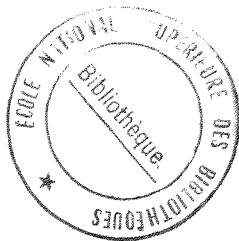


NOTE DE SYNTHÈSE

méthanisation
des
ordures ménagères

8411836

Université
Claude Bernard (Lyon I)

MATAIX

MARIE - CHRISTINE

P L A N

1. INTRODUCTION GENERALE

2. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

- 2.1. Recherche manuelle
- 2.2. Recherche informatisée
 - 2.2.1. Choix des banques de données
 - 2.2.2. Equations de recherche et résultats
- 2.3. Accès aux documents primaires
- 2.4. Conclusion

3. BIOMETHANISATION DES ORDURES MENAGERES

- 3.1. Introduction
 - 3.1.1 Les ordures ménagères
 - 3.1.2. La fermentation méthanique
 - 3.1.3. Les décharges contrôlées
- 3.2. Aspects microbiologiques
- 3.3. Aspects biochimiques et physiques
- 3.4. Aspects économiques

4. CONCLUSION

5. BIBLIOGRAPHIE

1. INTRODUCTION GENERALE

Le sujet initial de cette note de synthèse était "La biométhanisation des déchets urbains".

Après une première approche, il a été restreint à la biométhanisation des ordures ménagères en décharges contrôlées.

Cette note de synthèse a été réalisée en collaboration avec Mademoiselle Véronique MARTIN, étudiante du DEA d'Ecologie Microbienne, sous la responsabilité de Messieurs PERRIER et JACOB du Laboratoire de Microbiologie Physiologique et Appliquée (Université Claude Bernard Lyon I).

2. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Recherche manuelle

Cette recherche constitue une première approche du sujet et a permis une meilleure définition de celui-ci.

Elle a été effectuée à la bibliothèque universitaire de la DOUA et a constitué en :

◊ Consultation des différents fichiers

* catalogue alphabétique des matières :

- microbiologie
- biométhane
- déchets, traitement
- déchets, valorisation

Résultat de la recherche : 6 références bibliographiques. Ces documents sont tous disponibles par l'intermédiaire du système de prêt de la bibliothèque.

* dépouillement des articles et de périodiques scientifiques

- biogaz

Résultat de la recherche : 1 référence ; il s'agit d'un article de la revue scientifique Sciences et Vie. Les revues sont conservées dans la salle de travail de la bibliothèque (1er étage). Le numéro qui nous intéressait était absent

.../...

de la collection (?). Il a été commandé directement à PARIS, mais, épuisé, il ne nous est donc jamais parvenu (premier problème rencontré au niveau de l'obtention des documents primaires).

- ◊ Consultation des Bulletins signalitiques du CNRS (Bibliothèque des chercheurs)
 - microbiologie, virologie et immunologie.

Résultat de la recherche : 2 articles disponibles par l'intermédiaire du CNRS (n° d'identification) mais le prix est assez élevé : 10 pages 20 F

Le nombre de documents obtenus au cours de cette recherche manuelle est faible.

D'autre part, le manque de précision de la stratégie de cette recherche n'a permis d'obtenir en majeure partie que des documents très généraux.

Néanmoins, leur lecture a été d'un apport essentiel en ce qui concerne l'amélioration de la connaissance du sujet et la détermination des mots clés à utiliser lors de l'étape de recherche suivante (recherche informatisée).

2.2. Recherche informatisée

Elle consiste en l'interrogation de banques de données bibliographiques.

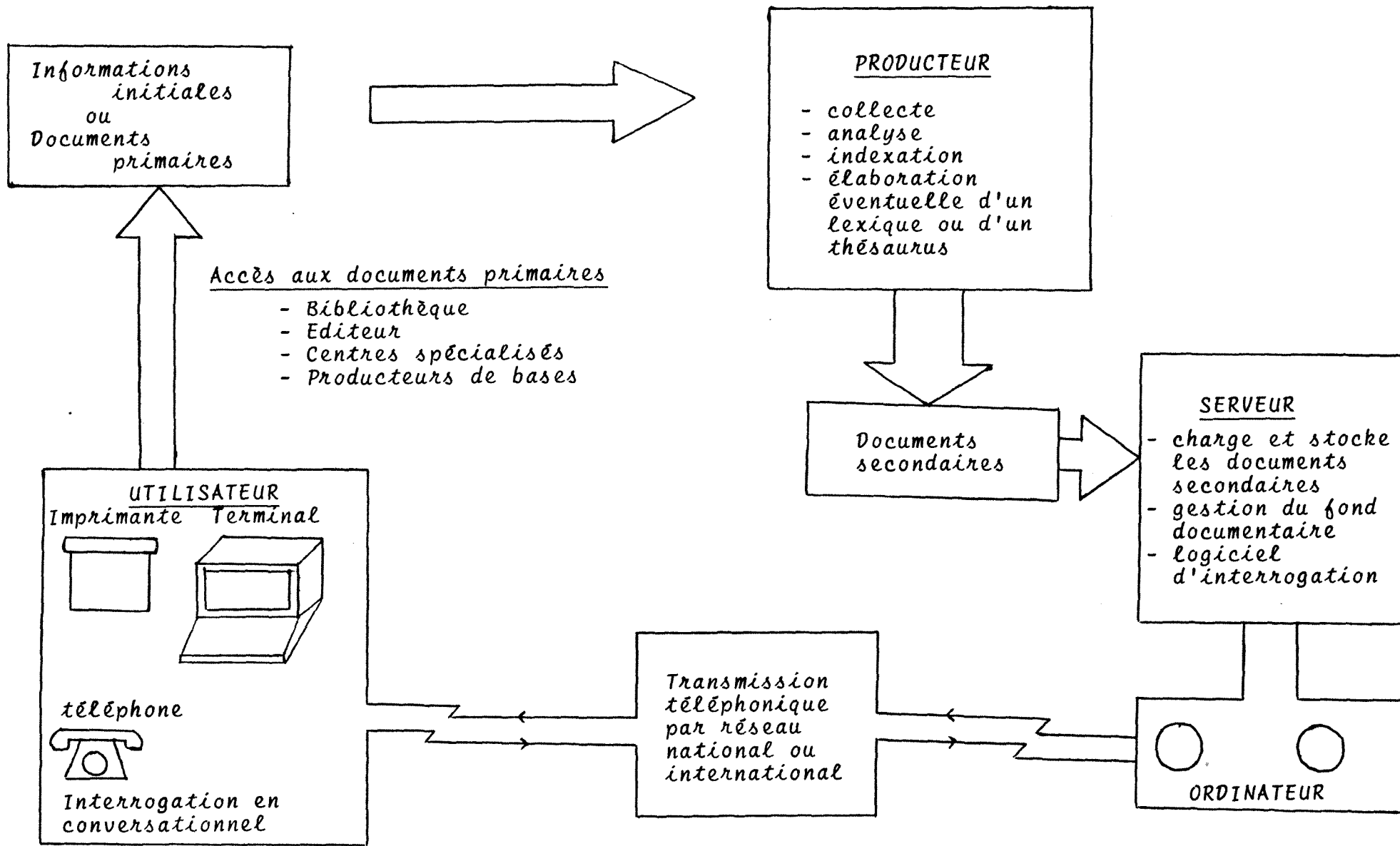
Une banque de données est un ensemble structuré d'informations (de références bibliographiques par exemple) dont la présentation est normalisée. Ces informations sont enregistrées sur un support exploitable par des moyens informatiques.

Cette recherche s'effectue en ligne (interrogation de la banque de données par couplage téléphone-ordinateur : il répond immédiatement aux questions posées).

A la base de ce système, on trouve le producteur (exemple : CNRS) ; il s'agit d'un organisme public, professionnel ou privé qui collecte, analyse, indexe, résume l'information (documents primaires). Il fournit ainsi le contenu des banques de données c'est-à-dire les documents secondaires. Ces derniers sont pris en charge par le serveur.

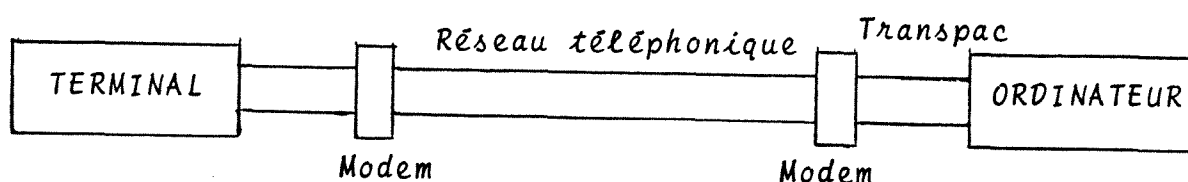
Le serveur lui, est un organisme, en général une société de services et de conseils en informatique (exemple TELESYSTEM : filiale des PTT proposant 35 banques de données) qui possède les moyens informatiques nécessaires pour recueillir dans ses mémoires les documents secondaires fournis par les producteurs (remarque : ces documents secondaires peuvent provenir de différents producteurs). Son rôle est donc d'exploiter un logiciel permettant l'interrogation en ligne de ses fichiers.

Cet ordinateur central est relié aux terminaux d'interrogation par l'intermédiaire du réseau de télécommunication et des réseaux spécialisés de transmission de données (TRANSPAC pour la France, EURONET pour l'Europe).



SCHEMA DE LA PRODUCTION ET DE L'INTERROGATION DES BANQUES DE DONNEES

Les terminaux ne peuvent être connectés directement au réseau spécialisé ; pour ce faire, un autre réseau est utilisé : le réseau téléphonique :



MODEM (modulateur - démodulateur) : il sert à transformer les impulsions électriques issues du terminal ou de l'ordinateur (signaux binaires) en signaux transportables par le réseau téléphonique.

2.2.1. Choix des banques de données

Le serveur TELESYSTEM -QUESTEL des PTT propose 35 banques de données concernant principalement les sciences exactes.

Le sujet de cette note de synthèse présentant à la fois un aspect microbiologique et énergétique, les deux banques de données choisies sont :

- PASCAL (producteur : CNRS)
- EDF - DOC (producteur : EDF).

EDF - DOC est un fichier multidisciplinaire de références bibliographiques concernant les différentes formes d'énergie et les techniques associées. Ce fonds documentaire,

automatisé depuis 1972, compte environ 270 000 références avec un accroissement de 20 000 références par an.

Cette banque de données possède un thésaurus (sous forme papier en 2 volumes) pour l'aide à l'interrogation.

Ce thésaurus permet d'utiliser les mots d'un langage documentaire normalisé ; y sont indiqués les descripteurs qui ont été retenus lors de l'indexation des différents documents. Il présente une certaine structuration (synonymie, hiérarchie entre les différents termes) que l'on ne retrouve pas dans un lexique (liste alphabétique des descripteurs).

PASCAL : il s'agit également d'une banque de données pluridisciplinaires (agriculture, géologie, chimie, sciences de la vie, métallurgie, littérature grise) automatisée depuis 1973 qui comprend 4 500 000 références et s'accroît de 450 000 références nouvelles par an issues, en majorité, de documents provenant du fonds documentaire du CDST (Centre de Documentation Scientifique et Technique).

2.2.2. Equations de recherche et résultats

La première étape dans l'élaboration de cette équation consiste à choisir dans le lexique ou dans le thésaurus les mots clés qui seront utilisés pour l'interrogation de la banque de données.

.../...

Ensuite, il faut élaborer une stratégie de recherche comportant différentes étapes au cours desquelles les différents mots clés choisis seront proposés (opérateurs ET, OU, SAUF sont utilisés) à l'interrogation de la banque de données.

Après chaque étape de recherche, le résultat en nombre de références bibliographiques apparaît sur l'écran.

◊ Interrogation de PASCAL

* Etape de recherche 1 :

- ? biogaz

résultat : 308 références bibliographiques

* Etape de recherche 2 :

- méthane

résultat : 18009

* Etape de recherche 3 :

- étape 1 et étape 2

résultat : 104

* Etape de recherche 4 :

- déchet ? urbain ?

résultat : 1326

* Etape de recherche 5 :

- étape 3 et étape 4

résultat : 14

A ce niveau 14 références bibliographiques sont visualisées, elles sont toutes pertinentes.

- * Etape de recherche 6 :
 - décharge ? contrôlée ?résultat : 496

- * Etape de recherche 7 :
 - étape 6 et étape 3résultat : 12

- * Etape de recherche 8 :
 - étape 7 et étape 5résultat : 8

- * Etape de recherche 9 :
 - étape 7 ou étape 5résultat : 18

- * Etape de recherche 10 :
 - étape 7 sauf étape 8résultat : 4 . Visualisation.

- * Etape de recherche 11 :
 - bioconversionrésultat : 200

- * Etape de recherche 12 :
 - méthan ?résultat : 19 045

- * Etape de recherche 13 :
 - étape 1 et 12résultat : 104

Remarque : L'utilisation d'une troncature pour méthane fait apparaître 19 045 références au lieu de 18 009 mais on retrouve le même résultat à l'étape 3 et 13. Donc dans ce cas, l'utilisation de la troncature n'est pas nécessaire.

* Etape de recherche 14 :
- étape 11 et étape 12
résultat : 34

* Etape de recherche 15 :
- étape 9 et étape 14
résultat : 0

* Etape de recherche 16 :
- étape 14 et étape 4
résultat : 4 . Visualisation.

22 références bibliographiques ont été visualisées au cours de cette stratégie de recherche.

Sur le listing une référence bibliographique se présente de la façon suivante :

Identification
de français
par
la relation
document
ce
ue
mé français

2743972 C.PASCAL
- NO : 82-1-B3A889Y
- FT : BIOMETHANISATION DE MELANGES DE SUBSTRATS D'ORIGINES DIVERSES
- AD : GILLES R.; LENZEN C.; JOASSIN L.; DELCARBE L.
- AF : UNI), LIEGE, MICROBIOLOGIE GEN./BEL
- BT : TRILA
- SO : TRIG. CEREDEAU; ISBN 8277-1856; BEL; DA. 1982; VOL. 35; NO 463-464; PP. 279-285; ABST. ENG; BIBL. 13 REP.; LOC. UNNS-2623
LA : FDE
FA : ETUDE DES POSSIBILITES DE COMBINER LE TRAITEMENT ANAEROBIQUE DE
CONTINUER L'EDITION (O/N) ?

ripteur
ançais
ripteur
glais

SUBSTRATS D'ORIGINES VARIEES EN COMBINANT DES DECHETS RICHES EN FLORE BACTERIENNE (LISIER DE BETAIL, BOUES D'EGOUT) ET D'AUTRES ABSEZ PAVRES (LISIER DE PORC, ORDURES MENAGERES)
CC : 825.B.03.B; 215.B.04.B
FD : DECHET URBAIN; DECHET AGRICOLE; LISIER; ORDURE MENAGERE; DIGESTION ANAEROBIE; METHANE; BIOGAZ
ED : URBAN WASTE; AGRICULTURAL WASTE; ANIMAL SLURRY; HOUSEHOLD REFUSE; ANAEROBIC DIGESTION; METHANE; BIOGAS

.../...

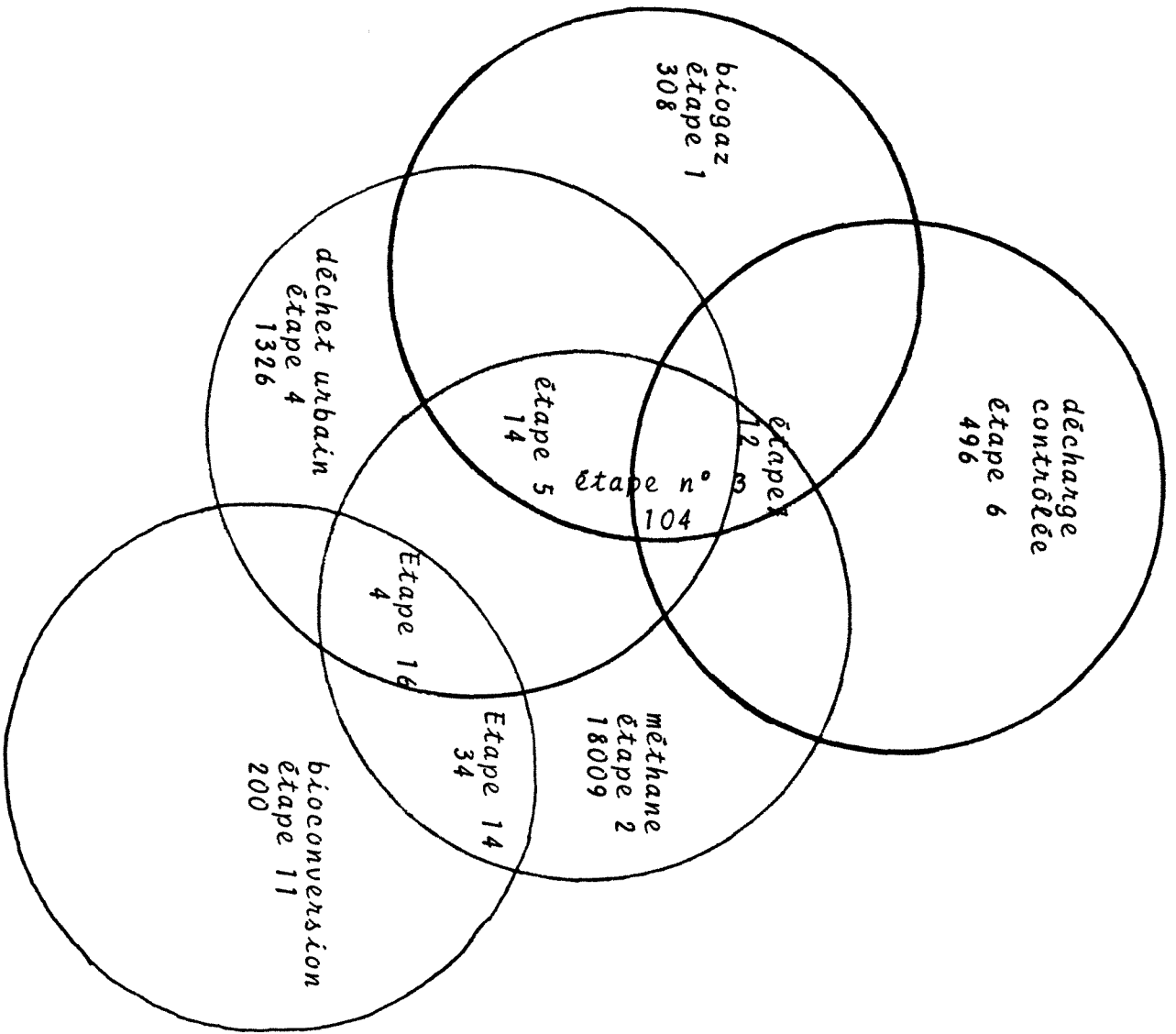


DIAGRAMME D'INTERROGATION PASCAL

Sur ces 22 références :

- . références non pertinentes (hors sujet) : 0
- . références commandées : 10
- . références reçues : 9
- . références non intéressantes mais pertinentes : 5
- . références non commandées pour un problème de prix : 6

Nombre de documents signalés : 22 a

Nombre de documents hors sujet : 0 b

$$\text{Bruit} : \frac{b}{a+b} = \frac{0}{22} = 0$$

Conclusions :

- Le bruit étant = 0 , aucune référence hors sujet, le sujet a été bien cerné. Mais il faut noter que le bruit est inversement proportionnel au silence, donc un certain nombre de références risquent d'avoir été écartées vu la trop grande précision de la stratégie de recherche.

- Il faut noter le prix élevé des photocopies des références du CNRS : 10 pages 20 F (une dizaine commencée est considérée comme complète).

- Un certain nombre de références n'ont pas été reçues à temps (délai de réception beaucoup trop long).

Le problème de l'accès aux documents primaires a été le plus important au cours de cette interrogation.

Ø Interrogation d'EDF - DOC

* Etape de recherche 1

- /DE Méthanisation ou méthane

* Etape de recherche 2

- /DE Ordures ménagères

* Etape de recherche 3

- (Déchet ? ou résidu ?) et urbain ?

* Etape de recherche 4

- étape 2 ou étape 3

* Etape de recherche 5

- étape 1 et étape 4

Résultat : 41 références bibliographiques ont été visualisées au cours de cette stratégie de recherche.

Sur le listing d'EDF - DOC, une référence bibliographique se présente de la façon suivante :

.../...

235930 C.EDF-DOC
 NUMERO EDF : 81H223503
 TITRE FRANCAIS : (UTILISATION DE GAZ METHANE EN PROVENANCE DES
 DECHARGES PUBLIQUES)
 ENGLISH TITLE : METHANE GAS UTILIZATION FROM LANDFILL SITE
 AUTEURS : CRUTCHER A.J.; ROVERS F.A.; MCBEAN E.A.
 TYPE DE DOCUMENT: ARTICLE DE REVUE; (P)
 SOURCE : JOURNAL OF THE ENERGY DIVISION A.S.C.E.; N.EY-1; VOL.107;
 PP.95-102; 3 P.; 4 FIG.; 1 TAB.; 6 REF. BIB.
 CODE SOURCE : N-H200234
 DATE PUBLICATION: 1981/05
 LANGUE : ENG
 RESUME : LE GAZ METHANE SE DEGAGEANT DES DECHARGES PUBLIQUES
 (RESIDUS DOMESTIQUES ET INDUSTRIELS) CONSTITUE UNE
 SOURCE D'ENERGIE NON CONVENTIONNELLE SOUVENT
 PERDUE. CET ARTICLE DECRIT L'INSTALLATION
 D'EXTRACTION DE CE GAZ QUI EST ENSUITE UTILISE POUR
 LE CHAUFFAGE D'UNE SERRE CONSTRUITE SUR LE SITE DE
 LA DECHARGE. IL PRESENTE LES RESULTATS D'EXPLOITATION
 DE CETTE INSTALLATION PENDANT LES 5 MOIS DE L'HIVER
 1979. CE SYSTEME COMPREND UN PUIT D'EXTRACTION DU GAZ
 DE 0,9M DE DIAMETRE, DES SONDAS DE CONTROLE DU GAZ
 INSTALLEES RADIALEMENT DANS LE PUIT, UNE POMPE A GAZ
 QUI FONCTIONNE D'UNE MANIERE CONTINUE UN ORIFICE DE
 REJET DU GAZ DANS L'ATMOSPHERE, UN FOUR A GAZ POUR LE
 CHAUFFAGE DE LA SERRE. CETTE INSTALLATION MONTRE QUE
 CETTE RECUPERATION DU GAZ EST A LA FOIS POSSIBLE ET
 ECONOMIQUE.
 DESCRIPTEURS : CHAUFFAGE AU GAZ; METHANE; PUIT; EXTRACTION;
 CHAUFFAGE DES LOCAUX; SERRE; GAZ NATUREL; EXPERIENCE
 D'EXPLOITATION; CANADA; ANALYSE ECONOMIQUE; POMPE;
 FAISABILITE; RESIDU SOLIDE; INSTALLATION DE
 STOCKAGE; ORDURE MENAGERE; CONSOMMATION D'ENERGIE;

QUESTEL* 8301

22/02/84 PAGE 7 13*02*30
 OFF-LINE EDITION

SOURCE D'ENERGIE; FRAIS D'ETABLISSEMENT; FRAIS D'
 ENTRETIEN; CHARGE D'EXPLOITATION; CHAUDIERE A GAZ;
 STOCKAGE DE RESIDU

Sur ces 41 références :

- . références non pertinentes (hors sujet) : 6
- . références commandées : 8
- . références reçues : 6
- . références pertinentes non intéressantes : 22
- . références non commandées (problème de prix) : 1

$$\text{Bruit} = \frac{6}{41} \neq 0$$

L'interrogation d'EDF - DOC est moins fine que celle de PASCAL, un plus grand nombre de références bibliographiques ont été obtenues, le silence est moins important mais bien sûr le bruit (références hors sujet) est plus grand.

Remarque : Interrogation de la banque de données de l'INPI

Lors de la visite de l'INPI (Institut National de la Propriété Industrielle), l'interrogation de sa banque de données a également été réalisée.

La base de données de l'INPI assure la diffusion en conversationnel de l'ensemble des données administratives et bibliographiques de 500 000 brevets publiés en France depuis 1969.

Logiciel d'interrogation : QUESTEL II

Serveur : TELESYSTEM - QUESTEL

Aide à l'interrogation : index officiel de mots clés

Prix de l'interrogation : 550 F/heure

66 brevets ont été visualisés mais, ces brevets faisant appel à une technologie très précise, aucun de ceux-ci n'a été retenu.

2.3. Accès aux documents primaires

Le problème de l'accès aux documents primaires se pose après toute recherche en ligne.

La plupart des documents ont été commandés par l'intermédiaire du prêt inter-bibliothèques.

Le problème de l'accès aux documents primaires se situe essentiellement au niveau temps (délai de réception trop important) et au niveau du prix de revient des photocopies (cf. CNRS).

Pour résoudre ces problèmes, certains grands serveurs proposent des services de photocopie des originaux des articles sélectionnés au cours de la recherche. La commande de ces photocopies se fait également en ligne.

Il semble que l'on s'oriente en France, pour faciliter cet accès aux documents primaires, vers une politique de réseau : 15 Centres d'Acquisition et de Diffusion de l'Information Scientifique et Technique (CADIST) ont été mis en place dans des bibliothèques universitaires et dans des organismes qui dépendent de l'Education Nationale.

Les centres sont chargés d'acquérir et de diffuser les périodiques correspondant à leur spécialité.

.../...

Tous les périodiques disponibles dans les différents CADIST sont répertoriés dans un catalogue collectif national informatisé et consultable en ligne.

L'accès aux documents primaires est la seule étape de cette recherche bibliographique qui ait présenté quelques difficultés.

2.4. Conclusion

La qualité de l'interrogation d'une banque de données dépend des différents "maillons de la chaîne" :

- producteur : choix des publications, qualité de l'indexation et des aides à la recherche (thésaurus ou lexique),
- serveur : capacité de l'ordinateur, qualité du logiciel, mise à jour, formation proposée aux utilisateurs,
- réseau : fiabilité de la transmission des informations, assurance d'une transmission continue, simplification des procédures d'accès (mots de passe, numéro de téléphone),
- utilisateur: un certain niveau de connaissances dans le domaine interrogé, du contenu et de la structure de la banque de données, du langage d'interrogation est nécessaire.

Le problème du délai d'obtention des documents primaires après leur commande serait résolu par un système de commande en ligne.

La commande en différé diminue le prix de la transmission de l'information en ligne : le serveur fait parvenir les documents par la poste.

Le coût moyen d'une interrogation varie entre 400 et 500 F/heure auxquels il faut ajouter 50 F/mois d'abonnement au réseau PTT. Le coût de l'utilisation du réseau est fonction de la durée de l'interrogation et du volume d'informations transmis : 7 F/heure sur le réseau Français, 35 F/heure sur le réseau Européen. Il faut ensuite rajouter le prix de la référence commandée : 0,40 F - 1,50 F par page.

Mais par rapport à la recherche traditionnelle d'informations, la recherche en ligne offre un repérage plus rapide et plus complet des références de documents en réponse à des critères de sélection beaucoup plus précis.

3. BIOMETHANISATION DES ORDURES MENAGERES

3.1. Introduction

L'intérêt grandissant porté à la valorisation des déchets est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et à la législation qui devient très sévère en ce qui concerne la protection de la nature et de l'environnement.

.../...

Il a été calculé que la production mondiale en énergie fossile non renouvelable atteindra son maximum entre les années 2030 et 2050 puis diminuera très vite.

Pour faire face à cette éventualité, de nouveaux systèmes d'approvisionnement en énergie sont à l'étude. La presque totalité des demandes d'énergie devra être satisfaite pour des sources d'énergies renouvelables. Le gisement de biomasse constituera une de ces sources. La filière fermentation méthanique ne sera qu'une composante des énergies renouvelables.

Si dans les décennies prochaines, on envisage des cultures à finalité énergétique, dès maintenant on peut s'intéresser aux sous produits de ces biomasses que constituent les ordures ménagères.

Les premières installations de récupération du méthane visaient, avant tout, à supprimer les risques d'explosion, à réduire les odeurs et à permettre la remise en culture de ces dépôts stabilisés.

Les Américains, les Allemands puis les Français se rendirent compte par la suite de l'intérêt énergétique de ce biogaz et les études sur sa production en décharge contrôlée et en digesteurs commencèrent véritablement.

.../...

3.1.1. Les ordures ménagères

Définition : ce sont les déchets résultant de manière spécifique de la vie et de l'activité des ménages. Du point de vue administratif sont compris sous cette dénomination, tous les déchets dont l'enlèvement doit être assuré par l'entreprise chargée de la collecte des déchets de faibles dimensions. Elles comprennent notamment outre les déchets provenant de habitations, les produits de nettoyage des voies publiques et des marchés.

Les sociétés modernes sont caractérisées par l'importance des déchets qu'elles produisent.

- aux USA : 2,5 Kg d'OM / jour / habitant
- en France : 1 Kg d'OM / jour / habitant

Référence bibliographique n° 21

En France, on considère que les différentes directions que prennent les ordures ménagères sont les suivantes :

- 30 % vont en décharges sauvages
- 70 % sont collectées dont :
 - . 30 % vont en décharges
 - . 50 % sont incinérées
 - . 15 % sont compostées.

Références bibliographiques n° 21 - 25

La composition des ordures ménagères est très hétérogène et très variable selon la localisation et la saison.

Les papiers, cartons et matières fermentescibles

.../...

constituent la partie la plus importante des ordures ménagères ; la composition des ordures fraîches reste en général dans les limites suivantes :

- eau : 20 - 50 % du poids
- matières minérales : 30 - 40 % du poids
- matières organiques : 20 - 45 % du poids

Grâce à la présence des matières organiques fermentescibles dans les ordures ménagères, des phénomènes de fermentation se produisent dans la masse de ces ordures.

Les fermentations peuvent être conduites de deux façons :

- "fermentation" aérobie (en présence d'air) : elle fournit un compost utilisable en agriculture,

- fermentation anaérobie (en absence d'air) : elle se produit quand on isole les ordures de l'air, soit par compactage, soit par broyage et dépôt en couches successives d'épaisseur suffisante (ex. la décharge du Pateux. Référence bibliographique n°1).

Dans ces conditions, il se produit au sein des ordures un biogaz constitué essentiellement de :

- méthane : 50 - 55 %
- gaz carbonique : 40 - 45 %
- azote, H₂S : quelques %

Référence bibliographique n° 25

On peut estimer à 100 m^3 le volume de biogaz fourni par la fermentation d'une tonne d'ordures ménagères urbaines.

Référence bibliographique n° 1

3.1.2. Fermentation méthanique

On se trouve donc en présence d'un processus microbiologique anaérobie qui non seulement minéralise la matière organique, mais qui en plus produit un gaz essentiellement composé de CO_2 et CH_4 .

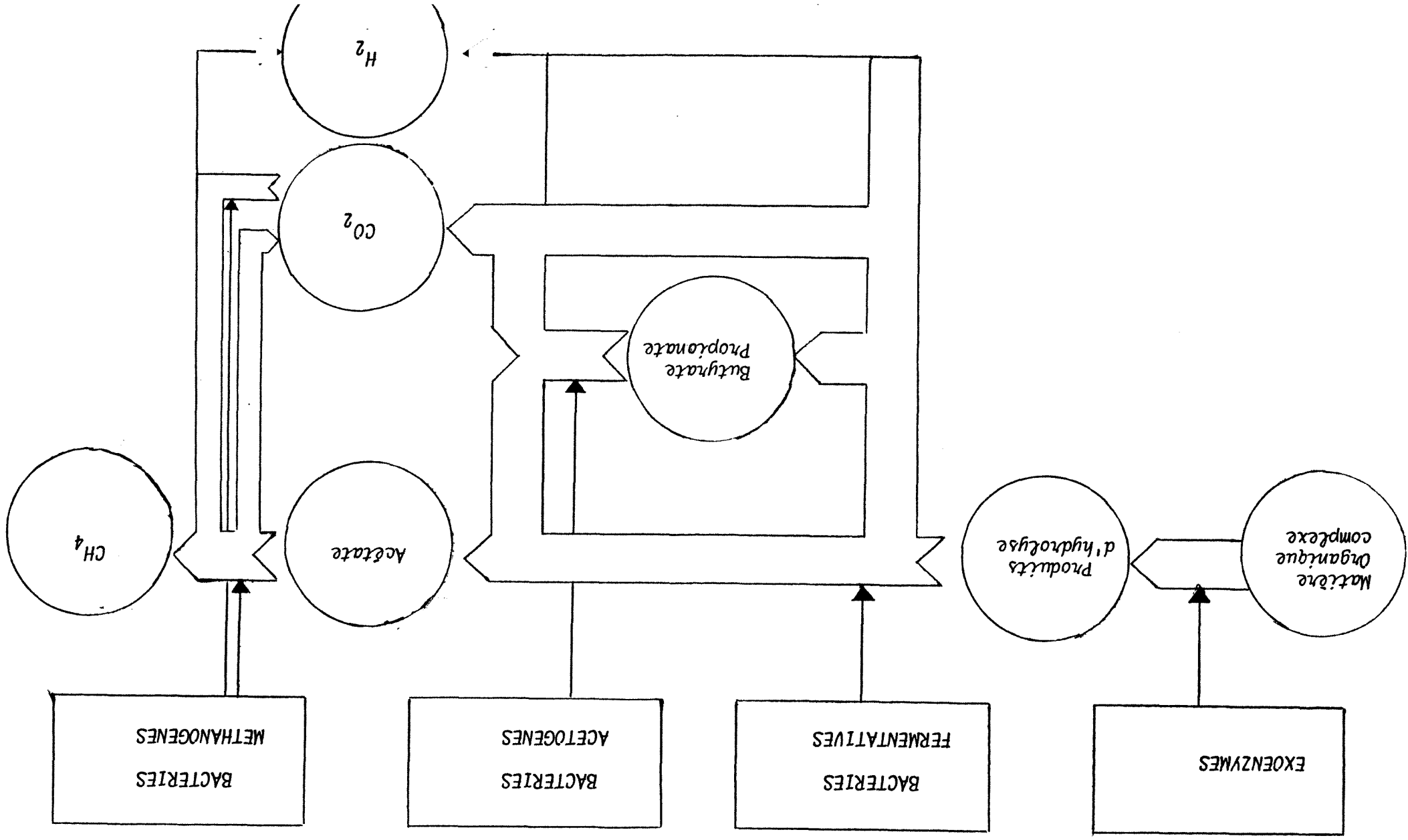
Cette transformation s'effectue en plusieurs étapes. On distingue 4 phases :

- liquéfaction (hydrolyse)
- acidogénèse
- acétogénèse
- méthanogénèse.

* hydrolyse : elle débute dès la mise en dépôt et permet la disparition des traces d' O_2 . Les matières organiques directement utilisables sont "cassées" en composants plus simples (dépolymérisation des protéines, polysaccharides, fibres lignocellulosiques). C'est une étape limitante du procédé dans la mesure où les résidus organiques sont assez résistants (prétraitements possibles).

.../...

DIAGRAMME DE LA FERMENTATION METHANIQUE



* acidogénèse : conduit à la formation d'acides gras volatils (propionate, butyrate,...) lactate, alcools (propanol, butanol, éthanol...).

* acétogénèse : transformation des acides gras volatils et des quelques alcools formés en acétate et en équivalents réducteurs. C'est un phénomène complexe de symbiose entre bactéries acétogènes et bactéries consommatrices d'H produit.

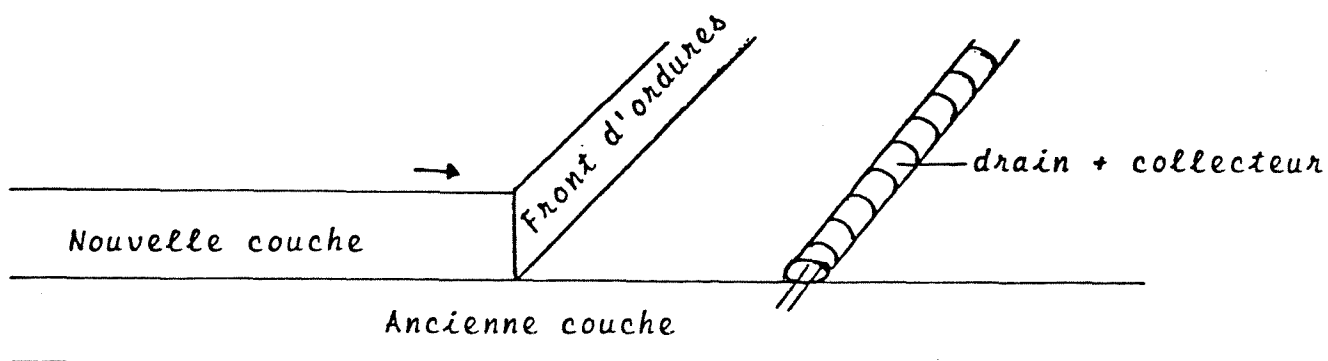
* méthanogénèse : l'acétate est transformé en CH_4 et en CO_2 dans une suite de réactions biochimiques en utilisant comme substrat énergétique H_2 qui réduit le CO_2 en CH_4 .

3.1.3. Décharge contrôlée

La décharge où sont déversées les ordures occupe en général une vallée.

Les ordures ménagères y sont répendues en couches successives d'environ 3 m d'épaisseur. En avant du front d'ordures, un drain constitué de pneus est posé sur l'ancienne couche. Le front d'ordures fraîches le recouvre en avançant. Les drains sont espacés d'environ 20 - 30 m. Un tuyau de polyéthylène pénètre dans le drain et sert de collecteur.

.../...



Référence bibliographique n° 1

3 ou 4 mois après la couverture des pneus, l'anaérobiose s'installe et le biogaz peut être drainé par création d'une dépression au bout du drain (aspiration du gaz par ventilation).

Ce sont essentiellement les matières organiques fermentescibles qui seront transformées en CH_4 et en CO_2 au cours du processus de méthanisation.

Pour obtenir une fermentation dans de bonnes conditions, il faut résoudre les problèmes spécifiques dus à la nature même des ordures ménagères et à leur composition :

- hétérogénéité de taille des composants : broyage, tri.
- meilleur rendement : en augmentant le degré d'humidité.
- ajout de déchets riches en matières organiques : déjections animales, fumier, boues de stations d'épuration.

.../...

Le biogaz obtenu pourra être utilisé à proximité de la décharge, brûlé 24 h sur 24, et son mode d'utilisation devra tolérer les fluctuations de débit (ex : briquetteries, chaufferies urbaines, serres agricoles).

3.2. Aspects microbiologiques

La méthanisation des ordures ménagères est donc un phénomène microbiologique anaérobie d'où le nom du gaz obtenu : biométhane (pour le distinguer du méthane qui pourrait être obtenu par voie chimique).

Il s'agit d'une chaîne de dégradations successives réalisées grâce à de nombreuses espèces bactériennes qui conduit au stade terminal : à la formation du CH_4 .

Au cours de l'hydrolyse ce sont des bactéries Gram positives ou Gram négatives sporulées ou asporulées qui interviennent (ex : Bactéroïdes sp. ; Clostridium thermocellum ; Ruminococcus sp.).

Au cours de l'acidogénèse ce sont des bâtonnets Gram négatives mobiles non sporulées (ex : Bactéroïdes ruminicola) des bactéries Gram négatives aérobies anaérobies facultatives (ex : Enterobactéries).

Au cours de l'acétogénèse ce sont déjà les bactéries méthanogènes qui entrent en action (ex : Methanobacillus omelianskii ou d'autres bactéries comme Clostridium thermocellum ou Clostridium formoaceticum).

Méthanogénèse : Les bactéries méthanogènes sont très répandues dans les sédiments naturels, champs d'épandage, le rumen du bétail, les eaux usées... Ces bactéries n'utilisent que les acides organiques. Elles sont caractérisées par une croissance très lente et une vie en anaérobiose stricte ; leur culture est de ce fait très difficile.

Les différents genres de bactéries méthanogènes sont :

- Méthanobactérium (ruminantium, mobilis, formicum) : batonnet non incurvé muni de flagelles polaires uniques ou en touffe.
- Méthanospirillum : batonnet incurvé.
- Méthanobacillus (omélianskii) : forme bacillaire sporulée.
- Méthanococcus (vanneilii) : cellule cocciforme, sphérique immobile.
- Méthanosarcina (bakkeri) : sarcine.

Ces bactéries méthanogènes apparaissent comme un groupe nettement différencié des autres procaryotes.

Les deux types de molécules importantes présents dans les détritux sont les composés azotés (protides, urée) et la cellulose.

La dégradation des composés azotés se réalise plutôt en milieu aérobie. Elle conduit à la formation de NH_3 , CO_2 , H_2 et est réalisée par des moisissures comme Penicillium, Aspergillus, Rhizopus et des bactéries comme Proteus, Pseudomonas, Bacillus, Serratia.

La dégradation de la cellulose est plus difficile, elle peut avoir lieu en milieu anaérobie ou aérobie. Au cours de cette dégradation, interviennent des actinomycètes, des moisissures (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*) et des bactéries (*Bacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Cellulomonas*).

Cette dégradation conduit à la formation d'alcools, cétones, acides organiques (acides gras).

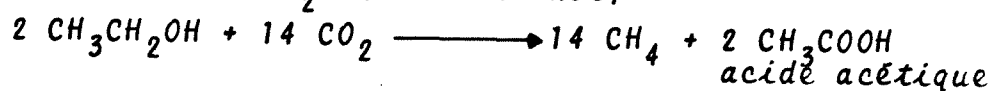
3.3. Aspects biochimiques et physiques

Les deux voies possibles pour la conversion des acides, alcools ou sels en CH_4 sont :

- fermentation de l'acide (ex : acide acétique)



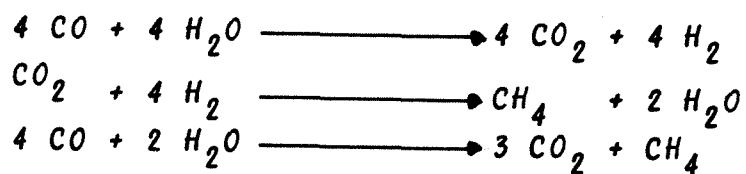
- réduction du CO_2 (ex : éthanol)



Les mécanismes de réduction du CO_2 en CH_4 sont assez mal connus.

Les travaux des chercheurs américains tendent à montrer que le CO issu principalement des groupes carboxyles ($-\text{COOH}$) d'acides gras décomposés serait à la base du CO_2 et du CH_4 .

.../...



Chaque fermentation permet aux microorganismes qui la réalisent de récupérer une partie de l'énergie contenue dans le substrat, énergie qui permet leurs activités vitales.

Dans un système bien équilibré, les deux phases de la fermentation se produisent simultanément.

Si les bactéries méthanogènes sont absentes, le procédé se poursuivra par une "liquéfaction" des matières organiques, et on observera l'apparition d'une boue noire caractéristique d'une fermentation bloquée.

D'autre part, si la liquéfaction se produit plus vite que la gazeification, l'accumulation des acides peut inhiber les bactéries du méthane et bloquer la fermentation.

Pour maintenir les conditions de vie des microorganismes jusqu'au but recherché (production de gaz et destruction du déchet), on doit respecter certaines conditions de leur milieu de vie et faire en sorte qu'elles se maintiennent dans le temps :

- Importance de l'interdépendance des bactéries intervenant

Ce n'est pas une relation symbiotique qui existe

entre les microorganismes qui interviennent, mais une relation d'ordre trophique, c'est-à-dire que les microorganismes d'un groupe donné profitent des éléments qui lui sont apportés par le métabolisme d'autres groupes. Les bactéries productrices d'acides éliminent l'oxygène et elles produisent la "nourriture de base" pour la production du CH_4 et l'action de leurs enzymes sur les protéines et acides aminés libère des sels d'ammonium qui constituent la seule source d'N que les producteurs de CH_4 acceptent.

A leur tour, les bactéries méthanogènes éliminent les acides et les convertissent en gaz. Si cette conversion n'avait pas lieu, même les bactéries formatrices d'acides ne pourraient plus survivre. Ces bactéries sont en général beaucoup plus résistantes et donc capables de supporter de brusques changements de conditions de milieu.

- Milieu anaérobie :

En milieu anaérobie, la décomposition des matières organiques conduit à la formation de gaz comme H_2 , H_2S mais jamais de CH_4 . Les fermentations méthaniques devront avoir lieu dans les cuves étanches (digesteurs) ou à des profondeurs suffisantes dans les décharges contrôlées.

- Humidité :

L'eau constitue un réacteur enzymatique.

Optimum d'humidité : 50 à 60 %

.../...

- Température :

Cette fermentation fait appel à une flore anaérobie mésophile qui a un optimum d'action entre 35° et 40° ou à une flore thermophile qui, elle, a son optimum d'action entre 50° et 60°.

En pratique, les bactéries mésophiles sont celles qui sont le plus souvent rencontrées au cours de cette fermentation (surtout au niveau de décharges).

Références bibliographiques n° 12-20-30

- pH :

Le maintien d'un pH stable est essentiel.
pH alcalin : 7,5 - 8,5

Référence bibliographique n° 19

- C/N

Le rapport C/N ne doit jamais être supérieur à 35, le rapport idéal étant de 30.

Référence bibliographique n° 20

- C/P

Le rapport C/P doit être d'environ 150 (P se trouve dans les cadavres d'animaux, déjections d'oiseaux, déchets de poissons).

Référence bibliographique n° 19

- Absence d'éléments toxiques

Ces éléments toxiques sont surtout les ions de métaux lourds (Cu, Ni, Pb, Zn), détergents...

3.4. Aspects économiques

Les chiffres cités pour le coût de la récupération du CH₄ varient beaucoup d'une source d'informations à l'autre.

En France, 15 millions de tonnes d'ordures ménagères sont récupérées par an. A partir d'une tonne d'ordures ménagères, 100 m³ de biogaz peuvent être obtenus, dont 50 m³ de CH₄.

Référence bibliographique n° 25

Si on admet qu'un quart des ordures ménagères françaises vont en décharge contrôlée, on arrive à un potentiel de 187 10⁶ m³ de CH₄ par an.

On peut estimer qu'une bonne exploitation comme celle du Pateux équivaldrait à une production de 300 m³ de CH₄ par heure, 24 heures sur 24, soit une économie de 1000 tonnes de pétrole par an.

Référence bibliographique n° 33

Deux possibilités d'utilisation du CH_4 sont envisagées : combustible ou carburant.

Il pourrait être particulièrement intéressant, lorsque la situation géographique le permet, d'injecter le biogaz dans un réseau d'utilisation du gaz naturel.

Une autre solution pourrait être de trouver un utilisateur proche du site de la décharge (petites industries locales) afin d'éviter les coûts importants de la mise en place de canalisations et de purification du biogaz.

Autres possibilités d'utilisations : combustion du gaz hydraté pour des besoins de chauffage, entraînement d'un moteur à gaz avec générateur de courant, liquéfaction du gaz et utilisation comme carburant, mise en bouteille.

4. CONCLUSION

Si l'importance de la biométhanisation des ordures ménagères reste limitée sur le plan national, leur valorisation énergétique présente un intérêt local certain.

Une seule contrainte : la nécessité pour l'utilisateur de consommer le biogaz en continu, le stockage revenant cher.

La récupération du CH_4 à partir des décharges contrôlées est possible mais pas toujours économiquement valable. Seules les décharges importantes recevant au moins 1000 tonnes d'ordures ménagères par jour (les ordures de 1.000.000 d'habitants) peuvent être aménagées.

Etant donné l'accroissement des zones urbaines et l'augmentation de la consommation, ce type d'étude, de par la réduction et la valorisation des nuisances, devient intéressante et souhaitable.

5. BIBLIOGRAPHIE

- 1 - P. BONTE 1982
 "La récupération du biogaz sur la décharge du Pateux".
 Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne.

- 2 - R. BRAUN 1982
 "Optimisation de la fermentation méthanique à partir
 de divers substrats".
 Tribune du Cebedeau n° 469 p. 473-482

- 3 - C. BROOKS ; D.K. WALTER 1980
 "Refuse conversion to methane : a proof of concept
 anaerobic digestion facility".
 Transactions on Power Apparatus and Systems (IEEE)
 Vol. PAS - 99 n°6 p. 2363-2368

- 4 - C.L. COONERY ; D.L. WISE 1975
 "Thermophilic anaerobic digestion of solid waste for
 fuel gaz production".
 Biotechnology and Engeneering Vol.17 p. 1119-1135

- 5 - L. DEBAERE ; W. VERSTRAETE ; A. ROZZI 1981
 "Phase of separation in anaerobic digestion : motives
 and methods".
 Tribune du Cebedeau Vol.34 n° 453-454 p. 367-371

- 6 - L. DELCAMBE ; A. GILLES ; L. JOASSIN ; CH. LENZEN 1983
 "Biométhanisation de mélanges de substrats d'origines
 diverses".
 Tribune du Cebedeau n° 463-464 P. 279-285

- 7 - L. DELCAMBE ; L. DIERICKX ; A. GILLES; C. JOASSIN ;
CH. LENZEN 1983
"Choix d'une méthode de mesure de la biomasse dans des
digesteurs anaérobies en relation avec leur activité
méthanigène".
Tribune du Cebedeau Vol.34 n° 453-449
- 8 - D. DIBENEDETTO 1983
"La décharge contrôlée d'ordures ménagères : un gisement
de CH₄".
Journal Le Progrès.
- 9 - S. ELMALEH ; L. GBAMOUE 1981
"Fermentation méthanogène de l'acétate en réacteur par-
faitement agité ouvert.
Tribune du Cebedeau Vol.34 n° 453-454 p. 377-381
- 10 - J. FREROTTE ; J.P. OMBREGT ; P. PIPYN 1982
"La production de méthane à partir des ordures ménagères".
Tech. Eau Assain. n° 425 p:13-29
- 11 - J. FREROTTE ; J.P. OMBREGT ; P. PIPYN 1982
"La méthanisation des ordures ménagères".
Techniques et Sciences Municipales n°3 p. 117-127
- 12 - R.K. HAM ; K.E. HARTZ 1982
"Gas generation rates of landfills samples".
Conservation and Recycling Vol.5 n°2-3 p. 133-147

- 13 - L. JOASSIN ; D. MATAGNE 1981
"Méthanisation des résidus urbains : Etude théorique
du bilan énergétique et aspects économiques".
Studies in Environmental Science n°9 p. 175-183
- 14 - B.J. KALTWASSER 1982
"Technologie du biogaz dans la république populaire
de Chine".
Tribune du Cebedeau Vol.35 n° 469 p; 449-505
- 15 - K.A. KHAN ; J.T. PFEFFER 1976
"Microbial production of methane from municipal refuse".
Biotechnology and bioengineering Vol;18 p. 1179-1191
- 16 - R.G. KISPERT ; D.L. WISE 1981
"A review of bioconversion systems for energy recovery
from municipal solid waste ; Part II : Fuel gas production".
Ressource conservation Vol.6 n°2 p. 117-136
- 17 - R. KNOP 1982
"L'utilisation du gaz de dépôts comme carburant pour
véhicules".
Tribune du Cebedeau Vol.35 n° 469 p. 507-516
- 18 - KOO CHEUL SHIN 1981
"The optimization of methane gas recovery from waste
material and possibilities for its utilisation".
Conservation and Recycling Vol.4 n°3 p. 129-136

- 19 - B. LAGRANGE 1979
"Biométhane".
Edisud.
- 20 - J.P. LASNERET ; CL. MOUTON 1981
"La production et la récupération du méthane dans les
décharges d'ordures ménagères".
Congrès-Association Teeh. Ind. Gaz Fr. Vol.98 p: 356-378
- 21/- J.B. LEROY 1981
"Les déchets et leur traitement".
Presses Universitaires de France.
- 22 - J.C. LIEBMAN ; J.T. PFEFFER 1976
"Energy from refuse by conversion, fermentation and
residue disposal processes".
Resource recovery and conservation Vo.1 p. 295-313
- 23 - E. LIEGEOIS 1982
"Du biogaz à partir des décharges d'ordures".
Biomasse (fév-mars 1982) p. 49-50
- 24 - F.E. MOSEY 1981
"Methane fermentation of organic wastes".
Tribune du Cebedeau Vol.34 n° 453-459 p. 389-400

.../...

- 25 - M. MURAT 1981
"Valorisation des déchets et des sous-produits industriels".
E.H. Masson
- 26 - E.J.K NYNS 1981
"Conférences plénières sur l'état de la biochimie et la microbiologie de la digestion méthanique".
Tribune du Cebedeau Vol.34 n° 453-454 p. 351-356
- 27 - J.F. PFEFFER 1981
"Methane fermentation. Engineering aspects of reactor design".
Tribune du cebedeau Vol.34 n° 453-454 p. 357-365
- 28 - J.T. PFEFFER 1974
"Temperature effects on anaerobic fermentation of domestic refuse".
Biotechnology and bioengineering Vol.16 p. 771-783
- 29 - A.R. PREVOT 1977
"Biosynthèse bactérienne du méthane des pétroles".
Maloine S.A. éditeur
- 30 - J.P. REBILLAT 1982
"Methane production and recovery in domestic landfills. The French research an experimental programm".
A.N.R.E.D.

.../...

- 31 - J.P. RIEGER 1981
"La production de méthane à partir des ordures ménagères".
Techniques et Sciences Municipales (n° Spécial Déchets).
- 32 - O. TABASARAN 1982
"L'obtention et la valorisation du méthane à partir des
déchets urbains".
Tribune du Cebedeau Vol.35 n° 469 p. 483-488
- 33 - B. TESTA 1982
"Le gaz des ordures ménagères".

