

ROYAUME DU MAROC

**CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES
RENOUVELABLES**



LE BIOGAZ

Par :Mr. A .AMAHROUCH - CDER

RAPPELS SUR LA BIOMETHANISATION

➤ **Le biogaz :** Gaz inflammable riche en méthane (40% à 80%),
utilisé comme un combustible gazeux.

➤ **Principe :**

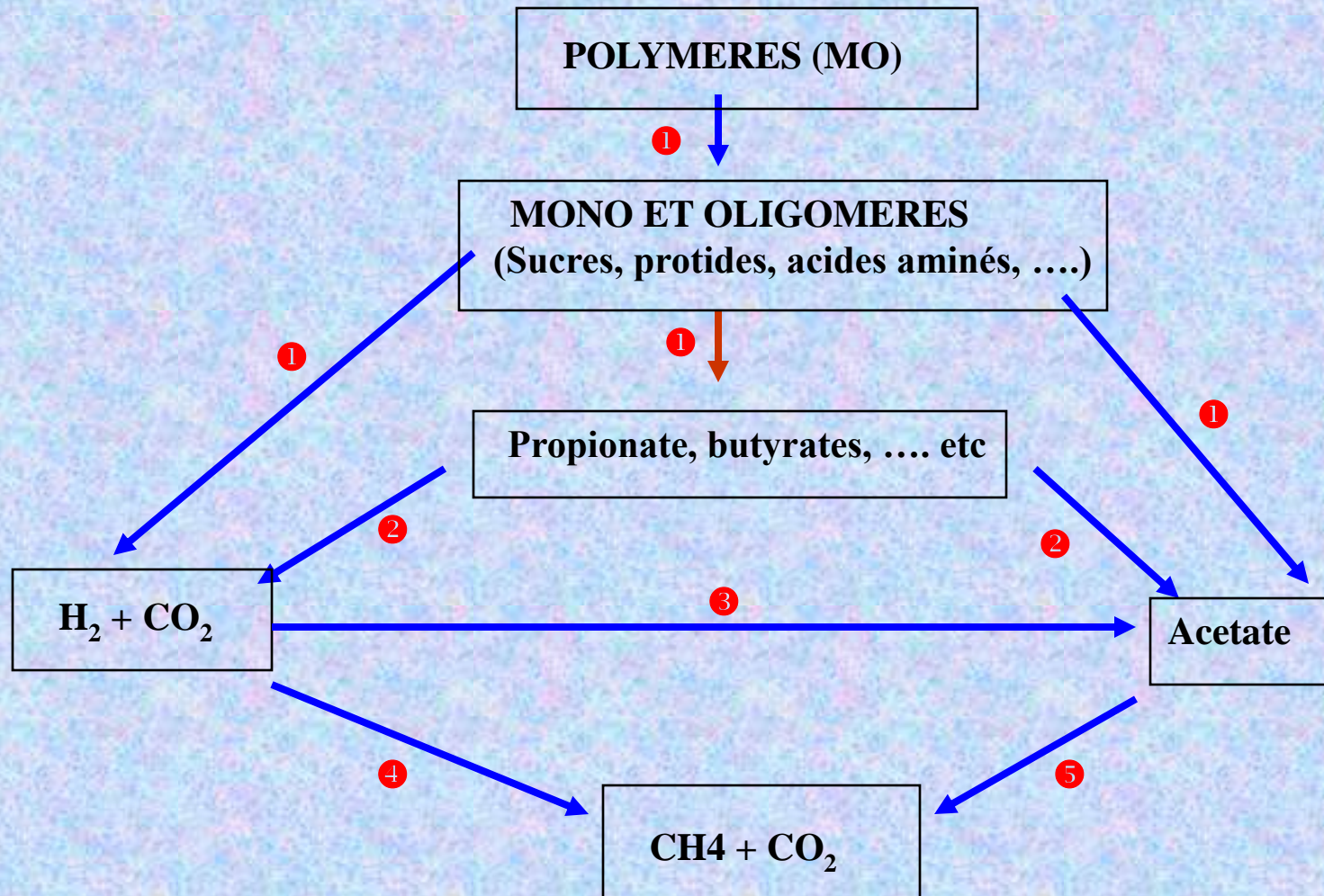
- ✓ Maintenir la matière organique pendant un certain temps (15- 60 jours),
- ✓ A une certaine température (4 C - 74 C)
- ✓ Et surtout en milieu anaérobie (Flore bactérienne mixte est généralement présente naturellement).

(+ bactéries)

⇒ **M.O (humide)** → (**CH₄ + CO₂**) **biogaz** + **matière stabilisée**
(Anaérobiose)

RAPPELS SUR LA BIOMETHANISATION

ASPECT MICROBIOLOGIQUE DE LA FERMENTATION METHANIQUE



(Le processus microbiologique implique plusieurs groupes de bactéries.)

RAPPELS SUR LA BIOMETHANISATION

⇒ **Composition moyenne du biogaz** (non épuré et non séché à 25°C)

Gaz	Symboles	Pourcentage Volumique
Méthane	CH ₄	40 à 80
Gaz carbonique	CO ₂	15 à 56,5
Hydrogène sulfuré	H ₂ S	0,5 à 2
Vapeur d'eau	H ₂ O	≅3%
Autres gaz	(N ₂ , H ₂ , O ₂ ,...).	Traces

Le rapport des deux constituants majeurs du biogaz (CH₄ et CO₂) varie avec :

- la nature de substrat,
- et les conditions de la digestion (température, procédé,).

⇒ **Pouvoir calorifique inférieur (P.C.I.).**

⇒ Le P.C.I du méthane CH₄ :9.400 Kcal/m³

⇒ Pour le biogaz, le P.C.I. dépend de la richesse en méthane.

⇒ Pour un biogaz à 60% CH₄, le P.C.I est de 0,6x 9.400 = 5640 Kcal/m³.

PARAMETRES D'OPTIMISATION DE LA BIOMETHANISATION :

Les paramètres physico-chimiques de la biométhanisation:

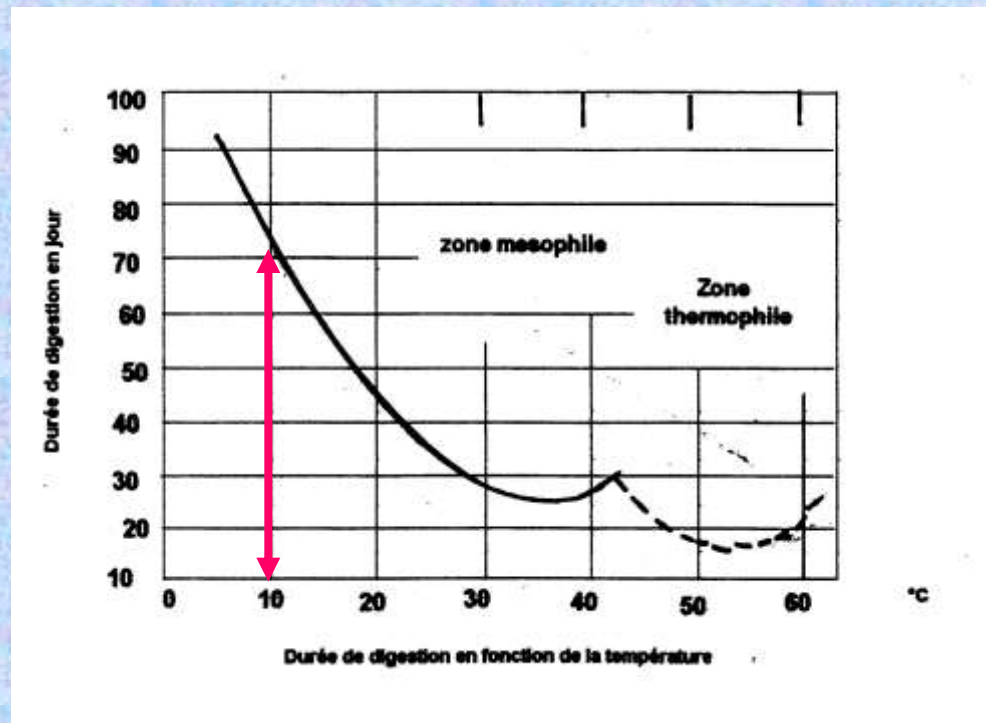
La température

Les bactéries ne se développent que lorsqu'elles sont dans des conditions adéquates de température. On distingue trois plages de température qui conviennent à trois groupes de bactéries:

- Les bactéries psychrophiles: de 10 à 20 C.
- Les bactéries mésophiles : de 20 à 40 C.
- Les bactéries thermophiles : de 50 à 74 C.

La zone thermophile (Avt. Incnt.):

- ✓ forte production biogaz et destruction des pathogènes.
- ✓ trop d'énergie pour le chauffage
- ✓ bactéries sont sensibles au changement de température (fragilité du système).
- ✓ Système complexe (suivi, automatisation éventuelle).



PARAMETRES D'OPTIMISATION DE LA BIOMETHANISATION :

Les paramètres physico-chimiques de la biométhanisation:

Le pH

Pour le bon fonctionnement d'un digesteur, le pH se situe entre 6,8 et 7,4 . L'optimum (7 à 7,2) .

- Si pH acide (arrêt de la fermentation) ; basique (production H_2S , H_2 , ...).

Le rapport carbone/azote(C/N)

Les bactéries utilisent environ 30 fois plus de carbone que d'azote, le rapport C/N ~ 30. Exemple : pour les bovins C/N = 24.

Le temps de rétention

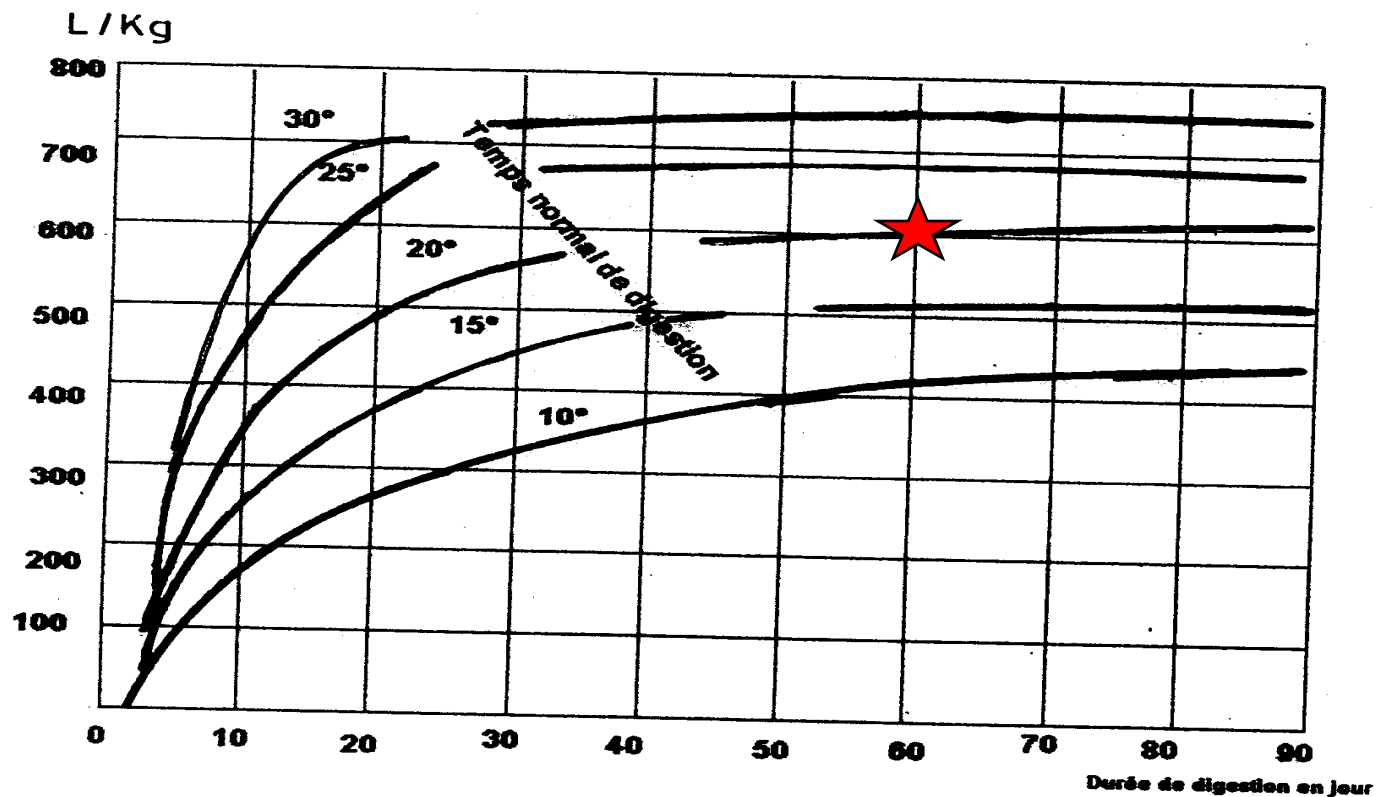
Il dépend de :

- la température: plus la température est élevée, plus la digestion est rapide,
- taux de matière sèche : plus le substrat est riche en eau et en particules fines, plus la digestion est rapide,
- la nature et la composition du substrat.

PARAMETRES D'OPTIMISATION DE LA BIOMETHANISATION :

Les paramètres physico-chimiques de la biométhanisation:

Evolution de la production du biogaz en fonction de la durée digestion pour des températures allant de 10 C à 30 C.



PARAMETRES D'OPTIMISATION DE LA BIOMETHANISATION :

Les paramètres physico-chimiques de la biométhanisation:

Agitation

L'agitation est nécessaire pour au moins les deux raisons suivantes:

- pour rompre la couche qui surnage (échappement facile du biogaz),
- favoriser la dégradation de la MO par les bactéries,

Substances toxiques inhibitrices

Le développement des bactéries méthanogènes peut être entravé par la présence d'agents inhibiteurs tels que :

- les antibiotiques et les antiseptiques,
- les concentrations élevées en sulfures, en ammoniac et en métaux lourds.

Teneur en matière sèche

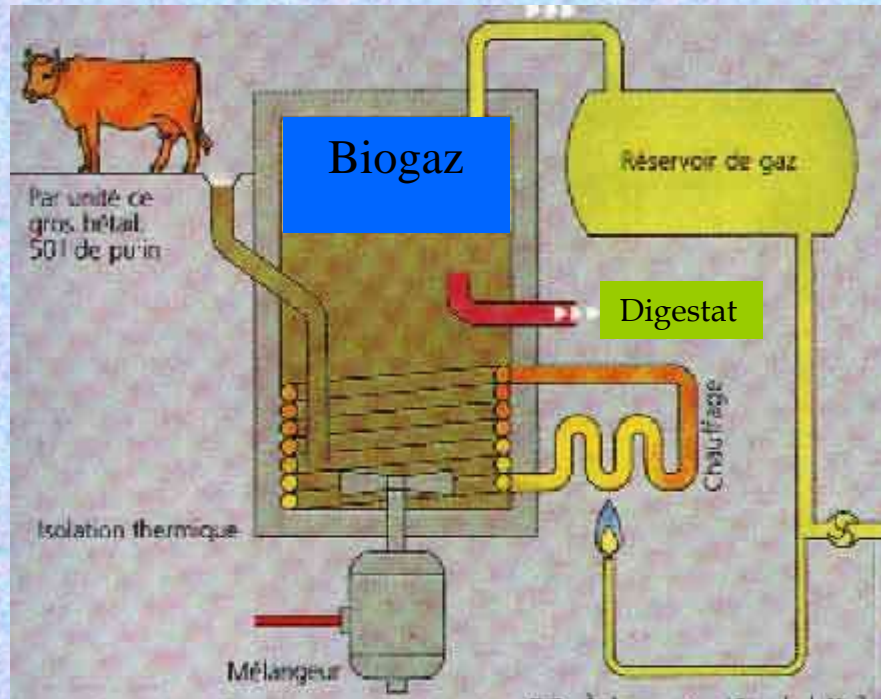
La teneur en matière sèche doit être choisie de façon à :

- Eviter les inhibitions.
- Assurer une bonne dissolution de la matière organique et par suite augmenter la vitesse de biodégradation.
- Avoir un lisier qui peut être pomper et qui s'écoule facilement par gravité.

SYSTEME DE DIGESTION

➤ LE DIGESTEUR

C'est le cœur du processus de la méthanisation. Le digesteur est équipé d'un ensemble de dispositifs sont destinés à assurer la production du biogaz, son stockage et des conduites de transport.



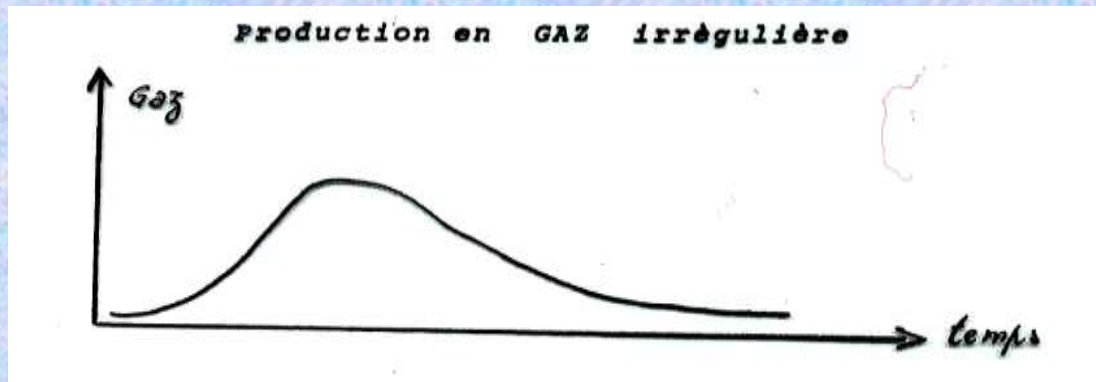
Digesteur à biogaz

SYSTEMES DE DIGESTION

Selon la nature de la matière à fermenter on distingue deux types de groupes de digesteurs :

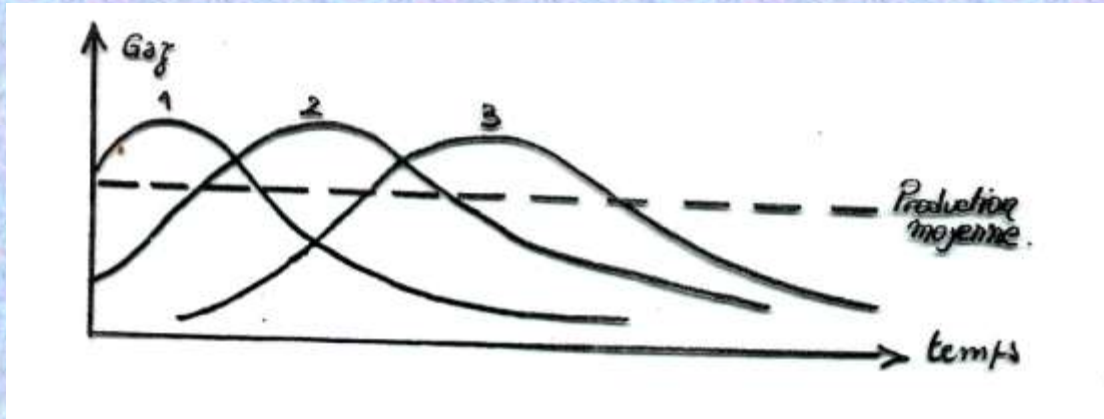
• Les digesteurs fonctionnant en discontinu :

- **Conseillés pour les résidus riches en matière sèche, nécessitent deux ou plusieurs cuves.**
- **Le digesteur est :**
 - **chargé en une seule fois,**
 - **scellé,**
 - **Puis, vidé quand la production du biogaz est terminée (Vidange après 40 – 60 jours).**



Pour avoir une production plus régulière de gaz, il faut disposer de plusieurs cuves, en général 3.

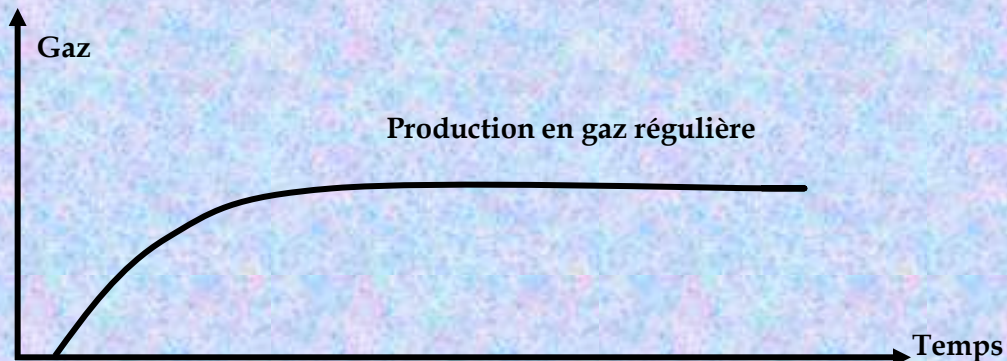
SYSTEMES DE DIGESTION



☛ Les digesteurs fonctionnant en continu :

Ils sont beaucoup plus séduisants car :

- on dispose d'une seule cuve,
- la production du gaz est régulière.



QUELQUES MODELES DE DIGESTEURS REALISES AU MAROC



↑
**Digester indien
(Syst. Continu)**



↑
Digester discontinu



←
**Digester à dôme
hémisphérique
(Procédé Continu)**

→ **Autres modèles (Programme de
R&D),**

LES UTILISATIONS DU BIOGAZ

☐ Utilisations direct : **Cuisson, Chauffage de l'eau et domestique éclairage, réfrigération,...**



← Éclairage →



Lampes à manchon



Brûleur à biogaz

← Cuisson →



Cuisinières

LES UTILISATIONS DU BIOGAZ

Réfrigérateur à biogaz →



☐ Combustion interne (**G.E, Centrale à biogaz, ...**) Transformation en énergie électrique



← Moteur diesel adapté au biogaz



← Moteur à biogaz

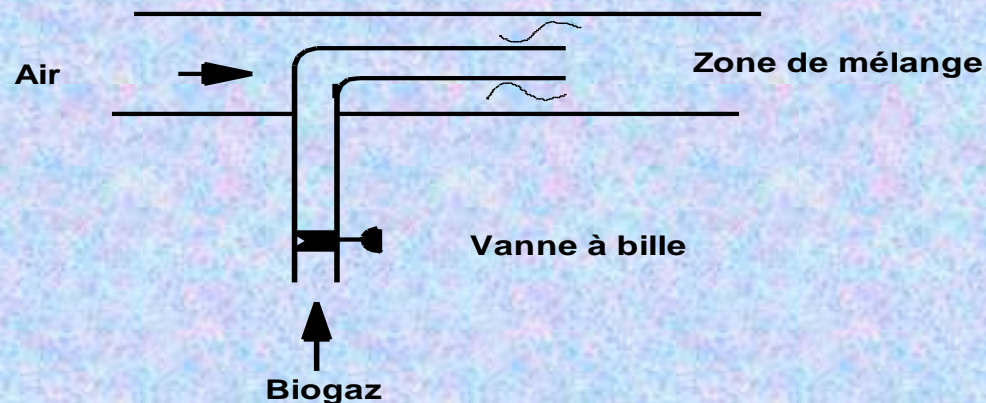
ADAPTATION MOTEUR DIESEL AU BIOGAZ

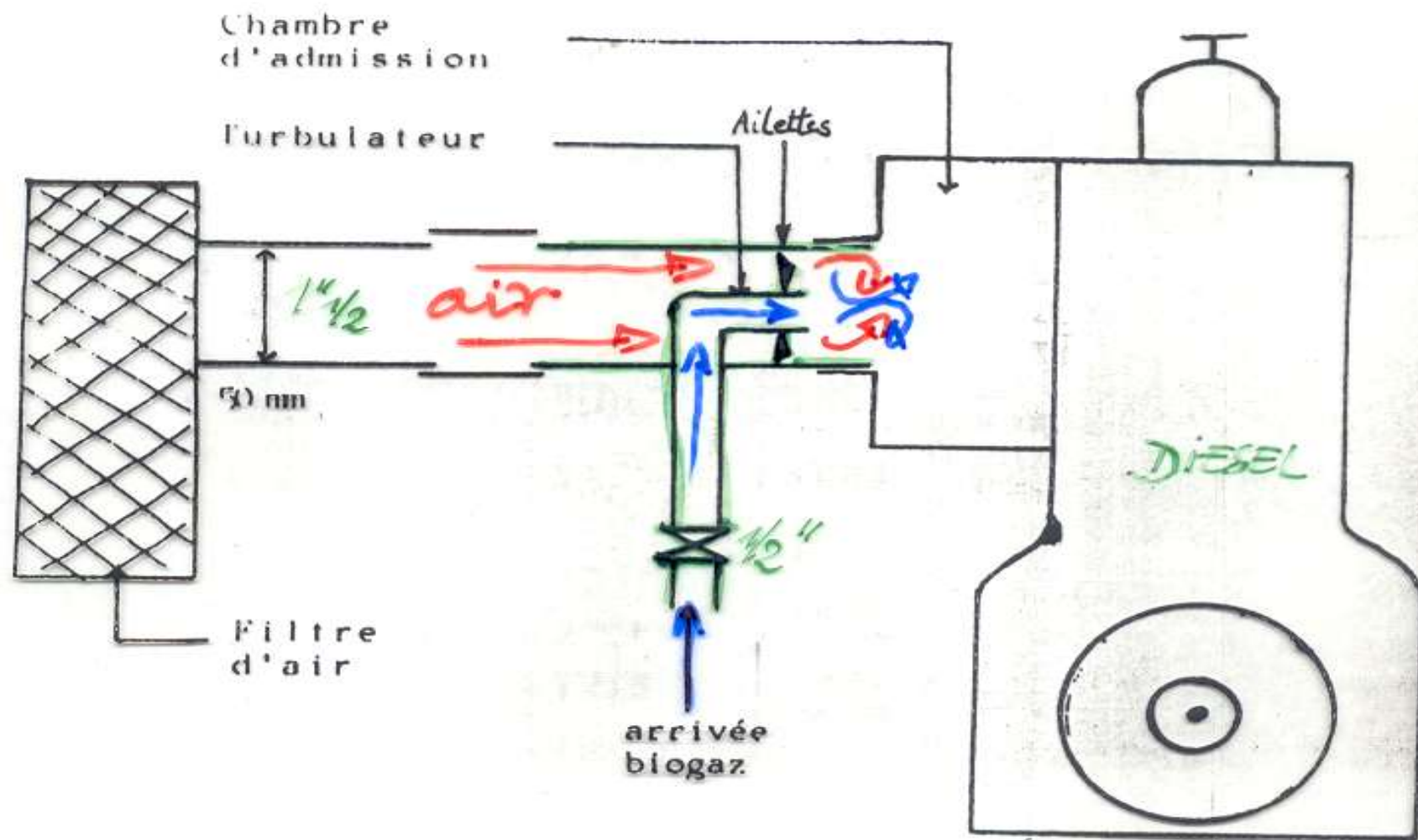
📁 Conception du mélangeur (air/biogaz):

Le mélangeur permet :

- d'avoir un mélange homogène (air + biogaz) dans les cylindres,
- d'avoir un même ratio (air/biogaz) dans chaque cylindre.

Le mélangeur (air/biogaz) est installé entre le filtre à air et l'admission d'air du moteur.

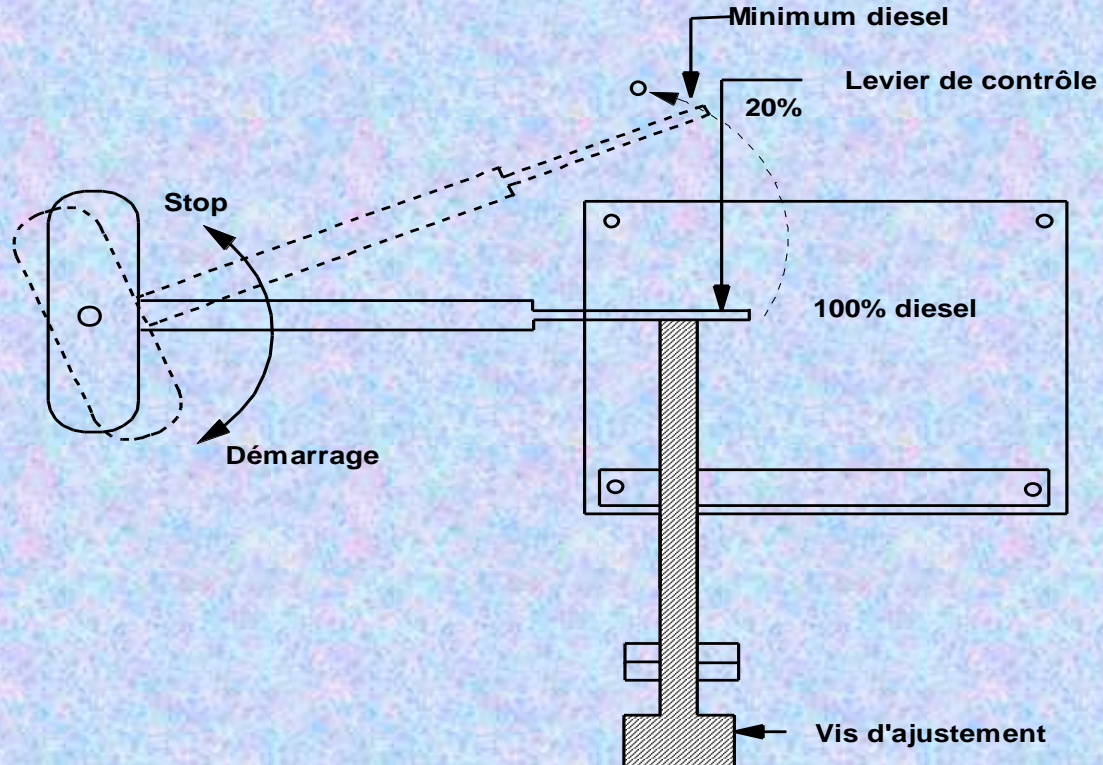




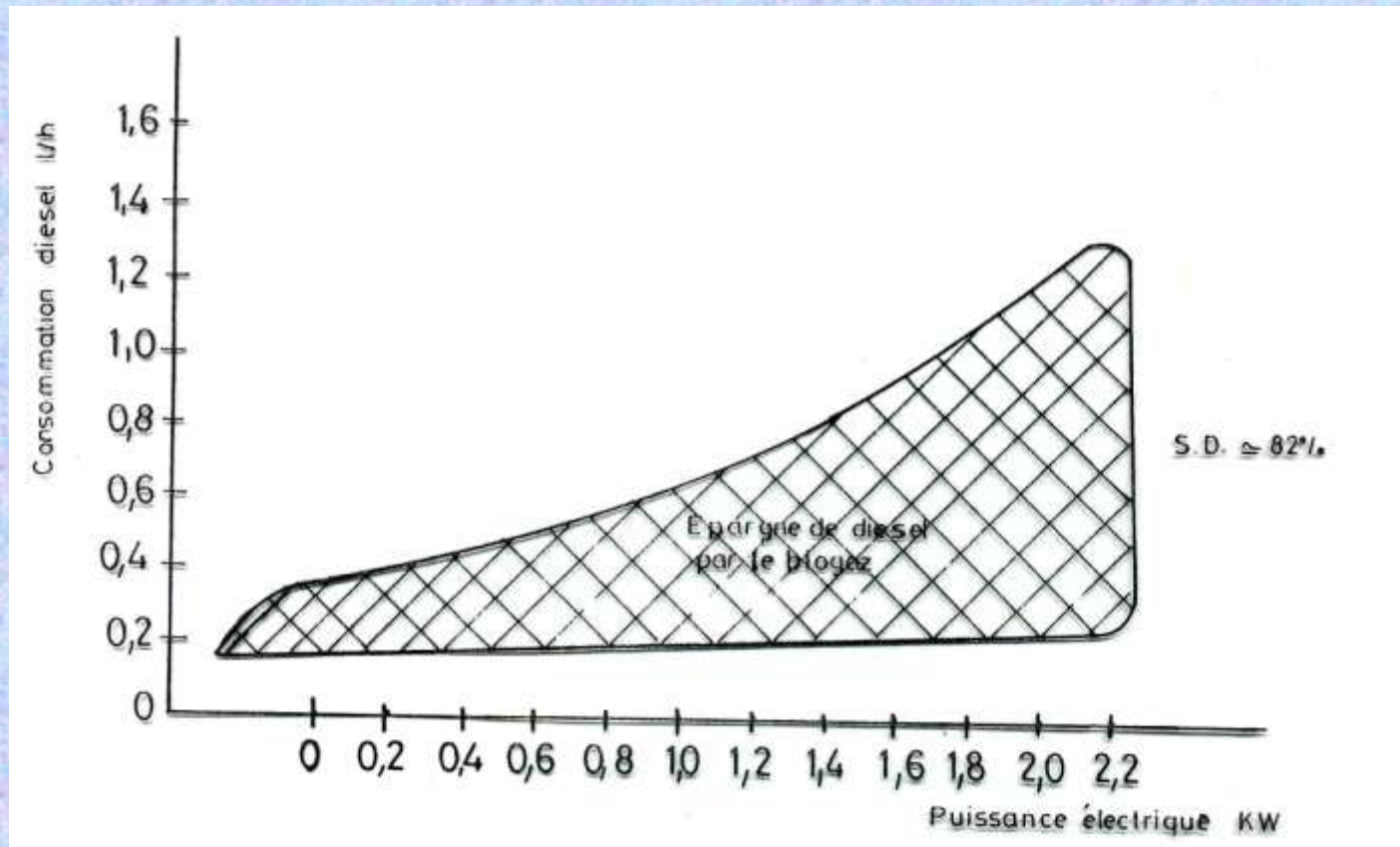
Exemple : Collecteur d'air $\phi = 50 \text{ mm}$ # 1963 mm^2
 Injecteur de gaz $\phi = 15 \text{ mm}$ # 176 mm^2

📁 Réglage du minimum de consommation du diesel:

Le levier d'arrêt du moteur peut être utilisé pour limiter la consommation du diesel.
Pour la limiter, il y a lieu d'installer un système mécanique



📁 Contrôle de la puissance du moteur :



Avec la fixation de la consommation diesel, la vitesse et la puissance du moteur sont contrôlées par la vanne du biogaz.

ETAPES POUR CONSTRUCTION D'UN DIGESTEUR

☛ CONDITIONS POUR LA REALISATION D'UN DIGESTEUR

CHOIX DU SITE :

Le choix du site d'une installation de biogaz doit prendre en considération les critères suivants :

- **Disponibilité de la matière première (bouse de vache et eau),**
- **Besoins en énergie sous forme de gaz (biogaz),**
- **Disposition du bénéficiaire à assurer le fonctionnement de l'installation.**

CHOIX DE L'EMPLACEMENT :

Quant au choix de l'emplacement, ce dernier doit tenir compte des facteurs suivants :

- **Le niveau piézométrique de l'eau,**
- **La consistance du sol,**
- **La proximité de la source de matière première : bouse (près de l'étable), eau près d'un point d'eau (mais de façons à éviter leur interférences),**
- **La proximité de la cuisine (réduction des pertes de charge et du coût de plomberie),**
- **Endroit ensoleillé (activer le processus biométhanisation).**

☛ DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION DE BIOGAZ

☐ Cas d'une installation classique agricole :

☐ La capacité du digesteur est calculée sur la base de la quantité de bouse disponible par jour à l'étable.

☐ Exemple:

☐ Production de bouse /j (B.F)	~ 100 Kg/jour
☐ Volume d'eau nécessaire (Ve)	= 100 litres
☐ Temps de séjour (Ts)	= ~60 jours à 20 C
☐ Production du biogaz	= 0,18 m ³ /m ³ dig/jour (moy.exp.labo)
☐ Volume du mélange/jour	= B.F + Ve = 200 l = Vm
☐ Capacité utile du digesteur	= Vm * Ts = Vu = 10 m ³
☐ Production potentielle du biogaz	= 10 * 0,18 = 1,8 m ³ = Vb
☐ Capacité totale du digesteur	= Vu + Vb ~ 12 m ³

Cuisson: 220 l/h/brûleur, Eclairage: 120 l/h/lampe, Réfrigération (180 l) : 50 l/h, Moteur (10 cv): 1,5 m³/h

ETAPES POUR CONSTRUCTION D'UN DIGESTEUR

➤ PREPARATION DES MATERIAUX ET MATERIEL

▣ **Matériaux** : Ciment, sable, gravier, buses, sikalite, bitume (flintkote), ... (voir guide de construction),

▣ **Matériel** : Plomberie : Tube galvanisés, coudes, vannes, ... (voir guide de construction)

▣ **Outillage** :

- Ouillage de maçonnerie (niveau à bulles, Truelle, fil à plomb, taloche, pioche, brouette, ...),
- Baguettes de mesure,
- Moules : de couvercle, à briques,
- Caisse de dosage (40cm x 28,5 cm x 25 cm).

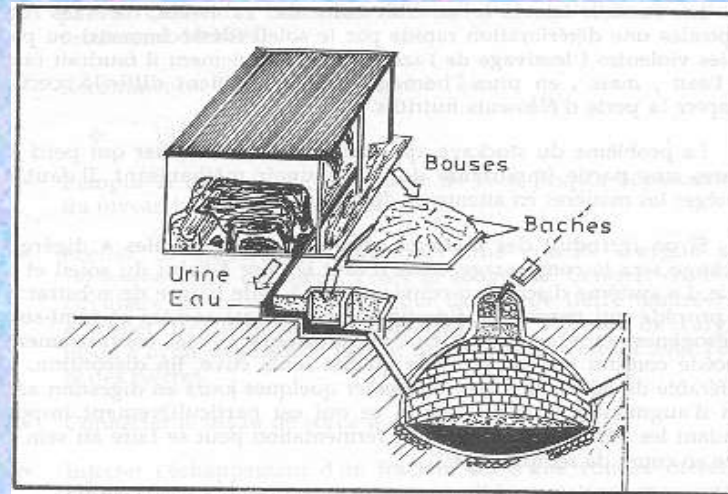
➤ TEST D'ETANCHEITE

- Étanchéité à l'eau
- Étanchéité au Gaz (après installation de la tuyauterie)

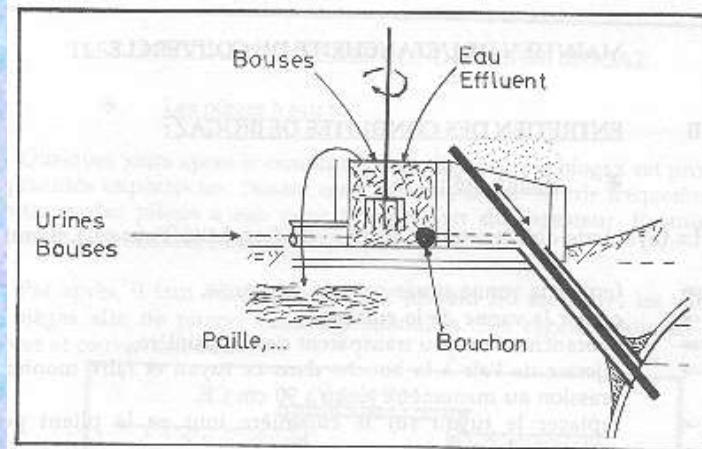


DEMARRAGE DU DIGESTEUR

☛ Préparation du substrat



☛ Chargement du digesteur



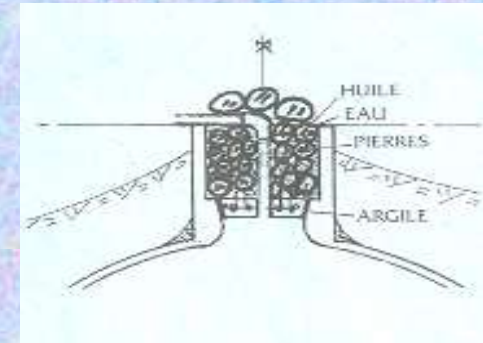
ENTRETIEN DU DIGESTEUR

☛ *Alimentation quotidienne du digesteur*

☛ *Entretien de l'étanchéité du couvercle*

☛ *Entretien des conduites à biogaz*

☛ *Elimination de l'eau de condensation (purges)*



LES SECTEURS CIBLES (biométhanisation)

- ❑ Les centres urbains et ruraux :
 - ordures ménagères (fraction organique des O.M)
 - eaux usées (M.O dissoute + boues)

- ❑ L'agro-industries (résidus et sous-produits des U.A.I :
conserveries, brasseries, abattoirs, sucreries, ...)

- ❑ Secteur de l'élevage :
 - déjections des animaux (bovines),
 - déchets de cultures,

EXPERIENCE NATIONALE

■ **Le biogaz agricole**

- Introduction de la technologie en 1983,
- Système de digestion simple et classique,
- Capacité (10 à 100m³),
- Nombre d'unités réalisées ~320 dont 85 à S.M.

■ **Objectif programme biogaz**

- Protection des ressources naturelles (forestières),
- Mise à la disposition de la population d'une source d'énergie locale et renouvelable,

■ **Partenaires : MAMVA, ORMVAs, GTZ/PSE, ...**

Les enseignements

Malgré les efforts déployés dans ce domaine, le développement du biogaz au Maroc reste encore en deçà des espérances et ce compte tenu de ce qui suit:

- Les modèles de digesteurs utilisés sont classiques et leur productivité est limitée,
- Les capacités installées dans la plupart des cas n'arrivent à permettre un confort énergétique en comparaison avec les besoins (cuisson à 90%),
- La présence de solutions concurrentielles (bois, butane, ...),
- Manque d'une approche appropriée basée sur des éléments organisationnels, techniques et financiers et service après vente (ex: ESCOS pour les digesteurs à méthane),
- La plupart des projets ont été réalisés dans le cadre de programmes étatiques supportés par la coopération étrangère.

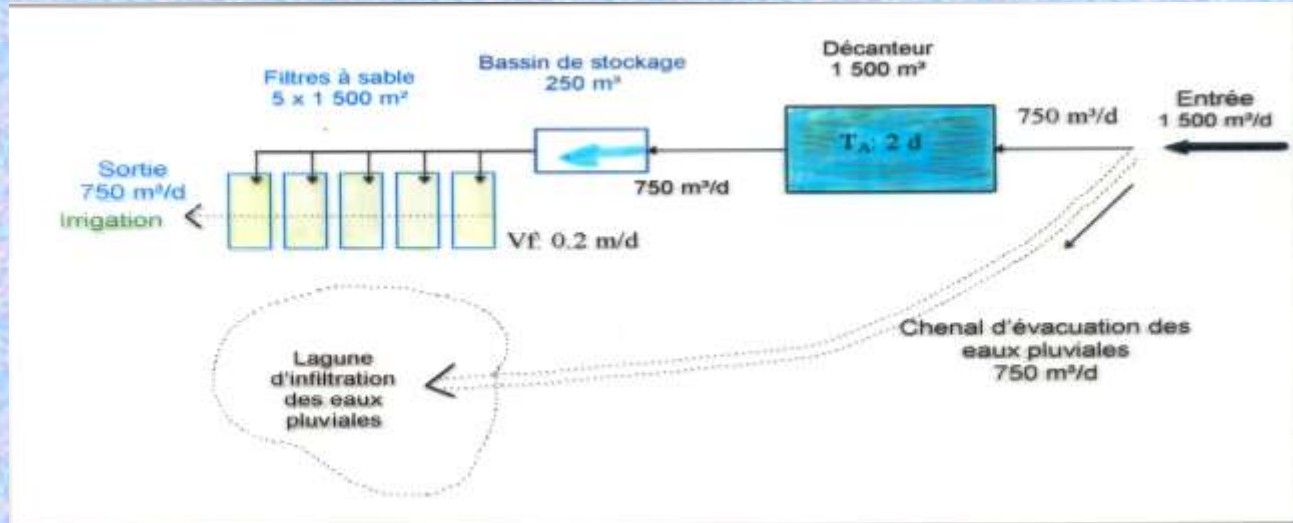
Éléments stratégiques pour une diffusion massive

- **Conduite de campagnes de sensibilisation et d'information au profit des agriculteurs, ...**
- **Mise en œuvre d'une approche de diffusion adaptée avec des encouragements et mesures incitatives (subventions, crédits, ...),**
- **Mise en place de structures régionales fortement outillées pour l'application de ces approches (appui sur les structures des ORMVA des DPA, Coopératives agricoles, ...),**
- **Développement des applications de l'usage du biogaz (Force motrice, électricité décentralisée) et des digesteurs de moyenne et de grande taille, digesteurs collectifs, ...**
- **Mise en place de programmes adéquats de formation au profit des décideurs, vulgarisateurs, maçons, ...,**
- **Développement d'une industrie locale en matière de digesteurs (moteurs à biogaz, digesteurs prêt à installer, digesteurs en plastiques, ...).**

EXPERIENCE NATIONALE

■ Le biogaz à partir des eaux usées

Présentation de la STEP

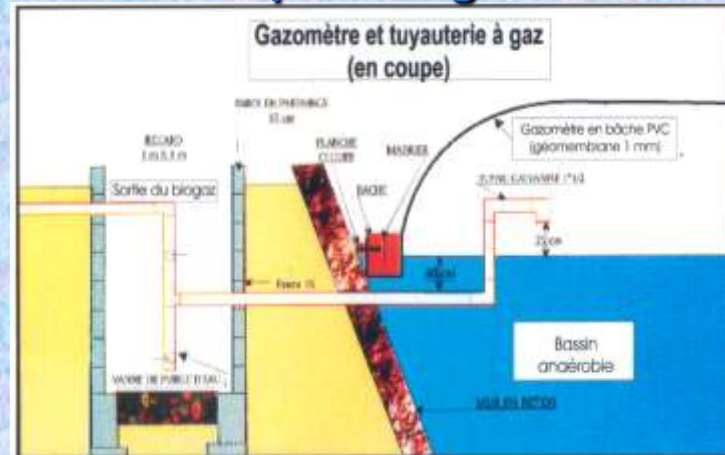


Choix de l'usage du Bassin de décantation comme fermenteur et conception d'un système de captage du gaz

Captage et stockage biogaz



Transport biogaz



Études sur la biométhanisation des Eaux usées

- Etudes des potentialités sur cinq STEP (années 90)
- STEP M'Zar (2007, Phase étude) :



APERCU SUR LA BIOMETHANISATION DANS LE MONDE

❑ ***Pays asiatiques :***

La chine et l'Inde (Premiers utilisateurs mondiaux du biogaz) avec 7 et 1 millions de dig. agricoles familiaux,

❑ ***Pays africains :***

Réalisations ponctuelles ou au stade de diffusion restreinte (100 à 300 dig) Cas du Maroc, Kenya, Burundi, ...

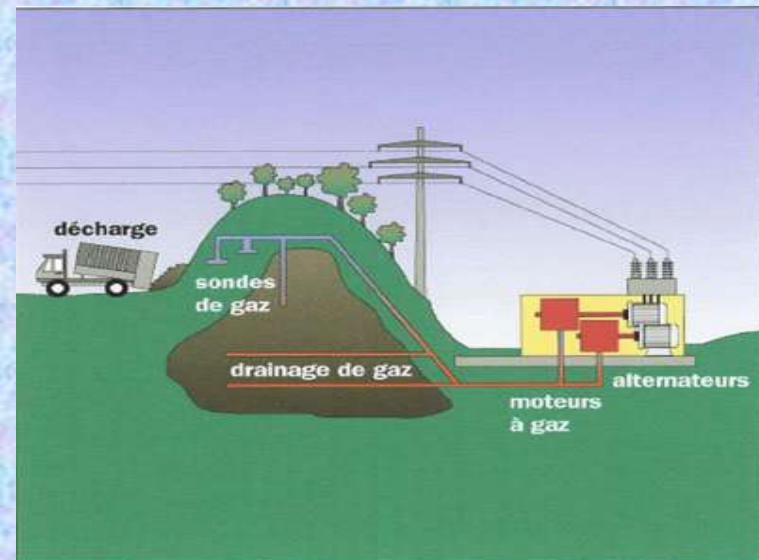
❑ ***Pays Industrialisés :***

Intérêts marqués aux USA, Japon, Europe pour cette technique (valorisation des ordures ménagères, épuration des eaux usées et lutte contre la pollution industrielle et agricole).

LES PAYS DEVELOPPES/ EUROPE

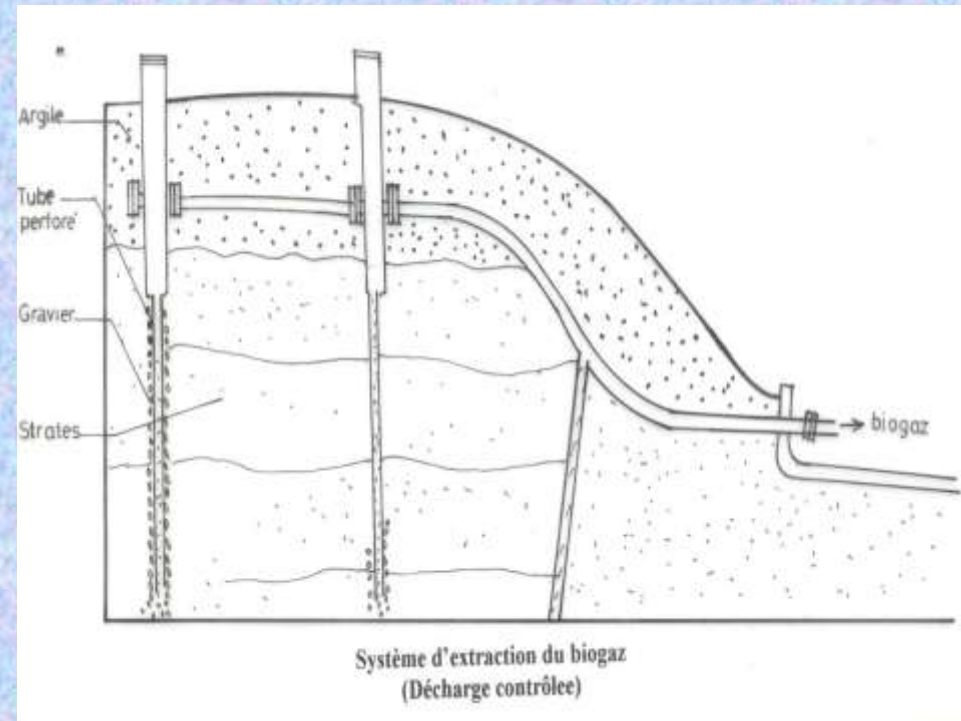
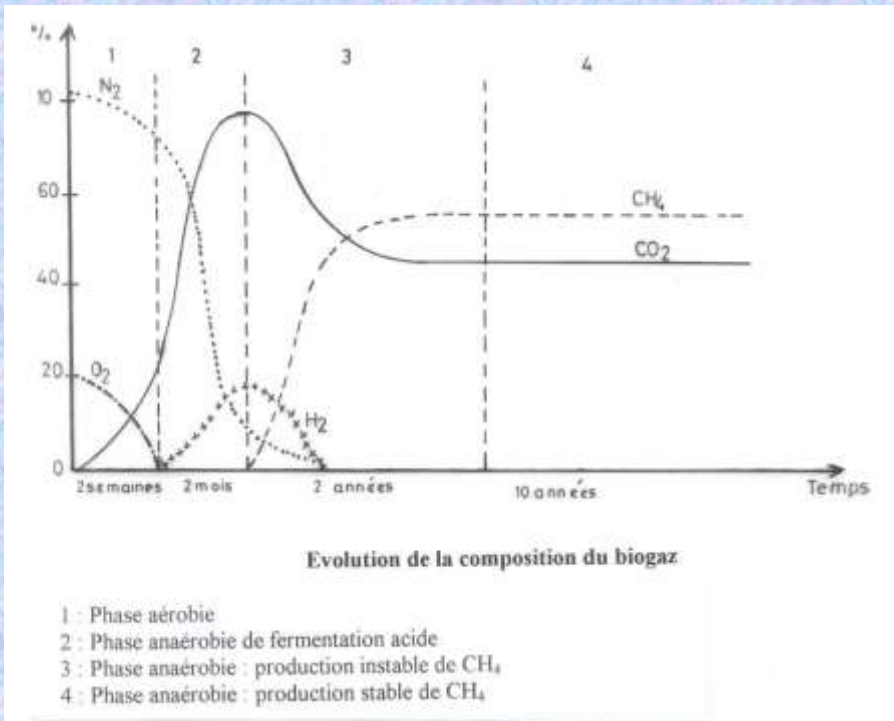
Méthanisation de déchets organiques:

- Centres d'Enfouissement Technique (Décharge contrôlée),
- Des stations d'épuration (Boues des bassins de décantation),
- Déchets agricoles chez certains agriculteurs (lisiers).



Évolution de la composition du bio gaz (D.S)

Technique d'extraction du bio gaz des D.S



TECHNIQUES ET PROCÉDES

(Quelques exemples)

Les leaders mondiaux sont allemand (**Steinmüller Valorga**),

-Digesteur alimenté en continu avec des déchets 'secs' (à 20-40 % MS)

-Les digesteurs assurent le traitement biologique anaérobie des déchets ménagers, de jardin, papiers,...



TECHNIQUES ET PROCÉDES

(Quelques exemples)

et Belge (DRANCO - Organic Waste System).

DIGESTION ANAÉROBIE THERMOPHILE 'SECHE'

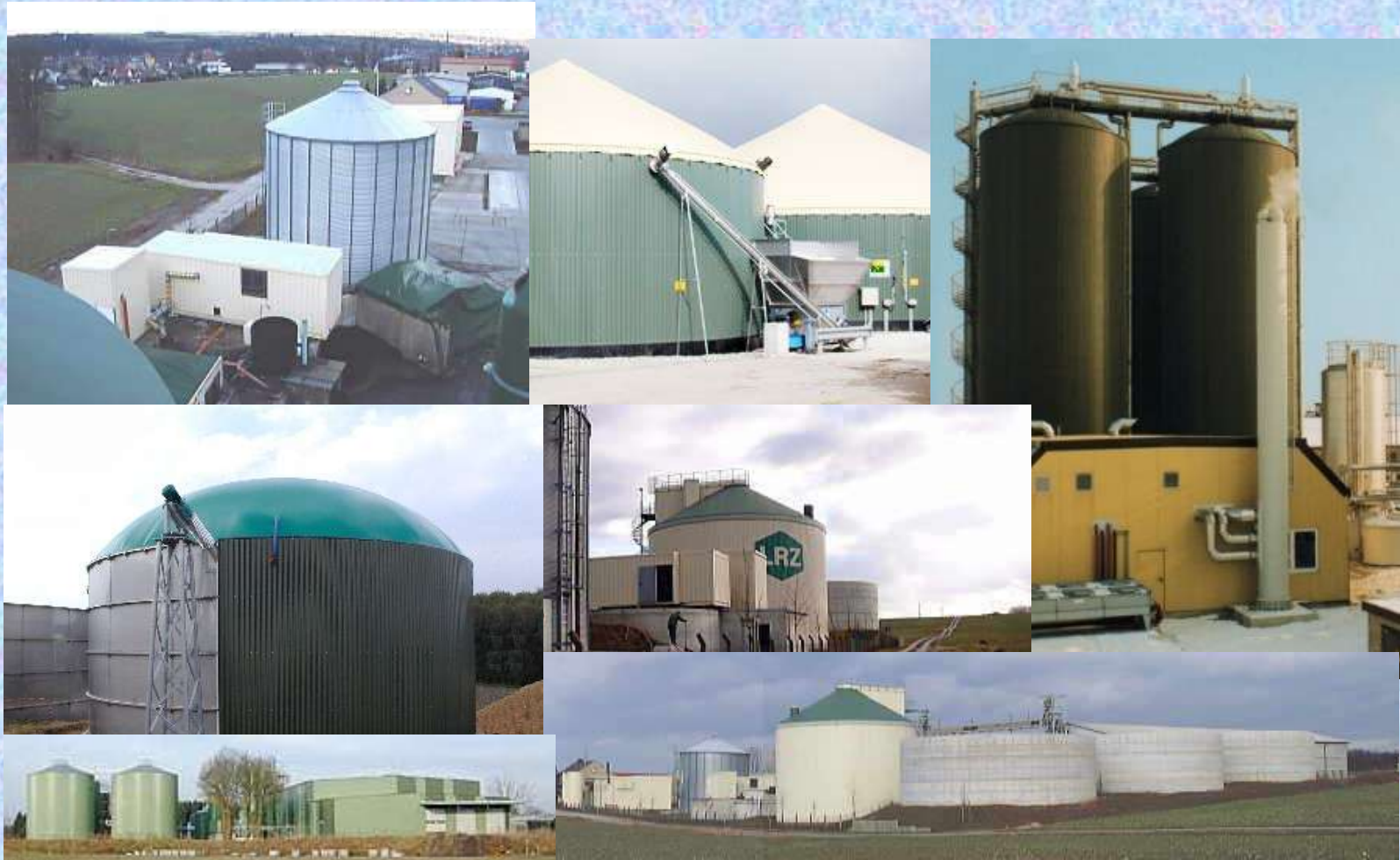
- Le procédé assure la fermentation anaérobie des déchets organiques semi-solides (25-40% MS) en produisant du biogaz, de l'électricité et de la chaleur.

- La maturation aérobie des déchets fermentés permet d'obtenir un amendement assaini (Humotex)



Danois (Linde), finlandais (Citec), Suisse (Kompogas), USA (Funnell), et D'autres techniques pour déchets agricoles.

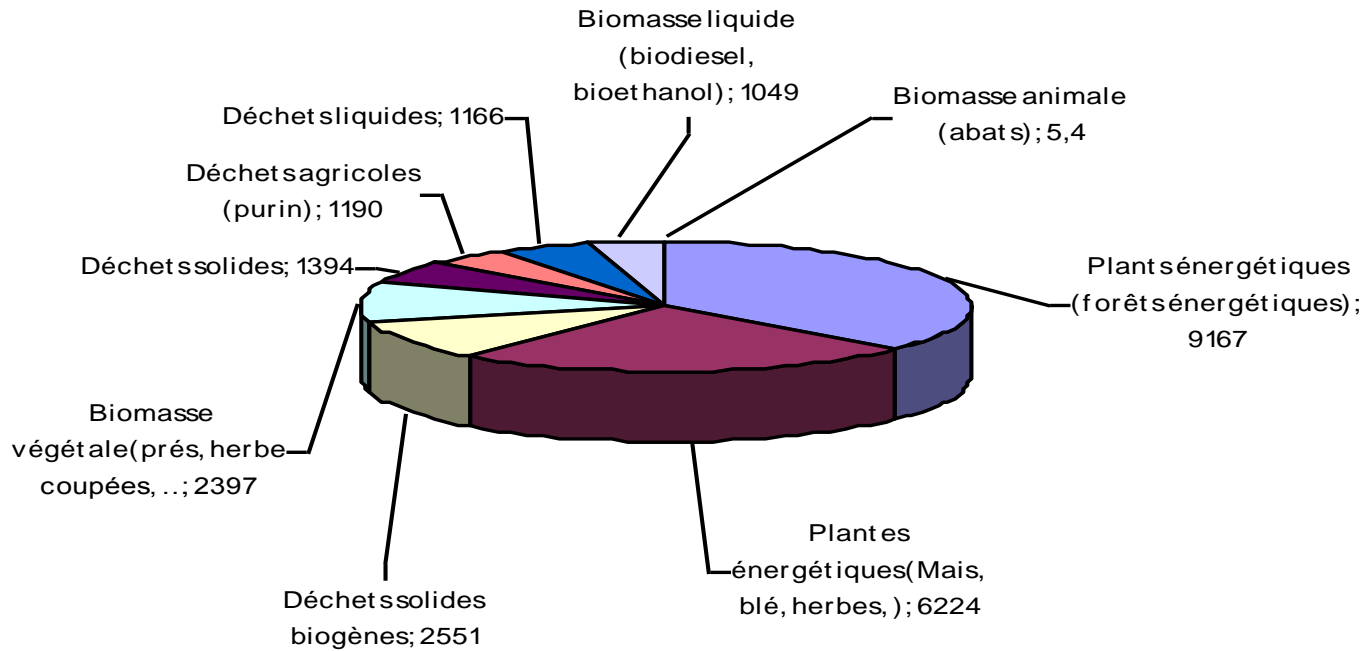
Les installations de biogaz



Perspectives pour le Maroc

La biomasse constitue la deuxième ressource énergétique nationale après la filière éolienne (Le potentiel bio-massique mobilisable avoisine les 4000 MW th (Etude GTZ 2007)).

Potentiel technique de production d'énergie à partie de la biomasse (GWh/An)



Potentiel de production de l'énergie à partir de la biomasse (25.000 GWh th/an)

Plan National de la biomasse énergie

A court terme :

**la production de 1.160 GWh thermique par an à l'horizon 2012
(Puissance installée 45 MW).**

- **Décharges contrôlées : 542 GWh/An**
- **Boues des STEP : 272 GWh/An**
- **Déchets Agricoles (grandes exploitations d'élevage): 345 GWh/An**

A moyen terme :

**la production de 3778 GWh thermique par an
à l'horizon 2020 (Puissance installée 144 MW).**

- **Décharges contrôlées : 1406GWh/An**
 - **Boues des STEP : 1166 GWh/An**
 - **Déchets Agricoles et agroindustriels : 1206 GWh/An**
- + Mobilisation de nouvelles ressources énergétiques biomassiques : Biodiesel, ...**