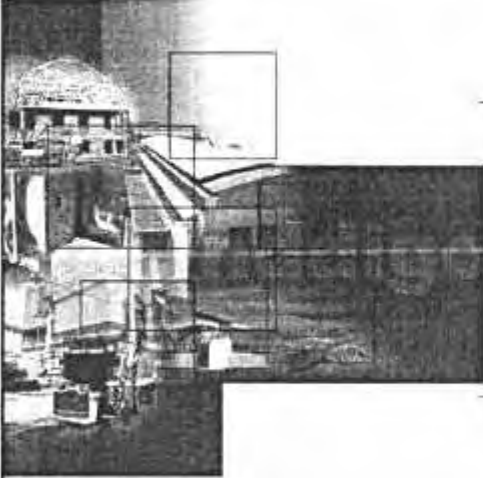


TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Ambroisier 2007

Document de travail

opqbi
2007




**Conseil général
des Alpes-Maritimes**

**Etat de l'art des meilleures
pratiques de traitement des
Ordures Ménagères Résiduelles**

inddigo
Société d'Ingénierie
et de Services

24 avril 2007

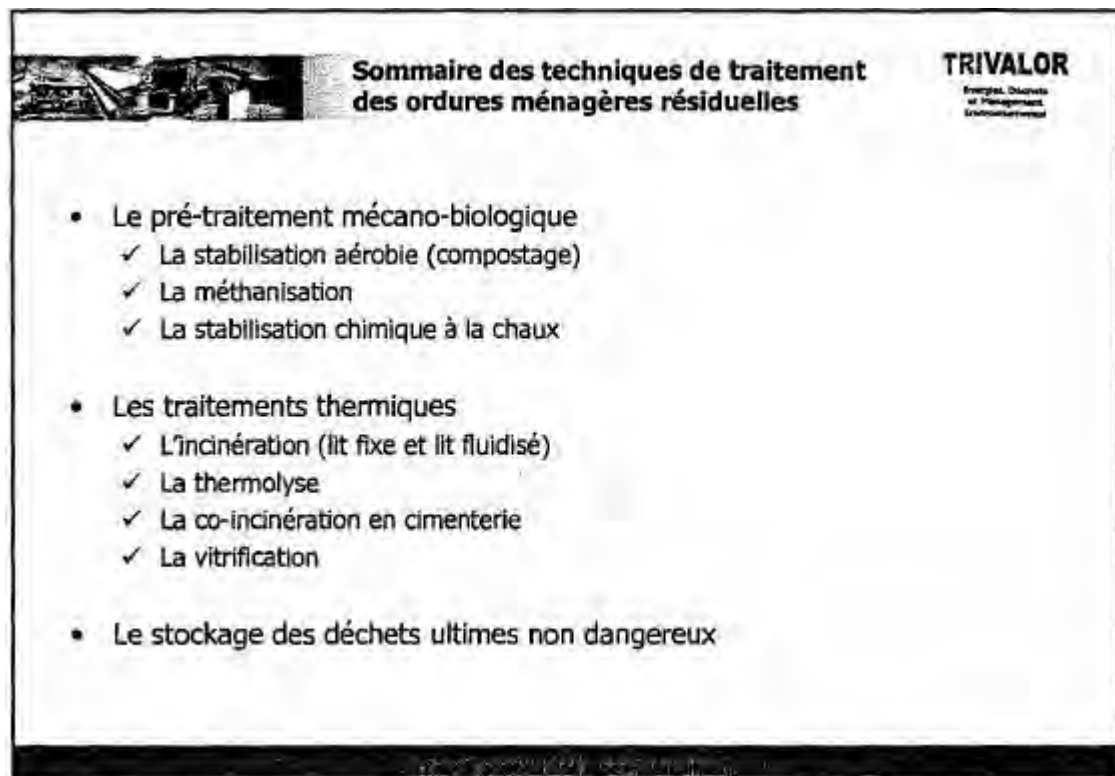
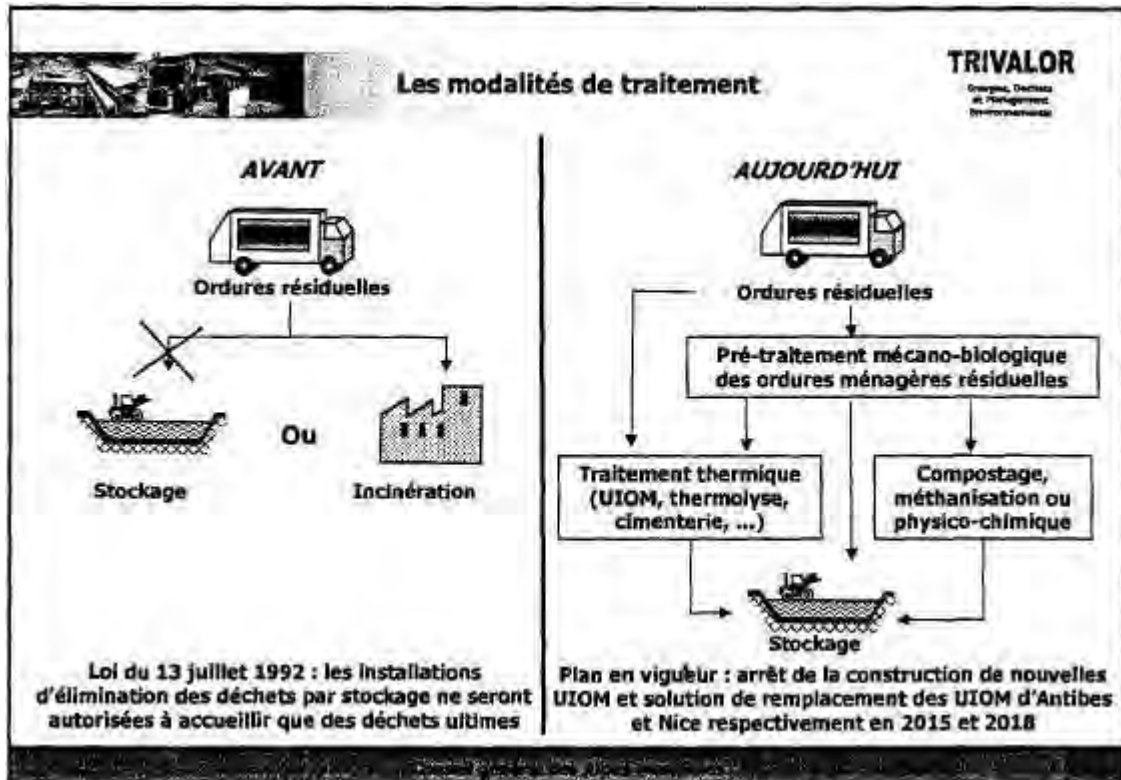
Conseil général des Alpes-Maritimes




Rappel des objectifs du traitement

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Ambroisier 2007

- Obligation par les collectivités de traiter les ordures ménagères résiduelles : maîtrise des nuisances, salubrité publique
- Réduire le volume et le tonnage de déchets à stocker en Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux (**ISDND remplace le terme CSDU**)
- Réduire les nuisances potentielles des déchets à stocker (gaz, lixiviats, odeurs...) pour respecter la réglementation et simplifier la gestion des ISDND






Les atouts de la stabilisation mécano biologique

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Environnemental


- Le pré-traitement mécano biologique se justifie **en amont de l'enfouissement et de l'incinération** :
 - ✓ Meilleure acceptation par les usagers
 - ✓ Fermentation amont maîtrisée
 - ✓ Produit résultant stable et pratiquement inodore
 - ✓ Chaîne complète de traitement
 - ✓ Facilité de gestion de l'ISDND
 - ✓ Moins d'odeurs, de biogaz (90-95%) et de charge organique des lixiviats
 - ✓ Moins de phénomènes de tassement différentiel en ISDN
 - ✓ Augmentation de la durée de vie du centre de stockage (20 à 50 %)
 - ✓ Meilleures conditions pour l'incinération
 - ✓ Moins d'imbrûlés et PCI plus élevé
 - ✓ Moindres quantités à incinérer
 - ✓ Quantités moindres de mâchefers (fraction minérale écartée, car concentrée dans les fines)



Le pré-traitement mécano biologique avant enfouissement ou incinération (MBT en anglais)

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Environnemental


- **Principe**
 - ✓ Le pré-traitement mécanique amont permet :
 - ✓ d'extraire des déchets dangereux (batteries, pots de peinture...),
 - ✓ de séparer les ferrailles et éventuellement d'autres déchets valorisables,
 - ✓ de séparer et préparer les matières fermentescibles,
 - ✓ de séparer éventuellement la fraction grossière combustible.
 - ✓ La stabilisation biologique aval peut se faire par :
 - ✓ compostage (stabilisation aérobie),
 - ✓ méthanisation (stabilisation anaérobie)
 - ✓ traitement physico-chimique (chaulage)



La stabilisation aérobie dans les Alpes-Maritimes

TRIVALOR
Energie, Déchets et Management Environnemental


- ✓ Inscrit dans le Plan et s'appuie sur des technologies validées
- ✓ Le choix des techniques doit être évolutif pour intégrer des tonnages complémentaires, des ouvertures de débouchés, ...
- Atouts et limites dans le contexte des Alpes-Maritimes
 - ✓ Atouts
 - ✓ Procédé potentiellement moins mécanisé que la méthanisation
 - ✓ Pas d'excédent hydrique
 - ✓ Enjeu principal : améliorer les conditions d'enfouissement et l'impact environnemental de l'enfouissement
 - ✓ Limites
 - ✓ Emprise au sol plus importante que la méthanisation
 - ✓ Coût élevé pour des tonnages restreints
 - ✓ Variations saisonnières peu favorables aux processus biologiques



La méthanisation dans les Alpes Maritimes

TRIVALOR
Energie, Déchets et Management Environnemental


- Perception et pérennité
 - ✓ Pertinent pour des déchets contenant une fraction organique importante
 - ✓ S'assurer de la filière de valorisation du biogaz
- Atout et limites dans le contexte des Alpes-Maritimes
 - ✓ Atouts
 - ✓ Valorisation de l'énergie, si site raccordable au réseau EDF ou si valorisation sous forme de carburant
 - ✓ Bonne image liée à la valorisation de l'énergie
 - ✓ Dégradation de la matière organique plus poussée qu'avec le compostage (production de biogaz)
 - ✓ Gestion des odeurs plus aisée (digesteur)
 - ✓ Limites
 - ✓ Nécessité de définir les possibilités de raccordement au réseau EDF
 - ✓ Gestion des excédents hydriques (si absence de compostage)
 - ✓ Pas de retour d'expérience pour l'enfouissement direct du digestat
 - ✓ Peu d'installations à ce jour en service en France
 - ✓ Fragilité des rendements et des résultats en fonction de la composition des OMR
 - ✓ A l'étranger, installations fonctionnant avec des mélanges de matières organiques permettant d'optimiser la production de biogaz



La méthanisation

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Environnement


• Avantages	• Contraintes
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Impact minimum sur l'environnement direct (usine compacte facilement confinée) ✓ Réduction des tonnages d'ordures ménagères résiduelles par dégradation de la matière organique (de l'ordre de 20 à 45 % des tonnages d'OMR entrants) ✓ Valorisation des ordures ménagères résiduelles avec la production d'énergie sous forme de biogaz (électricité, chaleur, carburant) ✓ Possibilité de production de compost avec une étape complémentaire aérobie 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contraintes techniques (phénomène biologique complexe) ✓ Maîtrise de la composition des entrants (régularité, ratio C/N/P) ✓ Sensibilité aux variations d'humidité des déchets entrants ✓ Préparation des déchets (criblage, broyage, tri, malaxage, chauffage...) ✓ Maîtrise du process (température, potentiel Red-Ox, pH, teneur en eau, en NTK) ✓ Pas d'hygiénisation ✓ Gestion de l'excédent hydrique ✓ Difficulté de raccordement pour la vente d'électricité, si site contigu à l'ISDND, souvent isolée



La stabilisation aérobie (compostage)

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Environnement

• Avantages	• Contraintes
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diminution de la teneur en matière organique pour respecter les impératifs réglementaires ✓ Meilleure acceptabilité sociale ✓ Réduction des tonnages d'ordures ménagères résiduelles ✓ Maîtrise des impacts sur l'environnement direct (usine relativement compacte pouvant être confinée) ✓ Hygiénisation par élévation de la température des déchets traités ✓ Pas d'excédent hydrique en installation couverte ✓ Adapté pour des tonnages intermédiaires (minimum de 30 000 à 40 000 t/an) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pas de valorisation énergétique ✓ Importance de la préparation des déchets (criblage, tri, malaxage...), en particulier si valorisation du compost ✓ Emprise au sol importante si valorisation du compost : maturation ✓ Coûts élevés pour une valorisation faible et pour un tonnage détourné restreint en l'absence de valorisation du compost ✓ Nécessité de séparer les déchets dangereux en amont, pour valoriser le compost




La stabilisation chimique à la chaux

TRIVALOR
Energie, Trifluorure
et Traitement
Environnemental

- **Avantages**
 - ✓ Réaction immédiate avec un très faible temps de séjour ; investissement et emprise au sol réduits
 - ✓ Contrôle des odeurs et des lixiviats
 - ✓ Aspect visuel très satisfaisant du produit, sans odeur et d'une coloration uniforme
 - ✓ Facilité d'utilisation du produit.

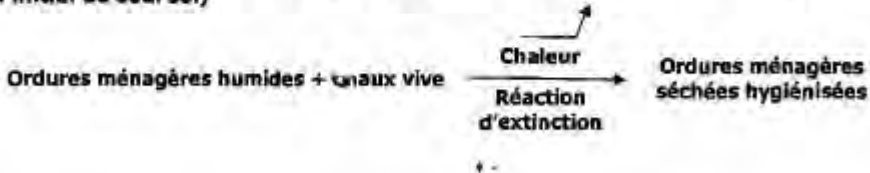
- **Contraintes**
 - ✓ Concernant le produit et les démarches d'écoulement :
 - ✓ Matière organique non dégradée : risque de « famine d'azote » (mobilisation de l'azote du sol pour dégrader les apports carbonés des OM)
 - ✓ Amendement basique et pas organique : utilisateurs intéressés par l'action de neutralisation des sols, pas par le complément organique : Nécessite une démarche d'homologation pour chaque site
 - ✓ Présence d'inertes et de métaux lourds : importance des phases amont et aval
 - ✓ Solubilisation de certains métaux lourds en milieu basique (plomb)
 - ✓ Intéresse des sols acides uniquement : vérifier les possibilités d'écoulement
 - ✓ Ne rentre pas dans la catégorie des composts (amendements organiques), les équilibres chaux/amendements organiques doivent être calculés pour chaque parcelle
 - ✓ Concernant l'installation et la filière
 - ✓ Sans intérêt si envoi en ISDND (augmentation des tonnages)
 - ✓ Extraction de la chaux énergivore et dégage beaucoup de CO₂ (dans les bilans « gaz à effet de serre »)



La stabilisation chimique à la chaux


TRIVALOR
Energie, Trifluorure
et Traitement
Environnemental

- **Principe de fonctionnement**
 - ✓ **Le chaulage, contrairement au compostage, ne minéralise pas la matière initiale d'un produit**
 - ✓ **Le chaulage est un phénomène chimique ayant deux conséquences temporaires :**
 - ✓ **thermique : élévation de température**
 - ✓ **chimique simple : élévation de pH qui n'est que temporaire et qui prend fin lorsque l'amendement est incorporé au sol (celui-ci par son effet tampon ramenant l'ensemble « sol-déchet » à des pH proches de la neutralité, ou au moins proche du pH initial du seul sol)**




```

graph LR
    A[Ordures ménagères humides + chaux vive] -- "Chaleur" --> B[Ordures ménagères séchées hygiénisées]
    A -- "Réaction d'extinction" --> B
    
```




Les traitements thermiques





• Les différents procédés :

- ✓ L'incinération en lit fixe (grille ou rouleaux) : technologie ancienne, bien maîtrisée
- ✓ L'incinération en lit fluidisé (mélange déchets/produit inerte en suspension) : « un transfert de technologie à confirmer » source ADEME- 5 unités en France
- ✓ La thermolyse/pyrolyse (traitement thermique sans apport d'air) : procédé validé au Japon (tri amont très poussé) et à valider en Europe (1 unité en France à Arras – procédé INISE)
- ✓ La co-incinération en cimenterie
- ✓ La vitrification (pour mémoire-adapté aux déchets dangereux et REFIOM)




Bilan matière de l'incinération





Ordures ménagères résiduelles : 100 000 t

↓



UIOM : 100 000 t


← Métaux : 2 500 t

→ Energie nette :

- si électrique : 31 500 MWh
- si chaleur : 91 500 MWh
- si co-génération : 118 500 MWh


↙ Mâchefers : 22 500 t

↘ Ou




Stockage déchets non dangereux

↘




Sous couche routière, remblai


↘ REFIO : 4 000 t



Stockage déchets dangereux




La thermolyse




- **Définition :**
 - ✓ C'est un procédé de traitement thermique, avec chauffage
 - ✓ en l'absence d'air (thermolyse) à une température de 450 à 750 °C
 - ✓ ou en défaut d'air à une température de 700 à 850 °C
 avec production d'un gaz et d'une fraction solide riche en carbone, valorisable


- **Etat du développement en France :**
 - ✓ Procédé Thide mis en service en 2004 à Arras (Arthelyse); capacité de 50 000 tonnes/an
 - ✓ Investissement : 25 millions d'€
 - ✓ Coût pour la collectivité : 90 €/t
 - ✓ Surcoût supporté par le fournisseur



- **Développements ailleurs :**
 - ✓ Très contrasté en Europe avec l'arrêt de plusieurs programmes d'industriels européens (Siemens à Furth(D), Nexus à Digny(F), Thermostelect à Karlsruhe(D)...)
 - ✓ Dynamisme au Japon (coûts supérieurs à 150 €/t)




Incinération : synthèse




- **Avantages**
 - ✓ Réduction maximale des volumes, si valorisation des mâchefers
 - ✓ Emprise foncière limitée
 - ✓ Substitution d'énergie à des énergies fossiles
 - ✓ Faible quantité de sous produits
 - ✓ Technologie maîtrisée
 - ✓ Possibilité de traiter d'autres déchets
 - ✓ Tri amont simplifié (sauf lit fluidisé)

- **Contraintes**
 - ✓ Technologie décriée (dioxines...)
 - ✓ Investissement lourd
 - ✓ Valorisation des mâchefers délicate dans les Alpes-Maritimes (routes proches des cours d'eau)
 - ✓ Peu flexible par rapport aux variations de capacités
 - ✓ Évolution de capacité par paliers élevés
 - ✓ Peu adapté aux petites capacités (moins de 40 000 t/an)



La thermolyse : synthèse




• Avantages


- ✓ Combustible stockable ; valorisation différée (thermolyse non intégrée).
- ✓ Installation de traitement de fumées plus simple et volumes émis plus faibles (moitié de la combustion)
- ✓ Moindre production de dioxines et NOx
- ✓ Meilleure valorisation des métaux non oxydés
- ✓ Adaptation à des unités de taille moyenne

• Contraintes

- ✓ Devenir de la fraction carbonée non identifié par la réglementation (saturation des filières industrielles : cimenteries,...)
- ✓ Avantages limités, si la fraction carbonée doit être incinérée sur le site
- ✓ Coût final encore mal maîtrisé (cas du Lot, où les réponses des candidats dépassaient fortement le coût d'objectif)
- ✓ Un manque de recul industriel pour estimer les coûts réels
- ✓ Incertitudes vis-à-vis de l'hétérogénéité des OMR en France





La co-incinération en cimenterie



• Principes


- ✓ Par un tri mécanique, création d'une fraction relativement sèche avec un PCI élevé intéressant des repreneurs pour un combustible de substitution
- ✓ Criblage, tri, extraction des ferreux, broyage pour une granulométrie adaptée, tri densimétrique, séchage
- ✓ Evolution des matières premières à contre courant des gaz de combustion de la flamme à très haute température





M.C.A. : Matières et Combustibles Alternatifs


Reboiler



Le stockage des déchets ultimes non dangereux

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Environnemental


- Une nouvelle génération de centres de stockage
 - ✓ Étanchéité totale des casiers
 - ✓ Récupération poussée des lixiviats et du biogaz
 - ✓ Des déchets admis secs et dont la matière organique est stabilisée ou séparée avant enfouissement
- Une activité industrielle loin de la décharge de nos parents, avec des perspectives innovantes opérationnelles
 - ✓ Zéro rejet dans le milieu naturel (évaporation forcée des lixiviats),
 - ✓ Limitation des transports avec un réseau décentralisé de centres de stockage,
 - ✓ Dégradation accélérée des déchets enfouis (bioréacteur),
 - ✓ Extraction des matériaux dans une ancienne décharge et vide de fouille
 - ✓ Réflexions sur le stockage couvert



La co-incinération en cimenterie

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Environnemental

Avantages	Contraintes
<ul style="list-style-type: none">✓ Diminution des tonnages à enfouir par production d'un nouveau produit✓ Valorisation énergétique d'une fraction des OMR✓ Diminution des gaz à effet de serre	<ul style="list-style-type: none">✓ Filière à construire: valider les besoins et la pérennité<ul style="list-style-type: none">✓ Cimentiers très sollicités pour reprendre divers produits : farines animales, produits industriels (poudres de pneus, ...)✓ Difficulté de contractualiser sur du long terme✓ Des valeurs hétérogènes de la fraction combustible<ul style="list-style-type: none">✓ Liées aux procédés et au conditionnement de cette fraction✓ Liées à la composition des OMR et à leur saisonnalité✓ En concurrence avec des produits à PCI constants et plus élevés✓ Équilibre entre réponse aux besoins et économie de la filière délicat<ul style="list-style-type: none">✓ Coût de préparation et coût de reprise



Le bioréacteur


TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Environnemental

✓ **Avantages**

- ✓ Suivi et régulation de la dégradation des déchets
- ✓ Diminution de la durée d'activité des casiers (réhabilitation plus rapide : tassements apparaissant plus tôt, réduction de la maintenance des sites après exploitation)
- ✓ Réduction de la charge organique et du volume des lixiviats
- ✓ Accélération de la production de biogaz et de sa valorisation
- ✓ Pas de création de bâtiments nouveaux ou de nouvelles techniques à faire accepter

✓ **Contraintes**

- ✓ Maîtrise délicate de l'homogénéité des casiers (création de chemins préférentiels)
- ✓ Maîtrise délicate du processus (potentiel Red-Ox, température, pH, teneur en eau)
- ✓ Évolution de la densité des produits stockés (tassements différentiels)
- ✓ Nécessité de casiers spécialement conçus
- ✓ Technique en phase de développement (en France) : pas de recul économique
- ✓ Performances réelles de captage de biogaz (surtout en phase de remplissage)
- ✓ Le personnel œuvrant doit être plus compétent



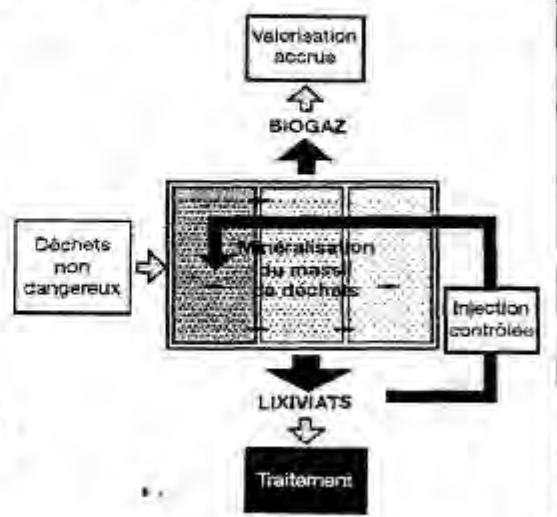
Le bioréacteur

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Environnemental

• Principe de fonctionnement


Extrait de la plaquette FNADE - Le bioréacteur

- ✓ **Accélérer la dégradation des déchets stockés dans une ISDND par recirculation des lixiviats au sein du casier**
 - ✓ Réduire de moitié la durée de vie et de captage du biogaz dans les casiers (10 ans au lieu de 20 ans)
 - ✓ Récupérer plus vite de l'énergie
- ✓ **Quelques essais industriels sur de ISDND en France**
 - ✓ La Vergne (85)
 - ✓ Montech (82)



```


graph TD
    A[Déchets non dangereux] --> B[Méthanisation du matériel déchets]
    B --> C[Valorisation accrue]
    B --> D[BIOGAZ]
    D --> C
    B --> E[LIXIVIATS]
    E --> F[Traitement]
    G[Injection contrôlée] --> B
    
```



Le site de stockage idéal

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Environnemental

- ✓ Centre de stockage réservé aux déchets secs
- ✓ Implanté dans une ancienne carrière d'argiles à perméabilité 1.10^{-9} m/s sur plus de 6 m (ou à défaut reconstitution d'une barrière passive)
- ✓ Hors de tout réseau hydrographique
- ✓ Mise en balle
- ✓ Exempt d'aquifère sous-jacent
- ✓ Superficie pour 20 ans d'exploitation
- ✓ Embranchement autoroutier / ferroviaire
- ✓ Accès facilité (pas de traversée de village)
- ✓ + de 10 km d'un aérodrome
- ✓ Pas de contraintes réglementaires et environnementales



?


? SOUHAITE ?

PAR LA

POPULATION

? LOCALE ?

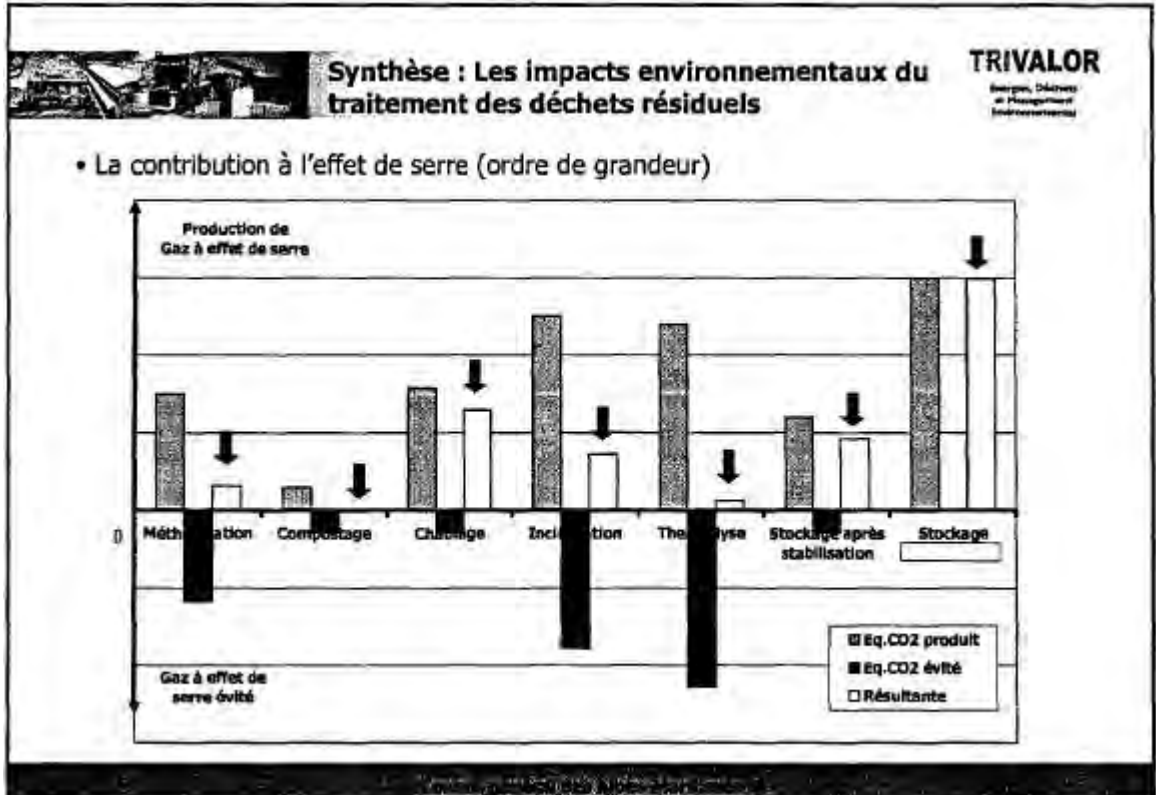
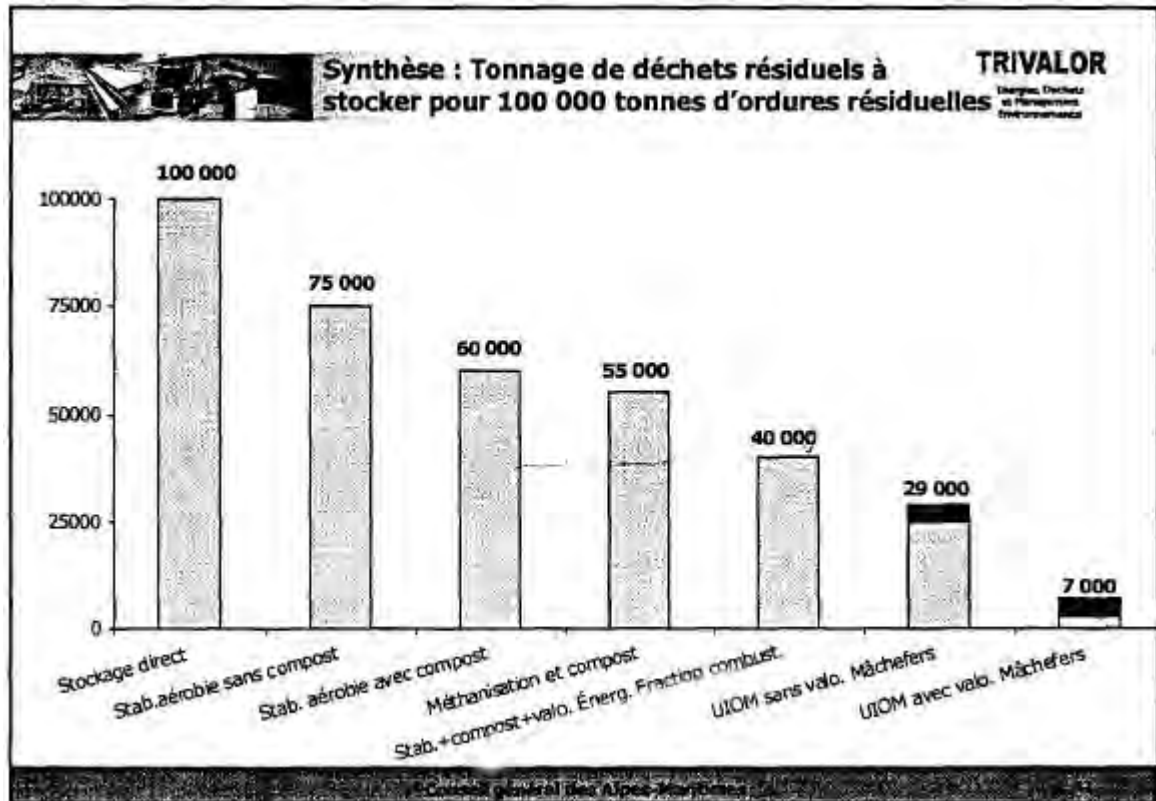
?



Synthèse : Ordres de grandeurs financiers pour 60 000 t/an

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Management
Environnemental

Type de traitement	Coût d'investissement M €	Coût de fonctionnement (€/t entrante)	Coût global (€/t entrante)
Mise en ISDND simple (transfert compris)			80 à 110 €/t
Stabilisation simple sans production de compost (transfert et stockage compris)	14 à 20	13 à 20 €/t	100 à 130 €/t
Stabilisation avec production de compost (transfert et stockage compris)	18 à 30	20 à 30 €/t	90 à 115 €/t
Stabilisation avec production de compost et valorisation énergétique de la fraction combustible en UIOM (transfert et stockage compris)	18 à 30	20 à 30 €/t	110 à 135 €/t
Stabilisation par méthanisation (transfert et stockage compris)	24 à 48	25 à 35 €/t <i>Recettes déduites</i>	105 à 140 €/t
Incinération (hors transfert, car proximité)	40 à 44	45 à 55 €/t <i>Recettes déduites</i>	95 à 110 €/t
Thermolyse (hors transfert, car proximité)			> 150 €/t à l'étranger
Co-Incineration en cimenterie (transfert compris)	40 à 44	45 à 55 €/t <i>Recettes déduites</i>	85 à 135 €/t





Synthèse : 5 priorités pour l'acceptation d'un nouveau centre de stockage dans le bassin de vie

TRIVALOR
Energie, Déchets
et Développement
Environnemental

- ✓ Recenser les sites accessibles par camion sans traverser des zones habitées à proximité (contournement, route spécifique à créer, ...)
- ✓ Réduire au maximum les quantités de déchets produits par les ménages et les entreprises, par tous les moyens possibles :
 - ✓ mesures fiscales, par l'instauration de la redevance spéciale,
 - ✓ réduction de la production de déchets, avec une démarche exemplaire dans toutes les collectivités (mairies, établissements scolaires, administrations ...),
 - ✓ séparation des déchets dangereux,
 - ✓ renforcement des collectes sélectives auprès des ménages ;
- ✓ faire subir un pré-traitement suffisant pour diminuer au maximum le volume des déchets résiduels à enfouir,
- ✓ stabiliser les matières organiques pour que les déchets résiduels deviennent peu évolutifs et « secs », sans risques de mauvaises odeurs et autres nuisances (envols, ...)
- ✓ intégrer les installations dans le milieu naturel et le bassin de vie.