

Michel LEGEAY Consultant

Les valorisations en énergie des déchets

Essonne Nature Environnement

Mars 2016



BONJOUR

**BIENVENU A LA CONFERENCE N°3 SUR
LA VALORISATION DES DECHETS**



Sommaire

1 – Introduction générale - Rappels

**2 – La méthanisation, une valorisation
énergétique naturelle mais dirigée et maîtrisée.**

**3 – L'incinération et les nouveaux outils de
valorisation énergétique.**

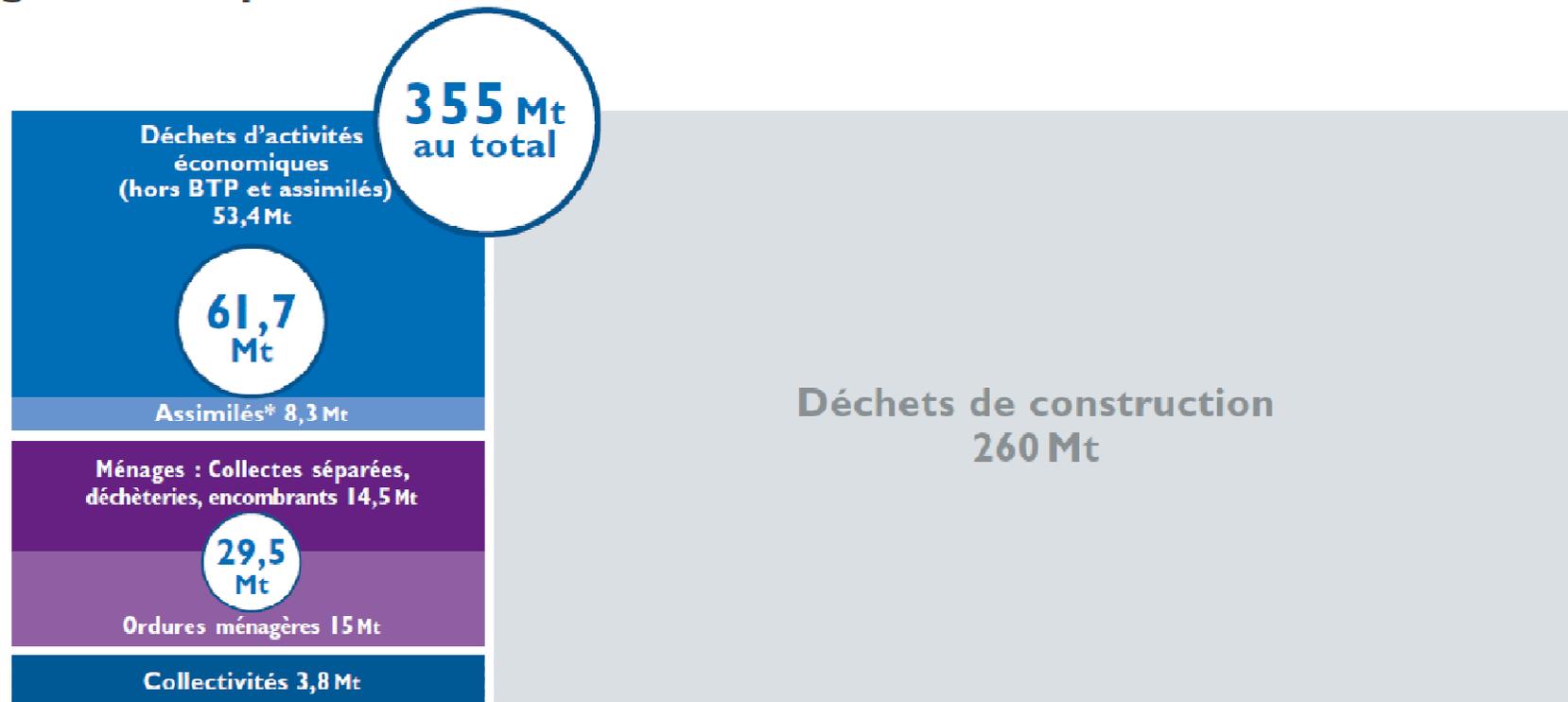


1 - INTRODUCTION ET RAPPELS



Grandes valeurs de production et de gisement de déchets

Figure 5 : La production de déchets en France en 2010



* Déchets des activités économiques (DAE) collectés par le service public

Source : Eurostat – RSD 2010, ADEME – Enquête Collecte 2011, Estimations In Numeri

+ Déchets agricoles : 380 Mt

Rappels réglementaires - responsabilités

UN PRINCIPE DE BASE : POLLUEUR = PAYEUR

RESPONSABILITE DES COLLECTIVITES LOCALES (communes, EPCI, syndicats...) :
Art. L 2224-13 du CGCT « Les communes ou groupements de communes (...) assurent l'élimination des déchets des ménages et des espaces publics (...) »

RESPONSABILITE DU PRODUCTEUR DU DECHET (agriculteurs, industriels, artisans, commerçants, sociétés...)

Art. L 541-2 du CE : Toute personne qui produit ou détient des déchets (...) est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination (...)

FILIERES A RESPONSABILITE ELARGIE DU PRODUCTEUR

Elles permettent le transfert de la responsabilité de gestion des déchets des Collectivités vers les Producteurs

Législations d'origines

Trois grandes lois participent à l'encadrement des activités environnementales et économiques des déchets:

LOI DU 15 JUILLET 1975, n°75-633 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux modifiée par la **LOI DU 13 JUILLET 1992**, n°92-646 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement

LOI DU 10 JUILLET 1976, n°76-629 relative à la protection de la nature

LOI DU 19 JUILLET 1976, n°76-663 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement

Codifiées dans le Code de l'Environnement

Grands objectifs et principes législatifs (1/2)

Q

QUATRE OBJECTIFS

- ▼ **Prévenir** ou réduire la production et la nocivité des déchets
- ▼ Organiser le transport des déchets et **le limiter en distance** et en volume
- ▼ **Valoriser** les déchets par réemploi, recyclage, ou autre...
- **Assurer l'information du public**

Grands objectifs et principes législatifs (2/2)

T

TROIS PRINCIPES

- ▼ **Principe de proximité** - Les déchets doivent être traités le plus près possible de leur lieu de production
- ▼ **Principe d'information** - Les exploitants, publics ou privés, doivent communiquer à l'administration et aux usagers les documents prévus par la loi
- ▼ **Principe de planification** - Les départements ont en charge la gestion des déchets ménagers et assimilés, les régions ont en charge la gestion des déchets dangereux

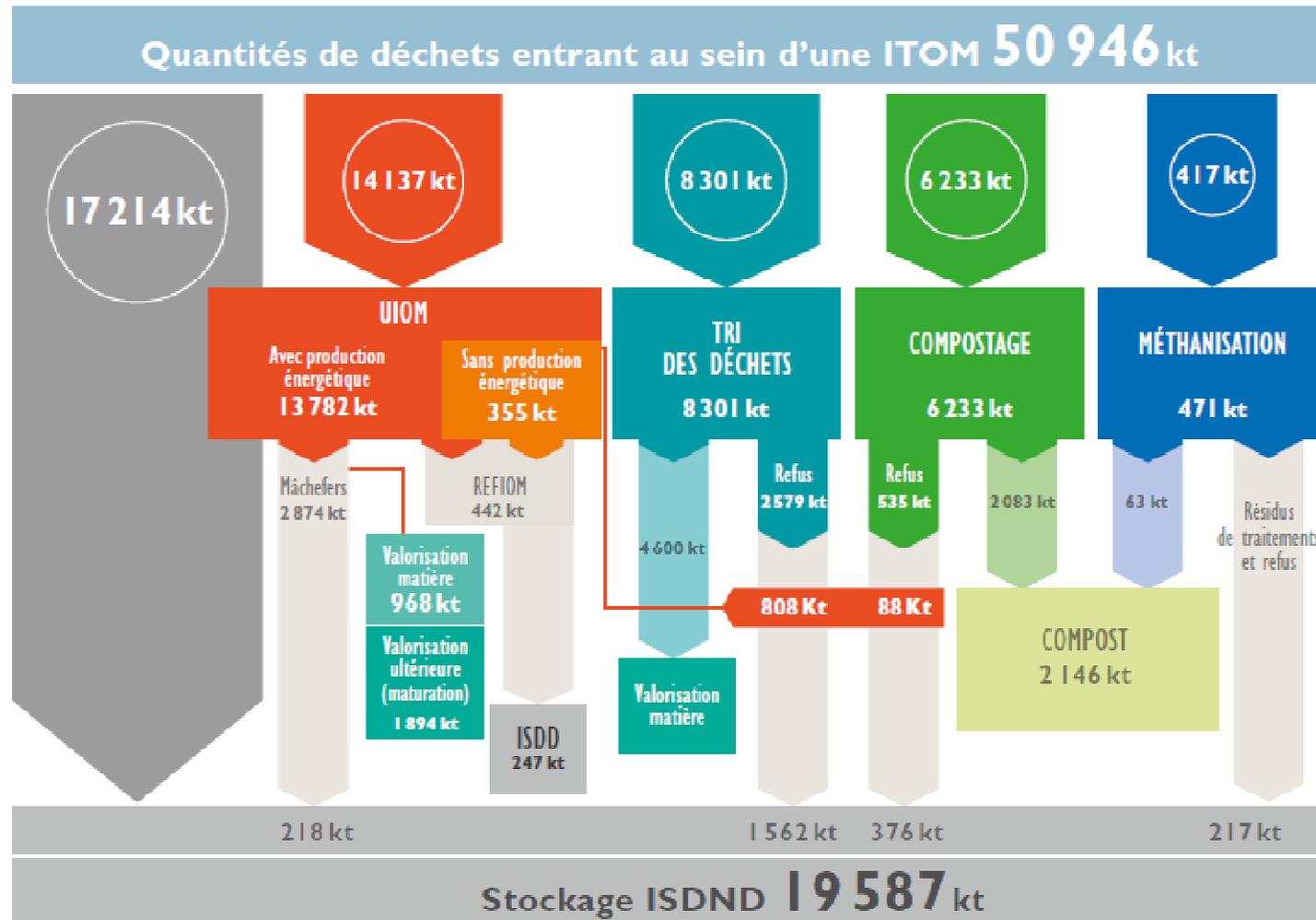
Rappels des principaux éléments de cadrage actuels

• **Directive Européenne cadre**, du 19/11/2008 sur les déchets visant à protéger l'environnement et la santé humaine par la prévention des effets nocifs de la production de déchets par ordre de priorité :

- 1. prévenir la production de déchets**
- 2. préparer les déchets en vue de leur réemploi**
- 3. les recycler**
- 4. les valoriser en énergie**
- 5. les éliminer de manière sûre et dans des conditions respectueuses de l'environnement.**

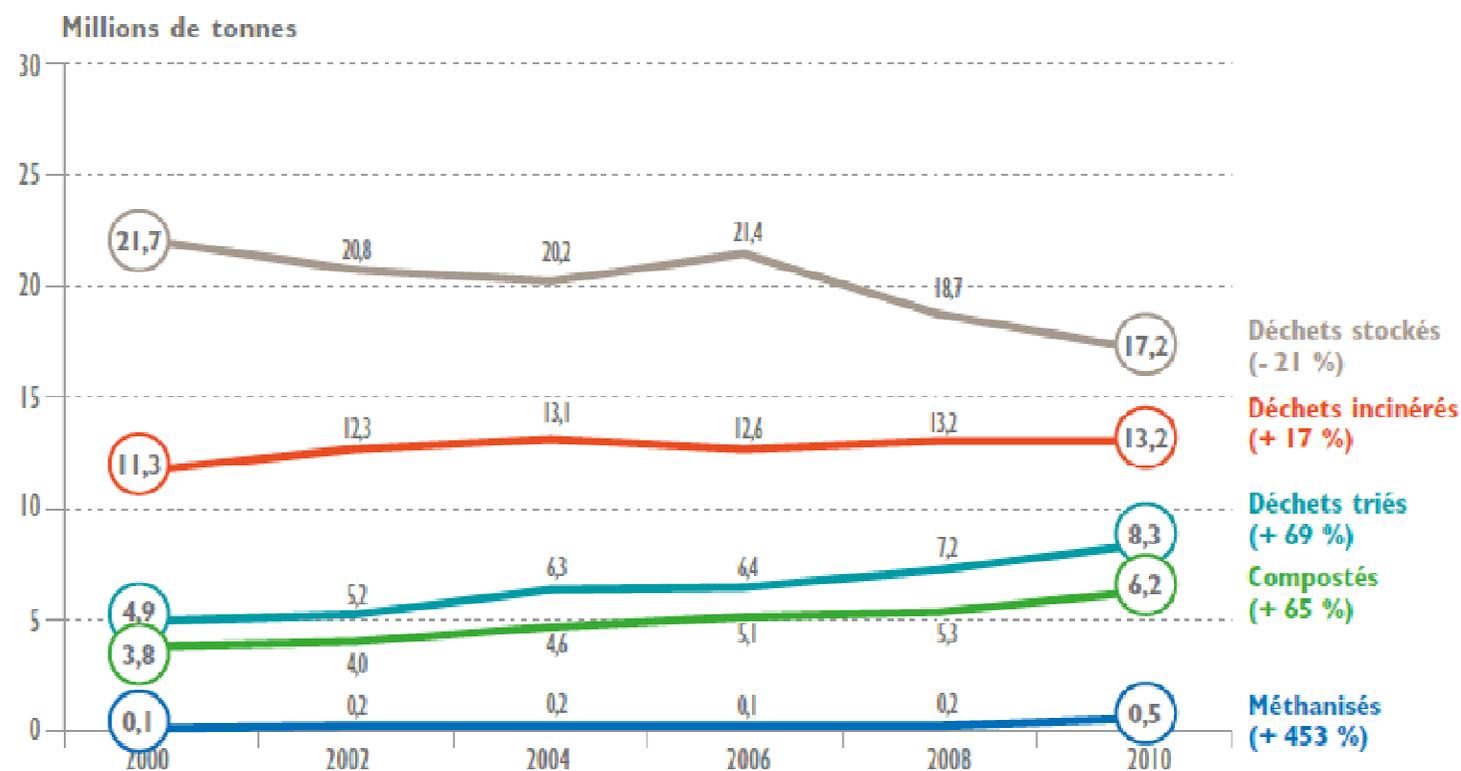
Déchets ménagers et assimilés

Tonnages entrants dans les ITOM (2010)



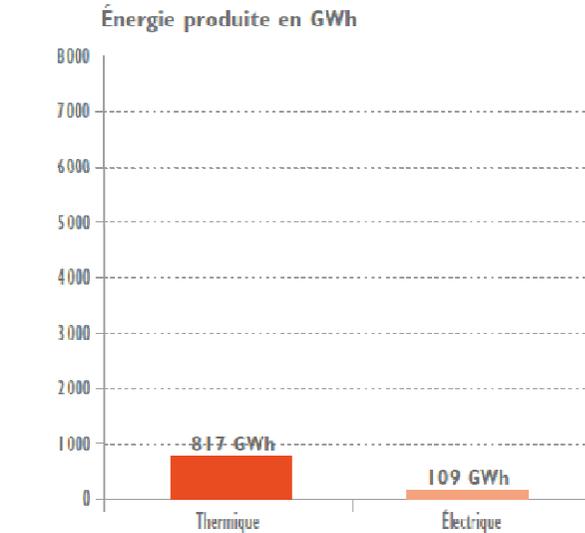
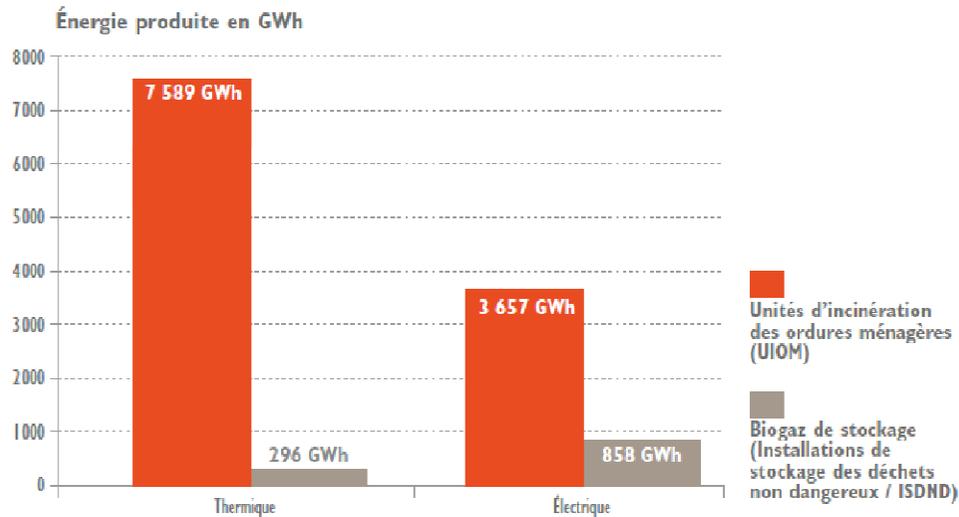
Source : ADEME – Enquête ITOM 2010

Evolution des tonnages traités



Source : ADEME – Enquêtes ITOM

Production d'énergie (2010)



Remarque : les données incluent la valorisation énergétique du biogaz issu des boues d'épuration et de la méthanisation des effluents agricoles des IAA et OM.

Unités de valorisation énergétique

114 UIOM → 11 246 GWh
(dont 9 697 GWh vendus)

ISDND

80 ISDND → 1 100 GWh
(dont 891 GWh vendus)

Méthanisation

→ 926 GWh
(y compris boues urbaines + déchets agricoles + IAA)

Eté 2015 : Loi sur la Transition énergétique

Objectifs de la loi



-40 % d'émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à 1990



-30 % de consommation d'énergies fossiles en 2030 par rapport à 2012



Porter la part des énergies renouvelables à **32 %** de la consommation finale d'énergie en 2030 et à **40 %** de la production d'électricité



Réduire la consommation énergétique finale de **50 % en 2050** par rapport à 2012



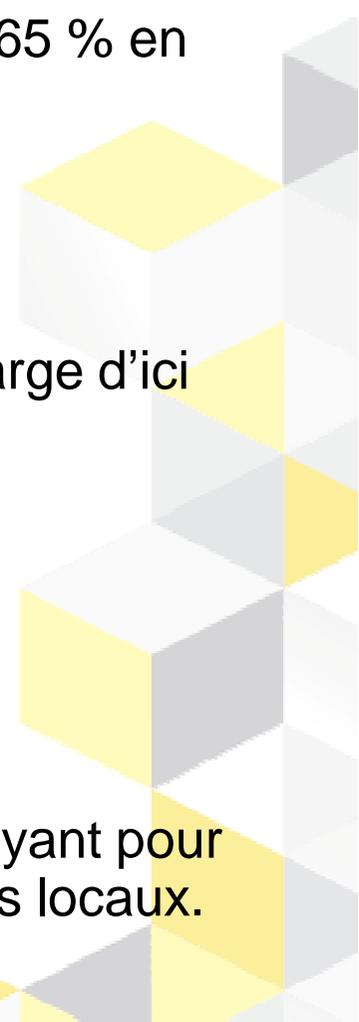
- **50 %** de déchets mis en décharge à l'horizon 2025



Diversifier la production d'électricité et baisser à **50 %** la part du nucléaire à l'horizon 2025

Eté 2015 : Loi sur la Transition énergétique

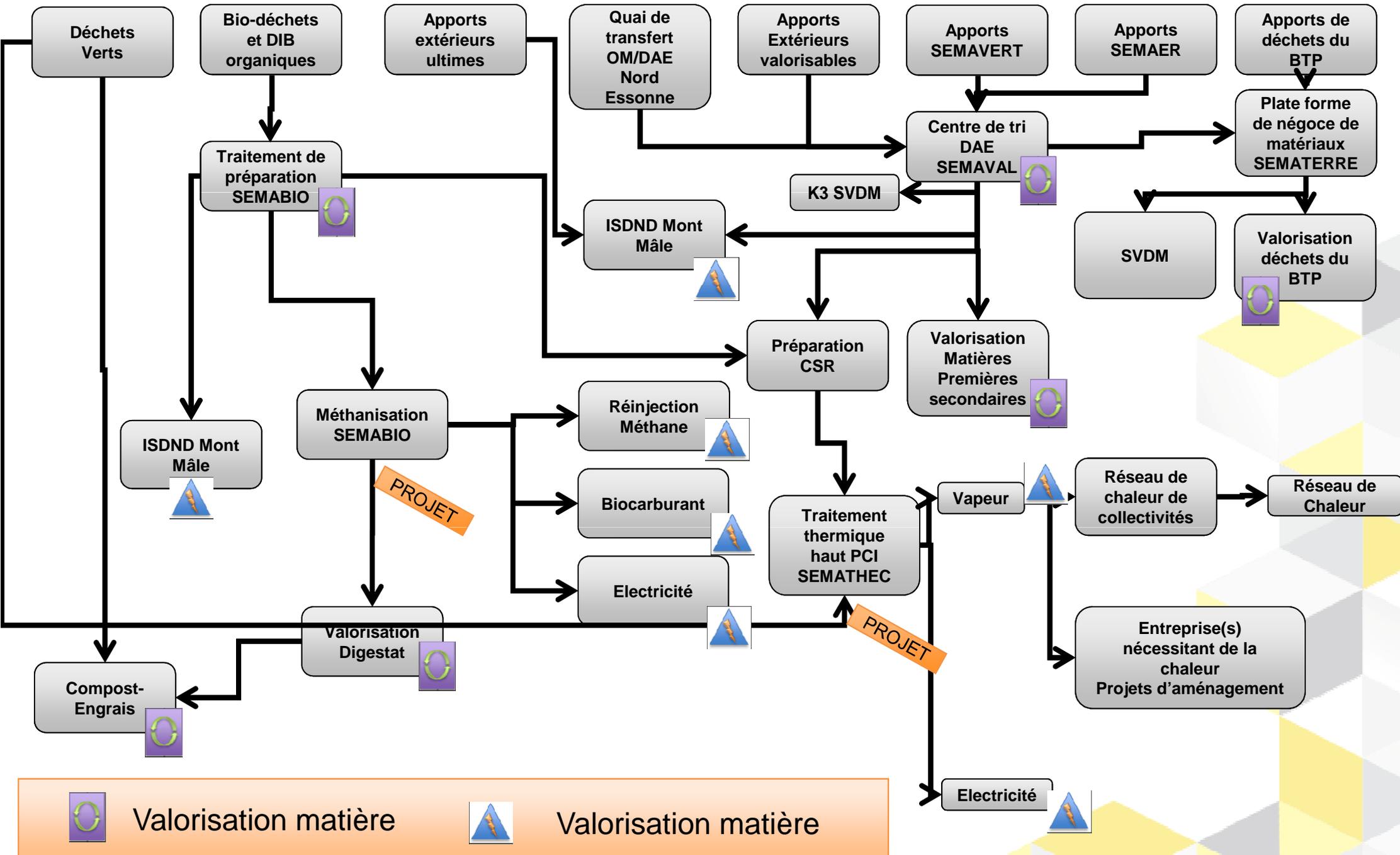
Principales incidences sur les déchets

- Réduction de 10 % des déchets ménagers et assimilés (DMA) produits d'ici 2020,
 - Recyclage/Valo matière de 55 % des déchets non dangereux en 2020 et 65 % en 2025,
 - Valorisation de 70 % des déchets du BTP à l'horizon 2020,
 - Réduction de 50 % des quantités de déchets globalement mises en décharge d'ici 2025 (soit – 10 MT),
 - Généralisation du tri à la source des bio déchets d'ici 2025,
 - Extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages plastiques,
 - Ouverture de la valorisation énergétique aux CSR dans des installations ayant pour finalité la production de chaleur ou d'énergie. Dimensionnement aux besoins locaux.
- 

**Exemple de mutation d'un ensemble
d'unités de traitement vers un Ecosite de
valorisation et de production d'ENR
entre 2007 / 2020**



Un développement systématique et complémentaire des voies de valorisation

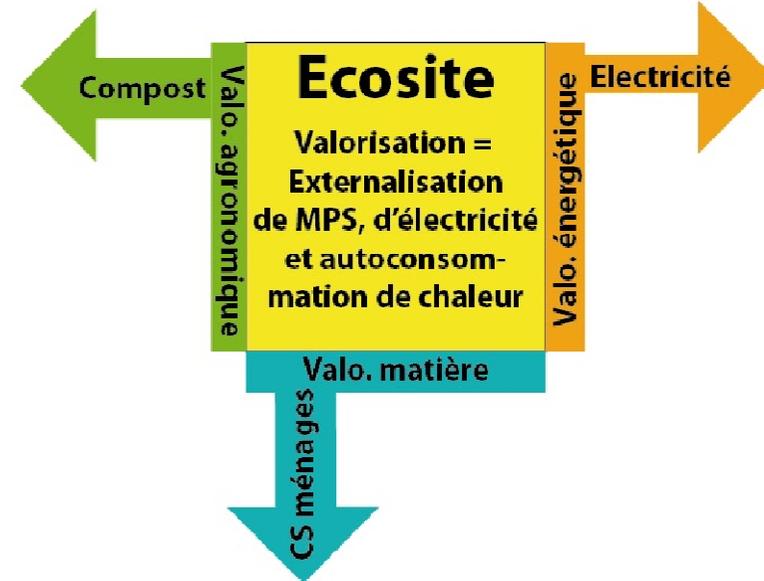


Un modèle de développement vers l'externalisation de MPS et d'énergies

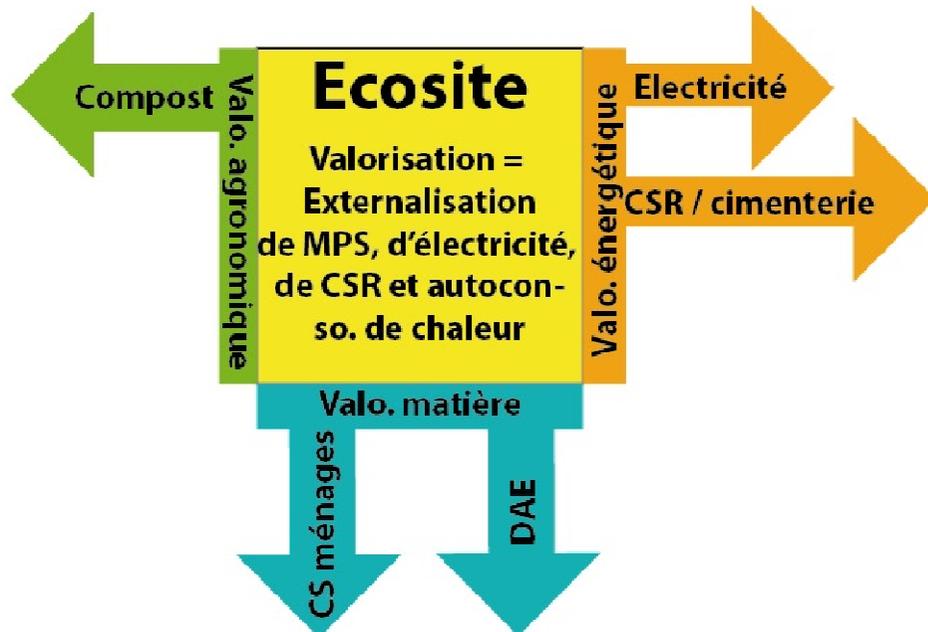
Avant le milieu des années 90



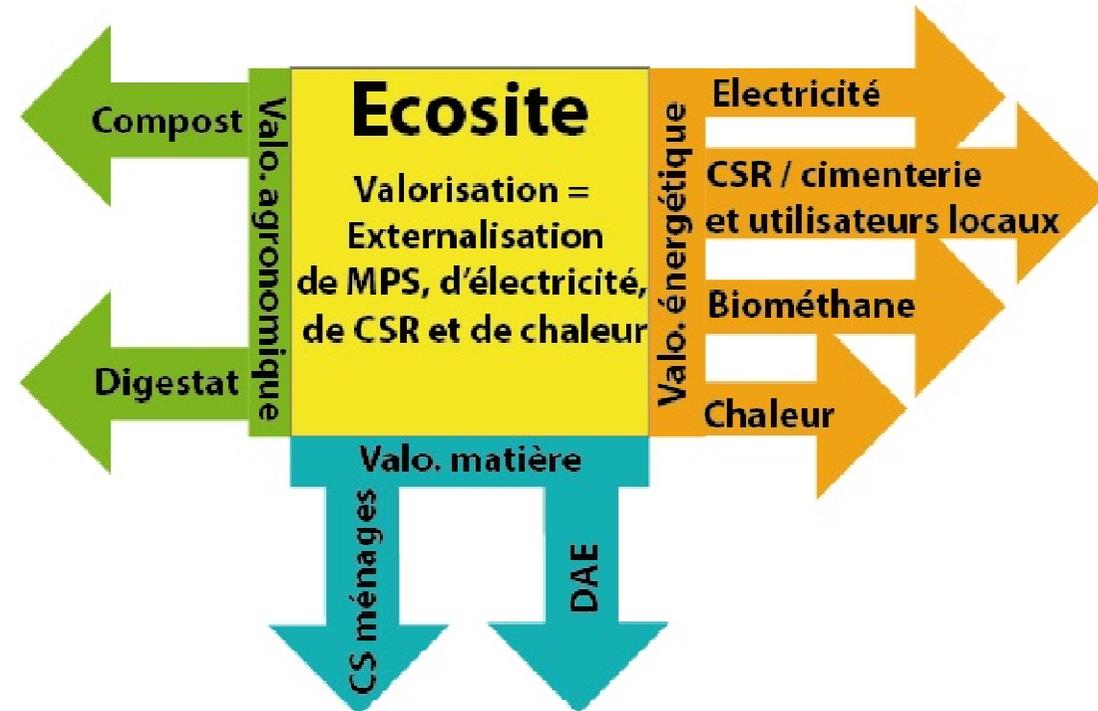
Période 2000 / 2010



Période 2010 / 2015



> 2020 / 2030



2 - METHANISATION



Le biogaz

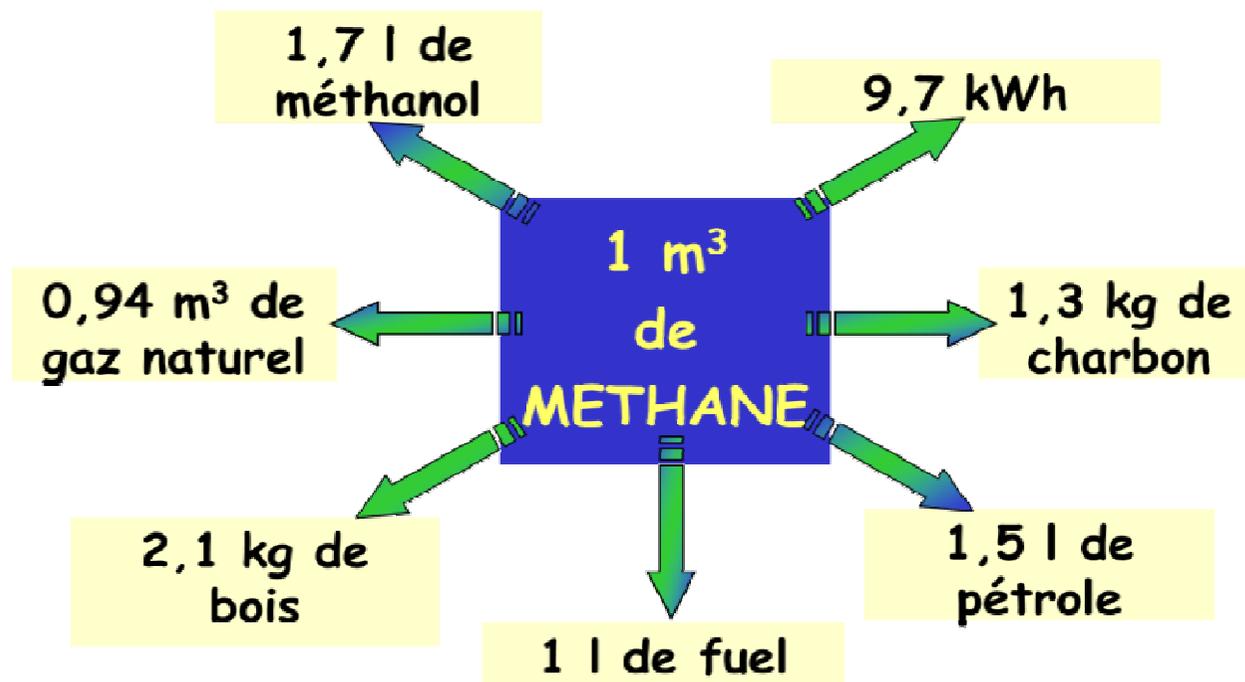
Composition :

- **Méthane** 50 à 70 %
- Gaz carbonique 30 à 50%
- Avec H₂S 100 à 3000 ppm (ml/m³),
- H₂O, NH₃, COV, CO ... à très faibles concentrations
- Nécessite des **post-traitements** en fonction de l'utilisation choisie (chaudière, cogénérateur, injection réseaux, bio-carburant...)

Le digestat (liquide+solide)

- **Fraction liquide** : eau, matières solubles, 70 % de l'**azote**, 90 % du **potassium**, 30 % du **Phosphore**, minéraux
- **Fraction solide** : matières non organiques utilisées (amendement organique), azote organique, majorité du phosphore, peu de K .
 - Epannage
 - Fabrication d'engrais (struvite , nitrate d'ammonium...)

Equivalence énergétique du méthane



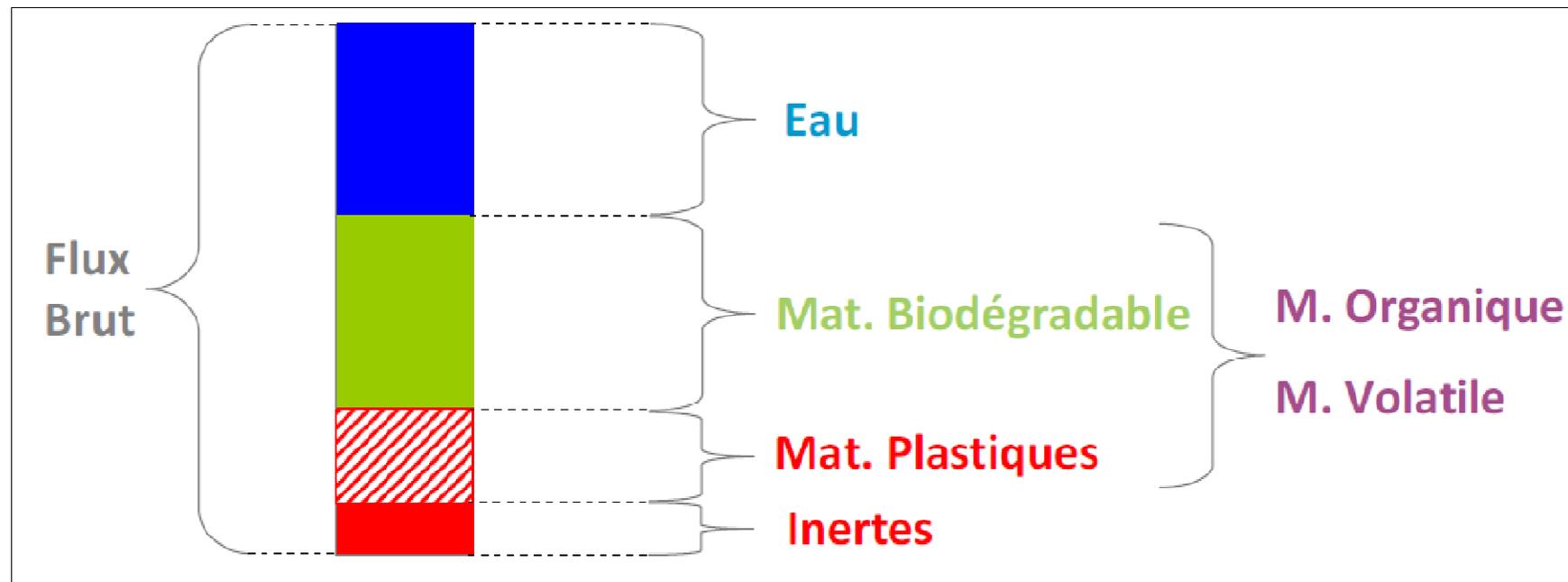
Éléments sur les étapes du procédé



Pré-traitements - déconditionnements

▼ Objectif de l'équipement:

■ Extraire la matière biodégradable pour la traiter biologiquement



■ Equipement adapté au flux à traiter et au traitement aval

Type de procédés

▼ Selon la teneur en matière sèche

▼ - Les procédés à voie humide (< 15 % de matière sèche) : on retrouve ces types de procédés pour les effluents dits liquides (boues, lisiers, ...). Ils peuvent être utilisés pour les déchets solides, lesquels nécessitent alors une dilution.

▼ - Les procédés à voie sèche (15 % à 40 % de matière sèche). Les procédés en voie sèche ont surtout été développés pour traiter les déchets solides. Ces procédés nécessitent un volume moindre (substrat concentré) mais une bonne maîtrise de la circulation de la matière (pompage et brassage).

▼ Le tableau ci-dessous illustre les différences entre méthanisation par voie sèche et humide :

	Méthanisation par voie humide (< 15 % de matière sèche)	Méthanisation par voie sèche (15-40 % de matière sèche)
Avantages	Bonne homogénéisation du substrat Optimisation du transfert de matière et de chaleur Amélioration de la production de biogaz	Flux de matière limité Taille réduite du méthaniseur Taux de matière sèche équivalent à celui de déchets entrants
Inconvénients	Flux de matière élevé (car dilution) Coût de déshydratation du digestat Production forte de jus et de lixiviats Important volume des réacteurs	Conditions moins favorables des transferts matière et chaleur

Un complément indispensable : le plan d'épandage

Plan d'épandage des sous-produits de méthanisation :

Arrêté du 17 août 1998

Programmes d'actions pour la protection des eaux contre les pollutions par les **nitrate**s d'origine agricole

Zones de protection de l'environnement (captages, NATURA...)



Le projet SEMABIO

Entrants 72000 T/an

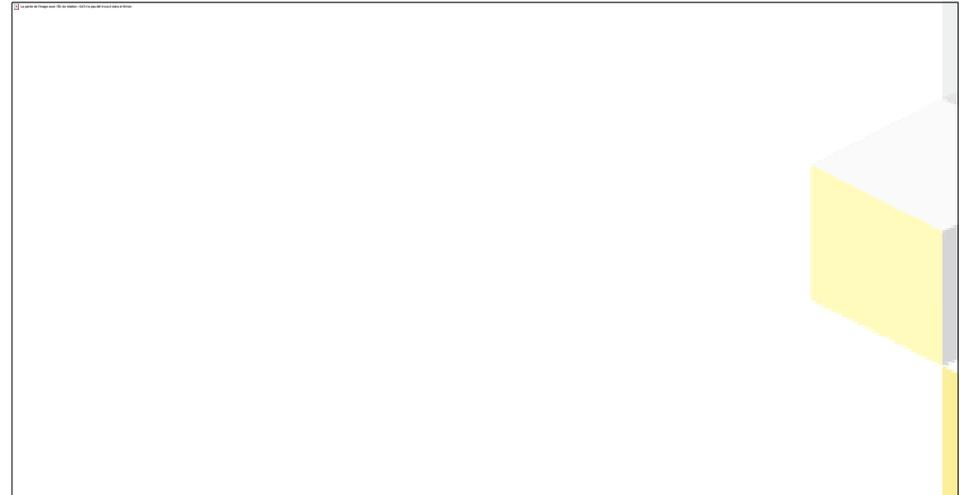
- Effluents lactiques
- Déchets agroalimentaires liquides
- Fumier bovins
- Graisses collecteurs
- Biodéchets cantines
- Biodéchets supermarchés
- Graisses aéro-flottation
- Déchets agroalimentaires solides
- Glycérine
- Issus de silos
- Tonte de gazon

Pas de déchets ménagers ni de boues de stations d'épuration urbaines

Sortants T/an

- 6 000 000 m³ CH₄
- 5 400 000 m³ de CO₂
- 58300 t/an digestat brut

**Quatre stratégies possibles
d'exploitation des produits**



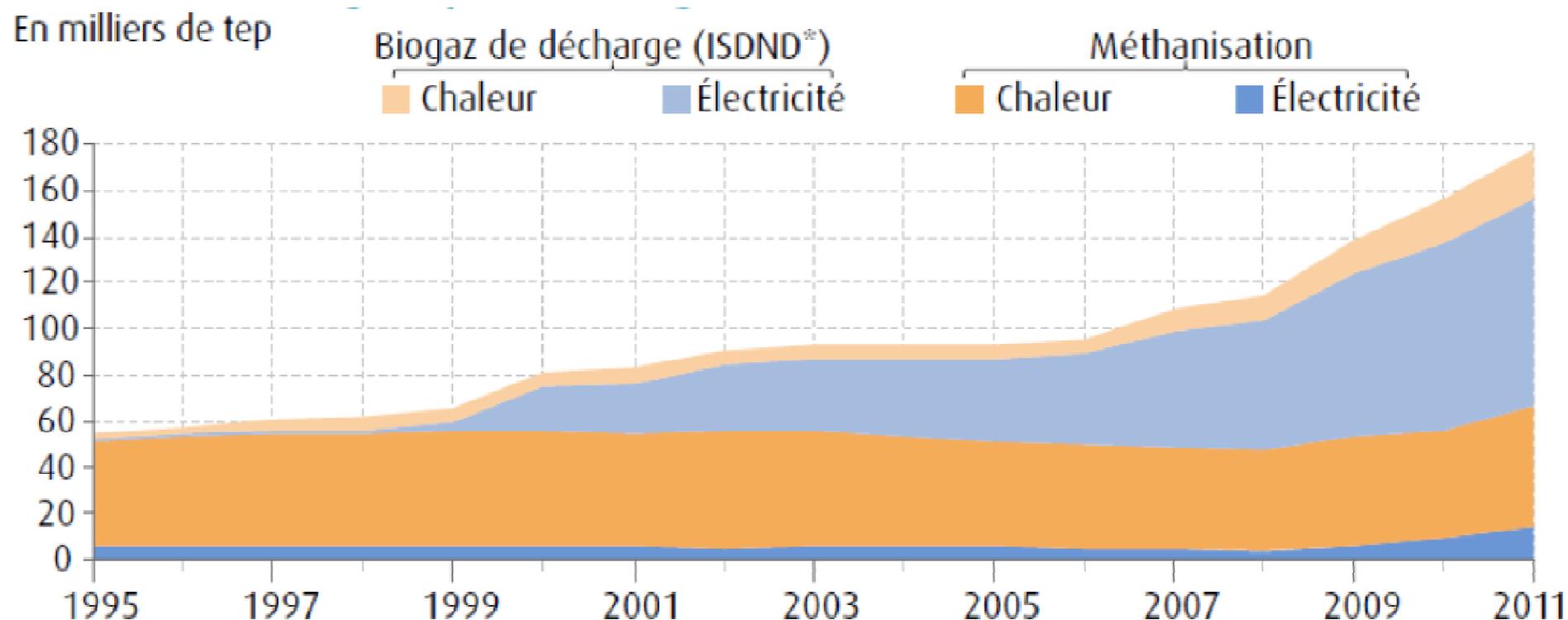
LES CSDND

N'oublions pas qu'une autre installation relativement ancienne produit aussi du biogaz : les CSDND.

Ces installations se sont progressivement équipées en réseau de captage du biogaz, d'abord pour garantir moins d'odeurs autour des installations, puis pour bénéficier d'un rabais sur la TGAP. Cette dernière mesure fiscale a été beaucoup plus convaincante que le seul respect environnemental.

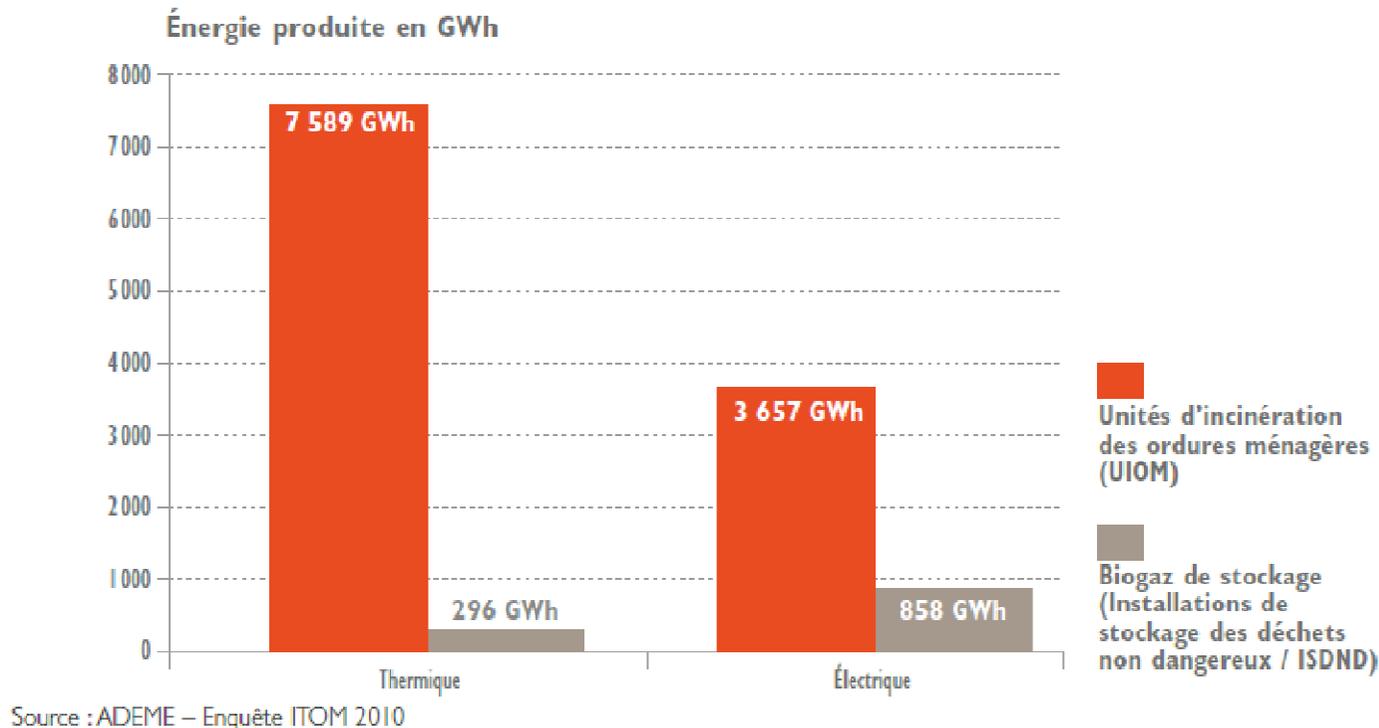
ISDND et énergie : une valorisation relativement récente

Source : Mission d'évaluation de politique publique – La gestion des déchets par les collectivités territoriales – Décembre 2014



Source : SOeS, enquête Production d'électricité, ADEME.

ISDND : un « méthaniseur » lent



Unités de valorisation énergétique

114 UIOM → 11 245 GWh
(dont 9 697 GWh vendus)

ISDND

80 ISDND → 1 100 GWh
(dont 891 GWh vendus)

→ Nombre d'ISDND : 244 (ITOM 2010)

→ Potentiel énergétique issu du biogaz d'ISDND est 5 à 6 fois moindre que le potentiel énergétique issu de l'incinération

3 - L'INCINERATION ET LES NOUVEAUX OUTILS DE VALORISATION ENERGETIQUE



1- Introduction à la valorisation thermique



Les transformations thermiques

COMBUSTION :

- transformation exothermique par réaction d'oxydoréduction des composés carbonés et hydrogénés dans le but de produire de l'énergie thermique ou électrique.

INCINERATION :

- transformation exothermique de déchets par oxydation dans le but de les détruire en valorisant ou non l'énergie produite.

PYROLYSE :

- Transformation faiblement exothermique de produits carbonés en atmosphère réductrice à basse température (350°C – 5 50°C).

GAZEIFICATION :

- Transformation endothermique de produits carbonés en absence d'oxygène à haute température (850°C – 950°C) en combinaison avec l'eau.



Conduite optimale d'un incinérateur

- ▼ La valorisation énergétique des déchets, recherchée dans les installations de traitement thermique, est, *a priori*, en contradiction avec les bonnes pratiques de combustion :
- En effet, la double nécessité d'oxyder complètement, à la fois au cœur de la charge traitée pour sa valorisation énergétique maximum, ainsi que les produits de combustion (solides et gazeux) afin d'éviter la formation d'imbrûlés dans les fumées, impose d'utiliser des excès d'air comburant importants, particulièrement en combustion hétérogène.
- ▼ Alors, le potentiel de valorisation énergétique de la charge entrante, défini comme la puissance thermochimique entrante diminuée des pertes thermiques à la cheminée, décroît quand l'excès d'air augmente, entraînant l'augmentation du débit de fumées rejeté et donc, de la puissance thermique perdue par convection à la cheminée.
- Objectif de l'exploitant : satisfaire au mieux cette double contrainte
 - ➔ Obtenir une combustion complète,
 - ➔ Minimiser les excès d'air utilisés.

Technologies de combustion/ incinération

a combustion directe des déchets, en mode hétérogène (solide divisé), doit être réalisée en présence de forts excès d'air ($e \sim 80-100\%$), afin d'être complète (absence d'imbrûlés solides et gazeux).

n distingue principalement :

▼ **les fours à grilles** : ils s'appliquent à tout type de déchets solides, en vrac.

▼ **les fours rotatifs** : ils conviennent pour un large spectre de déchets solides.

▼ **les fours à lit fluidisé** : ils s'appliquent au traitement thermique des déchets liquides, aux boues et aux déchets sous forme de solides divisés, en mode:

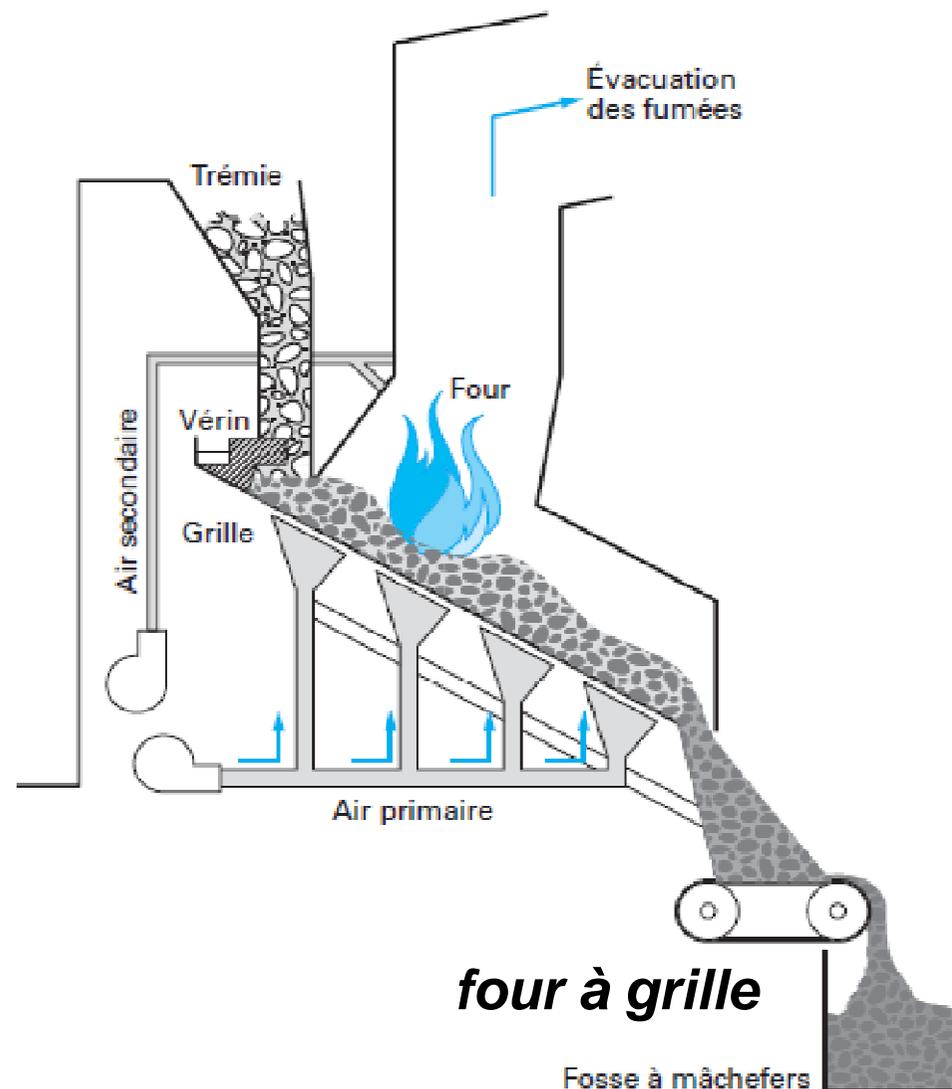
L

O



Les fours à grilles

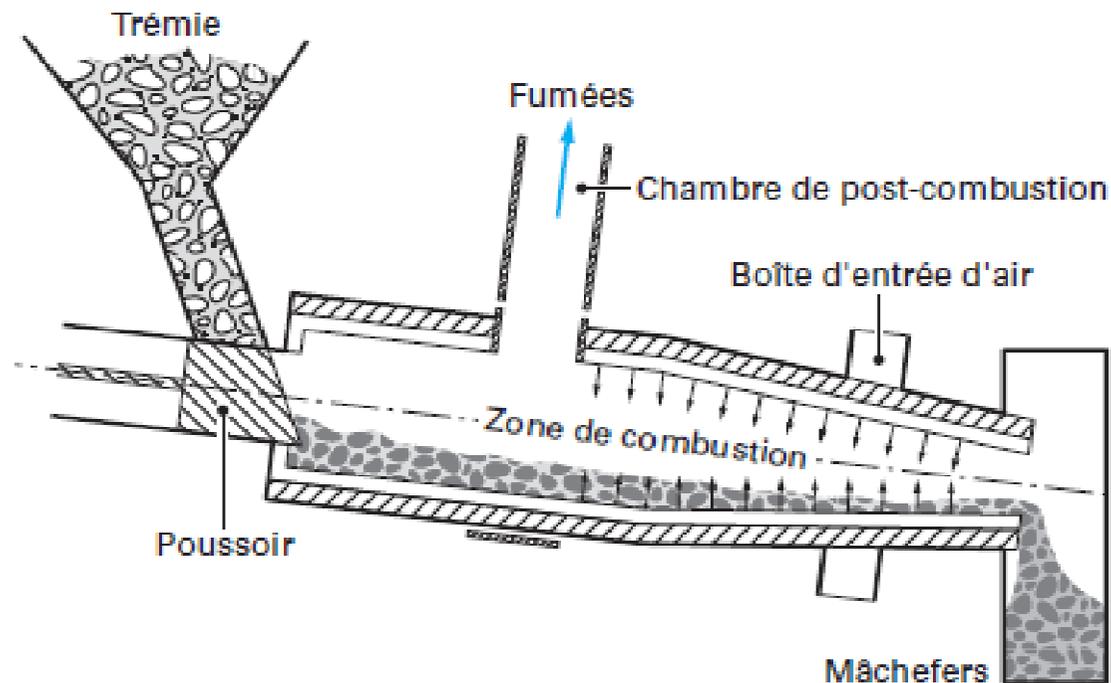
- ▼ Dans ce type de four (la combustion des déchets a lieu sur un support mobile, en général une grille, constituée soit de barreaux (mouvements de translation du déchet), soit de rouleaux (mouvements de rotation), et/ou de gradins).
- ▼ Les fumées produites sont extraites, en partie haute, vers une enceinte verticale équipée de réfractaires, couplée ou non à une chaudière de récupération.
- ▼ Les éléments de la grille (barreaux, rouleaux) forment un ensemble de pièces mobiles animées de mouvements alternatifs, permettant l'avancement des déchets, ainsi que leur brassage continu.



Cette grille est soit inclinée (type plan unique pour la grille Martin/CNIM, la grille Von Roll, et type à gradins pour la grille Volund), soit horizontale (type grille ABB),

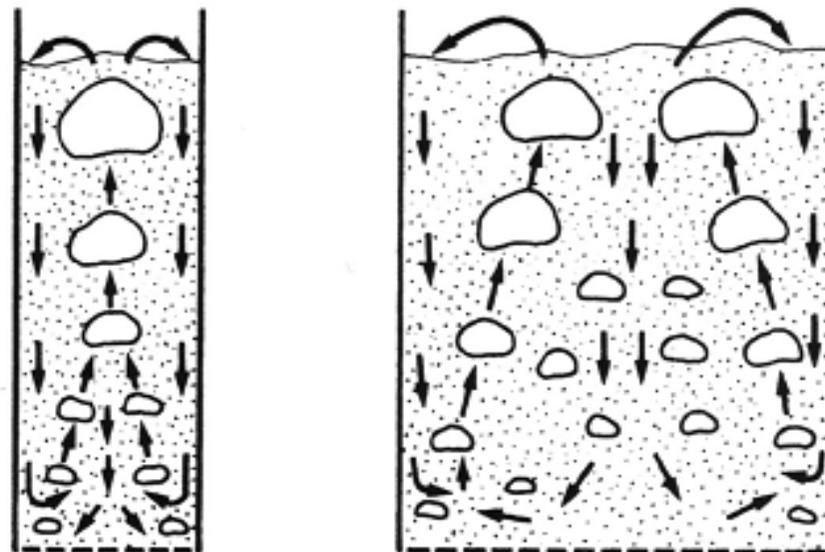
Les fours rotatifs

▼ Ce type de four consiste essentiellement en une enceinte cylindrique réfractorisée, légèrement inclinée sur l'horizontale (1 à 4°), mis en mouvement de **rotation lente** (moins de 2 tr/min), ou d'oscillation, pour permettre la mise en mouvement et le brassage de la charge. L'intérieur du four peut être lisse ou bien équipé d'inserts permettant le retournement des déchets en cours de traitement. Ce type de four est, en général, équipé d'une double enveloppe, assurant le préchauffage de l'air de combustion, celui-ci étant injecté sous la charge.



Les fours à lit fluidisé

- ▼ **L'état fluidisé** correspond à la mise en suspension de particules solides dans un courant gazeux ascendant, en général l'air de combustion, injecté en partie basse du lit de particules. Ce lit est constitué d'un média de fluidisation inerte, finement divisé (sable), préalablement préchauffé, dans lequel on disperse les déchets préalablement broyés.
- ▼ Le mouvement engendré par l'écoulement gazeux, formant des trains de bulles, permet un bon brassage du mélange des particules inertes (média de fluidisation), avec le déchet, ainsi qu'avec l'air de fluidisation/combustion, permettant ainsi **d'améliorer les transferts internes** de masse et de chaleur, ainsi que **l'uniformisation de la température** du lit.



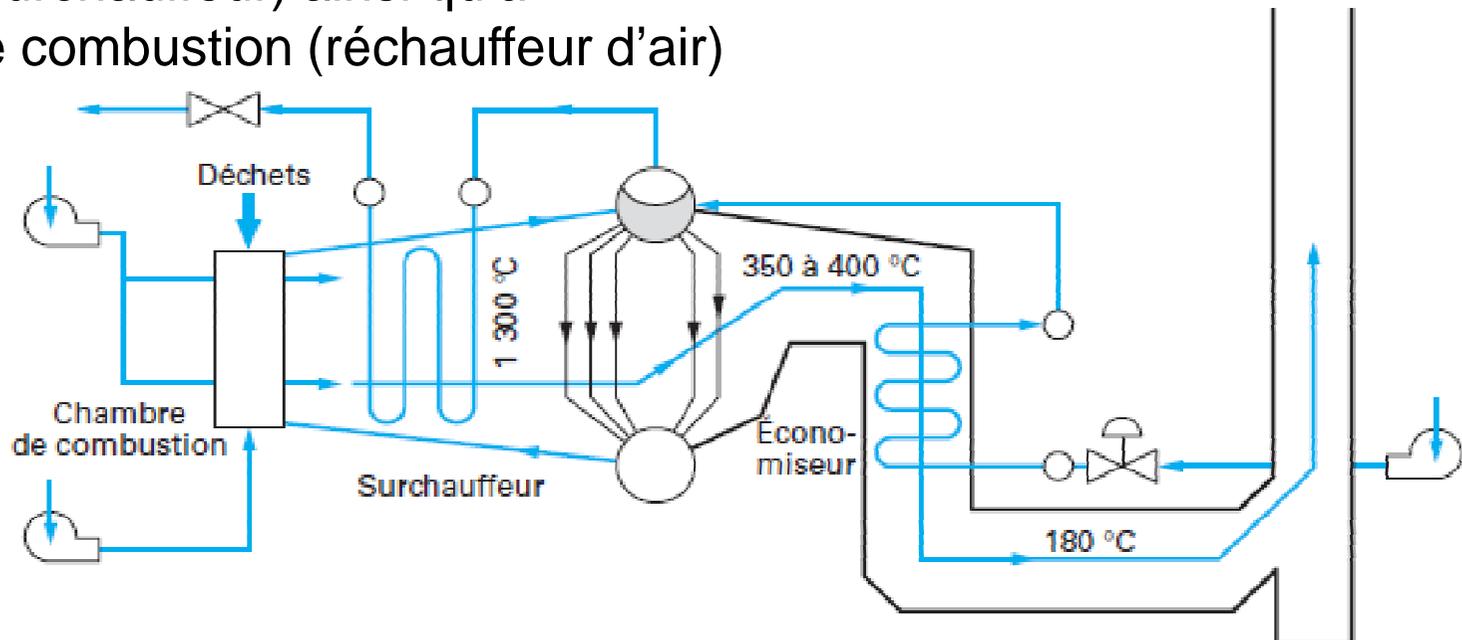
Chaudière de récupération

▼ **La chaleur produite** est récupérée *via* une chaudière, pour produire:

- Soit de l'eau surchauffée (190°C max)
- Soit de la vapeur saturée (250-300°C)
- Soit de la vapeur d'eau surchauffée. (>360°C)

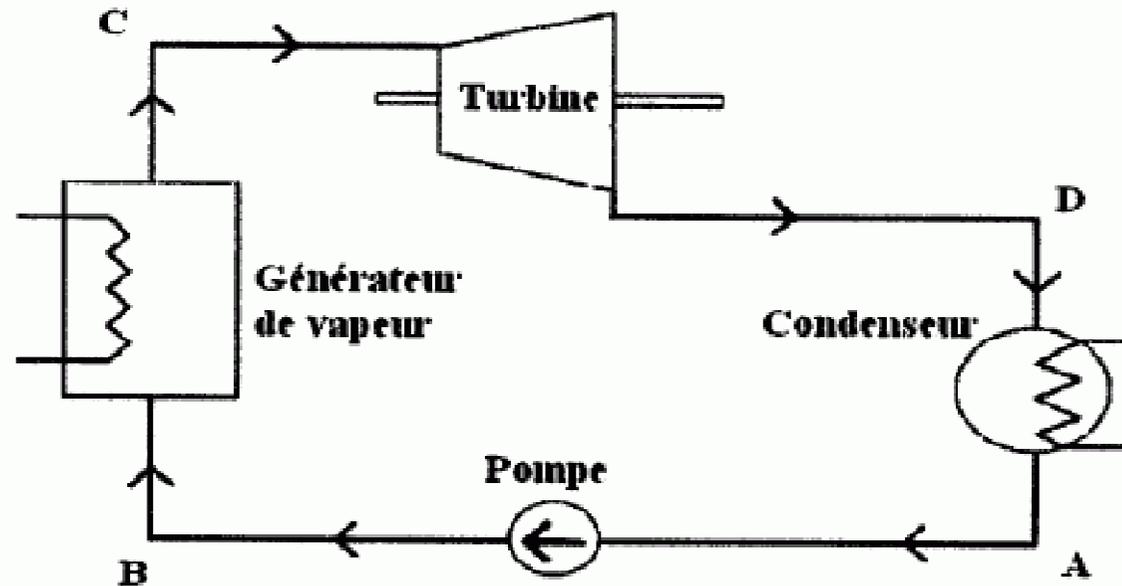
▼ La chaudière dispose, en général, de **quatre échangeurs**, disposés sur le circuit des fumées et destinés à

- ✓ préchauffer l'eau (économiseur),
- ✓ à la vaporiser (évaporateur),
- ✓ à la surchauffer, (surchauffeur) ainsi qu'à
- ✓ préchauffer l'air de combustion (réchauffeur d'air)



Valorisation énergétique en UVE

- ▼ Quand la chaleur produite est transformée en vapeur surchauffée dans **une chaudière de récupération** (typiquement 40 bars, 400°C), celle-ci peut alimenter un **groupe turbo-alternateur (GTA)**, fonctionnant sur un cycle de Rankine, soit à condensation, soit à contre-pression, pour la production conjointe d'électricité et de chaleur, permettant d'atteindre des rendements de valorisation énergétique, en **cogénération**, supérieurs à 70%.
- ▼ La vapeur d'eau produite par la chaudière, suit le circuit de conversion (**cycle de Rankine**), indiqué ci-dessous :



Le traitement des fumées

▼ Les traitements des fumées s'articulent tout d'abord autour du traitement de neutralisation des **polluants acides**, permettant la désulfuration, la déchloration, la dénitrification des fumées. On distingue les :

- ✓ Traitements secs (réactif calcique, réactif sodique)
- ✓ Epuration par voie semi-humide
- ✓ Traitements humides

▼ Les fumées doivent également être dépoussiérées : les différentes techniques de captation des **polluants particulaires**, associées aux traitements de neutralisation, sont :

- ✓ Dépoussiéreurs mécaniques : les cyclones
- ✓ Laveurs
- ✓ Electro-filtres
- ✓ Dépoussiéreurs à média filtrants

▼ Les techniques de traitement **des NOx** (oxydes d'azotes) sont :

- ✓ Réduction Sélective Non Catalytique (SNCR)
- ✓ Réduction Sélective Catalytique (SCR)

Les procédés de déNOx

▼ On distingue deux modes principaux d'abattage des NOx contenus dans les fumées d'incinération :

- ✓ Les procédés non-catalytiques (SNCR),
- ✓ Les procédés catalytiques (SCR).

➤ Les procédés non-catalytiques (SNCR)

Le procédé SNCR de dénitrification est basé sur l'injection d'un agent réducteur dans le four (l'ammoniac (NH_3) en solution aqueuse et l'urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)), sans catalyseur, qui permet de réduire les NOx en azote moléculaire N_2 . La réduction sélective non catalytique doit s'opérer dans des plages de températures situées entre 850 et 1000°C.

Le taux d'abattage se situe généralement entre 40 et 65%.

➤ Procédés catalytiques (SCR)

La chambre de réaction peut être située en amont de l'épuration des fumées, sur les gaz bruts (« high-dust » SCR), ou en aval de l'épuration, sur les gaz propres **réchauffés** (« low-dust » SCR). Les catalyseurs utilisés sont des oxydes métalliques (250-450°C) ou métaux précieux (175-290°C). Le procédé SCR permet de **réduire plus de 90%** des NOx et de détruire simultanément plus de 99% des dioxines.

La combustion des CSR



Les enjeux

☐ 2 400 000 tonnes par an de CSR à produire et valoriser à l'horizon 2025 (LTE)

☞ Dépassement des seules capacités des cimentiers (1 Mt/an)

☐ PCI du combustible de 3000 kcal/kg à 5000 kcal/kg

☐ Rendement d'installation > 70%

☐ Adaptabilité des outils à d'autres combustibles

☐ Traçabilité des combustibles entrants.



Coûts d'adaptation des combustibles

▼ CSR CIMENTIER

- .Pré clinker → broyage à 60 / 80mm 8 à 12€/t
- .Cuisson finale → broyage à 25 / 30mm 18 à 25 €/t

▼ FOUR A GRILLE

Criblage pour conserver la fraction > 100 mm à 80% 4 à 6 €/t

▼ LITS FLUIDISES DENSES et LITS TOMBANTS

→ broyage à 60 / 150mm 6 à 10€/t

▼ LITS FIXES

→ broyage à 60 / 80mm 6 à 10€/t

→ densification par pressage ou extrusion 6 à 10€/t



Merci de votre attention

