

Déchets et biotechnologies

Philippe Pichat

Résumé De nombreux déchets générés par notre société contiennent une teneur appréciable de matières organiques, dont certaines peuvent être transformées par des procédés biotechnologiques. Ces procédés consomment une quantité modérée d'énergie et, dans certains cas, sont même capables d'en produire. Ainsi, des sols régénérés, du compost, des nutriments, des produits chimiques tels que le méthane et de l'eau deviennent disponibles pour un développement durable.

Mots-clés Déchets, biotechnologies, énergie, réactifs, développement durable.

Abstract **Wastes and biotechnologies**
Many wastes generated by our society contain a significant content of organic matter; some of these materials can be processed by biotechnological processes. These require a moderate amount of energy and, in some cases, are even able to produce it. Thus reclaimed soils, compost, nutrients, chemicals such as methane, and water become available for sustainable development.

Keywords **Wastes, biotechnologies, energy, commodities.**

« *Nature, to be commanded, must be obeyed* » (Francis Bacon, *Novum Organum*, 1620).

Le détenteur d'une matière, d'un produit ou d'un objet en prend soin compte tenu de la satisfaction ou du profit qu'il compte en tirer, mais son comportement peut devenir sensiblement différent lorsqu'il veut se débarrasser de ce qui devient alors un déchet, provoquant alors un risque pour notre santé et notre planète [1].

Ce risque « déchets » devrait augmenter à l'échelle planétaire, poussé par :

- l'augmentation de l'urbanisation et la formation de mégapoles : on estime que d'ici une vingtaine d'années, 80 % de la population sera citadine, avec en particulier 800 centres urbains dépassant le million d'habitants. Or l'urbanisation favorise le rejet de déchets : compte tenu de l'exiguïté de son logement, de l'espace de rangement restreint dont il dispose (rarement une cave, un grenier, une remise...), le citadin jette (toutes proportions gardées) beaucoup plus que son ancêtre qui lui pouvait faire de la valorisation de proximité [2]. L'urbanisation provoque une concentration de la production de déchets dans un espace réduit, donc une augmentation du « risque déchets » pour les populations et l'environnement.
- L'achat de nombreux appareils ménagers et électroniques (ordinateurs, téléphones, téléviseurs...) contenant des éléments ayant un caractère non anodin, voire même toxique (métaux lourds).
- L'augmentation de la mobilité au moyen de véhicules individuels.

Il en résulte une augmentation de la production de déchets à l'état solide, pâteux ou liquide et pouvant être sources de problèmes pour notre société.

Les besoins de la société humaine

Nos besoins augmentent, compte tenu des tendances rappelées précédemment. Ce sont : des sols pour produire des denrées agricoles, construire de nouveaux logements et infrastructures ainsi que des unités de production et de distribution de denrées ; des fertilisants (N, P, K...) et des conditionneurs de sol ; de l'eau pour l'alimentation, l'irrigation, la

manufacture ou l'évacuation des déchets... ; de l'énergie ; et des matières premières.

Les biotechnologies contribuent à subvenir à ces besoins, en respectant particulièrement les préoccupations de développement durable.

La Nature transforme le gaz carbonique de l'air et l'eau en cellulose (C₆H₁₀O₅)_n, composant important des végétaux. Ces derniers constituent les bases de la chaîne alimentaire des êtres vivants (à condition que des substances toxiques ne polluent pas le sol, l'eau et l'atmosphère, empêchant par là ce processus) (tableau I).

Les micro-organismes, qui jouent là un rôle essentiel, sont présents en grandes quantités ; on en trouve par exemple environ un milliard dans une poignée de terre arable et de types extrêmement variés : bactéries hétérotrophes utilisant la matière organique pour se développer, métazoaires, protozoaires, champignons, algues...

Contributions des biotechnologies

La mise en œuvre des micro-organismes par les biotechnologies contribue à subvenir aux besoins de la société en transformant les déchets ayant une teneur substantielle en matière organique et une teneur négligeable en éléments toxiques.

Tableau I.

Développement durable	Énergie solaire Gaz carbonique Eau Minéraux Substances toxiques (faibles concentrations)
Développement non durable	Matières premières fossiles Minéraux Substances toxiques (fortes concentrations)

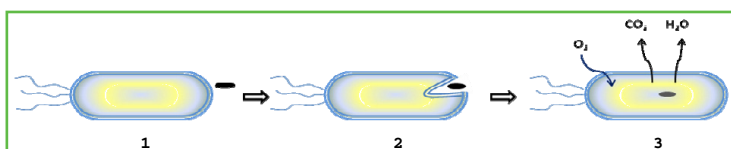
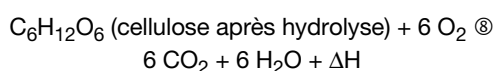
Tableau II - Applications des biotechnologies et traitements.

APPLICATIONS	TRAITEMENTS	APPLICATIONS	TRAITEMENTS
Traitement des sols		Production de compost	
<p><i>Landfarming</i></p> 	<p>Aération du sol pollué en surface de façon à l'homogénéiser et à favoriser le développement des micro-organismes aérobies.</p>	<p><i>Trommel</i> (photo P. Pichat).</p> 	<p>Le trommel permet de classer les déchets organiques en continu et à un coût compétitif en triant les solides en fonction de leurs dimensions.</p>
<p><i>Biotertres</i></p> 	<p>Les sols pollués sont mis en talus aérés et humidifiés de façon à favoriser le développement des bactéries.</p>	<p><i>La transformation de la matière organique est exothermique</i> (photo P. Pichat).</p> 	<p>Compostage et co-compostage : valorisation de boues de station d'épuration d'eaux usées (avec contrôle de la teneur d'éléments à caractère toxique) [4].</p>
Fertilisants/Conditionneurs de sol		Épuration des eaux	
<p><i>Sol pollué par des hydrocarbures devenu désertique (région de Porto Vecchio)</i> (photo P. Pichat).</p> 	<p>Apport des éléments fertilisants principaux (N, P, K), secondaires (Ca, S, oligoéléments...) par utilisation des composts. Amélioration, voire reconstitution de la structure du sol par la formation du complexe argilo-humique.</p>	<p><i>Une installation de traitement des eaux usées citadines particulièrement compacte dans l'environnement urbain exigeant de Monaco.</i></p> 	<p>Procédés aérobies plus généralement en bassins ouverts, procédés anaérobies qui dégradent des molécules difficilement altérables en milieu aérobie et produisent un combustible (cf. « Production d'énergie » ci-dessous).</p>
<p><i>Le même sol redevenu fertile grâce à des apports de compost</i> (photo P. Pichat).</p> 	<p>Le sol participe à la dépollution par les végétaux qu'il supporte ainsi que par les micro-organismes et les micro-animaux (lombriciens...).</p>	Production d'énergie	
		<p><i>Unité de méthanisation d'ordures ménagères.</i> (photo P. Pichat).</p> 	<p>Production, en milieu anaérobie, de CH₄ + CO₂ à partir de résidus des industries agroalimentaires, d'ordures ménagères triées [5]. Après purification, le mélange gazeux est compressé pour utilisation dans des véhicules à moteur thermique ou injecté dans un réseau de distribution de gaz naturel.</p>
Purification de l'air		Autres applications : préparation de réactifs	
 <p>Destruction de gaz polluants par passage dans des biofiltres contenant des micro-organismes sur un support solide.</p> <p>© Bill Biofiltre SA.</p>		<p>Certains déchets sont d'un grand intérêt pour les approches biotechnologiques, en particulier ceux qui contiennent des sucres directement assimilables, comme les mélasses, résidus de l'industrie sucrière. De nombreux produits d'intérêt (antibiotiques, acides aminés...) sont produits par fermentation de ces résidus. Par exemple, une souche de pénicillium produit de l'acide citrique à partir du saccharose contenu dans des mélasses. La production mondiale d'acide citrique avoisine les 2 Mt par an pour des applications variées (sodas par exemple). La solution ainsi obtenue par biotechnologie est traitée par de l'hydroxyde de calcium. Le précipité de citrate de calcium est traité avec une solution d'acide sulfurique pour obtenir de l'acide citrique. Cet exemple illustre la synergie entre les biotechnologies et la chimie [6].</p>	

Tableau III - Avantages et inconvénients des procédés biotechnologiques.

Avantages	Inconvénients
<p>Investissements La majorité des micro-organismes se développent favorablement entre 20 et 40 °C. Les investissements seront donc plus faibles que pour une unité traitant la même quantité et le même type de déchets à 1 000 °C dans un incinérateur.</p> <p>Coût de maintenance La relative simplicité des équipements biotechnologiques permet des coûts de maintenance modérés.</p> <p>Consommation d'énergie Les procédés biotechnologiques opérant à basse température sont beaucoup moins gourmands en énergie.</p>	<p>Manque de flexibilité</p> <ul style="list-style-type: none"> • vis-à-vis du contenu : les déchets ne doivent contenir que des quantités négligeables d'éléments toxiques. • vis-à-vis du flux : par exemple dans le cas d'un gros orage pour les déchets en phase aqueuse ; trop souvent une station d'épuration biologique reçoit une quantité d'eaux usées pour laquelle elle n'a pas été conçue. <p>Coût liés au tri La nécessité de mettre de côté les matières « inertes », minérales (verres...), qui peuvent atteindre 60 % du poids des ordures ménagères, implique un coût non négligeable.</p>

Les micro-organismes agissent selon deux modes :
- **Aérobic**, en utilisant l'oxygène de l'air (voir figure), par une réaction que l'on peut représenter par l'équation simplifiée :



La dégradation aérobie.

Le micro-organisme détecte un composé organique (cellulose par exemple) (1), le phagocyte (2), et son métabolisme oxydatif transforme ce composé organique en dioxyde de carbone et eau qui sont relâchés dans le milieu (3).

- **Anaérobic**, c'est-à-dire à l'abri de l'air, par une réaction que l'on peut représenter par l'équation simplifiée :



Le tableau II montre comment les biotechnologies contribuent à la gestion des déchets, subvenant ainsi aux besoins de la société pour le traitement des sols, la production de compost, les fertilisants et conditionneurs de sol, l'épuration des eaux, la production d'énergie.

Avantages et inconvénients des procédés biotechnologiques

Les progrès importants que l'on peut escompter avec les biotechnologies permettent d'entrevoir une utilisation accrue de ces procédés pour le traitement des déchets, qui est effectué actuellement à haute température et à haute pression, nécessitant un apport important d'énergie (voir tableau III).

Les procédés biotechnologiques sont basés sur des équilibres entre la microflore et le substrat. Ils dépendent de la température et des flux de matière que l'on doit chercher à uniformiser.

Les inconvénients de ces procédés peuvent être réduits en faisant appel à des procédés physico-chimiques. Par exemple, dans une unité de traitement de déchets industriels, un module d'ultrafiltration permet de mieux séparer les boues biologiques et l'eau à épurer. Une charge plus importante devient alors possible (10-12 g.L⁻¹, sur sec), rendant le procédé économiquement viable [3].

Traitement des déchets liquides

Dans les pays industrialisés, la majorité des déchets liquides (WC, douche, cuisine, laverie) sont traités dans de grandes unités (stations d'épuration des agences de bassin ou industrielles), mais il peut arriver qu'ils soient traités de façon individuelle.

De nombreux éléments peuvent affecter le fonctionnement correct des micro-organismes dégradant les déchets dans ces procédés :

- produits tels que les antibiotiques, les antiseptiques, les détergents et l'hypochlorite de sodium dont la finalité est précisément de tuer des micro-organismes ;
- sels à partir d'une certaine concentration ;
- produits toxiques utilisés comme solvants ;
- huiles flottant à la surface de l'eau empêchant l'oxygénation par l'air ;
- solides (couches, serviettes périodiques, plastiques, journaux...) qui encombrant la fosse.

Les dysfonctionnements ont alors pour conséquences :

- des odeurs déplaisantes, ayant parfois un caractère toxique (formation d'hydrogène sulfuré, d'amines, d'ammoniac...);
- l'engorgement de l'évacuation des eaux usées, ou bouillon, avec nécessité d'une intervention en urgence dans la fosse pour enlever les corps étrangers.

Conclusion

Les procédés biotechnologiques permettent de traiter des déchets et les eaux usées ayant une teneur substantielle en matière organique pour dépolluer les sols et l'eau, en les réintroduisant dans l'économie (eau potable), et pour produire des fertilisants, des conditionneurs de sol, des réactifs et de l'énergie.

Des quantités considérables de déchets sont ainsi traitées – par exemple en France, 7 milliards de m³ par an pour les seules eaux usées –, générant ainsi une belle activité économique.

L'auteur remercie Jean Buendia et Alain Garreau.

Références

- [1] Pichat P., Le risque chimique spécifique aux déchets, *L'Act. Chim.*, **2010**, 341, p. 52.
- [2] Pichat P., *La gestion des déchets*, Flammarion, **1995**.
- [3] Hyvrard F., Benchara A., Communication particulière.
- [4] Duong Tra T.T. *et al.*, Nutrient release from composts into the surrounding soil, *Geoderma*, **2013**, 195-196, p. 42.
- [5] Nielsen A.M., Christensen K.V., Møller H.B., Inline NH₃ removal from biogas digesters, *Biomass and Energy*, **2013**, 50, p. 10.
- [6] Vandenberghe L.P.S., Soccol C.R., Pandey A., Lebeault J.-M., Microbial production of citric acid, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **1999**, 42(3), p. 263.



Philippe Pichat*

est ingénieur et docteur ès sciences. Son expérience industrielle est complétée par celle d'expertises. Il fait partie de l'équipe de Sarp Industries fondatrice des activités du recyclage-traitement des déchets dangereux et maintenant implantée dans huit pays.

* Courriel : philippe.pichat@gmail.com