

Impacts sanitaires de la méthanisation

Evaluation des Risques Sanitaires(ERS)?

Gérard KECK

Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

g.keck@vet-lyon.fr

CNITV (Centre National d'Informations
Toxicologiques Vétérinaires)

Réseau Santé Déchets

RECORD; CA AFSSET GT Biogaz

ADEME



Cellule de veille vétérinaire des épandages



VETERINAIRE
LVD

Mais aussi :

Cham. Agri (missions déchets)

BE, DASS



ENV :

CNITV Lyon

CAPA Ouest Nantes

Maisons Alfort

QuickTime™ et un décodeur graphique sont requis pour visionner cette image.

Expertise

Comité de pilotage annuel

(ENV, CNITV, APCA, DDASS, SDV, LVD, AFSSA, ADEME, SYPREA, MEDD)

Diffusion du procès verbal

de fonctionnement

Observations sur les animaux

- Rôle des centres de toxicovigilance animale
- Pollutions métalliques (Fer, Molybdène..) en périphérie de sites de stockage:
- Intoxications chroniques (Pb)
- carences induites en cuivre





Réseau Coopératif de Recherche sur les Déchets

Un réseau ouvert à de nombreux profils d'adhérents

RE.CO.R.D. est un réseau ouvert aux :

- grandes entreprises
- filiales françaises de groupes étrangers
- entreprises de taille moyenne
- organismes publics ou semi-publics
- collectivités locales
- associations professionnelles...

Trois axes majeurs

-  ***L'évaluation et la maîtrise
des impacts environnementaux et sanitaires
des activités du traitement des déchets***
-  ***L'optimisation des systèmes de gestion
et de traitement des déchets et des sols***
-  ***Les sciences sociales avec, notamment,
la question centrale de l'acceptation des
systèmes de traitement des déchets***

3 Les impacts sanitaires et environnementaux



- **Méthodes d'évaluation des risques environnementaux et risques acceptables : état des lieux et étude comparative**
- **Impacts environnementaux des filières de valorisation des résidus minéraux**
- **Développement de la base de données « CMR »**
- **Édition du bulletin Info Santé Déchets et mise en place d'une action de formation de relais**
- **Risques sanitaires engendrés par la valorisation des déchets**
- **Évaluation des risques sanitaires : données modélisées versus données mesurées dans l'environnement et la chaîne alimentaire**



RE.CO.R.D.

*Un réseau
unique en France*

*Une multitude
d'atouts*

*RE.CO.R.D.
mode d'emploi*

*Le bilan
de 15 ans d'activités*

*Le programme
de recherche 2004*

Pour en savoir plus

Pour plus d'informations

RE.CO.R.D.

27, Bd du 11 novembre 1918

BP 2123

69603 Villeurbanne Cedex

Tél. : 04 72 43 81 88 – Fax : 04 72 44 07 32

Site Internet : www.record-net.org

E-mail : contact@record-net.org



Contact :

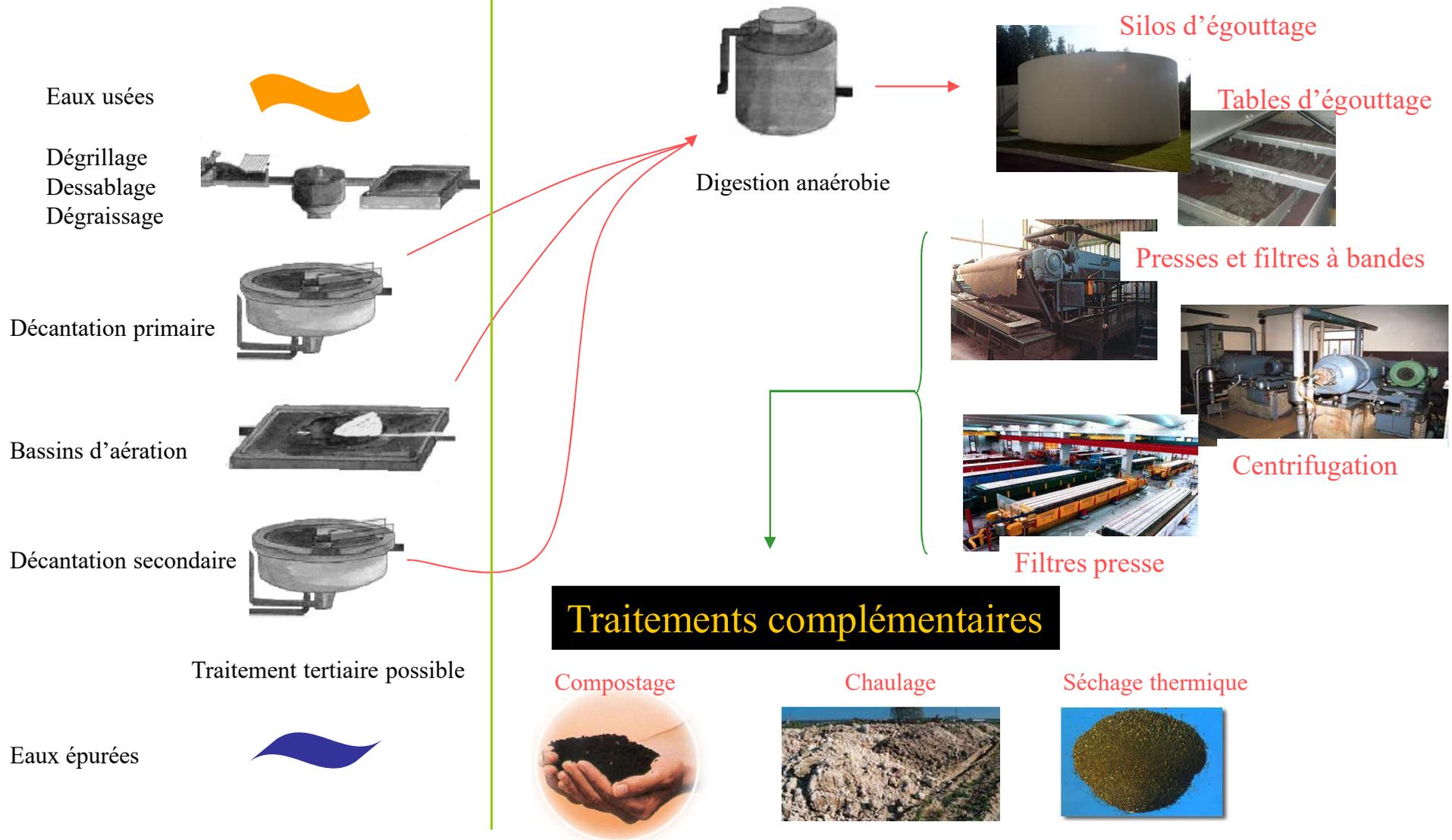
Bénédicte Couffignal

Directrice de RE.CO.R.D.

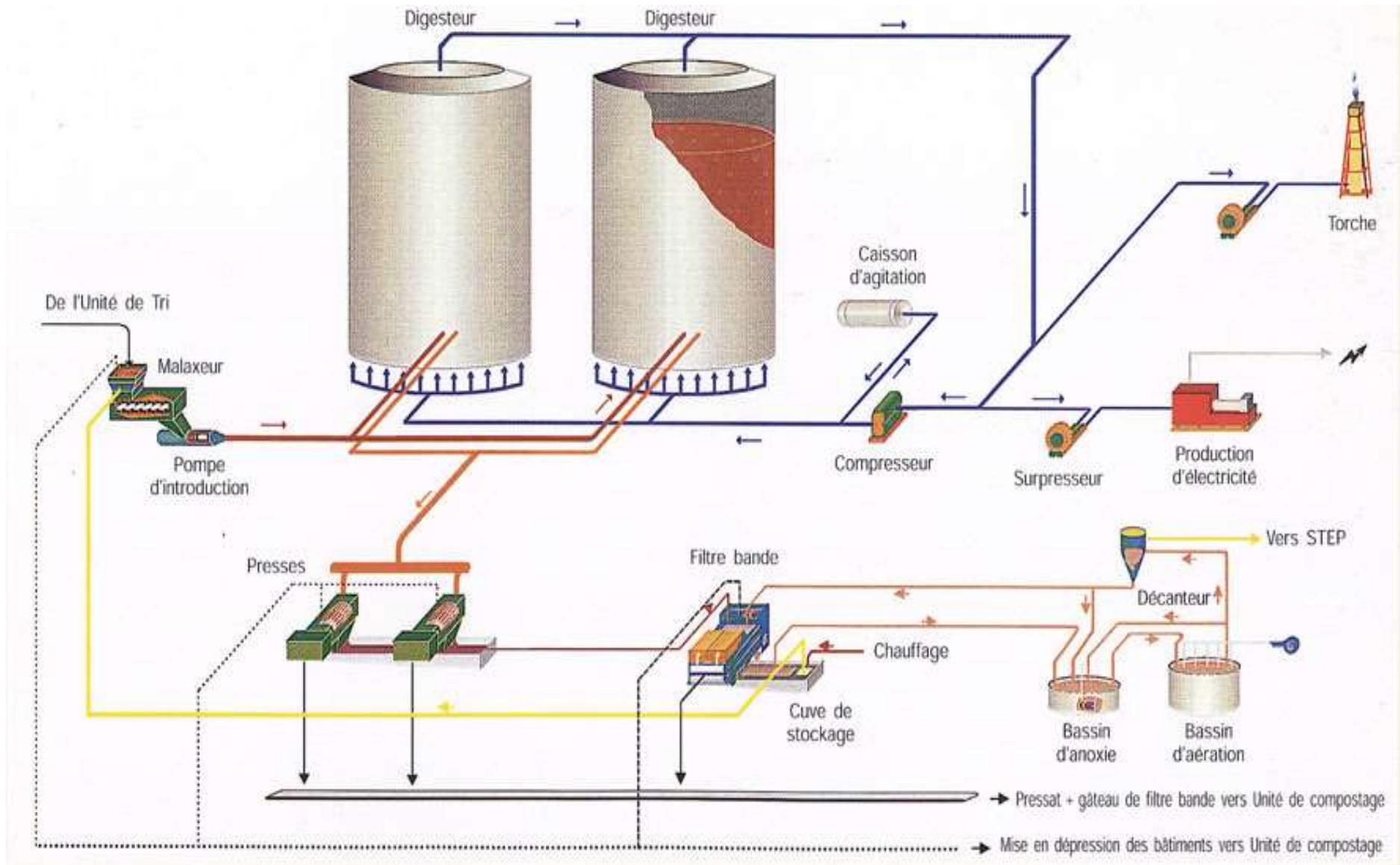
Le traitement des eaux et des boues : principes

Filière eau : ↘ DO, N, P

Filière boue : ↘ H₂O, stabilisation, hygiénisation



• Méthanisation



La contamination des MO



Rejets urbains domestiques :
Déjections, médicaments, cosmétiques (shampoings), déchets divers (peintures, solvants, adhésifs...), Réseau unitaire ou séparatifs



Déchets verts :
Retombées atmosphériques, traitements phytosanitaires



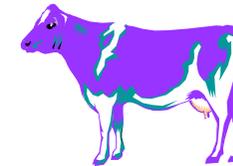
Activités artisanales :
garages, laboratoires, dentistes, teintureriers, développement photo, hôpitaux, blanchisserie...



Ordures ménagères +/- triées, déchets alimentaires :
Microorganismes, déchets divers (piles, médicaments, encres, peintures, solvants adhésifs..)



Industries :
chromage, zingage, tannerie, usinage...



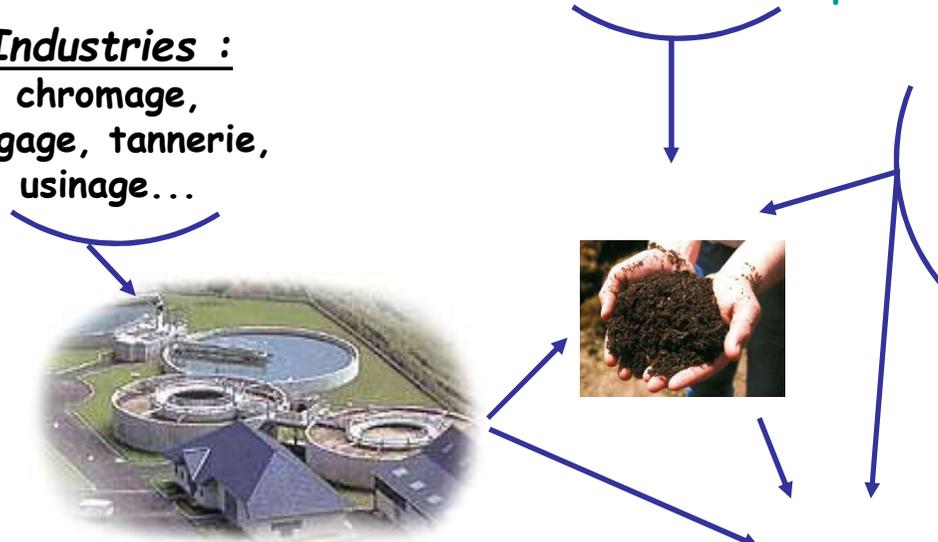
IAA et agriculture :
Déjections, traitements vétérinaires.....



Station d'épuration



Utilisation - Sol



Divers niveaux d'impacts sanitaires potentiels

- Y a t il des filières sans risques?
- L'installation: transport, collecte, process, odeurs, eaux usées..
- Les produits: le digestat épandable
- Le biogaz

L'installation

- Risques d'explosions? Fuites?
- Toxicité du biogaz? CO₂, H₂S
- Odeurs
- Nuisances : bruit, circulation...

Odeurs

- Nombreuses substances volatiles(COV): solvants chlorés ou BTX; dégradation plastiques; fermentation (soufrés, AGV..)
- Décharges,incinération, compostage, épandage, méthanisation?
- Métrologie: olfactomètres; CPG
- Impacts toxiques? Irritants? Psycho-somatiques; intolérances; adrénaline? Immunité?phéromones?
- Atténuation: prévention; traitement: oxydation thermique ou catalytique; masquants; neutralisants..

Travailleurs (INRS, CNAM)

- Traitement des déchets: Industrie à risques: Taux de fréquence d'accidents:
44 (taux de gravité 1,88) contre 25 (gravité 1,6) sur l'ensemble des activités industrielles
Risques chimiques , biologiques, physiques, routiers

Populations riveraines

- Plaintes: nuisances, impacts sanitaires
- Bio-aérosols? (cf compostage)
- Etudes épidémiologiques
- Evaluation des risques sanitaires (ERS)

Le produit: digestat; compost

- Avec ou sans compostage?
- Relations avec la qualité chimique des MO méthanisées
- Epandage agricole: normes de sécurité
- Evaluation des risques sanitaires

La contamination des MO



Rejets urbains domestiques :
Déjections, médicaments, cosmétiques (shampoings), déchets divers (peintures, solvants, adhésifs...), Réseau unitaire ou séparatifs



Déchets verts :
Retombées atmosphériques, traitements phytosanitaires



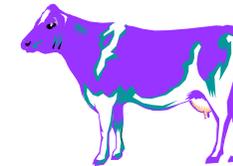
Activités artisanales :
garages, laboratoires, dentistes, teintureriers, développement photo, hôpitaux, blanchisserie...



Ordures ménagères +/- triées, déchets alimentaires :
Microorganismes, déchets divers (piles, médicaments, encres, peintures, solvants adhésifs..)



Industries :
chromage, zingage, tannerie, usinage...



IAA et agriculture :
Déjections, traitements vétérinaires.....



Station d'épuration



Utilisation - Sol

- Réglementations des intrants agricoles -

- **Produit homologué**

Procédure du ministère de l'Agriculture – évaluation de l'efficacité et de l'innocuité du produit => APV ou une homologation

Traçabilité de la fabrication du produit

- **Produit répondant à une norme rendue d'application obligatoire**

Norme NF U 44-095 (18 mars 2004) : composts de boues « Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux »

Norme NF U 44-051 (en cours de révision) : Amendements organiques

Traçabilité de la fabrication du produit

- **Déchets (loi sur l'eau, loi ICPE) : plan d'épandage (boues)**

Grands principes directeurs :

Un pré-requis : la boue a un intérêt agronomique,

l'épandage doit garantir une innocuité pour l'Homme et l'Environnement,

Étude préalable, **traçabilité du déchet et de l'épandage**, stockage, organisme indépendant

- Réglementations des intrants agricoles -

Plan d'épandage

NF U 44-095 Composts de boues

	Boues : Teneur limite en g/t MS	Apports au sol maximum totaux cumulés sur 10 ans (g/ha)		Valeurs limites (mg/kg MS)	Apports au sol maximum totaux cumulés sur 10 ans (g/ha)
		Terres labourables et pH >6	Prairies ou sols pH<6		
Arsenic				18	900
Cadmium	10	150	150	3	150
Chrome	1 000	15 000	12 000	120	600
Cuivre	1 000	15 000	12 000	300	1 000
Mercure	10	150	120	2	100
Nickel	200	3 000	3 000	60	3000
Plomb	800	15 000	9 000	180	9000
Zinc	3 000	45 000	3 000	600	3 000
Sélénium	-	-	1 200	12	600
PCB (somme 7)	0,8	12	12	0,8	12
Fluorenthène	5 (4 prairies)	75	60	4	60
Benzo(a)pyrène	2 (1,5 prairies)	30	20	1,5	20
Benzo(b)fluoranthène	2,5	40	40	2,5	40

- Contaminants métalliques -

ETM : éléments traces métalliques

Métaux :

- essentiels : Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn...
- non essentiels : Cd, Hg, Pb

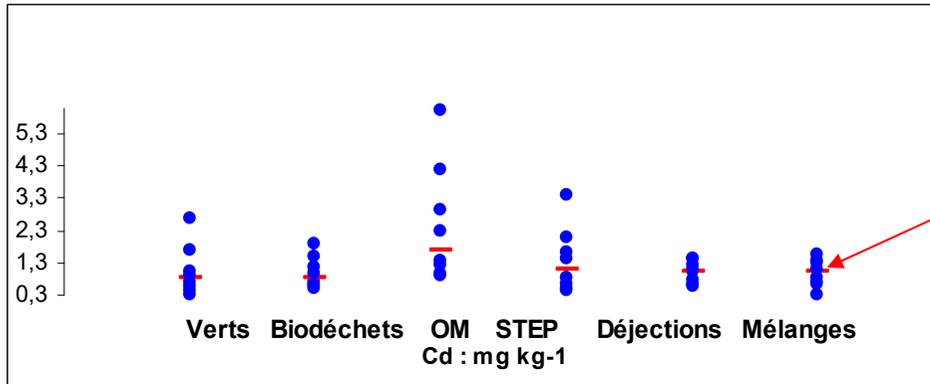
Non métaux :

- essentiels : B, Se...
- non essentiels : As

- Comment maîtriser les risques
- Digression sur l'amont : la matière première
- L'hygiénisation
- Maîtrise des procédés
- Limites
- Un mal pour un bien ? le cas du compostage
- Coûts

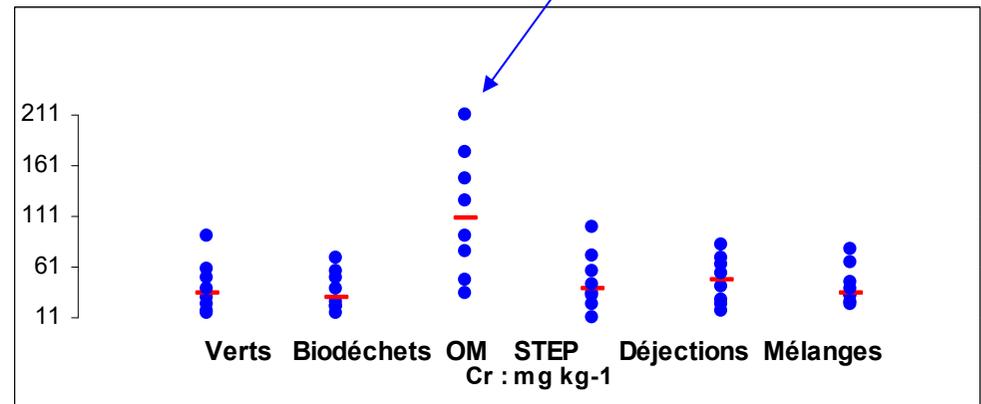
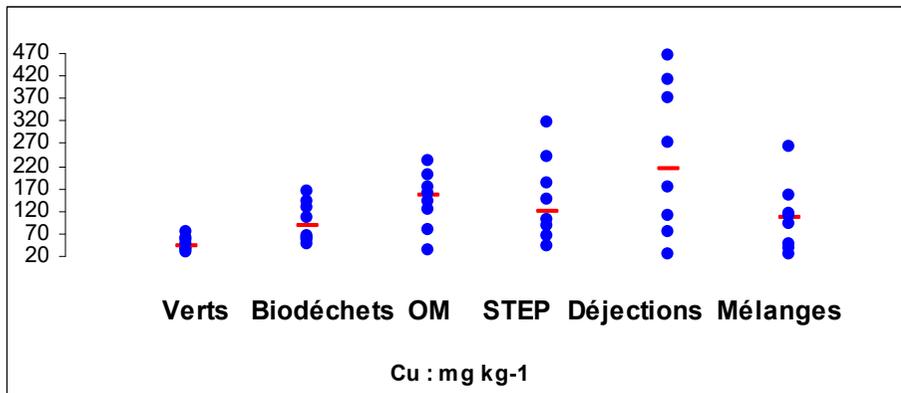
La matière première

Exemple de composts d'origine diverses



Médiane

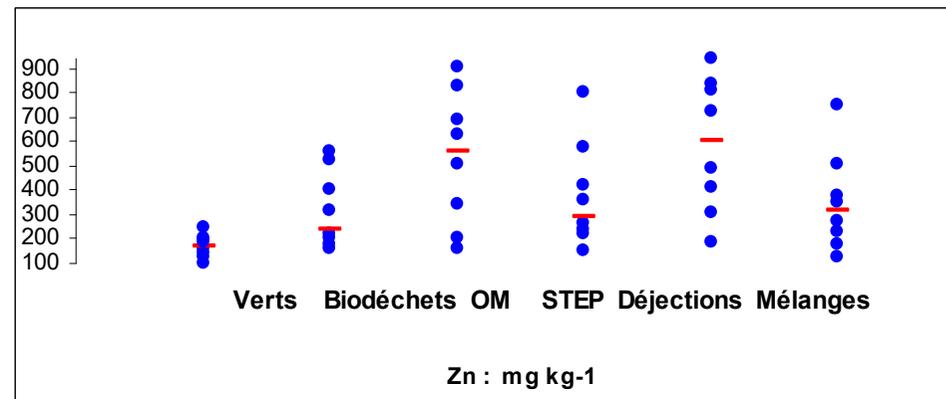
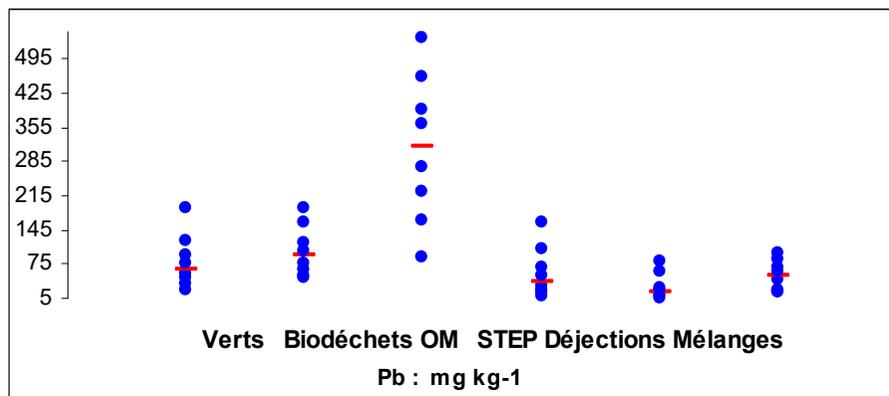
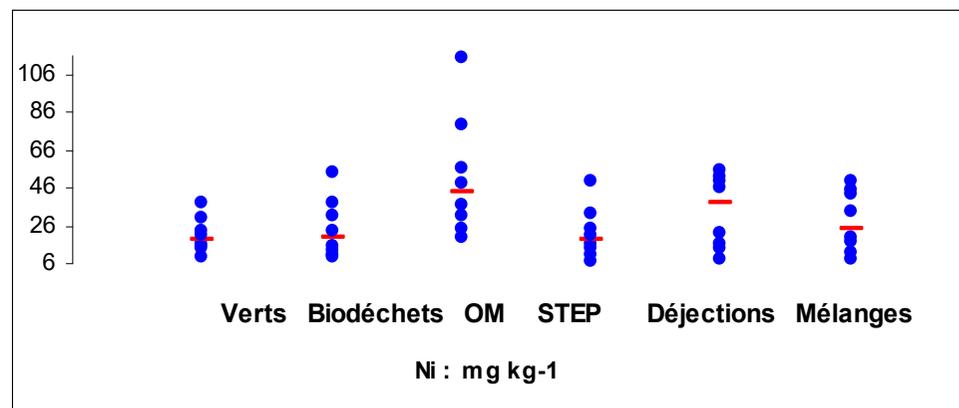
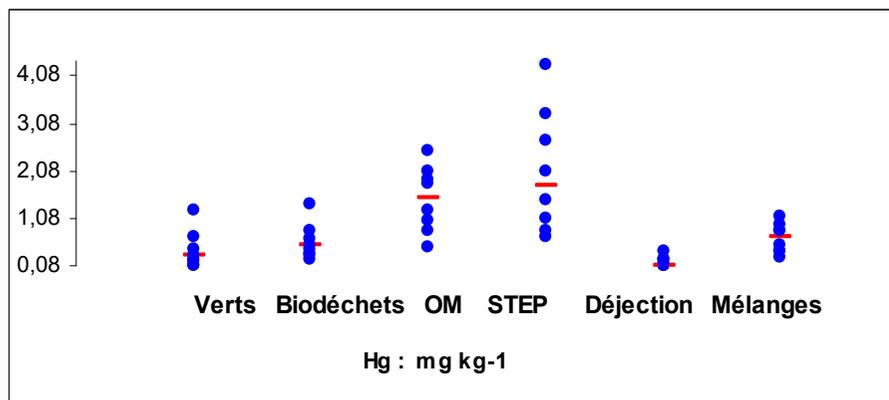
Décile



- Comment maîtriser les risques
- Digression sur l'amont : la matière première
- L'hygiénisation
- Maîtrise des procédés
- Limites
- Un mal pour un bien ? le cas du compostage
- Coûts

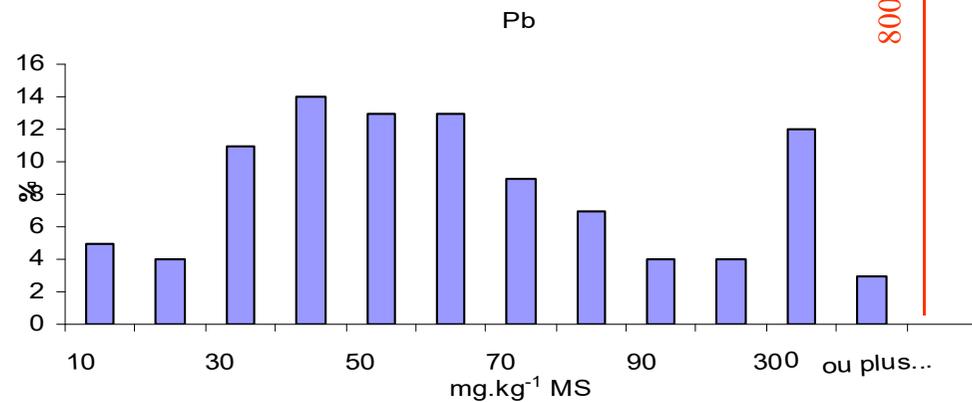
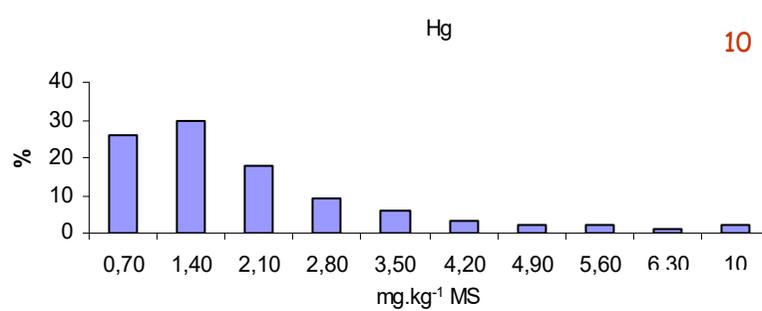
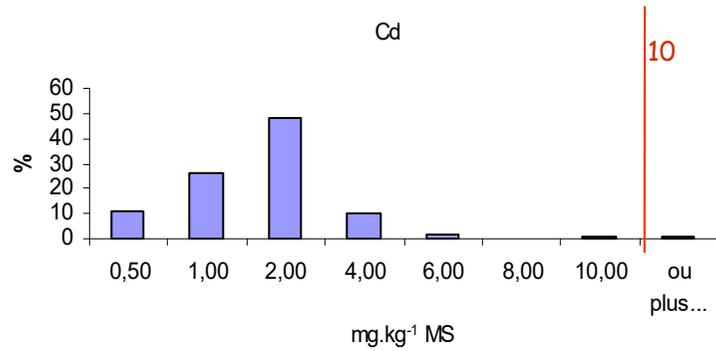
La matière première

Exemple de composts d'origine diverses



Caractérisation et contrôle Boues

Distribution des populations de boues :
concentrations en Cd, Hg et Pb (4000
échantillons)

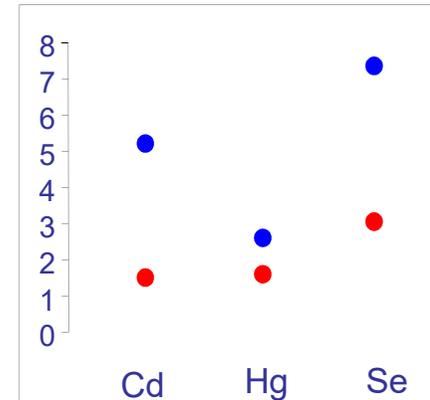


Caractérisation et contrôle Boues

-Une réglementation qui a montré ses bénéfices

Moyennes nationales (mg kg⁻¹ MS)

- 1992-1994
- 1998-2000

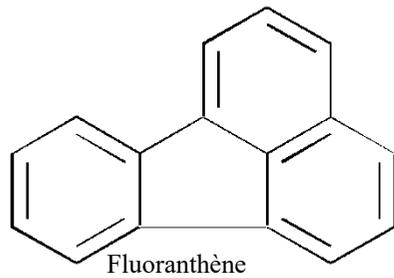
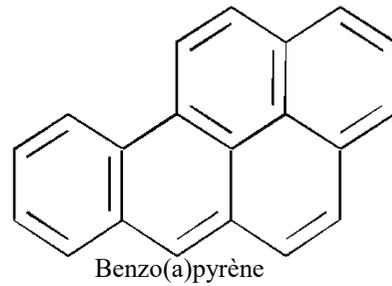


-Quel respect de la réglementation ?

- Organisme indépendant : 2/3 des départements dotés
- non conformité du plan d'épandage : un % non négligeable (en général sur critère de stockage – pas sur la qualité des boues)

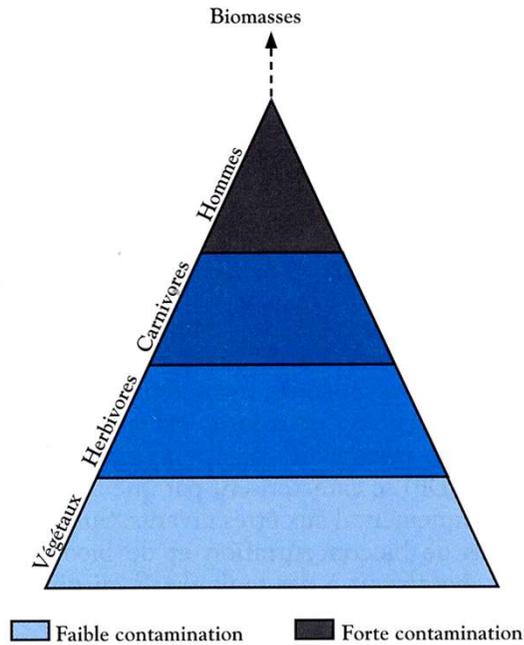
- Contaminants organiques -

Composés traces organiques ou CTO –
Polluants Organiques Persistants ou POPs)

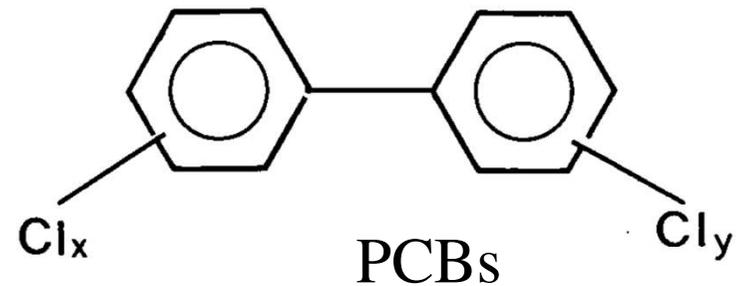


HAP : Hydrocarbures Aromatiques
Polycycliques

POPs: Bio-accumulation in the food chains: stability, lipophilic PCB, dioxines(PCDD/F)..



Osprey



Impacts de la méthanisation sur les contaminants chimiques

- Etude Adème/Solagro/ENVIT
- Diminution? Peut être hydrocarbures; moins pour HAP ;PCB
- Augmentation? Composés dioxin-like
- Métaux: complexation, adsorption..
sulfuration,sulfatation; méthylation?

Influence sur spéciation et bio-disponibilité
mais difficile à évaluer (en gal non mesuré)

Impacts des contaminants sur la méthanisation?

- Antibiotiques, additifs (monensin)
- Désinfectants?
- Métaux? Cu alimentation porc, Zn..
- Certains sont favorables (co-facteurs)
- Mais aussi inhibiteurs..
- Acclimatation
- Résistances génétiques
- thermophiles + sensibles que mésophiles

- Contaminants biologiques -

Charges Très variables selon réseau collecté

Microorganismes

Champignons



Bactéries



Virus



Parasites

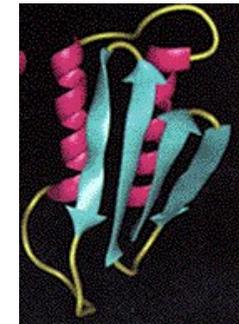


Vers
(viabilité?)



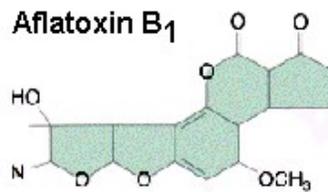
Protozoaires

Prion

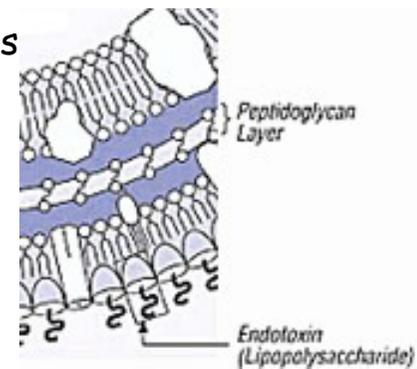


Molécules chimiques

Mycotoxines



Endotoxines



- Contaminants biologiques -

Pathogènes :

Bactéries : Salmonelles, Shigelles, Listeria, Campylobacter, Pseudomonas. Légionelles...

Parasites: Vers Trématodes(douve, schistosomes..),
Cestodes (Tenias); Ascaris..

Protozoaires: cryptosporidies, Giardia, Lamblia..

Virus: Entérovirus, Parvovirus..

Micro-organismes indicateurs de traitement :

Enterobacteriaceae \approx coliformes thermotolérants \approx E. coli

Streptocoques fécaux \approx entérocoques \approx Enterococcus faecalis

Anaérobie sulfito-réducteur \approx Clostridium spp (perfringens)

Ne vise, en principe pas à évaluer directement l'innocuité mais à confirmer l'efficacité du traitement; **mais..** (E. coli vérotoxiques...)

Plan d'épandage Salmonelles < 8 NPP/10 g MS
entérovirus < 3 NPPUC/10 g MS
œufs d'helminthes viables < 3 /10 g MS.
Suivi routine Coliformes thermotolérants

NF U 44-095 « Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux »

	Toutes cultures sauf cultures maraîchères	Cultures maraîchères
Indicateurs de traitement		
Escherichia coli	10 ⁴ /g MB	10 ³ /g MB
Clostridium perfringens	10 ³ /g MB	10 ² /g MB
Entérocoques	10 ⁵ /g MB	10 ⁵ /g MB
Agents pathogènes		
Œufs d'helminthes viables	Abs dans 1g MB	Abs dans 25 g MB
Listeria monocytogenes	Abs dans 1g MB	Abs dans 25 g MB
Salmonelles	Abs dans 1g MB	Abs dans 25 g MB

Effets de la méthanisation sur les contaminants biologiques

Hygiénisation, « kill-off »: conditions anaérobies, mais t° mésophile (35°)..

Thermophile meilleur que mésophile

Difficultés analytiques; pilotes vs réel; types de fonctionnement (continu ou autre..)

Effets variables suivant les contaminants

- **virus OK:** (sauf parvovirus);
- **Bactéries :** OK (sauf anaérobies et sporulés)
- **Streptocoques fécaux:** réduction de 2 log (90%) en mésophile; 4 log en thermophile)
- **Vers parasites:** un peu plus limité
- **Prion??**

Comparaison en fonction de la température

- Deux plages de température :
 - Mésophile (35 °C): pour déchets peu contaminés
 - Thermophile (53°C): pour déchets fortement contaminés
- Intérêt du compostage associé
- Essais en laboratoire sur de petits réacteurs ou grandeur nature en industrie

Digesteurs de petit volume en laboratoire

<u>Agents pathogènes</u>	<u>Réduction</u>	
	<u>Digestion mésophile</u>	<u>Digestion thermophile</u>
<i>Bactéries végétatives (T90)</i>	1 à 3 jours	0,4 à 1h
<i>Bactéries sporogènes (T90)</i>	Maintien voire augmentation	Pas de réduction
<i>Virus (réduction de plusieurs log₁₀)</i>	Quelques dizaines d'heures	< 1h
<i>Parasites (perte de la vitalité)</i>	< 5 jours	< 30 minutes

Digesteurs à l'échelle industrielle

- Digesteurs industriels danois
- Données dans le tableau Word associé

	Agents Pathogènes	Temps de Réduction décimale (T90°)	
Bactéries		Digestion mésophile	Digestion thermophile
	Bacillus cereus	Pas de réduction	Pas de réduction
	Clostridium perfringens	Pas de réduction	Pas de réduction
	Escherichia coli	1,8 jours	0,4h
	Erysipelothrix rhusiopathiae	1,8 jours	1,2h
	Mycobacterium paratuberculosis	6 jours	0,7h
	Salmonella Dublin	2,1 jours	0,6h
	Salmonella typhimurium	2,4 jours	0,7h
	Staphylococcus aureus	0,9 jours	0,5h
	Streptococcus faecalis	2,0 jours	1,0h
Virus	Parvovirus porcin	21 semaines	8 jours

Virus	Parvovirus porcin	21 semaines	8 jours
	Virus de la fièvre porcine classique	4h	Quelques secondes
	Virus de la grippe porcine	Plus de 24h	Plus d'1h
	Virus de la maladie d'Aujeszky	5h	10 min.
	Virus de la TGE du porc	24h	30 min.
	Virus de la rhinotrachéite bovine	24h	10 min.
	Virus du BVD	3h	5 min.
Parasites	Œufs de vers gastrointestinaux du bovin	2 jours	
	Œufs de vers plats du chat	2 jours	
	Œufs de vers ronds nodulaires du porc	6-8 jours	1h
	Œufs d'ascaris du porc	21 jours	4h
	Larves de vers du poumon des bovins	7 jours	

Efficacité des traitements hygiénisants

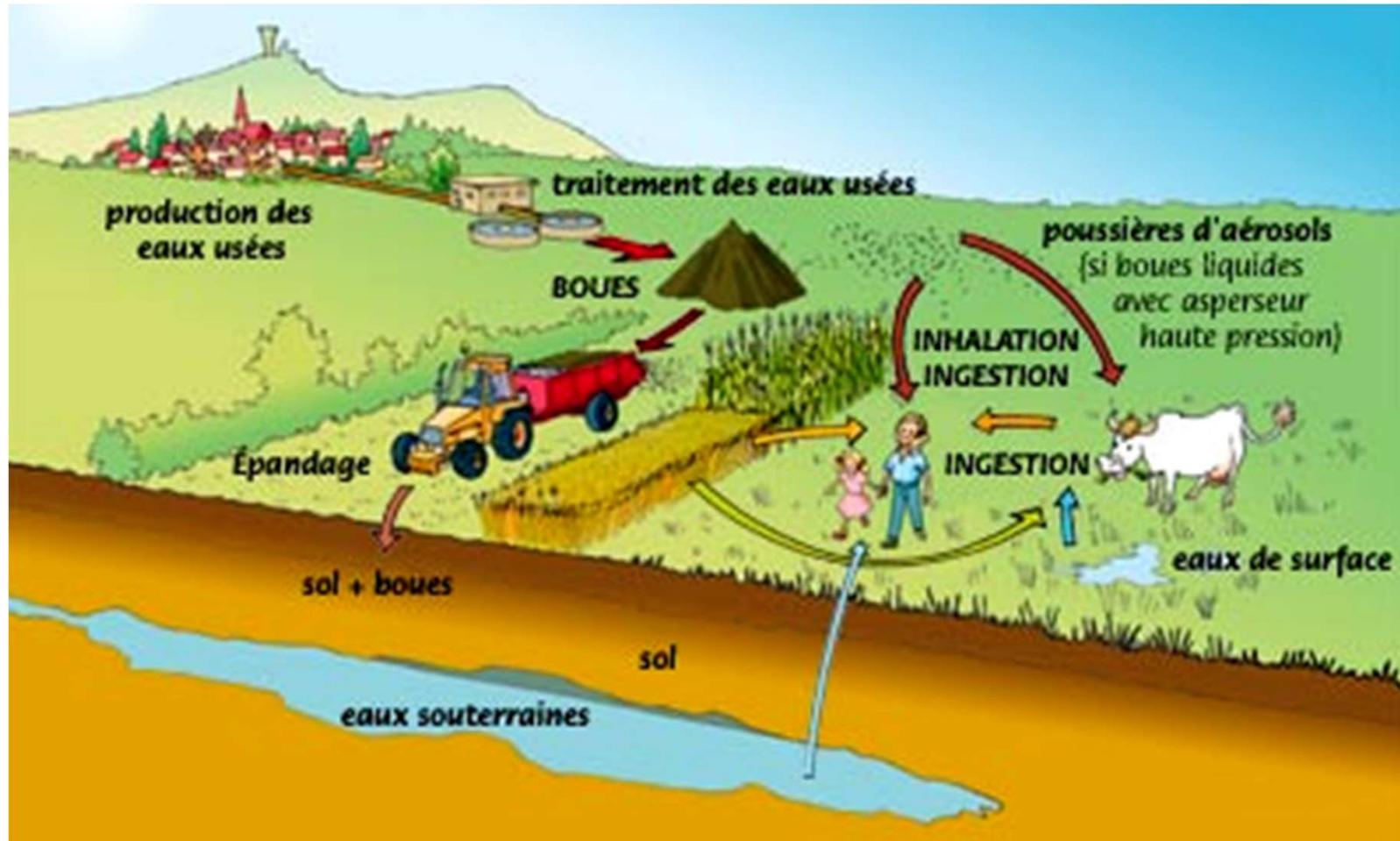
	Hygiénisation	Conditions
• Traitements thermiques (dont séchage)	+++	Pasteurisation : 70°C, 30 min.
• Compostage	++	55 °C 2 sem. - 60°C qq jours
• Chaulage	++	pH>12, 20 j à 3 mois pH>12, 55 °C 2h
• Digestion anaérobie (Mésophile et Thermophile)	T ++	55°C, 10 j

Maîtrise du procédé

Sous-produits animaux: règles de base pour la méthanisation

- Catégorie 1 (MRS Matériaux à Risque Spécifié): non autorisé: colonne vertébrale, tissus nerveux et lymphatiques, intestins, particules > 6mm dans eau de lavage.. (pour Ruminants)
- Catégorie 2: après stérilisation sous pression vapeur; sauf contenu digestif, lait
- Catégorie 3: acceptés: déchets d'abattoir de non ruminants, (après pasteurisation) déchets de points de vente et restaurants, déchets des IAA..)
- Dans installations approuvées

Épandage- Evaluation du risque - Expositions



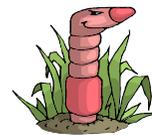
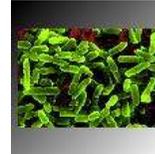
<http://www.ademe.fr/partenaires/boues/>

- Quelles cibles ? -

Risque sanitaire et risque environnemental

Cible : Homme

Cible : Environnement



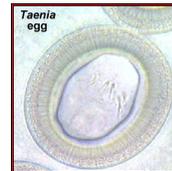
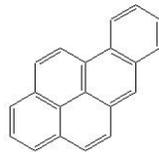
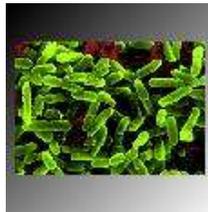
- Diversité d'espèces
- Diversité des comportements
- Mesure de l'impact pour une espèce ou pour un écosystème ?
- Expérimentation possible

- Définition du risque -

Risque = danger x exposition

Une probabilité
Un chiffre

Une molécule, un organisme qui
a un effet néfaste sur l'homme



Infectieux,
allergisant, irritant,
toxique, cancérigène

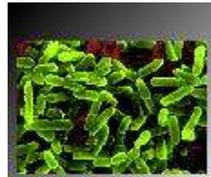
Une voie d'exposition
Une dose
Une durée
Une population

Ingestion
Inhalation
Contact cutané

$$\text{Risque} = \text{danger} \times \text{exposition}$$

Microorganismes

Bactéries :
Salmonelle
...



Virus
Entérovirus



Parasites
Ver solitaire



Hygiénisation

Les micro-organismes sont éliminés à un niveau jugé acceptable

- Éliminés par des traitements :
 - Augmentation de la température
 - Baisse de la teneur en eau
 - Conditions basiques
- Sous réserve de la bonne conduite du traitement...

- Gestion du risque « Épandage » - Les leviers

$$\text{Risque} = \text{danger} \times \text{exposition}$$

Microorganismes

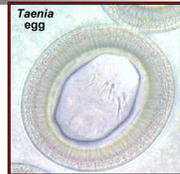
Bactéries :
Salmonelle,
Listeria



Virus
Gastro-entérite



Parasites
Ver solitaire



•Hygiénisation

Substances
Eléments traces

=> fixation de seuils

Comment les atteindre
Réduction de la charge
polluante :

- Prévention dans les réseaux
- Collecte sélective
- interdiction d 'usage de molécules...

Traitements (compostage) :

- Dégradation des polluants organiques

- Pente du sol
- État du sol (gel)
- Proximité habitations, points d'eau
- Ne pas remettre les bêtes au champ avant 6 semaines
- Doses et dates d'épandage

Évaluation des risques sanitaires des épandages

- Étude ADEME, INERIS, SYPRED, SPDE 2005
- Dans le cadre de l'autorisation des chantiers d'épandages des boues
- 3 phases :
 - Un guide technique pour les réalisateurs de l'étude sanitaire de l'étude d'impact
 - Un test du guide sur 2 filières
 - Déroulement de la méthode sur les seuils de la réglementation française et sur les seuils pressentis dans la future directive européenne

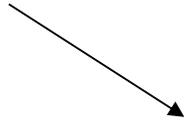
ERS des épandages – exemple du prion

ESB

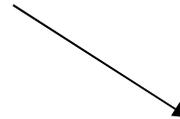
Septembre 2003 : AFSSA - remise d'un rapport « Risques sanitaires au regard de l'ESB liés aux rejets dans l'environnement des effluents et boues issus d'abattoirs et d'équarrissage »

Pour les abattoirs

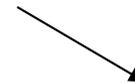
Recherche des postes « à risque » - chutes de MRS



Quantification des chutes



Recherche de marqueurs de présence de SNC
dans les effluents et les boues



Évaluer / modéliser le risque

ESB

Gale P. et Stanfield G. (2001). Toward a quantitative risk assessment for BSE in sewage sludge. Journal of Applied Microbiology, 91 : 563-569

En posant :

Dose infectieuse pour les bovins = 0,1g de cerveau infecté et 1g pour l'Homme
0,54 % d'animaux de + 30 mois infectés

→ le risque d'ESB pour un animal en pâture est $7,07 \cdot 10^{-5}$ (Q MRS = 0.01 % alors $7,07 \cdot 10^{-7}$)

→ le risque vMCJ pour l'homme (2% P/P de sol sur légume – sans laver ni peler) = $1,32 \cdot 10^{-7}$
(Q MRS = 0.01 % alors $1,32 \cdot 10^{-9}$)

Au regard de la situation Française (2003 vs 1997 pour Gale et stanfield) :

Animaux de + 24 mois sont testés et environ 1/40 000 à 1/30 000 infectés ESB (équarrissage) = 0,0025 % à 0,0033 %

Q MRS sur données AFSSA = 2,73 g dans les ateliers (et non pas dans les eaux). Pour Gale 1% à 0,0.1 % soit pour 1kg de cerveau et moelle épinière 10 à 0,1g

Ajustement sur les quantités de boues épandues et les doses épandues (différentes pour la France par rapport au description de l'étude de Gale)

Avec valeurs françaises : Risque vMCJ : $3,6 \cdot 10^{-11}$

Quid des effets discrets?

- Effets sur le comportement d' ovins paturant sur des prés épandus avec des boues d'épuration

Le produit Biogaz

- Injection dans le réseau de gaz nat?
 - non autorisée (avis CSHP)
 - Saisine AFSSET « évaluation des risques sanitaires liés à l'injection du biogaz dans le réseau de distribution de gaz naturel »
-
- Aussi biogaz de décharge
 - BINGO: Biogas In Natural Gas Operation
 - BONGO: Biogas and Others in Natural Gas Operation

GT Biogaz AFSSET

- **composition qualitative et quantitative** du biogaz (physico-chimique et microbiologique)
- **identification des dangers** liés à certains composants à risque (comparativement au gaz naturel actuellement distribué)
- **estimation de l'exposition (modélisation)**
- **évaluation des risques** avant et après combustion

- **définition des caractéristiques** d'un biogaz considéré acceptable pour la santé humaine
- en vue d'établir une **monographie type** de biogaz injectable dans le réseau gaz naturel

Chimie

composés majeurs gaz brut :

CH_4 , CO_2 , N_2 , O_2 et H_2O

composés mineurs (majeurs pour les risques) et éléments traces:

H_2S , NH_3 , CO , HAP,
organohalogénés(COV),
organométalliques, particules...

Biologie

- Bactéries pathogènes opportunistes (*clostridium, klebsiella, pseudomonas, streptococcus*, etc.)
- Champignons (*fusarium, mucor*, levure, etc.)
- Spores (**formes de résistances**)
- Virus
- Endotoxines
- **comportements :aérosolisation;**
capacité à former des **biofilms** dans le réseau..

Points sensibles

- efficacité de systèmes d'épuration?
- 1% de COV totaux?
- Référence gaz naturel? Ou air ambiant

- Conclusions et perspectives - MO résiduaire

- Prévention à la source
 - consommer mieux,
 - limiter la pollution dans les réseaux et les déchets
- Collecte sélective (tri qui améliore la qualité des produits compostés)
- Optimiser et caractériser les traitements (ex : suppression des pathogènes)
- Mettre en place la traçabilité du système
- Caractérisation et contrôle des produits (respect de la réglementation, meilleure connaissance des produits)

- Conclusions et perspectives -

- Explorer et développer de nouveaux usages (autre que l'agriculture) :
 - revégétalisation de sites pollués et de CET,
 - ligniculture,
 - espaces verts urbains,
 - pépiniéristes...
- Connaissance de l'efficacité, du mode d'action, de leur combinaison avec les autres pratiques classiques (fertilisation minérale, autres amendements, mulchs...)
- Poursuivre les recherches sur les risques sanitaires et environnementaux...