

Valorisation énergétique de la biomasse humide

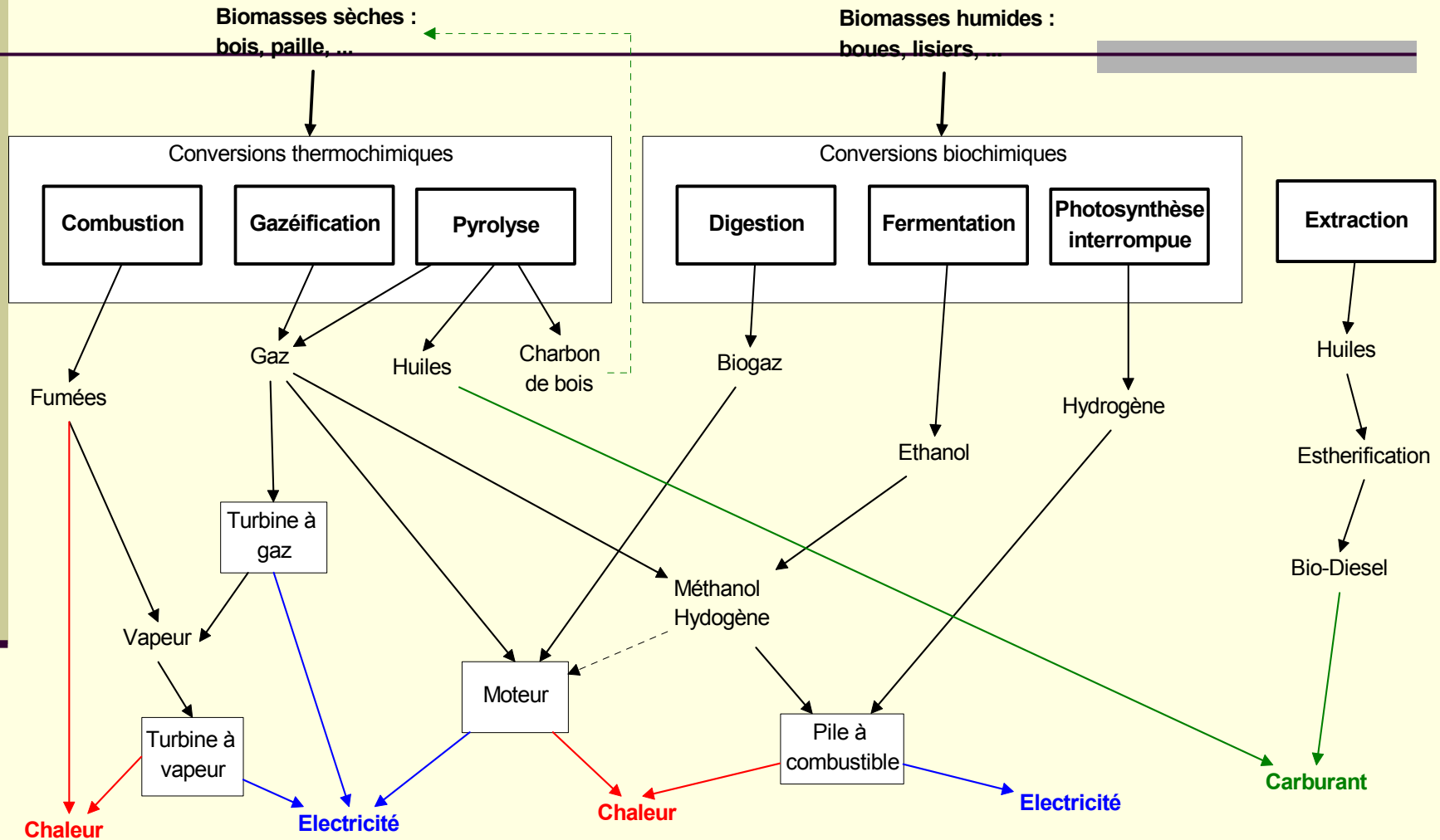
Objectifs

- Réviser les principes de base de la biométhanisation
- Analyse économique et environnementale

Plan de l'exposé

- **Introduction**
- **Description de la Filière de biométhanisation**
- **Technologies**
- **Caractérisation du biogaz**
- **Bilans énergétique et environnemental**
- **Étude de cas**

Principales filières biomasse-énergie



Valorisation énergétique de biomasse "humide":

1. Production d'éthanol:

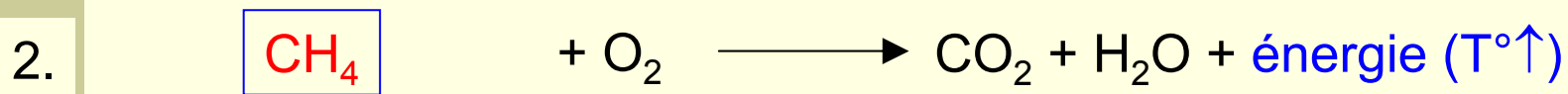
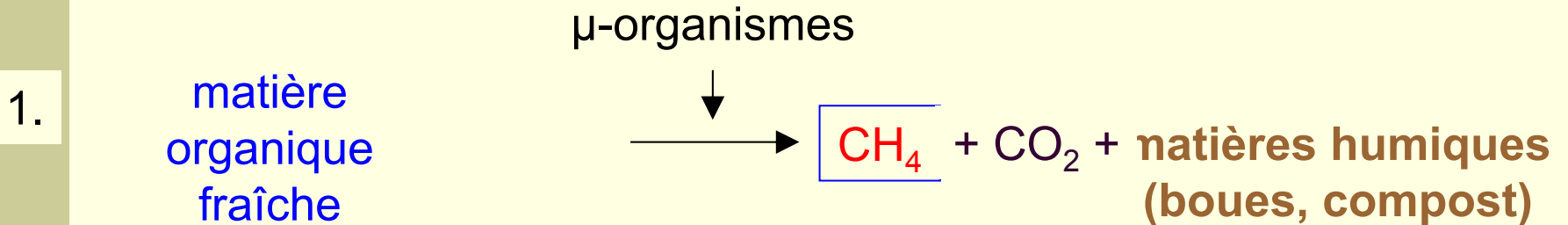
substrats glucidiques => combustible liquide

2. Biométhanisation:

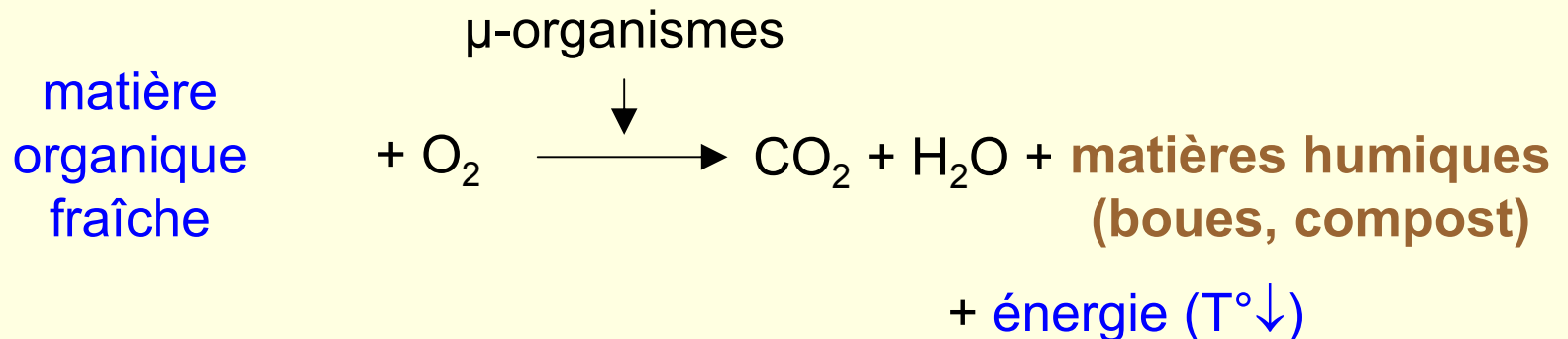
substrats divers => combustible gazeux

Introduction

Biométhanisation = digestion anaérobie de matières organiques



**Boues activées / Compostage =
dégradation aérobie de matières organiques**



Introduction (2): Biométhanisation: une technologie mûre

1993, monde: $6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ biogaz utilisé = $36 \cdot 10^3 \text{ GWh}_{\text{total}}$

(80% décharges - 20% digesteurs)

équivalent à $1.2 \text{ GW}_{\text{électrique}}$ en permanence

1994, CEE : 397 digesteurs de taille industrielle:

- 268 industries agro-alimentaires
- 60 industries non-alimentaires
- 38 non-industriels (lixiviats de décharge, lisier centralisé déchets ménagers...)
- 31 autres

1998, CEE : >53 digesteurs de déchets ménagers

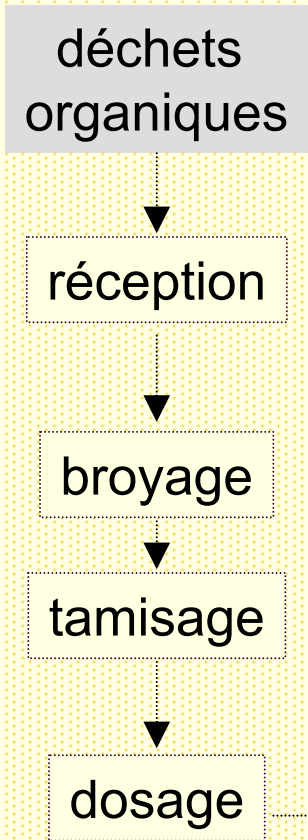
(capacité individuelle >3000 t/an)

2001, Allemagne: > 1600 digesteurs agricoles (lisier)

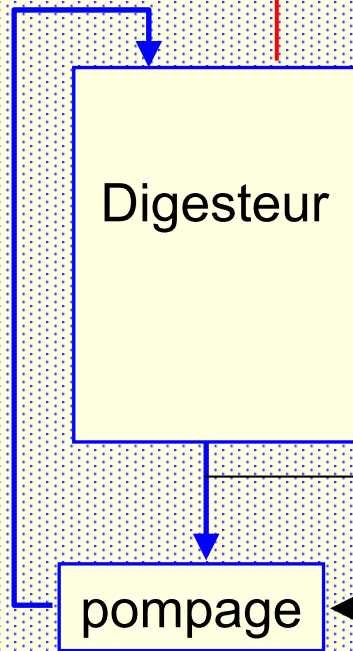
(400 installés en 1 an)

Schéma de base d'une installation

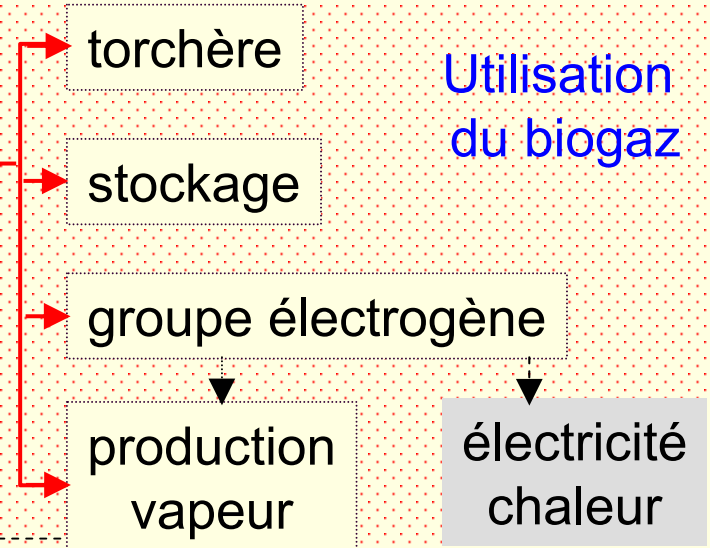
Prétraitements



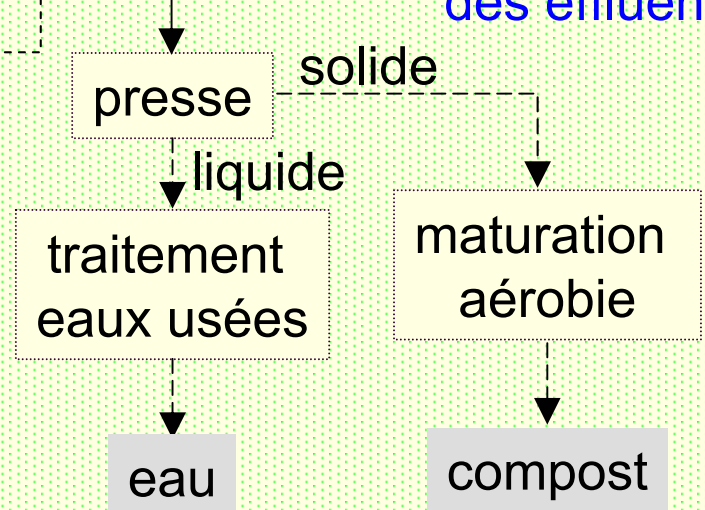
Digestion



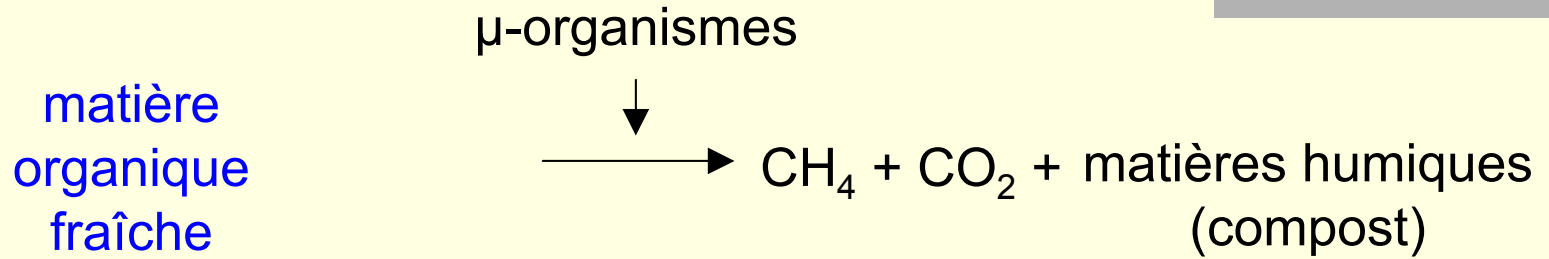
Utilisation du biogaz



Post-traitement des effluents



Ressources biométhanisables: matières organiques biodégradables



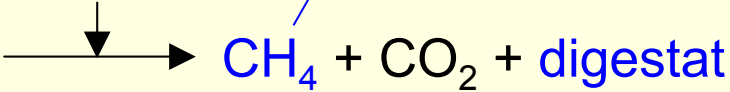
- fraction organique des déchets ménagers
- résidus alimentaires et agro-industriels
- déchets verts
- papiers non recyclables
- boues d'épuration
- lisiers, fumiers
- ...
- effluents liquides, boueux, pâteux
- eaux usées

Intérêts de la biométhanisation

- énergie facilement convertible
- économie d'énergie fossile
- bilan CO₂ favorable

μ-organismes

"déchet" organique



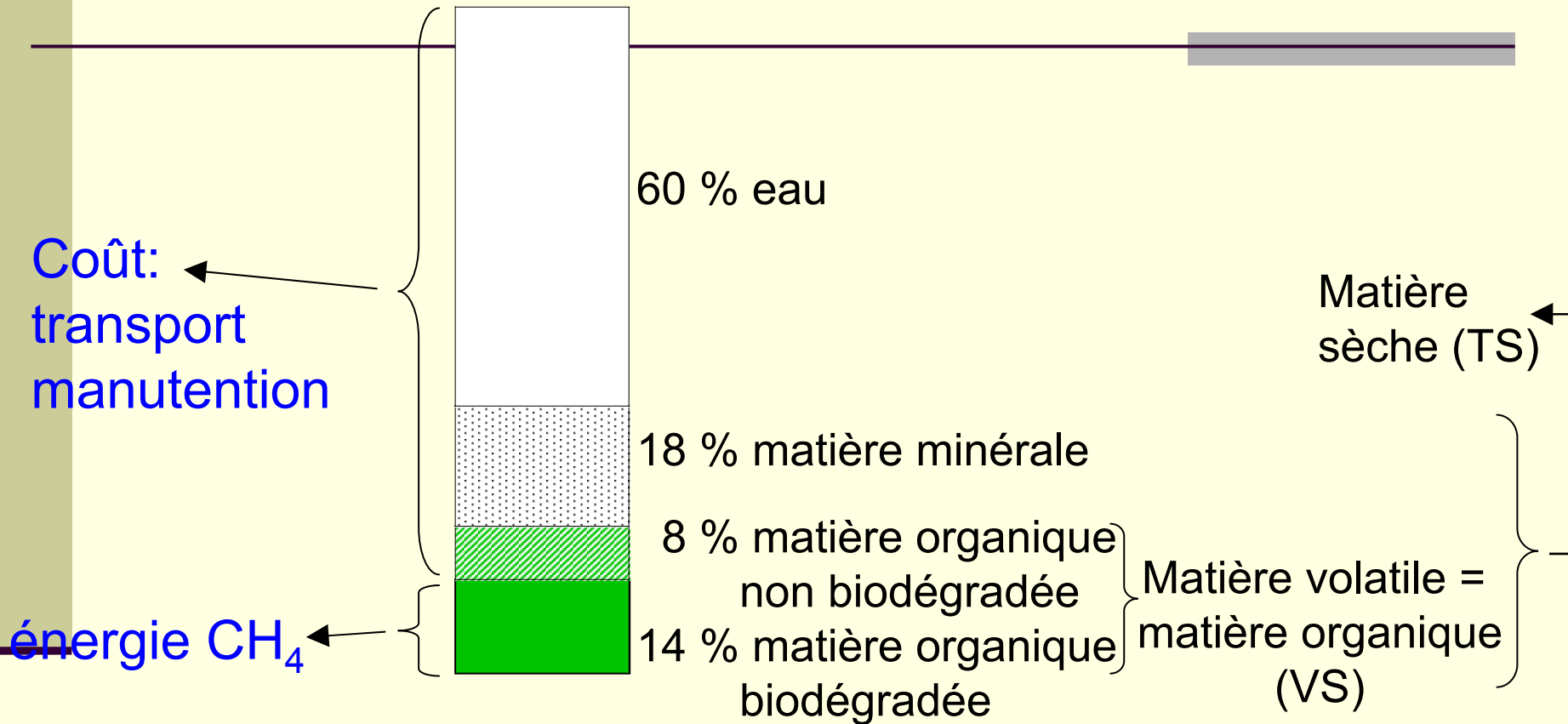
- sous-produit valorisable
- pathogènes détruits
- riche en éléments nutritifs
- respect du cycle des matières organiques et des fertilisants

- substrat liquides, pâteux, solides
- épuration sans génération de sous-produits gênants

- technologie simple, peu coûteuse possible

Composition des substrats "humides"

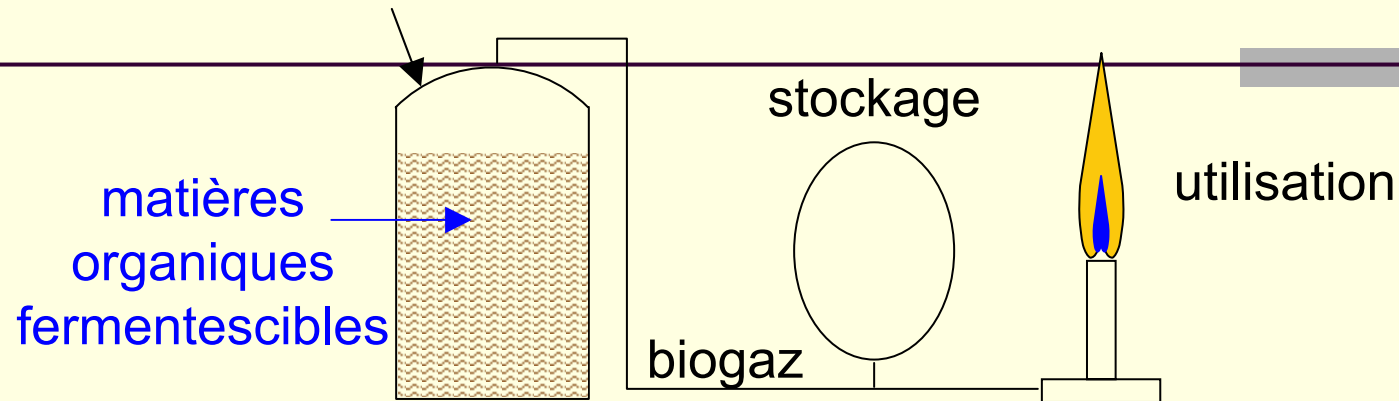
Ex: fraction organique des déchets collectés à la source



- ➔ - faible concentration énergétique
- MAIS grande quantité + besoin environnemental
- intérêt à minimiser transport et manutention

Conditions de mise en oeuvre

réacteur étanche au gaz: **absence d'air** + collecte du biogaz



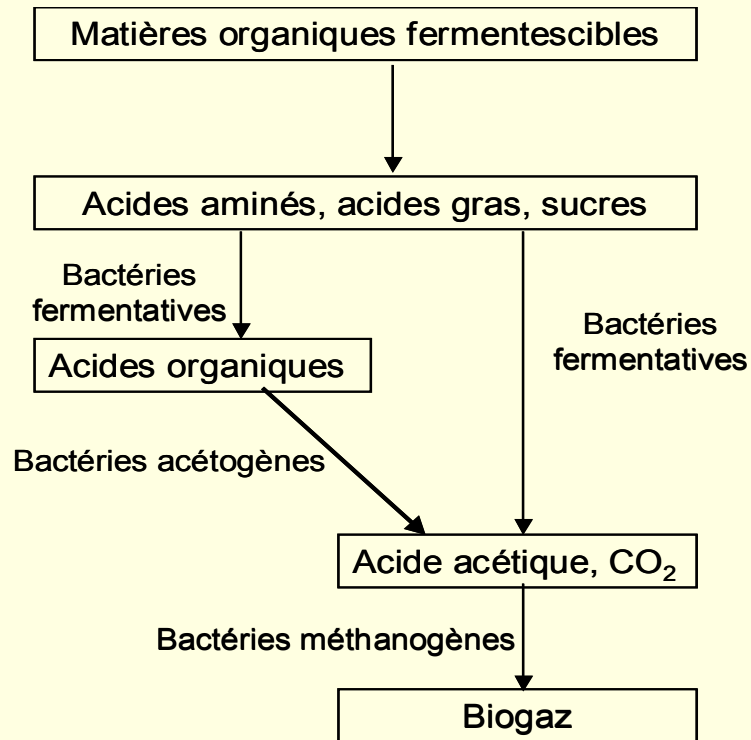
Température: -10-20°C psychrophile
-30-40°C mésophile
-50-65°C thermophile

Gamme de concentration non inhibitrice: pH, NH_3 , acides gras volatils,...

Homogénéisation: agitation mécanique, biogaz comprimé, pompage

Temps de séjour: - croissance lente des microorganismes
- adaptation des microorganismes
- particules solides = vitesse de digestion lente

Etapes de la digestion anaérobie

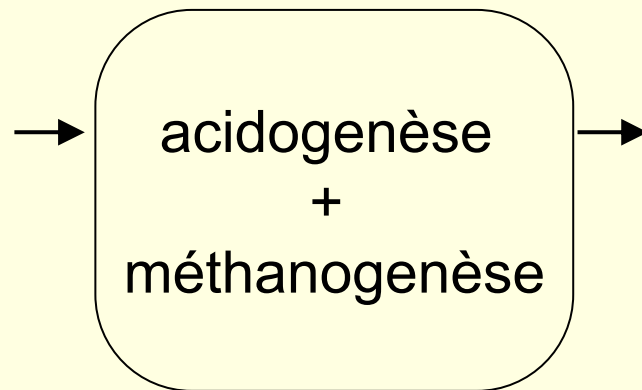


Technologie des réacteurs

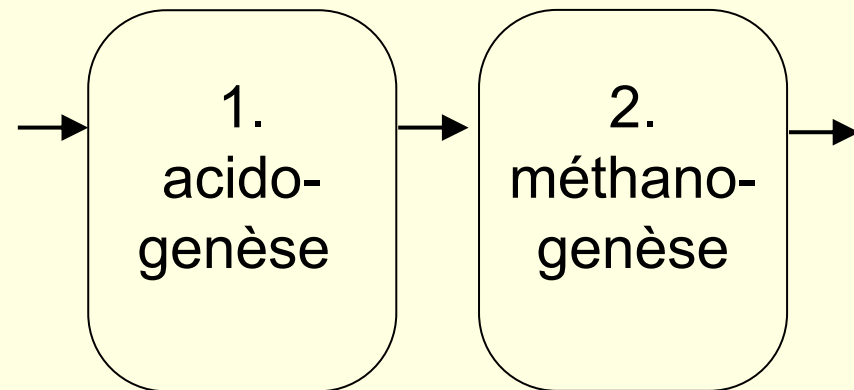
Alimentation: - continu

- semi-continu
- discontinu

Structure: 1 étape



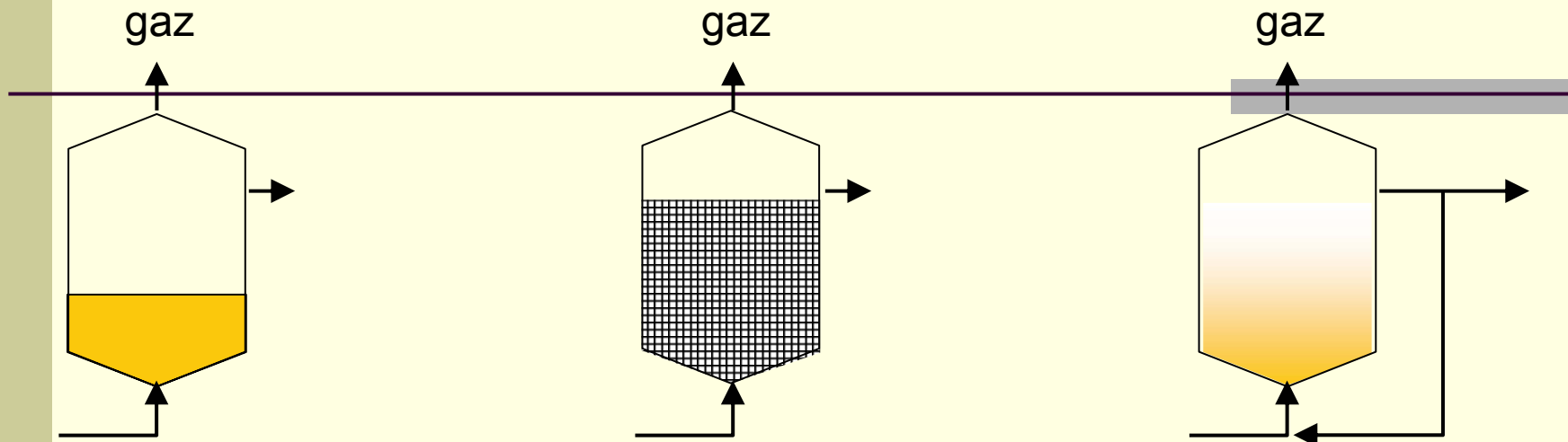
2 étapes



Conservation des micro-organismes actifs :

- piégeage: granules, biofilms, sédimentation
- croissance \geq pertes : temps de séjour \uparrow

Procédés pour liquides



Lit de boue
à flux
ascensionnel
(UASB)

Filtre bactérien
anaérobie

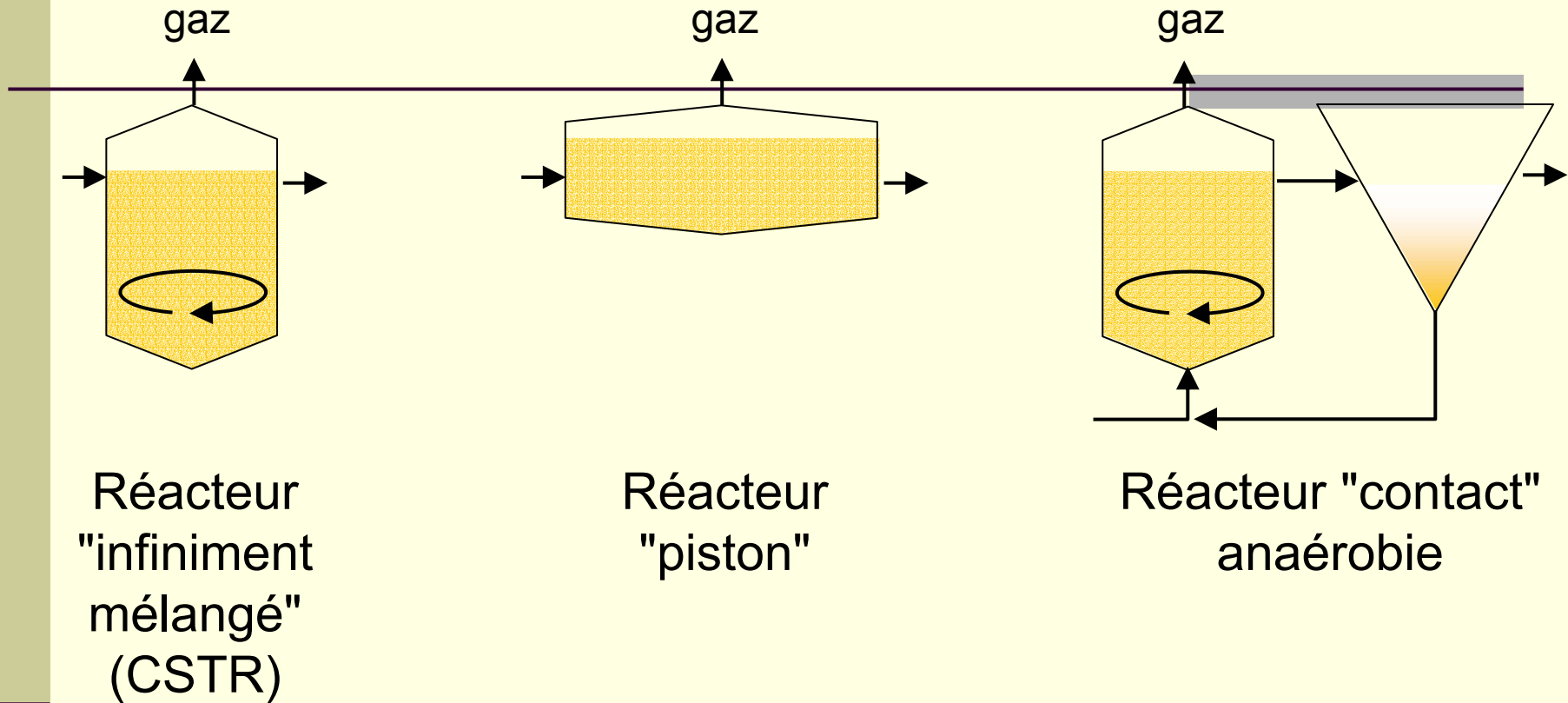
Lit fluidisé
Lit expansé

Biomasse :
granules

biofilm sur support

granules

Procédés pour boues



Réacteur
"infiniment
mélangé"
(CSTR)

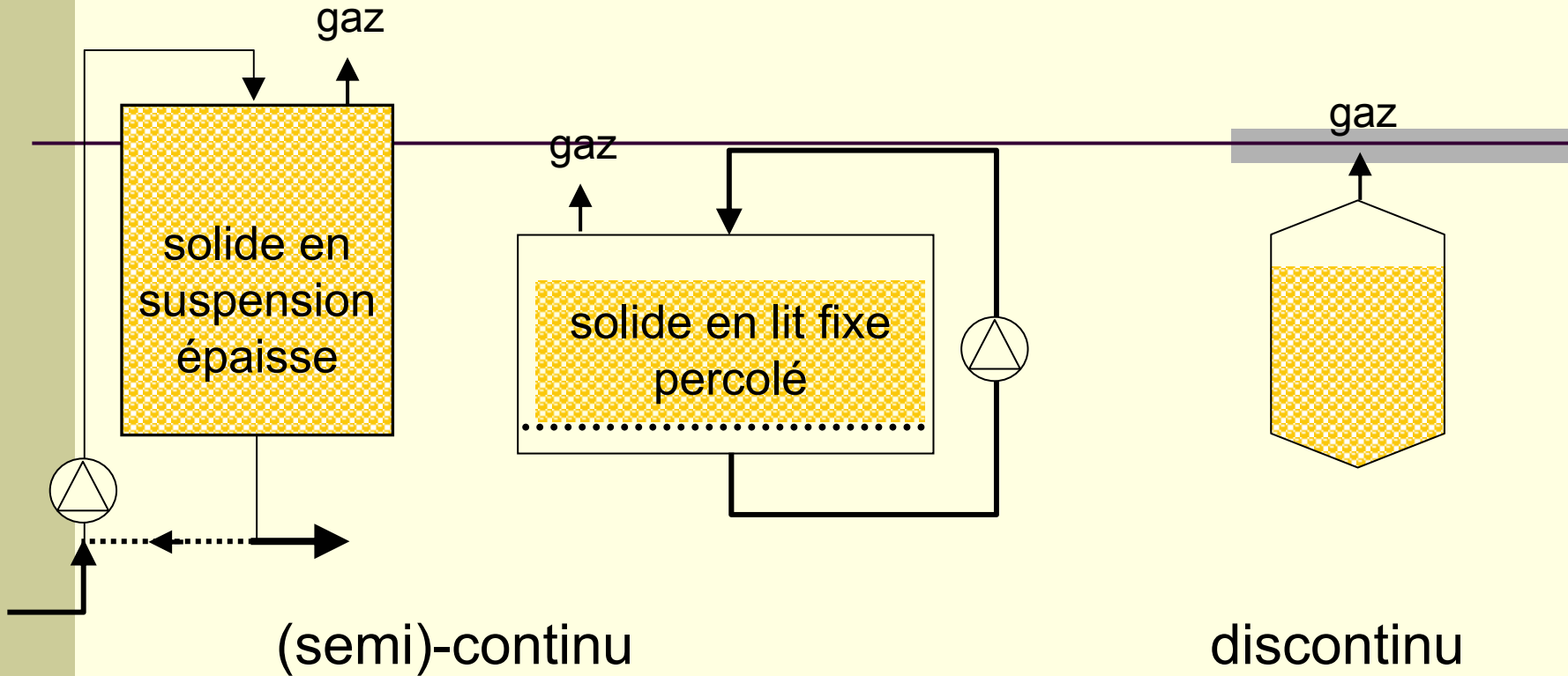
Réacteur
"piston"

Réacteur "contact"
anaérobie

perte de biomasse active
=> temps de séjour !

recyclage de la
biomasse active

Procédés pour solides



recirculation
de la suspension
(DRANCO)
agitation par
gaz comprimé
(Valorga)

recirculation
du liquide
(SEBAC)
(Biocel)

Autre classification

Classification en fonction de leur taille et de la nature de leur exploitation.

On distingue ainsi :

- **installations centralisées de grande taille (déchets ménagers urbains),**
- **installations industrielles décentralisées**
- **installations agricoles décentralisées**
(résidus propres de l'utilisateur :élevage, cultures énergétiques, etc.),
- **installations agricoles centralisées (résidus provenant de plusieurs fermes)**

Caractéristiques du biogaz

	CH ₄	CO ₂	H ₂ O	H ₂ S	NH ₃
(%)	55-80	20-45	saturé	0-1.5	0.00-0.05
Propriété:	énergie 36 MJ/m ³ _{CH₄}	diluant	condensation corrosion	corrosion SO _x	corrosion NO _x
Epuration: du gaz		absorption perméation	condensation adsorption absorption	adsorption absorption oxydation	absorption
Utilisation:					
chaleur			-	+/-	
électricité			-	-	
cogénération			-	-	
réseau gaz		-	-	-	-
carburant		-	-	-	-
pile à combustible		-?	-	-?	-?

Domaine d'inflammabilité : [5 - 15%]_{biogaz} dans l'air

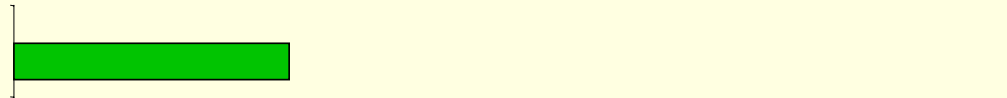
Caractéristiques du biogaz

Composants	Décharge d'ordures ménagères	Décharge d'ordures ménagères	Décharge d'ordures ménagères	Ordures ménagères triées en digesteurs	Boues de stations d'épuration	Lisier de bovins ou d'ovins en fermenteurs	Distillerie
	(MO 80%) <i>production naturelle sans aspiration</i>	(MO 80%) <i>production forcée avec aspiration</i>	(50%-50%) <i>production forcée avec aspiration</i>				
CH₄ % vol	50 - 58	30- 55	25 - 45	50 - 60	60 - 75	60 - 75	68
CO₂ % vol	25 - 34	22 - 33	14 - 29	38 - 34	33 - 19	33 - 19	26
N₂ % vol	18 - 2	26 - 6	49 - 17	5 - 0	1 - 0	1 - 0	-
O₂ % vol	1- 0	8 - 2	8 - 5	1 - 0	< 0,5	< 0,5	-
H₂O % vol	4 (à 30°C)	4 (à 30°C)	4 (à 30°C)	6 (à 30°C)	6 (à 30°C)	6 (à 30°C)	6 (à 30°C)
Total % vol	100	100	100	100	100	100	100
H ₂ S mg/m ³	20 - 50	5 - 20	100 - 900	100 - 900	1000 - 4000	3000-10000	400
NH ₃ mg/m ³	-	-	-	-	-	50 - 100	-
Aromatiques mg/m ³	2	1	0 - 200	0 - 200	-	-	-
Organochlorés ou organofluorés mg/m ³	0 - 100	0 - 100	100 - 800	100 - 800	-	-	-

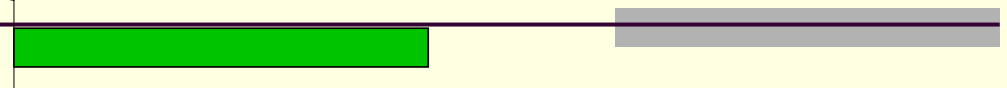
Production de méthane

Maximum théorique :

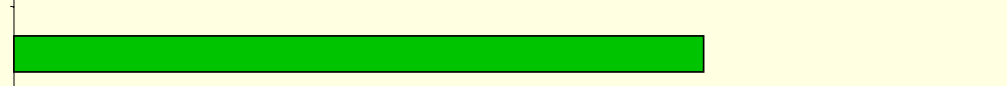
Glucides



Protéines



Lipides

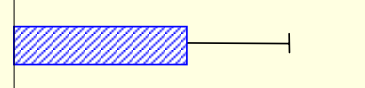


Données expérimentales :

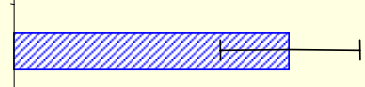
Herbe



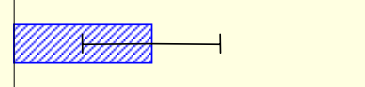
Lisiers



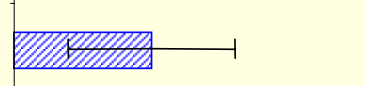
Déchets alimentaires



Déchets verts



Déchets ménagers



0 0.25 0.5 0.75 1

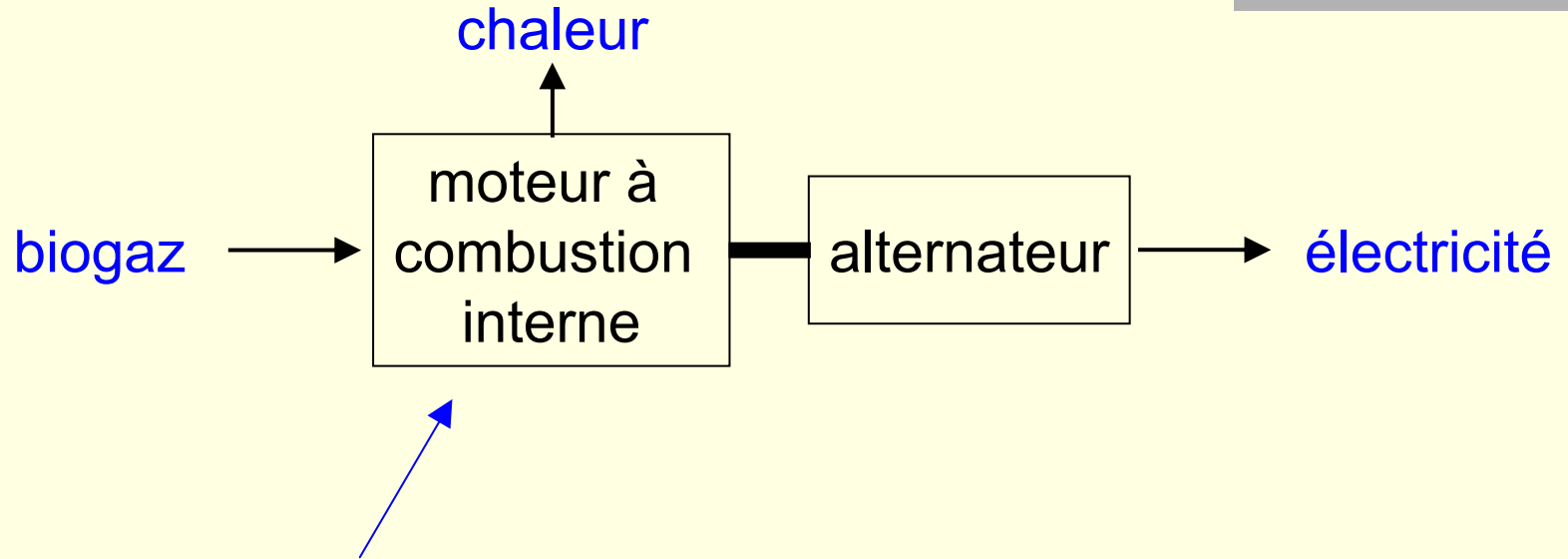
Méthane produit ($\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{kg}_{\text{VS}}$)



- conversion des déchets en CH_4 améliorable

- principaux freins: biologie, technologie, économie

Cogénération à partir de biogaz



- moteur essence adapté (type LPG)
- moteur Diesel - Dual fuel (allumage par 10% fuel)
- biogaz pur (allumage commandé)
- moteur à gaz

Exigences des MCI sur le biogaz

PCI : > 4 kWh/Nm³ avec une variation acceptable
inférieure à 5% par rapport au minimum

Rapport CO₂/PCI : < 10 vol%/ kWh/Nm³

Chlore < 100 mg / Nm³CH₄

Fluor (F) < 50 mg / Nm³CH₄

Total Chlore + Fluor Somme (Cl, F) < 100 mg / Nm³CH₄

NH₃ : < 50 mg / Nm³CH₄

Poussières (3 - 10 µm) : < 10 mg / Nm³CH₄

Vapeur d'huile (>C₅) < 400 mg / Nm³CH₄

- Pas de condensation dans la rampe d'amenée du gaz

Silicium x1 (Si) < 10 mg / Nm³CH₄

Souffre (S) < 2200 mg / Nm³

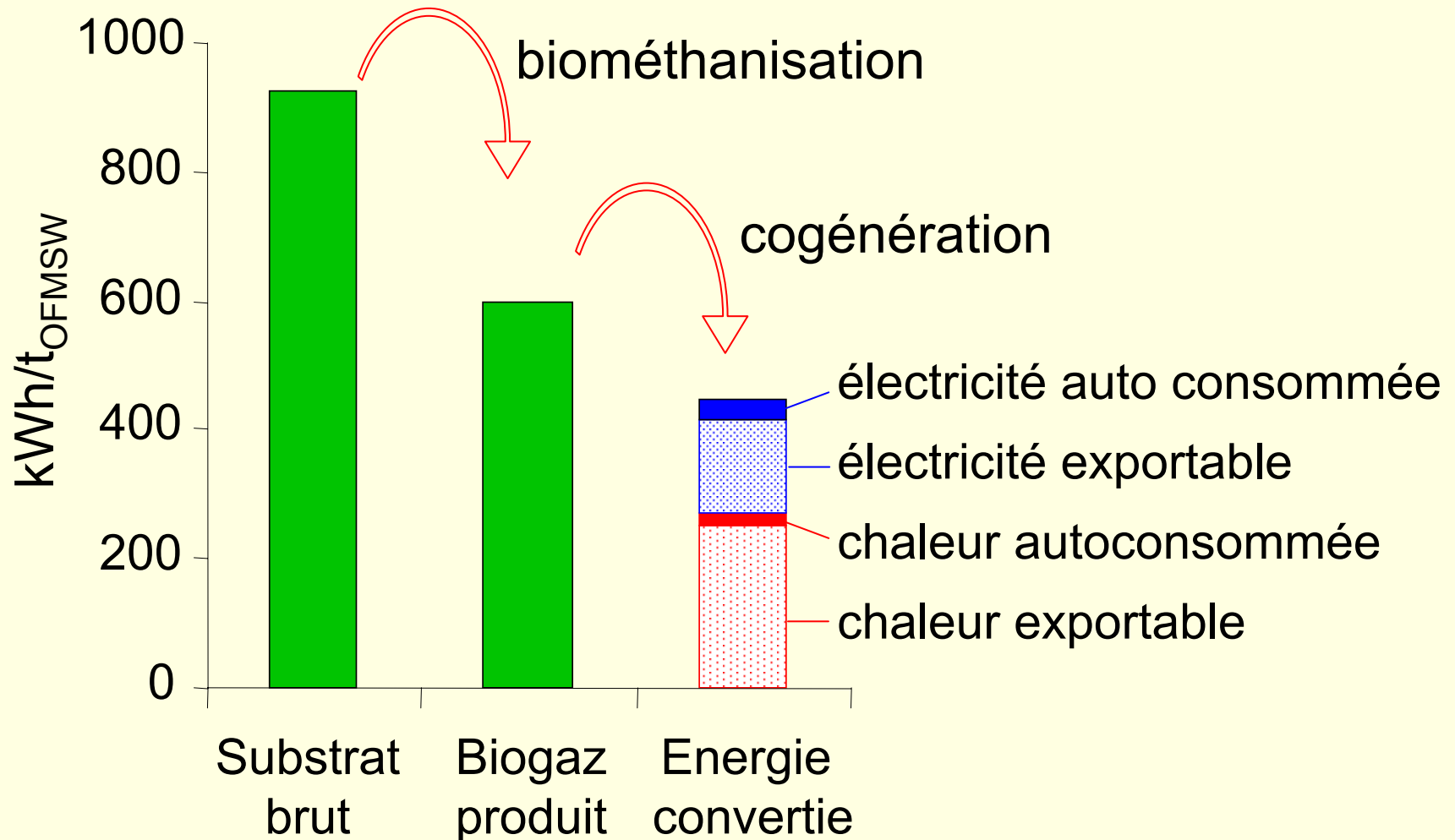
H₂S : < 0,15%vol (limité par les risques de corrosion dans le moteur)

Humidité relative < 80 % - à la température minimale de l'air

T° du mélange gazeux après le carburateur (TG) 10 < TG < 50 °C

Bilan énergétique

Ex: A partir d'une tonne de déchets organiques ménagers:





Analyse économique des unités de biométhanisation



Facteurs influençant la rentabilité

- la qualité des déchets,
- la disponibilité des consommateurs de l'énergie produite,
- les prix et taxes sur l'énergie,
- les prix de rachat de l'énergie,
- la politique énergétique liée au renouvelable,
- les investissements nécessaires,
- le marché du compost, etc.

Investissement

- Terrain
- Aménagement des accès et du site
- Travaux de génie civil
- Stockage des matières entrantes et des résidus
- Préparation des matières et systèmes d'injection
- Digesteurs
- Unité de production sous abri
- Systèmes d'hygiénisation et de séparation des phases
- Equipements de pesée
- Raccordement au réseau électrique
- Réseau de chaleur ou connexion à un réseau existant
- Dispositifs de sécurité et de monitoring
- Certification des équipements
- Tout autre équipement nécessaire pour la production d'énergie, sous réserve de l'accord des Administrations de l'Energie et de l'Economie

Coûts d'exploitation

- les frais de capital, amortissement et intérêts du capital investi, calculés par la méthode des annuités, et tenant compte de la durée de vie de chaque équipement
- les frais de réparation, service et entretien : les coûts annuels pour la réparation, le service et l'entretien des constructions et équipements sont calculés en appliquant les taux suivant aux coûts d'investissements.
Construction, développement et aménagement (1%),
Installations de compostage et digestion (3%), machines et appareils (6%)
- les frais de personnel : montant brut de la main d'œuvre comprenant toutes les charges sociales,
- divers frais : assurances (1% des coûts d'investissement), frais administratifs, contrôle de qualité et élimination des matières résiduelles.

Hypothèses de calcul

Puissance nette développée: 150 kWe

Investissement : 6000 €/kW

Durée d'utilisation : 5000 heures/an

O&M fixe : 240 €/kWe/an

O&M variable: 17,11 €/MWh

Taux d'actualisation : 4,08% (juillet 2005)

Filière Biométhanisation

Solution attrayante : traitement des déchets à haute fraction organique

Types de déchets:

Résidus d'entretien paysager,

Résidus des entreprises agroalimentaires

pulpes de pommes de terre, de mangues, etc.

résidus de transformation de fruits, etc.

Drêches et effluents liquides des brasseries,

Effluents des abattoirs,

Fraction organique des déchets ménagers collectés de façon sélective,

Résidus agricoles (élevage et cultures), etc.

Filière Biométhanisation

Bilan environnemental complexe:

~~*émissions liées à la consommation énergétique,*~~
émanations de méthane (stockage et de l'épandage du digestat),

Émissions évitées:

730 à 890 kgCO₂éq par MWh

800 à 1380 kgCO₂éq par MWh d'électricité produite,

Filière Biométhanisation

Potentiel de réduction des GES : 1,43 à 1,72 millions de tCO₂/an

Avantage des installations communales:

Effet d'échelle

Possibilité de co-digestion d'autres substrats

résidus d'abattoirs,

déchets verts (ex: tonte des pelouses communales)

Meilleure productivité

Inconvénients:

Organisation de la collecte et du transport

Contraintes de gestion.

Filière Biométhanisation (1): Description

