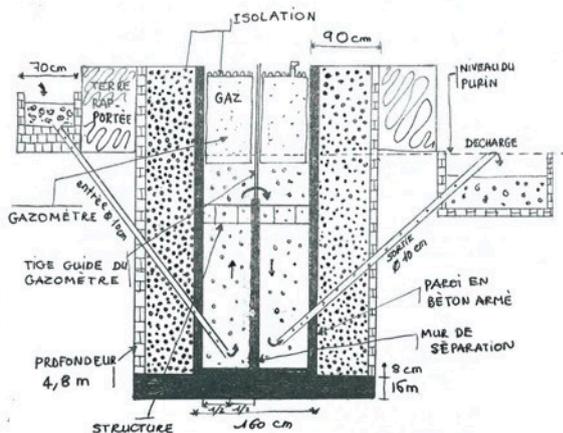


Produire votre gaz méthane

(ou gaz de paille ou gaz de fumier)
avantages et inconvénients



Encyclopédie d'Utovie n°126

**Produire votre
Gaz méthane**

**(ou gaz de paille ou gaz de fumier)
avantages et inconvénients**

Reprise en version numérique des fiches gaz de paille et méthane de
l'encyclopédie d'utovie non publiées en fascicule.

Si ces informations ont déjà un certain âge elles restent, sur le fond, fiables et pratiques
à utiliser dans vos réalisations.

La première partie (publiée en fiche sous le chapitre Gaz de paille) avait été réalisée par
le groupe d'architectes alternatifs qui, à Montpellier, expérimentait les alternatives aux
énergies dures et nous faisait bénéficier de ses travaux.

Le deuxième chapitre de cette première partie présente les inconvénients de cette pro-
duction, pour l'environnement.

La deuxième partie (Gaz méthane) avait été publiée en fascicule (n°35 de L'Encyclopé-
die d'Utopie, en 1990).

Pour chaque chapitre nous avons conservé la pagination d'origine.

Cette version numérique a été réalisée en septembre 2024
par et pour les Editions d'Utopie

ISBN 978-2-86819-226-4

Dépôt légal 08/2024

**Retrouvez l'ensemble de notre travail, depuis 1971 sur notre site
www.utovie.com**

© Utopie, 2024



gaz de paille

Rien ne se perd, rien ne se crée... tout se transforme; et tout est dans tout.
Par exemple :

8 à 10 têtes (bovins ou chevaux) peuvent donner :

- l'éclairage;
- le chauffage;
- la force motrice;

à une ferme d'une dizaine d'individus.

Car :

un bovin adulte fournit 5 à 6 tonnes de fumier par ans (suivant les régions),
et une tonne de fumier équivaut à :

- 60 m³ de gaz à base de méthane;
- ou 2 bouteilles 1/2 de butane; ou
- 50 litres d'essence; ou
- 70 kg de charbon.

Par la récupération du gaz de fumier, bien sûr.

-0-

La meilleure merde est celle des poules; celle des cochons n'est pas mal non plus (en fait 85 % est volatile).

Le mieux est de faire un système qui combinera :

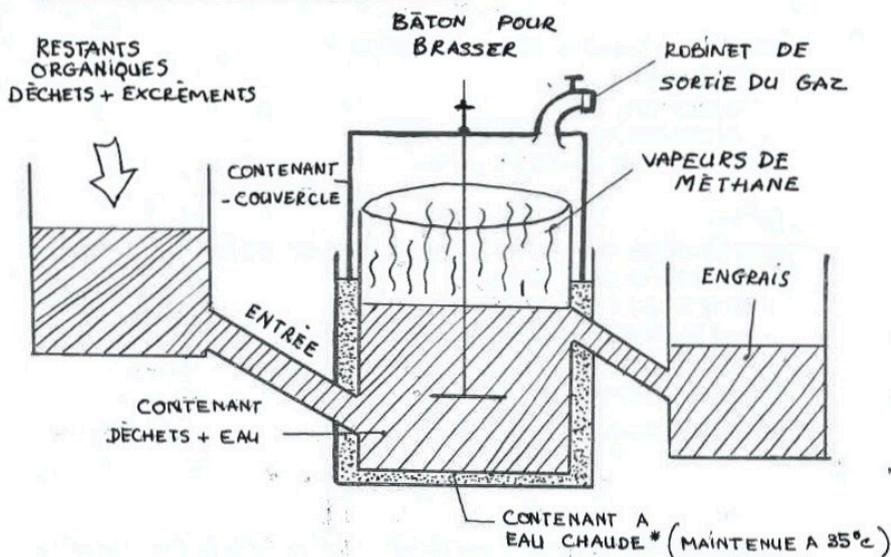
- merde humaine;
- merde animale;
- déchets organiques;
- herbage : luzerne (apport d'azote);
- et 1/10^e d'eau.

Ce mélange donne le gaz de fumier (ou de paille, comme on veut). Il s'utilise à sa pression de production et sans épuration. PLUS : un fumier amélioré après fermentation (très bon engrais).

-0-

Exemple de production de méthane de façon naturelle : les flatulences communément appelés les pets.

SYSTEME ET PRINCIPE DU GENERATEUR A METHANE

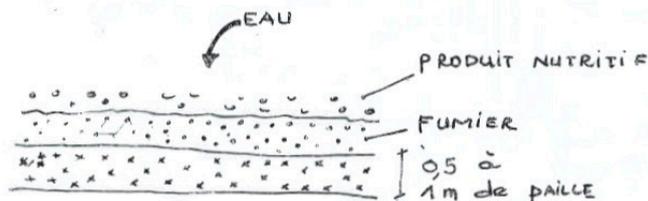


* PAS BESOIN SI LA CUVE EST ENTERREE ET ISOLÉE.

AUTRES MELANGES POUVANT FOURNIR DU GAZ DE PAILLEPAILLE

pour une tonne de paille on ajoute :

- 2400 litres d'eau;
- du fumier naturel ou artificiel;
- des produits nutritifs comme : 4 kg d'azote par tonne de paille.

SARMENTS DE VIGNE

Sarments hachés (10 cm de longueur)

- + 300 litres d'eau par tonne;
- + 30 kg de sulfate d'ammoniaque pour 100 litres d'eau.

Continuer deux arrosages par semaine pendant quinze jours.

Production : 200 m³ de gaz par tonne.

PRECISIONS

On peut en faire aussi avec le marc de raisin.

Le gaz de fumier n'est pas toxique.

Le fumier doit subir une première fermentation à l'air libre (10 à 15 j.).

Ensuite la deuxième fermentation est anaérobie (à l'abri de l'air).

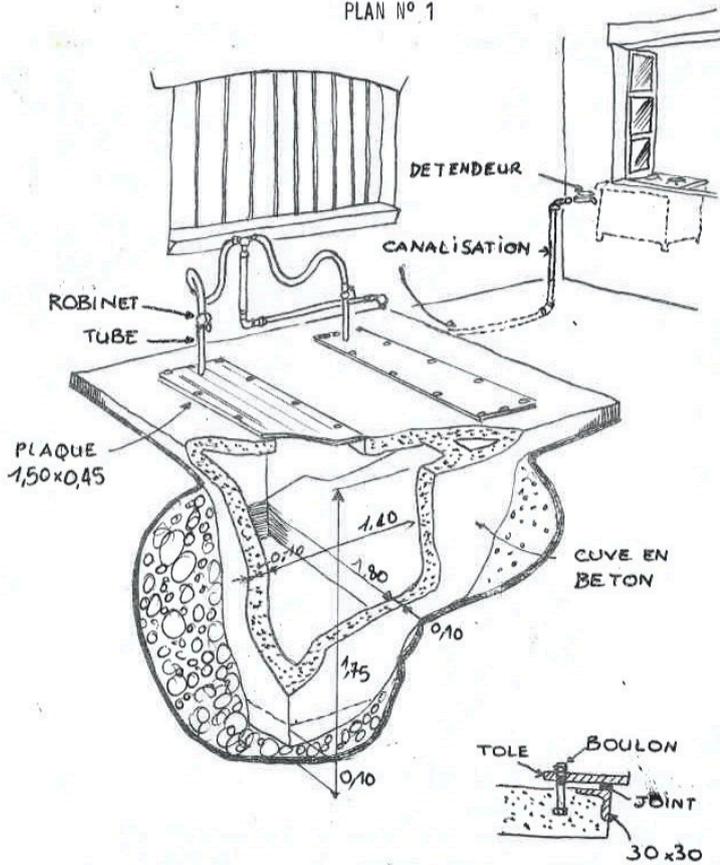
Le mélange doit être maintenu à une bonne température.

Exemples de consommation :

- pour un bec éclairant il faut 130 l de gaz/heure;
- pour un grand brûleur il faut de : 275 à 450 l/heure.

GENERATEURS DE METHANE

PLAN N° 1



explications du plan n°1
(tiré de "Système D" 1975)

Ce générateur est constitué de 2 cuves de 5 m³ chacune.

Cuves étanches : l'intérieur est recouvert d'une couche de ciment pur.

Le couvercle commun : béton armé de tiges de fer de 8 mm de diamètre.

Les deux ouvertures (1380 x 380 mm) sont recouvertes de tôle de 5 mm d'épaisseur avec un joint de caoutchouc pour l'étanchéité, fixés avec 12 boulons de huit, scellés dans le béton par leur tête.

Tuyaux d'évacuation soudés aux couvercles.

Canalisation de gaz en fer galvanisé branchée par un tube de caoutchouc sur un détendeur puis sur un réchaud ou un bec.

Pour remplir une cuve : 5 têtes (bovins) en huit jours; 3 têtes en 14 jours environ.

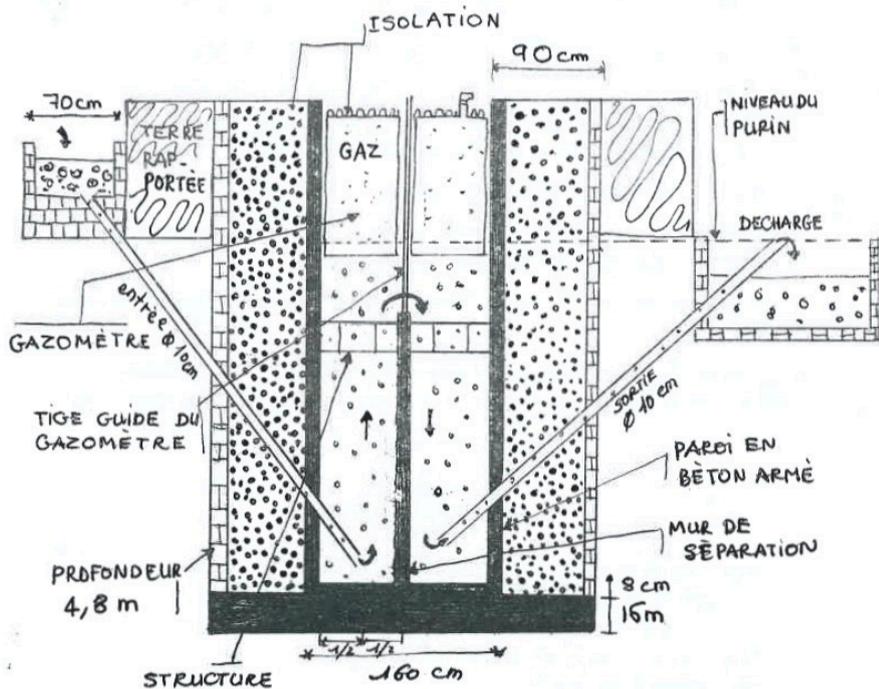
On referme le couvercle quand la cuve est remplie au 9/10e, utilisation après 3 jours durant trois mois. On fait une rotation avec les deux cuves.

-0-

MATERIEL NECESSAIRE

- deux plaques de tôles de 5 x 1500 x 450 mm;
- huit mètres de cornière 30 x 30 mm;
- tube à gaz en fer; deux robinets à gaz;
- tuyaux de caoutchouc s'adaptant au tube en fer;
- une chambre à air d'auto;
- un détendeur de gaz butane;
- quelques sacs de ciment;
- un mètre cube de sable.

PLAN N° 2



explications du plan n° 2
(Ram. Bux Singh, Inde)

Ce système fonctionne pour 5 vaches par exemple : 50 kg de fumier par jour.

On peut l'augmenter proportionnellement jusqu'à 14 m³.

Construction souterraine : faire un trou de 4 m de hauteur sur 3,60 m de large en méangeant un passage pour les tuyaux. Au fond, on coule du ciment (diamètre 1,80 m) : une unité de ciment + 4 de sable + 8 de pierres de 2 à 3 cm.

La cuve : fond et mur de 8 cm et 1,63 de diamètre (une unité de ciment + 2 de sable + 4 de pierres de 1 cm environ). Les murs sont armés de 8 tiges verticales de 1 cm de diamètre, à 30 cm les unes des autres.

On place les tuyaux d'arrivée et d'évacuation avant de construire les murs. Ils arrivent à 30-40 cm du fond et à 1/4 du diamètre à partir du mur.

Entre le mur de la cuve et le mur du pourtour (90 cm d'écart) on met de l'isolant (paille, sciure). Le mur du générateur doit être recouvert de ciment. Menager tout autour un remblais de terre.

On fait un mur de 10 cm divisant en 2 la cuve (2,30 m de haut); au sommet on met une structure en fer (scellée dans le mur) avec un tuyau guide pour le gazomètre (fer cornière et tuyau 2,40 m de haut et 7,5 cm de diamètre). Le gazomètre descend ou monte le long du guide avec la pression du gaz.

La cuve où on mélange est un cylindre (70 cm de diamètre, 60 cm de haut). Le fond de la cuve est à 30 cm du sol (pour la hauteur de chute). 250 dm³ de contenance.

La fosse de déversement : assez grande. Le tuyau arrive au niveau du sol (niveau maximum du purin).

Le réservoir à gaz (gazomètre) est un cylindre couvert (1,50 m de diamètre) et 1,20 m de haut, tôle calibre 12) renforcé à l'intérieur (équerres métalliques). Le tuyau central est de 10 cm de diamètre, le réservoir descend et monte en tournant autour. Le réservoir ne doit pas avoir de fuite (bien souder + deux couches de peinture émail tous les 2 ans).

Au sommet on place un petit robinet (valve 2,5 cm de diamètre) plus un tuyau flexible. Le haut du réservoir est couvert de matière isolante.

MATERIEL NECESSAIRE

40 sacs de ciment; 9 m³ de sable; 3 m³ de gravier.

7500 briques.

1 cuve de tôle (1,50 m de diamètre, 1,20 m de haut).

Fer cornière (4m). Tuyau guide (diamètre 10 cm; 3 m)

15 m de tuyau (10 à 15 cm de diamètre) avec coude.

Robinet et raccord.

Peinture émail (4l).

-0-

Le principe du gaz de paille (ou de fumier comme on veut) est simple. Son application aussi. Les plans donnés ici sont ceux de générateurs effectivement réalisés, mais non contrôlés en France par l'équipe qui travaille à l'élaboration de la partie TECHNOLOGIES DOUCES de l'ENCYCLOPEDIE. Ils donnent néanmoins les rapports, quantités, volumes, etc, à partir desquels on peut adapter son propre plan. Votre participation au complément de ceux-ci est évidemment attendue, merci.

GAZ DE PAILLE suite

La technique du gaz de paille n'est pas d'évidence une véritable technologie douce. Pour bien faire apparaître le pour et le contre nous publions en premier complément à l'article Gaz de paille le document très complet suivant qui fut publié pour la première fois dans la Gueule Ouverte n°8 de mai 73.

Microbio

La Microbiologie du Sol c'est un truc essentiel qui devrait être la base de l'agriculture (biologique en tout cas) mais qui a été mis au rencart par l'arrivée de Justus von Liebig, inventeur de la théorie des engrais chimiques ; il ne l'avait pas voulu paraît-il, que Dieu ait son âme !

Il y a, qu'on le veuille ou non, dans un sol bien vivant, 1 milliard de micro-organismes ou microbes utiles dans un gramme de terre. Or 99 % des gens, victimes de l'insondable connerie de l'enseignement français,

pensent que « microbe » ça veut dire automatiquement « maladie ». En fait c'est tout le contraire, l'immense majorité des microbes sont utiles et travaillent pour nous entièrement gratuitement : ça s'appelle les processus fermentaires. Quand on a compris ça on n'a plus besoin de M. Péchiney-Progil et on peut cultiver la terre sans se ruiner ni la ruiner. Mais on n'en parle plus ou presque dans les Agros parce que ce n'est plus « rentable » pour l'industrie..

Le cycle du carbone

Le grand schéma en rond qu'est le cycle du carbone et sur lequel repose la vie sur la terre, c'est un cadeau des microbes. Les plantes supérieures (arbres, herbes, petits pois...) interviennent bien un peu dans l'assimilation chlorophyllienne mais ce sont des microbes, les algues monocellulaires (dans la mer surtout) qui font l'essentiel de la photosynthèse. Et la photosynthèse c'est un truc énorme, c'est à la fois le secret de l'agriculture et notre usine à oxygène dans le monde : elle nous permet de bouffer et de respirer, un truc comme ça faut pas le casser ! Malheureusement c'est encore une affaire entièrement gratuite donc non rentable pour l'industrie (encore une) : avec du gaz carbonique et de la flotte on fait donc de l'oxygène et du végétal (glucides, cellulose, lignine, etc.) (1). Tous ces végétaux et les animaux qui les mangent partiellement (20 % maxi) donnent à leur mort de la matière organique et à partir de là tout le cycle du carbone se déroule sur et dans le sol et dans la mer. Mais cette matière organique est inutilisable par les végétaux supérieurs (Rusch pense qu'elle l'est partiellement quant à lui) et le cycle du carbone se trouverait très vite bloqué s'il n'existait pas après la phase de synthèse tout un processus

de minéralisation qui ramène le carbone organique à l'état de CO_2 ; cette phase de minéralisation c'est encore l'œuvre des micro-organismes (du sol surtout). Mais tout le C organique n'est pas minéralisé, c'est-à-dire détruit, et il en reste une partie assez stable (cellulose, lignine, etc.) composée de C, H, O, qui se transforme de manière très complexe et en liaison avec l'azote N en HUMUS, qui est la base de l'entretien biologique des sols. Cet humus est lui-même lentement minéralisé par les microbes mais plus ou moins vite suivant le climat et le type d'agriculture.

L'humus c'est la vie

C'est là qu'il faut parler de l'humification (la fabrication de l'humus dans la nature) car c'est le fondement de toute la vie du sol, le fondement de l'agriculture (biologique) et une des bases de la vie sur la planète. A ce propos il faut citer un bouquin énorme qui vient de sortir (2) et qui va faire un malheur dans le monde de l'agronomie : il s'agit de « LA FECONDITE DU SOL » de l'Allemand Rusch et traduit par Claude Aubert. Ecrit à partir d'une très longue expérience d'agriculture biologique, l'auteur apporte dans ce bouquin scientifique et fondamental une conception entièrement nouvelle non seulement de l'agriculture, mais de toute la bio-

(1) 6 CO_2 (gaz carbonique) + $6 \text{ H}_2\text{O}$ (eau) $\rightarrow \text{C}_n \text{ H}_{12} \text{ O}_n$ n (glucides) + 6 O_2 (oxyg.)

(2) « La Fécondité du Sol », de H.P. Rusch - Editions Le Courrier du Livre -

logie. Il dit en particulier : « L'humification est un régulateur, le plus grand régulateur biologique qui existe dans la nature » (p. 116).

On peut juger une agriculture par son aptitude à augmenter ou non le stock d'humus du sol. A cet égard l'agriculture chimique augmente certes « la biomasse synthétisée » (expression élégante de l'I.N.R.A., la recherche agricole officielle) mais cette agriculture détruit en général plus d'humus qu'elle n'en crée et surtout cet humus dit « stable » qui est la « vieille graisse » accumulée par vingt générations de paysans. Et l'agriculture chimique, si elle continue dans cette voie, est condamnée à terme et elle nous condamne à mourir de faim : Achetez-vous un lopin de terre pendant qu'il est encore temps, ça sera la condition de la survie...

En fait l'augmentation du taux d'humus des sols est indispensable tout de suite, par exemple pour le développement d'une agriculture biologique d'une part et aussi dans les pays tropicaux pour éviter la désertification des terres cultivées, car la destruction naturelle de l'humus y est déjà extrêmement rapide par elle-même. Si dans ces pays on s'amuse à détruire les fumiers et les bouses directement (par combustion après séchage à l'ancienne) ou indirectement (par combustion du gaz de fumier : cas de l'Inde cité par « Survivre »), on peut être réellement très inquiet sur l'avenir de ces pays.

Car il faut bien se rappeler que tout le long du cycle du carbone, la nature a prévu de nombreuses pertes de ce carbone ; les plantes, les animaux et les microbes « respirant », ce qui produit de l'eau et du CO₂ qui retourne à l'atmosphère. L'homme a de tout temps fait du feu pour ses besoins, puis il a inventé le moteur à explosions ; et depuis quelques années il a accéléré inconsiderément le processus par des combustions de plus en plus diverses et intenses, sans commune mesure avec le bon vieux chauffage au bois.

Attention le carbone ça brûle

Une des maladies de la société technologique c'est en effet l'hypercombustion généralisée, véritable épidémie irrésistible qui touche toute cette société le jardinier et le cantonnier brûlent les feuilles des platanes, le gros paysan comme le petit brûle son chaume de blé ainsi que la dernière hate vive du village : « C'te saleté de pourriture de merde de broussaille, c'est plein de vermine ça. » A l'autre bout de l'échelle tous les maires de France veulent avoir leur « usine d'incinération » pour brûler les ordures envahissantes de la société de consommation et MM. Dassault et Ziegler rivalisent pour battre les records de combustion de kérosène (et d'oxygène) avec leurs gadgets supersoniques genre « Concorde ». Conséquences sur le plan écologique, la

consommation d'oxygène est multipliée ainsi que la production de CO_2 , venant s'ajouter aux énormes combustions actuelles de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz).

Et l'on en arrive tout doucement (à tout vitesse en fait à l'échelle géologique) à l'ennuyeux problème de l'accumulation du CO_2 dans l'atmosphère, avec quelques conséquences planétaires en relation avec l'accumulation de la chaleur, qui peuvent prendre très vite une ampleur catastrophique (au sens le plus fort du terme): modification des températures, de la pluviométrie, des climats, fonte des glaces polaires, etc. Eh bien voilà un sujet qui n'a guère passionné nos députés lors de la campagne électorale, il est vrai que nous avons traversé là une période de gâtisme absolu. Il est en effet probable et même certain que notre nouvelle majorité U.D.R. ne saura jamais que depuis des millions d'années, avec le piégeage d'une grande partie du C (carbone) sous forme fossile dans les charbons (C), les hydrocarbures (C + H) et les roches carbonatées (CO_2), il s'était établi un équilibre entre le C fossile bloqué, le C organique (plantes et humus) et le C du CO_2 (atmosphère et dissous dans l'eau). Et rien d'ailleurs ne permettait d'indiquer à notre brave député U.D.R. (pardon U.R.P.) que cet équilibre ancien était bon ou mauvais. Simplement ça tournait à peu près rond... Mais personne ne le savait.

Or jusqu'à preuve du contraire (existence possible de transmutations

biologiques des éléments à vérifier et à mesurer), la masse de C ne change pas. « Rien ne se perd, rien ne se crée » — d'où le déséquilibre évident et supposé en CO_2 libre atmosphérique ou dissous en excès. Evidemment tout cela n'est absolument pas scientifique car les études sont rarissimes sur ce problème et la science officielle s'en fout éperdument: « La survie, vous pensez, nous avons d'autres chais à fouetter! » Continuons quand même notre raisonnement empirico-primaire.

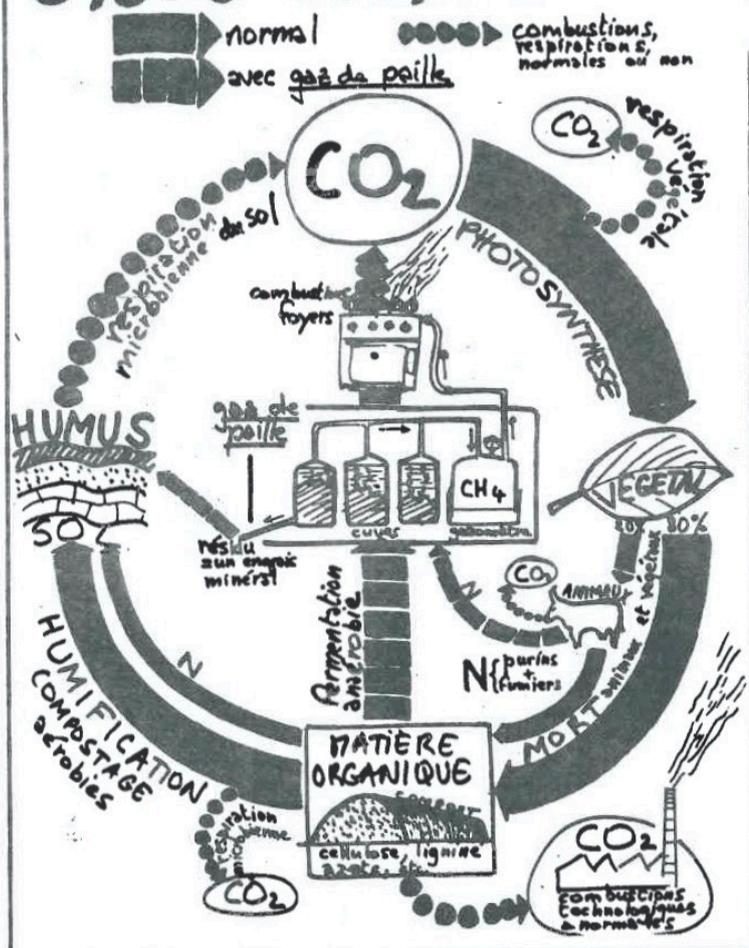
La fin du monde ça sera C.O.N. (carbone, oxygène, azote)

Si l'on était logique, écologiquement parlant, il faudrait donc actuellement mettre tout en œuvre pour augmenter à tout prix le stock de carbone organique, végétal et humique, c'est-à-dire qu'il faudrait:

— augmenter ou au moins sauvegarder le plancton, première source mondiale d'oxygène et première usine à photosynthèse, or on fait le contraire en polluant les mers et en les tuant à petit feu;

— augmenter la forêt (deuxième source d'oxygène) surtout en feuillus, or on déboise sec au niveau planétaire par exemple au Brésil, le long de la route transamazonienne, avec mise en culture et désertification; ou bien quand on replante c'est avec des résineux qui esquintent les sols et finissent de toute façon dans les usines de pâte à papier et le papier

CYCLE du CARBONE



produit dans les incinérateurs, d'où re-problème CO_2 ;

— **augmenter le taux d'humus dans les sols cultivés** : pour permettre une agriculture de plus en plus biologique, pour éviter la désertification intertropicale et pour nourrir les cinq à sept milliards d'hommes, paraît-il absolument inévitables, de l'an 2000. Or qu'est-ce qu'on fait : on brûle les résidus urbains en ville au lieu de les composter et à la campagne on brûle les pailles et surtout l'humus par l'usage des engrais chimiques. L'écologiste au contraire se prend à rêver (un rêve absurde sans doute) : il voit tout le CO_2 libéré anormalement au XX^e siècle par les combustibles fossiles, utilisé tout connement mais tout « naturellement » à augmenter la photosynthèse la plus naturelle qui soit. Comment ? Tout simplement en amorçant la spirale de la fertilité naturelle (biomasse végétale → matière organique → humus). Et de multiplier le stock d'humus mondial et de reverdir les déserts (si on avait la flotte) et de supprimer la famine (but jamais atteint par le capitalisme international, ses engrais chimiques, ses pesticides et ses Borlaug prix Nobel). Alors là on pourrait dire, bien qu'ils ne l'aient pas fait exprès, merci Shell, merci G.D.F. et merci aux C. de F. (Charbonnages) et merci Ramona car ce n'était qu'un rêve merveilleux...

En fait Shell, G.D.F. et les C. de F. se jouent pas mal de ce que devient leur sous-produit CO_2 et ne veulent

pas savoir où ils prennent l'oxygène nécessaire à leurs mégacombustions. Et l'on va tout droit au cataclysme planétaire pour méconnaissance et non-observation des cycles écologiques les plus élémentaires ; ça sera vraiment C.O.N. comme Carbone, Oxygène et Azote. A la limite, d'après les grands prêtres du millénarisme, on va jusqu'au basculement à 90 degrés de la planète sur son axe, en passant par la fonte des glaces polaires actuelles, le déluge biblique sur nos zones tempérées bien peignées ou un raz-de-marée de trois cents mètres de haut et glaciation surprise pendant notre dernier dodo (rappelez-vous les mammoths russes confits sur place avec de l'herbe fraîche plein le gosier, c'est scientifique ça). C'était la vision catastrophiste et paroxysmale de notre avenir, à faire se rouler par terre de rire les scientifiques. Qui vivra assez longtemps verra. Ce qui est sûr en tout cas, c'est la dégradation lente, insidieuse et pourrissante de la biosphère, des dynamismes biologiques et bioclimatologiques et le retour insensible à l'entropie originelle, le merdier primitif quoi.

Dans un journal écologique comme la G.O., « qui annonce la fin du monde », on devrait parler tout le temps des cycles écologiques ou cycles de la vie (C, H, O, N, P, S, chaleur, énergie, etc.). Ohé les vrais savants, c'est là qu'on a besoin de vous ! Chaque fois que l'on propose quelque chose de nouveau pour la survie, on devrait d'abord voir si ça passe au filtre des cycles écologi-

ques. Le cas du « gaz de paille » (ou de fumier) est intéressant car il est typique de ces « technologies douces » que l'on veut lancer sans aucune analyse ou même simplement connaissance des processus physiques ou biologiques qui entrent en jeu, et sans savoir s'ils peuvent s'inscrire ou non dans une politique écologique cohérente.

Petits savants = gros cacas

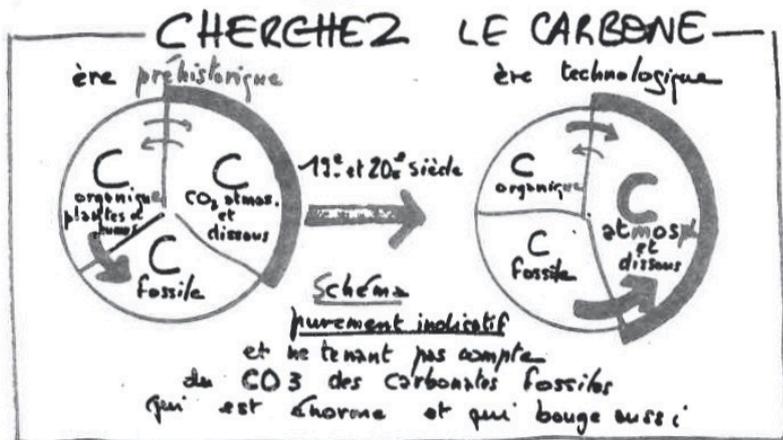
Le « progrès » ça sera justement de ne plus sortir « un produit » ou une « technologie » comme on la chie, ou parce qu'on l'a chie — le mot est parfaitement adapté — mais de ne pas le produire tant qu'on n'est pas sûr qu'il n'est pas parfaitement inoffensif (ou de l'incontinence à la rétention en matière de défécation scientifique). La plupart des « grands savants » qui décident de notre mort parce qu'ils ont inventé l'énergie et les explosifs nucléaires, la guerre bactériologique, le 245 T et la thalidomide, et j'en passe, sont les plus grands salauds que la terre ait porté, bien au-dessus de Buffet et Bontemps. Cette inconscience intellectuelle rappelle exactement le niveau mental d'un enfant de six mois qui chie comme il mange, c'est-à-dire l'infantilisme le plus total. Je tiens à préciser, s'il était néces-

saire, que je ne suis pas de la corporation scientifique et que je n'ai aucune adoration pour la science. Je crois par contre que l'analyse scientifique d'un phénomène (savoir ce qui se passe avant de s'en servir) est plus que jamais nécessaire pour un mouvement écologique. Or avec le gaz de paille, le moins qu'on puisse dire, c'est qu'on ne sait pas grand-chose :

- de ce qui se passe dans le truc, énergétiquement, biochimiquement, microbiologiquement,
- de ce qui se passerait écologiquement sur la planète si on généralisait le truc (on joue le jeu ou on ne le joue pas...)

Aérobies, anaérobies, qu'es aco ?

Vachement scientifique ce mec, malgré tout, avec des mots savants comme ça ! Ils sont pourtant indispensables pour comprendre le cycle du carbone et ses chers microbes. Une petite phrase géniale de Rusch (2) résume et éclaire toute la microbiologie du sol et le cycle du carbone : « Ce sont les aérobies qui dominent dans le sol, comme dans l'ensemble des cycles nutritionnels ; de nombreuses bactéries anaérobies peuvent également travailler mais beaucoup de leurs produits sont indésirables. » (p. 144).



A noter qu'on doit ajouter de l'azote organique (fumier, purin, pisse et merdes diverses au choix) pour donner à bouffer aux microbes qui se chargent de ce boulot putride, sinon ils ne marchent pas, paraît-il, et on les comprend... Que reste-t-il après ça? Un grand pont de la pédologie (5) Duchaufour nous le dit :

Qu'est-ce qu'un compostage réussi? C'est une fermentation chaude (lorsqu'elle se fait en tas), aérobie (besoin d'air), qui nécessite une humidité sans excès ainsi qu'un apport d'azote organique sur les celluloses, lignines, etc. qui sont de formule générale (CHO)_n (3).

Tout l'art du compostage est de réussir à maintenir un équilibre entre les deux réactions : arrêter la fermentation chaude au bout de dix à quinze jours en général avant que trop de matière organique n'ait été « brûlée » par la deuxième réaction, mais attendre suffisamment pour que cette matière ait été assainie de ses germes pathogènes et qu'il se soit formé suffisamment d'humus grâce à la première réaction (en fait personne ne sait ce qui se passe dans cette réaction). Un petit détail tout de même divise les agrobiologistes ; la forêt a de tout temps réalisé un compostage réussi elle

aussi, sans élévation de température, par une simple fermentation lente des feuilles mortes en un ou deux ans. Et Rusch (2) a pensé que c'était aussi valable pour l'agriculture où il applique depuis trente ans au moins avec un plein succès, dans la coopérative d'agriculture biologique du Dr Muller, le système du « compostage de surface » qui consiste à épandre directement sur le sol les matières organiques ; et ça marche aussi bien sinon mieux que le compostage en tas.

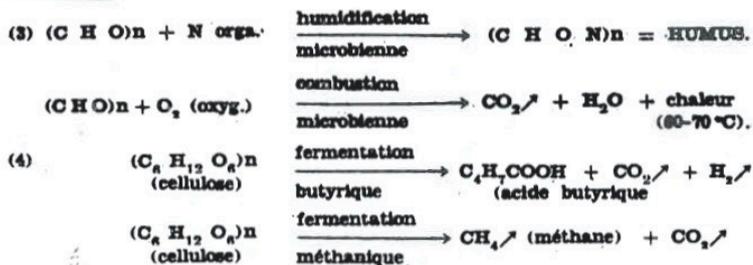
Qu'est-ce que l'opération gaz de paille et que deviennent les matières organiques ? Il y a plusieurs choses :

Les lignines et les tannins, théoriquement ne seraient pas transformés en milieu anaérobie qui est celui des cuves à gaz de fumier, donc éliminez les sciures qui en contiennent beaucoup si vous tenez à produire ce gaz ; mais tout cela est à vérifier (pas d'études sérieuses, à ma connaissance).

Les celluloses et hémicelluloses, semblent détruites par l'opération gaz de paille par le moyen de la « cellulolyse anaérobie » avec des intermédiaires microbiens variés (4).

La première réaction sent très mauvais mais la fermentation complète doit passer par la deuxième qui donne le méthane recherché.

A noter qu'on doit ajouter de l'azote organique (fumier, purin, pisse et merdes diverses au choix) pour donner à bouffer aux microbes qui se chargent de ce boulot putride, sinon ils ne marchent pas, paraît-il, et on les comprend... Que reste-t-il après ça ? Un grand pont de la pédologie (5) Duchaufour nous le dit : « Le terme final de la cellulolyse anaérobie à la différence de la cellulolyse aérobie est une disparition totale de la cellulose, qui est finalement transformée en produits gazeux (CO_2 , CH_4 , H_2) ». Et ça c'est fondamental car dans ces conditions il n'y a plus de matière organique, donc plus d'humus et donc plus



d'agriculture biologique... Alors que l'on peut lire dans la fameuse brochure « Gaz de fumier » (6) : « La récupération du gaz de fumier ne détruit rien », ce qui est manifestement faux.

Les autres constituants sont eux aussi détruits, c'est-à-dire minéralisés en ammoniacque (NH_3), composés phosphorés (P) et hydrogène sulfureux (SH_2), toutes choses fort agréables à l'odorat ou toxiques, qu'il est indispensable de capter sur la canalisation avant l'arrivée au foyer (cuisinières notamment). Quant aux résidus non gazeux qui s'accumulent au fond de la cuve, ce sont aussi des composés minéraux formés en milieu réducteur, c'est-à-dire en « mauvais terrain » au point de vue bioélectronique ; ils ne constituent finalement que des engrais minéraux qui semblent assez proches des engrais chimiques de synthèse et n'ont en tout cas rien à voir avec ces « engrais organiques de haute qualité, bien plus avantageux que les engrais chimiques du commerce »... tels que les voit un peu trop vite la revue « Survivre » dans son dithyrambique article sur le gaz de paille du numéro 14.

En fait ce résidu noir et pâteux qui regorge de bactéries pathogènes (le milieu asphyxiant les favorise) semble donc bien peu intéressant pour l'agriculture, du moins la biologique, pour des tas de raisons : minéraux sous forme réduite non assimilable, présence de germes pathogènes, hu-

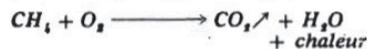
mus détruit. D'ailleurs c'est le fameux « beurre noir » si redouté par les agrobiologistes car il est le signe du compostage raté.

Alors le gaz de paille, un éco-gadget ?

Ecoutons Yann Burlot, dans le Spécial Ecologie du « Nouvel Obs », confondant allégrement compostage et gaz de paille à propos d'un article sur ce dernier :

« Le compost est à la fois une source d'énergie potentielle et, surtout, une source d'engrais. De plus c'est le moyen de recycler presque tous les déchets. » Ça y est, à l'écouter, on aurait trouvé « la » solution à tous les problèmes écologiques, comme les promoteurs de l'énergie nucléaire croyaient l'avoir trouvée il y a vingt ans, et en trois lignes il donne une collection d'affirmations douteuses.

Mais revenons à notre méthane, le fameux gaz de paille ; le type qui le produit le brûle dans sa cuisinière ou dans son chauffage central (si, ça existe !) et ça donne ça :



et on revient tout bonnement au CO_2 duquel on était parti dans le cycle du carbone. Ouf ! Ceux qui m'ont suivi jusque-là ont le droit de souffler... Car on en arrive à l'essentiel et à la base de tout ce topo par-

faitement indigeste. Par le gaz de paille on court-circuite l'humus en cassant le cycle du carbone et on supprime une des fonctions essentielles de ce cycle vital : la conservation de la fertilité naturelle des sols. Avez-vous songé écologistes fonceurs et doux-technologues, qu'en vulgarisant le gaz de paille ou de fumier, vous rendriez impossible, dans votre société écologique idéale, la généralisation future de l'agriculture biologique, simplement en détruisant les matières organiques dont elle ne peut se passer (et il en faut des pailles et du fumier en agrobiologie).

Mr Harold Bates, le fermier anglais qui équipe ses bagnoles au gaz de paille, d'après « Survivre » et le « Nouvel Obs », ne serait-il pas par hasard un agriculteur chimique, qui bourre ses champs d'engrais N-P-K ? Il est d'ailleurs curieux de constater que le gaz de paille a démarré en France avec le grand rush sur les engrais chimiques dans les années 1945-50. Mais combien reste-t-il d'installations en fonctionnement dans ce pays, une dizaine ou moins peut-être ?

Oui, mais il y a des malins qui diront : « Pardon M'sieur, y a pas que la paille et le fumier à transformer en méthane dans notre beau pays. » C'est vrai :

— Y a les sarments de vigne, les déchets d'épis de maïs, les branches et feuilles mortes, les énormes tas de sciure, tous ces déchets organi-

ques qui traînent et que les paysans font brûler comme des cons. Réponse : impossible, même si elle ne les utilise pas maintenant, l'agriculture biologique n'aura jamais assez de matière organique. D'ailleurs la sciure, très riche en lignine, ne doit pas donner grand-chose en gaz de paille.

— Y a les excréments humains, vaudrait mieux les récupérer. Impossible, car si on envisage l'autarcie intégrale, surtout en système végétarien, ça sera la seule source d'humus et d'engrais.

— Y a bien quand même les ordures ménagères des villes, dont l'agriculture biologique ne veut pas car elles sont trop polluées, et que les maires se croient obligés de brûler. Oui, c'est vrai, et c'est peut-être

(5) La pédologie, c'est (avec la pédobiologie et la microbiologie du sol), la science des sols, une science fondamentale, biologique, synthétique et non nocive (c'est rare toutes ces qualités à la fois).

(6) Editions Agricoles Pratiques, 8, rue d'Athènes, Paris-9^e

la seule chance pour le gaz de fumier (7) du moins pendant un moment. Malheureusement elles sont en ville et puis elles sont pleines de plastiques qui ne fermentent pas. Et puis il faudra bien un jour les rendre propres ces ordures pour les recycler dans l'agriculture... Et puis un peu plus tard il faudra bien arrêter les villes si on veut une société en équilibre (utopique ça !). Décidément on n'en sort pas dès qu'on veut faire du global et surtout devant une technologie aussi douce amère que le gaz de paille. On peut même se demander si l'utilisation de gaz naturel fossile non polluant ne serait pas préférable, après tout... et en tout cas plus facile pour arriver au même but : se chauffer au gaz. Ceci évidemment dans le cadre d'une société en équilibre et non expansionniste.

Quant à ceux qui croient dur comme fer au gaz de paille et qui veulent à tout prix tenter des expériences ponctuelles dans la nature dans des conditions écologiques à

peu près cohérentes, il faudrait d'abord que des « vrais savants » puissent répondre à deux ou trois questions du genre : Reste-t-il de la matière organique dans le résidu de fermentation ? Est-elle utilisable pour faire de la culture non chimique ? Le gaz de paille est-il possible à partir des ordures ménagères ou de la sciure de bois ?

Tant qu'on n'aura pas la réponse à ces questions, le gaz de paille, ça ne sera qu'un gadget de plus.

Non Tox

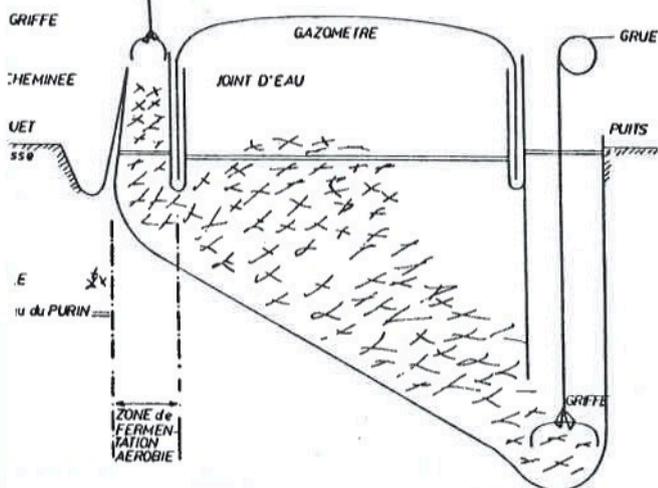
(7) Le S.N.P.A. à Lacq (Pyrénées-Atlantiques), le plus gros pollueur du Sud-Ouest, fait paraître des recherches là-dessus car le gaz naturel s'épuise (ô joie !) et ils n'ont plus que 10 ans pour trouver autre chose.

(8) Institut Agricole Saint-Christophe, 32 - Masseube (Gers). Tél. 28 à Masseube.

la production de
GAZ METHANE

production d'énergie et
lutte anti-pollution

DIGESTEUR à MATIERES SOLIDES
cuve semi-continue.



Le méthane biologique

Eléments de base pour la production de gaz combustible
ou carburant, notamment à partir du fumier de ferme
et des gadoues urbaines.

Avertissement.

Le méthane biologique a déjà fait l'objet de nombreuses réalisations dans divers pays du monde, mais en dehors de périodes de pénurie, telle que celle de la dernière guerre, on a eu tendance en France à l'oublier. La crise de l'énergie — qui cette fois a toutes chances de ne pas être passagère — relance aujourd'hui l'intérêt d'une technique que seules les coûteuses et fallacieuses commodités offertes par les combustibles et carburants pétroliers ont pu masquer pendant longtemps aux yeux des usagers.

Dans sa forme la plus rustique et la plus facile à mettre en œuvre, c'est-à-dire le gaz de fumier, cette production figure désormais parmi les techniques « douces » et naturelles, et apparaît comme l'une de celles qui réalisent la meilleure synthèse de divers impératifs de l'écologie : il s'agit tout d'abord d'une ressource rigoureusement inépuisable et sans nocivité pour le milieu naturel, ensuite d'un moyen de récupération de déchets organiques dont l'intérêt ne concerne pas seulement l'économie, mais touche à la protection des sols, des plantes et même celle des nappes aquifères si menacées par les excès de la culture chimique. En retrouvant des pratiques rationnelles et séculaires : récolte de la paille, emploi des litières pour un élevage véritablement agricole, qui a sa place naturelle dans la ferme beaucoup plus que dans de « modernes » usines à bétail, l'agriculture connaîtra de nouveau une autonomie et un équilibre financier, qu'elle aurait dû toujours conserver. Ces facteurs de stabilité sont aujourd'hui compromis par l'emploi mal contrôlé de machines, carburants et produits, plus profitables à la croissance industrielle qu'à une saine évolution du monde rural.

La présente brochure ne prétend pas traiter de façon intégrale et définitive une question qui a fait l'objet de nombreuses publications dans des journaux et revues. La théorie et la technique du procédé continueront certainement à se perfectionner, car d'importants orga-

nismes de recherches — notamment l'I.N.R.A. (Recherche Agronomique) — lui consacrent depuis cette année des efforts importants.

Mais nous pensons que dès aujourd'hui certains agriculteurs avisés et désireux de contribuer au renouveau de cette source d'énergie, dont le besoin se fait sentir de façon pressante à notre époque, sauront se guider d'après ce texte bref mais essentiel. Il indique en effet les solutions techniques issues des recherches qui ont le plus contribué dès l'origine à la mise au point et au développement des processus de fermentation. On évitera, en s'y conformant, bien des erreurs commises dans le passé en utilisant des normes approximatives pour la construction des installations.

Nous souhaitons qu'avec la collaboration d'artisans ou d'entrepreneurs ruraux... entrepreneurs, voire avec l'appui d'organismes techniques ou professionnels (C.E.T.A., syndicats, C.U.M.A., etc.) ces exploitants, qui auront compris dans quelle voie s'oriente le Progrès — le vrai —, réalisent rapidement leur installation et sachent la conduire à la réussite.

C.L.E.O.D.E.

Comité de Liaison et d'Entente
des Organismes de Défense de l'Environnement.

I - ORIGINE ET PRINCIPES DU PROCÉDE.

Principales caractéristiques de la méthanogénèse des déchets organiques urbains et ruraux.

Valeur des produits résiduels.

Pour les lecteurs non avertis du principe de cette production ni des processus de fermentation qu'elle utilise, l'exposé ci-dessous de M. Ducellier rappelle les recherches antérieures, puis le rôle des agents de minéralisation des substances complexes et simples, enfin les différences d'effets sur les cultures des pailles et des gadoues fraîches, du fumier ordinaire et du fumier méthanique.

I. Premières observations.

VOLTA, en 1776, découvre le « Gaz des Marais » et REISET, 80 ans plus tard, le « Gaz de Fumier ». En 1882, TAPPEINER différencie deux types de fermentation : l'une donnant de l'hydrogène, l'autre du méthane. De 1895 à 1905, OMELIANSKI constate des actions semblables, mais le milieu stérilisé à 75° ne produit plus de méthane, sa structure ayant été détruite.

Influence de l'azote - En 1910 PRINGSHEIM signale la décomposition de la cellulose en présence d'éléments azotés par des champignons en milieu aérobie ; puis la production de méthane par des bactéries mésophiles et thermophiles. En 1916, MAC BETH montre la nécessité d'introduire dans le milieu des formes d'azote comme le nitrate et sulfure d'ammonium, la caséine les peptones ; les fermentations azotées et hydrocarbonées évoluent en symbiose. En 1926, BARTHEL et RENFTON avancent que la vitesse de décomposition de la cellulose est fonction de la concentration en azote.

Aspect de la flore - En 1912-1913, KELLERMAN, MAC BETH et SCALES énumèrent 17 espèces aérobies et 75 espèces de bactéries : aucune, agissant seule, n'est capable de produire du gaz en partant de la cellulose. En 1919, SCHMITY écrit que les bactéries destructrices de la cellulose ne peuvent agir que si elles sont précédées par une attaque de champignons. En 1929, WAKSMAN indique que les actinomycètes jouent un rôle très important dans la décomposition des matières cellulosiques et, avec STEVENS, rapporte que la décomposition des bois résulte d'un ensemble d'actions de champignons et de bactéries avec des conditions alternatives d'aérobiose, et d'anaérobiose.

Aliments - Les matières attaquées sont très diverses. En 1920 FOWLER et J. JOSHY font des essais sur papier filtre, papier journal, peaux et tiges de bananes inoculés avec beaucoup de boues d'égouts, et recueillent 81 % de méthane et 14 % d'hydrogène avec très peu de gaz carbonique (5 % ?). En 1929 SEN PAL et CHOSH immergent

une jacinthe verte dans une grande quantité de boue. La fermentation dure 6 jours. Ils obtiennent un mélange de gaz contenant 22 % de gaz carbonique et 52 % de méthane ; mais la fermentation se bloque à un pH de 3. En 1928, BORUFF et BUSWELL réussissent une transformation de 90 % de matières cellulosiques en méthane et gaz carbonique, toujours à l'aide d'un très fort inoculum de boues.

La *décomposition de la paille* a fait également l'objet de nombreux travaux parmi lesquels nous pouvons citer ceux de GAYON et DEHERAIN en 1884, notant la présence de méthane et d'hydrogène dans les tas de fumier ; et de SCHLOESING obtenant, en 1889, pour 30 g de matières sèches une fermentation à 52° C dégageant 4,2 litres de gaz carbonique et 4,6 litres de méthane. En 1917, HUTCHINSON et CLAYTON montrent que les *Spirocheta cytophaga*, en donnant d'intéressantes formes d'évolution changent, par oxydation, la paille en humus noir.

Durée de décomposition. - Les fermentations à 52° suivies par SCHLOESING se sont étendues sur deux mois. Par contre BOTTINI, en 1925 montre qu'à froid, dans le sol, la destruction de 40 % de la matière sèche demande 4 mois ; et celle de 75 %, 8 mois. STARKEY observe que dans un sol très humide, 20 % de paille se décompose en 10 jours et la totalité en 30 mois (1924). Après une revue de la littérature, TROPSH, en 1929, admet que la lignine n'évolue que très lentement et, qu'à la suite des temps, elle serait le principal fournisseur de la houille.

Produits de décomposition - Ils sont multiples. En 1929, THEYSEN, PAGE, HARLAND, CROSS, HUTCHINSON, ORMANDY et LESSING signalent que les produits de fermentations thermophiles peuvent donner les composés suivants : acide acétique 20 à 80 % ; acide butyrique 0 à 30 % ; acide lactique 0 à 60 % ; alcool éthylique 0 à 30 % ; Méthane 0 à 8 % ; hydrogène 0 à 1 % ; et gaz carbonique 28 à 50 %.

Etat de la question jusqu'en 1937. - Verplanck en 1932, dans ses « Eléments de microbiologie », écrit : « Il est impossible d'expliquer jusqu'à nos jours la fermentation forménique par des formules chimiques. On peut caractériser le dégagement de CO², de CH⁴, d'H² et la formation d'acides acétique et butyrique ». En 1937, GUILLEMERD, membre de l'Institut et MANGENOT, dans leur Traité de biologie végétale, énoncent ; « que ce type de transformation présente assurément une extrême importance, car une masse énorme de débris végétaux est à chaque instant gazéifiée de cette manière. Malheureusement, les données précises manquent encore quant aux microbes produisant cette fermentation ».

Sans doute, plusieurs centaines de chercheurs se sont intéressés aux dégradations des matières organiques en étudiant certains points

particuliers, mais c'est en 1939 que BUSWELL et BORUFF tentent de faire subir la méthanisation à toutes les catégories de corps organiques simples ou complexes. Ils montrent, au cours de leur ouvrage « Anaérobic Fermentations » toujours en utilisant la méthode un peu empirique qui consiste à alimenter avec un petit apport journalier un gros volume de boues d'égout, que *la plupart des composants des déchets végétaux et animaux peuvent donner une proportion plus ou moins grande de méthane.*

Par exemple, dans un volume de 27,5 litres de boues, ils ajoutent pendant 90 jours : une fois 25 g, 7 fois 10 g, et 38 fois 20 g de papier filtre, soit un total de 855 g. Sont digérés 496 g qui ont donné 380 litres de gaz dont 180 de méthane ; la digestion par jour ne dépasse pas 5,5 g en moyenne, soit 0,2 g par litre de cuve.

2. Prospection personnelle et en collaboration avec M. Isman.

Mes recherches relatives aux fermentations industrielles ont débuté en 1932 par la réalisation d'un enregistreur de débit gazeux. Une valve hydraulique, partie originale de l'appareil, permettait un échappement partiel du gaz entre deux pressions. Le manographe inscrivait ainsi une série de dents de scie, toutes de hauteur égale et de largeur inversement proportionnelle à la vitesse de dégagement. La valve hydraulique était constituée par un tube de verre capillaire en forme de U dont l'une des branches communiquait avec le flacon contenant la fermentation et le manographe, et dont l'autre débouchait au sein d'une éprouvette remplie d'eau. Le gaz s'échappait quand sa pression était supérieure à la contre-pression de l'eau se trouvant au-dessus du coude de la valve. L'eau retournait dans la valve quand sa pression au-dessus de l'orifice du tube était légèrement supérieure à celle du gaz détendu dans le flacon. La quantité (mesurable dans une éprouvette graduée) de gaz dégagé était égale à

$$V \left(\frac{P - p}{p} \right), \quad V \text{ étant le volume intérieur de l'appareil, } P \text{ la pression}$$

maximum, p la pression en fin de détente. Par exemple, si la petite branche de la valve a une hauteur de 20 cm et si le coude de la valve se trouve à 25 cm au-dessous du niveau d'eau, le volume intérieur de l'appareil étant de 1 litre, « dV » égalera

$$\frac{1\ 038 - 1\ 018}{1\ 018} \times 1\ 000, \text{ à } 1013 \text{ mB et } 0^\circ, \text{ soit environ } 20 \text{ ml.}$$

L'appareil m'a permis d'enregistrer des métabolismes gazeux. Ainsi les graphiques de la figure 1 montrent que le maximum de

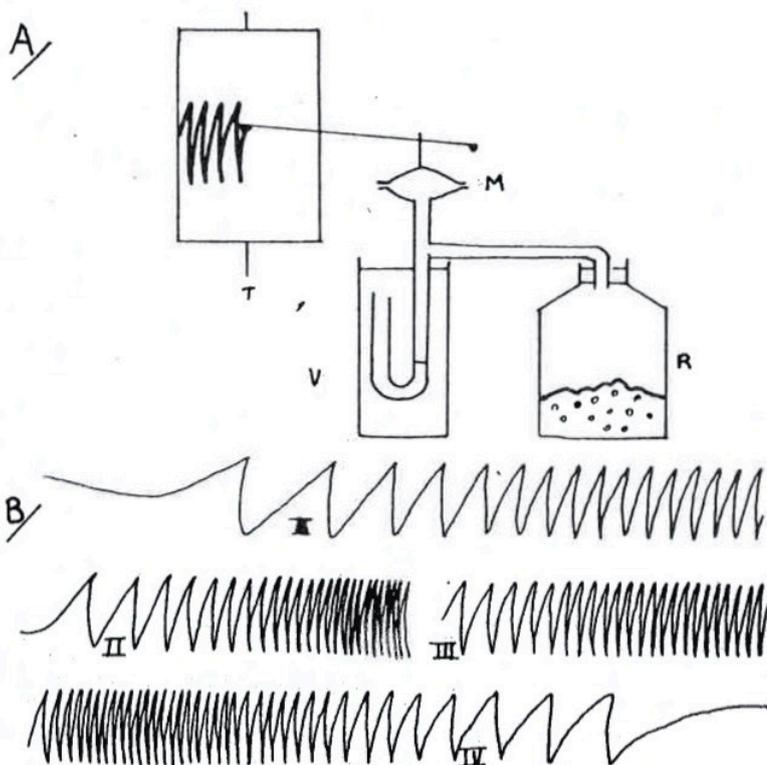


Fig. 1 (A). — Enregistreur de fermentation.
Chaque dent de scie correspond à une même quantité de gaz dégagé.

V. Valve hydraulique.

R. Récipient contenant la fermentation.

Fig. 2 (B). — Fermentation de moût

14 — à 25° et à 1 % de lie 16 — à 35° et à 2 % de lie

15 — à 34° et à 2 % de lie 17 — à 34° et à 3 % de lie

Les graphiques reproduits ci-dessus montrent, tout d'abord, que le début de la fermentation est dix fois plus rapide à 34° qu'à 25° avec un moût ensemencé par trois fois plus de levures que le moût à 25°.

vitesse sans temps mort d'incubation d'une fermentation alcoolique est obtenu en incorporant 3 % de lie, et en maintenant la température à 34° (graphique n° IV).

En 1936, l'enregistrement des fermentations de pâtes de boulanger met en évidence un point de rupture précis au-delà duquel la pâte ne gonfle plus (figure 2). La rupture survient d'autant plus rapidement que la température et le levurage sont plus importants.

En 1938, je tentai d'enregistrer des fermentations de fumier. Le dégagement du gaz s'interrompait souvent, le fumier prenait une odeur de beurre rance. Le gaz s'échappant de la valve était parfois combustible. Dans certains cas, lorsque la flamme était courte et incolore, la fermentation était rapide mais s'arrêtait brusquement. Par contre, quand la fermentation était plus lente et se prolongeait beaucoup plus longtemps, la flamme était allongée, bleue, avec des pointes jaunes. La mobilisation en 1939 interrompit cette première prospection.

En 1941, la raréfaction du pétrole m'incita, en collaboration avec M. Isman, actuellement professeur à l'I.N.A.P.G., à poursuivre les recherches. L'équipement, sommaire au début, comprenait une vieille étuve thermostatique chauffée au gaz, quelques flacons de verre, une petite cuve métallique et des vieux fûts d'huile aménagés, ainsi qu'un analyseur de gaz. Dans l'espoir d'enrayer la butyrisation, nos premiers essais furent entrepris en immergeant du fumier dans un mélange d'eau, de purin et d'acide sulfurique. Des fermentations très lentes en résultèrent avec une production de méthane. Entre temps, j'avais observé dans les petits flacons que la paille fraîche immergée dans le purin se butyrisait alors que des échantillons de fumier chaud et de couleur rouge brun donnaient du méthane. A la suite de ces observations nous avons rempli nos fûts de 200 litres avec près de 100 kilos de fumier ayant déjà subi une préfermentation thermogène. La fermentation méthanique débita une moyenne de 80 litres de gaz par jour pendant deux mois et demi environ.

Ce procédé, radicalement opposé à la méthode des boues d'égout, fut breveté afin d'éviter la propagation d'essais approximatifs.

Allure des décompositions suivant le procédé D.I. :

Lorsque les gadoues ou les fumiers subissent pendant deux mois une aération forcée, ils produisent sous forme de chaleur toute l'énergie des éléments fermentescibles et leur température se maintient pendant la durée entière de la fermentation aux environs de 50 à 60°. (Figure 3.) Les microbes les plus pathogènes sont détruits à la fois par l'effet de la température et par la suppression des ressources alimentaires. Le procédé D.I., comprenant une pré-fermentation thermogène suivie d'une méthanisation, récupère une bonne partie de l'énergie sous forme de gaz d'un pouvoir calorifique élevé, tout en détruisant la flore pathogène ; mais les températures subies par les détritus sont variables entre 50° et 25°.

MARCHE des PHENOMENES MICROBIOLOGIQUES
DEVELOPPES dans les CELLULES ZYMOTHERMIQUES

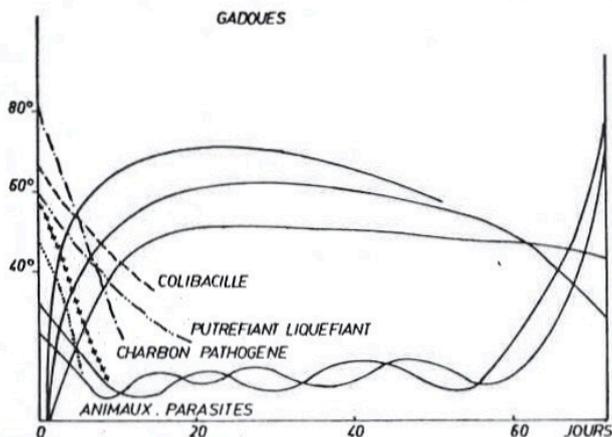
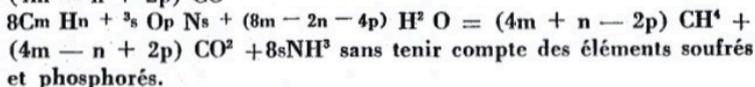
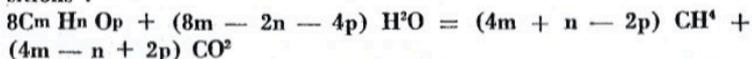


fig 3

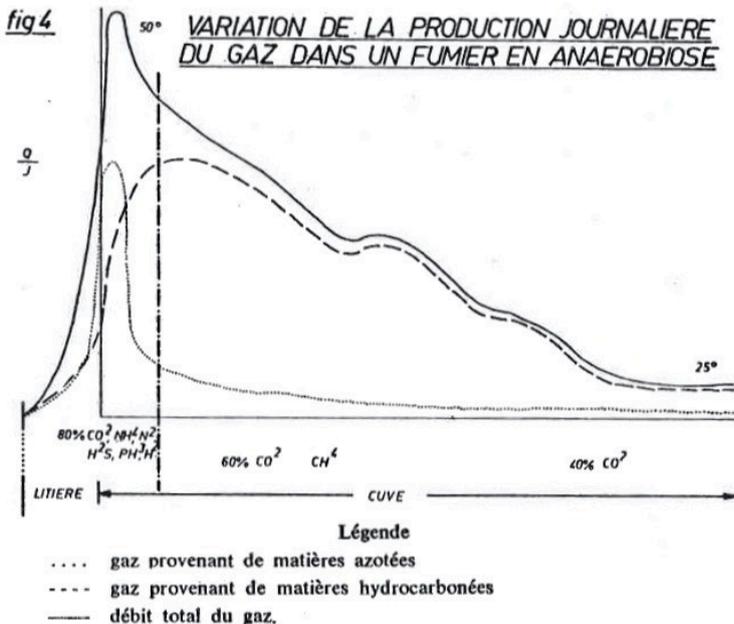
En se basant sur la documentation et sur nos propres essais, une image aussi claire que possible sera donnée des réactions biochimiques et de l'aspect biologique des méthanisations.

Les deux sortes de dégradations des hydrocarbures et des protéides se déroulent simultanément ; la *composition initiale la plus favorable est estimée à 3 % de matières azotées par rapport aux matières hydrocarbonées.*

Les formules suivantes schématisent globalement les décompositions :



Toujours en schématisant, il est possible de figurer le déroulement des méthanisations par les courbes de la figure 4. Le maximum de dégagements gazeux se situe tout de suite après la fermeture des cuves ; il correspond à la somme des gazéifications des



hydrocarbonés et des éléments azotés les plus rapidement dégradables, soient les restes des sucres, les amyloïdes et des peptides initiaux ou nouvellement formés par une première attaque aérobie. Une série de vitesses différentes se distingue lors des décompositions des hydrocarbonés en relation avec la nature plus ou moins condensée des hémicelluloses et des celluloses ainsi qu'avec leurs produits de dégradations.

D'autre part, les caséines devront pendant l'aérobiose être légèrement oxydées pour que leur richesse en oxygène passe de 19/23 % à 25 % : leur décomposition étant schématisée par la formule suivante :



Les méthanisations des matières azotées contribueront à élever le pouvoir tampon du milieu et à contrebalancer la butyrisation en anaérobiose.

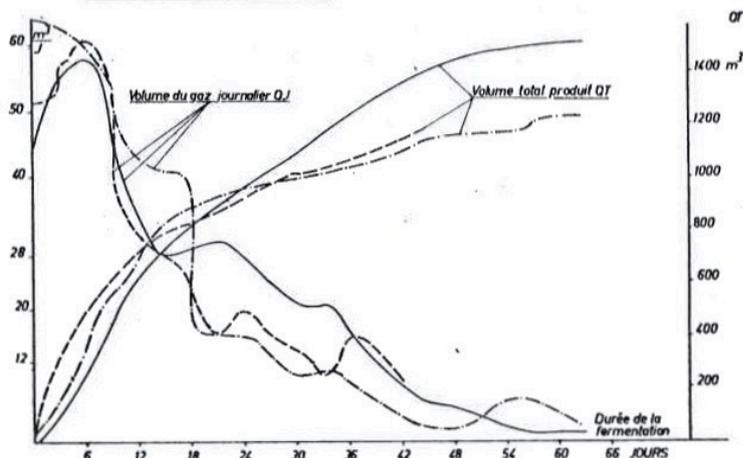
Un exemple des allures de gazéification peut être établi par le tableau suivant donnant le débit moyen par m³ de cuve en fonction du temps de fermentation et du taux de matières détruites, la température des fermentations allant de 50° à 25°.

Nombre de jours de fermentation	Pourcentage de matières consommées	débit moyen par m ³ de cuve en fonction de la durée
9	38,7	1,4 m ³ /jour
12	48,5	1,3
15	56,7	1,22
18	63	1,13
21	68	1,05
24	73	0,98
27	77	0,93
30	81	0,87
33	85	0,83
36	88	0,78
39	91	0,75
42	93	0,70
45	94	0,67
48	95	0,63
51	96	0,60
54	97	0,56
57	98	0,54
..	99	0,53

L'exubérance initiale d'une cuvaison bien lancée est causée, autant par la multiplicité des corps attaqués, les populations plus nombreuses et les fortes températures. Au contraire, vers la fin, les reliquats sont plus résistants et les températures moins élevées, la flore étant plus réduite et légèrement plus sélectionnée. La figure 5 montre les productions de 3 cuves de 40 m³ chacune. L'ordonnée des courbes de vitesse ou de débit journalier m³/j est 25 fois plus grande que celle des productions totales « QT » de façon à mettre en évidence les poussées de vitesse. Les fumiers plus ou moins fortement préconsommés par la phase thermogène, ont un rendement de 1 200 à 1 500 m³ de gaz environ en deux mois ; ce qui représente un rendement de 190 m³ par an et par m³ de cuverie, la charge étant renouvelée 6 fois par an. Mais, en se contentant d'un rendement de 94 % et en renouvelant la charge 8 fois par an, il est possible de récupérer dans les mêmes conditions 240 m³. Lorsque, momentanément, un plus grand besoin d'énergie se fait sentir, il sera facile d'obtenir une puissance de 310 m³ par m³ de cuverie, avec seulement 81 % de rendement et 12 charges annuelles.

TROIS FERMENTATIONS de 40m³ de FUMIER
avec insufflation d'air

fig 5



Physionomie de la flore

Il est, ici, hors de question d'énumérer tous les types d'organismes vivant dans les sociétés microbiennes et participant plus ou moins directement aux chaînes de dégradation aboutissant à l'élaboration du méthane. D'excellents ouvrages les ont décrits comme ceux, par exemple de POCHON, TARDIEU, PRÉVOST, membres de l'Institut Pasteur, pour ne citer que des auteurs français. Par contre, certains aspects particuliers seront évoqués dans le but d'éclaircir le mécanisme de la méthanisation.

La population très vaste comprend des bactéries, des actinomycètes, des champignons, des protozoaires et des phages.

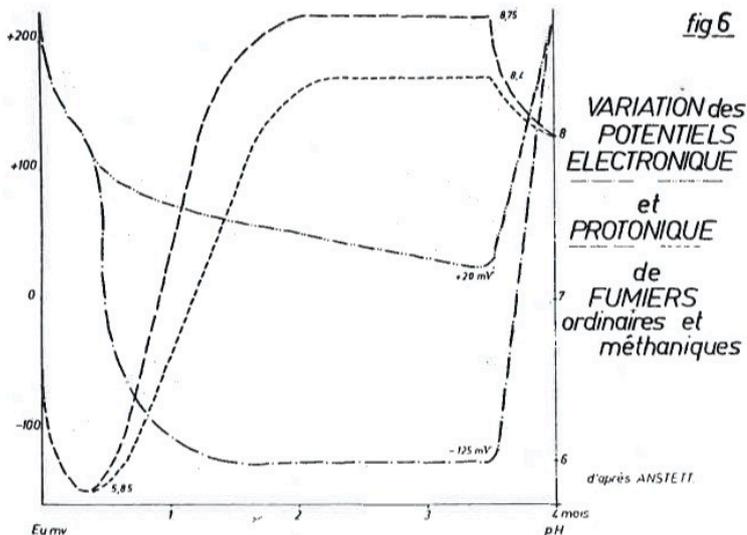
Entre 25 et 30° la densité de population atteint dans les premiers jours 10 à 15 milliards de bactéries et d'actinomycètes par gramme de fumier pour se réduire près de 40 fois vers la fin de la production économique. A 50°, la population initiale de germes thermophiles se situe entre 1 à 2 milliards d'individus par gramme. Le peuplement varie par poussée : dense au début d'une action, il diminue, à la fois par sélection et par disparition d'éléments nutritifs ou par excès de produits de fermentation, d'antibiotisme ou encore de phagie.

La succession des sociétés dominantes sera contrôlée par les conditions de milieu : température, pH, Eh, aliments.

M. ANSTETT, professeur à l'École Nationale d'Horticulture de Versailles a établi des courbes représentant les variations de pH et du EH à partir d'un fumier ordinaire et d'un de ses fumiers méthaniques (Fig. 6). Les pH vont de 5,85 à 8,4 pour le premier échantillon et à 8,75 pour le second. Les Eh passent de + 220 à + 20 pour le premier et à - 125 pour le deuxième.

L'évolution du pH et du Eh est progressive et demande près de deux mois pour se stabiliser. Elle correspond au développement du pouvoir tampon et à la formation de l'humus.

Les populations seront donc différentes dans la couche superficielle du fumier, en zone moyenne et en zone profonde. De plus, l'état de réduction dans les couches profondes du fumier ordinaire n'atteindra jamais l'atmosphère de réduction en cuve hermétiquement close.



Les aliments seront dégradés par une série d'actions urolytiques, peptolytiques, saccharolytiques, protéolytiques, pectinolytiques, hémicellulolytiques, cellulolytiques ; chacune pouvant se dérouler à faible ou à forte température, en milieu acide, neutre ou basique, en aérobiose ou en anaérobiose. La succession des produits de décomposition aura un aspect différent dans chaque cas.

Artificiellement, il est convenable d'imaginer un groupe de 60 à 70 chaînes de décompositions convergeant vers la méthanisation finale.

Les protéolyses conduisent finalement aux amines et à l' NH_3 .

Après une série d'étapes, les hydrocarbures dégradés produisent des alcools et des cétones, des acides gras volatils. Des chromatogrammes de ces derniers ont été obtenus par M. JOLIVEY dans mon laboratoire en 1959 (Thèse de doctorat en pharmacie). Les acides gras volatils ont été extraits d'échantillons de produits végétaux en fermentation dans un milieu à base de purin (figure 7).

Bien des observations seraient à mentionner au cours des cheminement ; je me limiterai à exposer mes vues sur les dernières transformations.

Bien que contesté, OMÉLIANSK. a été pourtant le premier à essayer de décomposer par fermentation du papier filtre en méthane, en cultivant le *plectridium cellulosee hydrogénicum*. Son milieu contenait, dans 1 000 g d'eau : 1 g de sulfate d'ammonium, 1 g de sulfate

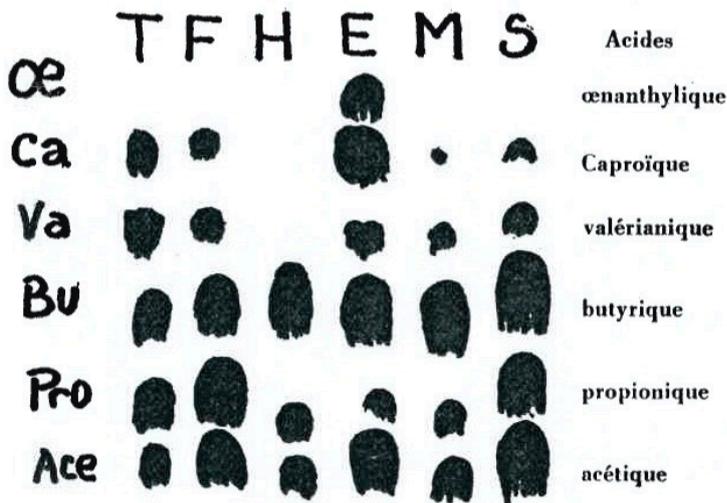


Fig. 7. — Chromatogramme comparatif d'acides gras volatils produits par quelques fermentations de matières végétales :

- Témoin (T)
- Fumier méthanique (F)
- Haricots (H)
- Ensilage (E)
- Marc de raisin (M)
- Paille de sorgho (S)

Nous y trouvons en général les mêmes acides dont seules les proportions sont variables.

de magnésic, 0,5 g d'un extrait aqueux de viande et 0,5 g de crottin de cheval, un peu de craie pulvérisée et de la boue de la Neva. OMÉLIANSKI, auparavant, et CLAUSEN en 1931 constatèrent la perte du pouvoir méthanogène à la suite de tentatives d'enrichissement et de sélection de la population. Pourtant, CLAUSEN, grâce à l'apport de 5 g d'asparagine par litre, réussissait des cultures à très forte densité de population malheureusement non méthanigènes.

Des images électroniques, montrant la pullulation dans les fumiers des *Plectridium* sur des dépouilles de coli, d'aérogènes, de *Proteus Vulgaris* fournisseurs d'asparagine, justifient le choix de CLAUSEN (Fig. 8) quant à la source d'azote favorable.

Cependant la sélection et la stérilisation du milieu éliminent la présence de l'humus et détruisent sa structure de complexe organo-minéral échangeur d'ions amphotère. Il est possible d'émettre l'hypothèse que la production de méthane est corrélative à la présence de boue des marais, d'égouts, de purin ou d'humus quelles que soient les formes et la densité de population des germes.

Absorbant les radicaux alcalins ou alcalino-terreux d'une part, et acides d'autre part, le complexe humus (mh) peut devenir à l'état saturé $\text{Ca p hm H}^2 \text{p}$ et permettre en combinaison avec l'action des ferments d'unir deux radicaux CH^3 de l'acide acétique à une molécule d'hydrogène et donner du méthane.

D'après ce mécanisme, la méthanisation nécessite un support organo-minéral. Plusieurs faits militent en faveur de ce point de vue. HUNDERKOFER et HICKEY dans leur ouvrage « Industrial fermentations » paru en 1954 résumant les essais de différents chercheurs, conclut de la façon suivante : « Les fermentations anaérobies produisant du méthane diffèrent par maints aspects des autres types de fermentations. La plus importante différence est peut-être le fait qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser une culture pure, ni d'entretenir des cultures pures pour ensemercer et réensemencer. Quoique prépondérantes dans la boue et les matières en décomposition, les bactéries méthaniques sont universellement répandues dans la nature ». Or, d'après une lettre que M. PRÉVOST en 1958 a bien voulu m'adresser « un seul microbiologiste : M. BAKER aux U.S.A. aurait réussi à entretenir des souches pures ». Il semble donc très facile de se procurer des ferments multiples en milieux boueux ou purinés et très difficile de les obtenir à l'état pur dans un milieu artificiel.

Le complexe organo-minéral peut agir comme « catalyseur » de la façon suivante :



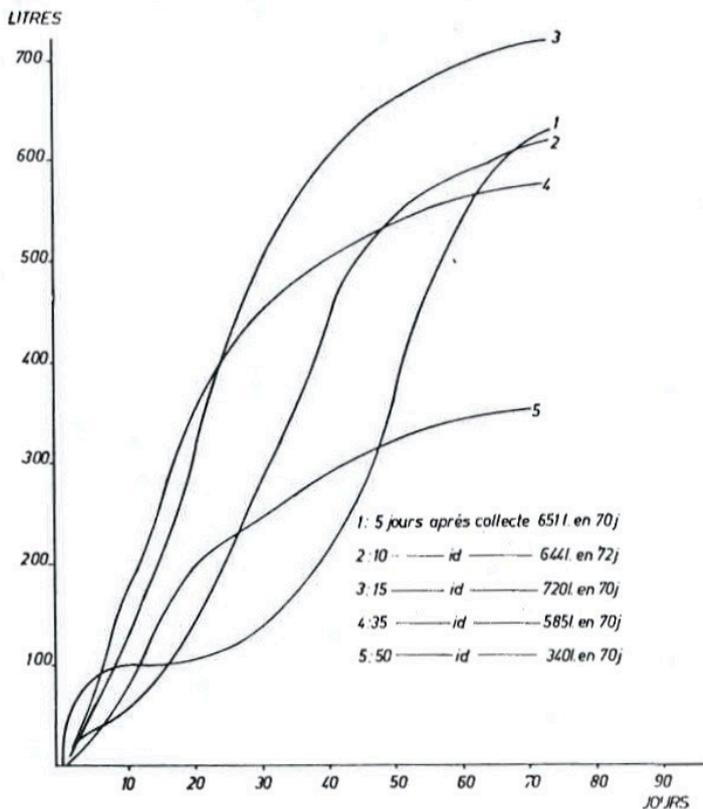
Matières végétales et organiques utilisables. Quand le complexe organo-minéral échangeur d'ions amphotère comme l'humus par exemple est chauffé au-delà d'une certaine limite il perd sa structure et la méthanogénèse ne s'opère plus, on ne recueille que de l'hydrogène.

Rendement en méthane de corps polymérisés et simples. - Le rendement des principaux déchets végétaux ainsi que la vitesse de méthanisation dépendent étroitement de la qualité du levain et de la conduite de la pré-fermentation.

Fermentation des gadoues. - La figure 9 donne une série de rendements d'échantillons de gadoues épierrées et déferrallées ayant subi des pré-fermentations naturelles aérobies plus ou moins prolongées. L'échantillon n° 1 encuvé 5 jours après la collecte, fermenté très rapidement pendant les 5 premières journées, puis le dégagement de gaz s'arrête pendant une vingtaine de jours, stoppé par une butyrisation trop accentuée. La seconde partie de la gazéification ne fournira que 551 litres de gaz avec un retard de près de un mois par rapport à l'échantillon n° 3 qui a subi pendant 15 jours

FERMENTATIONS de 5 ECHANTILLONS *fig 9*
de GADOUES ENCUVES: 5, 10, 15, 35 et 50 jours
après leur collecte.

pois de chaque échantillon épierré et déferailé: 10 kg



une pré-fermentation et dont le rendement s'est élevé à 720 litres. Par contre, l'échantillon n° 5, trop épuisé par une pré-fermentation de 50 jours, n'a dégagé que 340 litres. Le carburant obtenu par gazéification de gadoues dans les villes peut alimenter les moteurs du service de nettoyage.

Déchets végétaux. - Théoriquement un kilogramme de cellulose pure donnera 829,6 litres de gaz à 50 % de méthane (à 0° et 760 mm Hg) soit 3 755 K calories. Un essai de gazéification de fibres de coton a donné 590 litres de gaz à 59 % de méthane, soit un rendement de 84 %. La flore est à dominance micrococcique avec nombreuses spores (compte rendu du 9 mars 1953 à l'Académie des Sciences).

Les rendements ci-après ont été obtenus à 30° de température avec une pré-fermentation de 48 heures à 55°. Les échantillons de 1 kg sec étaient grossièrement réduits en farine par un broyeur à mar-teaux. Le milicu était une dilution au tiers du purin de la cuverie de l'Institut Agricole d'Algérie (tabl. n° 10); purin analysé par *M. Chevalier et Mlle Lonchambon* (compte rendu de l'Académie de l'Agriculture du 5 mars 1952). Le temps de demi-décomposition se réduisait à 12-15 jours pour le fumier dans la cuverie de l'Institut Agricole et s'étalait sur une moyenne de 25 jours dans les petites cuves d'essais.

Ci-dessous est donnée une liste de rendements de divers sous-produits végétaux avec la richesse des gaz et le temps de demi-décomposition :

Nature du sous-produit	Gaz total	Pourcentage de méthane	Temps de demi-décomposition
	litres	%	jours
Sisal	368	73	17
Paille d'avoine	368	62,5	28
Poussières de minoterie	345	65	20
Paille de riz	340	64,5	20
Farine de carton	385	56	33
Paille d'orge	380	60,5	21
Graines de coton	357	70	21
Paille de blé dur	318	58	23
Paille de blé tendre	300	66	23
Maïs (tiges)	295	67,75	20
Paille de seigle	315	60,5	24
Fanes d'arachides	298	57	17
Fanes de pois chiches	297	55,4	56
Fanes de lentilles	282	57,5	35
Tiges de sorgho	278	69	23
Roseau	315	68,25	43
Sarments de vigne	350	57,25	43
Farine de feuillus	222	72,7	25
Marc de raisins	139	72,6	23

De nombreux autres essais ont été entrepris. Même des matières comme le *phénol*, à condition de se trouver en très faible concentration, sont méthanisables.

Le *sérum de lait* se méthanise en l'espace d'une semaine. Tous les autres *détritus de ferme* peuvent avoir le même sort notamment de nombreux résidus végétaux : Chaumes, fanes, collets de betteraves, sarments de vignes, roseaux (après broyage), marc de raisins, etc. Cependant leur évolution peut être plus ou moins lente quand, par exemple, ils contiennent du *tannin* en trop forte proportion (cas du *marc de raisins*, dont le rendement quantitatif sera moindre).

Les productions de la cuverie, d'un volume total de 300 m³, sont données dans le tableau ci-dessous.

PRODUCTION DE LA CUVERIE EN M³ DE GAZ

MOIS	Année 1955-56	Année 1956-57	Année 1957-58
Octobre	2 795	3 098	2 686
Novembre	2 970	3 058	2 373
Décembre	2 725	2 485	2 251
Janvier	2 630	2 990	2 340
Février	2 229	2 700	1.411
Mars	2 898	2 810	1 039
Avril	3 188	2 720	568
Mai	3 838	3 630	1 825
Juin	3 939	3 375	1 731
Juillet	3 773	3 418	1 462
Août	3 777	arrêt	arrêt
Septembre	3 378	»	»

Tous les purins ou les boues ne sont pas efficaces. Un inoculum trop butyrisé ou trop parasité par des protozoaires, ne déclenchera qu'une attaque médiocre et une fermentation lente et partielle. Une pré-fermentation thermogène insuffisante n'évitera pas une butyrisation freinante ou même stérilisante.

Corps simples. - L'étude de la méthanisation de corps simples a été entreprise à l'aide de l'enregistreur de dégagement gazeux. De petites quantités d'alcool éthylique, butylique, de glycérine, d'acétone, d'acide acétique, d'acide propionique ont donné les enregistrements de la *planche n° II*, conformément aux formules suivantes :

Acide acétique $\text{CH}^3 \text{CO}^2 \text{H} = \text{CH}^4 + \text{CO}^2$ soit 0,7406 litre/gramme
 Acide propionique $4 \text{CH}^3 \text{CH}^2 \text{CO}^2 \text{H} + 2 \text{H}^2 \text{O} =$
 $7 \text{CH}^4 + 5 \text{CO}^2$ soit 0,9081 litre/gramme
 Peptone $\text{C}^6 \text{H}^{12} \text{O}^3 \text{N}^2 + 6 \text{H}^2 \text{O} =$
 $4 \text{CH}^4 + 3 \text{CO}^2 + \text{CO}^3 (\text{NH}^4)^2$ soit 0,8521 litre/gramme
 Acétone $\text{CH}^3 \text{C O C H}^3 + \text{H}^2 \text{O} = 2 \text{CH}^4 + \text{CO}^2$
 soit 1,1587 litre/gramme
 Alcool éthylique $2 \text{CH}^3 \text{CH}^2 \text{OH} = 3 \text{CH}^4 + \text{CO}^2$
 soit 0,974 litre/gramme
 Alcool butylique $\text{C}^4 \text{H}^{10} \text{O} + \text{H}^2 \text{O} = 3 \text{CH}^4 + \text{CO}^2$
 soit 1,2108 litre/gramme
 Glycérine $8 \text{C}^3 \text{H}^{11} \text{O}^3 = 17 \text{CH}^4 + 7 \text{CO}^2 + 10 \text{H}^2 \text{O}$
 soit 0,7073 litre/gramme

Les richesses en méthane des gaz varieront de 50 à 75 %. Les longueurs, ou plutôt les ordonnées des courbes déployées ont été :

- de 110 cm pour un mélange de 0,300 g d'acide acétique ; 0,300 g d'acide propionique ; 0,07 g de peptone.
- de 278 cm pour 1,200 g d'acétone.
- de 220 cm pour 0,910 g d'alcool butylique.
- de 281 cm pour 2,000 g de glycérine.
- de 829 cm pour un mélange contenant 1,6 g d'alcool butylique et 2,3 g d'alcool éthylique.

Chaque centimètre de hauteur de la courbe représentait 5 millilitres de gaz dégagé.

Les courbes montrent que les fermentations atteignent immédiatement leur maximum de vitesse quand le milieu provient d'une fermentation précédente achevée et quand la population microbienne convient d'emblée. Au contraire, il y a un temps d'incubation, comme le cas se présente pour la glycérine dont la vitesse fermentaire est oscillante. Les durées de fermentation se sont étalées entre 3 et 16 jours (Fig. 11).

3. Fertilisation par les résidus de fermentations méthanique.

Le fumier ou les gadoues, sortis des cuves après un séjour de un ou deux mois, sont des fertilisants encore jeunes et sont encore loin d'une maturation en tas qui demande au moins 6 à 8 mois pour accomplir son plein effet.

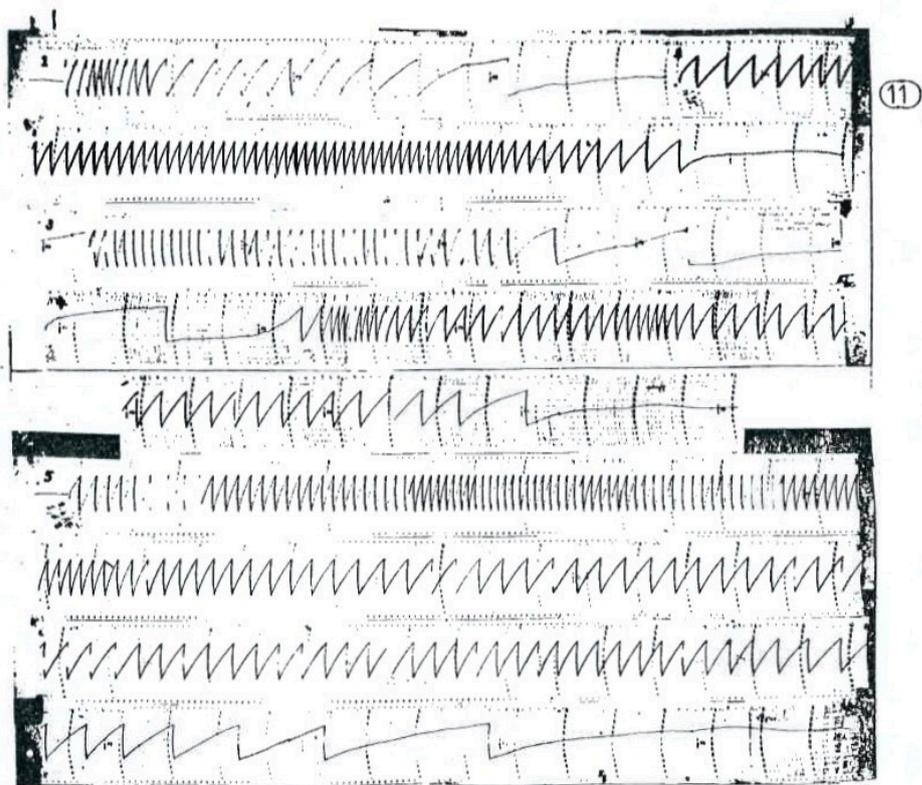


Fig. 11. — Enregistrement des dégagements gazeux.

L'analyse parue le 5 mars 1952 de *M. G. Chevalier* et *Mlle Lonchambon*, indique que le C/N n'était descendu qu'à 20 alors qu'un fumier bien décomposé possède un C/N réduit à 10-12. Le taux d'azote, déjà supérieur de 25 à 30 % dans ce fumier méthanique jeune par rapport au fumier ordinaire, conduit à prévoir une maturation encore meilleure. Il est 4 fois plus riche en $P^2 O^5$ et 3 fois en Ca (Tableau 10).

TABLEAU N° 10

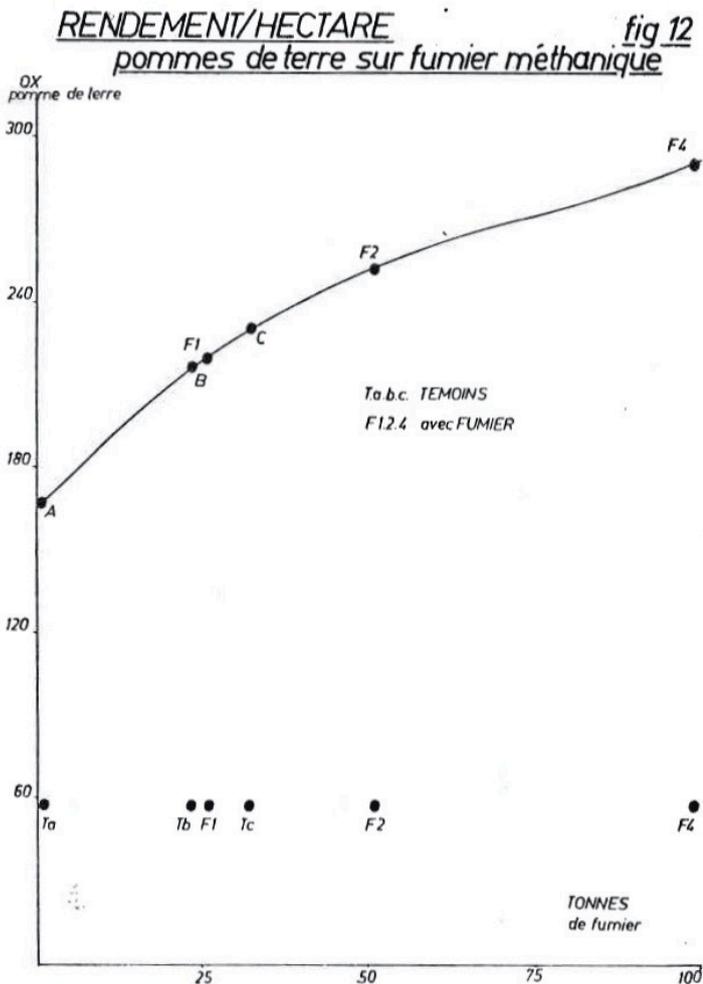
ACADEMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE — Séance du 5 mars 1952.

Analyse comparative de Fumiers et Purins,

par G. CHEVALIER et R. LONCHAMBON

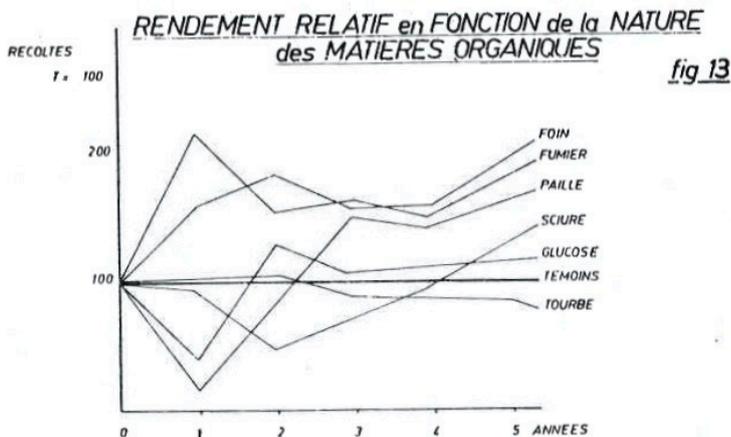
1° Compositions :	Produits Ducellier		Purin	Fumier	Fumier
	Fumier	Purin	Naturel	Naturel	Artificiel
Humidité %	86,8	98,04	98,02	81,8	84,00
Cendres %	4,63	1,25	0,96	3,8	3,06
Organique %	8,57	0,71	1,02	14,4	12,94
<i>Pour cent de mat. sèches :</i>					
			<i>Par litre</i>		
Carbone	40,4	12,65		38,8	41,7
Azote totale	1,95	1,87	0,51	1,28	1,58
Azote an. al.	0,07	1,32	0,40		
Mat. Humiq. tot. sol	8,75	4,09		4,93	6,6
Mat. humiq. précipit.	3,75	3,75		2,65	4,9
Matières minérales	35,06	12,48	9,6	20,1	19,2
dont Ca O	6,77	0,59		2,8	1,92
Mg O	2,62	0,40		0,72	
K ² O	1,51	3,87	3,55	2,67	1,65
P ² O ⁵	4,30	0,25	0,51	0,85	1,20
Na C ¹	1,67	4,69			
Mesures physiq. : pH		7,83	8,8		
Conductibilité millimhos		18,92			
<i>Sur les bases de :</i>					
Matière sèche % de brut..	13,20	1,96	1,98	18,2	16,00
Organique % de sec	65	36	51	79	80
a) rapports organiques ..				30	26,5
C/N	20,7	6,8			
Azote minéral/organique ...	0,037	2,40	3,65		
Humus précip./total	43	87		53	74
<i>Taux d'humidification :</i>					
Humus/mat. organique	13,5	20,8	20	62	82
<i>Taux de minéralisation :</i>					
Cendres/matière sèche	35			21	19
Cendres/matière organique ...	54	35		25	24
b) Rapports minéraux (équivalentaires) :					
Ca/P	1,34	2,00		2,8	1,35
Ca/K	7,6	0,25		1,76	1,97
P/K	5,5	0,13		0,63	1,46
Equilibre N P K	1/2,2/0,75			1/0,65/2,1	1/0,75/1,05

L'Institut de recherches agronomiques allemand de Braun Schkwig Vulkanrode a trouvé dans le fumier méthanique deux fois plus d'azote, de potasse et d'acide phosphorique que dans les fumiers ordinaires. Sur foin et sur pommes de terre, cet organisme a obtenu des excédents de récolte allant de 20 à 35 % avec le fumier méthanique par rapport au fumier ordinaire. Un essai sur pommes de terre à l'Institut agricole d'Algérie (fig. 12) avec des doses de 25, 50 et



100 tonnes/hectare d'un fumier méthanique à 80 % d'humidité a donné pour le 1er témoin 165 quintaux/ha et 220, 252, 288 quintaux respectivement pour les trois applications, soit un excédent de 29, 48 et 57 % par rapport au témoin. Mais le plus intéressant semble être l'influence des parties solubles diffusées sur les deux témoins placés entre les rangs fumés. Les 2 témoins ont reçu l'équivalent efficace des deux tiers des moyennes des doses mitoyennes.

Quant à l'incorporation des pailles et des gadoues fraîches dans le sol tout de suite après la récolte : une véritable hérésie, il a été largement démontré que sans apport d'azote cette pratique a un effet dépressif notable sur les récoltes (fig. 13).



d'après BOISCHOT

En 5 ans la récolte moyenne par rapport au témoin a été respectivement pour la sciure, la tourbe, le glucose, la paille fraîche, le foin et le fumier de 90 %, 93 %, 103 %, 111 %, 171 %, 174 %.

II - LES INSTALLATIONS DE PRODUCTION DU GAZ BIOLOGIQUE

Les indications qui précèdent ont permis de comprendre, sur un plan théorique, le fonctionnement des procédés de méthanisation des déchets urbains ou agricoles.

C'est surtout aux agriculteurs et ingénieurs de l'agriculture que s'adresse le chapitre suivant, rédigé par F. SAUZE.

Dans cette seconde partie ils trouveront les éléments nécessaires à la mise en pratique de la production de gaz à l'aide des résidus de récoltes, principalement le fumier de paille.

La description des installations et de leur conduite opératoire résulte des travaux relatés ci-dessus par M. DUCELLIER, ainsi que d'éléments tirés de publications de M. ISMAN, Professeur à l'Institut Agronomique Paris-Grignon. A partir des croquis qui ne sont que schématiques, et aidé par les indications chiffrées du texte, il sera possible de dresser des plans cotés qui tiendront compte des besoins particuliers de la ferme et du type de matériaux localement disponibles.

1. La Cuverie. Conception générale et fonctionnement.

Une installation bien conçue doit répondre à certaines règles fondamentales de conception et de dimensions.

La cuverie doit être parfaitement étanche au liquide et au gaz. Elle doit permettre une préfermentation thermogène aérobie, élevant la température de la masse de fumier à 50-60°, puis l'immersion de cette dernière dans un levain favorable, en évitant une trop forte déperdition de chaleur pendant toute la durée de la gazéification.

Les manœuvres doivent être faciles, rapides, et demander un minimum de travail. Elles sont d'ailleurs aisément mécanisables.

Étanchéité au gaz.

On doit savoir qu'en une journée, deux mètres cubes de gaz ayant une surpression de 10 à 12 centimètres d'eau peuvent fuir à travers un orifice de $3/4$ de millimètre carré. Une cuve de 3 mètres de haut, produisant en moyenne par m² de surface de gazomètre et par jour 2 m³ de gaz, et ayant une porosité équivalente, laissera échapper plus de 95 % de la gazéification. Pour éviter les fuites MM. DUCELLIER et ISMAN ont été conduits à faire construire des cuves possédant une double paroi à leur partie supérieure et contenant un joint d'eau.

Préfermentation thermogène.

Il est préférable d'élever fortement la température de la masse à même la cuve. Un ventilateur ne suffit pas. Seul, un surpresseur pouvant exercer une contre-pression d'un mètre d'eau, assure un

courant d'air suffisant à travers la couche de fumier humide. Cinq kg d'air sont nécessaires pour consommer un kg de paille et faire produire 3 500 calories ; soit élever le m³ de levain de 3°5. Un m³ de cuverie pouvant contenir 100 kg de matières sèches, un surpresseur de 2,5 cv fournissant 150 m³ d'air à l'heure suffira pour des cuves de 25 m³.

Levain.

Pour les premières cuvaisons, le levain sera composé d'un tiers du purin et de deux tiers d'eau. Par la suite, à chaque changement de cuve, le levain sera récupéré et servira de nouveau en le complétant avec de l'eau. Cependant, un levain trop vieux et trop riche en acides gras volatils (plus de 2 pour mille) ne convient pas sans lui avoir fait subir une forte aération préalable, comme cela est pratiqué pour les boues activées.

Compensation des pertes de température.

La méthanisation fonctionne bien entre 25 et 50°. Les dispositifs qui ont paru les plus efficaces pour lutter contre la pluie, le vent et le froid consistent à placer les cuves en local clos et à entourer les parois hors du sol d'un matelas de fumier de 35 cm d'épaisseur. Ce réchaud maintient la température du fumier interne au-dessus de 25° pendant plus de deux mois. *La chaleur solaire peut être utilisée sous forme de serre amovible.* La pompe à chaleur peut être également envisagée pour les installations industrielles.

Gonflement du fumier.

Au cours des 12 à 15 premiers jours après la fermeture de la cuve, le fumier débite 50 % de sa production économique. Tassée dans la cuve pendant le chargement à un taux de 500 kg environ au mètre cube, la masse fibreuse se gorge de gaz et tend, pendant cette première phase à augmenter son volume d'environ 10 à 15 %. Il faut donc prévoir, dans le cas de cuves à couvercle métallique fixe, un espace vide de cette importance à la fin du chargement.

Tassement du fumier.

Après un mois, le fumier se tasse et ne représente plus que les deux tiers du fumier initial, de sorte que dans les cuves ordinaires on n'utilise pas le volume maximum pendant toute la fermentation.

Types de cuve - Remplissage et vidange.

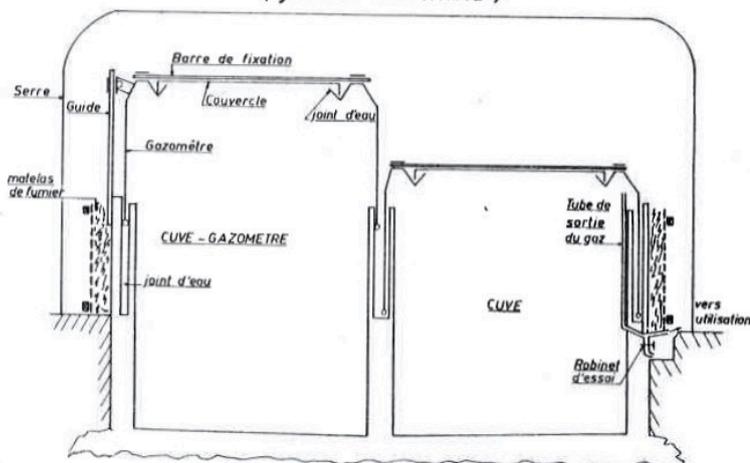
Le fonctionnement de l'installation dépend du type adopté. Deux catégories de cuves peuvent être envisagées : la cuve à chargement unique (et discontinu) ou le digesteur à charge semi-continue.

A - Cuve discontinue (fig. n° 14).

Le type le plus économique est la cuve-gazomètre. Elle est complètement ouverte à sa partie supérieure, demi-enterrée, à double parois hors du sol servant de joint d'eau dans lequel coulisse le gazomètre ; la fosse peut avoir une capacité allant de 10 à 50 m³,

CUVERIE A GAZ DE FUMIER
(système discontinu)

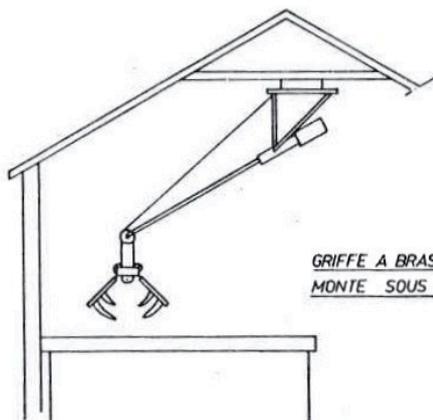
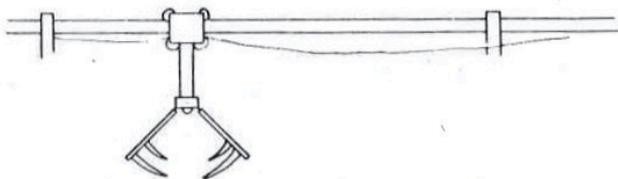
fig 14



et le gazomètre la coiffant la moitié de ce volume. Un couvercle placé sur le toit du gazomètre, également à joint d'eau permet les opérations de remplissage et de vidange. La sortie du gaz est réalisée par une tuyauterie fixée à l'intérieur de la cuve et traversant la paroi au-dessous du point d'eau. Ce modèle permet d'obtenir la densité maximum de charge, le gonflement momentané du fumier pouvant se développer dans le gazomètre. Il a été construit et utilisé dès 1941 à l'Institut Agricole d'Algérie.

Le principe de la cuve-gazomètre convient pour les petites installations (1 ou 2 cuves de 20 m³ par exemple), et aux climats tempérés. Dans les régions très froides, on préfère généralement le gazomètre séparé, de façon à pouvoir calorifier plus facilement la partie supérieure des cuves. Cette formule doit être également adoptée lorsque l'installation comprend un épurateur de gaz carbonique à marche continue, qui permet de ne stocker qu'un volume réduit de gaz plus riche. Cette épuration est vivement recommandée dans le cas de l'emploi du gaz pour la force motrice, qui est grandement améliorée.

fig 15 GRIFFES DE MANUTENTION



GRIFFE A BRAS ORIENTABLE
MONTE SOUS ABRI

Les manipulations de fumier, ordures ou autres déchets, pour le remplissage et la vidange des cuves discontinues ne posent aucun problème. Pratiquement un déchargeur à griffe à bras orientable, mécanique ou hydraulique, mû par un moteur de 3 à 4 cv peut arracher, soulever et déplacer 300 à 400 kg de matière en moins d'une minute (fig. 15). Les cuves à charge unique doivent donc être largement ouvertes à leur sommet, et l'engin de levage peut être avantageusement utilisé pour soulever et replacer le couvercle à l'occasion du rechargement.

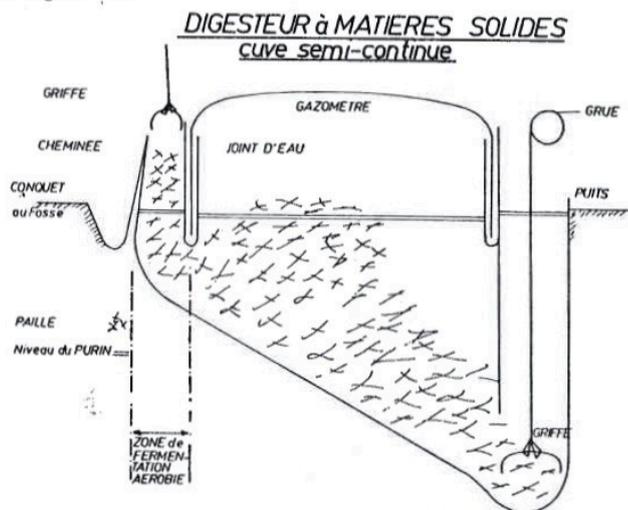
L'intervalle de temps entre deux chargements dépend des diverses conditions de fermentation, variable notamment avec la nature des matières fermentescibles. On arrête en principe d'après essais le cycle, lorsque la production tombe au tiers de sa valeur maximale, ce qui peut se produire au bout de deux à trois mois maximum.

B - Cuves semi-continues.

Ces cuves — qui peuvent être aussi conçues avec ou sans gazomètre intégré — sont d'une technique un peu plus compliquée et conviennent aux grandes capacités, celles d'installations collectives par exemple. Le circuit d'alimentation et d'évacuation, opérations également réalisables à l'aide de bennes à griffes, doit permettre le passage aisé d'une masse filamenteuse et très feutrée : les coudes trop brusques, les rétrécissements, les vannes, même larges, sont à éviter.

Avant de remplir la cuve, avec en premier lieu le levain, fait de fumier très chaud, il est bon de placer devant le tuyau de vidange de purin un petit tampon fait d'un fagot ou d'un peu de paille pour éviter l'engorgement. Si l'on dispose d'une batterie de cuves, il est commode de faire communiquer entre eux les fonds de cuve par des canalisations, de façon à envoyer dans la cuve en rechargement une partie du purin issu de caves dont on va arrêter le fonctionnement

La structure d'une telle cuve est donnée par les schémas de la figure 16.



La fermentation aérobie s'effectue dans la partie de la cuve la plus voisine de la cheminée d'alimentation. Le fumier se tasse au fur et à mesure, atteignant une densité de 500 kg par m³, et permettant ainsi le développement des germes qui déclenchent la phase anaérobie. Le fumier le plus ancien et le plus tassé (800 kg par m³) est extrait à la base du puits.

La griffe peut être utilisée à la fois pour le chargement et pour la vidange, à condition de lui assurer une mobilité convenable.

Les cuves de ce type peuvent être munies d'un gazomètre, construit de la même façon que dans le cas des cuves discontinues.

2. Mode de construction des installations.

Les parois et le fond des cuves peuvent être en matériaux divers : béton armé, en paroi mince avec nécessité d'une isolation thermique ; agglomérés de béton, briques ; à la rigueur tôle d'acier, bien que ce matériau soit difficile à protéger des fissures par oxydation. Le béton coulé est le matériau le mieux adapté à la conception de la cuve-gazomètre à joint d'eau. Dans les pays à hiver très froid, des pertes de chaleur par la partie enterrée de la cuve sont à craindre, et il faut soit la doubler d'une couche de matière isolante, soit construire la cuve en élévation (voir coupe fig. 18).

Le fond de la fosse de chaque cuve est constitué par un radier de gros cailloux (ou d'une couche de 0,20 m de béton maigre), puis d'une couche de 0,10 m de béton à 250 kg de ciment au m³ de sable, armée d'un treillis et vibrée. La cuve elle-même, ainsi que les puits s'il y a lieu, sont également en béton armé. Les parois auront une épaisseur de 7 à 10 cm, et seront coulées si possible en une seule fois. Le ciment sera de préférence du Portland, à la rigueur du ciment de laitier (si l'on préfère utiliser des parpaings, de 20 cm au minimum, il faut apporter un soin tout particulier aux joints, et faire un revêtement intérieur étanche à l'aide d'un mortier à 1 000 kg de ciment).

Le coffrage, que l'on a intérêt à faire réaliser par un artisan si la cuve n'est pas du modèle le plus simple, est construit par éléments et assemblé sur place. Ne pas oublier les divers orifices, pour écoulement du purin, sortie de gaz, etc.

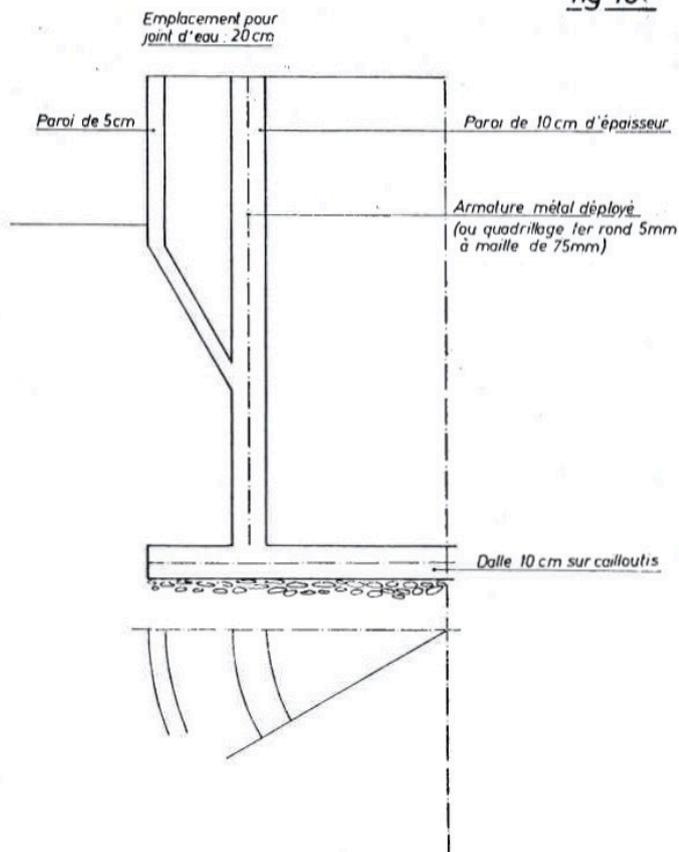
Les armatures peuvent être en quadrillage de fer rond de 5 mm, ou mieux en métal déployé.

Gazomètre.

Les cloches de gazomètres sont en tôle de 2 à 3 mm, soudée et légèrement armée. Leur volume doit être d'au moins la moitié du volume du fumier en fermentation. L'ascension de la cloche est guidée par des roulettes se déplaçant sur trois fers à U.

CUVE-GAZOMETRE en BETON (coulé/place)
profil type de paroi

fig 18.



On a également utilisé des gazomètres sans joint, en plastique souple. Ils doivent être alors éloignés des points d'utilisation, pour éviter tout danger d'incendie. Ce procédé est toutefois peu à conseiller.

Tuyauteries.

On peut utiliser du tube à gaz ordinaire en acier, en 20/27 au départ, pour les petites installations, en 26/34 pour les grandes, puis en 8/13 (pour l'éclairage) 12/17, ou 15/21, pour les dérivations vers les points d'utilisation. Les parties à l'air libre doivent être goudronnées, les parties enterrées enveloppées de jute et asphaltées.

3. Utilisations du méthane biologique.

Les possibilités d'utilisation sont extrêmement nombreuses. Nous ne ferons ici que citer les plus importantes que l'on peut grouper en deux catégories :

- 1) domestiques : cuisine, lessive, chauffage de l'eau, chauffage des habitations, réfrigération ;
- 2) agricoles : cuisson des aliments du bétail, chauffage des couveuses, réfrigération du lait, force motrice, production d'électricité.

Pour la *cuisine* et le *chauffage*, les appareils à gaz de ville peuvent être utilisés, à condition de modifier l'arrivée d'air en réglant les orifices, car le méthane exige pour sa combustion, environ 10 volumes d'air pour 1 de gaz.

La consommation de gaz est d'environ 250 litres à l'heure par brûleur. Les chauffe-eau à gaz, utiles pour la cuisine et les salles de bain, consomment 2 m³ pour porter 100 litres d'eau de 15 à 85° (environ 0,6 m³ pour un bain). Pour le chauffage des locaux, il faut prévoir 0,8 m³ à l'heure pour une pièce de 100 mètres cubes.

La *réfrigération* est possible avec un appareil du type à « absorption », qui consomme 2,5 à 3 m³ par jour.

Enfin l'utilisation pour la *force motrice* est facile — au moins pour les petits moteurs fixes — en modifiant légèrement l'alimentation (on intercale un mélangeur air-gaz avant le carburateur) et en augmentant un peu l'avance à l'allumage.

Pour les puissances plus importantes et pour les tracteurs ou camions, les moteurs utilisés depuis longtemps pour le gaz naturel, dans le Sud-Ouest, et certains modèles créés récemment (type Saviem) sont bien au point. Un compresseur pour bouteilles à 200 kg/cm² doit être prévu. Il peut être lui-même alimenté au gaz, en consommant 20 % environ de la production.

Entretien.

Une installation simple, de type discontinu par exemple, n'exige qu'un entretien minime qui porte uniquement sur les pièces métalliques : couvercle de cuve, cloche-gazomètres, tuyauteries, sont à goudronner en principe une fois par an. Les pièces en contact avec le purin, comme le tuyau de départ de gaz, sont à soigner particulièrement.

4. Aspects économiques.

Contrairement à l'introduction de l'électricité à la ferme, qui, outre les frais d'équipement, entraîne ensuite des frais de fonctionnement, l'installation du gaz biologique ne coûte pratiquement rien une fois réalisée.

Les manutentions ne sont pas plus importantes que dans la fabrication classique du fumier à l'air libre, et l'on évite même d'avoir à l'arroser et le recouper périodiquement.

L'investissement à prévoir est difficile à chiffrer actuellement, du fait que les équipements les plus récents datent d'une dizaine d'années et que les fabrications de type industriel n'ont pas été reprises.

Nous en donnons toutefois une estimation.

En prenant l'exemple de deux cuves de 20 m³, du système ordinaire (discontinu), avec gazomètre, et l'utilisation du gaz étant limitée aux besoins domestiques, les dépenses peuvent s'établir comme suit (toutes taxes comprises) :

<i>Cuverie :</i>	
15 m ³ de béton, 250 F le m ³ coulé et vibré.	4 000 F
Confection du coffrage, divers.	5 000 F
	9 000 F
<i>Gazomètre :</i>	
500 kg tôle de 3 mm, 2 400 F la tonne.	1 200 F
Soudure.	1 000 F
Cornières, divers, peinture.	800 F
	3 000 F
<i>Robinetterie, canalisations.</i>	3 000 F
<i>Griffe de manutention</i> (part imputée à la production de gaz, dans le cas d'une ferme utilisant du fumier).	4 000 F
	19 000 F

On peut donc envisager un coût de l'ordre de 20 000 F, susceptible de varier de plus ou moins 20 %, selon les régions et le détail de l'équipement prévu, ou encore selon la part de main-d'œuvre éventuellement fournie par la ferme.

Pour calculer la rentabilité d'une telle installation considérons que sous climat assez chaud une cuverie de 40 m³ peut fournir 20 à 24 m³ de gaz par jour, en moyenne annuelle, équivalant à 30 m³ de gaz de ville Lebon.

Soit en tout pour un an : $22 \text{ m}^3 \times 360 = 8\,000 \text{ m}^3$ environ à 5 500 kcal/m³, soit 40×10^6 kcal.

Si l'on prend pour base de comparaison, le prix du butane, livré dans les campagnes à 0,16 F environ les 1 000 kcal, on obtient pour valeur de cette production : $40\ 000 \times 0,16 = 6\ 400$ F.

On constate donc qu'une telle installation s'amortit en trois ans environ.

Encore ce calcul ne tient-il pas compte de la plus-value du fumier en tant que fertilisant, qui est plus difficile à apprécier mais dont l'avantage ne fait aucun doute surtout si l'on considère le coût croissant des engrais chimiques et les fâcheuses répercussions, aujourd'hui bien connues, de leur emploi exclusif.

Sous un climat plus froid, il est nécessaire de prévoir le système de réchauffage : serre en plastique, et couche isolante de fumier, soit une dépense supplémentaire d'environ 5 000 F, qui n'augmente que d'assez peu la durée d'amortissement.

Notons que celle-ci ne peut d'ailleurs que diminuer dans l'avenir, en raison de la montée probable des prix des hydrocarbures.

L'utilisation du gaz pour l'alimentation des moteurs peut être plus intéressante encore, surtout pour les moteurs fixes qui peuvent d'ailleurs inclure un groupe électrogène, à la seule condition de prévoir un épurateur de gaz, assez peu coûteux.

Pour l'utilisation en bouteilles sur les tracteurs, le poste de compression et les récipients amortissables en 10 ans n'entraînent que des frais supplémentaires de quelques francs par 1 000 kcal., ce qui sera largement compensé par l'économie de fuel-oil ainsi réalisée.

CONCLUSION

En enterrant les pailles et les sous-produits de récolte à l'état frais l'Agriculture a sous-estimé et négligé d'importantes ressources, autonomes et bien distribuées, en supercarburant et en fertilisants perpétuels.

Même les lisiers, issus des élevages industriels, pourraient être utilisés alors qu'ils sont rejetés et vont polluer les milieux naturels. En détruisant les gadoues, incinérées ou mises en décharges, les municipalités gaspillent cette immense richesse que constitue la matière organique, alors qu'additionnées éventuellement des boues d'égout sortant des stations d'épuration, elles peuvent par fermentation fournir une précieuse énergie et des engrais incomparables.

Les potentiels annuels maxima de la France sont de l'ordre de 10 à 12 milliards de m³ de gaz et de 100 millions de tonnes de fertilisants pour le fumier ; de un milliard de m³ de gaz et de 10 à 12 millions de tonnes de composts pour les ordures ménagères. Encore faut-il vouloir les récupérer !

A l'étranger des recherches sont entreprises par des structures puissantes, telles que la N.A.S.A. ou l'U.S. Navy (Marine). Si la France se laisse distancer dans cette voie, alors que ce sont nos chercheurs qui l'ont ouverte, cette négligence sera payée très cher sous forme de licences de construction ou devises d'importation.

Agriculteurs, Groupements, Services municipaux, constructeurs, à vous de jouer...

BIBLIOGRAPHIE

- G. DUCELLIER et M. ISMAN. — Premier aperçu sur le gaz de Fumier.
L'Agria n° 88, Mars 1941.
- F.SAUZE. — Le gaz de fumier. *L'Agriculture pratique*, Octobre 1947.
- C. BERTIN. — Note sur le gaz de fumier. *Le Sol*, Mars 1949.
- M. RENAUDAT. — Un exemple de production de gaz de fumier. *Bulletin technique d'information du Ministère de l'Agriculture*. Avril 1949.
- F. SAUZE. — L'avenir du méthane biologique. *Machinisme Agricole et Equipement Rural*, Mai 1949.
- ABIET. — Une source d'énergie à la disposition des agriculteurs : le gaz de fumier. *L'Agriculture pratique*, Juin 1950.
- X... — L'utilisation du gaz de fumier dans la petite et moyenne exploitation. *L'Agriculture pratique*, Avril 1950.
- R. CARILLON. — Le méthane biologique. *Le Génie Rural*, Juillet-Août 1950.
- ABIET. — A propos du gaz du fumier. *L'Agriculture pratique*, Janvier 1951.
- J.F. LEVY. — Premiers essais industriels de fermentation méthanique de sarments de vigne.
- F. MIGNOTTE et R. PITOT. — Gaz de fumier à la ferme. *La Maison Rustique*, 1952.
- CHEVALIER et LONGCHAMBON. — Analyse comparative du fumier ordinaire et du fumier méthanique. *CR. Académie d'Agriculture*, séance du 5 mars 1952.
- G. DUCELLIER. — Dégénération des fibres de coton par fermentation méthanique. *Communication Académie des Sciences*, 1953.
- M. ISMAN — A propos d'énergie, et plus spécialement de gaz de fumier. *Revue Agriculture* n° 371, Déc. 1973.
-

L'ESSENTIEL : l'encyclopédie d'Utopie pour vivre autonomes

dirigée par Jean-Marc Carité, cette encyclopédie de vie pratique, écologique et quotidienne vous permet de mettre facilement en oeuvre l'agriculture, le jardinage et l'élevage biologiques, d'utiliser sans problème les technologies d'habitat sain, d'entretenir, de restaurer, d'améliorer la santé de votre corps et votre équilibre par une alimentation, des remèdes et des règles de vie naturels. Chaque fascicule consacré à un thème particulier, rédigé par un(e) spécialiste, vous apporte l'essentiel des connaissances utiles pour vous rendre autonomes.

TITRES DISPONIBLES

- | | |
|---|---|
| 9. L'Hygiène vitale | 84. Confitures à cuisson douce |
| 27. La Cuisine solaire | 85. Cancer et alimentation |
| 30. Planter arbres & haies | 86. Votre serre facile et productive |
| 32. L'allaitement maternel | 87. Les Huiles Essentielles |
| 43. L'arboriculture fruitière | 88. La chèvre |
| 48. Le G.P.L un carburant propre,
économique et sûr. | 89. Vos savons maison bio et naturels |
| 53. Faites votre bière | 90. Vivre centenaire et bien portant |
| 54. Cultivez votre vigne | 91. Sortir de la fatigue chronique |
| 55. Faites votre vin | 92. La Pomme, un aliment remède |
| 56. Faites votre cidre | 93. Faites vos graines bio et libres |
| 61. La radiesthésie | 94. La Géobiologie pour un habitat sain |
| 62. Votre cave à vins | 95. L'Argent colloïdal |
| 63. La menthe | 96. Faites vos lits plantés |
| 64. L'ortie | 97. Construire en bûches |
| 65. Le Feng Shui de la chambre | 98. Faites votre tipi |
| 67. Le jeûne | 99. La dégustation du vin bio |
| 68. Salut, chardon | 100. Faites votre pain maison et bio |
| 70. Les plantes sauvages comestibles | 101. Les aliments fermentés |
| 71. Faites votre vinaigre | 102. Le mouton |
| 73. Faites vos cosmétiques | 103. Le vinaigre de cidre |
| 74. Faites votre mur solaire | 104. Vaccinations, quelles alternatives ? |
| 75. Les plantes associées au jardin
potager bio | 105. Votre santé sans gluten |
| 76. L'argile médicinale | 106. Les plantes médicinales |
| 77. La lavande | 107. Eloge de la bière passion |
| 78. Autoconstruire une maison en
paille | 108. Faites vos apéritifs |
| 79. Votre dos : capital santé à protéger | 109. Les plantes abortives (numérique) |
| 80. Réussir son jardin bio | 110. Comprendre l'intelligence artificielle |
| 81. Les fleurs de Bach | 111. Maraîchage bio 1 (numérique) |
| 82. Vinaigre balsamique et parmesan | 112. Maraîchage bio 2 (numérique) |
| 83. La poule pondeuse | 113. Maraîchage bio 3 (numérique) |
| | 114. Votre santé par les plantes (1)
numérique |
| | 115. L'agriculture biodynamiste (num) |
| | 116. Maraîchage bio 4 (numérique) |

retrouvez tous nos titres sur : www.utovie.com

TITRES DISPONIBLES

- 117. Calendrier agricole (numérique)
- 118. Maraîchage bio 5 (numérique)
- 119. La Macrobiotique (numérique)
- 120. Le Miel (numérique)
- 121. Votre santé par les plantes 2 (num)
- 122. Le Boomerang (à paraître)
- 123. Cheminées et récupération d'air
chaud (numérique)
- 124. Le Pain (numérique)
- 125. Energie solaire (numérique)

retrouvez tous nos titres sur : www.utovie.com