmenter le rendement de leur produit. Il s'agit donc maintenant d'adapter au mieux ces équipements pour qu'ils répondent au plus juste au cahier des charges des applications gérées. Les choix et décisions doivent être pris en connaissance de cause et avec toute la rigueur nécessaire qui s'impose lorsqu'on souhaite atteindre des objectifs ambitieux de réduction des consommations énergétiques.





CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES DES STATIONS D'ÉPURATION FRANÇAISES

État des lieux et recommandations

Assainissement

Janvier 2018

1. UNE ETUDE IRSTEA POUR ETABLIR UN ETAT DES LIEUX

Une étude menée par Irstea de 2013 à 2016 et cofinancée par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse a permis de quantifier et d'évaluer les consommations énergétiques des cinq principales filières de traitement des eaux usées en France : boues activées (BA), réacteurs biologiques séquentiels (SBR), bioréacteurs à membranes (BRM), biofiltres (BF) et lits fluidisés sur support (MBBR).

Trois objectifs étaient recherchés :

- ① Dresser un état des lieux des consommations spécifiques actuelles (valeurs moyennes et dispersion)
- ② Etudier les principaux facteurs de variation qui expliquent les consommations observées
- ③ Elaborer une démarche pour identifier les actions d'optimisation éventuelles.

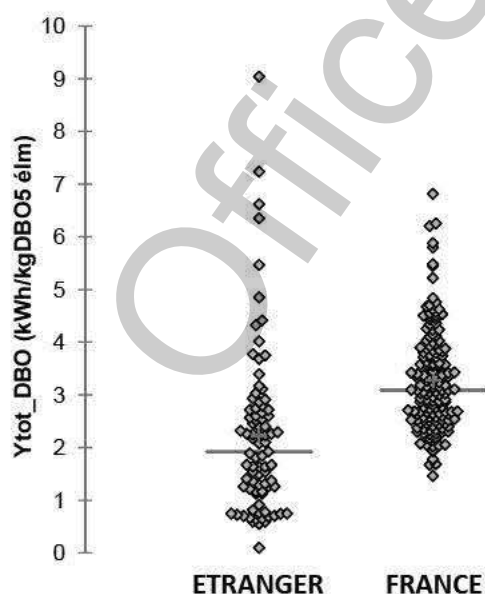
2. DES STATIONS GLOBALEMENT ENERGIVORES PAR RAPPORT AUX STATIONS ETRANGERES

Deux bases de données ont été constituées :

- une base de données des consommations énergétiques de 310 stations d'épuration françaises (description ci-contre)
- une base de données des consommations énergétiques de 1000 installations étrangères (données issues de la bibliographie uniquement pour les procédés BA, BRM et SBR).

Une base de données des stations françaises considérable :

- 310 installations
- 5 procédés ciblés
- Des stations > 2000 EH
- Des stations conformes à la réglementation
- Une cinquantaine de variables pour expliciter la conception et le fonctionnement des stations retenues



Comparaison des stations françaises et étrangères : Exemple du procédé BA

L'analyse statistique de ces deux bases permet de montrer que la France se différencie du contexte international par des consommations d'énergie spécifiques significativement supérieures. Par exemple pour le procédé BA, comme le montre la figure ci-contre, la moyenne étrangère s'élève à 2.2 kWh/kgDBO₅ éliminée soit 30% inférieure à la moyenne française.

Cet écart pourrait s'expliquer par :

- des stations étrangères globalement plus chargées ;
- des niveaux de traitement globalement supérieurs en France ;
- une prise en compte plus importante à l'étranger des performances énergétiques des stations.

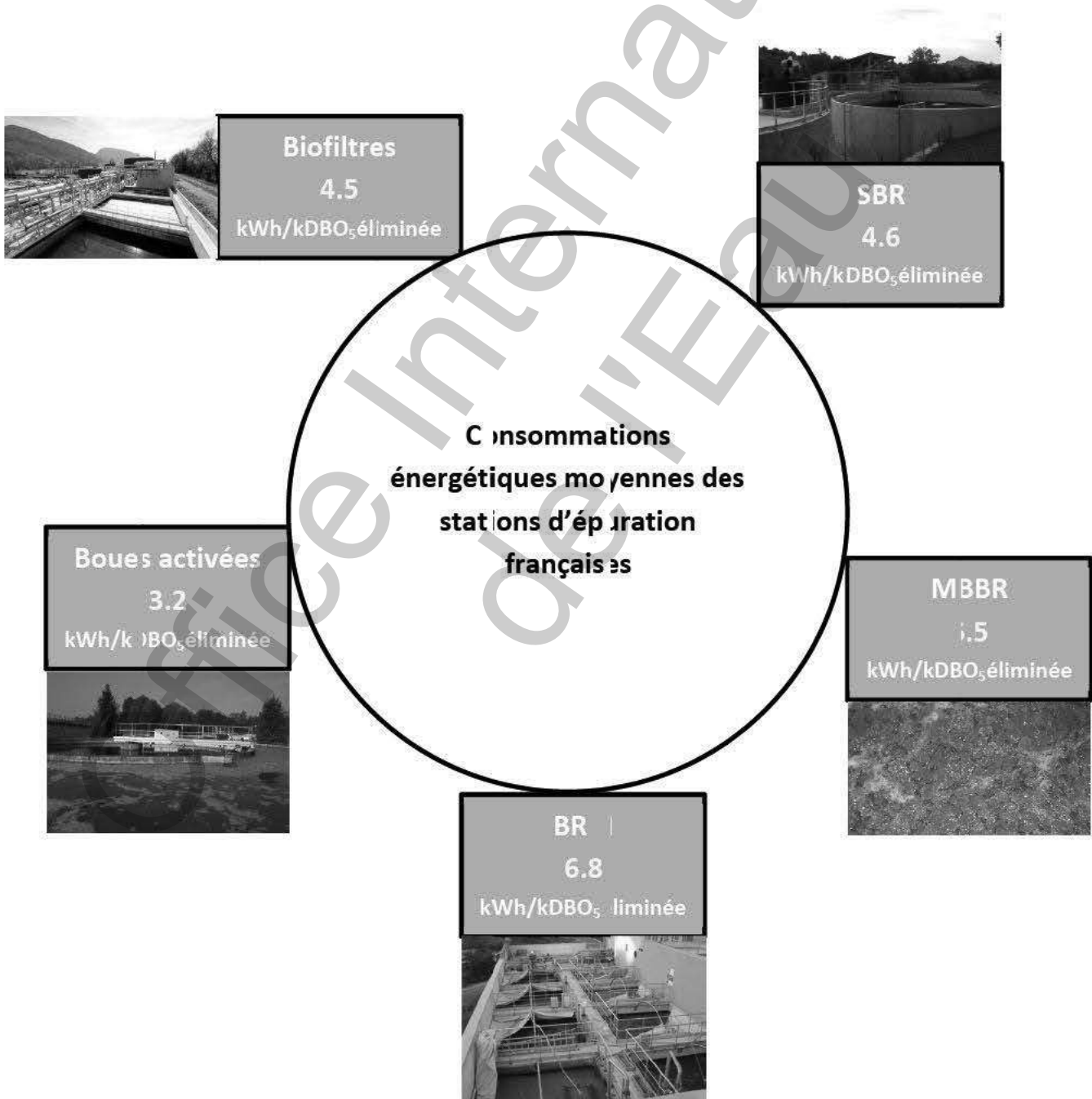
En revanche, on peut supposer une sur-représentation des stations économes en énergie dans l'échantillon étranger du fait de l'utilisation de données bibliographiques.

3. CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES DU PARC FRANÇAIS

Les consommations moyennes par procédé sont reportées sur le schéma ci-dessous.

Ces valeurs peuvent servir de référence du parc français pour un procédé dans son ensemble, toutefois la variabilité peut être importante. Par exemple, les stations équipées d'un procédé BA consomment en moyenne 3.2 kWh/kgDBO₅éliminée (minimum : 1.5 et maximum : 6.8). Attention donc à ne pas utiliser ces valeurs pour un site précis. L'utilisation des modèles développés et présentés dans la suite du document sera à privilégier.

Des tests statistiques plus poussés mettent en évidence les facteurs de variations prépondérants de ces consommations. Par ordre d'importance on peut citer (pour le procédé BA) : le taux de charge, la concentration en DBO₅, le rapport C/N, la présence d'un sécheur.



4. DES DEMARCHES D'OPTIMISATIONS ENERGETIQUES A INITIER

Toute installation peut *a priori* être optimisée d'un point de vue de la consommation énergétique, avec un gain variable d'un site à l'autre. L'étude propose une méthodologie d'audit énergétique et met à disposition des outils pour mener à bien cette démarche.

① La collecte de données

Une chronique a minima annuelle :

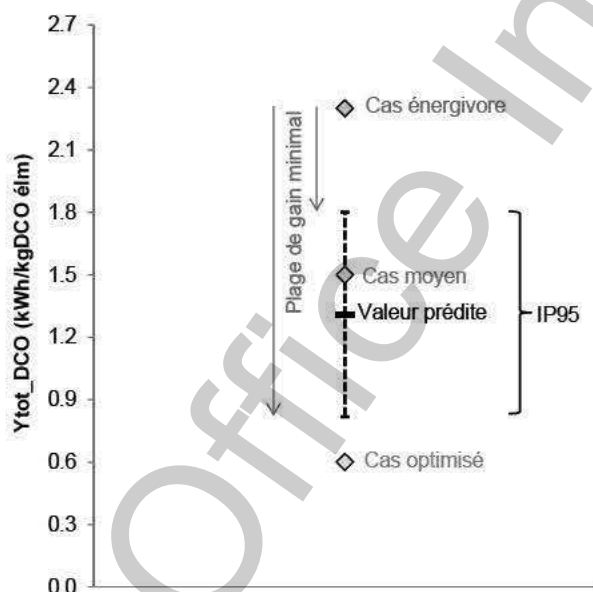
- les paramètres de fonctionnement : débits traités, autosurveillance (entrée/sortie), extraction et siccité des boues
- les factures énergie : électricité, gaz, fuel...

Une liste précise des équipements installés qui indique :

- les puissances installées
- les temps de marche.

② Evaluer les marges de progrès

Des modèles de consommations énergétiques ont été développés pour les procédés BA, BRM et BF. Ces équations permettent d'estimer les consommations spécifiques globales d'une station d'épuration à partir des caractéristiques de conception et de fonctionnement les plus déterminantes (entre 2 et 8 variables selon les modèles).



La valeur prédite par ces équations correspond à une consommation énergétique moyenne de l'échantillon français étudié. Cette valeur est associée à un intervalle de prédiction (IP95) qui exprime l'incertitude. (Figure ci-contre)

La position de la consommation moyenne annuelle réellement observée par rapport à cet intervalle (figure ci-contre) permet de déterminer si la station étudiée est (i) normale par rapport au parc actuel, ce qui n'exclut pas une optimisation ; (ii) énergivore, et d'estimer un gain potentiel minimal ; ou (iii) déjà optimisée, au moins sur certains postes par rapport au parc français.

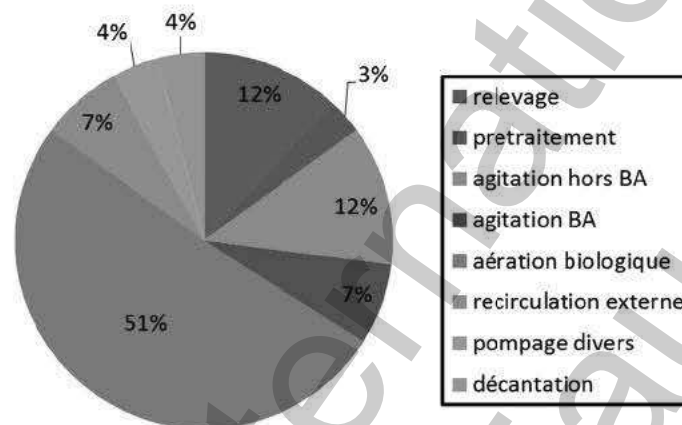
Irstea se tient à disposition des collectivités souhaitant évaluer la consommation énergétique de leur station d'épuration. Il peut être contacté par mail à l'adresse citée en fin de ce document. Les modèles sont mis à disposition sous forme d'application web. Ils sont accessibles au lien suivant : <https://energie-step.irstea.fr>

③ Identification des gains potentiels

L'identification des gains potentiels passe par une décomposition des consommations énergétiques par poste.

Cette étape requiert une importante quantité de données au pas de temps journalier et sa mise en œuvre est lourde et non standardisable. Elle consiste à répartir tous les équipements de la station en poste et à calculer les consommations énergétiques de chaque équipement.

Des consommations spécifiques par poste peuvent alors être calculées (kWh/kgDBO₅ éliminée, kWh/tMSséchée...) et comparées aux valeurs de la littérature. Ceci permet d'établir une liste d'actions d'optimisation énergétique.



Exemple de décomposition par poste de la file d'un procédé BA

Calcul de la consommation des moteurs

L'énergie consommée par les moteurs est estimée par le produit de la puissance qu'ils absorbent et de leur temps de marche ($P_a \times TD$). La difficulté majeure est de déterminer la puissance absorbée dans les conditions réelles de fonctionnement, notamment pour les moteurs équipés de variateurs de fréquence.

La puissance absorbée en conditions réelles ($P_a(r)$) dépend de la fréquence d'alimentation et du taux de charge du moteur. Elle peut être déterminée par différentes approches avec des incertitudes croissantes :

- La mesure sur site au niveau du moteur dans des conditions représentatives de fonctionnement.
- La valeur prévue par le fournisseur dans les conditions réelles : elle peut figurer dans les documentations techniques accompagnant les offres du fournisseur dans le cadre du marché. Elle correspond toutefois aux conditions de fonctionnement nominales.
- Une estimation en fonctionnement de la puissance absorbée nominale ($P_a(n)$). Une relation linéaire existe entre les deux. En première approche, on considère que $P_a(r) = 0.7 \times P_a(n)$. $P_a(n)$ peut être obtenue par calcul en utilisant la puissance utile indiquée sur les plaques moteur.

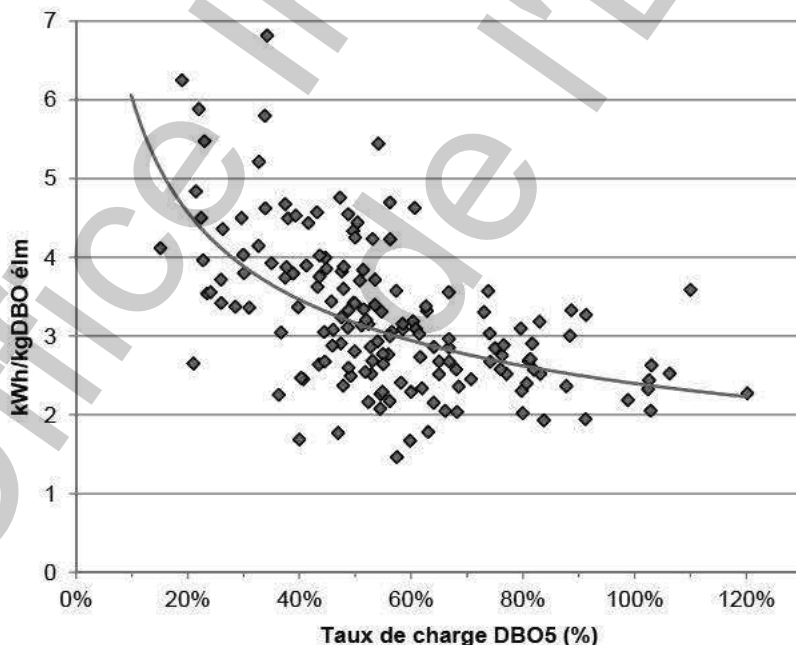
5. RECOMMANDATIONS

① Évaluer la performance des stations d'épuration en incluant la consommation énergétique

La performance énergétique d'une station devrait faire partie des critères de jugement des performances de la station. Pour cela, il convient de mieux connaître les consommations y compris par (sous)poste. Un système de suivi de la consommation globale et par poste doit donc être prévu dès la conception, accompagné d'indicateurs d'alerte au niveau de la supervision. Ce suivi servira de base à une optimisation énergétique, par exemple en favorisant les équipements les moins énergivores.

② Lutter contre le surdimensionnement

Quel que soit le procédé, le premier facteur explicatif de la dispersion des consommations énergétiques est le taux de charge organique comme illustré sur la figure ci-dessous. Le surdimensionnement des équipements et des ouvrages a donc des conséquences importantes sur les consommations énergétiques. Une construction des stations par tranches, telle qu'elle est déjà pratiquée dans d'autres pays, permettrait d'adapter la capacité disponible aux évolutions de la charge entrante, et ainsi de maintenir un taux de charge plus élevé et plus stable. Le dimensionnement des ouvrages peut s'étudier par étapes, avec une appréciation la plus réaliste possible de l'évolution des différents rejets de la collectivité.



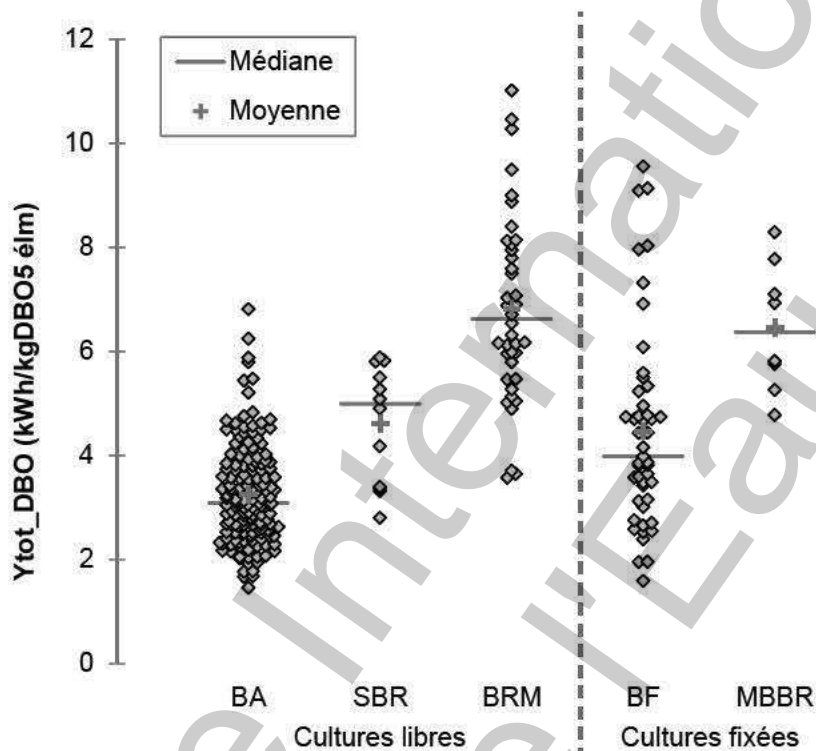
Lutter contre les eaux claires parasites

La dilution des eaux usées entraîne un surdimensionnement des ouvrages de pompage et d'aération (brassage). Favoriser les réseaux d'assainissement séparatifs et lutter contre les eaux claires parasites permet donc de limiter les consommations énergétiques des stations d'épuration.

③ Choix des procédés et des équipements

Le choix du procédé influence grandement les consommations énergétiques tel que le montre la figure ci-dessous.

Les technologies innovantes (SBR, BRM, MBBR), dont l'étude a montré qu'elles sont plus énergivores, ne devraient être envisagées que si que les technologies traditionnelles (BA ou BF) ne peuvent pas répondre à l'ensemble des contraintes imposées.



Implantation des Bioréacteurs à membranes (BRM)

L'étude montre que les BRM présentent un des ratios les plus élevés en termes de consommation énergétique. Cela s'explique à la fois par la jeunesse de la technologie et par des facteurs inhérents au procédé lui-même.

Le choix d'un BRM devrait être justifié par un contexte particulier combinant au minimum une exigence de traitement poussé (haute qualité physico-chimique et microbiologique, réutilisation de l'eau traitée) et une exigence de compacité (contraintes foncières ou paysagères).

CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES DES STATIONS D'ÉPURATION FRANÇAISES

État des lieux et recommandations

Ce document valorise une étude menée par Irstea qui vise à mieux connaître les consommations énergétiques des stations d'épuration françaises. Mieux connaître l'énergie dépensée, c'est aussi mieux connaître les marges de progrès qui permettent d'initier des démarches d'économie.

L'agence milite en faveur de procédés d'assainissement plus sobres limitant ainsi notre empreinte sur le changement climatique.

Le rapport complet de l'étude est téléchargeable sur la page web consacrée aux projets menés par Irstea relatifs à l'énergie (<https://energie-step.irstea.fr>).



Contacts :

Irstea
energie_steps@irstea.fr

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Céline Lagarrigue
celine.lagarrigue@eaurmc.fr



Agence de l'eau
Rhône Méditerranée Corse
2 - 4 allée de Lodz
69363 LYON CEDEX 07
Tél. 04 72 71 26 00
www.eaurmc.fr



OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Développer les compétences pour mieux gérer l'eau

LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS



Ce document est la propriété du Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Il ne peut être reproduit même partiellement sans autorisation écrite.
Office International de l'Eau

DFE/CNFME/WT1/LOGIST/UTILISAT/NJ/EPEDA/GO/SOMMAIRE EDF.DOC/97/05/02



MAINTENANCE - OUTILS ET MÉTHODES

Qu'en pense le dictionnaire ?



▪ Maintenance

Ensemble des opérations permettant de maintenir ou de rétablir un matériel, un appareil, un véhicule, etc., dans un état donné, ou de lui restituer des caractéristiques de fonctionnement spécifiées.

[...]

(Dictionnaire Larousse)

Maintenir : conserver un matériel ou une installation dans un état de fonctionnement spécifié.



Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. (NF EN 13306)

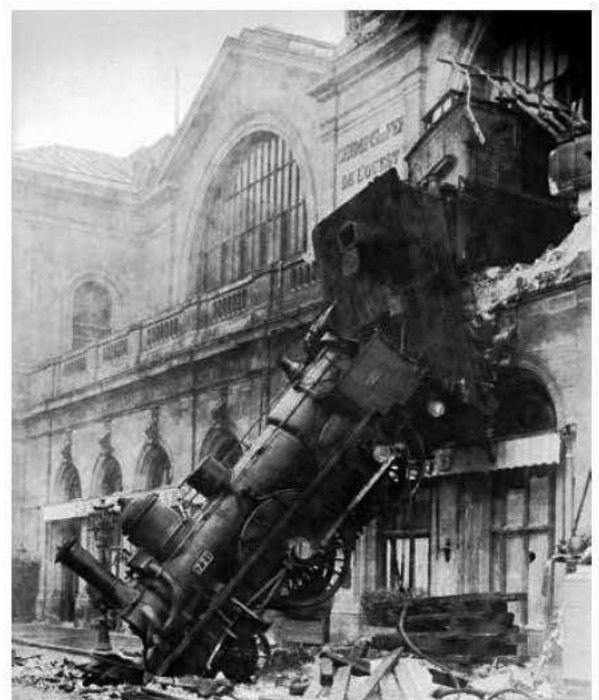
Pour "accomplir la fonction requise" il faut éviter les DÉFAILLANCES.

Défaillance = ?

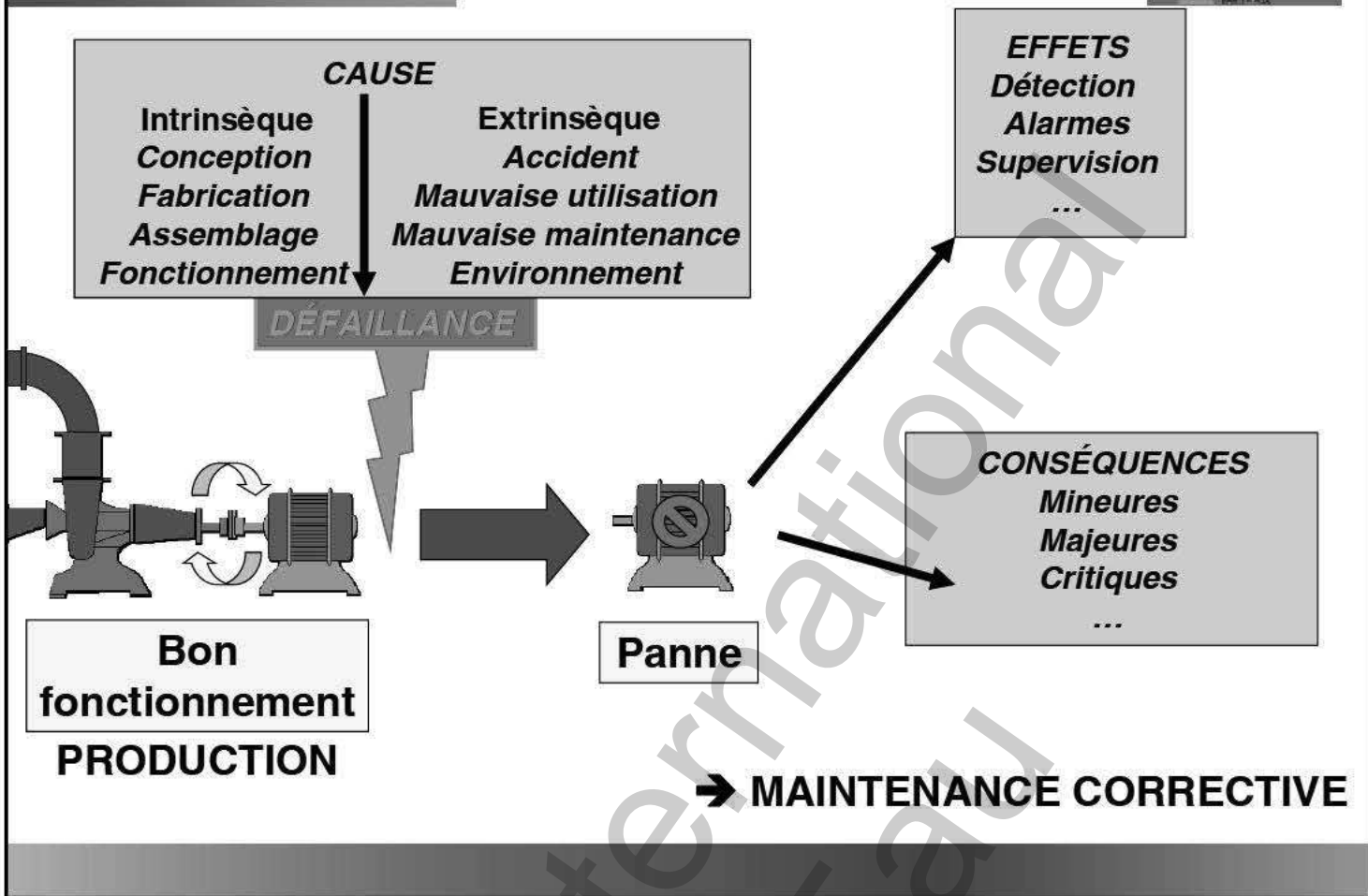
Cessation de l'aptitude à accomplir une fonction requise

Référentiel DUNOD – Pratique de la maintenance industrielle

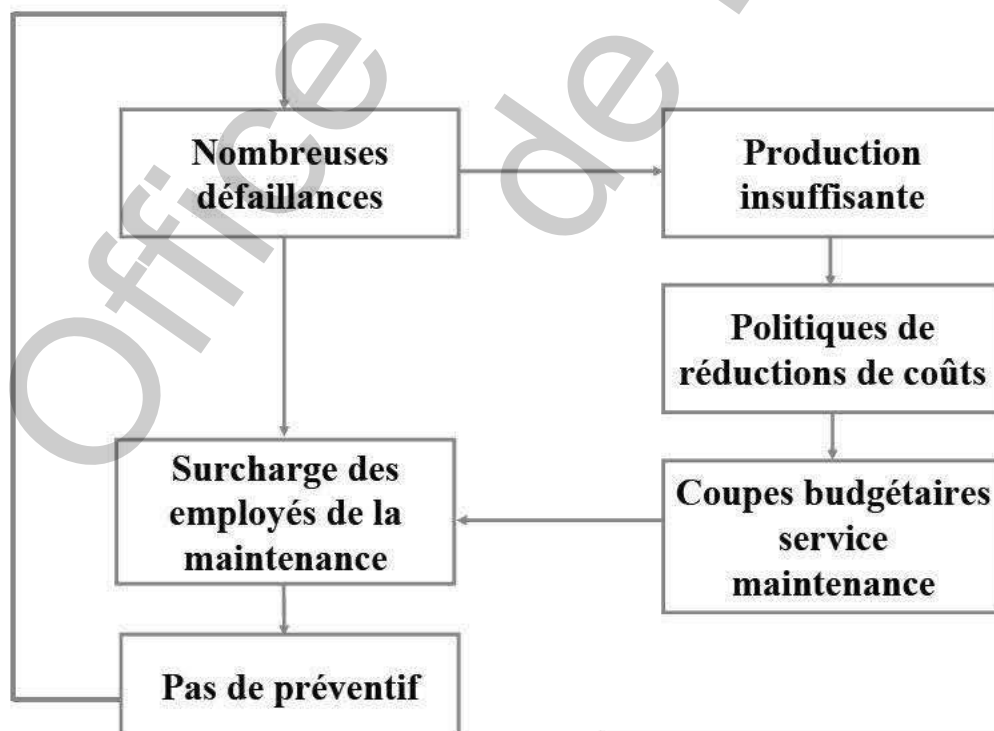
A la suite d'une défaillance (qui est un événement), l'équipement est dans un état de panne, partielle ou totale.



Défaillance = ?



Cercle vicieux...



(Y. PIMOR-1991)

Importance des relations entre exploitation et maintenance

→ Maintenance corrective :

Les opérations de maintenance sont réalisées après la défaillance, lorsque le matériel est en panne.

→ Maintenance préventive :

Les opérations de maintenance sont réalisées avant les défaillances

Maintenance corrective

= réparation

Ce type de maintenance est employé après une défaillance pour ramener l'équipement dans un état de fonctionnement convenable

- **Maintenance Palliative** : l'équipement peut être utilisé pour assurer temporairement la fonction requise (partiellement ou non).

Ex : le disjoncteur magnéto-thermique d'un moteur se déclenche régulièrement, provoquant l'arrêt d'un agitateur. Il est possible d'augmenter le réglage du courant de déclenchement du disjoncteur. Cela ne résout pas le problème mais permet la remise en route temporaire de l'installation.

- **Maintenance Curative** : l'équipement est totalement réparé et peut accomplir ses tâches usuelles.

Ex : la cause de la disjonction est trouvée et éliminée, l'installation est réparée.

- **Maintenance Acceptée** : les défaillances sont tolérées et l'on attend la panne.

Ex : une ampoule électrique est changée (et non réparée), une fois usée.

Ce type de maintenance est employé pour conserver un équipement en fonctionnement correct, afin d'améliorer sa durée de vie.

- **Maintenance Conditionnelle** : maintenance basée sur la surveillance d'indicateurs caractéristiques du fonctionnement et du vieillissement de la machine.

Ex : mesure d'isolement entre enroulements et terre d'un moteur de surpresseur. Si la valeur chute en dessous d'un seuil, une opération de maintenance conséquente sera nécessaire (étuvage, rebobinage...)

- **Maintenance Systématique** : maintenance basée sur une planification des opérations, périodiquement ou relativement à un nombre d'unités d'usage (nombre de km, de m³ passés...)

Ce type de maintenance peut être mené avec ou sans inspection préalable.

Ex : calibration d'une sonde pH d'un analyseur en ligne toutes les deux semaines.

Ce type de maintenance est employé pour conserver un équipement en fonctionnement correct, afin d'améliorer sa durée de vie.

- **Maintenance Prévisionnelle (ou Prédictive)** - "la bonne information au bon moment": maintenance basée sur la surveillance continue de divers indicateurs caractéristiques du fonctionnement et du vieillissement de la machine.

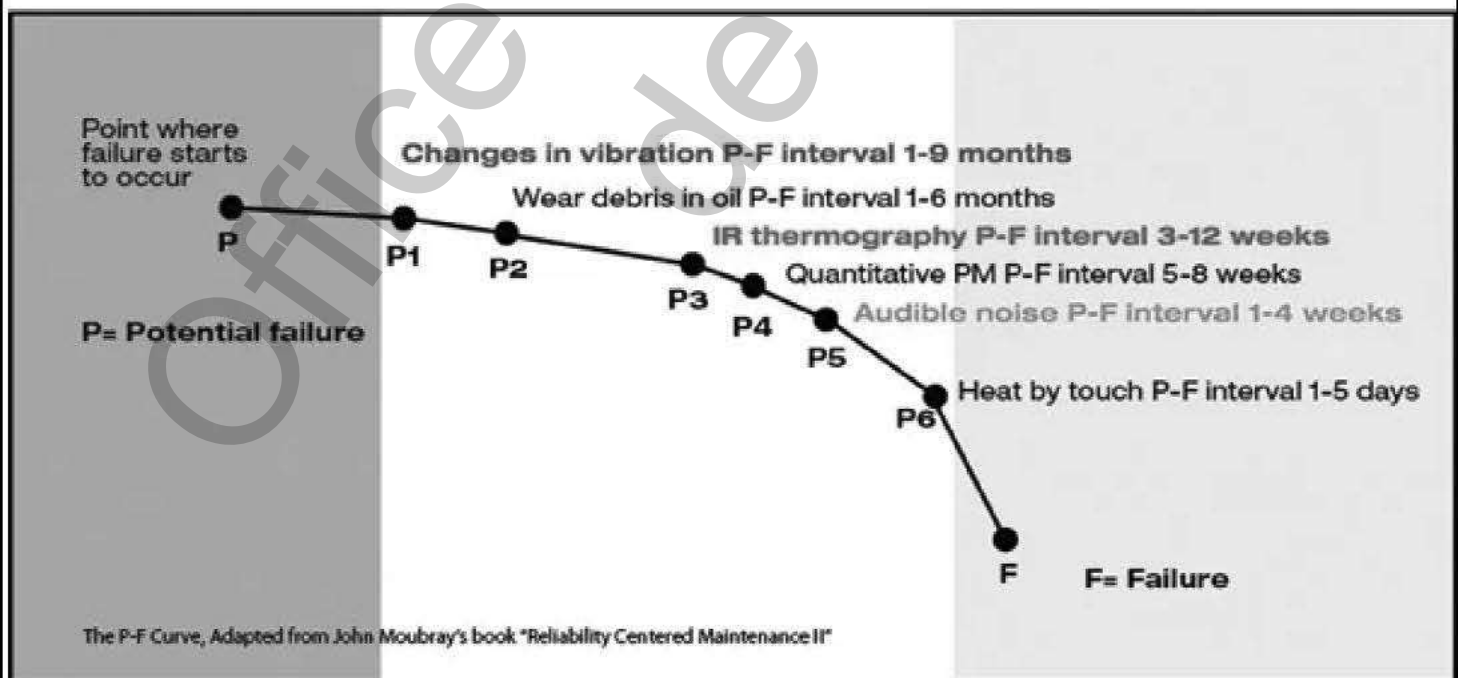
Si les mesures s'écartent trop des valeurs prévues par une modélisation du système, une opération de maintenance sera nécessaire.

Les opérations sont réalisées seulement lorsqu'elles se justifient.

Ex : mesure en ligne de la pression différentielle entre amont et aval d'un filtre. Si la valeur s'écarte des valeurs prévues par la modélisation du système, un lavage du filtre est nécessaire.

- retarder l'usure des équipements
- respecter les objectifs de production : qualité, quantité, coûts...
- minimiser et optimiser les arrêts de production
- gérer et limiter les risques : fiabilité, maintenabilité, sûreté, environnement...
- réagir avant d'atteindre des coûts d'indisponibilité importants
- identifier les équipements critiques
- réaliser les opérations de maintenance dans de bonnes conditions
- contrôler les stocks : pièces détachées, consommables...
- améliorer la gestion du planning des opérateurs maintenance
- mettre en avant la fonction maintenance et améliorer la sensibilisation des employés à ces activités
- ...

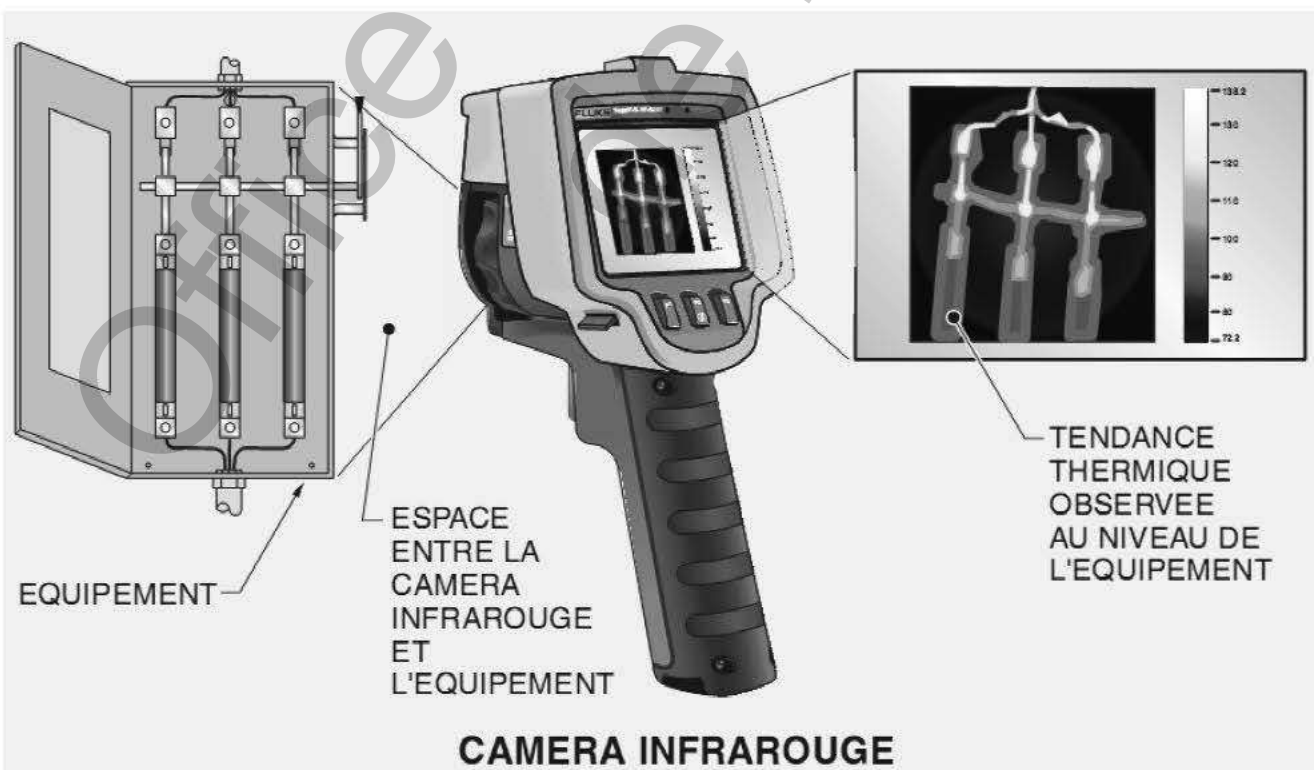
Maintenance préventive : la courbe P-F



- **Utilisation des sens** : ouïe, vue, odorat, toucher.
- **Observation de l'état de surface non visible** : endoscopie, ...
- **Tests de structure** : ressuage, ultrasons, courants de Foucault, ...
- **Monitoring des caractéristiques** : corrosion, étanchéité, caractéristiques électriques, ...
- **Thermographie infrarouge** : pour appareils électriques, roulements, isolements, réseaux de vapeur...
- **Analyse de fluides** : viscosité, variations de débit, de pression, rigidité diélectrique, gaz dissous...
- **Analyse vibratoire** : alignements, frictions, roulements, ...
- **Mesures sonores** : détection de fuites, étude de la diffusion sonore, ...
- ...



Thermographie infrarouge



Document Fluke

Analyse vibratoire

■ Mesure Globale :

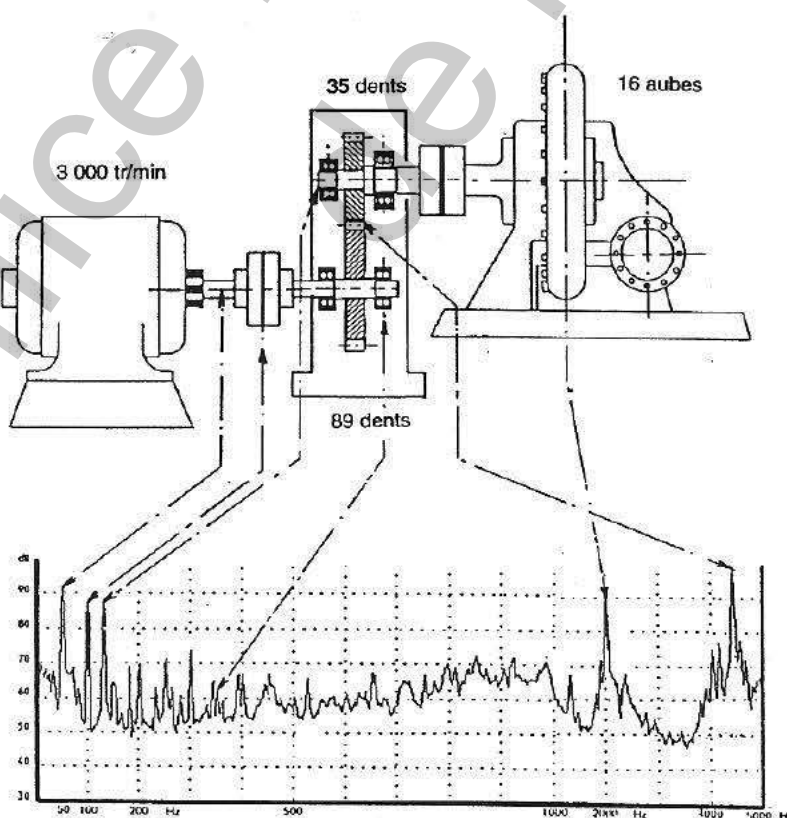
- Mesures ponctuelles simples réalisées à l'aide d'un crayon vibratoire
- Mesure accessible à du personnel de maintenance

■ Mesure Spectrale :

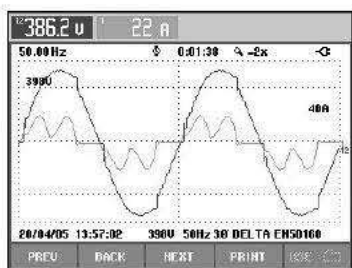
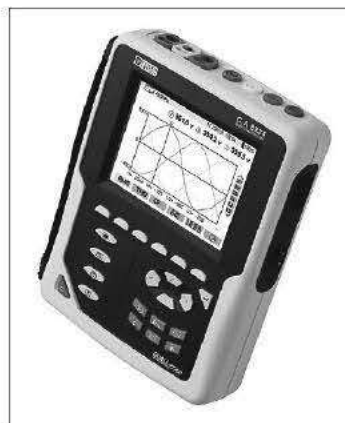
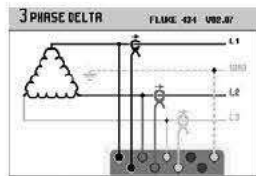
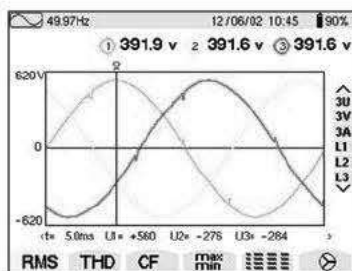
- Analyse de la réponse vibratoire d'une machine et du spectre de vibration
- Mesure d'interprétation complexe réservée à des experts



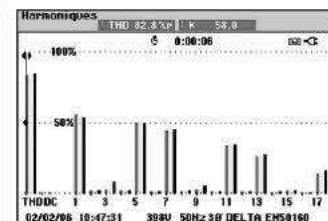
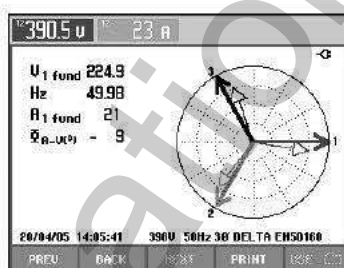
Analyse spectrale et signature vibratoire



Analyse d'énergie



	1	2	3
W	+20.52	+21.23	+20.68
Wh	0000000	0000000	0000000
KVAR	10.35	9.46	9.36
VAR	0000000	0000000	0000000
KVA	23.00	23.25	22.73
VAh	0000000	0000000	0000000



Oscillogrammes

Mesures de caractéristiques (puissances...)

Déphasage

Harmoniques



Endoscopie



- Visualisation d'états internes de machines : roues de pompes, engrenages, canalisations, turbines, etc.
- Pas ou peu de démontage nécessaire
- Simple d'utilisation
- Nécessite la présence de petits orifices (quelques mm) permettant de passer la tige d'inspection



Wöhler

- *Cas de l'huile ou de la graisse utilisée comme lubrifiant (roulements...) :*
 - *Estimation précoce de l'usure des éléments de guidage*
 - *Contraignant pour les équipements de petite taille*
 - *Tous les roulements n'ont pas d'huile...*

- *Cas de l'huile utilisée comme diélectrique (transformateurs...) :*
 - *Mesure de l'efficacité de l'isolement*
 - *Détection des traces des stress subis par le transformateur*
 - *Estimation de l'état d'usure de l'équipement*

Niveaux de maintenance (NFX 60000)

NIVEAU 1

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien.

Ce type d'action peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation ou de maintenance.

Actions	Intervenants	Documentation associée	Moyens logistiques
<ul style="list-style-type: none"> — Contrôles et inspections simples. — Opérations élémentaires de maintenance sans démontage. — Manoeuvre manuelle d'actionneurs. 	Personnel ayant une formation minimale : <ul style="list-style-type: none"> — utilisateur du bien ; — agent de maintenance. 	<ul style="list-style-type: none"> — Instruction de maintenance. — Procédures qualité. 	Équipements de soutien intégrés au bien.

NIVEAU 2

Actions qui nécessitent des instructions simples et/ou des équipements de soutien simples d'utilisation ou de mise en oeuvre simple.

Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié et/ou habilité, avec les instructions détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance.

Niv.	Actions	Intervenants	Documentation associée	Moyens logistiques
2	<ul style="list-style-type: none"> — Contrôle de paramètres à l'aide de moyens de mesure intégrés au bien. — Remplacement de pièces d'usure ou défectueuses sur des ensembles simples et accessibles par échange standard. — Maintenance corrective dont la cause première apparait évidente. — Manoeuvre d'organes de coupure. 	Personnel ayant une qualification en maintenance et les habilitations requises.	<ul style="list-style-type: none"> — Instructions de maintenance détaillées. 	<ul style="list-style-type: none"> — Outils individuels de dotation : <ul style="list-style-type: none"> — tournevis ; — clés mixtes ; — clés 6 pans creux ; — clés six pans ; — ... — Outils portatifs à main et d'utilisation simple.

NIVEAU 3

Actions qui nécessitent des instructions complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en oeuvre complexes.

Ce type d'action de maintenance est effectué par un technicien qualifié et/ou habilité, à l'aide d'instructions détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance.

Niv.	Actions	Intervenants	Documentation associée	Moyens logistiques
3	<ul style="list-style-type: none"> — Intervention de maintenance nécessitant une mise en sécurité particulière du bien. — Maintenance complexe demandant de la rigueur et de l'organisation. — Maintenance corrective nécessitant une méthodologie structurée de diagnostic. 	Technicien de Maintenance ayant les qualifications et les habilitations requises.	<ul style="list-style-type: none"> — Instructions de maintenance complexes. 	<ul style="list-style-type: none"> — Équipements de soutien portatifs spécifiques : <ul style="list-style-type: none"> — multimètre ; — équipement de thermographie ; — analyseur à ultrasons ; — clé dynamométrique ; — interface automate ; — ...

NIVEAU 4

Actions dont les instructions impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en oeuvre d'équipements de soutien spécialisés.

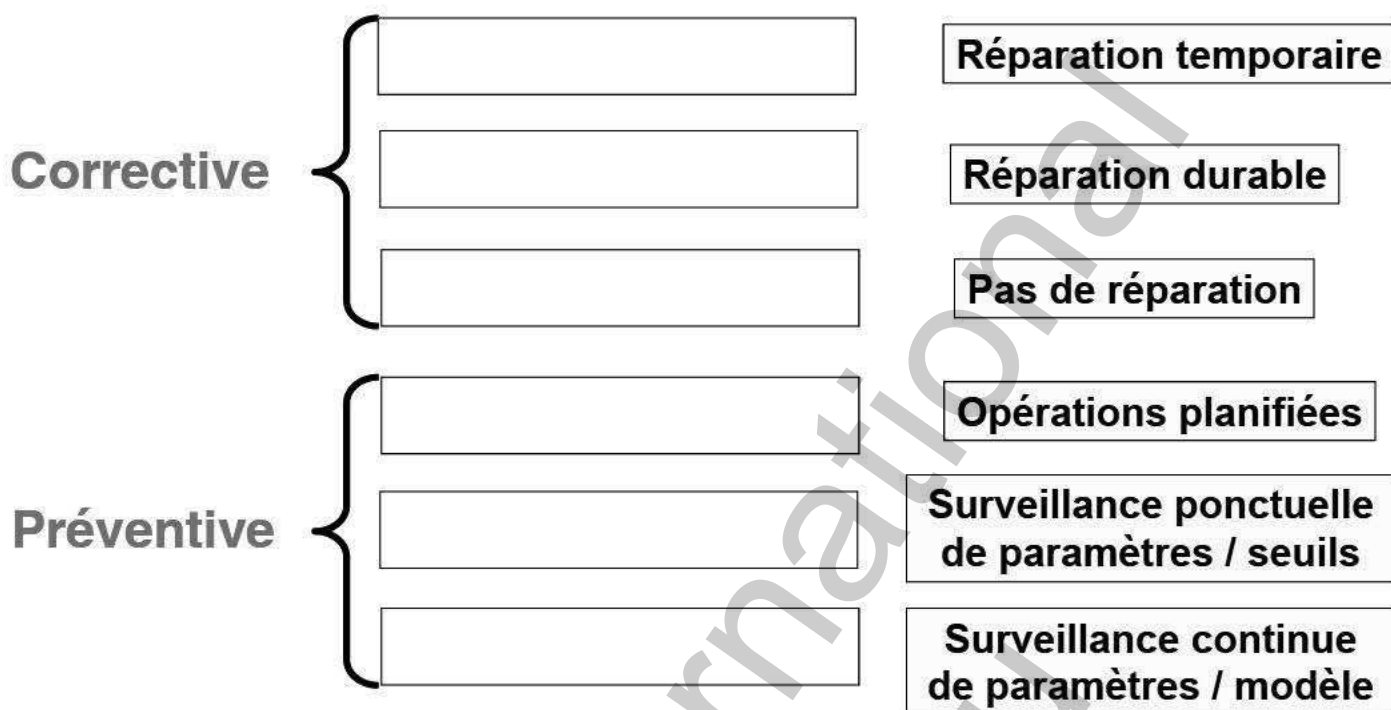
Ce type d'action de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée et/ou habilité à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.

Niv.	Actions	Intervenants	Documentation associée	Moyens logistiques
4	<ul style="list-style-type: none"> — Maintenance qui fait appel à une maîtrise de techniques spécialisées. 	<ul style="list-style-type: none"> — Techniciens spécialisés maîtrisant une technologie particulière. — Expert en maintenance dans une technologie. 	<ul style="list-style-type: none"> — Instructions de maintenance particulières. 	<ul style="list-style-type: none"> — Équipement de soutien complexe : <ul style="list-style-type: none"> — analyseur vibratoire ; — analyseur d'huile ; — ...

NIVEAU 5

Actions dont les instructions impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels.

Niv.	Actions	Intervenants	Documentation associée	Moyens logistiques
5	<ul style="list-style-type: none"> — Maintenance qui implique un savoir-faire détenu par le constructeur. — Rénovation, reconstruction. — Gros travaux d'amélioration. 	<ul style="list-style-type: none"> — Constructeur du bien. — Sociétés spécialisées. 	<ul style="list-style-type: none"> — Documentations spécifiques (constructeur). 	<ul style="list-style-type: none"> — Équipements de soutien industriels définis par le constructeur proche de la fabrication du bien.



Office International de l'Eau