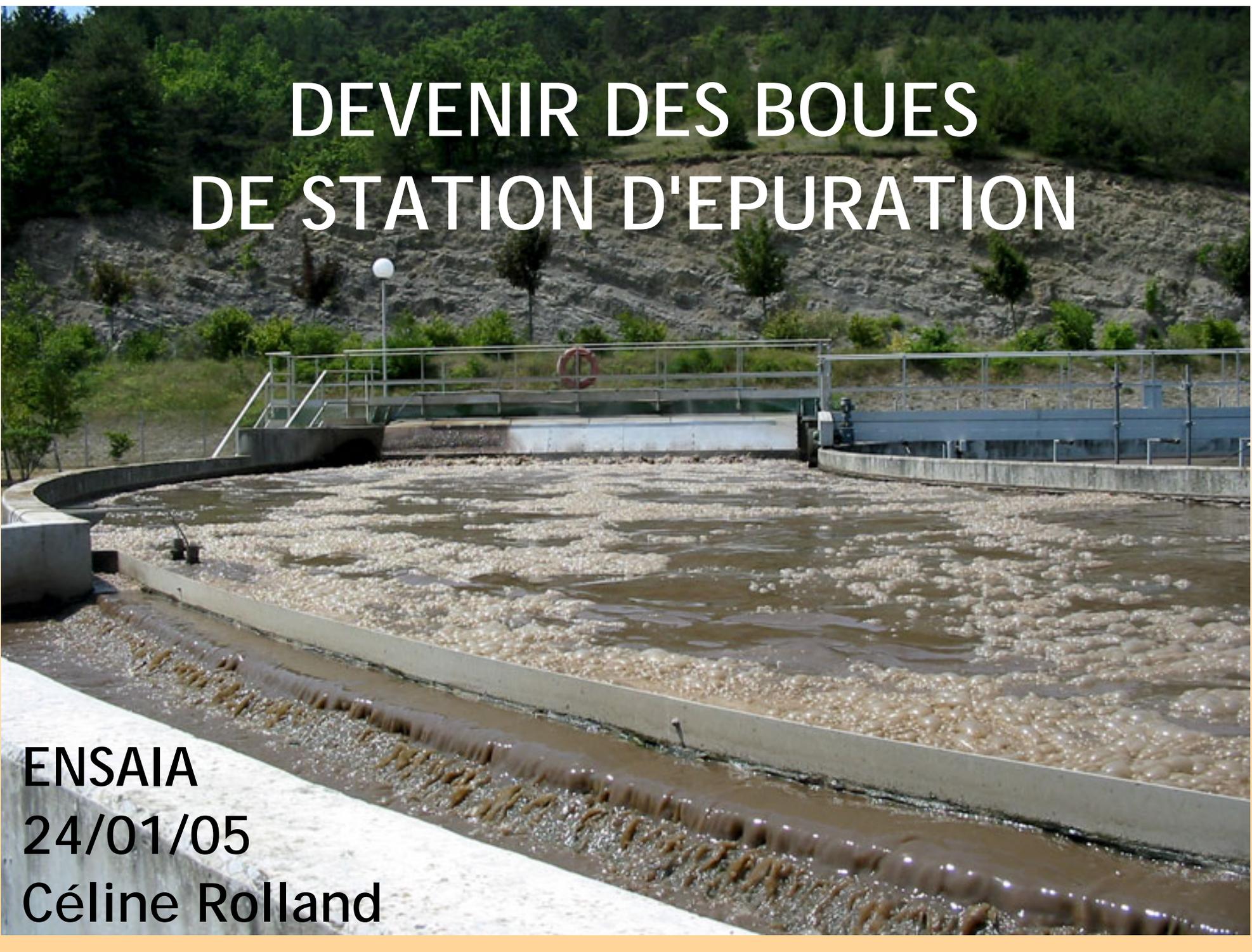


# DEVENIR DES BOUES DE STATION D'EPURATION



**ENSAIA**

**24/01/05**

**Céline Rolland**

# 1. Production et caractéristiques des boues

1.1 Définition du déchet « Boues »

1.2 Typologie des boues

# 2. Traitements des boues de station d'épuration

2.1 Traitements de stabilisation

2.2 Valorisation agricole et énergétique

2.3 D'autres solutions ?

## 3. Éléments de comparaisons énergétique et économique

3.1 Epandage

3.2 Incinération

## 4. Problématiques sociologique et environnementale

4.1 Le statut de déchet

4.2 Épandage, micropolluants et risque pathogène

4.3 Incinération, gestion des sous-produits et qualité de l'air

4.4 Comparaison des situations européennes

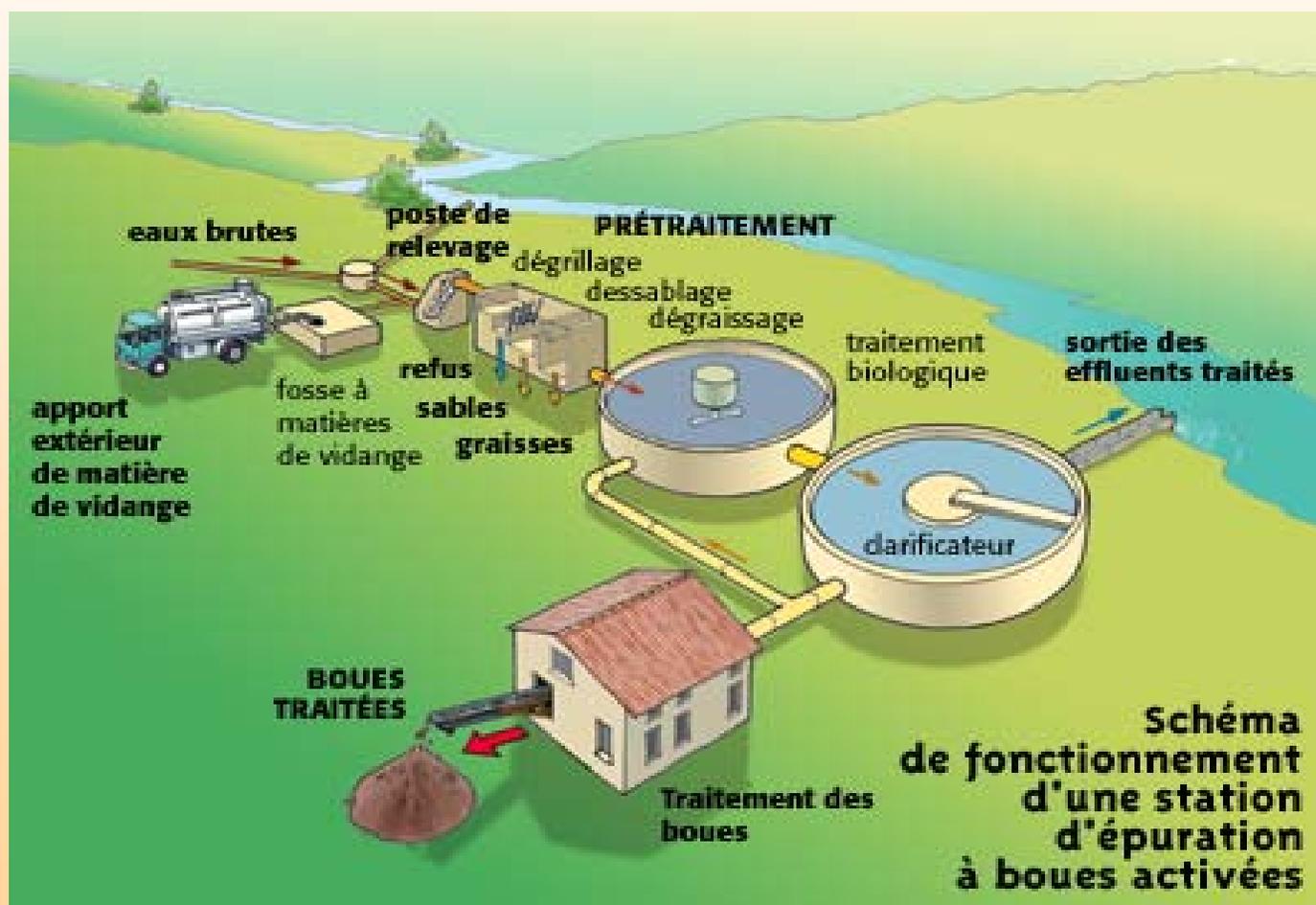
# 1. Production et caractéristiques des boues

1.1 Définition du déchet « Boues »

1.2 Typologie

# 1. Production et caractéristiques des boues

## Fonctionnement d'une station d'épuration (STEP)



# 1.1 Définition du déchet « Boues »

- Au sens de la loi de 1975, la définition d'un déchet est :  
*"tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon"*.
- Particularités des boues
  - Ni liquides, ni solides
  - Instables
- Provenance

# Classification des boues

- Selon la nomenclature des déchets, les boues issues du traitement des eaux usées peuvent appartenir à 3 catégories :

Provenance	Catégorie de déchets	Contraintes
STEP des collectivités locales	Déchets des collectivités locales	Grande quantité, qualité à peu près constante
STEP des industries ex: IAA, papeteries	Déchets Industriels Banals (DIB)	Qualité et quantité variables Pas de propriétés dangereuses
STEP des industries ex : pétrochimie, hôpitaux, usines d'incinération	Déchets Industriels Spéciaux (DIS)	Propriétés dangereuses (explosibles, comburantes, cancérigènes, toxiques, infectieuses, ...) Soumis à l'émission d'un bordereau de suivi des déchets

## 1.2 Typologie des boues

Extême diversité de boues

Répartition en 3 grande catégories:

- Les boues de traitement primaires
- Les boues de traitement physico-chimique
- Les boues de traitement biologique

# Composition moyenne d'une boue urbaine

Une boue est composée d'eau à hauteur de 95 à 99%.

La matière sèche contient, par litre d'eau usée:

- 70 à 90g de Matières en suspension (MES)
- 60 à 70g de Matières organiques (DBO5, DCO)
- 15 à 17g de Matières azotées (N-NH<sub>4</sub>, N-NTK, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>)
- 4g de Phosphores (P)
- Des microorganismes, des micro-polluants, des métaux (Zn, Pb et Fe pour l'essentiel),...

## Caractérisation chimique

- Teneur en matière sèche (MS), en matières volatiles (MV), en matières minérales (MM)
- Composition élémentaire
- **Siccité** (en %): quantité (en poids) de matières sèches contenue dans un poids total de boues.
- Phase liquide : nature de l'eau, pH, salinité, teneur en acides volatils, DBO5, DCO, sulfures

## Caractérisation physique

- liquidité, plasticité, friabilité, adhérence, ...

## 2. Traitements des boues de station d'épuration

### 2.1 Traitements de stabilisation

- a) Épaississement et concentration
- b) Stabilisation
- c) Conditionnement
- d) Déshydratation

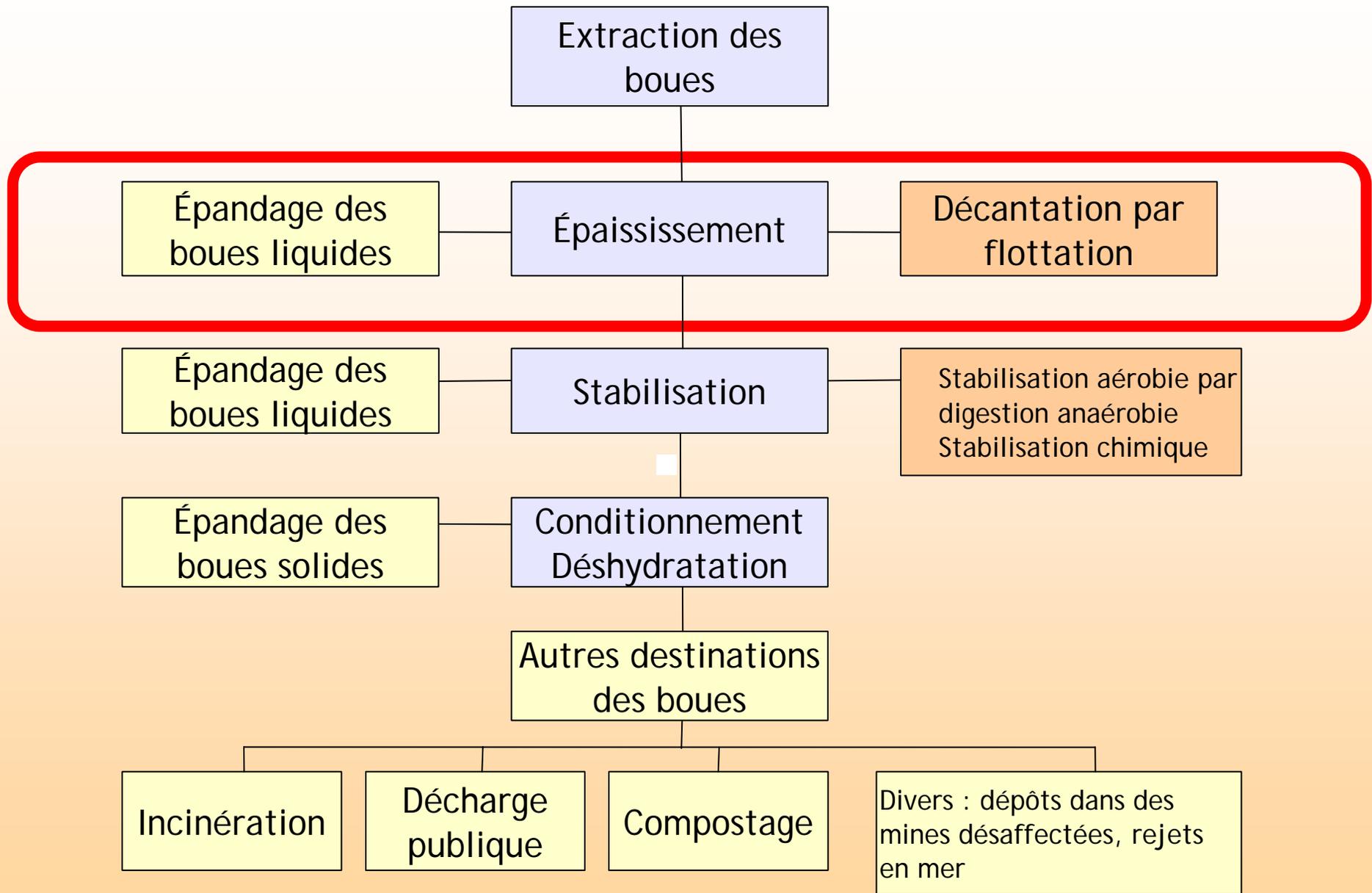
### 2.2 Valorisations agricole et énergétique

- a) Épandage
- b) Incinération

### 2.3 D'autres solutions ?

## 2. Traitements des boues de station d'épuration

- 2 objectifs principaux :
  - réduction du pouvoir fermentescible afin de limiter les nuisances olfactives
  - réduction du volume des boues afin de diminuer les coûts



## a) Épaississement

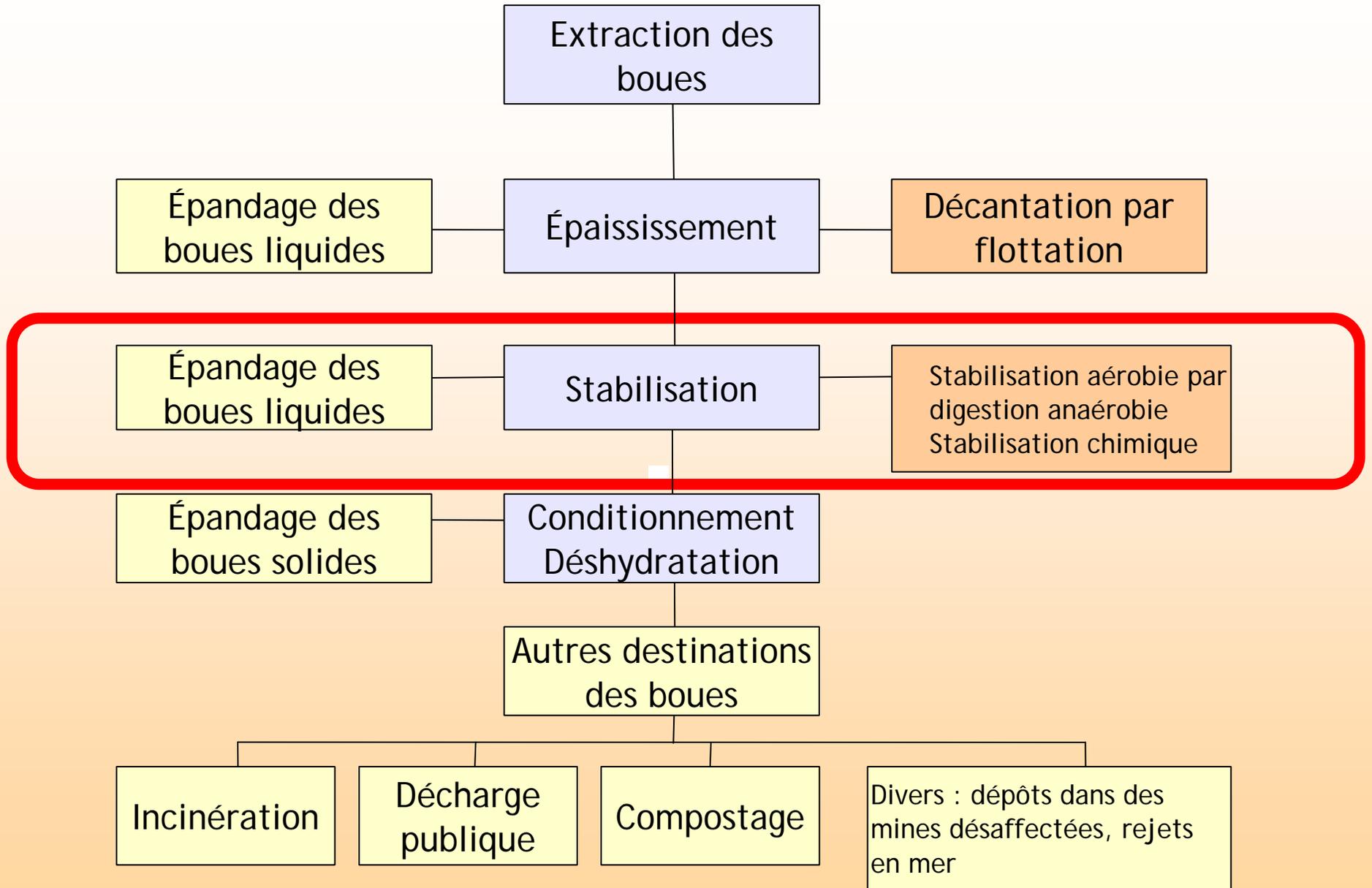
- But : augmenter la teneur en matière sèche (caractère liquide).



(moyens mécaniques  
(centrifugation))

(2000 EH pour les  
1000 et 5000 EH pour  
les)

NB : EH = Equivalent - Habitant



## b) Stabilisation

- Objectif : réduction de la teneur en matières fermentescibles
- Voies aérobie, anaérobie, chimique ou thermique

# La stabilisation ou digestion aérobie

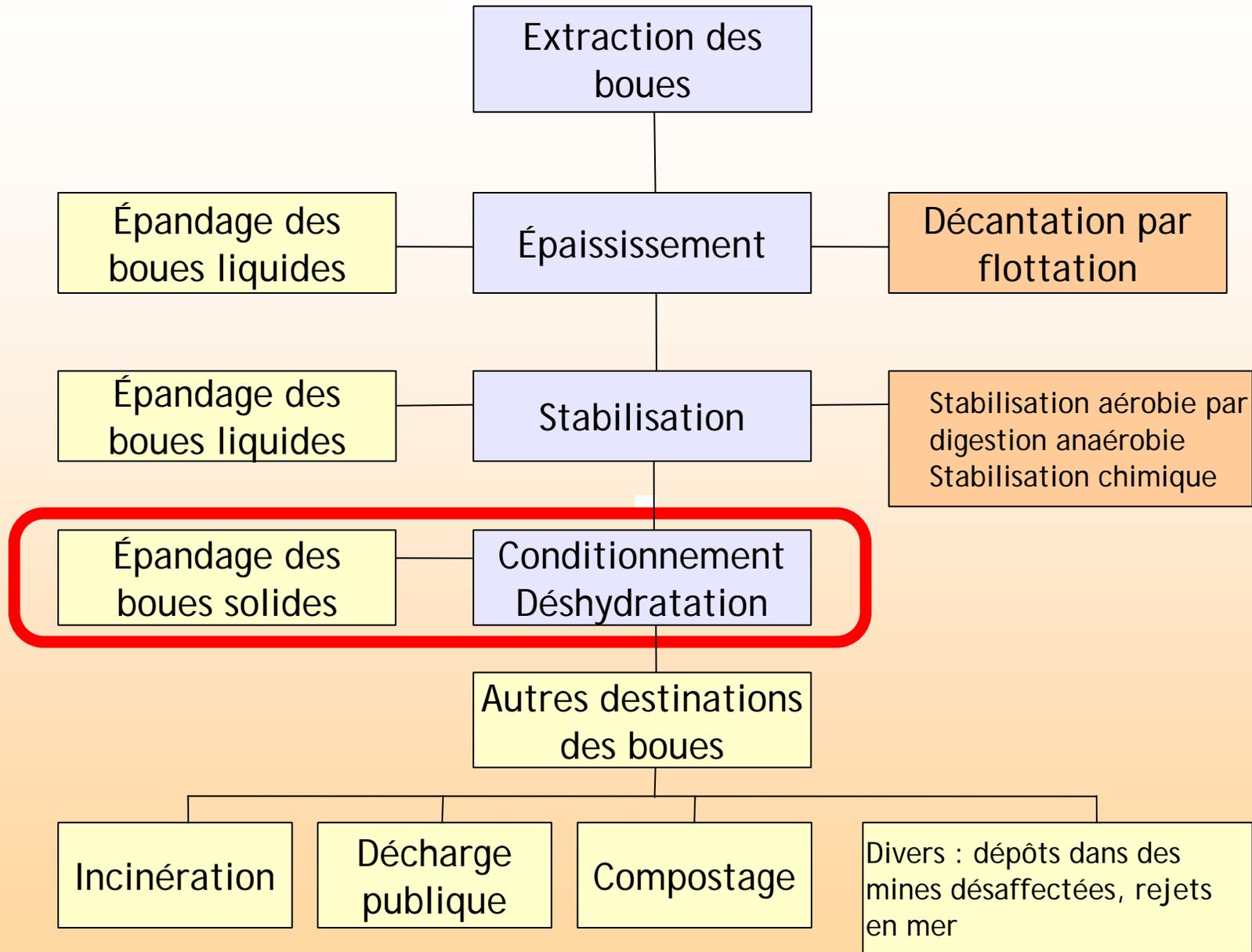
- Principe : aération prolongée des boues permettant la poursuite du développement des microorganismes au delà de la période de synthèse des cellules et d'épuisement du substrat, jusqu'à réaliser leur auto-oxydation (mécanisme de la respiration endogène).
- Durée : minimum 10 jours à 20°C, 14 jours à 12°C
- Remarque : le compostage constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie.

# La digestion anaérobie ou méthanisation

- Principe : fermentation méthanique des boues dans des cuves (digesteurs), à l'abri de l'air, permettant d'atteindre des taux de réduction des matières organiques de 45 à 50%.
- 2 phases : liquéfaction et gazéification
- Temps de séjour: 25 jours en moyenne
- Obtention de biogaz : 65% méthane + 35% gaz carbonique
- Production de 400 à 500l de gaz par kg de matière organique (MO) introduite => en France, 94 millions de m<sup>3</sup>/an

# La stabilisation chimique

- Principe : adjonction massive de chaux (30% MS en général)
- Praticqué par 2% des STEP françaises (40 000 EH en moyenne)
- Se pratique sur des boues déjà stabilisées biologiquement, il s'agit donc d'un traitement complémentaire de stabilisation
- Controverses sur la valeur agronomique des boues chaulées



## c) Conditionnement

- Principe : rompre la stabilité colloïdale des boues afin de favoriser la séparation liquide-solide ultérieure (déshydratation).
- Conditionnement chimique (addition de flocculants minéraux ou organiques)
- Conditionnement thermique (adapté aux STEP équipées de digesteurs)

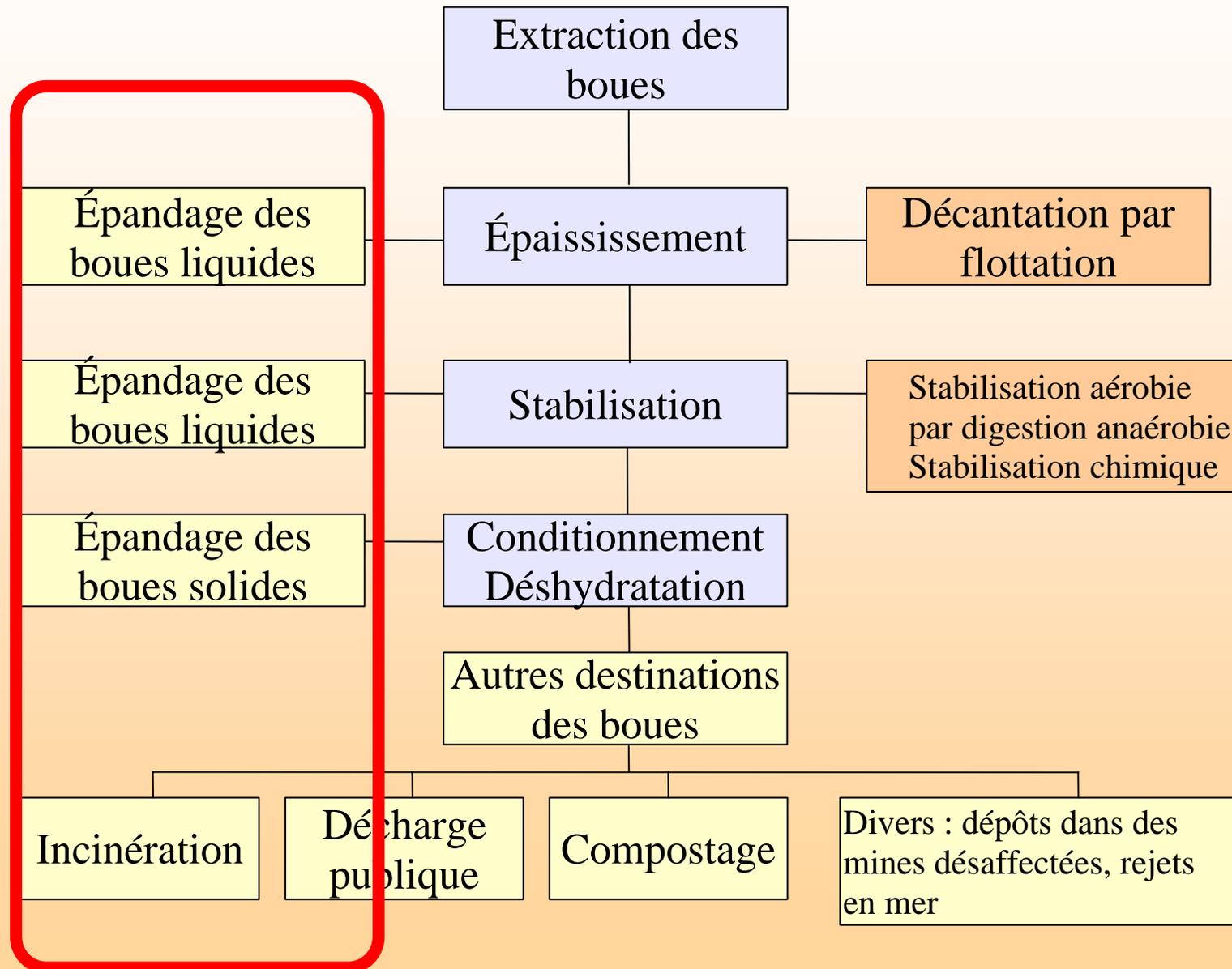


ou résiduelle de façon

- naturelle ou par (filtrants),
- mécanique par filtration, pression, bandes
- par centrifugation (95%)



## 2.2 Valorisations agricole et énergétique



## a) Épandage

- Objectifs :
  - Mettre à profit les capacités biologiques naturelles des sols pour « digérer » les boues et en réintroduire les éléments dans les cycles naturels
  - Valoriser les propriétés fertilisantes des boues pour les cultures agricoles
- Dose moyenne épandue : 1 à 2 t MS/ha/an

# Caractéristiques d'un produit épandable

- Stable : de composition constante, sans odeur ;
  - riche en éléments fertilisants ;
  - dépourvu d'éléments indésirables (métaux lourds, etc) ;
  - disponible selon les besoins (nécessité de stockage) ;
  - facile à utiliser ;
  - rentable, par comparaison à l'utilisation d'engrais minéraux du commerce ;
- => Pour une valorisation agricole, les boues doivent être stabilisées, épaissies et dans certaines situations déshydratées, voire compostées.

# Propriétés fertilisantes des boues

- Composition : 75% de matières organiques, 5% d'azote, 2% de phosphates
- Carbone/Azote (C/N) : 5 à 12
- Intérêt : apport de matières humiques, amélioration du pouvoir de rétention de l'eau
- Facteurs limitants : azote (max 170 kg/ha) et surtout phosphore (max 80 kg/ha)

# Impact des traitements préalables

- L'essentiel des éléments d'intérêt fertilisant étant concentrés dans la matière sèche, tout traitement de réduction d'eau (épaississement, déshydratation, séchage) va augmenter la richesse en éléments fertilisants par tonne brute à épandre.
- La digestion anaérobie (méthanisation) modifie les formes de l'azote et le rend plus rapidement assimilable : forte augmentation de la teneur en azote ammoniacal.
- Si la boue est déshydratée avant épandage, l'eau d'égouttage emporte l'azote ammoniacal (retour en tête de station d'épuration) de sorte que la teneur finale en azote de la boue à épandre est diminuée et moins biodisponible.

# Types de boues ép



des tonnages MS



# Part des boues dans l'épandage agricole

- 2% de la SAU française reçoit des boues de STEP

- Quantité épandue :

5 millions de tonnes brutes, soit 500 000 t MS

à comparer avec les déjections animales :

300 millions de tonnes brutes, 40 millions t MS

# Réglementation (décret du 8/12/1997)

- Le producteur des boues est responsable de la filière d'épandage et de son suivi.
- Mise en place d'une planification globale, d'outils d'analyse et de prévision, de moyens de contrôle du respect des bonnes pratiques (gestion du stockage) et des résultats agronomiques.
- En particulier : contrôles des apports en nitrates et des teneurs en éléments-traces, HAP et PCB.
- Épandages soumis à déclaration (si > 200 EH/an) ou à autorisation (si > 50 000 EH).

# Compostage

- Effectué avec des écorces, raves de maïs, palettes broyées afin d'assurer une porosité minimale nécessaire à une bonne circulation de l'air
- Rôle d'amendement organique : restitue de la MO aux sols, améliore sa structure et sa porosité, renforce la résistance à l'érosion, facilite la fixation des éléments nutritifs par complexation et limite le colmatage généré par les pluies.
- Difficultés : importants volumes d'oxygènes nécessaires, élévation en température difficile à maîtriser



Compostage de boues en cellules compartimentées ventilées

## b) Incinération

- 15 à 20% des boues
- Principe : élimination totale de l'eau interstitielle et combustion des matières organiques
- Intérêt : quantité de résidu faible (cendres)
- Contraintes : grosses quantités de boues, boues riches en MO (seule source de chaleur récupérable) et pauvres en humidité (afin de réduire les besoins calorifiques nécessaires)
- Matériel : four spécifique, en co-incinération avec des ordures ménagères ou en four cimentier comme combustible

## 2.3 D'autres solutions ?

### La mise en décharge :

- Concernait 20 à 25% des boues en 2002
- Ne s'applique qu'aux boues solides (minimum 25 à 30% MS)
- Cette pratique devrait disparaître car les décharges ne sont sensées recevoir que des déchets ultimes (dépourvus de MO) depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2002 (loi du 13 juillet 1992).

## Autres voies de valorisation agronomique: Épandage sur des sols non agricoles

- Sur les parcelles boisées, épandages expérimentaux

- Végétalisation des terrains après travaux



## Fabrication de matières fertilisantes

- Fabrication d'engrais ou d'amendements organiques ou calciques => compostage, chaulage

## Fabrication de briques, ...



## 3. Éléments de comparaisons énergétique et économique

3.1 Epandage

3.2 Incinération

### 3. Éléments de comparaisons énergétique et économique

- Volonté politique d'améliorer le système d'assainissement des eaux usées (collecte et traitement) => augmentation prévisible de la production de boues d'épuration
- La part de la gestion des boues dans le prix de l'eau varie de 2 à 4% suivant le mode de valorisation retenu

## 3.1 Epandage

### Coût pour les producteurs de boues

- La politique du « **Zéro euro rendu racine** » implique que l'ensemble des coûts (d'investissement et d'exploitation) est supporté par le producteur de boues.
- Ces coûts d'exploitation comprennent :
  - le stockage pour 30 à 40%
  - le transport et l'épandage pour 40 à 50%
  - les études, les analyses de boues et sols, l'encadrement et le suivi agronomique pour 10 à 20%

# Intérêt économique pour l'agriculteur

- Il peut se calculer par la valeur équivalent engrais ou équivalent amendement, en fonction du prix et de la disponibilité locale des fertilisants minéraux.
- Pour rendre les comparaisons possibles, on peut également donner un ordre de grandeur des valeurs fertilisantes des boues (de 23 à 45€/t MS selon leur degré de siccité).

# Intérêt pour la collectivité

- L'intérêt économique, comparativement à l'incinération ou à la mise en décharge se situe pour les collectivités entre 76 et 475 €/t MS.
- Intérêt environnemental : l'épandage permet de faire l'économie de ressources non renouvelables car, en apportant des éléments fertilisants aux cultures, les boues réduisent l'utilisation d'engrais minéraux et diminuent d'autant les prélèvements miniers et la consommation d'énergie nécessaire à la fabrication des engrais.

## 3.2 Incinération

- Principal intérêt : la récupération d'énergie
- Principale critique : son prix élevé
- Unité de base : Pouvoir Calorifique Inférieur ou PCI, quantité de chaleur générée par la combustion complète d'un corps par unité de masse (en kJ/kg ou kcal/kg)
- Les MO contenues dans les boues, qui présentent un PCI de 5000 kcal/kg, constituent la seule source de chaleur récupérable.

# COÛTS DES FILÈRES D'ÉLIMINATION DES BOUES

## en euros par tonne de matière sèche

Taille de la station d'épuration en Equivalents habitants	Épandage Boues liquides, pâteuses, ou chaulées	Épandage Boues séchées, Boues compostées	Co- incinération Boues pâteuses	Co- incinération Boues séchées	Incinération spécifique
3 000 à 10 000	381 à 640 E	-	-	-	-
50 000 à 100 000	320 à 411 E	-	-	-	-
100 000 à 300 000	274 à 320 E	396 à 457 E	304 à 396 E	381 à 442 E	487 à 609 E
300 000 à 500 000	259 à 274 E	350 à 396 E	243 à 304 E	289 à 381 E	350 à 487 E

Source : Comité National des Boues, ADEME

Compostage : 53€/t boue brute soit 410€/t MS

Mise en décharge : coûts voisins de ceux de l'incinération

# Cas particulier de la méthanisation

- 60 % de l'énergie produite sont valorisés sous forme d'électricité ou de chaleur, en premier lieu pour le chauffage et le brassage des digesteurs.
- Le développement de la cogénération depuis le milieu des années 80 permet, y compris pour des stations de petite capacité, de livrer de la chaleur à des utilisateurs proches ou de l'électricité sur le réseau.
- On peut chiffrer la production de biogaz annuelle à 94 millions de m<sup>3</sup>, soit un économie d'énergie thermique de 33000 tonne équivalent pétrole et d'énergie électrique de 89 Gwh.

## 4. Problématiques sociologique et environnementale

4.1 Le statut de déchet

4.2 Épandage, micropolluants et risque pathogène

4.3 Incinération, gestion des sous-produits et qualité de l'air

4.4 Comparaison des situations européennes

## 4.1 Le statut de déchet

- Définition selon le décret 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.
- Selon ce décret, les boues sont à la fois un déchet et une matière fertilisante, si elles présentent un intérêt pour l'alimentation des cultures.
- L'impact sociologique qui en découle est lié à l'image des déchets et aux peurs auxquelles ils renvoient.

Ex : Recyclage des boues d'épuration dans l'alimentation des animaux

## 4.2 Épandage, micropolluants et risque pathogène

### Les éléments traces ou ET

- Selon la nature des eaux épurées, les boues peuvent en contenir une quantité plus ou moins importante.
- Naturellement présents dans les sols, une augmentation de leur concentration par apport de boues peut influencer sur la qualité des cultures.
- Les données récentes confirment la baisse continue des teneurs en ET des boues d'épuration.

# Composition moyenne en ET des boues d'épuration épandues en agriculture en France :

Eléments-traces (ET)* :		valeur-limite réglementaire	en % de la valeur-limite
Cadmium (Cd)	2,5 (g/t de MS)	10 **	25 %
Chrome (Cr)	50 (g/t de MS)	1 000	5 %
Cuivre (Cu)	330 (g/t de MS)	1 000	33 %
Mercure (Hg)	2,3 (g/t de MS)	10	23 %
Nickel (Ni)	40 (g/t de MS)	200	20 %
Plomb (Pb)	90 (g/t de MS)	800	11 %
Sélénium (Se)	10 (g/t de MS)	/	/
Zinc (Zn)	800 (g/t de MS)	3000	27,00%

\* *Données moyennées (ordres de grandeur) : ADEME, 1995 ; Agence de l'eau RMC et Recyval, 1998 ; SYPREA, 2000.*

\*\* *Seuil à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2004*

# La fixation des métaux lourds par les plantes

- Elle fait l'objet de nombreuses études
- Les facteurs influençant cette fixation sont nombreux et comprennent :
  - La concentration en métaux
  - Le pH, la température, le potentiel d'oxydo-réduction du sol
  - La quantité de MO disponible
  - Les fertilisants utilisés
  - La nature des plantes, ...

# Les composés traces organiques ou CTO

- Les indicateurs des composés résistants à la biodégradation retenus par la réglementation :
  - Les HAP, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
  - Les PCB, Polychlorobiphényles
- Leurs transferts et leurs effets sur les plantes sont plus ou moins connus, mais leur persistance et leur présence dans les sols et l'air sont reconnus.

## Composition moyenne en CTO des boues d'épuration épandues en agriculture en France :

Composés-traces organiques (CTO):		valeur-limite réglementaire	en % de la valeur-limite
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA)			
- Fluoranthène	0,53 (g/t de MS)	5	11 %
- Benzo(a) fluoranthène	0,39 (g/t de MS)	2,5	16 %
- Benzo(a)pyrène	0,31 (g/t de MS)	2	16 %
Polychlorobiphényles (PCB)			
- total 7 PCB	0,19 (g/t de MS)	0,8	25 %

# Les micro-organismes pathogènes

- Le risque pathogène est faible, quelque soit la voie d'élimination retenue : soit les micro-organismes pathogènes sont détruits par les traitements infligés aux boues, soit ils ont une durée de vie limitée dans les sols.
- Des précautions de manipulation des boues et des mesures sanitaires (délais avant certaines cultures, distances limites par rapport aux habitations, etc.) sont prescrits par la réglementation pour limiter ce risque au maximum.

# Une controverse sociale et politique

- Les pouvoirs publics encouragent l'épandage des boues mais un souci grandissant de qualité des produits alimentaires induit une prudence, voire une opposition des industriels et des consommateurs.
- Le même problème se pose pour les composts comprenant des boues de STEP.

## 4.3 Incinération, gestion des sous-produits et qualité de l'air

- **Gestion des sous-produits** : cendres et gateaux de filtration provenant de l'épuration des fumées sont stabilisés puis placés en Centre d'Enfouissement Technique de classe 1.
- **Qualité de l'air** : les rejets atmosphériques sont plus ou moins bien contrôlés (problèmes des petits fours dont les émissions ne sont pas filtrées). Pour les grandes installations, il y a obligation de résultats en terme de valeurs d'émissions atmosphériques pour les poussières totales, les substances organiques et les métaux lourds.
- **Suivi de la pollution** : réalisé polluant par polluant et non pas à l'aide de capteurs biologiques

## 4.4 Comparaison des situations européennes

- En moyenne, 40% de la production de boues d'épuration est utilisée en agriculture, l'épandage étant la solution privilégiée par la politique européenne.
- Des réponses spécifiques selon les pays ont été mises en place:
  - Favoriser l'assurance qualité
  - Renforcer les contrôles
  - Alimenter un fond de garantie

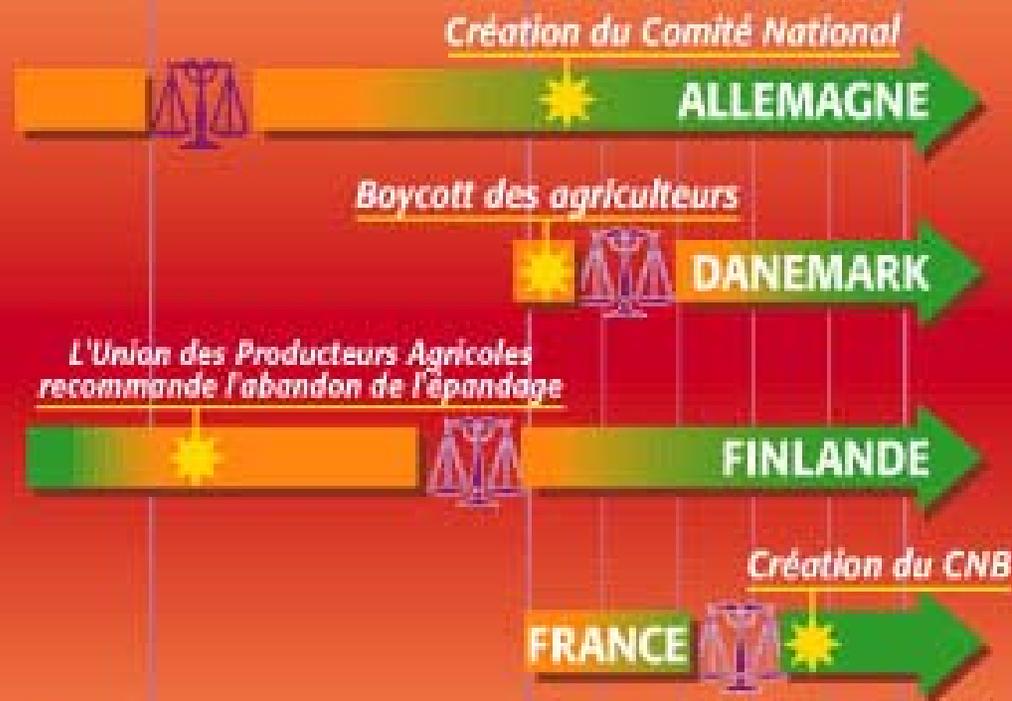
**DÉBAT PASSÉ**  
Interdiction de l'épandage



**DÉBAT PASSÉ**  
Compromis trouvé



**DÉBAT EN COURS**



**FAIBLE DÉBAT**

ESPAGNE PORTUGAL  
GRÈCE SUISSE  
IRLANDE AUSTRALIE  
ITALIE

1985

1990

1995 96 97 98 99 2000

# CONCLUSION

- L'alternative idéale n'existe pas :
  - Chacune des voies d'élimination présente des risques et des inconvénients
  - Les impact de l'épandage sont les mieux connus
- Il faut adapter chaque cas à la situation économique et aux possibilités techniques locales.
- Les acteurs concernés ont des intérêts parfois contradictoires

# Bibliographie

- *Guide du traitement des déchets*. Alain Damien. L'usine Nouvelle, série Environnement et Sécurité. Dunod. Paris 2004.
- *Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture*, dossier élaboré par le Comité National des Boues (CNB), ADEME, <http://www.ademe.fr>

Merci pour votre attention...

... des questions ?

