

ANNEXE 1

Réactions de biodégradation successives des déchets

Découpage en phases des réactions de biodégradation des déchets

Polhand et al. (1983) propose un découpage de ces réactions de biodégradation qui s'enchaînent en 5 phases.

Phase I :

Elle consiste en une oxydation de la matière organique en CO_2 et en H_2O . Le potentiel d'oxydo-réduction du milieu est élevé. La teneur en oxygène diminue, consommé par les bactéries aérobies, tandis qu'apparaît simultanément le dioxyde de carbone.

Phase II :

C'est une phase de transition vers l'anaérobiose. Les fermentations (acidogénèse) et l'acétogénèse débutent, le CO_2 et les acides gras volatils (AGV) s'accumulent, ce qui entraîne une diminution du pH. La production d'AGV provoque un pic de DCO. La fermentation fait apparaître une faible quantité d'hydrogène. La concentration en calcium, fer et métaux lourds augmente dans le lixiviat à cause de la baisse du pH qui facilite la mise en solution. Les ions NH_4^+ s'accumulent du fait de la réduction de l'azote protéique et de l'azote de l'air. La concentration en ions sulfates diminue, ils sont réduits en H_2S ou forment des précipités avec le calcium, le fer, certains métaux lourds.

Phase III :

Les conditions d'anaérobiose sont établies ; le potentiel d'oxydoréduction décroît fortement. La production de méthane (méthanogénèse) débute en même temps que le dioxyde de carbone et l'hydrogène commence à être consommés. La DCO décroît avec la production d'acétate (acétogénèse). Les AGV sont consommés, le pH augmente, jusqu'à la neutralité. La concentration en ions HCO_3^- augmente, ce qui contribue à une élévation du pouvoir tampon du milieu et du pH. L'augmentation du pH diminue la solubilité des métaux qui précipitent sous forme de sulfures, ce qui explique la baisse de leur concentration dans le lixiviat.

Phase IV :

La production de méthane atteint un plateau, qui correspond à une croissance maximale des bactéries méthanogènes. Le taux de dioxyde de carbone reste constant également. La DCO continue de décroître tandis que les AGV disparaissent. Le pH et le pouvoir tampon restent constants. Cette phase stable cesse lorsque l'un des substrats bactériens devient limitant (exemple : le phosphate).

Phase V :

L'activité bactérienne diminue et la production de dioxyde de carbone et de méthane cesse. Le potentiel d'oxydoréduction augmente à nouveau avec l'apparition d'oxygène (20%) et d'azote (80%) dans le milieu. Le mécanisme probable de cette réintroduction est la diffusion de l'air depuis la surface de l'alvéole. Cette diffusion était inhibée lors des phases précédentes par le flux vers le haut de méthane et de dioxyde de carbone. Par la suite, la composition du lixiviat restera stable et ses constituants seront très faiblement biodégradables.

Le tableau suivant permet de suivre l'évolution de plusieurs paramètres en fonction des différentes phases décrites précédemment.

Différentes phases Paramètres	Phases selon Christensen et Kjeldsen, 1989					Valeurs limites rencontrées dans la littérature
	Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV	Phase V	
	Phases selon Pohland et al., 1983					
	Phase II Transition	Phase III	Phase IV Production de méthane		Phase V	
Conductivité ($\mu S/cm$)	2450-3310	1600-17100	7700-2900		1400-4500	1400-17100
pH	6-7	7.7-4.7	6.3-8.8		7.1-8.8	3.7-8.8
Eh (mV)	(+40)	(-80)-(-240)	(-73)-(-330)	-330	(+97)-(+163)	(-330)-(+163)
M.E.S. (mg/l)						549-1994
D.C.O. (mg/l O ₂)	480-18600	1500-71700	9760-580		31-900	31-100000
D.B.O.5 (mg/l O ₂)	100-10900	1000-57700	3400-600		4-120	2-90000
N.T.K. (mg/l)	180-860	14-1910	25-82		7-490	7-5000
NH ₄ (mg/l)	120-225	2-1030	430-6		430-6	2-3870
NO ₂ (mg/l)						0-25
NO ₃ (mg/l)	0.1-51	19-<0.05	0		0.5-0.6	0-845
PO ₄ (mg/l)	0.6-1.7	120-0.16	14-0.7		0.16-14	0.16-154
K (mg/l)	35-2300	35-2300	35-2300		35-2300	2.8-3770
Na (mg/l)	20-7600	20-7600	20-7600		20-7600	0-7700
Ca (mg/l)	190-490	70-3900	490-76		76-254	60-7200
Mg (mg/l)	66-96	3-1140	505-81		81-190	3-15600
Cl (mg/l)	30-5000	30-5000	30-5000		30-5000	4,7-5000
SO ₄ (mg/l)	10-458	3240-10	0		5-40	1-3240
Fe (mg/l)	68-372	2200-90	336-115		4-20	0-5500
Cu (mg/l)	0.085-0.39	2.2-0.005	0.03-0.18		0.02-0.56	0-10
Cd (mg/l)	<0.005-0.01	<0.005-0.39	<0.005-0.1		0.004	0.005-17
Cr (mg/l)	0.023-0.28	18-0.06	0.05		0.05	0-18
Ni (mg/l)	0.02-1.55	79-0.03	0.1-1.0		0.07	0.02-79
Mn (mg/l)						0.06-1500
Hg (mg/l)						0.0003-0.012
Pb (mg/l)	0.001-0.004	1.44-0.01	0.01-0.1		0.01-0.1	0-5
Zn (mg/l)	0.06-21	220-0.65	0.4-6		0.4	0-1000
As (mg/l)						5-1600

Durée approximative de chaque phase			Plusieurs décennies	Indépendant du temps
	9 à 10 ans et jusqu'à 20 ans (référence 40)			

Autre possibilité de subdivision (Modifié d'après Millot)	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats stabilisés
	Moins de 5 ans		Après dix ans

Paramètres du lixiviat en fonction des différentes phases de stabilisation [2]

Les informations contenues dans ce tableau sont confirmées par de nombreuses études, qui indiquent toutes la même tendance (Ehrig and Scheelhaase (1993) [3], El Fadel and al. (2002) [4], L. Liberty and al. [5].)