

Les micro-polluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines



Ademe



Agencement
Énergie

G 13103

ministère de l'agriculture et de la pêche

"Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau"



Institut National
de la Recherche Agronomique

Sommaire



AVANT-PROPOS	7
INTRODUCTION	9
1- LES MICRO-ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT	11
1-1/ TERMINOLOGIE	11
1-1.1/ Les éléments minéraux dans l'environnement : métaux et métalloïdes	11
1-1.2/ Les éléments minéraux dans la croûte terrestre : éléments majeurs et éléments traces	11
1-1.3/ Les éléments minéraux dans le monde vivant : macro- et micro-éléments	12
1-1.4/ Contamination et pollution	13
1-1.5/ Polluants	13
1-2/ CYCLE BIOGÉOCHIMIQUE DES MICRO-ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT	13
1-3/ CONTRIBUTION DES BOUES RÉSIDUAIRES URBAINES AU CYCLE BIOGÉOCHIMIQUE DES MICRO-ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES	15
2- LES MICRO-POLLUANTS MÉTALLIQUES DANS LES BOUES RÉSIDUAIRES DES STATIONS D'ÉPURATION URBAINES	17
2-1/ ORIGINE	17
2-1.1/ Les micro-polluants métalliques dans les eaux usées urbaines	17
2-1.1.1/ Sources	17
2-1.1.2/ Concentrations moyennes	19
2-1.1.3/ Etat des micro-polluants métalliques dans les eaux usées	19
2-1.2/ Destinée des micro-polluants métalliques au cours du traitement des eaux usées dans la station d'épuration	19
2-1.2.1/ Production des boues	19
2-1.2.2/ Traitement des boues obtenues	19
2-1.2.3/ Devenir des micro-polluants métalliques	20
2-1.2.4/ Concentrations moyennes dans les boues	20
2-1.3/ Effet des micro-polluants métalliques sur les processus intervenant lors de l'obtention et du traitement des boues	21
2-2/ LOCALISATION ET LIAISON DES MICRO-POLLUANTS MÉTALLIQUES DANS LES BOUES	21
2-2.1/ Localisation en fonction de la taille des particules	21
2-2.2/ Localisation et liaison en fonction de la nature des particules solides et du micro-polluant	23
2-2.3/ Localisation et liaison des micro-polluants en fonction du traitement subi par la boue	23

3- LES MICRO-POLLUANTS MÉTALLIQUES DANS LES SOLS AGRICOLES AMENDÉS PAR LES BOUES RÉSIDUAIRES URBAINES

	25
3-1/ ORIGINE DES MICRO-POLLUANTS MÉTALLIQUES PRÉSENTS DANS LES SOLS	25
3-1.1/ Le fonds géochimique	25
3-1.2/ Les retombées atmosphériques	25
3-1.3/ L'utilisation des matières fertilisantes et des pesticides	25
3-1.4/ Les autres voies possibles d'enrichissement des sols en micro-polluants métalliques	27
3-2/ LOCALISATION DANS LE SOL	27
3-2.1/ Localisation dans les constituants du sol	27
3-2.2/ Localisation le long du profil	29
3-3/ TRANSFERT ENTRE CONSTITUANTS DU SOL - CONCEPT DE MOBILITÉ	31
3-3.1/ pH du sol	31
3-3.2/ Aération du sol et potentiel rédox	31
3-3.3/ Température du sol	32
3-3.4/ Humidité du sol	32
3-3.5/ Dose d'apport des matières fertilisantes	32
3-4/ TRANSFERT ENTRE LE SOL ET LA PLANTE - CONCEPT DE BIODISPONIBILITÉ	33
3-4.1/ Facteurs et conditions du milieu déterminant le transfert des micro-polluants métalliques du sol vers la plante	33
3-4.1.1/ pH du sol	33
3-4.1.2/ Température, humidité et aération du milieu racinaire	35
3-4.1.3/ Effet du temps de séjour des boues dans le sol	35
3-4.1.4/ Influence de l'espèce et de la variété	35
3-4.1.5/ Phénomènes d'antagonisme et de synergie	36
3-4.2/ Phytotoxicité	37
3-5/ TRANSFERT ET ACCUMULATION DANS LA PLANTE	37
3-6/ TRANSFERT DIRECT DU SOL VERS L'ANIMAL	38
3-7/ TRANSFERT DIRECT DU SOL VERS L'ATMOSPHÈRE	38
3-8/ RÉSULTANTE DES FLUX - TRANSFERT PAR VOIE PARTICULAIRE	38
3-8.1/ Exportation par les récoltes	38
3-8.2/ Lessivage vers les horizons profonds du profil	39
3-8.3/ Accumulation dans le sol	39
3-8.4/ Entraînement par érosion	40

4- ÉCHANTILLONNAGE DES BOUES ET DES SOLS AGRICOLES - ANALYSES DES MICRO-POLLUANTS MÉTALLIQUES

	41
4-1/ IMPORTANCE DES PROBLÈMES D'ÉCHANTILLONNAGE	41
4-2/ ÉCHANTILLONNAGE	42
4-2.1/ Cas des boues	42
4-2.2/ Cas des sols	42
4-2.3/ Cas des végétaux	42
4-3/ PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON	43
4-4/ MISE EN SOLUTION DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES	43
4-4.1/ Méthodes normalisées	43

4-4.2/ Autres méthodes de mise en solution	44
4-4.2.1/ Attaque à l'eau régale	44
4-4.2.2/ Attaque à l'eau régale et reprise à l'acide fluorhydrique	44
4-4.2.3/ Attaque à l'acide nitrique et à l'eau oxygénée	44
4-4.2.4/ Minéralisation par voie sèche et reprise à l'acide nitrique concentré	44
4-4.2.5/ Minéralisation en vue du dosage du mercure	44
4-4.2.6/ Mise en solution sélective	46
4-4.2.7/ Extractions séquentielles	46
4-5/ DÉTERMINATIONS OU DOSAGES	47
4-5.1/ Méthodes chimiques	47
4-5.2/ Méthodes physico-chimiques	47
4-5.2.1/ La spectrophotométrie d'absorption atomique (S.A.A.)	47
4-5.2.2/ La spectrophotométrie d'émission optique avec plasma d'argon	48
4-5.2.3/ La spectrophotométrie de fluorescence par rayon X	48
4-5.2.4/ Analyse par activation neutronique (AAN)	48

5- DÉTERMINATION DE LA MOBILITÉ ET DE LA BIODISPONIBILITÉ DES MICRO-POLLUANTS MÉTALLIQUES DANS LES SOLS AMENDÉS PAR DES BOUES RÉSIDUAIRES URBAINES	49
5-1/ MOBILITÉ	49
5-2/ BIODISPONIBILITÉ	51
5-2.1. Diagnostic foliaire	51
5-2.2/ Mise en oeuvre d'un réactif d'extraction	52
5-2.3/ Biotests	53
5-2.4/ Détermination de la biodisponibilité et évaluation du risque pour la chaîne alimentaire	54

6- ANALYSE DES RÉGLEMENTATIONS RELATIVES A L'UTILISATION AGRICOLE DES BOUES RÉSIDUAIRES URBAINES	55
6-1/ INTÉRÊT D'UNE UTILISATION AGRICOLE DES BOUES	55
6-2/ PANORAMA DES RÉGLEMENTATIONS EXISTANTES	57
6-3/ COMMENTAIRES SUR LA NORME FRANÇAISE NF U 44-041	59
6-3.1/ Relation entre les teneurs de référence des boues et les teneurs limites des sols	59
6-3.2/ Mode de calcul des doses d'apport de boues	60
6-4/ COMPARAISON DE LA RÉGLEMENTATION FRANÇAISE AVEC CELLE DES AUTRES PAYS D'EUROPE (CEE et Suisse)	63
6-4.1/ Teneurs-limites des sols récepteurs en micro-polluants métalliques	63
6-4.2/ Teneurs-limites des boues en micro-polluants métalliques	63
6-4.3/ Flux-limites en micro-polluants métalliques	65
6-4.4/ Le cas de la Suisse	65
6-5/ ANALYSE ET COMMENTAIRES SUR LA RÉGLEMENTATION AMÉRICAINE	65
6-5.1/ Principales voies de dissémination et d'exposition des populations	65
6-5.2/ Orientations actuelles	68
6-6/ ORIGINE DES DIFFÉRENCES ENTRE PAYS DANS LES DOSES D'APPORT ADMISSIBLES	69
6-7/ VERS UNE HARMONISATION EUROPÉENNE : LE CEN TC 308	70
6-8/ CONCLUSION	70

7- PRODUIRE DES BOUES PROPRES	71
7-1/ LE "TOUT À L'ÉGOUT" : UNE EXPRESSION MALHEUREUSE	71
7-2 / PRÉVENTION/SÉPARATION À LA SOURCE	71
7-3/ QUE FAIRE EN CAS DE BOUES CONTAMINÉES ?	75
7-4/ NOTION DE "BRUIT DE FOND"	76

ESSAI DE CONCLUSION	79
----------------------------	-----------

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	85
------------------------------------	-----------

ANNEXES	101
----------------	------------

FICHES	
Aluminium	107
Arsenic	113
Bore	119
Cadmium	125
Chrome	133
Cobalt	139
Cuivre	145
Fer	153
Manganèse	159
Mercuré	165
Molybdène	171
Nickel	177
Plomb	185
Sélénium	193
Thallium	199
Zinc	203