

SUBSTANCES « EMERGENTES » DANS LES BOUES ET COMPOSTS DE BOUES DE STATIONS D'EPURATIONS D'EAUX USEES COLLECTIVES – CARACTERISATION ET EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES



14 novembre 2014



Étude réalisée pour le compte de l'ADEME, le SYPREA-FNADE, la FP2E, le SIAAP,
(Contrat N°1006C0122)

Coordination technique : Guillaume GAY, Julien DALVAI
INERIS - DRC-14-115758-08437A



RAPPORT Final

INERIS - DRC-14-115758-08437A

REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit d'une collaboration entre diverses sociétés ou organismes.

Les personnes mentionnées ci dessous ont participé notablement à la conduite et à la réalisation de ce projet et forme le comité de pilotage du projet

Personne	Société ou organisme
Lionel BENARD	SIAAP
Hubert BRUNET	SYPREA
Anne CAUCHI	FP2E
Julien DALVAI	INERIS
Isabelle DEPORTES	ADEME
Isabelle FEIX	ADEME
Guillaume GAY	INERIS
Marie RIVET	SYPREA
Camille TESSIER	SIAAP
Antoine TRICAUD	SYPREA Terralys
Emmanuelle VULLIET	CNRS

Rédaction	Vérification	Validation
Selim AIT-AISSA Laure CHABOT Julien DALVAI Didier GRANIER Guillemette JANTOLEK Karen PERRONNET Emmanuelle VULLIET	Hugues BIAUDET Muriel ISMERT Pascal PANDARD Jean-Marc PORCHER	Martine RAMEL Eric THYBAUD

En français :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

In English :

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

Membres du COTEC

Nom	Prénom	Organisme
ALLONIER	Anne-Sophie	Agence de l'Eau Seine-Normandie
ANTONI	Véronique	MEDDTL - CGDD
BADOT	Pierre-Marie	Université de Besançon
BOUR	Lysanne	Agence de l'Eau RMC
BREYSSE	Nicolas	ANSES
CANIVINC-LAVIER	Marie-Chantal	INRA Dijon
CARRE	Jean	Ecoles des Hautes Etudes en Santé Publique
CASELLAS	Claude	Faculté de Pharmacie - Université Montpellier
COQUERY	Marina	CEMAGREF
DESFOSSÉS-MOUGEOT	Nathalie	VEOLIA PROPLETE
DI MARE	Jocelyne	Agence de l'Eau Adour-Garonne
DUCLAY	Edwige	MEDDTL
FEIDT	Cyril	ENSAIA - INPL/INRA
FERSTLER	Vincent	MEDDTL
GALLIAND	Cécile	Agence de l'Eau Artois-Picardie
GAUFFIER	Arnaud	APCA
GIBAUD	Catherine	MAAPAR
GUILLOTIN	Laetitia	Ministère du Travail de l'Emploi et de la Santé
HOUOT	Sabine	INRA de Versailles-Grignon
LEROY	Gaela	VERI
MARTEL	Jean-Luc	SUEZ Environnement-CIRSEE
MARTHON-GASQUET	Stéphanie	MAAPAR
MOSQUERON	Luc	VERI
PATUREAU	Dominique	INRA de Narbonne
POULSEN	Véronique	ANSES
PRAT	Maryannick	ARS Pays de la Loire
REVEAU	Guillaume	SAUR
RICHARD	Antoine	INRA de Lille
SERRE	Jeanne	VERI
THIEBAUT	Charles	MEDDTL
TRAVERS	Rosine	MAAPAR
TRICAUD	Antoine	Terralys
VACHON	Alain	Agence de l'Eau Loire-Bretagne

Sommaire

I.	INTRODUCTION	13
II.	SELECTION DES PRODUITS ET DES SUBSTANCES	15
1.	OBJECTIFS.....	16
2.	CHOIX INITIAL DES PRODUITS	17
3.	LISTE INITIALE DE SUBSTANCES.....	19
4.	HIERARCHISATION DES SUBSTANCES - ELABORATION DE SCORES	21
4.1	SCORE DE TRANSFERT	21
4.2	SCORE PERSISTANCE.....	22
4.3	SCORE ECOTOXICITE.....	22
4.4	SCORE TOXICITE	22
4.5	SCORE PRESENCE.....	23
4.6	DEFINITION D'UN SCORE FINAL.....	23
5.	ACQUISITION DE DONNEES COMPLEMENTAIRES POUR LE CRITERE « PRESENCE »	24
5.1	SUBSTANCES RECHERCHEES PAR SCREENING.....	24
5.2	RESULTATS DU SCREENING	24
6.	SUBSTANCES ET PRODUITS SELECTIONNES	26
6.1	SUBSTANCES SELECTIONNEES	26
6.1.1	<i>Principe.....</i>	26
6.1.2	<i>Substances non pharmaceutiques sélectionnées</i>	26
6.1.3	<i>Substances pharmaceutiques sélectionnées</i>	27
6.2	PRODUITS SELECTIONNES	27
7.	CONCLUSION DU CHAPITRE II	28
III.	CARACTERISATION DES BOUES ET COMPOSTS DE BOUES	29
1.	CONTEXTE.....	30
2.	QUANTIFICATION ANALYTIQUE DES SUBSTANCES SELECTIONNEES	31
2.1	PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES PRODUITS, TRAITEMENT DES ECHANTILLONS ET TECHNIQUES ANALYTIQUES	31
2.1.1	<i>Prélèvement de l'échantillon</i>	31
2.1.2	<i>Prétraitement des échantillons</i>	31
2.1.3	<i>Techniques analytiques pour les substances non pharmaceutiques</i>	32
2.1.4	<i>Techniques analytiques pour les substances pharmaceutiques</i>	33
2.2	RESULTATS DE LA QUANTIFICATION	35
3.	ESSAIS BIOANALYTIQUES - PERTURBATEUR ENDOCRINIEN.....	42
3.1	OBJECTIFS.....	42
3.2	METHODOLOGIE	42
3.3	RESULTATS.....	44
3.4	CONCLUSION.....	48
4.	ESSAIS D'ECOTOXICITE.....	49
4.1	OBJECTIFS.....	49
4.2	DESCRIPTION DES ESSAIS D'ECOTOXICITE	49
4.2.1	<i>Préparation des mélanges et des éluats.....</i>	49
4.2.2	<i>Essais d'écotoxicité terrestre</i>	50
4.2.3	<i>Essais d'écotoxicité aquatique.....</i>	52
4.3	RESULTATS.....	54
4.3.1	<i>Expression des résultats</i>	54

4.3.2	Essais d'écotoxicité terrestre	56
4.3.3	Essais d'écotoxicité aquatique.....	59
4.4	DISCUSSION	61
5.	CONCLUSION DU CHAPITRE III	64
IV.	DETERMINATION EXPERIMENTALE DES PARAMETRES PERSISTANCE ET TRANSFERT VERS LES VEGETAUX POUR L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES.....	65
1.	CONTEXTE ET OBJECTIFS	66
2.	MISE EN PLACE DES EXPERIMENTATIONS	69
2.1	SELECTION DES PRODUITS TESTES.....	69
2.2	EXPERIMENTATIONS EN PLEIN CHAMP – TRANSFERT DANS LES VEGETAUX.....	69
2.3	PRELEVEMENTS DES ECHANTILLONS DE SOL ET DE VEGETAUX SUR PARCELLES	70
2.4	EXPERIMENTATIONS EN CONDITIONS CONTROLEES – TRANSFERT DANS LES VEGETAUX ET PERSISTANCE DANS LES SOLS	70
2.4.1	<i>Sélection et caractéristiques du sol agricole</i>	<i>70</i>
2.4.2	<i>Protocole expérimental - transfert dans les végétaux (enceinte de culture).....</i>	<i>72</i>
2.4.3	<i>Protocole expérimental – persistance dans le sol (colonne de sol)</i>	<i>73</i>
2.5	SPECIFICITES POUR LE PRETRAITEMENT DES ECHANTILLONS DE VEGETAUX	76
3.	RESULTATS EXPERIMENTAUX	77
3.1	FACTEUR DE BIOACCUMULATION	77
3.1.1	<i>Quantification des substances dans les végétaux.....</i>	<i>77</i>
3.1.2	<i>Détermination du facteur de bioconcentration – critères de sélection</i>	<i>80</i>
3.2	PERSISTANCE DANS LE SOL.....	83
3.2.1	<i>Paramètres suivis</i>	<i>83</i>
3.2.2	<i>Contribution des dépôts atmosphériques et phénomènes de lixiviation.....</i>	<i>83</i>
3.2.3	<i>Evolution des concentrations dans les sols.....</i>	<i>85</i>
3.2.4	<i>Temps de demi-vie retenus.....</i>	<i>87</i>
4.	DISCUSSION.....	89
4.1	SYNTHESE DES POTENTIELS DE DEGRADATION ET DE TRANSFERT DETERMINES EXPERIMENTALEMENT	89
4.2	ORGANO-ETAINS.....	90
4.3	ANILINES CHLORES.....	90
4.4	HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)	90
4.5	PHENOLS ET CRESOLS	91
4.6	SUBSTANCES A USAGE PHARMACEUTIQUE	91
4.7	PBDE	92
4.8	PERFLUOROALKYLES.....	92
4.9	COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS	93
4.10	HYGIENE ET SOIN.....	93
4.11	ALKYLPHENOLS	93
5.	CONCLUSION DU CHAPITRE IV	95
V.	EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIES AUX FILIERES DE VALORISATION DES BOUES ET COMPOSTS DE BOUES.....	96
1.	PRESENTATION GENERALE DE LA DEMARCHE.....	97
2.	IDENTIFICATION DES DANGERS ET DES RELATIONS DOSES-EFFETS	98
2.1	IDENTIFICATION DES DANGERS	98
2.2	RELATIONS DOSE-REponses : SELECTION DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCES (VTR)	100
2.2.1	<i>Méthode.....</i>	<i>100</i>
2.2.2	<i>Résultats.....</i>	<i>100</i>
2.3	SUBSTANCES PHARMACEUTIQUES SANS VTR - ELABORATION DE VTR « POSOLOGIE »	101
3.	EVALUATION DES EXPOSITIONS.....	103
3.1	PARAMETRES LIES AUX CULTURES	103

3.1.1	<i>Paramètres génériques</i>	103
3.1.2	<i>Choix des cultures</i>	103
3.1.3	<i>Concentrations retenues pour les produits épandus</i>	104
3.1.4	<i>Concentrations prises en compte dans le sol</i>	105
3.1.5	<i>Spéciations prises en compte pour les éléments traces métalliques</i>	105
3.2	SCENARIOS ET PARAMETRES D'EXPOSITION	105
3.2.1	<i>Typologie de population considérée et schéma conceptuel</i>	105
3.2.2	<i>Durée d'exposition et principes des calculs des doses d'exposition</i>	106
3.2.3	<i>Principe du calcul de la dégradation des substances dans le sol</i>	107
3.2.4	<i>Principe du calcul des doses d'exposition</i>	108
3.2.5	<i>Autres paramètres d'exposition</i>	108
3.2.6	<i>Scénario de consommation alimentaire</i>	109
3.3	PARAMETRES RETENUS POUR LES TRANSFERTS VERS LES VEGETAUX (BCF)	109
3.4	PARAMETRES RETENUS POUR LES TRANSFERTS VERS LES ANIMAUX.....	110
3.5	PARAMETRES RETENUS POUR LA PERSISTANCE DANS LE SOL.....	111
4.	CARACTERISATION DES RISQUES	112
4.1	PRINCIPES DE QUANTIFICATION DU RISQUE	112
4.2	RESULTATS POUR LES SUBSTANCES DISPOSANT DE VTR - APPROCHE QUANTITATIVE.....	112
4.2.1	<i>Effets à seuil</i>	112
4.2.2	<i>Effets sans seuil</i>	114
4.3	RESULTATS POUR LES SUBSTANCES PHARMACEUTIQUES - APPROCHE QUALITATIVE	116
5.	INCERTITUDES ET DISCUSSION DES RESULTATS	119
6.	CONCLUSION DU CHAPITRE V	121
VI.	CONCLUSION GENERALE	122
VII.	ANNEXES	127

Table des figures

FIGURE 1 : ARBRES DE DECISION POUR LA SELECTION INITIALE DES PRODUITS (BOUES OU COMPOSTS DE BOUES) POUR LA PHASE DE SCREENING. BL : BOUE LIQUIDE, BC : BOUE CHAULEE, BS : BOUE SECHEE, CB : COMPOST DE BOUE, BDI : BOUE DIGEREE, BT : BOUE ISSUE DE STABILISATION THERMIQUE	17
FIGURE 2 : SCHEMA DE PREPARATION DES ECHANTILLONS	32
FIGURE 3 : PROTOCOLE DE PREPARATION DES ECHANTILLONS DE BOUES ET COMPOSTS DE BOUES POUR L'ANALYSE DES SUBSTANCES PHARMACEUTIQUES ET HORMONES PAR QUECHERS.	34
FIGURE 4 : PROTOCOLE DE PREPARATION DES ECHANTILLONS DES MATRICES ANALYSEES POUR LES TETRACYCLINES ET FLUOROQUINOLONES PAR PLE.	35
FIGURE 5 : SOMME DES CONCENTRATIONS EN SUBSTANCES POUR LES 12 STATIONS D'EPURATION COLLECTIVES (STEP), MOYENNE DES 4 CAMPAGNES. U=STATION URBAINE, R= STATION RURALE	36
FIGURE 6 : SOMME DES CONCENTRATIONS PAR GROUPES DE SUBSTANCES ET PAR CAMPAGNE POUR LA STEP N° 7	36
FIGURE 7 : REPRESENTATION POUR LES SUBSTANCES NON PHARMACEUTIQUES DE LEUR CONCENTRATION MEDIANE DANS LES ECHANTILLONS ET FREQUENCE DE QUANTIFICATION DANS LES ECHANTILLONS (EN %) - HORS CHOLESTENES ET GALAXOLIDE	38
FIGURE 8 : REPRESENTATION POUR LES SUBSTANCES PHARMACEUTIQUES DE LEUR CONCENTRATION MEDIANE DANS LES ECHANTILLONS ET FREQUENCE DE QUANTIFICATION (EN %).	39
FIGURE 9 : EVOLUTION DES TENEURS EN NORFLOXACINE, CIPROFLOXACINE ET OFLOXACINE AU COURS DES 4 CAMPAGNES	40
FIGURE 10 : PRINCIPES DES TESTS CELLULAIRES UTILISES POUR LA DETECTION DES LIGANDS DES RECEPTEURS DES ŒSTROGENES (ER), DES ANDROGENES (AR) ET DE LA DIOXINE (AHR). A DROITE : EXEMPLE DE REPOSE DES TESTS A DES CONCENTRATIONS CROISSANTES D'ŒSTRADIOL, DE TESTOSTERONE ET DE DIOXINE.	43
FIGURE 11 : EXTRACTION ORGANIQUE DES MATRICES LYOPHILISEES ET QUANTIFICATION DE TEQ DERIVES DES RESULTATS DES BIOESSAIS IN VITRO DANS LES EXTRAITS ORGANIQUES.	44
FIGURE 12 : CORRELATION ENTRE LES CONCENTRATIONS EN EQUIVALENTS-BENZO(A)PYRENE DERIVEES DES ANALYSES CHIMIQUES (CHEM-BEQ) ET CELLES DERIVEES DES BIOESSAIS (BIO-BEQ).	47
FIGURE 13 : RESULTATS DES ESSAIS D'ECOTOXICITE TERRESTRE CONDUITS SUR LES PRODUITS DES STEP 02 – 07 – 14 ET 25 A 1 X, 5 X ET 10 X LA DOSE D'EPANDAGE.	57
FIGURE 14 : RESULTATS DES ESSAIS D'ECOTOXICITE AQUATIQUE CONDUITS SUR ELUATS DES MELANGES PREPARES A 1 X, 5 X ET 10 X LA DOSE D'EPANDAGE AVEC LES PRODUITS DES STEP 02 – 07 – 14 ET 25. LES FORMES PLEINES CORRESPONDENT AUX EFFETS BIOLOGIQUEMENT SIGNIFICATIFS, PAR COMPARAISON DES EFFETS MESURES AUX VALEURS SEUILS CONSIDEREES	60
FIGURE 15 : PRESENTATION DE L'ENCEINTE DE CULTURE	73
FIGURE 16 : DISPOSITIF DE L'ETUDE DE PERSISTANCE EN COLONNES DE SOL	74
FIGURE 17 : CONTRIBUTION DES BOUES ET DU SOL AGRICOLE EN NG/G PAR GROUPE DE SUBSTANCES (NB : ECHELLE LOGARITHMIQUE)	75
FIGURE 18 : ASPECTS DES GRAINS DE COLZA ET BLE AVANT CRYOGENISATION	76
FIGURE 19 : ASPECT DES POMMES DE TERRE APRES L'ETAPE DE LYOPHILISATION (4 PARCELLES)	77
FIGURE 20 : CONCENTRATIONS EN NG/G MS DES GROUPES DE SUBSTANCES DANS LES TROIS VEGETAUX	80
FIGURE 21 : PERSISTANCE DANS LES SOLS AMENDES	86
FIGURE 22 : SCHEMATISATION DU POTENTIEL DE DEGRADATION ET DE TRANSFERT PAR GROUPES DE SUBSTANCES (VERT FONCE = VALEUR MINIMALE, VERT CLAIR = VALEUR MAXIMALE)	89
FIGURE 23 : SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION LORS D'EPANDAGE DE BOUES OU COMPOSTS DE BOUES	106
FIGURE 24 : EVOLUTION THEORIQUE DES CONCENTRATIONS EN SUBSTANCES DANS LE SOL LIEES A L'EPANDAGE (POUR DEUX SUBSTANCES AVEC UNE MEME CONCENTRATION DANS LES PRODUITS EPANDUS)	107
FIGURE 25 : QUOTIENTS DE DANGER (QD) ATTRIBUABLES A L'EPANDAGE DE BOUES OU DE COMPOSTS DE BOUES PAR VOIE D'EXPOSITION ET QD TOTAUX (SOMME DE TOUTES VOIES) POUR LE RIVERAIN ENFANT.	114
FIGURE 26 : EXCES DE RISQUE INDIVIDUEL (ERI) ATTRIBUABLES A L'EPANDAGE DE BOUES OU DE COMPOSTS DE BOUES PAR TYPOLOGIE DE POPULATIONS ET ERI CUMULES. NOTE : LES PBDE, LA 17-B - ŒSTRADIOL ET LE DEHP NE SONT PAS VISIBLES SUR LE GRAPHIQUE. LES AUTRES SUBSTANCES INCLUSES DANS L'ERS NE POSSEDENT PAS D'EFFETS SANS SEUIL	115
FIGURE 27 : DIAGRAMME DES SCORES D'EXPOSITION (EN UNITE ARBITRAIRE) EN FONCTION DE LA TOXICITE (- LOG VTR _{POS0} EN MG.J ⁻¹ .KG ⁻¹).	117

Tableaux

TABLEAU 1 : CHOIX INITIAL DES ECHANTILLONS DE BOUES ET COMPOSTS DE BOUES.....	18
TABLEAU 2 : PRESENTATION DES PARAMETRES RENSEIGNES	19
TABLEAU 3 : ECHANTILLONS SELECTIONNES SELON LES EXPERIMENTATIONS	30
TABLEAU 4 : BIOESSAIS IN VITRO UTILISES POUR LA DETECTION DES COMPOSES ŒSTROGENIQUES, (ANTI)ANDROGENIQUES ET DIOXIN-LIKE.	43
TABLEAU 5 : ACTIVITES ŒSTROGENIQUE, (ANTI)ANDROGENIQUE, BAP-LIKE ET DIOXIN-LIKE DANS LES EXTRAITS ORGANIQUES DES DIFFERENTES BOUES DE LA CAMPAGNE N°1. LES RESULTATS SONT EXPRIMES EN EQUIVALENTS-TOXIQUES (BIO-TEQ) PAR QUANTITE DE MATIERE SECHE.	44
TABLEAU 6 : CONTRIBUTION DES HORMONES, ALKYPHENOLS ET BPA DANS L'ACTIVITE ŒSTROGENIQUE GLOBALE PAR COMPARAISON DES EQUIVALENTS ESTRADIOL DERIVES DES BIOESSAIS (BIO-EEQ) ET DES ANALYSES CHIMIQUES (CHEM-EEQ).	46
TABLEAU 7 : COMPARAISON DES TENEURS EN EQUIVALENTS-BENZO(A)PYRENE DERIVEES DES ANALYSES CHIMIQUES (CHEM-BEQ) ET DES BIOESSAIS (BIO-BEQ) DANS LES EXTRAITS DE BOUES ET COMPOSTS DE BOUES.	47
TABLEAU 8 : CARACTERISTIQUES DES PRODUITS TESTES, DOSES D'EPANDAGE PRECONISEES ET PRETRAITEMENT EVENTUEL.	50
TABLEAU 9 : ESSAIS D'ECOTOXICITE TERRESTRES REALISES SUR LES MELANGES SOL / PRODUITS.	52
TABLEAU 10 : ESSAIS D'ECOTOXICITE AQUATIQUES REALISES SUR LES ELUATS DES MELANGES SOL / PRODUITS.	53
TABLEAU 11 : SEUILS UTILISES POUR L'EVALUATION DES EFFETS TOXIQUES DES BOUES TESTEES SUR LES SYSTEMES D'ESSAI	55
TABLEAU 12 : POURCENTAGES D'EFFET MESURES LORS DES ESSAIS D'ECOTOXICITE TERRESTRE CONDUITS SUR LES PRODUITS DES STEP 02 – 07 – 14 ET 25 A 1 X, 5 X ET 10 X LA DOSE D'EPANDAGE.	56
TABLEAU 13 : POURCENTAGES D'EFFET MESURES LORS DES ESSAIS D'ECOTOXICITE AQUATIQUE CONDUITS SUR ELUATS DES MELANGES PREPARES A 1 X, 5 X ET 10 X LA DOSE D'EPANDAGE AVEC LES PRODUITS DES STEP 02 – 07 – 14 ET 25.	59
TABLEAU 14 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DOSES MINIMALES PRESENTANT DES EFFETS SIGNIFICATIFS POUR LES ESSAIS D'ECOTOXICITE AQUATIQUE ET TERRESTRE.	62
TABLEAU 15 : HISTORIQUE DE LA PARCELLE SUR LES 2 ANNEES PRECEDENTES.....	71
TABLEAU 16 : CARACTERISTIQUES DU SOL AGRICOLE.....	71
TABLEAU 17 : RATIOS AGRONOMIQUES APPLIQUES SUR LES 12 PARCELLES EN PLEIN CHAMP.....	71
TABLEAU 19 : SYNTHESE DE LA FICHE TECHNIQUE DE LA VARIETE DE BLE TOGANO.....	72
TABLEAU 20 : PARAMETRES DES CONDITIONS CONTROLEES POUR LA CULTURE DU BLE ALTERNATIF.....	73
TABLEAU 21 : SUBSTANCES EMERGENTES NON QUANTIFIEES DANS LES TROIS VEGETAUX TESTES	78
TABLEAU 22 : SUBSTANCES EMERGENTES QUANTIFIEES DANS LES VEGETAUX	79
TABLEAU 23 : BCF CALCULES A L'ISSUE DES ESSAIS POUR LES TROIS VEGETAUX.....	81
TABLEAU 24 : BCF CALCULES POUR LE BLE EN PLEIN CHAMP ET EN ENCEINTE DE CULTURE	82
TABLEAU 25 : VOLUMES DE LIXIVIATS RECUEILLIS DURANT LA PERIODE D'ETUDE	83
TABLEAU 26 : SUBSTANCES QUANTIFIEES DANS LES DEPOTS ATMOSPHERIQUES ET LES LIXIVIATS.....	84
TABLEAU 27 : SYNTHESE DES SUBSTANCES QUANT A L'EVOLUTION DE LEUR CONCENTRATION DANS LE TEMPS EN CONDITIONS EXTERIEURES	87
TABLEAU 28 : TEMPS DE DEMI-VIE RETENU, OBTENU EN CONDITIONS EXTERIEURES.....	88
TABLEAU 29 : SUBSTANCES OU GROUPES DE SUBSTANCES INCLUS DANS L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES.....	99
TABLEAU 30 : RECAPITULATIF DES PARAMETRES D'EPANDAGE RETENUS DANS L'ETUDE	103
TABLEAU 32 : DUREE PRISE EN COMPTE POUR LE CALCUL DES EXPOSITIONS POUR LES EFFETS SANS SEUIL EN FONCTION DES TYPOLOGIES DE POPULATIONS ET CUMULS POSSIBLES.....	106
TABLEAU 33 : PRESENTATION DES AUTRES PARAMETRES PRIS EN COMPTE POUR LE CALCUL DES DOSES D'EXPOSITION	108
TABLEAU 34 : SYNTHESE DES QUOTIENTS DE DANGER ATTRIBUABLE A L'EPANDAGE POUR UNE PERIODE DE 10 ANS.....	113
TABLEAU 35 : SYNTHESE DES EXCES DE RISQUE INDIVIDUEL (ERI) ATTRIBUABLE A L'EPANDAGE POUR UNE PERIODE DE 10 ANS.....	115

Abréviations

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AhR	Aryl hydrocarbon Receptor
ANOVA	Analyse de la Variance
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
AR	Récepteurs Androgènes
ARMISTIQ (projet)	Amélioration de la réduction des micropolluants dans les stations de traitement des eaux usées domestiques
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BAF	Facteur de bioaccumulation (ici, facteur de transfert vers les animaux)
BAPPET	Base de données sur les teneurs en Eléments Traces métalliques
BCF	Facteur de bioconcentration
BEQ	benzo(a)pyrène équivalents
BSTFA	N,O-bis(triméthylsilyl)trifluoroacétamide
C1, C2	Campagne de prélèvement n°1, Campagne n°2, ...
CE20	Concentrations induisant 20% d'effets (tests bioanalytiques)
CL50	Concentration Létale 50
CMR	Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
COFIL	COmité de PILotage
COT	Carbone Organique Totale
COTEC	Comité TEChnique (comité d'experts)
CRE	Capacité de Rétention en Eau
DGS	Direction Générale de la Santé
DMSO (solvant)	Diméthylsulfoxyde
EDTA	acide éthylène diamine tétraacétique
EEQ	Estradiol équivalents
ER	Récepteurs Œstrogènes
ERI	Excès de Risque Individuel (effets sans seuil)
EROD	éthoxyrésorufine-O-dééthylase
ERS	Evaluation des Risques Sanitaires
FluEQ	flutamide équivalents
FP2E	Fédération des Entreprises de l'Eau
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
INERIS	Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des risques
Kow	Coefficient de partage octanol/eau
LC - MS	Chromatographie liquide – Spectrométrie de Masse
LD	Limite de Détection
LOEC	Lowest Observed Effect Concentration
LQ (ou LOQ)	Limite de Quantification
MF	Matière Fraîche
MS	Matière Sèche
N.D.	Non Détecté
OEHHA	California Office of Environmental Health Hazard
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OPERSEI	Observatoire des Pratiques de l'Evaluation des Risques Sanitaires dans les Etudes d'Impact
P80	Centile 80 d'une gamme de valeurs
PE	Perturbateur Endocrinien
PLE	Pressurized Liquid Extraction
PMG	Poids de Mille Grammes
PNSE	Plan National Santé Environnement

Pv	Pression de Vapeur,
QD	Quotient de Danger (effets à seuil)
QSAR	Quantitative Structure-Activity Relationship
QuEChERS	Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Pays-Bas)
SAU	Surface Agricole Utile
SIAAP	Service public de l'assainissement francilien
STEP	STation d'Épuration (collectives d'eaux usées)
STEU ou STEP	ici : Station d'épuration collective des eaux usées
SYPREA	Syndicat des Professionnels du Recyclage en Agriculture
T1/2	Temps de demi-vie d'une substance organique
TCDD/eq	TétraChloroDibenzoDioxine Equivalents
Tdissip	Taux de dissipation d'une substance organique
TEQ	Equivalent Toxique
TOF	Time Of Flight
US-EPA	United States – Environmental Protection Agency
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

Abréviations des principales familles de substances

COV	Composés Organiques Volatils
ETM	Eléments Traces Métalliques
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
OTC	Organoétains (Organotin Compounds)
(P)BDE	(Poly) BromoDiphénylEthers
PCB (-DL)	PolyChloroBiphényls (-Dioxin-like)
PCDD/F	Polychlorodibenzo-dioxines/furannes
PFOA	Perfluorooctanoate
PFOS	Sulfonate de perfluorooctane

Toutes les abréviations des substances chimiques de l'étude sont données en annexe 3.

Résumé

En collaboration avec des fédérations professionnelles (SYPREA, FP2E)¹, parties prenantes dans la valorisation des matières organiques résiduelles, ainsi qu'avec le SIAAP² et l'ADEME³, l'INERIS⁴ et le CNRS⁵ ont mené la première étude intégrée sur la caractérisation des substances dites « émergentes » dans les boues et composts de boues de stations d'épuration collectives d'eaux usées françaises. Cette étude comporte deux grands volets, à savoir, la caractérisation chimique et écotoxicologique des boues et composts de boues (nommés produits dans la suite du résumé), et l'évaluation des risques sanitaires attribuables à leur épandage. L'ensemble des travaux a été suivi par un comité d'experts (COTEC) qui a pu valider une grande partie des choix effectués et apporter ses remarques.

Cette étude a porté sur une sélection de substances d'intérêt réalisée sur la base d'une revue de la littérature et d'une phase d'identification analytique par screening. Ainsi, 81 substances organiques non pharmaceutiques ont été retenues : Composés Organiques Volatils (COV), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), HAP alkylés, phénols, alkylphénols, polybromodiphényléthers (PBDE), perfluoroalkyls (PFOA et PFOS), organo-étains (OTC), anilines chlorées, polychlorobiphényles indicateurs (PCBi), dioxines/furannes (PCDD/F) et 33 substances à usage pharmaceutique (soit 114 substances organiques au total).

La caractérisation analytique des produits étudiés a été réalisée sur 12 stations d'épuration utilisant des procédés de traitement différents et sur quatre campagnes de prélèvements au cours du premier semestre 2013. Les boues ou composts de boues sont des matrices complexes, chargées en matière organique. Les développements analytiques pour l'identification et la quantification des substances dans ces produits ont représenté un véritable défi analytique. Cette étape a permis d'obtenir un état des lieux de la concentration dans les produits pour des substances peu documentées à des concentrations de traces voire d'ultra-traces (ng/g). La somme des concentrations des substances sélectionnées pour les 12 stations varie de 10 à 300 µg/g de Matière Sèche (MS). Les phénols et alkylphénols peuvent représenter une part importante (jusqu'à 95 %). Les HAP et les PBDE sont présents dans les 12 produits avec des concentrations relativement homogènes (0,5 à 6,4 et 0,2 à 10 µg/g MS respectivement). La somme des concentrations des 33 substances à usage pharmaceutique varie de 1 à 7 µg/g MS avec une prédominance des antibiotiques norfloxacine, ofloxacine et ciprofloxacine.

Compte tenu des produits étudiés, qui constituent des matrices complexes, et en complément des analyses chimiques, une caractérisation écotoxicologique, permettant de prendre en compte le cocktail de substances présentes, a été menée avec des essais *in vivo* (test d'écotoxicité normalisés) et *in vitro* (essais exploratoires) sur une partie des échantillons.

Ainsi des essais d'écotoxicité sur des organismes représentatifs des milieux terrestres (8 essais) et aquatiques (6 essais) ont été réalisés. Les quatorze essais, classiquement menés à une, cinq et dix fois la dose d'épandage agronomique en mélange avec des sols standardisés, n'ont pas révélé d'écotoxicité à une fois la dose d'épandage (sauf le test de reproduction de *Ceriodaphnia dubia* pour lequel une relation dose-effet n'est pas mise en évidence). Des effets biologiquement significatifs apparaissent pour certains tests à 5 fois et 10 fois la dose d'épandage.

De plus, une approche bio-analytique, basée sur des bioessais *in vitro*, a été appliquée pour mettre en évidence la présence de composés à l'origine d'effets de type perturbation endocrinienne (composés œstrogéniques) et de type « dioxin-like » (DL) dans la fraction organique des produits. Sur les 12 produits testés, 5 présentent une activité œstrogénique significative (1-16 ng œstradiol-équivalents / g MS). La présence d'activité œstrogénique s'explique principalement par la présence d'œstradiol et d'œstrone ; le bisphénol A et le 4-nonylphénol n'y contribuent que faiblement. L'effet de type dioxin-like détecté dans les échantillons n'est que très faiblement expliqué.

L'évaluation des risques sanitaires passe par la connaissance du comportement des substances dans l'environnement et nécessite l'acquisition de paramètres clés, notamment les facteurs de transfert vers les

¹ SYPREA : SYndicat des Professionnels du Recyclage en Agriculture
FP2E : Fédération Professionnelle des Entreprises de l'Eau

² SIAAP : Service public de l'assainissement francilien

³ ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

⁴ INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des risques

⁵ CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

végétaux et la persistance dans les sols agricoles (demi-vie). Afin de pallier le manque de données disponibles sur ces paramètres, des expérimentations en plein champ et en conditions contrôlées ont été menées sur la base du ratio agronomique d'épandage. Trois végétaux ont été sélectionnés ici pour leur part importante dans l'alimentation : le blé, le colza et la pomme de terre. Des transferts vers les graines de colza ont été mis en évidence pour les alkylphénols et dans une moindre mesure, pour la famille des phénols et des PBDE. Les transferts sont moindres vers les grains de blé et concernent majoritairement les alkylphénols. Peu de transfert est observé vers les tubercules épluchés de pomme de terre (HAP et PBDE). La persistance dans le sol agricole (en conditions extérieures sur des colonnes de sol) a été mise en évidence avec une bonne cohérence avec les données de la littérature pour certains HAP et alkylphénols, et certaines substances pharmaceutiques (œstrone, 17- β -œstradiol, flumequine).

Des éléments d'évaluation de risque sanitaire ont également été établis à partir de scénarios d'exposition. Ces derniers correspondent à des utilisations dans un cadre réglementaire : plans d'épandage pour les boues (arrêté du 8 janvier 1998) et norme d'application obligatoire pour les composts (NFU 44-095). Trois typologies d'expositions, éventuellement cumulables pour certaines populations, ont été considérées en distinguant les adultes et les enfants : riverains des parcelles épandues, agriculteurs, simples consommateurs. Ces scénarios sont génériques afin de couvrir une large partie de la population mais ne prennent pas en compte les situations particulières.

La voie d'exposition très nettement prédominante est l'ingestion de végétaux. Pour les effets à seuil, les Quotients de Danger calculés sont inférieurs à 1 (entre 0,006 et 0,08). Les groupes de substances qui contribuent le plus à ce risque à seuil sont les métaux, les organo-étains, les PCBi et les PBDE et, dans une moindre mesure, les phénols et les alkylphénols. Pour les effets sans seuil, l'Excès de Risque Individuel maximum est de $2,5E-7$ par rapport à la valeur repère de $1,0E-5$. Les principaux contributeurs à ce risque sans seuil sont les métaux, les HAP, les PCBi et les dioxines ; groupes de substances déjà relativement connus. Pour les substances à usage pharmaceutique ne disposant pas de Valeur Toxicologiques de Références (VTR), leurs contributions, évaluées de manière qualitative, semblent plutôt faibles dans l'état des connaissances actuelles. Ainsi, le retour au sol des boues ou composts de boues, sous réserve des scénarios et hypothèses retenus dans cette étude, présente un risque sanitaire attribuable calculé très inférieur aux valeurs repères.

L'évaluation des risques sanitaires s'inscrit dans un contexte d'incertitudes pour un certain nombre de paramètres. Les connaissances sur certaines substances (notamment pour la persistance dans les sols et le transfert vers les végétaux) mériteraient toutefois d'être étayées par des études complémentaires.

I. Introduction

La production de boues en France est de l'ordre d'un million de tonnes de matière sèche par an. Or, les propriétés fertilisantes de ces boues permettent une valorisation en agriculture. Ainsi, entre 2009 et 2011, ce sont 70 à 75 % des boues produites qui ont été épandues en grande partie sur des sols agricoles. La réglementation française encadre ces pratiques d'épandage afin de garantir la sécurité sanitaire des productions et de limiter les impacts sur l'environnement⁶. Actuellement, cette réglementation définit des critères d'innocuité et limite la concentration dans les boues pour 12 paramètres chimiques : 7 éléments traces métalliques, une somme des ETM, somme des 7 polychlorobiphényles éthers indicateurs (PCB indicateurs⁷), 3 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

Depuis une dizaine d'année, une partie significative des boues est également valorisée après une étape de compostage. L'amendement organique ainsi obtenu peut être commercialisé sous couvert de la norme NFU 44095. Dans ce cadre, des critères d'innocuité ont également été fixés pour les éléments traces métalliques, certains composés traces organiques et pour les principaux germes pathogènes.

Dans cette étude, les boues et composts de boues sont désignés sous le terme produits, qui constituent des matrices complexes. Des évaluations de risques sanitaires ont déjà été menées dans ce contexte au cours des dernières années pour les éléments traces métalliques réglementés (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc) et pour quelques substances organiques réglementées et non réglementées (benzo[a]pyrène, dioxines/furannes (PCDD/F), di(2-éthylhexyl)-phtalate (DEHP), nonylphénols et nonylphénols polyéthoxylés, alkylsulphonates).

Au niveau français, peu d'études existent sur la caractérisation des substances dites « émergentes » (nommées également micropolluants) dans les boues et composts de boues et sur l'évaluation des risques sanitaires lors de la valorisation en agriculture. Ces substances « émergentes » peuvent être des substances à usage pharmaceutique mais également des intermédiaires de synthèses chimiques, des plastifiants, des retardateurs de flammes, des conservateurs, etc.... La présente étude s'intéresse à l'ensemble des polluants organiques susceptibles d'être retrouvés dans les boues et composts de boues. Elle porte ainsi sur les substances organiques émergentes au sens stricte (c'est-à-dire pour lesquelles les connaissances sont partielles voire inexistantes : pharmaceutiques, perfluoroalkyls, retardateurs de flamme, ...), mais également sur les substances organiques déjà mieux connues (PCB, HAP,...).

L'étude a été pilotée et réalisée par l'INERIS avec la participation du CNRS pour le développement des méthodes d'analyses et les analyses des substances pharmaceutiques. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre d'une convention multipartenariale avec le SYPREA, l'ADEME, le SIAAP et la FP2E et ont été réalisés entre 2011 et 2014. L'objectif de cette convention est la caractérisation des boues et composts de boues et l'évaluation des risques sanitaires notamment vis-à-vis des substances « émergentes ». Ainsi, pour être en mesure d'évaluer les risques sanitaires liés à l'épandage de ces produits en agriculture, il a été nécessaire :

- de définir une liste de substances potentiellement présentes dans les produits et de sélectionner les substances d'intérêt. Cette phase préliminaire s'appuie sur une étude bibliographique et sur la réalisation d'un screening analytique sur un nombre suffisant d'échantillons.
- de quantifier ces substances afin d'avoir une idée des concentrations pouvant être retrouvées dans les produits présents au niveau français ;
- d'acquérir des connaissances, pour ces substances, sur leur transfert vers les végétaux et leur persistance dans les sols agricoles.

De plus, afin de mieux prendre en compte la complexité de ces matrices et donc le cocktail de substances présentes, des essais d'écotoxicité *in vivo* et des essais bio-analytiques *in vitro* ont été menés.

En revanche, cette convention n'a pas pour objet d'identifier les sources des substances recherchées ni de caractériser l'efficacité des traitements des filières eau ou boue des stations d'épurations. L'étude a été encadrée par un comité de pilotage (COFIL) constitué des financeurs et des bénéficiaires, et par un comité technique (COTEC) constitué d'experts. Le COTEC, réuni 7 fois au cours de l'étude, a contribué aux choix et à l'orientation des travaux réalisés.

⁶ Loi n°92-3 du 3 janvier 1992 (loi sur l'eau) et décret 97-1133 et son arrêté d'application du 8 janvier 1998

⁷ PCB n° 28, 52, 101, 118, 138, 153 180

II. Sélection des produits et des substances

1. Objectifs

Les objectifs de cette étape de l'étude étaient de sélectionner, en parallèle, des boues et des composts de boues et les substances « émergentes » d'intérêt afin, *in fine*, d'évaluer les risques sanitaires associés à l'épandage de ces produits.

Pour ce faire, les boues et les composts de boues ont été sélectionnés afin d'être représentatifs de la diversité des différents contextes de productions rencontrés en France. Cette sélection a été affinée au regard de données complémentaires, nouvellement acquises, relatives à la présence ou à l'absence des substances initialement identifiées.

En effet, la sélection des substances d'intérêt a été menée dans un premier temps sur la base des données bibliographiques qui ont permis de recenser les substances potentiellement présentes dans les produits. Cette phase a permis de définir une liste initiale de substances la plus large possible. Ces recherches ont, en même temps, permis de recueillir un certain nombre de paramètres spécifiques à chaque substance.

Dans un second temps et afin de prioriser les substances initialement identifiées, une méthodologie de hiérarchisation basée sur l'attribution de score pour chaque substance a été élaborée. Cette méthodologie a été élaborée afin de permettre de prioriser les substances les plus à risques pour la santé humaine.

Pour ce faire et dans l'objectif que cet exercice soit le plus représentatif possible des spécificités des produits rencontrés en France, l'acquisition de données complémentaires sur la présence effective des substances de la liste initiale dans les produits était nécessaire. Ce travail a nécessité la recherche des substances par screening dans les produits considérés.

Sur la base de l'ensemble des informations acquises (bibliographique et résultats des screening) la liste des substances d'intérêt a été définie selon la méthodologie de hiérarchisation élaborée.

Les sections suivantes présentent la démarche suivie pour sélectionner les substances d'intérêt et les produits.

2. Choix initial des produits

Afin de mener à bien la présente étude la première étape a consisté à sélectionner des boues et des composts de boues représentatifs des différents contextes de productions rencontrés en France.

Le choix des produits a été effectué en premier lieu en fonction de la zone de collecte (zone urbaine, zone rurale), puis en fonction des techniques de traitement des boues mises en œuvre (chaulées, digérées, séchées, liquides, compostées). La limite entre zone rurale et zone urbaine a été fixée à 5 000 équivalents habitants. Le nombre de stations multifilières a été minimisé afin de privilégier la diversité de l'origine des boues. De plus, un questionnaire a été envoyé aux stations sélectionnées afin de collecter les données supplémentaires (type de réseau, type d'effluents reçus, quantités d'eau traitée et de boues produites,...). Deux arbres de décision (un par type de zone de collecte) (cf. Figure 1) représentant, pour les zones urbaines et rurales, les différents traitements appliqués à la matière résiduaire de traitement des eaux à partir de la collecte ont été utilisés pour le choix.

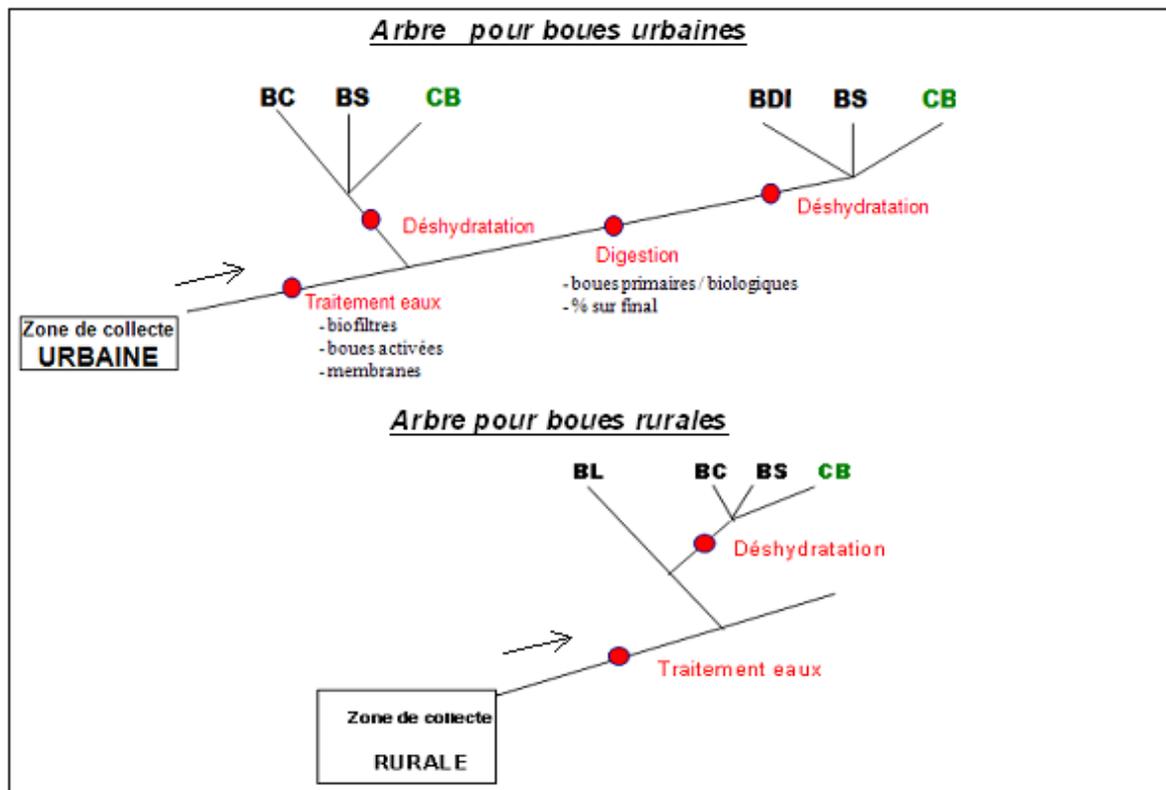


Figure 1 : Arbres de décision pour la sélection initiale des produits (boues ou composts de boues) pour la phase de screening. BL : Boue Liquide, BC : Boue Chaulée, BS : Boue Séchée, CB : Compost de Boue, BDI : Boue Digérée,

Ces deux arbres identifient 8 types de boues (acronymes en noir sur la figure 1) et 4 types de composts de boues (acronymes en vert).

Ainsi, suite à une première proposition de sélection et aux remarques du COTEC (notamment sur l'ajout nécessaire de stations en zone rurale), 30 STEP ont été initialement retenues. Au final, ce sont 27 STEP sur les 30 initialement prévues qui ont été considérées (2 désistements et un problème technique sur un échantillon). Elles sont détaillées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : choix initial des échantillons de boues et composts de boues

Désignation de la STEP	Type de station d'épuration	Type de produits		Teneur en MS (g/L) minimale
STEP 02	Urbain	CB	Compost de boue	500
STEP 03	Rural	BL	Boue liquide (lagune)	30
STEP 04	Rural	CB	Compost de boue	500
STEP 05	Urbain	BC	Boue chaulée (non digérée)	200
STEP 06	Urbain	BDI	Boue digérée	250
STEP 07	Urbain	BS	Boue digérée séchée	800
STEP 08	Urbain	BC	Boue chaulée (non digérée)	200
STEP 10	Urbain	CB	Compost de boue	500
STEP 11	Urbain	BS	Boue séchée non digérée	800
STEP 12	Rural	CB	Compost de boue	500
STEP 13	Rural	BC	Boue chaulée (non digérée)	200
STEP 14	Urbain	BDI	Boue Digérée	250
STEP 15	Urbain	BS	Boue digérée séchée	800
STEP 16	Urbain	CB	Compost de boue	500
STEP 17	Urbain	CB	Compost de boue	500
STEP 18	Rural	BL	Boue liquide	30
STEP 19	Urbain	CB	Compost de boue	500
STEP 20	Urbain	BC	Boue chaulée (non digérée)	200
STEP 21	Urbain	CB	Compost de boue	500
STEP 22	Rural	BL	Boue liquide	30
STEP 23	Urbain	BC	Boue chaulée (non digérée)	200
STEP 24	Urbain	BDI	Boue digérée	250
STEP 25	Urbain	BD	Boue digérée	250
STEP 26	Urbain	CB	Compost de boue	500
STEP 27	Urbain	BS	Boue séchée non digérée	800
STEP 28	Urbain	BS	Boue séchée non digérée	800
STEP 29	Urbain	CB	Compost de boue	500

MS : Matière Sèche

3. Liste initiale de substances

Une liste initiale des substances a été établie sur la base des composés cités dans une large liste de références réglementaires (directives européennes par exemple), ou de projets de recherche et de plans élaborés au niveau étatique (AMPERES, convention de Stockholm, PNSE2,...) (cf. annexe 1a). Cette liste initiale comprend ainsi 1 581 substances dont 283 substances à usage pharmaceutique (cf. annexe 1b).

Afin de prendre en compte les caractéristiques de chaque substance identifiée, un certain nombre de paramètres ont été renseignés grâce à une revue de la littérature scientifique. Ces paramètres sont regroupés par critères (= famille de paramètres) et présentés dans le Tableau 2. Pour chacun des 5 critères, les données renseignées sont quantitatives ou qualitatives.

Tableau 2 : présentation des paramètres renseignés

Critère (familles de paramètres)	Paramètres	Proportion de substances renseignées
Transfert*	Log (Kow)	96,8 %
	Pression de vapeur (Pv)	94,5 %
Persistence	T _{1/2} sol	31,8 %
	Non facilement biodégradable (R53)	34,2 %
	Persistant (QSAR)	89,7 %
	Très persistant (QSAR)	89,7 %
Ecotoxicité	Concentrations létales CL50 poisson	33,4 %
	Concentrations létales CL50 algue	32,3 %
	Concentrations létales CL50 daphnie	29,3 %
Toxicité	Classement CMR 1	34,3 %
	Classement CMR 2	34,3 %
	Classement CMR 3	34,3 %
	Classement R48	34,3 %
	Dose journalière Admissible	33,5 %
Présence	Concentration moyenne	9,4 %
	Concentration maximale	9,7%
	Fréquence de détection	8,4 %
	Détection par screening	20,6 %

* Critère acquis par expérimentation durant l'étude

Sur l'ensemble des substances de départ, à savoir 1 581 substances, 17 097 paramètres ont été renseignés sur les 27 702 (soit 62%). De plus, 47% des substances ont été renseignées sur plus de 50% des paramètres.

Le critère de « présence » de la substance dans les boues et composts de boues est un critère essentiel, puisque spécifique du produit. C'est pourquoi, afin d'alimenter ce critère, l'acquisition de données spécifiques était nécessaire. A cette fin, des mesures sur les 27 produits sélectionnés ont été réalisées, mesures effectuées par screening non quantitatif. Les résultats ainsi acquis (cf. section II. 5) ont permis de renseigner le paramètre « détection par screening ».

L'étude ne pouvant être menée sur 1 581 substances, ces dernières ont été hiérarchisées au regard des caractéristiques des paramètres de chaque substance et selon une méthodologie de hiérarchisation destinée à prioriser les substances les plus à risques pour la santé humaine et les écosystèmes.

4. Hiérarchisation des substances - Elaboration de scores

La méthodologie de hiérarchisation des substances est fondée sur l'attribution d'un score à chacun des 5 critères (familles de paramètres) définis précédemment. Ces scores sont issus des scores attribués à chaque paramètre. Les valeurs retenues par substances pour chaque paramètres ont été recherchées dans la littérature scientifique et d'autres sources bibliographiques disponibles (thèses, ouvrages de références, portail substances chimiques⁸, fiches toxicologiques INRS, ...). Ces scores varient entre 1 (peu préoccupant) et 10 (très préoccupant).

Elles sont attribuées selon deux approches :

- démarche quantitative : découpage de la plage de valeurs en 10 classes ;
- démarche qualitative : définition arbitraire des classes et des notes associées.

Le choix de la démarche suivie et les scores attribués ont été validés en COTEC. Pour chaque substance, le score de chaque critère ainsi que le score final sont donnés en annexe 1b.

Le score de zéro est attribué lorsque les données sont manquantes.

4.1 Score de transfert

Lors des échanges pendant le COTEC de novembre 2011, il a été décidé de conserver uniquement pour le critère de transfert deux paramètres : le logarithme du coefficient de partage octanol/eau (log Kow) et la pression de vapeur (Pv). La solubilité n'a pas été retenue au motif qu'elle joue un double rôle dans la problématique d'épandage des produits. En effet, les molécules peu solubles sont susceptibles de se retrouver en plus grandes quantités dans les boues lors du traitement des eaux usées, mais ce sont les molécules solubles qui sont susceptibles d'être le plus concernées par les transferts vers les végétaux.

➤ Score coefficient de partage octanol/eau (Kow)

Pour ce paramètre, une démarche qualitative qui passe par la définition de 4 grandes classes a été adoptée. Cette démarche, validée par le COTEC, permet d'obtenir des résultats plus contrastés que la démarche quantitative qui a également été testée. Les résultats présentent peu de différences avec la démarche quantitative et ne modifient pas fondamentalement le classement.

$$\begin{aligned} \log(\text{Kow}) \geq 4 &\Rightarrow \text{score de 10} \\ 4 > \log(\text{Kow}) \geq 2 &\Rightarrow \text{score de 7} \\ 2 > \log(\text{Kow}) \geq 0 &\Rightarrow \text{score de 3} \\ \log(\text{Kow}) < 0 &\Rightarrow \text{score de 1} \end{aligned}$$

➤ Score pression de vapeur (Pv)

Le découpage de la plage de valeurs est réalisé en 10 classes (de 1 à 10). Le score de 1 correspond à un logarithme de Pv fort (max = 2E+8 mmHg) ; la substance va ainsi avoir tendance à ne pas rester au niveau des sols mais à se volatiliser. Le score de 10 à un logarithme de Pv faible (min = 2,8E-45 mmHg) ; substance peu volatile.

➤ Score final pour le critère transfert

Le score pour le critère de transfert repose donc sur les paramètres log Kow et Pv, en accordant une part prépondérante au log Kow. En effet, le Kow est jugé comme le paramètre le plus influant notamment pour le transfert vers les végétaux, c'est pourquoi un coefficient de 2 lui est appliqué de manière arbitraire pour le calcul du score de transfert. Ce score se calcul de la façon suivante :

$$\text{SCORE TRANSFERT} = (2 \times \text{Score Kow} + 1 \times \text{Score Pv}) / 3$$

⁸ <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

4.2 Score persistance

➤ Score « Quantitative structure-activity relationships » (QSAR) et du Classement R53

Les QSAR permet de relier la structure chimique des molécules un effet déterminé, ici la persistance dans l'environnement. C'est-à-dire que la substance est considéré comme plus ou moins persistante selon ses atomes et les liaisons entre ceux-ci. Une approche qualitative avec une définition arbitraire des notes a été adoptée :

Classement QSAR « très persistant »	⇒ score de 10
Classement QSAR « persistant »	⇒ score de 7
Classement R53, R50/53, R51/53 et R52/53 (phrases de risques)	⇒ score de 4
Non classé (différent d'une absence de données)	⇒ score de 1

Pour le score des phrases de risques (« phrases R »), les phrases suivantes ont été regardées : R53, R50/53, R51/53 et R52/53. Ces phrases de risque sont des annotations présentes sur les produits chimiques et indiquent les dangers. La signification de ces phrases est reportée ci-dessous :

- R50/53 : Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
- R51/53 : Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
- R52/53 : Nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
- R53 : Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique

Si à la substance considérée est attribuée une seule de ces phrases de risques, le paramètre « Classement R53 » est noté positif et la substance obtient au minimum un score de 4, s'il n'y a pas d'autre paramètre renseigné montrant que la substance entre dans une plage de score supérieur.

➤ Score demi-vie (T1/2)

Une approche quantitative avec un découpage de la plage en 10 classes de 1 à 10 avec un score de 1 pour un log T1/2 faible (min T1/2 = 4E-2 jours) et un score de 10 pour un log T1/2 fort (max T1/2 = 1,49^{E+4} jours).

➤ Score final pour la persistance

Le score final correspond au score maximal entre les scores des deux paramètres considérés.

4.3 Score écotoxicité

Une approche quantitative a été retenue. Les Concentrations Létales (CL50) sur poisson, daphnie et algue ont été recherchées. La plus basse de ces trois valeurs a ensuite été sélectionnée. La plage de valeurs ainsi obtenue est découpée en 10 classes de 1 à 10.

➤ Score final pour l'écotoxicité

Un score de 1 correspond à un log de CL50 fort (max CL50 = 1^{E+3} mg.L⁻¹) et un score de 10 à un log de CL50 faible (min CL50 = 2,4E-6 mg.L⁻¹).

4.4 Score toxicité

➤ Score Classement CMR (Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique) - approche qualitative

Classement 1 sur un critère « CMR »	⇒ score de 10
Classement 2 sur un critère « CMR »	⇒ score de 7
Classement 3 sur un critère « CMR »	⇒ score de 4
Classement R48 (phrase de risques)	⇒ score de 4
Non classé (différent d'une absence de données)	⇒ score de 0

La phrase de risque (voir définition ci-dessus) R48 signifie : Risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée. Le classement CMR désigne des substances ou mélanges qui peuvent provoquer

des cancers ou en augmenter la fréquence (de manière génotoxique ou non) ou être toxique pour la reproduction (fertilité ou altération du développement de l'enfant à naître). Le classement en 3 catégories (CMR 1, 2 ou 3) utilisé ici est celui de l'union européenne avec catégorie 1: Substances que l'on sait être cancérigènes/mutagènes/reprotoxiques pour l'homme ; catégorie 2 : Substances devant être assimilées à des substances cancérigènes/mutagènes/reprotoxiques pour l'homme ; catégorie 3 : Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes/mutagènes/reprotoxiques possibles mais pour lesquelles les données disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante.

➤ Score dose journalière admissible - Approche quantitative

Une approche quantitative avec un découpage de la plage en 10 classes de 1 à 10 avec un score de 1 pour un log de la dose journalière admissible fort (max dose journalière admissible = $10^1 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) et un score de 10 pour un log de la dose journalière admissible faible (min = dose journalière admissible = $10^{-9} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$).

➤ Score final pour la toxicité

Le score final correspond au score maximal entre les scores des deux paramètres précédents.

4.5 Score présence

Afin que le score « présence » soit davantage spécifique aux caractéristiques des produits rencontrés en France, celui-ci est basé non seulement sur les données bibliographiques recueillies mais également sur les données nouvellement acquises. Ces données proviennent des résultats des mesures effectuées par screening sur les 27 produits sélectionnés. Ces résultats permettent de renseigner le paramètre « détection par screening ».

➤ Score paramètres concentration et fréquence de détection - Données bibliographiques

Une valeur de référence est d'abord calculée. Elle est le résultat entre la concentration moyenne donnée par la littérature (ou à défaut concentration maximale) multipliée par la fréquence de détection (à défaut par 1). Puis, la plage de valeurs ainsi obtenue est découpée de manière quantitative en 10 scores de 1 (peu présent) à 10 (très présent). En l'absence de données, le score attribué est de 0.

Les concentrations moyennes minimales retrouvées dans la littérature se situent autour de 0,1 $\mu\text{g/kg MS}$ et les maximales de 20 000 $\mu\text{g/kg MS}$. Les fréquences de détection varient de 0 à 100 %.

➤ Score « détection par screening »

La plage de valeurs des fréquences de détection au screening (sur les 27 STEP) est découpée de manière quantitative de 1 à 10 (10 pour les substances les plus détectées). Les substances non recherchées au screening ont un score de 0.

➤ Score final pour la présence

Le score choisi pour le critère de présence dans les produits est le score maximum entre le score établi à partir des données bibliographiques ou des données de screening.

4.6 Définition d'un score final

Enfin, le score final attribué à chaque substance définie dans la liste initiale est calculé comme suit :

Score final = score de présence x maximum entre score toxicité/écotoxicité x maximum score persistance/transfert

La fourchette des scores ainsi établis va de 480 (pour les PCB indicateurs) à 0 (pour les substances dont au moins un des critères a un score nul).

5. Acquisition de données complémentaires pour le critère « présence »

Pour renseigner plus spécifiquement le critère présence et ainsi obtenir plus d'informations sur la présence ou l'absence des substances, un screening analytique qualitatif a été mené. Ce screening a été réalisé sur les 27 produits sélectionnés et prélevés au mois de mai 2012. Ce screening ne pouvant être mené sur les 1 581 substances constituant la liste initiale, il a été nécessaire au préalable de sélectionner les substances pertinentes à rechercher par screening. Le prélèvement des produits a été effectué par les exploitants des stations selon le protocole fournies par l'INERIS (cf. annexe 4).

5.1 Substances recherchées par screening

Pour les substances non pharmaceutiques, les techniques actuellement disponibles ont permis une recherche suffisamment large des substances ou de groupe de substances (substances pouvant être analysées en même temps ou par la même technique), pour ne pas avoir à faire de présélection.

Pour les substances à usage pharmaceutique en revanche, il a été nécessaire de présélectionner les composés à inclure dans la recherche par screening. L'objectif était de sélectionner entre 100 et 150 substances. Cette sélection a été réalisée selon la méthode des scores décrite précédemment. Pour ce faire, les substances ont été hiérarchisées au regard des scores des critères « transfert » et « persistance » qui ont été multipliés entre eux.

Certaines molécules, non sélectionnées initialement, parfois pour cause du manque de données, ont pu être « rattrapées » par jugements d'experts appuyés sur des justifications scientifiques (données de consommation annuelle par exemple) lors du COTEC.

Aussi, au final, sur les 1 581 substances de départ, ce sont 125 substances à usage pharmaceutique qui ont été sélectionnées pour la phase de screening et 93 substances ou groupe de substances non pharmaceutiques (cf. annexe 2).

5.2 Résultats du screening

Les résultats du screening s'expriment en termes de présence/absence de la substance ou du groupe de substances recherché. L'ensemble des résultats est donné en annexe 2.

Il convient de préciser que les analyses ont été effectuées sur un seul échantillon prélevé dans les 27 STEP sélectionnées, correspondant aux 27 produits. Aussi, les résultats du screening ne révèlent donc qu'une image à un instant donné des substances présentes dans les produits, les concentrations dans les produits pouvant varier en fonction des activités industrielles et d'autres paramètres (conditions climatiques, activités saisonnières...).

Pour les substances non pharmaceutiques, sur les 93 substances ou groupe de substances recherchées, une seule substance n'a jamais été détectée (un HAP, le Cadalène) et 31 n'ont été retrouvées qu'une seule fois. Il convient de noter pour les substances non pharmaceutiques que :

- les hydrocarbures non cycliques saturés et insaturés sont très présents (deux fois plus retrouvés que les hydrocarbures cycliques),
- le crésol est également très détecté (17 fois sur 27) ainsi que l'indole (17 fois),
- le galaxolide est retrouvé 25 fois sur les 27 et les cholestènes 24 fois.

En termes de variation dans les différentes STEP, seules 7 substances ont été détectées dans l'échantillon de la STEP n°13, alors que 42 substances l'ont été dans l'échantillon de la STEP n°28.

Pour les substances à usage pharmaceutique, les fréquences de détection ont été plus faibles. Sur 125 substances recherchées, 74 n'ont jamais été détectées et 11 n'ont été détectées qu'une ou deux fois sur les 27 échantillons.

Il convient de noter que :

- Parmi les antibiotiques, les molécules les plus détectées sont la norfloxacine, la ciprofloxacine et l'ofloxacine (respectivement 19, 18 et 22 fois).

- Parmi les molécules les plus retrouvées sur les 27 échantillons se trouvent : carbamazépine (anticonvulsant - 17 fois), escitalopram (antidépresseur - 18 fois), propranolol (bêta-bloquant - 20 fois), lamotrigin (antiépileptique - 19 fois), dompéridone (antiémétique - 17 fois), econazole (antimycosique - 22 fois), triclocarban (antibactérien - 23 fois) et triclosan (antibactérien - 25 fois).

En termes de variation dans les différentes STEP, seules 5 substances ont été détectées dans l'échantillon de la STEP n°2 (mais 32 substances dans la STEP n°13 où les molécules non pharmaceutiques ont été les plus détectées), alors que 35 substances l'ont été dans l'échantillon de la STEP n°29 (11 seulement dans la STEP 28).

La caféine, souvent utilisée comme « marqueur » des eaux usées, a été retrouvée 17 fois sur 27. Des limites de quantifications élevées (notamment pour certaines substances non pharmaceutiques) et la réalisation d'un seul prélèvement, représentatif uniquement de la période de prélèvement, marquent les limites de cette phase de screening.

6. Substances et produits sélectionnés

6.1 Substances sélectionnées

6.1.1 Principe

Sur la base des informations acquises par l'analyse des produits par screening quantitatif et des informations bibliographiques préalablement recherchées, une hiérarchisation sur l'ensemble des substances de la liste initiale a pu être menée. Cette hiérarchisation, qui a été effectuée selon la méthodologie précédemment décrite, a pour objectif de sélectionner un nombre restreint de substances d'intérêt pour la suite de l'étude.

La hiérarchisation révèle que sur la liste initiale des 1 581 substances, moins d'une dizaine de pourcent obtiennent un score non nul. Cela est lié à l'absence de données sur l'un ou l'autre des paramètres considérés pris en compte dans la hiérarchisation.

Pour pallier le manque de données et la quantité importante de substances qui ne peuvent pas être classées par l'attribution d'un score, suite aux propositions du COTEC, les substances sont réparties dans différentes listes. Le but est de différencier les substances pour lesquelles les données sont ou ne sont pas disponibles, notamment les données de présence dans les produits. Cette approche a été préférée à la sélection des 200 premières substances classées par la méthode de scores. Elle permet de n'écarter aucun groupe de substances (familles chimiques ou groupes de substances fondés sur l'usage) parmi les substances de la liste initiale.

La démarche suivie est différente entre les substances non pharmaceutiques et les substances à usage pharmaceutique.



Cas des pesticides : En accord avec le COTEC, les pesticides n'ont pas été pris en compte dans cette étude car les quantités apportées par l'épandage sont, dans la majorité des cas, négligeables par rapport aux quantités apportées par les traitements phytopharmaceutiques actuellement employés sur les cultures.

6.1.2 Substances non pharmaceutiques sélectionnées

Dans un premier temps, quatre listes ont été établies selon que des informations sont disponibles ou non pour les différents critères :

- Les listes 1a et 1b sont pour les substances qui ont une note non nulle pour le critère de « présence » (soit lié au screening, soit à l'étude bibliographique).
 - La liste 1a correspond aux substances pour lesquelles le critère de "transfert" ou de "persistance" est renseigné (note de présence différente de 0).
 - La liste 1b correspond aux substances pour lesquelles les critères de "transfert" et de "persistance" ne sont pas renseignés
- Les listes 2a et 2b sont pour les substances qui ont une note nulle pour le critère de « présence ». C'est-à-dire que ces substances sont supposées être présentes dans les boues selon la liste initiale, mais elles n'ont pas été détectées dans l'échantillon du screening et aucune information quantitative sur leurs concentrations n'a été trouvée dans la littérature.
 - La liste 2a correspond aux substances pour lesquelles le critère de "transfert" ou de "persistance" est renseigné (note différente de 0).
 - La liste 2b correspond aux substances pour lesquelles les critères de "transfert" et de "persistance" ne sont pas renseignés (note de 0).

Les listes b comportent peu de substances (15 substances pour la liste 1b et 20 substances pour la liste 2b). Les deux listes ont finalement été fusionnées sur avis du COTEC.

Au final, la liste 1 résulte de la fusion des listes 1a et 1b et comporte 286 substances. La liste 2 résulte de la fusion des listes 2a et 2b et comporte 1 011 substances. Pour chaque liste, les substances sont d'abord réunies par groupe, puis au sein de chaque groupe, elles sont classées en fonction de leur score final.

Pour effectuer la sélection des substances d'intérêt, le COPIL a appliqué comme principe général de retenir une "substance traceuse", c'est-à-dire un représentant de chaque groupe de substances, et lorsque des analyses multi-résidus sont envisageables, d'intégrer le plus de substances possibles. Ce principe peut comporter certaines exceptions. En effet, des substances ont pu être sélectionnées sur avis d'expert par les sur la base d'arguments si possible documentés (notamment par exemple des données de consommation).

→ Selon cette méthodologie, le COPIL a retenu une sélection de 81 substances entre les listes 1 et 2. La liste des substances sélectionnées et leurs abréviations est donnée en annexe 3.

N.B. : Les éléments traces métalliques (ETM) ne sont pas sélectionnés ici car il existe suffisamment de données de concentration notamment issues du suivi des boues et composts de boues. Ces ETM sont réintroduits dans la partie évaluation des risques sanitaires.

6.1.3 Substances pharmaceutiques sélectionnées

La même méthodologie que celle décrite ci-dessus a été appliquée aux substances à usage pharmaceutique avec de légères nuances puisque :

- Les listes 1a et 1b correspondent aux substances recherchées par screening.
- Les listes 2a et 2b correspondent à celles non recherchées par screening.

De la même façon que pour les substances non pharmaceutiques, les listes b comportent peu de substances (2 substances pour la liste 1b et 9 pour la liste 2b). Les deux listes ont finalement été fusionnées sur avis du COTEC.

Au final, la liste 1 résulte de la fusion des listes 1a et 1b et comporte 125 substances. La liste 2 résulte de la fusion des listes 2a et 2b et comporte 158 substances.

→ Au final, le COPIL a retenu une sélection de 33 substances à usage pharmaceutique entre les listes 1 et 2. La même méthode que pour les substances non pharmaceutiques est retenue. La liste des substances sélectionnées est donnée en annexe 3.

6.2 Produits sélectionnés

Parmi les 27 produits, donc STEP échantillonnées, considérés pour la caractérisation par screening, le COPIL a proposé au COTEC de réduire le nombre de produits à considérer pour la suite de l'étude.

Ainsi, les 27 stations ont été classées en fonction du nombre de substances détectées lors du screening. Au sein de ce classement, le COPIL est parti sur une pré-sélection de 1 station sur 2, puis a ajusté cette pré-sélection pour garantir la représentativité :

- des typologies de stations sélectionnées,
- des exploitants impliqués dans la gestion de ces stations.

Selon cette approche, sur les 27 stations sélectionnées initialement, 12 ont été retenues. Il s'agit des STEP 02, 04, 05, 07, 13, 14, 19, 20, 21, 25 et 28 (cf. Tableau 1).

Pour mémoire, il s'agit de 3 STEP rurales avec une boue liquide, une chaulée et un compost de boue et de 9 STEP urbaines avec 2 boues digérées, 2 boues chaulées (une digérée et l'autre non), 2 boues séchées (une digérée et l'autre non), 3 composts de boues (dont un préalablement digérées).

7. Conclusion du chapitre II

La sélection des substances a été réalisée dans un univers de départ le plus large possible. Le classement de ces substances avait pour objectif de sélectionner celles potentiellement les plus à risques, sans écarter aucun groupe de substances (famille chimique ou groupe d'usage), dans une optique de quantification du risques sanitaires. Ainsi, 81 substances non pharmaceutiques et 33 substances pharmaceutiques (114 substances organiques au total) ont été retenues.

Pour la sélection des stations d'épuration collectives, et donc des produits à étudier, l'objectif a été d'obtenir des échantillons représentatifs des différents types de boues et composts de boues actuellement produits en France par les différents procédés de traitement des eaux. Ainsi, 27 STEP ont été sélectionnées pour la phase de screening analytique. Cette phase a permis d'apporter des éléments sur la présence ou l'absence de plus de 200 substances ou groupes de substances dans les boues et composts de boues. A partir des méthodes de sélection développées et de ces résultats, 12 STEP ont été retenues pour la suite de l'étude (caractérisation analytique, essais d'écotoxicité et bioanalytiques, expérimentations sur la persistance et le transfert).

III. Caractérisation des boues et composts de boues

1. Contexte

La caractérisation des produits retenus comprend d'une part, une démarche classique de caractérisation chimique des produits (dosage des substances sélectionnées) et d'autre part, une démarche complémentaire de caractérisation « écotoxicologique » qui permet de prendre en considération la complexité des matrices étudiées.

Comme détaillé dans le chapitre précédent, 12 STEP et 114 substances organiques d'intérêt ont été retenues. Afin de caractériser ces produits, 4 campagnes de prélèvements sur ces 12 STEP ont eu lieu à environ 1 mois d'intervalle afin de prendre en compte la variabilité temporelle des produits. Ces campagnes se sont déroulées aux dates suivantes :

- Campagne de prélèvement n°1 (C1) : 8 et 9 janvier
- Campagne de prélèvement n°2 (C2) : 19 et 20 février
- Campagne de prélèvement n°3 (C3) : 16 et 17 avril
- Campagne de prélèvement n°4 (C4) : 15 et 16 mai

En conséquence, la caractérisation a été conduite sur un total de 47 échantillons (1 échantillon non collecté pour raisons techniques) provenant de 12 STEP différentes.

Selon les expérimentations menées, tous ou une sélection de ces échantillons ont été étudiés. Le Tableau 3 récapitule les échantillons sélectionnés suivant l'expérimentation considérée.

Tableau 3 : Echantillons sélectionnés selon les expérimentations

Expérimentation	STEP et campagne choisies
Quantification analytique	Les 12 STEP sélectionnées et toutes les campagnes*
Essais d'écotoxicité	STEP 2, hors campagne** STEP 7, campagne 4 STEP 14, campagne 3 STEP 25, campagne 3
Essais perturbateur endocrinien	Les 12 STEP sélectionnées, campagne 3

* la STEP 13 n'a pas été prélevée pour la campagne n° 3 pour cause d'absence de boue (épandage réalisé quelques jours avant)

** la campagne 4 n'a pas donné assez de matière pour la réalisation de l'ensemble des essais, un nouveau prélèvement a donc été réalisé pour les essais d'écotoxicité le 13 juin 2013.

Dans la suite de l'étude, un échantillon est donc défini par son numéro de STEP (cf. Tableau 1), dernière colonne) et éventuellement son numéro de campagne.

2. Quantification analytique des substances sélectionnées

Pour des raisons budgétaires et au regard des sources de données déjà disponibles (analyses réglementaires, autres analyses,... cf. annexe 3), certaines substances sélectionnées à l'étape précédente ne seront pas quantifiées dans cette partie de l'étude. Il s'agit des dioxines/furannes (17 substances), des PCBi (7) et du di-2-éthylhexylphtalates (DEHP) (1)⁹.

2.1 Protocole d'échantillonnage des produits, traitement des échantillons et techniques analytiques

2.1.1 Prélèvement de l'échantillon

L'échantillonnage a été réalisé par l'INERIS et par une même personne pour les quatre prélèvements sur une même STEP. Le protocole est donné en annexe 4. Dans ce document est indiqué, la nature du matériel à utiliser, le mode de prélèvement en fonction de la nature de l'échantillon (boue liquide, boue digérée, boues séchée,...), la quantité nécessaire, le stockage, l'identification des échantillons.



Les composts de boues ont tous été prélevés à maturité.

2.1.2 Prétraitement des échantillons

Le traitement des échantillons (boues, composts de boues, sols, végétaux ou eau) réceptionnés a été réalisé de manière générale en s'appuyant sur les normes suivantes :

- Norme NF EN ISO 5667-15 (oct.2009) – Qualité de l'eau : « Lignes directrices pour la conservation et le traitement des échantillons de boues et de sédiments »
- NF ISO 18512 (oct. 2007) – Qualité du sol : « Lignes directrices relatives au stockage des échantillons de sol à long et court terme »
- NF ISO 14507 (sept. 2003) – Qualité du sol : « Prétraitement des échantillons pour la détermination des composés organiques »
- Norme NF EN ISO 16720 (mai 2007) – Qualité du sol (applicable pour boues et sédiments) : « Prétraitement des échantillons par lyophilisation pour analyse subséquente »

Un schéma décrivant les étapes de préparation des échantillons est présenté en Figure 2.

⁹ Les 17 congénères dioxines/furannes, les PCBi et le DEHP ont néanmoins été quantifiés par la suite dans une partie des échantillons par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.

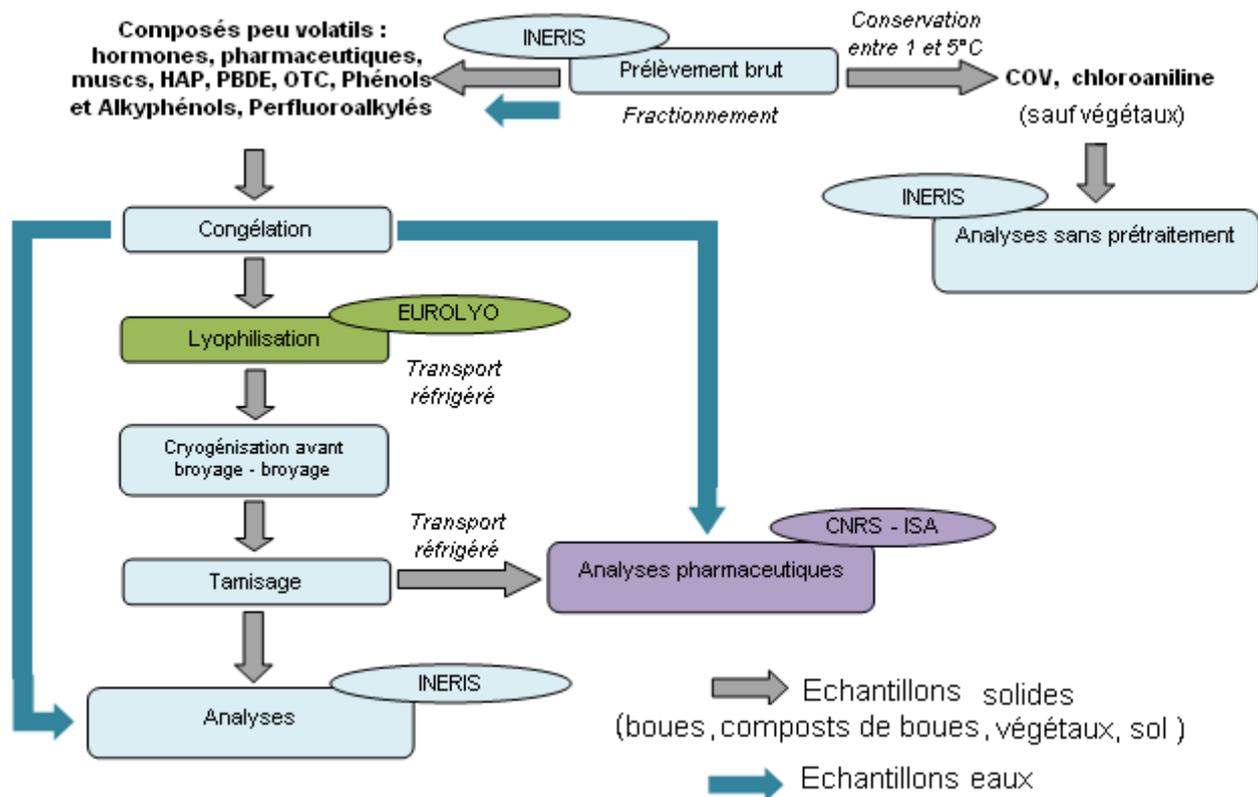


Figure 2 : schéma de préparation des échantillons

2.1.3 Techniques analytiques pour les substances non pharmaceutiques

➤ Analyse des COV

L'analyse quantitative des COV présents dans les boues et composts de boues a été réalisée par injection en espace de tête après extraction de l'échantillon brut avec du méthanol en chromatographie en phase gazeuse équipée d'un détecteur de masse simple quadripôle. La séparation des différents COV étudiés a été faite sur colonne apolaire de type VF 624 MS avec une programmation en température, en s'appuyant sur la norme ISO 22155:2011 « Qualité du sol - Dosage des hydrocarbures aromatiques et halogénés volatils et de certains éthers par chromatographie en phase gazeuse - Méthode par espace de tête statique ».

Les composés ont été quantifiés par étalonnage interne par rapport au C₁₁ linéaire.

➤ Analyse des HAP

Les HAP ont été analysés par chromatographie liquide haute performance équipée d'une double détection barrettes de diodes et fluorimétrique à longueurs d'ondes d'excitation et d'émission programmables après extraction par agitation/sonification de l'échantillon lyophilisé, broyé et tamisé. La séparation des différents HAP quantifiés a été faite sur colonne de type C₁₈ avec un gradient d'élution eau/acétonitrile en s'appuyant sur la norme NF EN 15527 « Caractérisation des déchets - Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les déchets par chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (CG/SM) ».

Les composés ont été quantifiés par étalonnage externe.

➤ Analyse des PBDE

L'analyse quantitative des PBDE contenus dans les échantillons lyophilisés, broyés et tamisés a été réalisée après extraction à l'ASE avec un mélange hexane/dichlorométhane par chromatographie en phase gazeuse équipée d'un détecteur de masse triple quadripôle. La séparation des différents PBDE étudiés a été faite sur colonne spécifique de type RTX 1614 avec une programmation en température, en s'appuyant sur la norme NF EN ISO 22032 « Qualité de l'eau - Dosage d'une sélection d'éthers diphenyliques polybromés dans des sédiments et des boues d'épuration - Méthode par extraction et chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse ».

Les composés ont été quantifiés par étalonnage interne par rapport à leurs homologues marqués en C₁₃.

➤ Analyse des organo-étains

L'analyse quantitative des organo-étains contenus dans les échantillons lyophilisés, broyés et tamisés a été réalisée après extraction à micro-ondes en milieu acide acétique et dérivation par couplage GC-ICP-MS en s'appuyant sur la norme NF EN ISO 23161 « Qualité du sol - Dosage d'une sélection de composés organostanniques - Méthode par chromatographie en phase gazeuse ». Les composés ont été quantifiés par la méthode des ajouts dosés.

➤ Analyse des phénols

Les phénols ont été analysés par chromatographie liquide haute performance équipée d'un détecteur fluorimétrique après extraction par agitation/sonification de l'échantillon lyophilisé, broyé et tamisé. La séparation des différents phénols étudiés a été faite sur colonne de type C₁₈ avec un gradient d'élution eau/acétonitrile.

Les composés ont été quantifiés par étalonnage externe.

➤ Analyse de la 4-chloroaniline

La 4-chloroaniline a été analysée par chromatographie liquide haute performance équipée d'un détecteur à barrettes de diodes après extraction par agitation/sonification de l'échantillon lyophilisé et tamisé. L'extrait étudié a été injecté sur colonne de type C₁₈ avec un gradient d'élution eau/acétonitrile.

La 4-chloroaniline a été quantifiée par étalonnage externe.

➤ Analyse des alkylphénols et du BPA

L'analyse quantitative des alkylphénols et du bisphénol A (BPA) contenus dans les échantillons lyophilisés, broyés et tamisés a été réalisée après extraction à l'ASE avec un mélange hexane/acétone et dérivation de l'extrait avec du BSTFA par chromatographie en phase gazeuse équipée d'un détecteur de masse simple quadripôle. La séparation des différents composés étudiés a été faite sur colonne apolaire de type DB5MS UI avec une programmation en température¹⁰.

Les composés ont été quantifiés par étalonnage interne par rapport à leurs homologues marqués en C₁₃.

➤ Analyse du PFOA/PFOS

Le PFOA et le PFOS ont été analysés par chromatographie liquide haute performance équipée d'un détecteur triple quadripôle après extraction par agitation/sonification de l'échantillon lyophilisé, broyé et tamisé. La séparation des différents composés étudiés a été faite sur colonne de type C₁₈ avec un gradient d'élution eau/acétonitrile, selon la fiche méthode Aquaref MA-018.

Les composés ont été quantifiés par étalonnage externe.

➤ Analyse du galaxolide et des dérivés du cholestène

L'analyse quantitative des cholestènes et du galaxolide contenus dans les échantillons lyophilisés, broyés et tamisés a été réalisée après extraction à l'ASE au dichlorométhane par chromatographie en phase gazeuse équipée d'un détecteur de masse simple quadripôle. La séparation des différents composés étudiés a été faite sur colonne de type RXi 5 SilMS avec une programmation en température.

Les composés ont été quantifiés par étalonnage externe.

2.1.4 **Techniques analytiques pour les substances pharmaceutiques**

L'analyse des substances pharmaceutiques dans les boues a nécessité une étape importante de préparation d'échantillon. Il s'agit, en effet, d'un véritable défi analytique que d'analyser une telle diversité de substances à des teneurs très faibles (de l'ordre de la dizaine de ng/g voire moins) dans une matrice aussi complexe que la boue et les composts de boues. Une étape d'extraction, suivie d'une étape de purification ont donc été développées.

L'équipe TRACES de l'Institut des Sciences Analytiques a récemment mis en évidence que la technique d'extraction dite « QuEChERS » (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe), initialement introduite pour l'analyse de pesticides dans des fruits et légumes, pouvait être appliquée à l'analyse d'antibiotiques et d'hormones dans des sols (Salvia et al., 2012). Cette technique, qui consiste en une extraction à l'acétonitrile assistée par des sels, a donc été retenue pour l'analyse des substances pharmaceutiques pour

¹⁰ Selon rapport Onéma-Aquaref-INERIS de 2010 référencé INERIS-DRC-11-112048-02879A « Mesure des alkylphénols, des alkylphénols polyéthoxyles à courte chaîne et du bisphénol dans les sédiments : étude des conditions d'extraction et d'analyse »

cette étape de screening. Il s'agit d'une méthode simple, rapide, qui consomme peu de solvant et ne nécessite pas d'instrumentation coûteuse. C'est la première fois que cette méthode était envisagée pour une analyse multi-résidus et multi-familles de substances pharmaceutiques dans des boues et des composts.

L'objectif a donc été de développer une méthode innovante, à la fois rapide et sensible, basée sur une extraction de type QuEChERS suivie d'une analyse par LC-MS/MS.

➤ Optimisation de l'extraction par QuEChERS:

En ce qui concerne le développement de la préparation d'échantillons, nous avons choisi de travailler sur 3 étapes incluant, bien entendu, l'extraction et la purification mais aussi l'étape de reprise de l'extrait avant l'injection en LC-MS (protocole résumé par la Figure 3). Cette troisième étape, qui consiste à optimiser la nature du solvant et le volume d'injection, est souvent peu discutée dans la littérature.

Ainsi, les deux premières étapes ont consisté à déterminer les conditions permettant une extraction efficace tout en limitant la présence d'interférents résiduels. Ceci a été possible grâce à l'utilisation d'EDTA (acide éthylène diamine tétraacétique) ou encore d'un faible volume d'heptane lors de l'étape d'extraction. En effet l'EDTA agit probablement comme agent chélatant pour séquestrer les ions métalliques divalents et détruire les complexes formés entre les substances cibles et les ions métalliques. L'heptane, quant à lui, permet de limiter la présence des contaminants lipidiques dans les extraits. Alliée à l'utilisation d'une phase de purification efficace à base d'amines primaires et secondaires, la méthode d'extraction mise au point a permis d'atteindre un taux de récupération moyen de 75%, ce qui est comparable aux taux obtenus lors d'analyses multi-résidus de substances pharmaceutiques basées sur la technique classique PLE, pour un nombre plus limité de substances (Ternes et al., 2005 ; Barron et al., 2008 ; Radjenovic et al., 2009 ; Liu et al., 2011). Les détails de chaque étape d'optimisation sont présentés dans une publication (Peysson et Vulliet, 2013).

 L'originalité du protocole développé dans le cadre de cette étude provient également de l'utilisation d'une forte proportion de DMSO dans le solvant de reprise de l'échantillon, ce qui a pour conséquence d'augmenter de manière significative l'ionisation des substances dans l'électrospray. L'hypothèse avancée est que la présence d'eau dans le solvant diminue la viscosité du DMSO, facilite l'évaporation du solvant et renforce ainsi l'ionisation des analytes (Borges et Hennion, 2005).

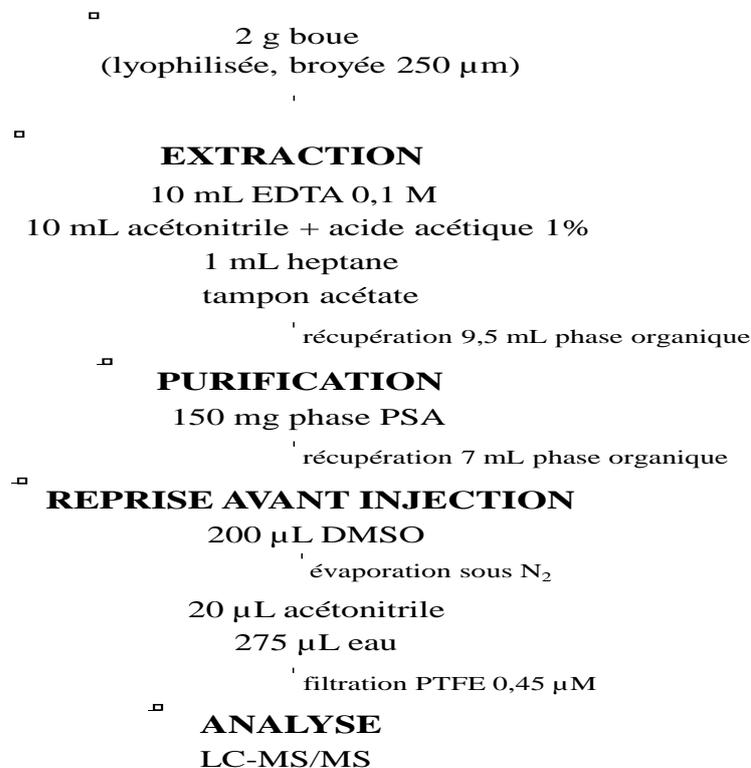


Figure 3 : Protocole de préparation des échantillons de boues et composts de boues pour l'analyse des substances pharmaceutiques et hormones par QuEChERS.

➤ Extraction des tétracyclines et fluoroquinolones :

Comme précisé ci-dessus, ces deux familles de substances ne sont pas efficacement extraites par la technique QuEChERS. Une méthode plus efficace, basée sur l'utilisation de solvant sous pression et à chaud (Pressurised Liquid Extraction, PLE) a donc été mise en place comme schématisé Figure 4. Cette extraction a été suivie d'une analyse par LC-TOF-MS.

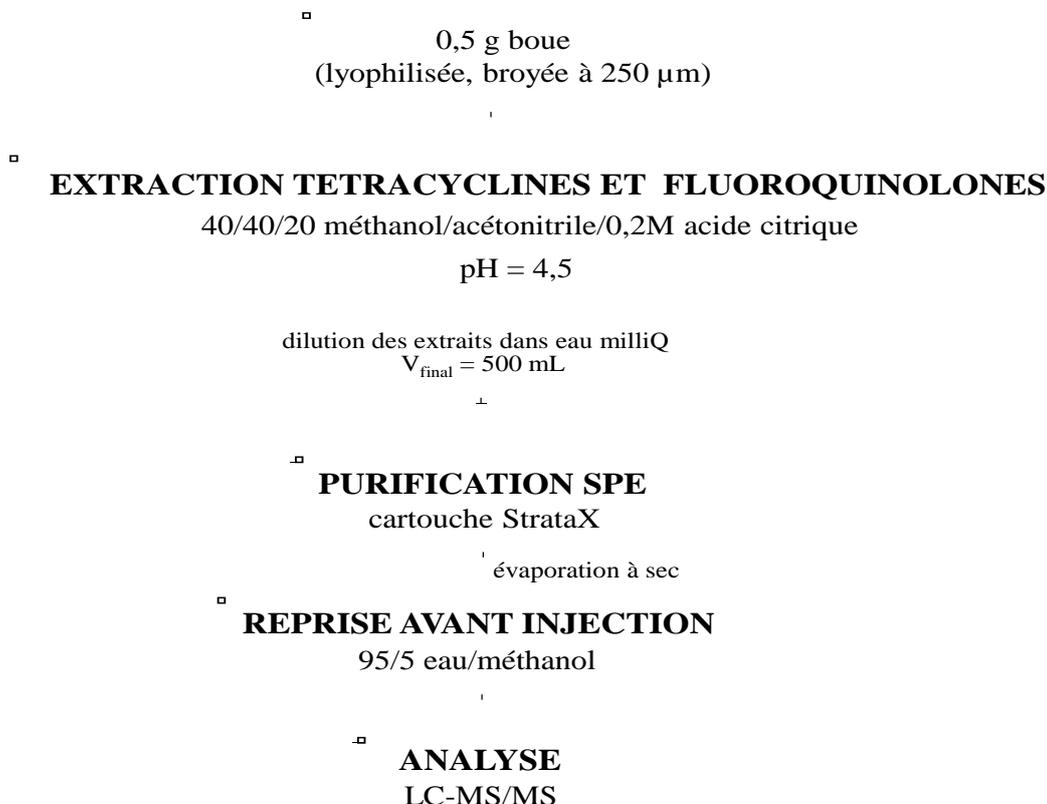


Figure 4 : Protocole de préparation des échantillons des matrices analysées pour les tétracyclines et fluoroquinolones par PLE.

2.2 Résultats de la quantification

La Figure 5 propose une synthèse des résultats obtenus. Cette figure représente, pour les 12 produits quantifiés, la moyenne sur les 4 campagnes de la somme des composés par groupe de substances. Elle n'inclut pas les cholestènes (dont les concentrations sont beaucoup plus fortes et donc hors échelle) ni le galaxolide (jamais quantifié mais avec une limite de quantification également très élevée LQ = 70 µg/g MS).

L'ensemble des résultats de quantification est disponible en annexe 5.

Il a été observé durant l'étude une grande variabilité au sein d'un même groupe de substances entre les différentes campagnes, à l'exception des HAP, de certains organoétains (monobutylétain et dibutylétain) et des cholestènes, pour lesquelles les teneurs détectées sont assez homogènes entre les différentes campagnes pour une même STEP. Un exemple pour une des STEP des variations des concentrations lors des 4 campagnes est donné en Figure 6. Les graphiques pour les autres STEP sont donnés en annexe 6.



Sous le nom « cholestènes » sont regroupés tous les dérivés du cholestérol et les stérols végétaux (stigmastérol, sitostérol, ...).

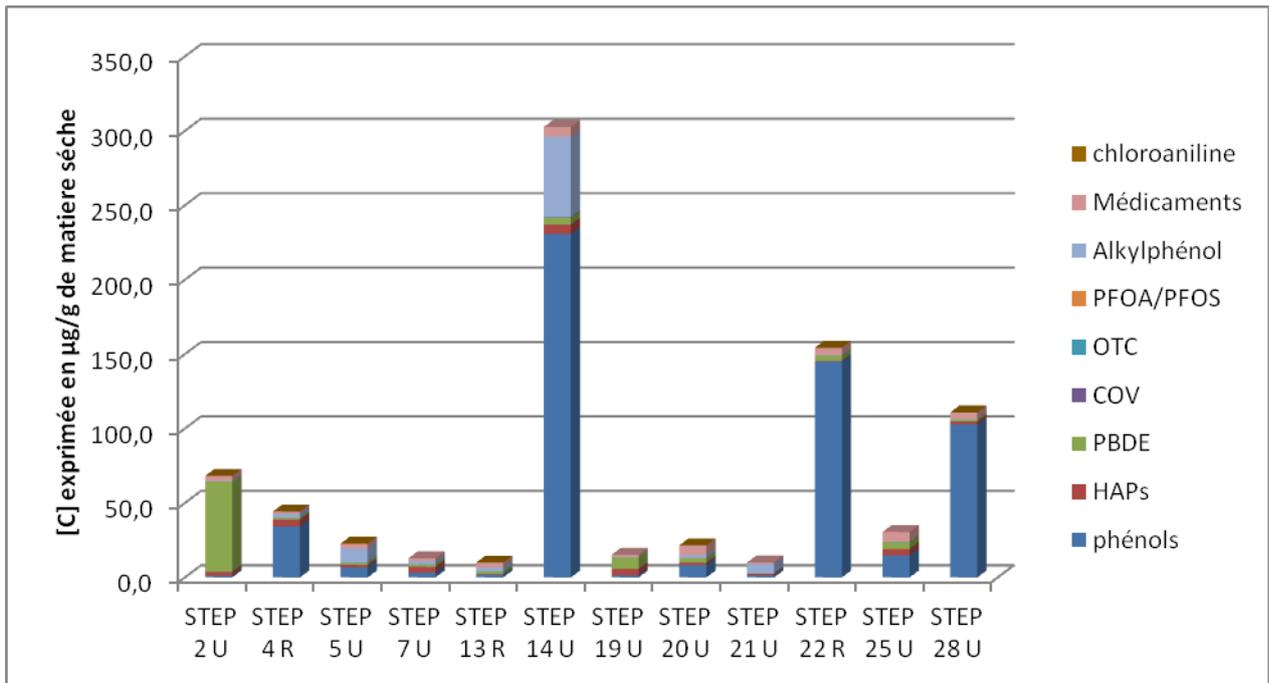


Figure 5 : Somme des concentrations en substances pour les 12 stations d'épuration collectives (STEP), moyenne des 4 campagnes. U=Station Urbaine, R= Station Rurale



Les limites de quantification des substances dans les boues et compost de boues sont relativement faibles (de 0,001 µg/g MS à 0,2 µg/MS). Sauf pour quelques substances :

- le galaxolide avec une LQ de 70 µg/g MS
- la chloraniline avec une LQ de 1,2 µg/g MS ;
- les cholestènes avec une LQ de 110 µg/g MS.

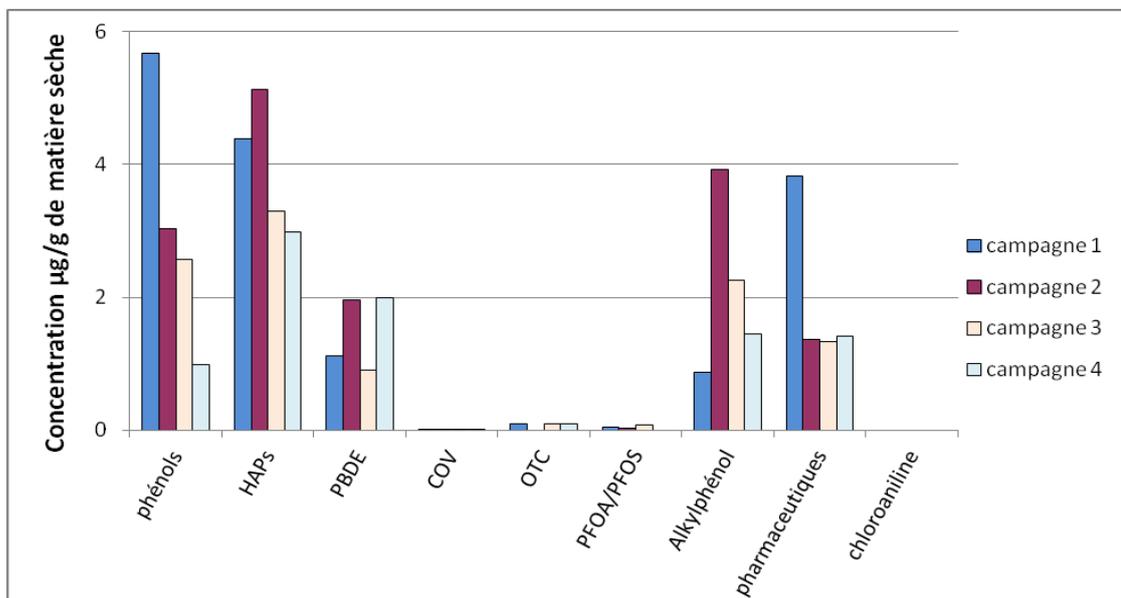


Figure 6 : Somme des concentrations par groupes de substances et par campagne pour la STEP n° 7

Les HAPs ont été détectés à des concentrations allant de 0,5 à 11 µg/g de matière sèche (somme des HAPs), dont les origines principales sont, pyrolytique (combustion de composés organiques, transports, incinérateurs, incendies ...), pétrogénique (produits pétroliers et dérivés) et diagénétique (formation naturelle de pétrole).

Les phénols ont été détectés à des concentrations allant de 0,7 à 360 µg/g de matière sèche. Ces composés ont des utilisations très variées (pesticides, herbicides, intermédiaires de réaction dans l'industrie cosmétique ou pharmaceutique....).

Les alkylphénols ont été détectés à des concentrations allant de 1 à 80 µg/g de matière sèche. Il s'agit de substances synthétiques intervenant dans la fabrication de nombreux produits (agents tensioactifs, résines phénoliques, pesticides), provenant principalement de la biodégradation des alkylphénols éthoxylés utilisés comme adjuvants, détergents dans le textile, traitement de surface, additif dans l'industrie papetière, peintures à l'eau.

Les PBDE ont été détectés à des concentrations allant de 0,2 à 110 µg/g de matière sèche. Ils sont utilisés comme agents ignifuges dans de nombreux produits manufacturés (appareil électriques, textiles, meubles...).

La 4-chloraniline présente une limite de quantification élevée (1,2 µg/g MS). Elle n'a jamais été détectée dans les produits.



Cas des cholestènes et du galaxolide :

Les cholestènes ont été détectés à des concentrations très supérieures par rapport aux autres composés et comprises entre 1,5 et 25 mg/g de matière sèche. Ces cholestènes proviennent très certainement des excréments ainsi que des débris végétaux et des différents microorganismes présents dans les produits. Le galaxolide, quant à lui, est toujours détecté mais jamais quantifié. La limite de quantification qui a pu être atteinte dans cette étude et dans ces matrices est beaucoup plus élevée que pour les autres substances (70 µg/g MS pour le galaxolide contre des LQ de l'ordre du centième voire du millième de µg/g MS pour les autres substances)

La comparaison des STEP urbaines et des STEP rurales ne montrent pas de différences généralisables à l'une ou l'autre situation. La Figure 5 montre que les STEP rurales ne présentent pas forcément des concentrations moins élevées que les STEP urbaines. De plus, les mêmes groupes de substances prédominants sont retrouvés pour les STEP urbaines et rurales (phénols, alkylphénols, HAP, PBDE, pharmaceutiques).

Au niveau des substances non pharmaceutiques, une grande proportion des substances est quantifiée : sur la base des 56 substances analysées dans cette étape : 46 substances sont quantifiées sur au moins 50% des échantillons et 35 substances sur 100% des échantillons. Les concentrations mesurées dans les boues et composts de boues restent toutefois faibles puisque la médiane la plus haute pour les substances quantifiées (hors cholestènes) est de 1,9 µg/g MS (cas du crésol). Le groupe des phénols (crésol et phénol), le BDE 209 et les alkylphénols (2,3,4 nonylphénols : 84852-15-3 le 4 nonylphénols : 25154-52-3) sont les substances pour lesquelles les concentrations les plus importantes sont retrouvées sur l'ensemble des échantillons. Les substances qui ont les plus faibles concentrations sont les COV (nonane, cyclohexane, octane,...). C'est également le groupe dont les fréquences de quantification sont les plus basses (autour de 10%). De nombreux HAP sont retrouvés dans 100% des échantillons avec des concentrations aux alentours de la centaine de ng/g MS.

La Figure 7 donne le classement des substances en fonction de leur concentration médiane et leur pourcentage de quantification sur l'ensemble des échantillons.



La 4-chloraniline, le 4n-nonylphénol, le PFOA et le triphénylétain ne sont jamais quantifiés dans les échantillons. La 4-chloraniline a cependant une limite de quantification relativement haute par rapport aux autres composés (LQ = 1200 ng /g MS)

Les substances non pharmaceutiques ne semblent pas présenter de variation identifiable dans le temps sur les 4 campagnes contrairement aux substances pharmaceutiques (Figure 9).

Au niveau des substances pharmaceutiques, les résultats confirment qu'aucun produit n'est exempt de ces substances, quelle que soit son origine et quelle que soit la période du prélèvement. Il faut toutefois noter que les teneurs retrouvées sont faibles, puisque la valeur médiane la plus haute (cas de l'antibiotique ofloxacin) est seulement de 0,45 µg/g de matière sèche. Les résultats par substances sont représentés Figure 8.

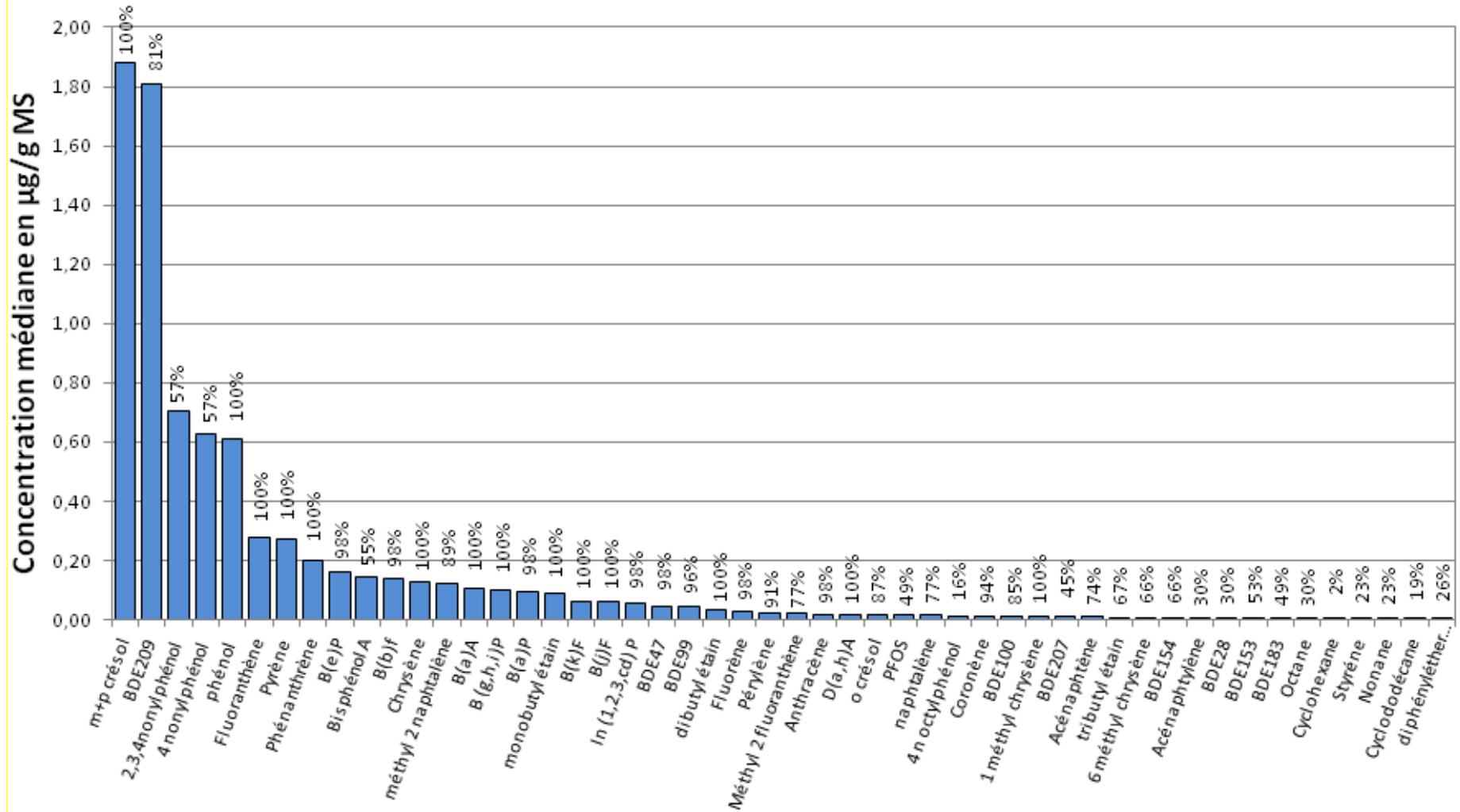


Figure 7 : Concentration médiane des substances non pharmaceutiques et fréquence de quantification dans les échantillons (en %) - hors cholestènes et galaxolide
 (la 4-chloraniline, le PFOA, le 4n-nonylphénol et le triphénylétain ne sont pas représentés car jamais quantifiés dans les 47 analyses)

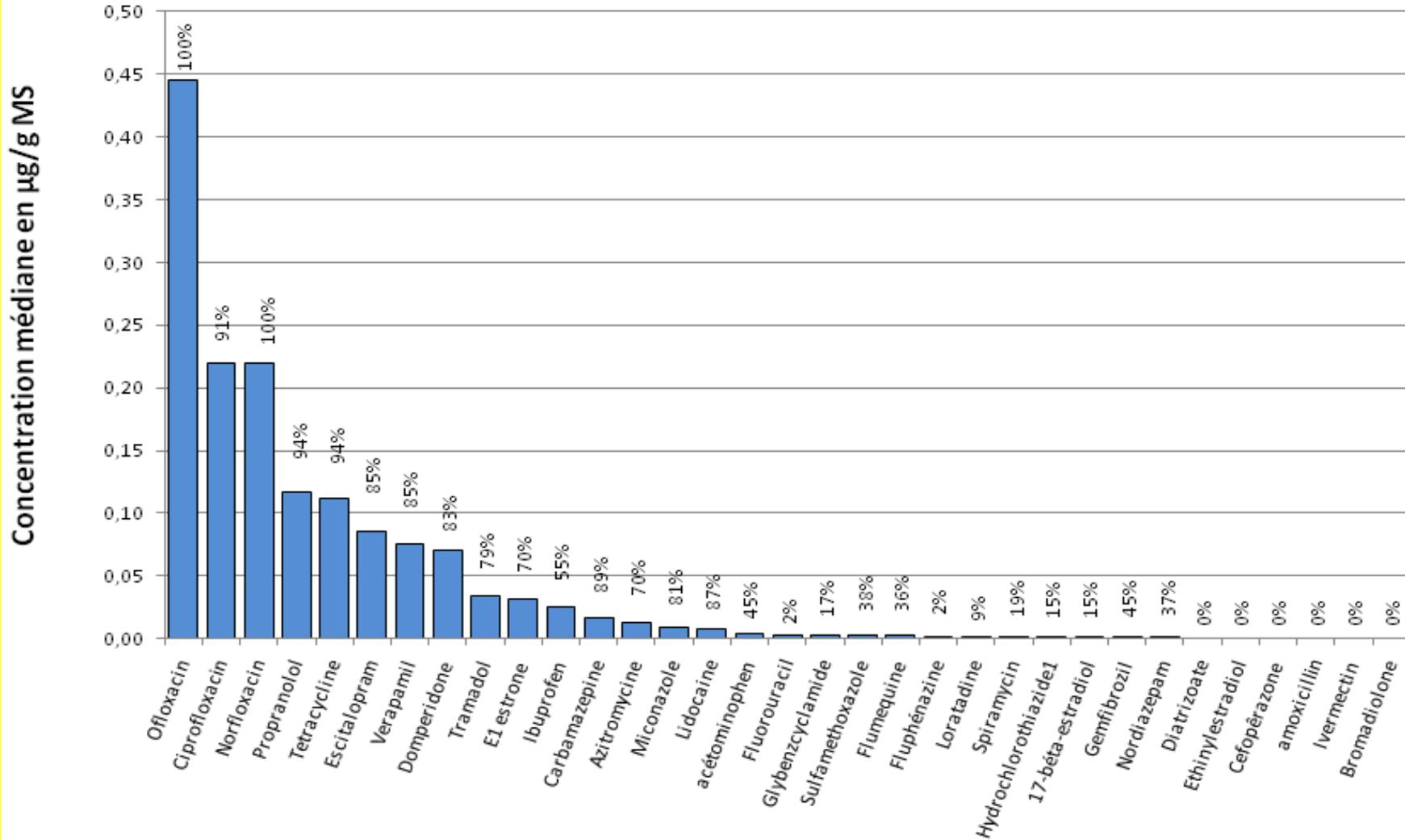


Figure 8 : Concentration médiane des substances pharmaceutiques et fréquence de quantification dans les échantillons (en %).

(sur les 47 analyses, le diatrizoate et la céfopérazone ne sont jamais détectés, l'éthinylestradiol et l'amoxicilline sont détectés une fois mais non quantifiés, l'ivermectin et le bromadiolone sont détectés 3 fois mais non quantifiés)

Les antibiotiques représentent la classe pharmaceutique la plus souvent retrouvée, en particulier les fluoroquinolones (ofloxacine, norfloxacine, ciprofloxacine) présentes dans plus de 95% des matrices analysées. Leur présence et comportement dans l'environnement ont fait l'objet de nombreuses études (Speltini et al., 2011). Il s'agit de molécules développées dans les années 1970s, 1980s pour des usages humains et vétérinaires. Elles sont administrées comme traitements thérapeutiques et ont été utilisées également pour promouvoir la croissance des animaux (pratique interdite depuis 2006 par décret européen). De par leurs propriétés physico-chimiques, ces molécules sont capables de former des complexes stables avec des cations (magnésium, calcium, aluminium, fer et zinc). Leur présence dans les matrices solides est fortement dépendante de leurs caractéristiques d'adsorption. Les fluoroquinolones peuvent mettre en jeu différents processus (échange cationique, interactions électrostatiques, liaisons hydrogène). Leurs teneurs dans des boues varient de quelques dizaines de ng/g à plus de 2 000 ng/g (Speltini et al., 2011).

Il convient de noter une variation saisonnière dans le cas des fluoroquinolones comme l'illustre la Figure 9. Les teneurs semblent en effet plus élevées dans les deux campagnes d'hiver.

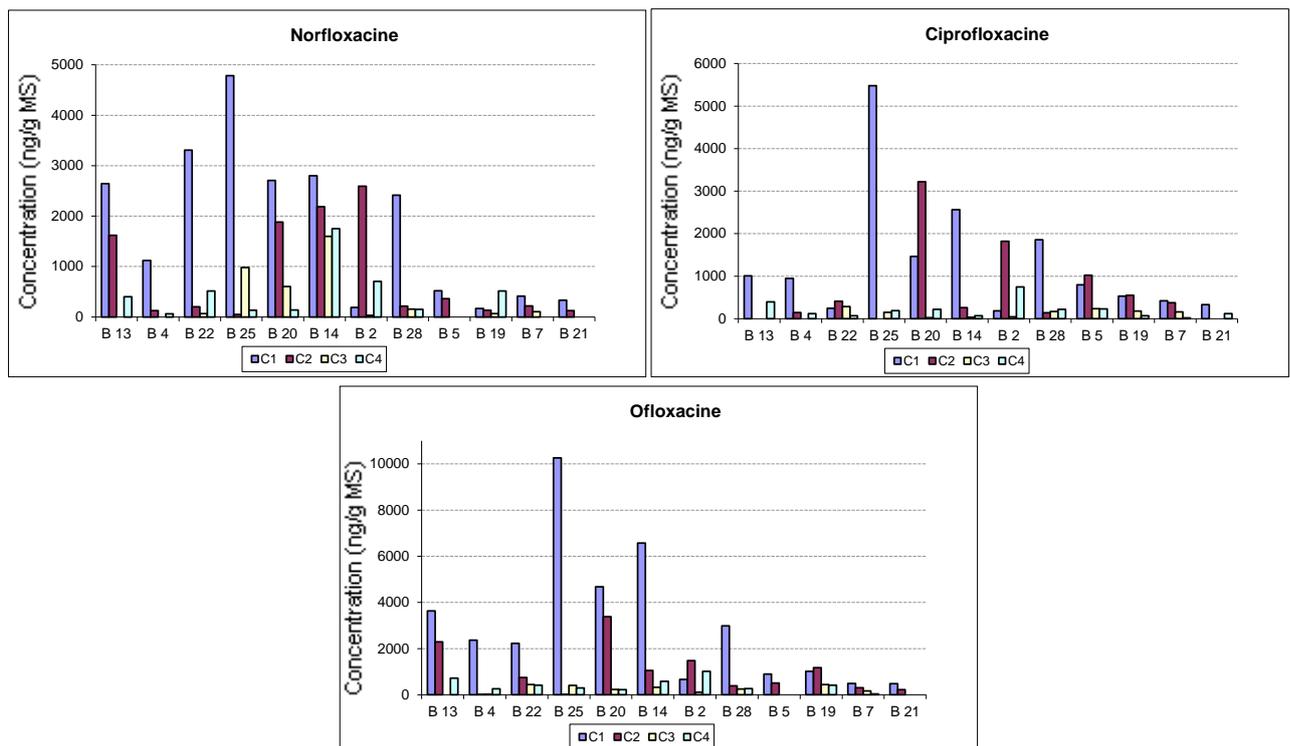


Figure 9 : Evolution des teneurs en norfloxacine, ciprofloxacine et ofloxacine au cours des 4 campagnes

L'antidépresseur escitalopram est présent dans plus de 90% des échantillons avec une concentration médiane de 93 ng/g. Cette occurrence est cohérente avec une étude menée sur la présence d'anti-dépresseurs dans les eaux de rejets et les boues issues de stations d'épuration au Canada (Lajeunesse et al., 2012). Dans cette étude, l'escitalopram, ainsi que d'autres anti-dépresseurs comme l'amitriptyline, la sertraline, la fluoxétine et la paroxétine avaient été détectées dans tous les échantillons. Par contre, les teneurs qui avaient été relevées dépassaient celles retrouvées dans la présente étude, puisqu'elles atteignaient plus de 1 000 ng/g.

Le propranolol (bêta bloquant) est retrouvé dans toutes les matrices, avec une concentration médiane de 119 ng/g et une concentration maximale de 435 ng/g. Cette substance a précédemment été détectée dans ce type de matrice à des niveaux variant de quelques ng/g jusqu'à environ 50 ng/g (Radjenovic et al., 2009; Martin et al., 2010 et 2012), c'est-à-dire des concentrations un peu inférieures à celles obtenues dans cette étude.

A notre connaissance, c'est la première fois que la présence de l'antiémétique dompéridone est signalée dans ce type de matrices. La seule étude en lien avec cette substance a été réalisée par la compagnie pharmaceutique qui le produit, afin d'évaluer sa présence dans les eaux d'entrée et de sortie de sa propre station d'épuration (Van de Steene et Lambert, 2008). Dans la présente étude, la dompéridone est détectée dans les matrices à des teneurs variant de quelques ng/g à 1 360 ng/g environ, avec une concentration

médiane de 71 ng/g. Trois autres substances n'avaient jamais été recherchées auparavant dans ce type de produits. Il s'agit de l'analgésique tramadol, de l'anesthésique lidocaïne et de l'inhibiteur calcique vérapamil.

En conclusion, pour les substances pharmaceutiques, les points clés sont :

- aucun produit n'est exempt de substances pharmaceutiques,
- ces substances sont retrouvées à des concentrations relativement faibles, mais peu de données sont disponibles pour établir une comparaison,
- trois antibiotiques de la classe des fluoroquinolones sont très présents aussi bien en termes de présence que de concentrations (norfloxacin, ciprofloxacine, ofloxacine),
- une variation saisonnière est observée pour les 3 antibiotiques principaux cités précédemment.

3. Essais bioanalytiques - perturbateur endocrinien

3.1 Objectifs

L'objectif de cette tâche est de fournir un diagnostic sur la présence de composés perturbateurs endocriniens (PE) et dioxin-like (DL) dans les boues et composts de boues de STEP par une approche bioanalytique basée sur l'utilisation de bioessais *in vitro*.

Si les analyses chimiques ciblées constituent actuellement des méthodes de choix pour la caractérisation de la contamination chimique de part leur sensibilité et leur sélectivité, elles ne fournissent qu'une vision partielle de la contamination puisqu'elles ne rendent compte de la présence/absence que des molécules qui sont recherchées *a priori*. Notamment, elles ne tiennent pas compte de l'ensemble des contaminants du mélange (composés parents, produits de transformation, effets de mélange etc.) et ne fournissent donc qu'une vision partielle du danger (éco)toxique potentiellement associé aux matrices complexes. De plus, elles restent relativement peu informatives sur certaines familles de polluants tels que les composés **perturbateurs endocriniens** (PE) ou **dioxin-like** (DL) qui sont définies non pas par la classe chimique à laquelle ils appartiennent mais selon leur mode d'action biologique.

Nombre de substances organiques exercent tout ou partie de leur toxicité en se fixant à des récepteurs intracellulaires et en perturbant les réponses cellulaires dépendantes de ces récepteurs. C'est le cas de nombreux composés PE (e.g. hormones, BPA, alkylphénols, certains pesticides, etc.) qui ont la capacité d'interagir avec les récepteurs des hormones stéroïdes (i.e. récepteurs des œstrogènes ER ou des androgènes AR) et de déréguler les fonctions cellulaires ou tissulaires associées et impliquées au sein de processus physiologiques majeurs pour l'organisme tels que le développement ou la reproduction. De manière analogue, les composés DL (e.g. dioxines, HAPs, PCB plans, furanes...) ont la capacité de se fixer au récepteur de la dioxine (AhR ou *aryl hydrocarbon receptor*) et de moduler l'expression de nombreux gènes clés dans plusieurs processus biologiques clés (métabolisme, développement, cancer).

En complément aux approches analytiques, l'approche dite **bio-analytique**, qui repose sur l'intégration de bioessais spécifiques au sein d'une démarche analytique, peut donc utilement compléter le diagnostic de caractérisation chimique de matrices environnementales vis-à-vis de ce type de substances. Dans le cas particulier des composés PE et DL, les bioessais *in vitro* dont le principe est basé sur le mécanisme d'action des substances au niveau intracellulaire (e.g. liaison aux récepteurs des hormones) permettent une détection sensible et spécifique de ces substances au sein d'échantillons complexes (Aït-Aïssa et al., 2009). La bonne calibration des bioessais par rapport à une substance de référence (e.g. œstradiol ou dioxine) permet ensuite de fournir une valeur de concentration en toxiques-équivalents (TEQ) par quantité d'échantillon, valeur qui est directement comparable aux concentrations fournies par les analyses chimiques.

Dans cette étude, nous avons évalué la présence de polluants organiques de type PE et DL dans la fraction organique des boues. Pour cela, un panel de bioessais *in vitro* a été utilisé. Ces bioessais permettent la détection spécifique de molécules capables d'activer les récepteurs des œstrogènes (ER), des androgènes (AR) et de la dioxine (AhR). Les profils d'activité obtenus et les valeurs de TEQ dans les boues sont présentées et discutées au regard des concentrations des composés actifs ciblés par les analyses chimiques.

3.2 Méthodologie

➤ *Principe des bioessais in vitro*

Le principe des bioessais *in vitro* employés dans cette étude est présenté dans la Figure 10. Ces bioessais sont basés sur l'utilisation de cultures cellulaires qui expriment un gène rapporteur dont l'expression, aisément mesurable par fluorescence ou luminescence, est régulée par des récepteurs intracellulaires, cibles des polluants (récepteurs des œstrogènes ER, des androgènes AR ou de la dioxine AhR). En présence de substances capables d'activer ces récepteurs, le gène rapporteur est induit de manière proportionnelle à la concentration en effecteur. Les essais sont réalisés en microplaques de 96 puits. La liste des tests utilisés dans la présente étude est présentée dans le Tableau 4.

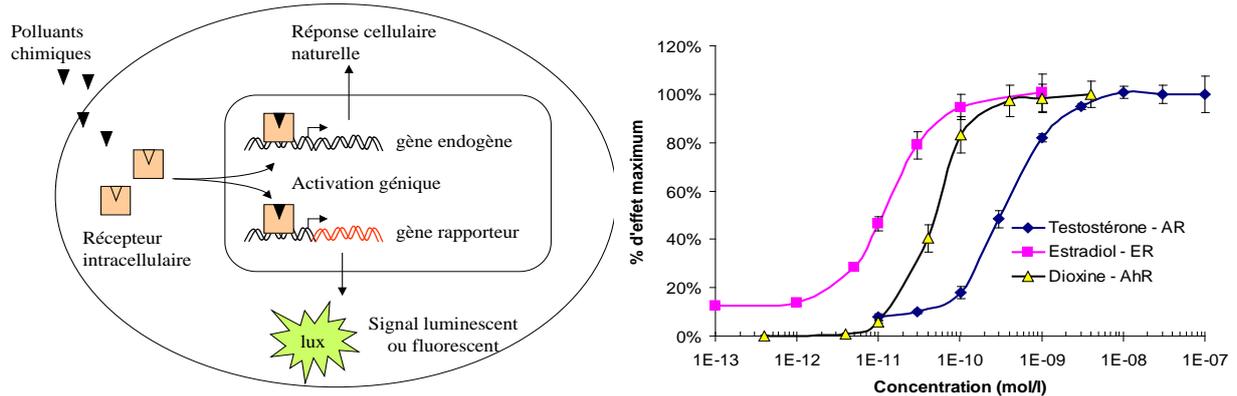


Figure 10 : Principe des tests cellulaires utilisés pour la détection des ligands des récepteurs des œstrogènes (ER), des androgènes (AR) et de la dioxine (AhR). À droite : exemple de réponse des tests à des concentrations croissantes d'œstradiol, de testostérone et de dioxine.

Tableau 4 : Bioessais *in vitro* utilisés pour la détection des composés œstrogéniques, (anti)androgéniques et dioxin-like.

Bioessais	Principe	Types de polluants détectés (exemples de molécules actives)	Molécule de référence (abréviation)	Réf.
MELN	Induction du gène rapporteur luciférase couplé au récepteur des œstrogènes (ER)	Composés œstrogéniques : stéroïdes naturels et synthétiques (œstradiol, éthynil-œstradiol, levonorgestrel) ; produits cosmétiques (filtre UV, parabens) ; plastifiants (bisphénol A) ; surfactants (alkylphénols) ; pesticides organochlorés (méthoxychlor, opDDT)	œstradiol (E2)	Balaguer et al. 1999
MDA-kb2	Induction du gène rapporteur luciférase couplé au récepteur des androgènes (AR)	Composés androgéniques (androgènes naturels, certains pharmaceutiques)	Dihydrotestostérone (DHT)	Aït-Aïssa et al. 2010
MDA-kb2	Inhibition du gène rapporteur luciférase couplé au récepteur des androgènes (anti-AR)	Composés anti-androgéniques (certains pesticides, alkylphénols,...)	Flutamide (FLU)	Aït-Aïssa et al. 2010
PLHC-1	Induction de l'activité EROD après 4 et 24 h d'exposition (dépendante du récepteur de la dioxine AhR)	Composés HAP-like (HAPs parents et dérivés nitrés, oxygénés, alkylés...) et dioxin-like (dioxines, furanes, PCB-DLs...)	Benzo(a) pyrène (BaP) et dioxine (TCDD)	Louiz et al. 2008

➤ **Bioanalyse des échantillons et quantification d'équivalents-toxiques (TEQ)**

La méthodologie globale employée pour l'analyse des boues par les bioessais *in vitro* et l'établissement de TEQ sont synthétisés dans la Figure 11. Elle a été adaptée de la méthode précédemment développée sur la matrice sédiments (Kinani et al. 2010).

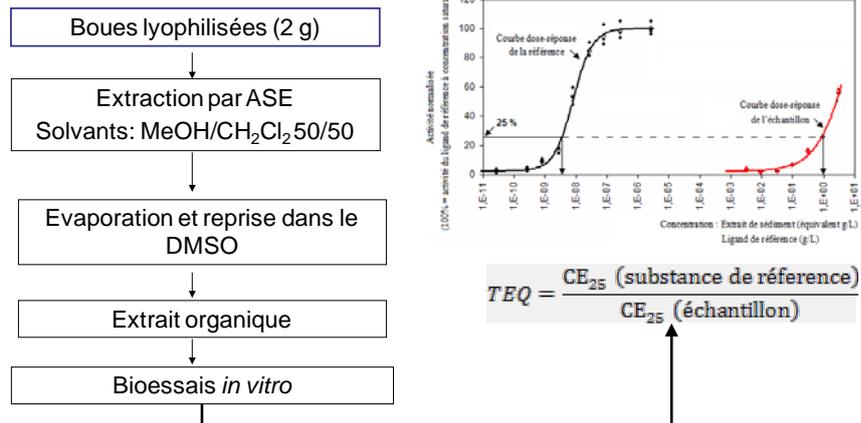


Figure 11 : Extraction organique des matrices lyophilisées et quantification de TEQ dérivés des résultats des bioessais *in vitro* dans les extraits organiques.

Brièvement, les boues lyophilisées ont été extraites par le mélange méthanol/dichlorométhane (méthode par ASE ou *Accelerated Solvent Extraction*) afin d'obtenir un extrait organique repris in fine dans du diméthylsulfoxyde (DMSO), solvant compatible avec les bioessais *in vitro*. Une série de dilutions de chaque extrait est ensuite réalisée dans le DMSO puis déposée dans la microplaque contenant les cellules. Après exposition (4 à 24 h, selon le test), la mesure de l'activité luciférase ou de l'activité EROD (selon le test) est réalisée.

Dans le cas d'échantillons permettant d'activer significativement l'expression du gène rapporteur, les concentrations induisant 20% d'effet (CE20) sont déterminées après modélisation des courbes dose-réponse (e.g. courbe rouge de la Figure 11). Les concentrations en équivalent-toxiques dérivés des bioessais (Bio-TEQ) dans l'extrait sont ensuite calculées selon l'équation $Bio-TEQ = CE_{20_{substance\ de\ référence}} / CE_{20_{extrait}}$. Dans chaque test, les limites de quantification (LQ) et de détection (LD) sont calculées respectivement sur la base des CE20 et CE5 des substances de référence.

3.3 Résultats

➤ Profils d'activités *in vitro*

Les profils d'activités *in vitro* déterminés dans les échantillons de boues et composts de boues de la campagne n°1 sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Activités œstrogénique, (anti)androgénique, BaP-like et dioxin-like dans les extraits organiques des différentes boues de la Campagne n°1. Les résultats sont exprimés en équivalents-toxiques (Bio-TEQ) par quantité de matière sèche.

N°STEP	Type de station / type de matrice ^a	ER ^b (ng EEQ/g de m.s.)	AR (ng DHTEQ / g de m.s.)	Anti-AR (µg FluEQ / g de m.s.)	BaP-like (µg BEQ/g de m.s.)	Dioxin-like (ng TCDDEQ/g)
02	U / CB	10,7	n.a.	n.a.	4,0	5,0
04	R / BL	n.a. ^c	n.a.	n.a.	6,5	7,9
05	U / BC	1,2	n.a.	n.a.	1,4	1,7
07	U / BD _i (et séchée)	n.a.	n.a.	n.a.	30,1	3,8
13	R / BC	n.d	n.a.	n.a.	2,2	n.d
14	U / BD _i	16,5	n.a.	n.a.	6,8	8,4
19	U / CB	16,4	n.a.	n.a.	5,2	1,9
20	U / BC	n.d	n.a.	n.a.	2,4	1,3
21	U / CB	5,2	n.a.	n.a.	1,6	n.d

N°STEP	Type de station / type de matrice ^a	ER ^b (ng EEQ/g de m.s.)	AR (ng DHTEQ / g de m.s.)	Anti-AR (µg FluEQ / g de m.s.)	BaP-like (µg BEQ/g de m.s.)	Dioxin-like (ng TCDDDEQ/g)
22	R / BL	n.a.	n.a.	n.a.	2,1	n.d
25	U / BD _i	n.d.	n.a.	n.a.	15,1	n.d
28	U / BS (non digérée)	n.d.	n.a.	n.a.	4,5	n.d
<i>Blanc</i>		<i>n.d</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d</i>	<i>n.d</i>
<i>LD / LQ</i>		<i>0,01 / 0,3</i>	<i>4 / 14</i>	<i>2 / 13</i>	<i>0,003 / 0,04</i>	<i>0,5 / 0,8</i>

a : U = STEP urbaine ; R = STEP rurale ; BL : Boue Liquide, BC : Boue Chaulée, BS : Boue Séchée, CB : Compost de Boue (=boue compostée), BD_i : Boue Digérée,

b : EEQ = Estradiol équivalents ; DHTEQ = dihydrotestostérone équivalents ; FluEQ = flutamide équivalents ; BEQ = benzo(a)pyrène équivalents ; TCDDDEQ = TCDD équivalents ; m.s. = matière sèche ; LD = limite de détection ; LQ = limite de quantification ; n.d. = non détecté.

c : n.a. = non applicable. Une cytotoxicité a été observée aux plus fortes concentrations en extraits (i.e. correspondant à 0,3 à 5 Eq-g de boue par litre), induisant une mortalité des cellules et interférant de fait avec la détection potentielle de substances actives dans le test considéré aux seuils de détection indiqués. Dans ces cas, il faut considérer une limite de quantification 10 fois supérieure à celle indiquée dans le tableau.

D'une manière générale, l'utilisation des bioessais *in vitro* a permis la mise en évidence de la présence de composés de type œstrogénique (5 STEP), HAP-like (12 STEP) et dioxin-like (7 STEP). Il n'a pas été possible de conclure sur la présence ou l'absence à des niveaux de traces de composés interagissant avec le récepteur des androgènes (AR), du fait de la cytotoxicité des extraits qui a interféré avec l'activation du gène rapporteur dans le test cellulaire MDA-kb2.

➤ **Activité œstrogénique**

Le test MELN a permis la détection de composés à activité œstrogénique dans 5 des 12 STEP analysées (STEP 2, 5, 14, 19 et 21), les niveaux mesurés allant de 1 à 16 ng EEQ/g de matière sèche. Pour 3 autres échantillons (STEP 4, 7, 22), un effet cytotoxique a été notée sur les cellules MELN, empêchant de fait une détection sensible des composés de type œstrogénique (i.e. LQ > 3 ng EEQ/g). Enfin, aucune activité œstrogénique (i.e. <0,01 ng EEQ/g) n'a été détectée dans les STEP 13, 20, 25 et 28. L'activité œstrogénique est détectée uniquement dans les échantillons provenant de STEP urbaines.

Il existe relativement peu de données sur la mesure de l'activité œstrogénique dans les boues et composts de boues de STEP en comparaison à celle mesurée dans la phase aqueuse (effluent). Toutefois, nos résultats sont cohérents avec une étude récente sur les boues utilisant le même test cellulaire et rapportant des concentrations du même ordre, i.e. 10-50 ng EEQ/g (Patureau et al 2010).

Des études précédentes ont montré que l'activité œstrogénique dans les STEP (effluents et boues) était principalement due à la présence des hormones stéroïdes (œstradiol, œstrone, éthynyl-œstradiol) et dans une moindre mesure à d'autres xéno-œstrogènes tels que les alkylphénols ou le BPA (Muller et al 2008 ; Vega-Morales et al 2013). Ces molécules sont actives dans le test MELN et sont également retrouvées dans plusieurs des échantillons de l'étude. Pour évaluer leur contribution dans les activités mesurées par le bioessai, le modèle d'équivalents-toxiques a été utilisé. Pour cela, les concentrations données par les analyses chimiques sont exprimées en équivalent-œstradiol (Chem-EEQ) en multipliant leur concentration par leur facteur d'œstrogénicité relative à l'œstradiol (EEF) qui est déterminé selon l'équation $\text{Chem-EEQ}_i = C_i \times \text{EEF}_i$, avec pour un composé *i* donné, C la concentration mesurée de ce composé et $\text{EEF}_i = \text{EC}_{20}$ de l'œstradiol / EC_{20} du composé *i*. La somme des Chem-EEQ est alors comparée au Bio-EEQ global de l'échantillon mesuré par le bioessai. La comparaison des Bio-EEQ et Chem-EEQ est présentée dans le Tableau 6 suivant.

Tableau 6 : Contribution des hormones, alkylphénols et BPA dans l'activité œstrogénique globale par comparaison des équivalents estradiol dérivés des bioessais (Bio-EEQ) et des analyses chimiques (Chem-EEQ).

	EEF	STEP 02	STEP 05	STEP 14	STEP 19	STEP 21
Estradiol (ng/g)	1	159	n.d.	14	10	n.d.
Estrone (ng/g)	0,02	12	9	170	155	78
4nonylphenol (ng/g)	3.10^{-6}	<LQ	2200	>5000	<LQ	<LQ
Bisphénol A (ng/g)	5.10^{-5}	104	<LQ	52	<LQ	<LQ
Σ Chem-EEQ (ng/g)		15,2	0,19	17,4	13,1	1,6
Bio-EEQ (ng/g)		10,7	1,2	16,5	16,4	5,2
Chem/Bio (%)		141%	16%	105%	80%	30%

EEF = facteur d'œstrogénicité relatif à l'œstradiol (établi pour chaque composé individuel)

L'analyse du Tableau 6 montre que tout ou partie de l'activité œstrogénique mesurée par le bioessai est expliquée principalement par la présence d'œstradiol et œstrone dans les extraits, les autres xéno-œstrogènes mesurés (nonylphénol et BPA) ne contribuant qu'à la marge. Pour deux STEP, correspondant à une boue chaulée non digérée (STEP 5) et un compost de boues (STEP 21), ces molécules n'expliquent respectivement que 15 et 30% de l'activité globale. Ce résultat suggère que d'autres composés œstrogéniques, non ciblés par les analyses chimiques, sont présents dans ces échantillons.

➤ **Activité (anti)androgénique**

Le test utilisant les cellules MDA-kb2 s'est montré particulièrement sensible aux agents cytoxiques présents dans les extraits organiques de boues et composts de boues. Cette cytotoxicité marquée aux plus fortes concentrations en extraits s'est traduite par une forte mortalité des cellules, ce qui n'a pas permis de mesurer l'activation du gène rapporteur. En conséquence, aucune interaction avec le récepteur des androgènes n'a pu être mise en évidence du fait d'une trop forte dilution des extraits nécessaires pour s'affranchir des effets cytotoxiques. La co-extraction d'agents cytoxiques à partir de boues lyophilisées a été précédemment rapportée par des études utilisant des tests in vitro similaires aux nôtres (Patureau et al, 2012, Citulski et Farahbakhsh 2012), confirmant nos observations. Toutefois, il en ressort une sensibilité de détection moindre des composés (anti)androgéniques. Dans le futur, il s'agira de travailler sur une adaptation de la méthodologie afin de séparer ces agents cytoxiques des composés que l'on cible avec le test MDA-kb2. Au final, il n'a pas été possible de conclure sur la présence ou l'absence à des niveaux traces de composés interagissant avec le récepteur des androgènes (AR).

➤ **Activité dioxin-like**

Nos résultats avec le bioessai en cellules PLHC-1 a montré la présence de composés inducteurs de l'activité EROD dans tous les échantillons. Les plus fortes activités mesurées après 4 h d'exposition (i.e. versus 24 h) suggèrent que des composés rapidement métabolisés par les cellules, comme les HAP et leurs dérivés, sont principalement détectés par le test. Néanmoins, pour certains échantillons (STEP 2, 4, 5, 7, 14, 19, 20), des activités significatives sont également détectées après 24h, suggérant la présence de composés dioxin-like plus persistants comme les PCB-DL, des dioxines ou des furanes. Ces résultats sont cohérents avec une précédente étude qui rapporte la présence de ce type d'activité dans la matrice boue (Patureau et al 2012).

Afin d'évaluer la contribution des HAPs à activité DL dans les activités mesurées, les concentrations mesurées par les analyses chimiques ont été transformées en équivalents-benzo(a)pyrène (Chem-BEQ) et comparées aux activités dérivées du bioessai (Bio-BEQ). L'analyse du Tableau 7 montre que les HAPs analysés contribuent pour partie seulement à l'activité globale mesurée par le bioessai, expliquant au mieux 20% de l'activité globale. D'autres molécules actives dans le bioessai sont donc présentes et non mesurées par l'approche analytique, comme par exemple des dérivés oxygénés ou nitrés de HAP.

Il est néanmoins intéressant de noter une corrélation significative entre le bioessai et les analyses chimiques des HAPs (Tableau 7), confirmant d'une part la contribution de ces molécules dans l'activité mesurée et d'autre part la pertinence du bioessai pour quantifier la charge en composés dioxin-like au sein de matrices complexes. Ces résultats, notables car montrés pour la première fois dans ce type de matrice, confirment de précédentes observations dans des sédiments de rivière (Kinani et al 2010, Aït-Aïssa et Creusot 2010) et côtiers (Louiz et al 2008). Là encore, les analyses chimiques ciblant les HAP prioritaires n'expliquaient qu'une partie minoritaire de l'activité globale mesurée par les bioessais.

Tableau 7 : Comparaison des teneurs en équivalents-benzo(a)pyrène dérivées des analyses chimiques (Chem-BEQ) et des bioessais (Bio-BEQ) dans les extraits de boues et composts de boues.

STEP	Chem-BEQ ^a (µg/g)	Bio-BEQ (µg/g)	Ratio Chem/Bio (%)
2	0,30	4,01	7%
4	1,01	6,51	16%
5	0,12	1,40	9%
7	1,69	30,12	6%
13	0,21	2,17	10%
14	1,14	6,80	17%
19	0,45	5,17	9%
20	0,48	2,38	20%
21	0,19	1,65	11%
22	0,09	2,12	4%
25	0,86	15,09	6%
28	0,20	4,52	4%

a : Liste des HAP inclus dans l'analyse des Chem-BEQ: acénaphthylène, fluorène, benz(a)anthracène, pyrène, chrysène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, indénopyrène, dibenzo(a)anthracène.

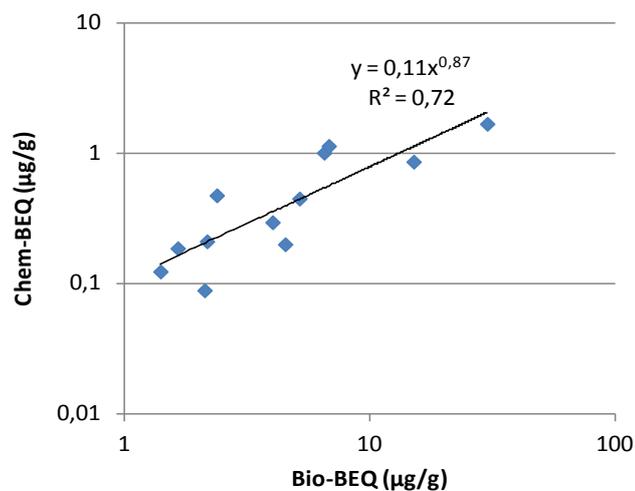


Figure 12 : Corrélation entre les concentrations en équivalents-benzo(a)pyrène dérivées des analyses chimiques (Chem-BEQ) et celles dérivées des bioessais (Bio-BEQ).

3.4 Conclusion

L'utilisation de bioessais *in vitro* dans une démarche bioanalytique a permis de fournir des informations complémentaires aux analyses chimiques concernant la présence de composés organiques dans les boues et composts de boues. Parmi les principaux apports, ont été montrés :

- la présence d'activité œstrogénique significative, expliquée principalement par la présence d'œstradiol et d'œstrone, le BPA et les alkylphénols ne contribuant que faiblement. Pour deux échantillons (STEP 5 et 21), d'autres composés œstrogéniques, non ciblés par les analyses chimiques, sont présents dans ces échantillons ;
- a priori l'absence de relation entre les niveaux d'activité œstrogénique et le type de traitement ;
- des niveaux significatifs d'activité de type HAP-like et dioxin-like, partiellement expliqués (<20%) par les analyses ciblées des HAP prioritaires.

Ces résultats montrent l'intérêt de l'approche bioanalytique pour caractériser des matrices complexes, puisqu'elle confirme quantitativement le potentiel toxique des molécules ciblées par l'analyse chimique tout en révélant la présence d'autres molécules non prises en compte par l'analyse. Toutefois, la méthodologie employée appliquée pour la première fois ici à ce type de matrice a montré une limite, pour certains échantillons, du fait de l'interférence d'agents cytotoxiques avec la biodétection de PE. Dans le futur, il s'agira de réfléchir sur l'emploi d'une étape spécifique de purification de l'extrait (e.g. SPE) afin d'optimiser la sensibilité de la biodétection des composés de type (anti)androgéniques.

4. Essais d'Écotoxicité

4.1 Objectifs

La caractérisation de l'écotoxicité des boues et composts de boues, en utilisant des essais sur les compartiments terrestre et aquatique est une approche complémentaire aux caractérisations chimiques et bioanalytiques décrites précédemment. Cette approche intégrative vise à évaluer les effets de l'apport par épandage de ce type de produits sur les organismes représentatifs de compartiments terrestres et aquatiques. Les essais ont été réalisés à des doses prédéfinies en mélange avec un substrat témoin (sol artificiel, sable ou sol naturel en fonction des essais), couvrant une, cinq et dix fois la dose d'épandage préconisée en plein champs.

Dans le cadre de cette étude, la caractérisation de l'écotoxicité a été conduite pour quatre produits d'origine urbaine, issus des STEP 02 - 07 - 14 et 25. Ce choix a été effectué afin d'étudier au moins un compost de boues et des produits plus ou moins chargés en substances et provenant de différentes origines.

4.2 Description des essais d'écotoxicité

Cette caractérisation de l'écotoxicité a été réalisée en utilisant une batterie de 12 essais d'écotoxicité, 7 essais d'écotoxicité terrestre et 5 essais d'écotoxicité aquatique, décrits dans les sections 4.2.2 et 4.2.3.

Cette batterie de tests a été développée dans une étude conduite dans une convention avec L'ADEME intitulée « Développement d'un protocole d'évaluation de l'écotoxicité des matières fertilisantes organiques utilisées en fertilisation agricole » (Charissou, 2012). La batterie d'essai proposée (voir Tableau 9 et Tableau 10) va permettre :

- de considérer les différents niveaux trophiques (producteurs primaires, consommateurs primaires, décomposeurs)
- de couvrir des effets aigus, chroniques et génétiques
- d'évaluer l'impact sur la fonction d'habitat et de rétention du sol
- d'évaluer l'impact sur le comportement des organismes

4.2.1 Préparation des mélanges et des éluats

Les mélanges et les éluats des mélanges ont été réalisés selon la norme NF EN 14735 : 2006, concernant la « Caractérisation des déchets - Préparation des échantillons de déchets en vue d'essais écotoxicologiques », après un prétraitement éventuel des produits, à 1 X, 5 X et 10 X la dose d'épandage préconisée.

Le Tableau 8 présente les caractéristiques des produits testés, la dose préconisée pour l'épandage pour chaque boue et le prétraitement éventuel.

Tableau 8 : Caractéristiques des produits testés, doses d'épandage préconisées et prétraitement éventuel.

	Caractéristiques				Dose d'épandage préconisée	Prétraitement
	Aspect	CRE*	Taux d'humidité	pH (KCl)		
STEP 02 : Boue compostée digérée	Compost de boue contenant des résidus ligneux	117 %	21,6 %	8,1	8 T MB/ha	Tamassage manuel à 4 mm afin d'éliminer les résidus ligneux de grande taille
STEP 07 : Boue séchée digérée	Petits granulés secs et compacts	52 %	12,6 %	12,1	4 T MB /ha	Désagrégation des granulés par agitation 24 h dans de l'eau déminéralisée (5g de boue pour 100 mL d'eau)
STEP 14 : Boue digérée	Boue noire, gros morceaux compacts	135 %	46,0 %	7,3	8 T MB /ha	Pas de prétraitement
STEP 25 : Boue digérée	Boue noire homogène	282 %	75,1 %	7,1	12 T MB /ha	Pas de prétraitement

* CRE : Capacité Rétention d'Eau (= capacité au champ)

Les substrats suivants ont été utilisés pour la préparation des mélanges :

- sol artificiel ISO (contenant 5 % de tourbe Cf annexe 7) pour la majorité des essais d'écotoxicité terrestre et la préparation des éluats,
- sable de Fontainebleau pour les essais sur *Glomus mosseae*,
- sol naturel LUFA pour les essais de nitrification.

Pour l'obtention des éluats, chaque mélange a été préparé 96 h avant la lixiviation en ajoutant la quantité nécessaire d'eau de réhydratation pour atteindre un taux d'humidité du mélange de 20 %.

Les éluats de chaque mélange ont alors été préparés selon le protocole de la norme NF EN 14735 :

- ajout d'eau déminéralisée dans un ratio de L/S 10,
- agitation rotative du mélange pendant 24 h (10 tours / min),
- centrifugation durant 30 min à 2 500 G pour séparer la phase liquide de la phase solide,
- décantation et filtration sur un filtre à 100 µm.

Pour les essais conduits avec les algues unicellulaires (*Pseudokirchneriella subcapitata*) et les bactéries (*Vibrio fischeri*), une filtration supplémentaire (0,45 µm) a été réalisée pour limiter la présence de microorganismes dans les éluats et éviter les interférences éventuelles lors des mesures.

Les éluats ont été utilisés dans les 48 h suivant leur obtention. Pour les essais de reproduction de céridaphnies, l'éluat a été généré une seule fois et conservé à 4°C pour le renouvellement des solutions au cours de l'essai.

Les caractéristiques physico - chimiques de chaque mélange et des éluats sont présentés en annexe 7.

4.2.2 Essais d'écotoxicité terrestre

Les essais d'écotoxicité terrestre conduits sur les mélanges sol / produits (1 X, 5 X et 10 X la dose d'épandage préconisée) sont décrits dans les paragraphes ci-après et récapitulés dans le Tableau 9

Essais sur vers de terre (*Eisenia fetida*)

Les essais d'évitement (NF ISO 17512-1) et de reproduction d'*Eisenia fetida* (NF ISO 11268-2) ont été conduits avec des mélanges sol / produits réhydratés à hauteur de 60 % de leur CRE, à une température de 20°C (± 2°C) et sous un cycle jour nuit de 16h / 8h.

Pour l'essai d'évitement, dix organismes ont été introduits dans un cristalliseur contenant pour moitié du mélange produits / sol artificiel et pour moitié du sol artificiel, ou deux moitiés de sol artificiel pour la condition témoin. Pour chacune des doses testées ainsi que pour le témoin, cinq réplicats ont été réalisés. A l'issue de 48 h d'exposition, le nombre de vers dans chaque compartiment a été comptabilisé, permettant ainsi de calculer le pourcentage d'évitement pour chaque condition testée.

Pour l'essai de reproduction, quatre réplicats par condition testée ont été préparés. Dix organismes adultes ont été introduits dans chaque cristalliseur et maintenus durant vingt huit jours avec un nourrissage et un maintien de l'hydratation du mélange hebdomadaire. A l'issue de ces quatre semaines, les adultes ont été retirés et les cristalliseurs ont été conservés vingt huit jours supplémentaires, avec une compensation hebdomadaire de la perte en eau du milieu. A l'issue de ces cinquante six jours d'exposition, le taux de reproduction pour chaque condition a été mesuré par la détermination du nombre de juvéniles présents par cristalliseur.

Essai de croissance racinaire (*Avena sativa*)

Les essais d'inhibition de la croissance de racines (NF ISO 11269-1) ont été conduits avec des mélanges sol / produits réhydratés à 70 % de leur CRE, à une température de 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), avec un cycle jour nuit de 16h / 8h et à un taux d'humidité constant (de l'ordre de 70 %).

Après 72 h de germination, en absence de lumière, six graines ont été plantées par pot. Trois réplicats ont été préparés pour chaque condition d'essai.

A l'issue des quatre jours d'exposition, les racines ont été mesurées et les valeurs moyennes, pour chaque condition, comparées aux valeurs mesurées en condition témoin.

Essai d'émergence et de croissance des végétaux supérieurs (*Avena sativa* et *Brassica rapa*)

Les essais d'inhibition de la croissance des végétaux supérieurs (NF ISO 11269-2) ont été conduits avec des mélanges sol / produits réhydratés à 70 % de leur CRE, à une température comprise entre 18 et 24 °C, sous une luminosité comprise entre 4200 et 6150 Lux, avec un cycle jour nuit de 16h / 8h.

Dix semences pour l'avoine et vingt semences pour la navette ont été plantées par pot et quatre réplicats ont été préparés par condition d'essai. Afin de maintenir une humidité du sol compatible avec la croissance des végétaux, les pots ont été réhydratés tous les deux à quatre jours, avec un ajout régulier d'éléments nutritifs dans l'eau de réhydratation (J8 – J12 – J16 pour la navette, J6 – J10 et J14 pour l'avoine).

Quatre à cinq jours après le semis, le nombre de plants a été réduit à cinq et à l'issue de l'essai (dix-huit jours pour l'avoine (*Avena sativa*) et dix-neuf jours pour la navette (*Brassica rapa*)), les végétaux ont été prélevés et leur biomasse mesurée et comparée à la biomasse mesurée en condition témoin.

Le pourcentage d'émergence a aussi été enregistré en comparant le nombre de graines ayant émergé au nombre de graines initialement plantées.

Essai de génotoxicité sur les végétaux supérieurs (*Vicia faba*)

Ces essais ont été réalisés selon la norme NF ISO 29200. Après une germination préalable d'environ trois jours, les graines ont été transplantées (3 par conditions d'essai) dans les mélanges sol / produits réhydratés à hauteur de 70 % de leur CRE.

A l'issue des 72 h d'exposition en phytotron (luminosité 5000 Lux, cycle jour nuit de 16h / 8h, température $24 \pm 2^\circ\text{C}$), dix racines ont été prélevées et les cellules des extrémités ont été observées afin de déterminer les taux de division cellulaire et les taux de cellules micronucléées, pour chaque condition. Ces valeurs ont été comparées aux valeurs obtenues dans la condition témoin.

Essai de germination des spores de champignons mycorrhizogènes (*Glomus mosseae*)

Ces essais ont été réalisés selon la norme XP ISO/TS 10832. Des spores de *Glomus mosseae* ont été placés entre deux membranes filtrantes et mises à germer dans des mélanges sable / produits, réhydratés à hauteur de 90 % de leur CRE. Cinq réplicats par condition d'essai ont été préparés, contenant chacun 30 spores. A l'issue d'une incubation de 14 jours à l'obscurité et à $24^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, le taux de germination a été mesuré pour chaque condition en comptabilisant le nombre de spores germées par rapport au nombre de spores retrouvées. Ces résultats ont été comparés aux valeurs obtenues dans la condition témoin.

Essai d'activité nitrifiante du sol

Ces essais ont été réalisés selon la norme NF ISO 14238. Les conditions d'essai ont été préparées en ajoutant le produits à un sol naturel (sol LUFA) aux doses préconisées. Les mélanges ont été réhydratés entre 40 et 60 % de leur CRE. Les teneurs en ammonium et en nitrate ont été mesurées, par extraction au chlorure de potassium, après une incubation de 0 – 7 – 14 et 21 jours à 20°C. Les vitesses de

transformation de l'azote ammoniacal (NH_4^+) en NO_3^- ont été calculées et comparées aux valeurs obtenues dans la condition témoin.

Tableau 9 : Essais d'écotoxicité terrestres réalisés sur les mélanges sol / produits.

Niveau trophique	Espèce	Norme	Durée de l'essai	Nature du substrat utilisé pour le mélange	Nombre d'organismes et de réplicat par condition	Critère d'effet
Consommateur primaire	<i>Eisenia fetida</i>	NF ISO 17512-1	48h	Sol artificiel (ISO)	50 / 5 réplicats	Evitement
		NF ISO 11268-2	56 jours	Sol artificiel (ISO)	40 / 4 réplicats	Reproduction
Producteur primaire	<i>Avena sativa</i> <i>Brassica rapa</i>	NF ISO 11269-1	4 jours après germination des graines	Sol artificiel (ISO)	18 / 3 réplicats	Croissance racinaire
	<i>Avena sativa</i> <i>Brassica rapa</i>	ISO 11269-2	14 jours	Sol artificiel (ISO)	20 / 4 réplicats	Emergence de graines Croissance des végétaux
	<i>Vicia faba</i>	ISO 29200	72h après germination des graines	Sol artificiel (ISO)	3 graines, 2 racines par graine / 1 réplicat	Taux de micronoyaux
Décomposeur	<i>Glomus mosseae</i>	XP ISO/TS 10832	14 jours	Sable de Fontainebleau	150 / 5 réplicats	Germination
	Bactéries du sol	ISO 14238	21 jours (mesures intermédiaires à 7 et 14 jours)	Sol naturel (LUFA)	3 réplicats	Nitrification

4.2.3 Essais d'écotoxicité aquatique

Les essais d'écotoxicité aquatique conduits sur les éluats des mélanges sol / produits (1 X, 5 X et 10 X la dose d'épandage préconisée) sont décrits dans les paragraphes ci-après et récapitulés dans le Tableau 10.

Inhibition de la luminescence de *Vibrio fischeri*

Ces essais ont été conduits selon le protocole décrit par la norme NF EN ISO 11348-3. Une suspension bactérienne de *Vibrio fischeri* (bactérie marine) a été exposée aux éluats des mélanges sol / produits sur une période de 30 minutes, à l'obscurité et à une température de $15 \pm 1^\circ\text{C}$. La diminution de la luminescence a été mesurée après 15 minutes et 30 minutes de contact. Du fait de l'ajout de la suspension bactérienne, la solution testée correspond à 80 % de l'éluat considéré.

Inhibition de la mobilité de *Daphnia magna*

Ces essais ont été conduits selon le protocole décrit par la norme NF EN ISO 6341. De jeunes daphnies (*Daphnia magna* Straus), âgées de moins de 24 h au début de l'essai, ont été exposées aux éluats des mélanges sol / produits sur une période de 48 h.

Les essais ont été réalisés à l'obscurité, à une température de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, dans des tubes à essai en verre contenant 10 mL de mélange d'essai et 5 daphnies. Quatre réplicats ont été effectués par condition d'essai. La mobilité des organismes a été observée après 24 et 48 h.

Inhibition de la croissance des algues unicellulaires (*Pseudokirchneriella subcapitata*)

Ces essais ont été conduits selon le protocole décrit par la norme NF EN ISO 8692. Les algues vertes unicellulaires (*Pseudokirchneriella subcapitata*), en phase de croissance exponentielle, ont été exposées pendant 72 h aux éluats des mélanges sol / produits. Les solutions d'essai ont été préparées en ajoutant

des solutions nutritives et un inoculum de cellules algales (environ $0,8 \times 10^4$ cellules/mL) aux éluats. Trois réplicats de 25 mL ont été effectués par condition d'essai et incubés à température et sous illumination constante ($23^{\circ}\text{C} \pm 2$; 6 000 – 10 000 lux) pendant une période de 72 h. Du fait de l'ajout de substances nutritives, la solution testée correspond à 98,7 % de l'éluat considéré.

La concentration cellulaire dans le réplicat a été déterminée par mesure de la fluorescence après 24 h, 48 h et 72 h d'incubation. Un facteur de conversion a été calculé à 72 h en utilisant la correspondance entre les mesures obtenues en fluorescence (mV) sur les témoins et les mesures obtenues au compteur de particules (cellules/mL) sur ces mêmes témoins, afin d'obtenir la concentration cellulaire dans les différents puits d'essai.

L'inhibition de la croissance a été mesurée par la réduction du taux de croissance spécifique moyen dans une série de cultures d'algues exposées à l'éluat en comparaison avec la croissance moyenne d'une série de cultures témoins, incubées dans des conditions identiques.

Inhibition de la reproduction de *Brachionus calyciflorus*

Ces essais ont été conduits selon le protocole décrit par la norme NF ISO 20666. Des femelles *Brachionus calyciflorus* âgées de moins de 2 h ont été exposées, individuellement aux éluats des mélanges sol / produits, pendant une période de 48 h.

Les essais ont été réalisés à l'obscurité, à une température de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, dans une microplaque 24 puits contenant 1,0 mL de mélange d'essai. Du fait de l'ajout de 0,1 mL de nourriture dans chaque puits (*Chlorella vulgaris*), la solution testée correspond à 90 % de l'éluat considéré. Huit réplicats ont été effectués par condition d'essai.

A la fin de l'essai, le nombre de rotifères femelles a été comptabilisé et, par comparaison avec le témoin, les pourcentages d'inhibition de la croissance de la population ont été déterminés pour chacune des conditions testées.

Inhibition de la reproduction de *Ceriodaphnia dubia*

Ces essais ont été conduits selon le protocole décrit par la norme NF ISO 20665. De jeunes cériodaphnies (*Ceriodaphnia dubia*), âgées de moins de 24 h au début de l'essai, ont été exposées aux éluats des mélanges sol / produits sur une période de 7 à 8 jours, à une température de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Dix réplicats ont été effectués par conditions d'essai.

A chaque jour ouvré, les solutions d'essais ont été renouvelées, les organismes ont été nourris (*Chlorella vulgaris*, *Pseudokirchneriella subcapitata*), le nombre de juvéniles nés et le nombre d'adultes morts ont été enregistrés. Les taux de mortalité des adultes et les pourcentages d'inhibition de la reproduction ont été calculés en comparant ces valeurs aux valeurs mesurées dans la condition témoin.

Tableau 10 : Essais d'écotoxicité aquatiques réalisés sur les éluats des mélanges sol / produits.

Niveau trophique	Espèce	Norme	Durée de l'essai	Filtration de l'éluat	Nombre de réplicat par condition	Critère d'effet
Décomposeur	<i>Vibrio fischeri</i>	NF EN ISO 11348-3	30 minutes	0,45 μm	2	Luminescence
Consommateur primaire	<i>Daphnia magna</i>	NF EN ISO 6341	48 h	100 μm	4	Mobilité
Producteur primaire	<i>P.subcapitata</i>	NF EN ISO 8692	72 h	0,45 μm	3	Croissance
Consommateur primaire	<i>Brachionus calyciflorus</i>	NF ISO 20666	48 h	100 μm	10	Reproduction
	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	NF ISO 20665	7 - 8 jours	100 μm	10	Survie Reproduction

4.3 Résultats

4.3.1 Expression des résultats

Pour tous les essais conduits sur les produits et pour chaque dose testée, les résultats ont été exprimés en pourcentage d'effet calculé par rapport à la condition témoin.

De façon générale, la conclusion relative à la significativité d'un effet défavorable lors d'un essai d'écotoxicité peut se faire :

- soit par la comparaison à un seuil établi à partir d'une expertise spécifique sur l'essai considéré, traduisant une perturbation manifeste du critère mesuré (p. ex. : le seuil de significativité biologique) ;
- soit par un traitement statistique des données conduisant à identifier la condition d'essai pour laquelle l'effet mesuré est significativement différent de la condition témoin (p. ex. : Lowest Observed Effect Concentration (LOEC) à l'issue d'une analyse de la variance (ANOVA) et d'un test post-hoc).

Dans le cadre de l'étude de développement d'un protocole d'évaluation de l'écotoxicité des matières fertilisantes organiques citée précédemment, la première option a été privilégiée, et des seuils de significativité biologique ont été déterminés sur la base de valeurs proposées par la norme¹¹ NF ISO 17616 : 2008 ou des textes normatifs spécifiques. Certaines modifications ont été apportées entre les valeurs des seuils proposées dans la norme NF ISO17616 et celles utilisées dans le développement du protocole du fait notamment de leur application sur des matrices spécifiques fertilisantes et non des sols (ou des matériaux du sol). Pour les essais non cités dans la norme ISO (croissance racinaire, vers de terre, *Glomus mosseae*), les seuils ont été proposés à partir de :

- l'expertise des laboratoires ;
- les valeurs indiquées dans d'autres normes (par exemple NF ISO 17512-1) ;
- la variabilité des modalités témoins entre les divers essais ;
- du traitement statistique de certains résultats d'essais.

Ces valeurs seuils ont été reprises pour chaque essai et sont présentées dans le Tableau 11.

L'utilisation de cette approche, par comparaison à des valeurs seuils, permet aussi une visualisation aisée des effets toxiques par essai, par un codage couleur :

- fond rouge pour toutes les réponses supérieures au seuil de toxicité
- fond vert pour toutes les réponses indiquant un effet potentiellement hormétique (effet « bénéfique » de l'apport de la boue par rapport à la condition témoin) caractérisée par une valeur négative du pourcentage d'effet et de valeur absolue supérieure à la valeur seuil (par ex : - 60 % pour une valeur seuil de 50 %)

¹¹ NF ISO 17616 : Lignes directrices pour l'évaluation des essais appliqués dans le domaine de la caractérisation écotoxicologique des sols et des matériaux du sol.

Tableau 11 : Seuils utilisés pour l'évaluation des effets toxiques des boues testées sur les systèmes d'essai

	Effets étudiés	Seuil de significativité biologique
Essais terrestres	Evitement vers de terre	60 %
	Reproduction vers de terre	50 %
	Croissance racinaire	20 %
	Emergence et croissance des végétaux	25 %
	Génotoxicité sur les végétaux supérieurs	Aucun (traitement statistique)
	Germination des spores de champignons mycorrhizogènes	20 %
	Activité nitrifiante du sol	25 %
	Essais aquatiques	Luminescence de <i>Vibrio fischeri</i>
Mobilité de <i>Daphnia magna</i>		20 %
Croissance des algues unicellulaires (<i>P. subcapitata</i>)		15 %
Reproduction de <i>Brachionus calyciflorus</i>		50 %
Survie de <i>Ceriodaphnia dubia</i>		20 %
Reproduction de <i>Ceriodaphnia dubia</i>		30 %

Dans les tableaux de résultat, les réponses supérieures au seuil de toxicité déterminé sont identifiées par un code couleur : rouge pour les dépassements du seuil et vert pour les effets d'hormèse.

4.3.2 Essais d'écotoxicité terrestre

Les résultats des essais d'écotoxicité terrestre sont présentés dans le Tableau 12 et la Figure 13.

Tableau 12 : Pourcentages d'effet mesurés lors des essais d'écotoxicité terrestre conduits sur les produits des STEP 02 – 07 – 14 et 25 à 1 X, 5 X et 10 X la dose d'épandage.

Effets étudiés	STEP 02			STEP 07			STEP 14			STEP 25		
	1 X	5 X	10 X	1 X	5 X	10 X	1 X	5 X	10 X	1 X	5 X	10 X
Evitement vers de terre	4	- 4	2	- 8	- 24	62	- 6	4	59	32	24	50
Reproduction vers de terre	- 3	41	61	18	84	100	49	64	72	- 14	53	78
Croissance racinaire	4	10	23	13	58	93	4	8	8	- 4	16	23
Croissance de l'avoine	4	7	- 1	- 10	19	45	11	3	18	5	3	18
Croissance de la navette	10	- 24	- 36	- 30	14	79	17	2	18	- 9	- 12	21
Génotoxicité sur les végétaux supérieurs	0	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Germination des spores de champignons mycorhizogènes	8	49	66	41**	100	100	14	18	21	1	36	89
Activité nitrifiante du sol	ND***	ND***	ND***	ND***	ND***	ND***	- 2	11	36	0	0	0

*Présence de cellules micronucléées mais l'hétérogénéité des résultats ne permet pas de conclure à un effet significatif.

** Taux d'inhibition de la germination supérieur à la valeur seuil mais grande hétérogénéité entre les réplicats

***Essai non approprié du fait de la production d'ammoniac par la boue en mélange avec le sol.

Pour les essais d'émergence et de croissance des végétaux supérieurs (avoine et navette), le taux d'émergence des graines, pour tous les produits et à toutes les doses, est compris entre 80 et 99 %, soit une absence totale d'effet pour ce paramètre.

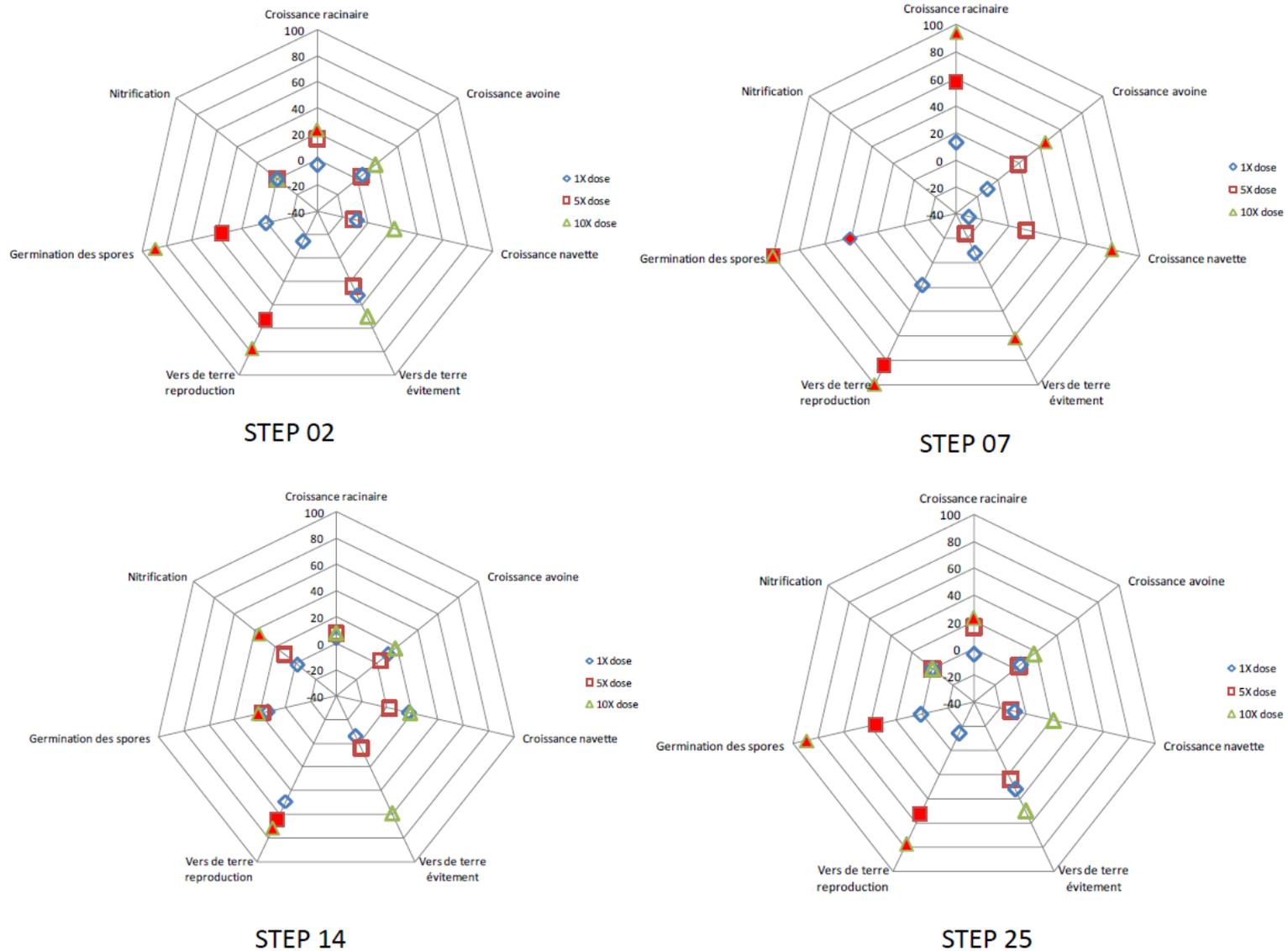


Figure 13 : Résultats des essais d'écotoxicité terrestre conduits sur les produits des STEP 02 – 07 – 14 et 25 à 1 X, 5 X et 10 X la dose d'épandage.

 Les formes pleines correspondent aux effets biologiquement significatifs, par comparaison des effets mesurés aux valeurs seuils considérées (cf Tableau 11).

➤ STEP 02 :

Des effets biologiquement significatifs ont été mesurés à partir de 5 X la dose d'épandage pour l'essai de germination des spores et à 10 X la dose d'épandage pour les essais de croissance racinaire et de reproduction des vers de terre.

Le test de génotoxicité, sur *Vicia faba*, a mis en évidence la présence de cellules micronucléées pour le mélange préparé à 10 X la dose d'épandage (entre 1 et 4 cellules pour 1 000) mais l'hétérogénéité des résultats n'a pas permis de conclure à un effet significatif.

Un effet positif de l'apport de la boue à 10 X la dose d'épandage a aussi été mesuré pour la croissance de la navette, éventuellement lié à l'apport de substances nutritive supplémentaires, malgré les apports effectués en cours d'essai.

➤ STEP 07 :

Une inhibition de la germination des spores de champignon de 41 % a été mesurée pour le mélange préparé à la dose d'épandage. Cependant, on peut noter une grande hétérogénéité entre les 5 réplicats (taux de germination mesurés entre 4 et 96 %, coefficient de variation de 81 %). Il est alors difficile de conclure quant à la significativité des effets en moyenne observés à cette dose en l'absence de renouvellement de l'essai. Pour les mélanges à 5 X et 10 X la dose, une absence totale de germination des spores a été constatée.

Pour les autres essais, des effets biologiquement significatifs ont été mesurés à partir de 5 X la dose d'épandage : croissance racinaire, reproduction vers de terre, et à 10 X la dose d'épandage : croissance des végétaux et évitement vers de terre. Un léger effet positif a aussi été mesuré pour la croissance de la navette, à la dose d'épandage.

L'essai de reproduction des vers de terre a montré une mortalité totale des organismes dès sept jours d'exposition au mélange réalisé à 10 X la dose d'épandage, et ce malgré une aération du mélange avant l'exposition.

➤ STEP 14 :

Une inhibition significative de la reproduction des vers de terre (64 %) a été mesurée à partir de 5 X la dose d'épandage. Les essais de germination des spores et d'inhibition de la nitrification des sols ont montré des effets significatifs à 10 X la dose d'épandage.

➤ STEP 25 :

Des effets biologiquement significatifs ont été mesurés à partir de 5 X la dose d'épandage pour les essais de reproduction des vers de terre et de germination des spores et à 10 X la dose d'épandage pour les essais de croissance racinaire.

Si aucune inhibition de la nitrification du sol n'a été mesurée après 21 jours, le mélange sol / produit à 10 X la dose a cependant généré un ralentissement de la nitrification par rapport au témoin, après 14 jours d'exposition.

Les résultats de ces essais d'écotoxicité terrestre mettent en évidence :

- **une absence d'effets significatifs à la dose d'épandage préconisée,**
- **des réponses significatives, pour tous les produits testés à partir de 5 X la dose d'épandage,**
- **une plus grande sensibilité des essais de croissance racinaire (essai de toxicité aiguë), de reproduction des vers de terre (essai de toxicité chronique) et de germination des spores de champignons mycorrhizogènes,**
- **une absence d'effet, pour tous les produits et toutes les doses, sur l'émergence des végétaux supérieurs et une faible réponse du paramètre croissance que ce soit de l'avoine ou de la navette (effet significatif pour une seule produit à 10 X la dose),**
- **une absence d'effet, pour l'essai de génotoxicité sur les végétaux supérieurs quelle que soit le produit testé, pour les mélanges entre 1 X et 10 X la dose d'épandage.**

4.3.3 Essais d'écotoxicité aquatique

Les résultats des essais d'écotoxicité aquatique sont présentés dans le Tableau 13 et la Figure 14.

Tableau 13 : Pourcentages d'effet mesurés lors des essais d'écotoxicité aquatique conduits sur éluats des mélanges préparés à 1 X, 5 X et 10 X la dose d'épandage avec les produits des STEP 02 – 07 – 14 et 25.

Effets étudiés	STEP 02			STEP 07			STEP 14			STEP 25		
	1 X	5 X	10 X	1 X	5 X	10 X	1 X	5 X	10 X	1 X	5 X	10 X
Luminescence de <i>Vibrio fischeri</i>	10	6	12	2	- 2	28	11	13	13	- 3	- 1	2
Mobilité de <i>Daphnia magna</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Croissance des algues unicellulaires (<i>P.subcapitata</i>)	- 6	- 4	7	- 2	- 7	0	- 4	- 1	3	1	3	5
Reproduction de <i>Brachionus calyciflorus</i>	- 100	- 68	- 100	- 69	20	- 121	- 72	- 9	- 91	- 41	- 66	- 44
Survie de <i>Ceriodaphnia dubia</i>	20	40	30	10	10	20	0	0	0	0	0	20
Reproduction de <i>Ceriodaphnia dubia</i>	- 7	- 4	- 13	36	- 3	87	51	42	12	72*	79*	- 18

* L'essai à 1 X et 5 X la dose a été conduit à deux reprises. Les résultats obtenus lors de ces deux essais sont identiques pour la dose à 1 X mais différent pour la dose à 5 X (avec une inhibition de la reproduction plus faible lors du premier essai : 13%)

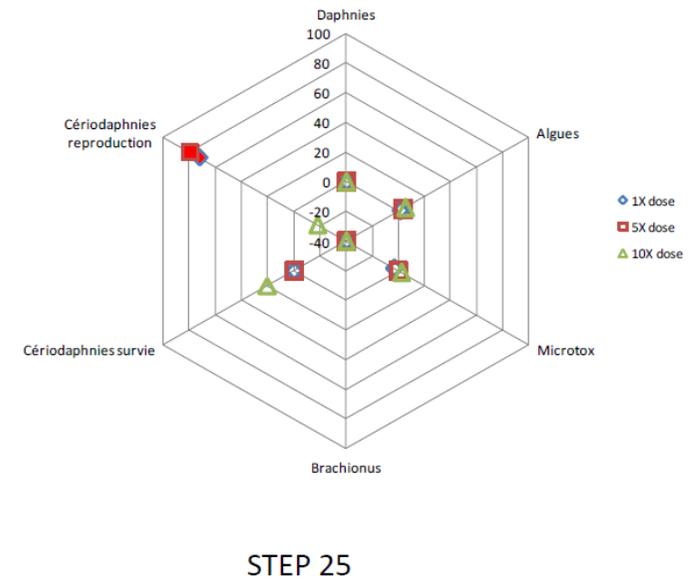
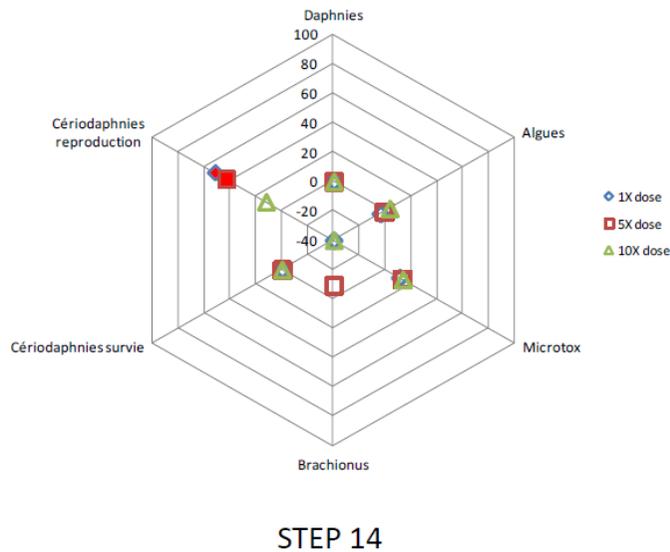
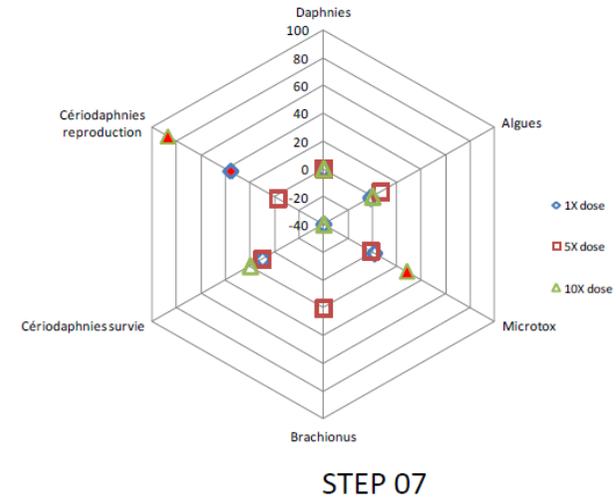
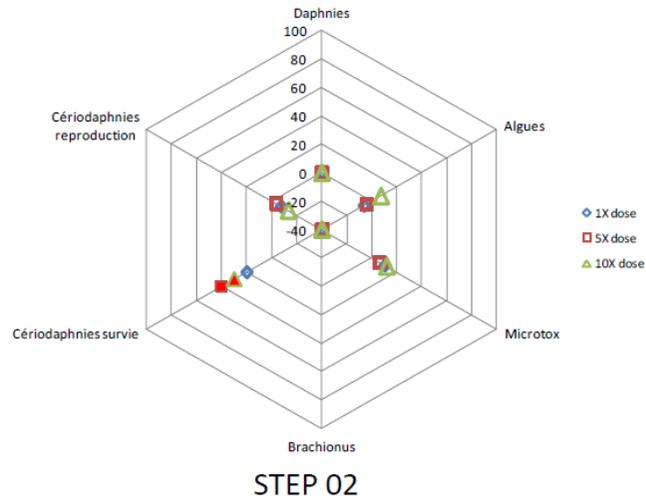


Figure 14 : Résultats des essais d'écotoxicité aquatique conduits sur éluats des mélanges préparés à 1 X, 5 X et 10 X la dose d'épandage avec les produits des STEP 02 – 07 – 14 et 25. Les formes pleines correspondent aux effets biologiquement significatifs, par comparaison des effets mesurés aux valeurs seuils considérées

Pour l'ensemble des produits testés, on constate une augmentation significative de la reproduction de *Brachionus calyciflorus* (reproduction supérieure à 50 % par rapport au témoin), augmentation indépendante des doses testées. Ce phénomène d'hormèse peut être lié à la présence de substances nutritives présentes dans les éluats des mélanges, entraînant une augmentation des pontes. Toutefois la raison de cette augmentation systématique n'a pas fait l'objet d'une recherche exhaustive. Dans le cadre de cette étude, ce test n'apparaît donc pas pertinent du fait des réponses non discriminantes obtenues pour les différents éluats.

➤ STEP 02 :

Des effets biologiquement significatifs ont été mis en évidence sur la survie des céridaphnies, avec une mortalité significative des céridaphnies adultes aux doses de 5 X et 10 X. Les autres essais n'ont pas mis en évidence d'effets significatifs.

➤ STEP 07 :

Pour ce produit, des effets significatifs ont été mis en évidence pour les essais de luminescence de *Vibrio fischeri* à 10 X la dose d'épandage et sur la reproduction des céridaphnies ont été mesurés à 1 X et 10 X la dose d'épandage préconisée. Les autres essais d'écotoxicité aquatique n'ont pas mis en évidence d'effets toxiques, à toutes les doses testées

➤ STEP 14 :

Des effets biologiquement significatifs ont été mis en évidence pour les essais de reproduction de céridaphnies, mais ces effets ne sont pas corrélés aux doses d'exposition, avec une inhibition plus importante pour les mélanges à 1 X et 5 X la dose que pour les mélanges à 10 X la dose, sans explication évidente.

Les autres essais d'écotoxicité aquatique n'ont pas mis en évidence d'effets toxiques, à toutes les doses testées

➤ STEP 25 :

Des effets significatifs sur la reproduction des céridaphnies ont été mesurés pour ce produit à la dose d'épandage et à 5 X la dose d'épandage. Après renouvellement de cet essai, le même résultat a été obtenu pour la dose d'épandage, mais une absence d'effet significatif a été constatée à 5 X la dose d'épandage. Pour les autres essais d'écotoxicité aquatique, aucun effet significatif n'a été mesuré.

Les résultats de ces essais d'écotoxicité aquatique, réalisés sur des éluats mettent en évidence :

- **une très faible sensibilité des essais de luminescence de *Vibrio fischeri*, de mobilité de *Daphnia magna* et de croissance de *Pseudokirchneriella subcapitata*,**
- **une augmentation significative des pontes de *Brachionus calyciflorus*, qui semble liée à la présence d'éléments nutritifs dans les éluats. Cette augmentation ayant été observée pour tous les produits testés et presque toutes les doses testées, cet essai ne peut être considéré comme discriminant,**
- **une réponse significative des essais de reproduction de *Ceriodaphnia dubia* pour 3 des 4 produits à 1X la dose et une réponse significative des essais de survie de *Ceriodaphnia dubia* pour un produit à 5 et 10X la dose. Toutefois, les effets significatifs mesurés ne sont pas apparus corrélés aux doses d'essais, ce qui rend difficile l'interprétation des résultats de cet essai.**

4.4 Discussion

La caractérisation de l'écotoxicité des produits, en utilisant des essais sur les compartiments terrestre et aquatique est une approche complémentaire aux caractérisations chimiques et bioanalytiques. Pour cette étude, 11 des 13 essais d'écotoxicité sélectionnés dans le cadre de la convention 09-75-C0061 ont été réalisés et l'essai d'inhibition de la reproduction de céridaphnie, a été ajouté afin d'évaluer son applicabilité à ce type de matrices. Les mêmes seuils de significativité biologique ont été utilisés.

Tableau 14 présente les doses minimales pour lesquelles des effets biologiquement significatifs ont été mesurés ainsi que le pourcentage d'effet à cette dose.

Pour une facilité de lecture, un code couleur a été utilisé :

- case bleue : effets significatifs mesurés pour des essais conduits avec un mélange, ou un éluat, préparé à 5 X la dose d'épandage ;
- case orange : effets significatifs mesurés pour des essais conduits avec un mélange, ou un éluat, préparé à 10 X la dose d'épandage ;
- case blanche, (> 10 X), essais conduits avec un mélange, ou un éluat, préparé à 10 X la dose d'épandage pour lesquels aucun effet significatif n'a été mesuré.

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des doses minimales présentant des effets significatifs pour les essais d'écotoxicité aquatique et terrestre.

		STEP 02	STEP 07	STEP 14	STEP 25
Essais terrestres	Evitement vers de terre	> X 10	X 10 (62 %)	> X 10	> X 10
	Reproduction vers de terre	X 10 (61 %)	X 5 (84 %)	X 5 (64 %)	X 5 (53 %)
	Croissance racinaire	X 10 (23 %)	X 5 (58 %)	> X 10	X 10 (23%)
	Croissance navette	> X 10	X 10 (79 %)	> X 10	> X 10
	Croissance avoine	> X 10	X 10 (45 %)	> X 10	> X 10
	Génotoxicité sur les végétaux supérieurs	> X 10	> X 10	> X 10	> X 10
	Germination des spores de champignons mycorrhizogènes	X 5 (49 %)	X 5 (100 %)	X 10 (21 %)	X 5 (36 %)
	Activité nitrifiante du sol	ND*	ND*	X 10 (36 %)	> X 10
Essais aquatiques	Luminescence de <i>Vibrio fischeri</i>	> X 10	X 10 (28 %)	> X 10	> X 10
	Mobilité de <i>Daphnia magna</i>	> X 10	> X 10	> X 10	> X 10
	Croissance des algues unicellulaires (<i>P.subcapitata</i>)	> X 10	> X 10	> X 10	> X 10
	Reproduction de <i>Brachionus calyciflorus</i>	> X 10	> X 10	> X 10	> X 10
	Survie de <i>Ceriodaphnia dubia</i>	X 5 (40 %)	> X 10	> X 10	> X 10
	Reproduction de <i>Ceriodaphnia dubia</i>	> X 10	Effet à 1 (36 %) et 10 X la dose (87 %)	Effet à 1 (51 %) et 5 X la dose (42 %), pas d'effet à 10 X la dose	Effet à 1 (72 %) et 5 X la dose (79 %), pas d'effet à 10 X la dose

*Essai non approprié du fait de la production d'ammoniac par l'échantillon
Ces résultats permettent d'identifier les points suivants :

- Concernant le compartiment terrestre,

Pour les essais sur végétaux,

- une réponse des essais de croissance racinaire pour trois des quatre produits à 5 X ou 10 X la dose d'épandage préconisée ;
- une sensibilité moindre des essais de croissance des parties aériennes (réponse pour un produit, à 10 X la dose d'épandage) ;
- une absence de sensibilité du paramètre émergence ;
- une absence de réponse du test de génotoxicité sur *Vicia Faba*.

Pour les essais sur vers de terre,

- une meilleure sensibilité de l'essai reproduction par rapport à l'essai d'évitement, avec des réponses significatives pour tous les produits (à partir de 5 X la dose d'épandage pour trois produits sur quatre).

Pour les essais sur microorganismes,

- une sensibilité significative du test de germination de *Glomus mosseae* (conduits avec des mélanges préparés avec du sable de Fontainebleau) ; et
- une limitation des essais d'activité nitrifiante des sols dans le cas d'échantillons produisant naturellement de l'ammoniac (deux produits sur quatre).

➤ Concernant le compartiment aquatique,

- une absence de réponse entre les doses et entre les produits pour les essais sur daphnies, algues et rotifères ;
- des résultats atypiques pour les essais de reproduction de céridaphnies ne permettent pas de considérer ce test d'écotoxicité aquatique comme adéquat pour l'évaluation de l'écotoxicité des produits.

➤ En considérant l'ensemble des essais aquatiques et terrestre, on constate aussi :

- une absence d'effets significatifs à la dose d'épandage pour les produits ;
- des réponses significatives, pour tous les produits, à 5 X et 10 X la dose d'épandage pour au moins un essai de la batterie testée ;
- une relative homogénéité des réponses des essais terrestre pour la STEP 07.

Lors des travaux conduits dans le cadre de la convention 09-75-C0061, en utilisant une batterie d'essai similaire, des effets à 5 X et 10 X la dose d'épandage préconisée avaient été identifiés pour des matrices similaires (boue chaulée, boue de papeterie, fumier) et ce particulièrement pour les essais de croissance des végétaux supérieurs (avoine et navette). Une moindre sensibilité des essais indirects (sur éluats) avait aussi été identifiée.

Une batterie de 5 tests, considérés comme les plus sensibles, avait alors été proposée pour l'évaluation de l'écotoxicité des matières fertilisantes, pour des mélanges à 1 X, 5 X et 10 X la dose agronomique :

- Croissance des parties aériennes des végétaux supérieurs ;
- Evitement vers de terre ;
- Germination de *Glomus mosseae* ;
- Activité nitrifiante ;
- Croissance des algues.

En considérant les résultats de la présente étude, cette batterie de test pourrait être modifiée en ajoutant l'essai de croissance racinaire et en proposant un essai de reproduction vers de terre (essai de toxicité chronique), en remplacement de l'essai d'évitement. Toutefois, ces préconisations sont réalisées à partir d'un nombre limité d'échantillons, ce qui peut conduire à moduler le poids des conclusions.

La recommandation d'essais sur microorganismes ne doit toutefois pas masquer les limitations identifiées au cours étude et rappelées ci-dessous :

- la préparation de mélange dans du sable, et non un sol, pour l'essai de germination de *Glomus mosseae* ;
- l'absence de pertinence de l'essai de mesure de l'activité nitrifiante dans le cas de matières fertilisantes dégageant naturellement de l'ammoniac.

Enfin, l'observation d'effets réguliers dès 5 X la dose d'épandage conduit à s'interroger sur le choix des doses. Afin d'affiner les réponses, des doses intermédiaires (2 X, 3 X) pourraient être considérées dans le cadre de la stratégie d'évaluation de l'écotoxicité des matières fertilisantes.

5. Conclusion du chapitre III

La caractérisation grâce aux analyses chimiques a été menée pour 56 substances non pharmaceutiques et 33 substances pharmaceutiques (sur les 114 substances organiques sélectionnées). Les valeurs de concentrations médianes des substances non pharmaceutiques quantifiées dans les produits sont au maximum de l'ordre du $\mu\text{g/g}$ de matière sèche (sauf pour les cholestènes). Pour les pharmaceutiques, les médianes de concentrations varient de quelques ng/g MS à 500 ng/g MS (pour l'ofloxacine). Les antibiotiques sont les substances pharmaceutiques les plus concentrées dans les produits analysés et varient dans le temps (entre hiver et été).

En complément de ces analyses, les essais bioanalytiques révèlent la présence de composés ayant une activité oestrogéniques et dioxin-like. Ces activités peuvent être partiellement expliquées par les molécules quantifiées dans la partie caractérisation chimique.

Des essais d'écotoxicité, qui permettent de mieux caractériser les effets de l'ensemble des composants des produits, ont été menés à différentes doses sur des organismes terrestres et aquatiques. Il n'est pas observé d'effet à une fois la dose d'épandage (sauf pour les résultats atypiques pour les essais de reproduction de céridaphnies mais dont l'interprétation est difficile, cf. 4.4 « compartiment aquatique »). Des effets peuvent être observés pour les doses supérieures.

IV. Détermination expérimentale des paramètres persistance et transfert vers les végétaux pour l'évaluation des risques sanitaires

1. Contexte et objectifs

Le potentiel de dégradation, de lessivage et de volatilisation des substances introduites via l'épandage de boues ou de compost de boues dans le système sol-grandes cultures, conditionne leur persistance dans l'environnement. De même, le potentiel de transfert, de ces mêmes substances, à partir du sol vers les végétaux, conditionne leur présence éventuelle dans les organes consommés par l'homme, et par conséquent leur transfert vers l'homme. La connaissance de ces paramètres de persistance des substances dans le sol agricole et de transfert vers les végétaux est essentielle pour progresser dans l'estimation du risque sanitaire.

Dans ce contexte et, au regard des substances étudiées, il convient de mieux appréhender leur comportement dans les sols agricoles amendés par des boues et les composts de boues. Quelques études européennes sont disponibles à ce sujet. C'est le cas d'une récente étude danoise traitant des risques sanitaires associés à l'épandage de boues issues du traitement des eaux (Ministère danois de l'Environnement, 2012). En France, l'intérêt porté aux substances organiques émerge, mais les données restent lacunaires quant à leur persistance dans le sol et leur assimilation par les végétaux, d'autant plus lorsque les expérimentations reposent sur des sols dopés (c'est-à-dire expérimentalement enrichie par la substance à étudiée et aboutissant à une concentration très supérieure à celle couramment observée). Ainsi, peu de données sont disponibles pour mener à bien une évaluation des risques sanitaires, notamment pour les substances à usage pharmaceutique. Le projet ARMISTIQ¹² - Amélioration de la réduction des micropolluants dans les stations de traitement des eaux usées domestiques - a contribué à une meilleure connaissance de la présence des substances émergentes dans les boues et des effets des différents procédés de traitement sur leur devenir. Les résultats présentés en 2014 apportent une quantification des substances « émergentes » dans les boues françaises telles que les alkylphénols, les organo-étains, les PBDE confirmant la persistance de ces familles à l'issue des différentes filières de traitement.

En vue d'approfondir les connaissances, des études expérimentales ont été menées afin d'évaluer d'une part, les capacités de transfert du sol vers les parties végétales consommées et d'autre part, la persistance dans le sol. Ces caractéristiques peuvent être appréciées par la détermination de deux paramètres qui constituent des paramètres clés dans la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires.

Ces deux paramètres clés sont :

- **Facteur de bioaccumulation** qui est le rapport de la concentration mesurée dans le végétal (ng/kg MS) sur celle mesurée dans le sol (ng/kg MS). Il exprime la capacité d'une substance à migrer du sol vers le végétal cultivé, et dans le cas présent vers les organes réellement consommés par l'homme. L'abréviation BCF (*bio-concentration factor*) sera employée dans le reste du document.

Dans le cadre de la présente étude, il est établi 3 types de BCF en raison du type d'essais menés :

- BCF_{expérimental} déterminé en conditions contrôlées dans une enceinte de culture, il correspond au transfert racinaire puis foliaire des substances ;
- BCF_{global} issu des essais réalisés en plein champ. Outre le transfert racinaire/foliaire, il prend aussi en compte les dépôts atmosphériques, les émissions issues du machinisme agricole, les intrants via l'irrigation ou les traitements directs le cas échéant...);
- BCF_{estimé} en cas de quantification dans le végétal de la substance et de sa « non-quantification » dans le sol amendé. Dans une approche conservatrice en termes de risque sanitaire, il est quand même considéré un transfert dans le végétal à partir du sol, en prenant en compte la LQ de la substance dans le sol. Ce BCF est calculé aussi bien pour les expérimentations en plein champ que pour celles en conditions contrôlées.

Outre la détermination expérimentale du BCF par culture de végétaux sur des sols, le BCF peut être estimé de manière empirique (approche de Briggs et al., 1982 et 1983) à partir d'équations simples. Ces équations sont basées sur le coefficient de partition eau-octanol Kow de la substance concernée et sur la concentration de la substance dans le sol (Travis et Arms, 1988) ou dans la solution du sol. Ce coefficient peut être déterminé expérimentalement ou par calcul, le Kow étant le rapport de la concentration à l'équilibre d'un composé entre une phase aqueuse et une phase

¹² Voir sur : <http://armistiq.irstea.fr/>

octanol. La polarité d'un composé influe sur sa capacité à être fixé par la matière organique du sol, et est directement reliée à Kow.

L'équation empirique ci-dessous est celle de Travis et Arms, 1988. Elle n'est pas, par exemple, applicable pour estimer le transfert des substances vers les tubercules comme les pommes de terre, pour lesquels il est recommandé d'utiliser l'équation empirique reposant sur la concentration de la substance dans la solution du sol. L'équation dispose d'un domaine de validité par rapport à la valeur logKow (élargi par Wersluijs, 1998) qui est précisé :

$$\log BCF_{\text{Kow}} = 1,588 - 0,578 \times \log Kow$$

domaine de validité : $1,15 < \log Kow < 9,35$

Outre la simplicité de l'équation, la détermination du BCF à partir du Kow montre ses limites puisque ce dernier est identique pour toutes les espèces végétales et ce quelque soit l'organe consommé (feuille, racine, fruit, tige) et quel que soit le sol ayant servi de support pour la culture.

Le transfert sol-plante des substances reste lié à la capacité de prélèvement par le système racinaire et de transfert vers les organes consommés par l'homme. Il est ainsi dépendant de l'espèce végétale mais aussi des propriétés intrinsèques de la molécule, des caractéristiques pédologiques du sol, des interférences avec d'autres composés et des conditions de croissance. Ainsi suivant les substances et les végétaux, il est courant d'obtenir des BCF inférieurs à 1 mais pouvant aussi atteindre la dizaine ou la centaine d'unité.

- **Persistance dans le sol** qui reflète l'évolution des concentrations des substances dans le sol en fonction du temps. La persistance d'une substance repose sur sa capacité à ne pas subir des phénomènes tels que la (bio)dégradation, la photolyse, l'hydrolyse, la lixiviation, la volatilisation... Même si le terme de persistance est plus approprié que celui du temps de demi-vie au vu de la typologie de l'expérimentation menée, les deux termes sont employés dans ce chapitre. La persistance des substances dans les sols amendés a été étudiée en conditions climatiques réelles et soumise aux dépôts atmosphériques. Quant au « temps de demi-vie », à savoir le temps nécessaire pour abattre la concentration initiale d'un facteur 2, il est communément obtenu sur des sols incubés à paramètres constants (température, humidité...) et à l'obscurité, conditions éloignées de ce qui peut s'observer en plein champ. C'est toutefois le temps de demi-vie qui sera calculé pour refléter la persistance des substances dans le sol.

Le temps de demi-vie d'une substance, $T_{1/2}$, est calculé en tenant compte du facteur de décroissance λ qui est déduit de l'équation illustrant la diminution de sa concentration initiale en fonction du temps, avec C_t : concentration à l'instant t et C_0 concentration initiale dans le milieu :

$$dC / dt = - \lambda \cdot C \text{ qui s'intègre en } \ln (C_t / C_0) = - \lambda \cdot t$$

λ est la solution graphique (= coefficient directeur) de l'équation du premier ordre

$$y = - \lambda \cdot t + b \text{ et } T_{1/2} = \ln 2 / \lambda,$$

avec dC/dt la dérivée de la concentration par rapport au temps

Le temps de demi-vie est estimé dans le cadre de la présente étude sur la base des données obtenues sous conditions climatiques réelles. Il tient compte des propriétés intrinsèques de la substance, mais aussi des caractéristiques pédologiques du sol, de l'activité microbienne, des conditions météorologiques, du taux d'humidité des sols...



La détermination expérimentale du **transfert dans les végétaux et de la persistance dans les sols agricoles**, pour les substances apportées par les boues, s'est faite dans le respect du **ratio agronomique d'épandage**, à savoir la quantité de boue en matière fraîche par hectare communément appliquée en France. Ce respect assure une cohérence avec l'utilisation de ces deux paramètres dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires attribuables à l'épandage des boues et des composts de boues.

Les **substances étudiées** dans le présent chapitre sont celles retenues à l'issue des étapes précédentes et analysées dans les boues (soit 114 substances organiques - voir chapitre précédent). Elles sont réunies en 10 groupes dans le présent chapitre : organo-étains (OTC), anilines chlorées, phénols, perfluoroalkylés

(PFOA/PFOS), polybromodiphényléthers (PBDE), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP inclus les HAP alkylés), composés organiques volatils (COV), produits hygiène et soins (cholestènes et galaxolide), alkylphénols et pharmaceutiques. Les substances pharmaceutiques sont réunies dans un seul groupe, indépendamment de leur action thérapeutique. Dans ce groupe, neuf substances initialement analysées dans les boues ne l'ont pas été ni dans les sols ni dans les végétaux en raison de leur non détection ou des très faibles concentrations obtenues. En parallèle, 4 substances non analysées (et non sélectionnées) dans les boues initialement ont été introduites dans le programme analytique (ketoprofen, atenolol, triméthoprim, triclocarban). Ces substances ont pu être quantifiées en plus pour des raisons techniques.

Les substances étudiées sont listées en annexe 3.

2. Mise en place des expérimentations

Considérant que le BCF est dépendant, en l'occurrence, du végétal, de ses conditions de croissance et des caractéristiques pédologiques du sol, et afin de s'affranchir de certains facteurs (dépôts atmosphériques...), deux types d'expérimentations ont été réalisés :

- en conditions réelles, à savoir sur des parcelles en plein champ (3 espèces végétales), et
- en conditions contrôlées (enceinte de culture). Dans ce cas, au regard des contraintes de l'enceinte de culture, une seule espèce a été étudiée.

En vue de se rapprocher des conditions réelles de dégradation, l'expérimentation relative à la persistance des substances émergentes a été menée en conditions climatiques non contrôlées (colonne de sol placée à l'extérieur). Une seule typologie de sol a été testée, à ce stade.



Dans le cadre de cette étude, la **persistance** a porté uniquement sur les substances « mères », aucun suivi ou analyse n'a été réalisé sur les éventuels métabolites, produits de dégradation.

2.1 Sélection des produits testés

En vue de sélectionner trois boues destinées à chacune des expérimentations, les critères suivants ont été considérés :

- « couvrir » le maximum de substances retenues à l'issue de la caractérisation et de la quantification analytique (voir 22 chapitre III.2) ;
- présenter les concentrations les plus élevées en vue de l'évaluation des risques sanitaires ;

Les boues retenues sont issues des STEP 7, 14 et 25 pour les expérimentations réalisées à l'INERIS (BCF en enceinte de culture et persistance), et issues des STEP 7, 14 et 20 pour l'expérimentation en plein champ (BCF). Ces choix ont été validés en COPIL.

Les teneurs en substances des 4 boues retenues sont comprises entre 12 et 322 µg/g MS¹³. La répartition des groupes de substances pour chacune des boues est illustrée en Figure 5 et Figure 6. Le détail de la composition des boues est inséré en annexe 5 et 6.

2.2 Expérimentations en plein champ – transfert dans les végétaux

Le choix des cultures a été réalisé par le COPIL et en accord avec le COTEC. Ce choix s'est porté sur les grandes cultures (blé, maïs, colza) susceptibles d'être épandues. Trois végétaux sont ainsi retenus en maintenant une diversité dans la nature de l'organe consommé par l'homme ou le bétail : blé d'hiver (grain - céréale), colza d'hiver (grain -oléagineux) et pomme de terre (tubercule). De ce choix découle la sélection des parcelles au plus près du site de l'INERIS, à savoir dans la moitié nord de la France.

En plein champ, trois boues (STEP 7, 14 et 20) et trois végétaux ont été testés (sur la base de 4 parcelles agricoles par végétal) soit un total de 12 échantillons de sol-végétaux. A chaque boue est associé un végétal (blé- STEP 14 et pomme de terre- STEP 7), excepté pour le colza cultivé sur sol amendé avec STEP 14 (3 parcelles) ou STEP 20 (1 parcelle).

Le maraichage et les cultures particulières de fruits et de légumes n'ont pas été considérés ici car ces types de cultures représentent une part marginale de l'épandage (2% environ).

¹³ Somme des concentrations de toutes les substances d'intérêt excepté les cholestènes qui affichent des concentrations en mg/g (facteur 1 000)

2.3 Prélèvements des échantillons de sol et de végétaux sur parcelles

En avril 2013, pour chacune des parcelles agricoles, un échantillon composite de sol remanié (horizon 0 à 30 cm) a été collecté au début du développement de la végétation, afin d'obtenir la concentration initiale des substances dans le sol. Pour des raisons techniques, ces prélèvements n'ont pas été réalisés à l'issue de l'épandage ou au semis. Ainsi 8 à 9 mois se sont écoulés entre l'épandage de boues et le prélèvement de sol.

L'échantillon composite (d'environ 1 kg) est constitué selon les méthodes usuelles d'homogénéisation à partir des 5 échantillons ponctuels répartis dans un carré de 100 m² dont les angles ont été géoréférencés.

Au moment de la moisson, et au droit de chaque carré précédemment défini, une récolte des végétaux arrivés à maturité, a été pratiquée par l'agriculteur lui-même avec le machinisme usuellement employé. Les prélèvements des grains de colza et de blé ont donc été réalisés entre juillet et août 2013, et ceux des pommes de terre, au mois d'octobre 2013.

➤ Calcul du BCF

Au total 12 échantillons de terre et 12 échantillons de végétaux ont été analysés, afin de déterminer les concentrations des substances dans chaque matrice et estimer le BCF des substances par les végétaux. La culture de plein champ étant soumise aux conditions climatiques, aux traitements phytosanitaires usuels et aux méthodes de récolte de l'exploitant, le BCF calculé est considéré comme un BCF *global*.

2.4 Expérimentations en conditions contrôlées – transfert dans les végétaux et persistance dans les sols

Les deux autres expérimentations ont été menées à l'INERIS, Verneuil en Halatte (60 - Picardie).

2.4.1 Sélection et caractéristiques du sol agricole

➤ Sol agricole

Le sol utilisé pour les expérimentations en conditions contrôlées (culture en enceinte et étude de la persistance) est issu d'une parcelle agricole sélectionnée en raison de sa proximité par rapport au site de l'INERIS et de son usage agricole (grandes cultures). Prélevé en mars 2013 sur une épaisseur de 0 à 30 cm, le sol correspond à l'horizon labouré.

L'historique de la parcelle en termes de culture et d'application de phytosanitaires, est renseigné dans le Tableau 15. Le dernier épandage date d'août 2011 et consiste en l'application de compost au ratio de 8t MF/ha.

Tableau 15 : Historique de la parcelle sur les 2 années précédentes

Cultures antérieures	Produits phytosanitaires (nom commercial)	Date d'application
Orge d'hiver	Chlortocide 3L/ha (chlortoluron 500g/L) + Carat (diflufénicanil 100g/L + flurtamone 250g/L)	9/11/2010
Maïs	Elumis 0,8L/ha (mésotrione 75 g/L + nicosulfuron 30g/L) + Peak 7g/ha (Prosulfuron 75 g/kg)	26/05/2012
	Callisto 0.55L/ha (mésotrione 100g/L) + Emblem 0,55kg/ha (bromoxynil 20%)	22/06/2012
Les fiches de données de sécurité des produits appliqués précisent le nom de la matière active et l'emploi de tensioactifs pour faciliter l'aspersion des produits mais aucun alkylphénol de type nonylphénol n'y est mentionné		

Le sol agricole retenu est un sable limoneux (59,6% sables, 32,6 % limons et 6,1 % argiles), affichant un pH neutre. Il a été préalablement tamisé à 1 cm.

Les teneurs en eau et matière sèche (TMS) ont été mesurées par l'INERIS en mars 2013 après égouttage du sol agricole à 25°C, selon un protocole interne « Matrices solides – Teneur en eau » établi d'après la norme NF ISO 11465¹⁴. La capacité au champ (selon la norme NF ISO 11274) et la masse volumique apparente (méthodologie non renseignée) ont été déterminées par SAS Laboratoire. Le Tableau 16 renseigne ces différents paramètres.

Tableau 16 : Caractéristiques du sol agricole

Paramètres	Valeur
Taux de matière sèche (TMS)	90,6%
Teneur pondérale en eau	10,3%
Capacité au champ	21,7%
pH à l'eau	7,7
Matière organique	1,4 %
Masse volumique apparente	1 300 kg/m ³

Pour chacune des expérimentations, le sol agricole sans ajout de boue constitue une modalité « témoin ».

➤ Sol agricole « amendé » par les boues

Les boues ont été apportées au sol agricole sur la base des ratios agronomiques appliqués sur les parcelles de plein champ. Ces derniers ont été transmis par les exploitants des stations de traitement et/ou de plateformes de boues et de compostage. Les tableaux ci-dessous présentent, pour les boues sélectionnées, les doses moyennes de boues en matière fraîche (MF) appliquées en tonne par hectare sur les 12 parcelles suivies (Tableau 17). Le Tableau 18 précise les quantités introduites dans le cadre des expérimentations afin de respecter au mieux ces ratios agronomiques.

Tableau 17 : Ratios agronomiques appliqués sur les 12 parcelles en plein champ

Type de culture	N° des STEP	Codification parcelle	Ratio boues (t MF/ha)
Pomme de Terre	STEP 7	AL-015	4,3
		AN-001	3,8
		AL-023	4,3
		AL-024	3,6
Colza	STEP 14	001	6,7
		Q	9,7
		023	6,7
	STEP 20	11-04	10,9
Blé	STEP 14	1	7,9
		007	8,4
		I	6,1
		001-Maignelay	8,2

¹⁴ Norme NF ISO 11465 « Qualité du sol – Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et en eau »

Tableau 18 : Ratios appliqués pour les expérimentations contrôlées

Boues	Ratio agronomique (t MF/ha)	Quantité boue / bac ou colonne (g MF)
STEP 7	4	38,5
STEP 14	8	76,9
STEP 25	12	115,4

La quantité de sol dans les colonnes ou les bacs de culture est précisée dans les paragraphes suivants.

2.4.2 Protocole expérimental - transfert dans les végétaux (enceinte de culture)

L'expérimentation de transfert vers les végétaux, d'une durée d'environ 7 mois, a été réalisée dans l'enceinte de culture de l'INERIS. Cette enceinte permet de réguler la température, l'humidité de l'air et le cycle jour/nuit. Cet essai en conditions contrôlées permet de s'affranchir notamment des dépôts atmosphériques et des émissions issues du machinisme agricole (voir Figure 15).

➤ Variété de blé étudiée

Il a été choisi un blé tendre de printemps de la variété « Togano » afin de s'affranchir d'une étape de vernalisation obligatoire en cas de la sélection d'un blé d'hiver. Le Tableau 19 reprend les données issues de la fiche technique de la société productrice.

Tableau 19 : Synthèse de la fiche technique de la variété de blé Togano

Alternativité	Alternatif à Printemps
Productivité	60 quintaux/ha
PMG moyen	45 g
Hauteur	Courte
Densité de semis	350 à 450 grains / m ²
Maladies	Peu sensible

PMG : poids moyen de 1000 grains

➤ Mise en œuvre du dispositif expérimental

Au total, 3 boues ont été testées (boues identiques à l'étude de la persistance) sur la base de 3 réplicats par boue. Un témoin, constitué uniquement du sol agricole (sans apport de boue), est cultivé afin de contrôler la cinétique de croissance et la biomasse produite.

Le blé est cultivé dans des bacs PVC de dimension 37 x 27 cm (hauteur totale : 32 cm), contenant la même proportion de sol, eau et boue que dans les colonnes (environ 41 kg de mélange), en respectant le ratio agronomique présenté dans le Tableau 18. Un réplicat est constitué de 2 bacs de culture. Une phase de pré-gonflement des grains a été réalisée 24 h avant le semis (mise en contact des grains de blé avec de l'eau déminéralisée sur du papier absorbant). Les grains de blé pré-gonflés ont été placés à environ 2 cm de profondeur. La densité de semis a été définie à environ 400 plantes/m² soit 39 pieds par bac, plantés sur 6 lignes de 7 et 6 pieds chacune. Le mélange sol-boue est maintenu entre 50 et 80 % de sa capacité au champ par un arrosage quotidien avec de l'eau filtrée sur charbon actif.

Enfin, sur la base du potentiel agronomique du sol agricole et de la boue ainsi que des besoins du blé, une fertilisation chimique complémentaire en azote est effectuée selon les recommandations du fournisseur, au stade « 3 feuilles » à hauteur de 65 unités, « plein tallage » (60 unités) et « gonflement » (55 unités). L'azote a été apporté sous forme de solution de sels de laboratoire (nitrate d'ammonium, NH₃NO₄). La terre agricole apportant suffisamment de phosphore par rapport au besoin du blé, aucune fertilisation phosphatée n'a été nécessaire. Les bacs témoins ont été fertilisés dans les mêmes proportions.

➤ Conditions opératoires

Les bacs de culture sont placés dans une enceinte de culture où les paramètres de température, cycle jour/nuit et humidité de l'air sont contrôlés. Les valeurs appliquées sont renseignées dans le Tableau 20.



T+1 mois



T+3 mois



T+6 mois

Figure 15 : Présentation de l'enceinte de culture

Tableau 20 : Paramètres des conditions contrôlées pour la culture du blé alternatif

	Cycle jour	Cycle nuit	Commentaires
Photopériode – T0	9 h	15 h	
T0 + 2 semaines	12 h	12 h	
T0 + 5 mois	14 h	10 h	
Irrigation	Maintien entre 50 et 80% de la capacité au champ Arrêt de l'irrigation au stade grain pâteux (30 à 40 jours après floraison)		
Humidité Air	70%		
Température Air			
T0	18°C	16°C	Une consigne de température de 20°C le jour conduit à une température de 25°C environ sous les lampes au niveau de l'extrémité des tiges
T0 + 2 semaines	20°C	16°C	
T0 + 5 mois	20°C	20°C	

2.4.3 Protocole expérimental – persistance dans le sol (colonne de sol)

Le plan expérimental repose sur l'utilisation de colonnes de sol permettant le suivi des concentrations des substances dans un sol agricole amendé par des boues sur une période de 5 mois, du 17 mai au 15 octobre 2013. Cette durée est calée sur la durée moyenne d'un cycle de croissance pour les grandes cultures (hormis les variétés d'hiver).

En parallèle à ce dispositif, ont été collectées les eaux de lixiviation en partie basse des colonnes ainsi que les dépôts atmosphériques sur un support spécifique.

➤ Mise en œuvre du dispositif expérimental

La persistance dans le sol des substances présentes dans les boues est déterminée en conditions climatiques réelles sur un mélange boue-sol agricole selon les ratios agronomiques. Chaque mélange boue-sol a été placé dans des colonnes de sol en PVC (3 réplicats par modalité). Ouverte vers le haut et disposant d'un fond, chaque colonne est munie d'un orifice au fond qui permet l'évacuation et la récupération des eaux météoriques (lixiviats). Un témoin correspondant au sol agricole sans ajout de boues est aussi mis en œuvre (3 réplicats) afin de mettre en évidence un éventuel apport atmosphérique de substances organiques entre le début et la fin de l'expérimentation.

Chaque colonne est remplie (de bas en haut) avec un tissu fin, du sable grossier et environ 38 kg de mélange boue-sol. Au total, 12 colonnes sont placées à l'extérieur sur une plate-forme de l'INERIS dédiée, et disposées aléatoirement sur 4 rangées. La surface des colonnes a été maintenue manuellement « sans végétation » (suppression des adventices).



Mises en place des 12 colonnes de sol sur 4 rangées



Collecte des lixiviats sous les colonnes dans des flacons de 1 L recouvert de papier aluminium



Jauge owen dédiée à la collecte des dépôts atmosphériques

Figure 16 : Dispositif de l'étude de persistance en colonnes de sol

➤ Prélèvement des échantillons de sol

Tous les mois sur une durée totale de 5 mois, un échantillon composite de terre de 600 g est réalisé à partir des 3 réplicats pour chacune des 3 boues. Sur chaque colonne, le sous-échantillon est prélevé à l'aide d'une tarière sur la totalité du profil. Le trou est rebouché par un tube en PEHD bouché en vue d'éviter un écoulement préférentiel des eaux météoriques. Sont analysés les deux temps T0 et T+5mois sur la modalité témoin en plus des 15 prélèvements de sol amendé (5 temps x 3 boues).

➤ Suivi des conditions climatiques et des apports extérieurs

- Météorologie et lessivage

Des dispositifs pour le suivi des conditions climatiques et des paramètres, tels que l'humidité des sols en surface (sonde superficielle) ou encore le poids des colonnes, ont été mis en œuvre. Ainsi, le poids des colonnes est suivi en parallèle mensuellement (mesure indirecte pour suivre le taux d'humidité des terres). Une station météorologique de type « WatchDog 2000 Series » a été implantée à environ 3 m de la zone d'expérimentation, à une hauteur de 1,5 m. Permettant l'enregistrement des paramètres humidité, température de l'air, pluviométrie, sens et force du vent, la surveillance a pu être assurée durant toute la durée de l'expérimentation.

Enfin le potentiel de lixiviation des substances organiques a été estimé par l'intermédiaire d'un dispositif de récupération des lixiviats sous les colonnes. L'eau de pluie traversant les colonnes de sol a ainsi été récupérée dans des flacons en verre de 1L placés sous les orifices de chaque colonne (Tableau 16 – photo de droite). Chaque flacon a été préalablement calciné puis enveloppé de papier aluminium pour éviter la formation d'algues.

Ces flacons de lixiviats ont été récupérés chaque mois lors du prélèvement de sol, ou bien au fur et à mesure en cas de forte pluie entre deux périodes. Au final un échantillon cumulatif par modalité sur les 5 mois de l'étude est préparé afin d'effectuer un bilan semi-quantitatif. Au total, 4 analyses ont été réalisées (3 boues testées + témoin).

- Retombées atmosphériques

Le suivi des retombées atmosphériques a été assuré par la mise en œuvre d'une jauge Owen constituée d'un flacon en verre d'un diamètre de 20 cm et d'une hauteur de 40 cm. La jauge a été placée à une distance de 3 mètres des colonnes et à 2 mètres de hauteur durant toute la durée de l'expérimentation.

En fin d'étude, le contenu de la jauge a fait l'objet d'une analyse totale (phase dissoute + particulaire) afin de quantifier les substances éventuellement présentes dans l'atmosphère.

2.4.3.1 Présence des substances dans le sol agricole et apport par les boues

Pour la plupart des groupes de substances, ces dernières sont à la fois présentes dans les boues et dans le sol agricole. Il s'agit d'estimer par groupe de substances la part des boues et celle du sol agricole lui-même, notamment en raison des épandages antérieurs (champ cultivé depuis plusieurs années) et du contexte environnemental (proximité d'un aérodrome). La Figure 17 présente les apports (attention à l'échelle logarithmique du graphique) :

- des 3 boues (concentrations moyenne, minimale et maximale), calculés d'après les ratios agronomiques appliqués et la moyenne des concentrations des substances quantifiées dans les boues (sur les 4 campagnes de suivi faites en 2013) – ces apports correspondent aux concentrations des substances dans le sol à l'issue de l'épandage des boues ;
- du sol agricole (moyenne des 2 concentrations mesurées dans les sols témoins des essais sur le transfert et sur la persistance).

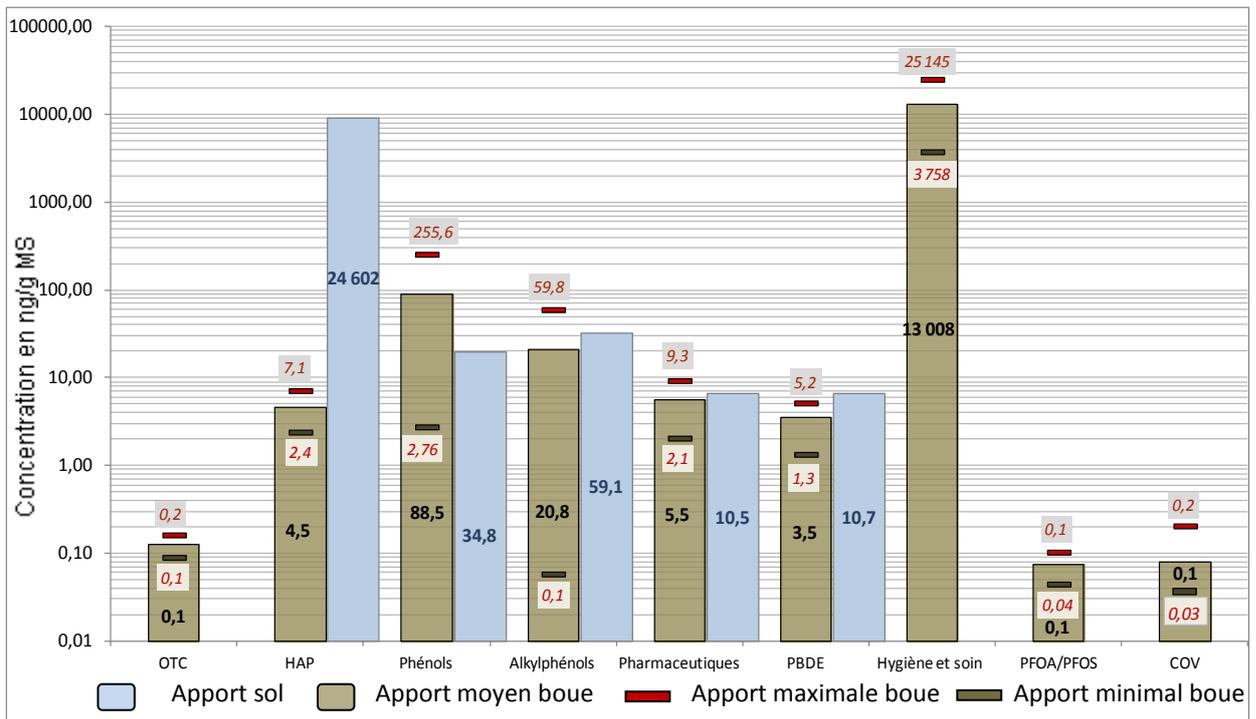


Figure 17 : Contribution des boues et du sol agricole en ng/g par groupe de substances (NB : échelle logarithmique)

Les contributions « sol agricole » et « boues » sont variables en fonction du groupe considéré et globalement du même ordre de grandeur, excepté pour les HAP. Trois tendances se profilent :

- contribution nulle du sol pour le groupe Hygiène et soin (cholestènes), organo-étains (OTC), PFOA/PFOS et COV (absence de quantification dans le sol agricole retenu). Leur éventuel apport provient uniquement des boues ;
- contribution majoritaire du sol pour les HAPs avec une teneur initiale de 24,6 mg/kg (possiblement en raison de la proximité de la parcelle par rapport à un aéroport) « masquant » ainsi la contribution des boues. L'épandage de la boue engendrerait pour les HAP une concentration moyenne dans les sols de 0,0045 mg/kg (conc. minimale de 0,0024 mg/kg et conc. maximale de 0,0071 mg/kg) ;
- contribution du sol en moyenne supérieure à celle des boues d'un facteur 2 à 3 pour les alkylphénols, pharmaceutiques, et PBDE. Leur présence dans le sol agricole suggérerait leur accumulation suite à des apports d'amendements antérieurs, mais aussi à des apports par dépôts atmosphériques par exemple ;
- contribution du sol inférieure à celle des boues, c'est le cas des phénols.

Notons enfin une forte variabilité entre les boues testées quant à la quantité de substances « émergentes » apportées. Cette variabilité est visible au niveau des boîtes à moustache avec parfois jusqu'à 2 ordres de grandeur entre les contributions maximales (en rouge) et minimales (en marron). C'est le cas des phénols, avec une contribution boue minimale de 2,8 ng/g et une contribution boue maximale de 256 ng/g. Cette tendance s'observe pour les alkylphénols (2 ordres de grandeur) et les produits hygiène et soins (1 ordre de grandeur).



La détermination expérimentale du transfert dans les végétaux et de la persistance est évaluée pour chaque substance **au niveau du système sol-boue, en raison de l'amendement du sol par des boues**. Aucune distinction ne peut être faite, à ce stade, entre les substances apportées par les boues et celles présentes initialement dans le sol agricole témoin.

2.5 Spécificités pour le prétraitement des échantillons de végétaux

La préparation générale du traitement et de la conservation des échantillons se trouve chapitre III section 2. Les végétaux ont été analysés par les mêmes laboratoires que ceux utilisés pour les matrices sols et eaux. En revanche leur préparation présente quelques spécificités.

Pour le blé et le colza (aspect visuel en Figure 18), prélevés sur parcelle mécaniquement par les exploitants agricoles, les grains ont été cryogénisés à l'azote liquide afin d'éviter la formation d'une pâte lors de l'étape de broyage (ils n'ont pas été lyophilisés).



Figure 18 : Aspects des grains de colza et blé avant cryogénisation

Les pommes de terre ont également été prélevées par l'exploitant agricole. Ces dernières ont été rincées, épluchées manuellement puis tranchées avec un appareil utilisé dans la restauration collective (cubes ou lamelles sur la Figure 19). Puis, les morceaux ont été lyophilisés et broyés (broyeur à bille) avant analyse.

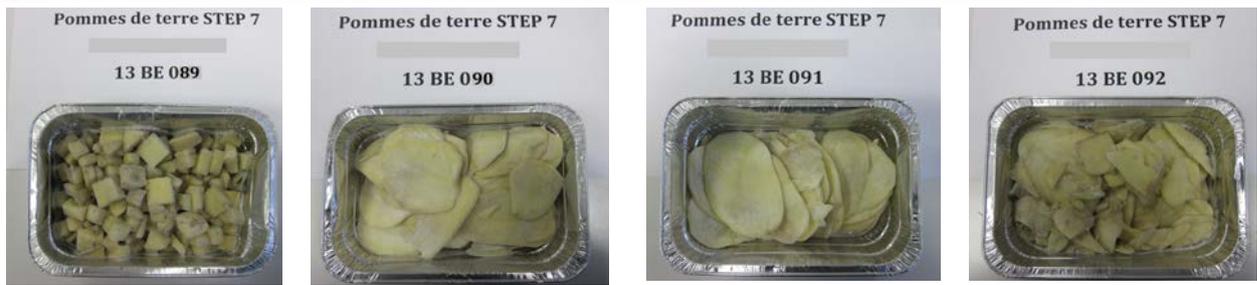


Figure 19 : Aspect des pommes de terre après l'étape de lyophilisation (4 parcelles)

Enfin, pour les grains de blé issus de l'enceinte de culture, une fois les épis de blé arrivés à maturité, l'étape de séparation graines/glumelles s'est faite manuellement par "friction" de l'épi entre les doigts. Les grains ainsi préparés ont été cryogénéisés à l'azote liquide.

Puis, l'ensemble des grains (blé et colza) a été broyé (broyeur à lame).

Les protocoles d'extraction ont été adaptés aux végétaux. Les protocoles mis en œuvre pour les matrices sols/eaux/végétaux sont précisés en annexe 8 pour les substances pharmaceutiques.

3. Résultats expérimentaux

3.1 Facteur de bioaccumulation

3.1.1 Quantification des substances dans les végétaux

Les résultats analytiques relatifs aux concentrations des substances dans les végétaux sont compilés pour les essais en plein champ en annexe 9a, b, c et pour les essais en enceinte de culture en annexe 10. Sont aussi présentées, les concentrations dans les boues (pour rappel) et dans les sols amendés.

Dans le cadre de l'étude menée, parmi l'ensemble des substances recherchées, un certain nombre de substances n'est pas quantifié dans les végétaux (pomme de terre, colza et blé). Ces substances sont listées dans le Tableau 21 et n'ont été quantifiées dans aucun des 3 végétaux. La non quantification de ces substances peut être due aux facteurs suivants (liste non exhaustive) : limite de quantification actuelle élevée dans la matrice végétale, absence de quantification dans le sol amendé, absence de prélèvement par le système racinaire, et/ou absence de transfert dans les parties aériennes consommées.

Tableau 21 : Substances émergentes non quantifiées dans les trois végétaux testés

Groupe de substances ou substance non quantifié	Commentaires sur les substances
Organo-étains TBT, MBT, DBT, TPhT	Non quantifiées dans le sol amendé avec LQ de 1 à 2 ng/g
Anilines chlorés 4-chloroaniline	Non quantifiées dans le sol amendé avec LQ de 1,2 µg/g
HAP ANT, FLT,B(a)A, CHY, 1 méthyl chrysène, 6 méthyl chrysène, B(e)P, B(b)F, B(k)F, B(a)P, D(a,h)A, B(g,h,i)P, In(1,2,3,cd)P, coronène, ACY, B(j)F, pérylène	Quantifiées dans le sol amendé pour la majorité des HAP listés. Absence supposée de transfert au vu de la LQ basse atteinte dans le végétal (2 à 10 ng/g)
Pharmaceutiques Toutes sauf kétoprofen, acétaminophen, miconazole	Ponctuellement quantifiées dans le sol amendé. Absence supposée de transfert au vu de la LQ basse atteinte dans le végétal (0,5 à 40 ng/g)
PBDE BDE99, BDE100, BDE153, BDE154	Quantifiées dans le sol amendé, notamment BDE99 (forte présence). Absence supposée de transfert au vu de la LQ basse atteinte dans le végétal (0,8 ng/g)
Perfluoroalkylés PFOA, PFOS	Non quantifiées dans le sol amendé
Alkylphénols 4nOP, 4nNP	Ponctuellement quantifiées dans le sol amendé (essais avec blé, colza –proche LQ). Non quantifiées dans le sol amendé (essais avec pomme de terre) avec LQ de 1 ng/g. Absence supposée de transfert dans le blé
Hygiène et soins galaxolide	Non quantifiées dans le sol amendé (LQ matrice sol et végétaux avec 0,8 et 0,1 µg/g respectivement)

LQ : limite de quantification du laboratoire

Au regard de ce tableau, il est intéressant de noter que la majorité des substances non quantifiées dans les végétaux sont des substances qui ont été « non quantifiées » dans la matrice sol.

Les autres substances quantifiées, le sont, *a minima*, dans une des 3 matrices végétales. Ces substances sont au nombre de 22. Elles sont rassemblées dans le Tableau 22, il est précisé si les concentrations obtenues sont proches de la limite de quantification du laboratoire par le sigle (X).

Tableau 22 : Substances émergentes quantifiées dans les végétaux

substance non quantifié	Quantification dans la matrice végétale		
	Pomme de terre épluchée	Colza (graine entière)	Blé (graine sans tégument)
HAP			
NAP	-	X	(X)
Méthyl 2 naphthalène	-	-	(X)
Acénaphène	X	-	-
Fluorène	-	-	(X)
PHE	-	-	(X)
PYR	-	-	X
Méthyl 2 fluoranthène	-	-	X
Phénols			
Phénol	-	X	(X)
m+p crésol	-	X	-
o-crésol	-	X	-
Pharmaceutiques			
kétoprofen	-	X	-
acétaminophen	-	X	-
miconazole	-	-	(X)
PBDE			
BDE28	-	X	-
BDE47	-	X	-
BDE183	(X)	-	-
BDE207	(X)	-	-
BDE209	(X)	-	X
Alkylphénols			
4NP	-	X	X
BPA	-	-	X
2,3,4 NP (a)	-	X	X
Hygiène et soins			
Cholestènes & dérivés	X	X	X
Total substances quantifiées	5	11	13

- : substance non quantifiée dans cette matrice végétale

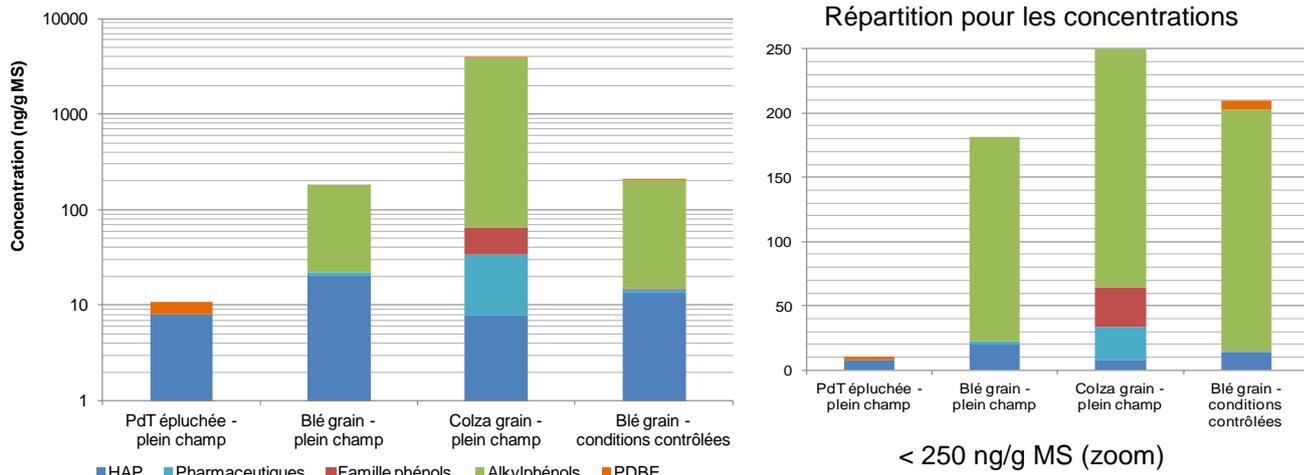
Croix (X) : concentration proche de la limite de quantification (dans la gamme de 60% d'incertitude)

(a) 2,3,4 NP correspond à l'analyse des isomères 2NP, 3NP et 4NP (mélanges d'isomères)

A l'exception des cholestènes, aucune substance n'a été quantifiée simultanément dans les 3 matrices végétales. Il convient de préciser que les cholestènes et ses dérivés sont naturellement produits par les végétaux. Dans ce cas-là, il n'a pas lieu de déterminer de facteur de bioconcentration. Leur proportion dans les végétaux est d'ailleurs fonction du taux de graisses végétales. Ainsi, les concentrations les plus faibles sont observées dans la pomme de terre (<50 µg/g), puis dans le blé (200-300 µg/g). Les concentrations les plus élevées sont observées dans le colza (1000-1100 µg/g).

Parmi les 3 végétaux étudiés, la pomme de terre affiche le nombre le plus faible de substances quantifiées (avec 5 substances dont 3 proches des limites de quantification), puis vient le colza (avec 11 substances) suivi par le blé (avec 13 substances dont 6 proches des limites de quantification).

Hormis pour les cholestènes, les concentrations mesurées dans les parties consommées sont de l'ordre d'une dizaine à quelques milliers de ng/g MS, comme illustré en Figure 20 (échelle logarithmique à gauche – échelle standard pour la partie zoomée à droite).



NB : Concentration des cholestènes et de ses dérivés non présentée

Figure 20 : Concentrations en ng/g MS des groupes de substances dans les trois végétaux

C'est le colza qui affiche la somme des concentrations la plus élevée avec 3 833 ng/g MS (toutes substances confondues sauf cholestènes & dérivés), suivi par le blé avec 182 et 210 ng/g MS (respectivement en plein champ et en enceinte de culture) et enfin la pomme de terre avec 10,8 ng/g MS.

Quantitativement, la famille des alkylphénols présente les concentrations les plus élevées notamment au niveau des graines de colza jusqu'à 3 760 ng/g soit 98 % de la somme des substances (et dans une moindre mesure, dans les grains de blé – absence dans la pomme de terre). La famille des phénols et des pharmaceutiques sont minoritaires avec des concentrations de 31 et 26 ng/g MS respectivement (soit 0,8 – 0,7%). Les familles des HAP et des PBDE sont présentes dans les grains de colza à l'état de traces (<10 ng/g).

Dans les grains de blé (outre la présence d'alkylphénols à hauteur de 88-89% à des concentrations comprises entre 159 et 187 ng/g), sont quantifiés dans une très moindre mesure les PBDE (<4 %), les HAP (<11 %) et les pharmaceutiques (<1%). Les PBDE ne sont pas quantifiés dans les cultures de blé en plein champ.

Enfin, au niveau de la pomme de terre, seules 2 familles sont quantifiées : les PBDE (avec une concentration de 3 ng/g – soit 26 % de la totalité) et les HAP (avec une concentration de 8 ng/g – soit 74 % de la totalité).

3.1.2 Détermination du facteur de bioconcentration – critères de sélection

Seul le blé (essais en plein champ et culture en conditions contrôlées) peut disposer d'un BCF_{global} et d'un $BCF_{expérimental}$. Pour rappel, l'essai en plein champ concerne des parcelles amendées avec les boues de la STEP14, qui est une des 3 boues testées en conditions contrôlées.

La pomme de terre et le colza disposent uniquement d'un BCF_{global} .

Pour les 3 végétaux cultivés, dans le cas où une substance est quantifiée dans le végétal mais pas dans le sol amendé, il a été déterminé un $BCF_{estimé}$, que l'expérimentation soit en plein champ ou en conditions contrôlées.

Modalité de calcul des BCF et critères de sélection

1. Pour le blé issu de la culture en conditions contrôlées, pour une même boue, un BCF moyen est calculé à partir des 3 réplicats (prenant en compte ainsi une éventuelle valeur nulle si la substance n'a pas été quantifiée). Parmi les 3 BCF calculés pour les 3 boues testées (STEP 7, STEP 14 et STEP 25), la valeur maximale est retenue pour caractériser le $BCF_{expérimental}$ du blé.
2. Pour le blé issu des essais en plein champ, le BCF_{global} moyen sur les 4 parcelles est calculé. Dans le cas où un $BCF_{expérimental}$ et un BCF_{global} pour une même substance seraient disponibles, le $BCF_{expérimental}$ est retenu car représentatif du transfert racinaire, sans biais des éventuels dépôts atmosphériques et des émissions du machinisme agricole.
3. Pour les autres essais en plein champ, le BCF_{global} moyen sur les 4 parcelles est calculé pour les pommes de terre. Les parcelles de colza ayant été épandues avec 2 boues (STEP 14 et STEP 20), la moyenne des BCF_{global} est calculée sur les 3 parcelles – STEP14 puis la valeur maximale est choisie entre $BCF_{global} - STEP 14$ et $BCF_{global} - STEP 20$.

Notons que pour les 9 congénères PBDE, il est considéré un unique BCF pour la famille et non par substance, en raison de la débromation des substances au cours du temps et de la croissance des végétaux. Le calcul d'un BCF par substance ne se révèle pas pertinent et serait biaisé en raison de la considération de la LQ sol plus basse d'un ordre de grandeur pour les BDE les moins bromés par rapport aux BDE les plus bromés. L'annexe 11 détaille pour chacune des substances les BCF ainsi que le nombre de fois où la substance est détectée dans le sol et/ou le végétal (grains/tubercules).

Le Tableau 23 présente les BCF calculés dans le cadre de l'étude en distinguant le type de BCF. L'annexe 11 précisant le nombre de fois où la substance est quantifiée dans le sol et le végétal, permet d'apprécier si un BCF résulte d'une seule valeur (issue d'un réplicat, d'une parcelle agricole) ou bien d'une moyenne de valeurs.

Au total, 23 BCF ont été déterminés pour 16 substances dont la moitié sont des BCF_{estimés} sur la considération des limites de quantification de la substance dans les sols.

Tableau 23 : BCF calculés à l'issue des essais pour les trois végétaux

	BCF		
	Pomme de terre épluchée	Colza (graine entière)	Blé (graine sans tégument)
HAP			
NAP	-	<i>(4,6)</i>	0,02 LQ
Méthyl 2 naphthalène	-	-	0,01 LQ
Acénaphthène	<i>(2,4)</i>	-	-
Fluorène	-	-	0,01 LQ
PHE	-	-	0,004 LQ
PYR	-	-	0,008
Méthyl 2 fluoranthène	-	-	<i>(1,4)</i>
Phénols			
Phénol	-	2,5	0,05 LQ
m+p crésol	-	<i>(1,2)</i>	-
o-crésol	-	<i>(10,4)</i>	-
Pharmaceutiques			
ketoprofen	-	<i>(2,9)</i>	-
acetaminophen	-	<i>(0,8)</i>	-
miconazole	-	-	0,07 LQ
Famille PBDE	1,2	2,0	1,5
Alkylphénols			
4NP	-	<i>(164)</i> *	<i>(11)</i>
BPA	-	-	16
2,3,4 NP	-	<i>(161)</i> *	<i>(12)</i>

* voir encadré

Valeur gras : BCF expérimental

Valeur italique : BCF global

(Valeur) : BCF estimé

Valeur LQ : les concentrations dans les sols et/ou les végétaux sont proches des limites de quantification

Il en résulte la détermination d'un seul BCF_{global} pour la pomme de terre (famille PBDE avec 1,2) et de deux BCF_{global} pour le colza (respectivement famille PBDE avec 2 et phénol avec 2,5). Les BCF calculés pour les autres substances sont des BCF_{estimé} pour ces deux végétaux.

Pour le blé (inclus essais parcelle et enceinte de culture), 8 BCF_{expérimentaux}, 1 BCF_{global} et 3 BCF_{estimé} ont été déterminés.



Concernant le **transfert dans le colza du 4NP**, le BCF est estimé à partir de la LQ dans le sol dans 2 cas sur 4 (4 parcelles soit 4 couples sol/végétaux) avec LQ sol=10 ng/g MS et une concentration dans le colza comprise entre 1000 et 2000 ng/g MS dans le végétal (BCF compris entre 144 et 217). Dans la troisième parcelle, la concentration était de 30 ng/g MS dans le sol et d'environ 4000 ng/g MS dans le végétal (BCF = 130) et dans la dernière parcelle, le 4NP était quantifié à 62 ng/gMS dans le sol mais non quantifié dans le végétal (BCF nul). Il en résulte un **BCF moyen estimé à 164** pour le 4NP dans le colza, basé sur la prise en compte de la LQ du 4NP dans le sol.

Les résultats obtenus pour le 2,3,4 NP, qui regroupe les 3 isomères du NP dont le 4NP, sont équivalents. Les valeurs de transfert obtenues par la formule empirique à partir du Kow sont largement inférieures, de l'ordre de 0,1 (se reporter aux annexes 9a et 12).

Le Tableau 24 distingue, pour le blé et les 6 substances communes concernées, les BCF calculés en plein champ et en enceinte de culture. Les valeurs plus élevées obtenues en plein champ, notamment pour les HAP, suggère l'influence d'éventuels dépôts atmosphériques et d'émissions issus du machinisme agricole.

Tableau 24 : BCF calculés pour le blé en plein champ et en enceinte de culture

	Blé (plein champ)	Blé (enceinte de culture)
HAP		
NAP	(0,6)	0,02
Méthyl 2 naphthalène	0,8	0,01
PYR	0,2	0,008
Méthyl 2 fluoranthène	(4,9)	(1,4)
Pharmaceutiques		
miconazole	0,07	(0,6)
Alkylphénols		
BPA	40,8	16

Valeur gras : BCF (concentration végétal/concentration sol)

(Valeur) : BCF estimé (concentration végétal/limite de quantification sol)

Pour une même substance, il est globalement observé des différences (se référer en annexe 11 pour visualiser l'ensemble des BCF calculés) :

- d'un à deux ordres de grandeur entre les végétaux. Avec par exemple, $BCF_{\text{expérimental phénol}} = 2,5$ pour le colza et 0,05 pour le blé ; en revanche, il a été mesuré un $BCF_{\text{famille PBDE}}$ similaire pour les 3 végétaux autour de 1,6 ;
- d'un à deux ordres de grandeur entre BCF_{global} et $BCF_{\text{expérimental}}$ pour le blé avec un BCF_{global} généralement plus élevé (excepté pour le miconazole). Toutefois pour le BPA, le BCF_{global} affiche une valeur de 40,8, qui est 2 à 3 fois plus élevée que celle mesurée pour le $BCF_{\text{expérimental}}$, validant ainsi une certaine cohérence dans les résultats (même ordre de grandeur) ;
- d'un ordre de grandeur entre $BCF_{\text{estimé}}$ et $BCF_{\text{expérimental/global}}$. Par exemple, pour le colza, le BCF_{global} est de 95 pour le 2,3,4 NP sur une parcelle alors que le $BCF_{\text{estimé}}$ (tenant compte de la LQ dans les sols) est compris entre 142 et 246 pour 2 autres parcelles. La valeur moyenne de 161 est retenue pour le BCF de 2,3,4 NP pour le colza. Cette tendance s'observe aussi pour le naphthalène (colza) avec un BCF_{global} entre 0,7 et 1,1 sur 2 parcelles, et un $BCF_{\text{estimé}}$ entre 1,6 et 11.



Le niveau d'incertitude des valeurs de BCF proposées est plus élevé pour les substances dont :

- les concentrations mesurées dans le sol et/ou végétal sont proches des limites de quantification (signe LQ dans le Tableau 23) ;
- les BCF ont été estimés sur la base des limites de quantification dans les sols lorsque la substance était quantifiée dans le végétal mais pas dans le sol (BCFestimé).

Les BCF les plus élevés avec des valeurs comprises entre 10 et 200 sont observés pour les alkylphénols dont les nonylphénols (BCF_{estimé} compris entre 11 et 164 pour 4NP et 2,3,4 NP) et le bisphénol-A (BCF_{expérimental} de 16). Aucun alkylphénol n'a été quantifié dans la pomme de terre.

Les BCF compris entre 1 et 10 concernent :

- famille PBDE (BCF_{global} et BCF_{expérimental}) pour les 3 végétaux ;
- Phénols et crésols (BCF_{global} et BCF_{estimé}) pour le colza ;
- un seul pharmaceutique avec le kétoprofen (BCF_{estimé}) pour le colza ;
- HAP (naphtalène, acénaphthène, méthyl 2 fluoranthène - BCF_{estimé}) pour les 3 végétaux.

Pour les autres substances, les BCF obtenus dans le cadre de cette étude sont inférieurs à 1 (cinq HAP, phénol, miconazole et acétominophen) et concernent principalement le blé.



Les BCF présentés ci-dessus constituent des **tendances/orders de grandeur** et ne sont pas des valeurs « absolues » en raison des faibles concentrations mesurées associées à des incertitudes analytiques élevées pour certains groupes de substances, des hypothèses retenues (cas des BCF_{estimés} pour les alkylphénols), de l'influence potentielle des dépôts atmosphériques, ...

Il est nécessaire de considérer ces **résultats préliminaires** comme des résultats à valider par des expérimentations complémentaires (répétabilité d'une année à l'autre pour les essais en plein champ, essai sur une plus large gamme de sols, essai sur d'autres variétés).

Les BCF obtenus à partir des équations empiriques (Kow) sont, à titre indicatif, reportés en annexe 12.

3.2 Persistance dans le sol

3.2.1 Paramètres suivis

La période de mai à octobre, durant laquelle les colonnes de sol ont été exposées aux conditions météorologiques réelles, se caractérise par :

- Une pluviométrie constante avec des précipitations mensuelles comprises entre 40 et 69,4 mm soit un total de 270,6 mm sur 5 mois. Au niveau de la jauge Owen, dédiée à la caractérisation des dépôts atmosphériques, un volume total de 3,2 L a été récolté. Le volume total de lixiviats collecté est de 46,45 L dont la répartition par modalité est présentée dans le Tableau 25.

Tableau 25 : Volumes de lixiviats recueillis durant la période d'étude

STEP 7 = colonnes 1+ 2 + 3	STEP 14 = colonnes 4+ 5 + 6
11,9 L soit 4L par colonne	12,1 L soit 4L par colonne
STEP 25 = colonnes 7+ 8 + 9	Témoins = colonnes 10+ 11 +12
11,9 L soit 4L par colonne	10,5 L soit 3,5L par colonne

- La température extérieure moyenne relevée pour la période d'étude est de 22,5°C. La température maximale de 35,3°C a été atteinte le 1^{er} août 2013 et la température minimale de 1,7 °C, le 24 mai 2013. Les températures maximales sont atteintes en juillet-août avec 27,5 °C de moyenne pour le mois de juillet, et 26,1 °C de moyenne pour le mois d'août.

3.2.2 Contribution des dépôts atmosphériques et phénomènes de lixiviation

La réalisation d'un essai en conditions extérieures nécessite de vérifier l'éventuelle influence des dépôts atmosphériques et des phénomènes de lixiviation sur l'évolution de la concentration dans le sol des substances dans un sol amendé.

Le Tableau 26 présente uniquement les groupes de substances et les substances quantifiés dans la jauge Owen mise en place pendant la durée d'expérimentation (5 mois) et/ou dans les lixiviats (échantillon composite réalisé sur les lixiviats mensuels). Cette approche se veut avant tout semi-quantitative au vu des éventuels phénomènes de volatilisation/dégradation des substances dans la jauge sur la durée de l'essai. Un bilan massique classique ne peut être entièrement déroulé sur la base des éléments recueillis en raison de la réalisation d'échantillon composite pour les sols et les lixiviats. Pour rappel, les COV n'ont été analysés ni dans les dépôts atmosphériques, ni dans les lixiviats car ces molécules sont volatiles. Les concentrations sont rapportées dans le tableau ainsi que la contribution des dépôts et de la lixiviation par

rapport à la concentration de la substance dans le sol amendé¹⁵ à T0, exprimée en pourcentage pour les 3 boues testées. La contribution est considérée négligeable (NEGL) si elle est inférieure à 1% (seuil arbitraire).

Tableau 26 : Substances quantifiées dans les dépôts atmosphériques et les lixiviats

Substances ou groupes détectés	Dépôts atmosphériques Concentration en ng/L	Lixiviats composites Concentration en ng/L	Contribution des dépôts et des lixiviats (%)
Famille HAP**	Naphtalène – 8,4 Méthyl 2 naphtalène – 11 Phénanthrène – 11 Fluorène – <u>1,2</u> Fluoranthène – 8,5 Pyrène – 4,5 B(a)A – <u>1,1</u> Chrysène – 2,3 B(e)P – 2,2 B(b)F – 3,2 B(k)F – <u>1,3</u> B(a)P – 1,8 B(g,h,i)P – <u>1</u> In(1,2,3,cd)P – 3,3	Naphtalène – 6,9 à 10 Méthyl 2 napht. – 8,4 à 11 Phénanthrène – 6,1 à 10 Fluoranthène – 29 Pyrène – 7,6 à 21 B(a)A – 3,3 à 8,2 Chrysène – 5,4 à 14 B(e)P – 7,9 à 15 B(b)F – 7,6 à 16 B(k)F – 3,1 à 8,1 B(a)P – 6,7 à 16 B(g,h,i)P – 4,7 à 12 In(1,2,3,cd)P – 5,4 à 15 Coronène – <u>1 à 2,1</u> B(j)F – 5,3 à 10 1 méthyl chrys. – <u>1,3 à 1,5</u> Pérylène – 2,5	(NEGL.)
Famille phénols	Phénol – 2 400	-	Phénol (4% à 7,8%)
Pharmaceutiques	Ofloxacin – 16,2	Carbamazépine – 8,9 Tramadol – <u>5,7 à 8,7</u> Ciprofloxacine – 7,3 Ofloxacin – 2,9 Verapamil – <u>2,2</u> Acétaminophen - 854 Lidocaïne – 3,8 à 6,1	(NEGL.) pour tous sauf Acétaminophen (2%)
PBDE	BDE153 – 3,9 BDE209 – 97	BDE153 – <u>0,7 à 0,9</u> -	(NEGL.) sauf BDE153 (1,6%)
Hygiène et soins	Cholestérols – 0,6 *		(NEGL.)
Alkylphénols	BPA – 1 030	4NP – <u>860</u> BPA – <u>35</u>	BPA (<5%)

* la quantification des cholestérols traduirait la présence de feuilles tombées dans la jauge, à considérer comme un artefact

** les espaces verts aux alentours de la jauge ont été entretenus par des engins thermiques à raison de 2 tontes à minima sur la durée de l'essai

1,2 : valeur proche de la limite de quantification (incertitude analytique ±60%)

(NEGL.): contribution des dépôts et de la lixiviation par rapport à la concentration de la substance dans le sol à T0 < 1%

Les substances ou groupes de substances suivants, organo-étains, aniline chlorée, perfluoroalkylés, n'ont pas été quantifiés ni dans les dépôts atmosphériques, ni dans les lixiviats. Pour les 6 autres groupes, les substances non listées dans le Tableau 26 sont des substances non quantifiées dans ces 2 matrices.

Concernant les dépôts atmosphériques, les substances sont quantifiées à des teneurs comprises entre 0,6 et 2 400 ng/L. La concentration la plus élevée concerne le phénol, mais rapportée à une concentration dans la colonne de sol (0,56 ng/g sol), elle ne correspond qu'à 4%-7,8% de la teneur initiale dans le sol amendé à T0, comprise entre 7,2 et 13,6 ng/g selon les boues. Il en est de même pour le Bisphénol-A (BPA) dont la contribution (<5%), rapportée à la concentration dans la colonne de sol, est estimée à 0,24 ng/g sol, pour des teneurs initiales dans les sols amendés s'échelonnant de 4,7 à 214 ng/g de sol. Pour le BDE153, la

¹⁵ Si la substance n'a pas été détectée dans le sol témoin, la limite de quantification du laboratoire dans le sol est retenue pour calculer la contribution

contribution des dépôts est estimée à 1,6 %. Ces contributions étant inférieures aux incertitudes analytiques, elles sont considérées comme très faibles.

Il est intéressant de noter la quantification d'une substance pharmaceutique, l'antibiotique ofloxacin, dans les retombées atmosphériques. A ce stade, aucune hypothèse quant à son origine n'a pu être approfondie.

Concernant la lixiviation, les concentrations quantifiées sont globalement comprises entre 0,7 et 860 ng/L, avec des concentrations inférieures à 30 ng/L pour la famille HAP. Deux substances présentent toutefois des concentrations dans les lixiviats plus élevées :

- l'acétaminophen¹⁶ (ou paracétamol), avec une concentration de 854 ng/L analysée dans le lixiviat de la boue STEP25. Rapportée à une concentration dans la colonne de sol (0,1 ng/g sol), elle ne correspond qu'à 2% de la limite de quantification dans le sol amendé (5 ng/g sol). Ce résultat est cohérent avec la valeur logKow de 0,46 attribuée à cette substance, l'une des plus faibles sur l'ensemble des substances retenues ;
- le 4-nonylphénol (4NP) avec une concentration de 860 ng/L analysée dans le lixiviat de la boue STEP25, rapportée à une concentration dans la colonne de sol (0,1 ng/g sol) soit une contribution de 1%. Sa valeur logKow plutôt élevée (4,48) n'explique pas son fort potentiel à être lixivié.

En conclusion, dans le cadre de cette expérimentation menée en conditions réelles, l'influence des dépôts atmosphériques et de la lixiviation est jugée négligeable dans le suivi de la persistance des substances. Les contributions sont pour certaines substances comme le phénol, le BPA, le 4-nonylphénol ou le BDE153 de l'ordre de l'incertitude analytique.

3.2.3 Evolution des concentrations dans les sols

Sur la période de 5 mois, certaines substances ne sont pas quantifiées dans le sol agricole amendé, comme indiqué dans le Tableau 27. Cela concerne la famille des organo-étains, des anilines chlorées, des perfluoroalkylés, en raison du ratio agronomique appliqué et des faibles concentrations observées initialement dans les boues. Les limites de quantification atteintes par les laboratoires d'analyses sont disponibles en annexe 13. Elles sont relativement basses de l'ordre du ng/g MS (excepté pour galaxolide et cholestènes de l'ordre du µg/g).

Deux groupes de substances se distinguent quant à l'évolution des concentrations dans le sol en fonction du temps :

- Cas 1 : observation d'une diminution significative de la concentration entre T0 et T+5 mois (tenant compte d'une incertitude analytique fixée à 30%) ;
- Cas 2 : absence d'observation d'une diminution significative de la concentration entre T0 et T+5 mois, mais la courbe de régression tracée sur les points $\ln C_{(t)}/C_0$ en fonction du temps présente une linéarité intéressante (coefficient de régression $r^2 > 0,5$).

Les substances affichant deux augmentations de concentrations successives dans le temps ne sont pas retenues pour l'estimation du temps de demi-vie.

La Figure 21 illustre la persistance de 4 substances sur la durée de l'essai (5 mois) ; l'ordonné correspond à $\ln C_{(t)}/C_0$ et l'abscisse au temps, exprimé en année.

¹⁶ Pour l'acétaminophène, la valeur de 854 ng/L nous apparaît comme une valeur « aberrante » qui nécessiterait des études complémentaires

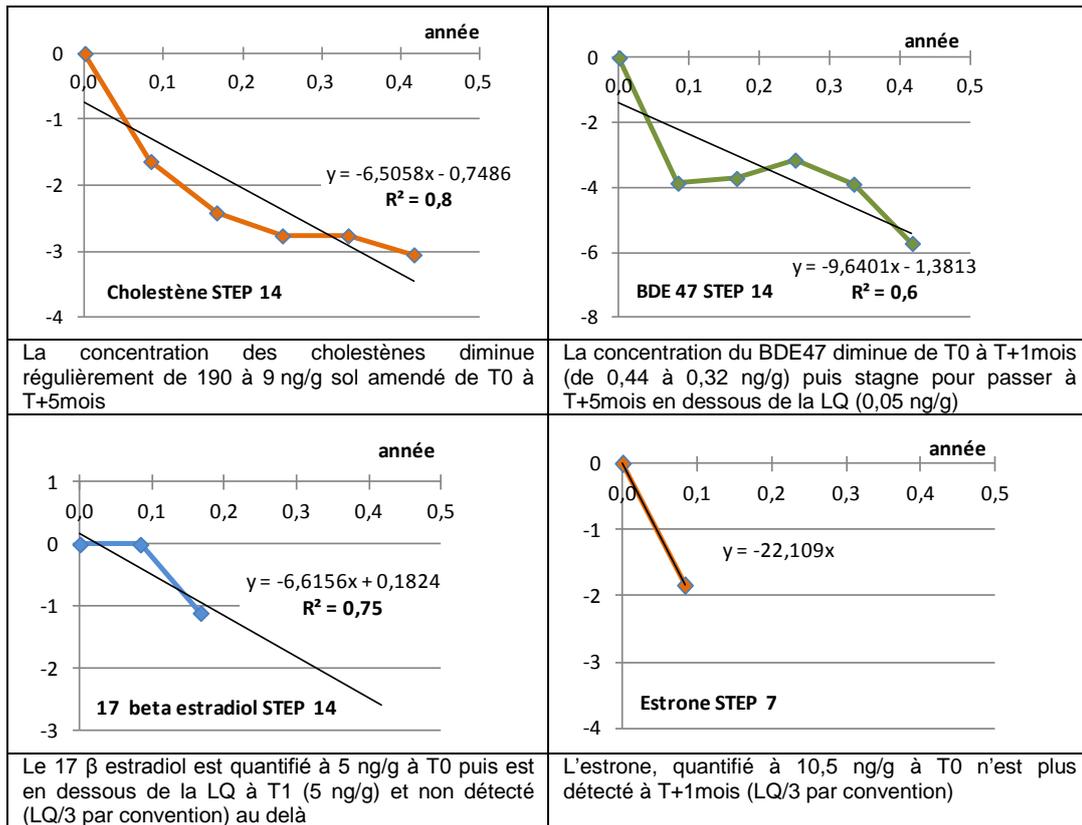


Figure 21 : Persistance dans les sols amendés

Le Tableau 27 présente pour les substances concernées les cas présentés ci-dessus (cas 1 ou cas 2) – le numéro de la boue sur laquelle a été observée la diminution des concentrations est précisée entre parenthèse. Pour rappel, trois boues ont été testées : STEP 7, STEP 14 et STEP25. Sont aussi listés les groupes de substances ou les substances non quantifiés dans les colonnes de sol *a minima* sur 2 des 6 prélèvements (à savoir T0 et T+5mois).

Tableau 27 : Synthèse des substances quant à l'évolution de leur concentration dans le temps en conditions extérieures

Substances	Diminution significative dans le temps – cas 1	Diminution des concentrations dans le temps – cas 2	Absence de quantification dans le sol amendé
Organoétains	-	-	TBT, MBT, BDT, TPhT
Anilines chlorés	-	-	4-Chloroaniline
Famille HAP		In(1,2,3,cd)P _(STEP25) 1 méthyl chrysène _(STEP25) B(a)P ^{**} _(STEP25) B(g,h,i)P _(STEP25) Coronène _(STEP7)	6 méthyl chrysène
Famille phénols	m+p crésol _(STEP7)		
Pharmaceutiques	Estrone* _(STEP7 & 14) 17 β oestradiol* _(STEP14)	Flumequine* _(STEP7 & 14)	
PBDE	BDE47 _(STEP14 & 25) BDE99 _(STEP14 & 25)	-	-
Perfluoroalkylés	-	-	PFOA, PFOS
COV	Nonane* _(STEP14)	Nonane** _(STEP7)	Octane, cyclohexane, styrène, cyclododécane, diphenyléther
Hygiène et soins	Cholestènes _(STEP14)		Galaxolide
Alkylphénols	4nOP* _(STEP25) , 4nNP _(STEP7) , BPA _(STEP25)	-	-

* absence de quantification dans le sol amendé à partir de T1 ou T2+mois

** substance retenue avec coefficient de régression r^2 compris entre 0,3 et 0,4 (exception aux critères de sélection)

Pour toutes les substances non mentionnées dans le Tableau 27, plusieurs facteurs expliquent qu'une diminution temporelle des concentrations n'a pas pu être clairement mise en évidence :

- une faible concentration des substances dans le sol amendé malgré des limites de quantification souvent basses (comprises entre 0,05 et 10 ng/g pour la majorité des substances) ;
- une durée de 5 mois, insuffisante pour certains groupes de substances tels que les HAP mais suffisantes pour les pharmaceutiques ;
- une probable hétérogénéité du mélange sol-boue dans la colonne de sol au vu des faibles quantités de boue apportées, mais qui n'a pu être résolue sans destruction totale de la texture du sol (conservation d'une structure macroscopique de type agrégat).

Une seule substance présente une diminution significative de sa concentration sur les 5 mois d'étude et un coefficient de régression $r^2 > 0,8$: les cholestènes (Figure 21). Son temps de demi-vie est estimé à 39 j dans les conditions de l'étude.

Les graphiques relatifs à l'estimation du temps de demi-vie des substances mentionnées dans le Tableau 28 sont insérés en annexe 14.

3.2.4 Temps de demi-vie retenus

La persistance des substances est exprimée en temps de demi-vie (jours), qui correspond au temps nécessaire pour que la concentration initiale de la substance soit divisée par 2.

Le Tableau 28 présente les temps de demi-vie obtenus expérimentalement sur le sol agricole sélectionné amendé avec 3 boues différentes selon les ratios agronomiques usuels (durée de l'étude : 5 mois). Lorsque plusieurs valeurs ont été obtenues expérimentalement pour chacune des boues, la gamme de valeurs est présentée.

Tableau 28 : Temps de demi-vie retenu, obtenu en conditions extérieures

Groupes de substances	Substances	Temps de demi-vie (jour)	Commentaires par rapport aux valeurs rencontrées dans la littérature
Famille HAP	ln(1,2,3,cd)P	277	Temps cohérent avec la littérature dont la fourchette pour les HAP, reste large (100 à 730 jours) selon la substance [1,3,4]
	1 méthyl chrysène	151-173	
	B(a)P	534	
	B(g,h,i)P	462	
	Coronène	235	
Famille phénols	m+p crésol	119	Temps surestimé d'un facteur 4 environ par rapport à la valeur de 30j proposée [3]
Pharmaceutiques	Flumequine	7	Aucune valeur disponible pour flumequine. Temps cohérent pour les 2 hormones (5 à 17/21 j) [5]
	Oestrone	11-19 _{LQ}	
	17 β estradiol	19 _{LQ}	
PBDE	BDE47	26-74	Aucune valeur disponible pour ces congénères faiblement chlorés, qui peuvent provenir aussi de la débromation des congénères plus bromés. Temps estimé entre 130 et 700j pour BDE28 et 209 [1,2,3]
	BDE99	61-76	
COV	Nonane	39-168 _{LQ}	Aucune valeur disponible mais gamme large de valeur selon la boue testée
Hygiène et soins	Cholestènes et dérivés	39	Aucune valeur disponible
Alkylphénols	4nOP	14 _{LQ}	Temps cohérent avec 30j [3] Temps surestimé d'un facteur 5-7 environ par rapport à la valeur de 30j proposée [3] Temps cohérent avec la gamme 3 à 180 j [1,3,6]
	4nNP	203 _{LQ}	
	BPA	61 _{LQ}	

Valeur_{LQ} : concentration dans sol proche de la limite de quantification

[1] Howard et al., 1991

[2] Ministère danois de l'environnement, 2012

[3] PBT profiler - Persistent, Bioaccumulative, and Toxic Profiles Estimated for Organic Chemicals, 2012

[4] Chemical Fate Half-Lives for Toxics Release Inventory (TRI) Chemicals, SRC TR 98-008 of U.S. Environmental Protection Agency, 1998

[5] Lucas et Jones, 2006

[6] Flint et al., 2012

Il apparaît que pour certaines substances telles que les hormones (oestrone et 17 β estradiol) et le 4nOP, le temps de demi-vie est inférieur à 30 jours. Il dépasse l'année pour certains HAP par exemple. Les temps de demi-vie sont intermédiaires pour les autres substances. Les valeurs calculées à l'issue de cet essai sont globalement cohérentes avec celles proposées dans la littérature, excepté pour le m+p crésol et le 4nNP pour lesquels les temps de demi-vie calculés semblent plus élevés d'un facteur 4 à 7. Les valeurs disponibles dans la littérature sont issues d'une méthode prédictive basée sur la formule chimique de la substance (PBT Profiler). N'étant pas issues d'expérimentations, ces valeurs sont à considérer avec prudence.

Notons que pour les BDE47 et BDE99, les temps obtenus paraissent faibles par rapport aux congénères plus bromés et pourrait s'expliquer par le phénomène de débromation.

Dans le cadre de cette étude, la nature de la matrice sol peut être déterminante ainsi que les conditions météorologiques.



Le niveau d'incertitude des temps de demi-vie proposés est plus élevé pour les substances dont les concentrations mesurées dans le sol sont proches des limites de quantification (signe_{LQ} dans le Tableau 28). C'est le cas pour les hormones, les alkylphénols et les COV.

Les temps de demi-vie proposés restent spécifiques aux conditions expérimentales de l'étude, à savoir aux conditions climatiques extérieures (3.2.1) et au type de sol (2.4.1), notamment. Ils ne peuvent être transposés à d'autres situations sans précaution.

4. Discussion

La présente discussion est une mise en perspective par grands groupes de substances, des résultats expérimentaux acquis dans le cadre de la présente étude. Elle vise à conforter ou infirmer les tendances mises en évidence quant au « potentiel de dégradation » dans les sols amendés (assimilé au temps de demi-vie) et au « potentiel de transfert » dans les organes consommés par l'homme (assimilé au BCF). Les valeurs retenues pour l'évaluation des risques sanitaires sont données en annexe 18 pour les transferts et annexe 19 pour la persistance.

4.1 Synthèse des potentiels de dégradation et de transfert déterminés expérimentalement

A l'issue de la présente étude, le potentiel de dégradation et de transfert des groupes de substances ont été déterminés expérimentalement. Les valeurs présentées sont celles associées aux composés présentant le temps de demi-vie le plus long et/ou le BCF le plus élevé. Des valeurs maximales et minimales sont présentées pour chacun des paramètres, pour le BCF notamment en raison des 3 végétaux testés. Il en est de même pour le temps de demi-vie si ce dernier a été déterminé pour deux substances dans un même groupe (cas du 1-méthyl chrysène avec 151j et du B(a)P avec 534j dans la famille des HAP) ou pour deux boues (cas du nonane avec 39j sur la STEP 14 et 168j sur la STEP 7). Ces potentiels sont illustrés schématiquement en Figure 22 (graduation logarithmique) :

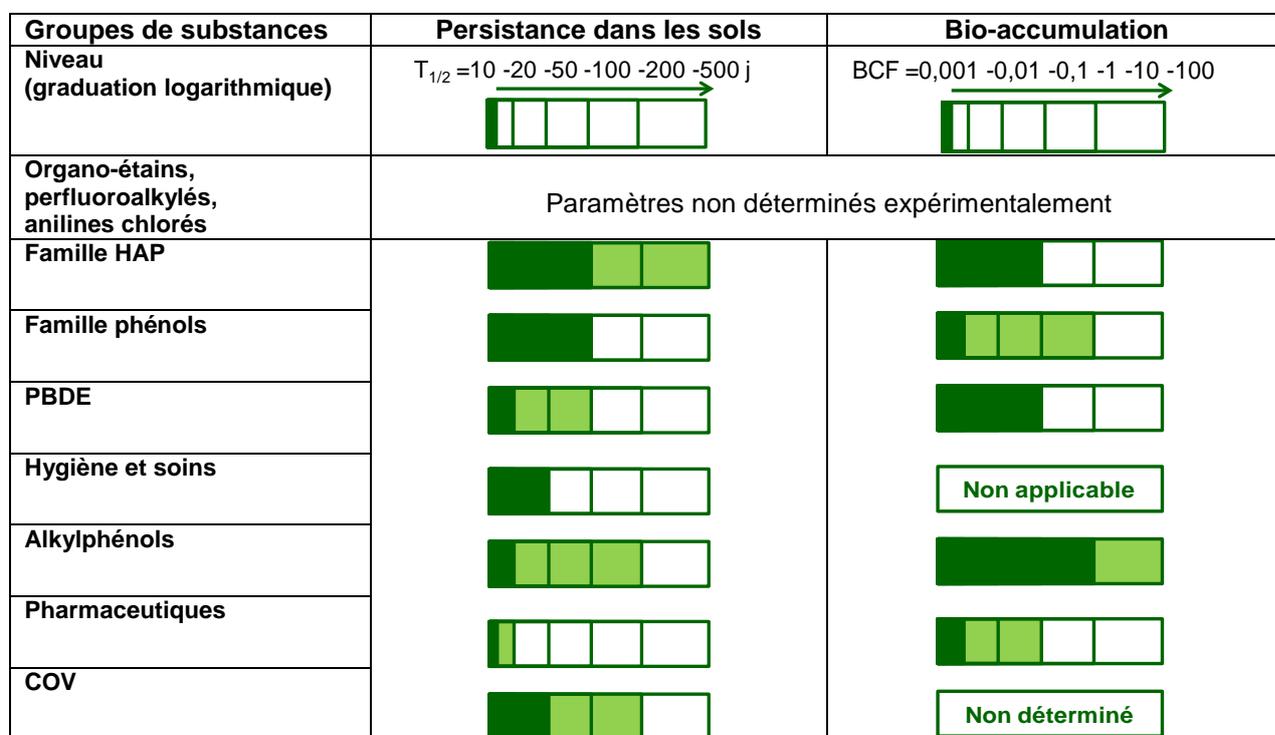


Figure 22 : Schématisation du potentiel de dégradation et de transfert par groupes de substances (vert foncé = valeur minimale, vert clair = valeur maximale)

Les potentiels de dégradation et de transfert n'ont pu être déterminés dans la présente étude pour les organo-étains, l'aniline chlorée et les perfluoroalkylés.

Il en résulte que chaque groupe de substances est spécifique quant à la persistance et à la bioaccumulation des substances. Une faible persistance dans le sol n'est pas toujours en lien avec une faible bioaccumulation, c'est le cas des alkylphénols.

4.2 Organo-étains

Les 4 composés étudiés (TBT, MBT, DBT, TPhT) sont identifiés dans les boues à usage agricole à de faibles concentrations (<200 ng Sn/g – absence de quantification pour TPhT dans les boues testées). Ils ne sont quantifiés ni dans les sols amendés, ni dans les graines (blé/colza) ou tubercules (pomme de terre). Aucun « potentiel de dégradation », ni « potentiel de transfert » n'a pu être déterminé dans la présente étude.

Dans la littérature, les temps de demi-vie sont de 15 j à 4,4 ans pour TBT ; de 0,9 à 15 ans pour DBT ; de 1 à 8 ans pour MBT et de 8 à 150 j pour TPhT (Marcic, 2005). La décomposition des composés dans le sol est fonction notamment du pH ou du taux de matière organique. La rémanence des organo-étains étudiée sur deux sols de type podzol (forestier et agricole) avec des pH compris entre 4,6 et 5,8 apparaît plus faible dans cette seconde étude (< 1 an): TPhT (23-24 j) < DPhT (53 j) < MPhT (71-82 j) ~ TBT (78-89 j) < DBT (90-102 j) < MBT (209-227 j) (Hérault, 2008).

Les études menées dans le système sol-plante montrent des phénomènes de débutylation et de déphénylation des composés parents (TBT). Après injection d'une solution de TBT et TPhT dans un sol, seul le TBT est quantifié dans le haricot (feuilles, tiges, gousses). Au niveau de la pomme de terre épluchée, les substances suivantes sont présentes : MBT (majoritaire), DBT (détecté mais non quantifié), et TBT (Marcic, 2005). Un BCF de 134 exprimé en matière sèche est rapporté pour la pomme de terre épluchée – (somme des concentrations en MBT+DBT+TBT dans le tubercule / concentration initiale en TBT injectée dans le sol). Le BCF est inférieur à 1 pour les haricots. Le BCF est de 25 pour la pomme de terre considérant les composés butylés (TPhT+DPhT+MPhT) après un dopage par une solution de TPhT à hauteur de 20 µg Sn/kg de sol. **Ainsi, pour le colza et le blé, la valeur théorique obtenue par calcul (5,3) est retenue. Elle est dans la gamme retrouvée pour le maïs sur des jeunes pousses (0,05 à 8,8) (Hérault, 2008). Pour la pomme de terre, la valeur expérimentale de 134 en MS est retenue (Marcic, 2005).**

4.3 Anilines chlorés

La substance retenue à l'issue de la hiérarchisation est la 4-chloroaniline. Elle n'est quantifiée dans aucune des 4 boues testées dans la présente étude. Aucun « potentiel de dégradation », ni « potentiel de transfert » n'a pu être déterminé.

Aucune donnée n'a été trouvée dans la littérature pour cette substance.

4.4 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Vingt-quatre HAP ont été étudiés, comprenant les molécules légères (naphtalène – 2 cycles) et lourdes (benzo(g,h,i)pérylène – 6 cycles / coronène – 7 cycles), ainsi que les HAP méthylés.

Le « potentiel de dégradation » a été déterminé pour 5 substances constituées de 4 à 7 cycles benzéniques (substances les plus lourdes). Les temps de demi-vie estimés (compris entre 5 mois et jusqu'à 11 ans) sont cohérents avec ceux de la littérature affichant toutefois une large gamme de valeurs, selon la substance considérée.

Le « potentiel de transfert » a été déterminé pour 5 substances constituées de 2 à 4 cycles benzéniques (molécules les plus légères). Au niveau des grains de blé, les BCF *expérimentaux* sont inférieurs à 1. Les 3 BCF *estimés* sur la base des limites de quantification dans les sols sont compris entre 1 et 5 pour les 3 végétaux (grains blé/graines colza et tubercules). Les BCF estimés à l'issue de l'application de l'équation empirique sont compris entre 0,1 et 0,4 pour 4 des 5 substances (seul le phénanthrène présente un BCF empirique plus faible de 0,06). Pour le blé, les BCF issus de l'étude sont environ 10 fois plus faibles que les BCF empiriques (100 fois plus faible dans le cas du pyrène). A contrario, pour deux autres substances (acénaphthène pour la pomme de terre, naphtalène pour le colza), les BCF issus de l'étude sont environ 10 fois supérieures aux BCF empiriques (le méthyl 2 fluoranthène n'est pas considéré car il dispose d'un Kow calculé, non retenu). Des différences de 1 à 2 ordres de grandeur dans les valeurs issues de l'étude ou de la littérature sont observées, ce qui reste acceptable.

Aucune donnée expérimentale issue de la littérature n'est disponible pour les 3 végétaux étudiés, hormis le B(a)P pour la pomme de terre (0,0001) et le blé (0,003), avec une concentration initiale dans le sol comprise entre 1 et 20 mg/kg (Fritz et al, 1983). Des BCF compris entre 0,1 et 6,7 ont été obtenus expérimentalement pour la carotte, la laitue et le chou (famille des Brassicacées comme le colza) pour le naphtalène, phénanthrène et chrysène (Kipopoulou et al., 1999). Les BCF sont plus faibles pour le B(a)P et P(g,h,i)P compris entre 0,04 et 0,12. Les concentrations dans les sols testés sont entre 3 et 17 ng/g, très

inférieures à celles du sol agricole amendé utilisé pour les essais en conditions contrôlées, mais de même ordre de grandeur que celles des parcelles en plein champ.

Dans une étude portant sur le transfert vers le maïs de HAP contenus dans les boues agricoles, seuls 3 HAP ont été analysés dans les grains (fluoranthène, phénanthrène et pyrène) avec des BCF compris entre 0,3 et 1,1 (Paraiba et al., 2010). Les concentrations dans les sols étaient faibles comprises entre 3 et 5 ng/g.

Ces résultats sont globalement cohérents avec les propriétés physico-chimiques des substances (poids moléculaire, caractère lipophile, solubilité dans l'eau...). Les substances les plus lourdes sont persistantes dans les sols et les plus légères sont assimilables par les végétaux. Ainsi, pour les trois végétaux, les BCF expérimentaux déterminés dans ce chapitre pour le naphthalène sont retenus.

4.5 Phénols et crésols

Trois substances ont été étudiées : phénol, m+p crésol et o-crésol. Le composé majoritaire dans les boues est le m+p crésol, de l'ordre du mg/kg MS. Le phénol est présent avec une concentration généralement divisée par 10 par rapport au crésol. La concentration de l'o-crésol est de l'ordre d'une dizaine de µg/kg dans les boues ; de ce fait il n'est pas quantifié dans les sols amendés mais il est quantifié dans les graines de colza.

Le « potentiel de dégradation » a été déterminé uniquement pour le m+p crésol ($T_{1/2}=4$ mois). La littérature affiche une valeur maximale de 30 j dans des conditions expérimentales non détaillées. L'adsorption du crésol sur la matière organique et/ou les particules du sol peut retarder sa dégradation.

Le « potentiel de transfert » a été déterminé pour les 3 substances dans le colza (BCF *global* compris entre 1 et 10) et uniquement pour le phénol dans le blé (BCF *experimental* < 1). Pour le phénol, le BCF estimé à l'issue de l'application de l'équation empirique est de 5,5. Il est 2 fois plus élevé que celui obtenu dans l'étude plein champ pour le colza (ordre de grandeur respecté) mais 100 fois plus élevé que celui obtenu pour le blé en conditions contrôlées. La part des dépôts atmosphériques n'a pas été étudiée sur les parcelles en plein champ mais il est connu que les phénols sont présents en phase dissoute dans les eaux de pluie (Schummer et al., 2009, Morville et al., 2006) et pourraient ainsi contribuer à augmenter leur teneur dans les organes exposés en plein champ.

4.6 Substances à usage pharmaceutique

Vingt-sept substances à usage pharmaceutique ont été étudiées réparties dans plusieurs groupes en fonction de leur activité thérapeutique (antibiotiques, analgésiques, anti-dépresseurs, hormones,...).

Le « potentiel de dégradation » a été déterminé pour 3 substances (2 hormones et 1 antibiotique). Les temps de demi-vie estimés pour l'estrone et le 17 β oestradiol (<30 j) sont cohérents avec ceux de la littérature. Aucune donnée n'est disponible pour la Flumequine (antibiotique) pour lequel un temps de demi-vie très faible de 7 j a été expérimentalement trouvé. Ce temps semblerait toutefois sous-estimé en raison des faibles concentrations mesurées dans les boues (conc. max. < 200 ng/g), alors qu'elle est quantifiée dans le sol agricole témoin, dans 2 des 3 sols amendés (étude en colonne de sols) et dans la moitié des parcelles agricoles (plein champ) avec des concentrations faibles mais relativement homogènes comprises entre 3,7 et 5,8 ng/g MS sol.

Le « potentiel de transfert » a été déterminé pour 3 substances (1 analgésique, 1 anti-fongique, 1 anti-inflammatoire). Le miconazole dispose uniquement d'une valeur Kow calculée, il est peu pertinent de comparer le BCF obtenu dans l'étude avec le BCF issu d'un Kow calculé. Pour le kétoprofen, le BCF estimé à l'issue de l'application de l'équation empirique est de 0,6 – il est 5 fois inférieur à celui obtenu dans l'étude plein champ pour le colza (l'ordre de grandeur est toutefois respecté). Pour l'acétominophen, la valeur logKow est inférieure à la valeur limite de 1,15 retenue comme domaine de validité des équations empiriques. L'équation empirique n'est pas applicable.

Une expérimentation a été conduite sur du blé en 2012 cultivé sur un sol amendé par une boue agricole (ratio à 22 t/ha, 3 fois la valeur maximale admissible) contenant différents pharmaceutiques dont du miconazole à la concentration de 341 ng/g boue (Gottschall et al.) : aucun transfert dans les grains n'est observé.

Aucune donnée n'est disponible sur le kétoprofen ou l'acétominophen. Des informations ont été recueillies sur d'autres substances, telles que par exemple :

- la carbamazépine dans les feuilles et les racines de chou pour lequel des BCF de 0,08 et 7,8 ont été expérimentalement obtenus à l'aide d'une solution hydroponique ; les BCF sont compris entre 0,08¹⁷ et 0,36 dans les gousses et tige/feuille/racine de *Brassica rapa* (Herklotz et al., 2010) ;
- la ciprofloxacine dans les feuilles et les racines de la carotte et de l'orge (Eggen et al., 2011). Un BCF est obtenu pour les feuilles de carotte et les racines d'orge (respectivement 0,03 et 0,26) alors que la substance n'est pas détectée dans les racines de la carotte, ni dans les parties aériennes de l'orge ;
- l'EE2 éthinylestradiol dans les parties aériennes et racinaires du haricot (Karnjanapiboonwong et al., 2011). Les BCF sont plus élevés avec des valeurs comprises entre 14 et 1 424 selon l'organe considéré (plus élevé dans les racines), la durée de culture et le support de culture (sol ou sable).

Il est rapporté que les substances pharmaceutiques non ioniques sont préférentiellement prélevées par les plantes et que la valeur du log Kow à elle seule ne peut expliquer le potentiel de transfert (Carter et al., 2014). Sur la base d'une étude menée sur le radis et le ray-grass, des facteurs comme le taux de lipides de l'espèce végétale, l'emprise racinaire et le développement foliaire affectent l'assimilation des substances hydrophobes. Ainsi, les substances neutres affichant un log Kow > 4 seraient préférentiellement retrouvées au niveau des racines.

4.7 PBDE

Neuf substances ont été étudiées du BDE28 au BDE209, couvrant les substances ayant 5 à 10 atomes de brome. Les boues sont constituées majoritairement de BDE209, et dans une moindre proportion en BDE47, BDE100 et BDE207.

Le « potentiel de dégradation » a été déterminé pour BDE47 et BDE99, avec des temps de demi-vie estimés à 26-74 j et 61-76 j respectivement. Il ne peut être exclu dans le cadre de l'étude qu'une fraction provienne de la débromation de congénères plus bromés, biaisant ainsi les résultats obtenus en surestimant le temps de demi-vie.

Le « potentiel de transfert » a été déterminé pour la famille dans sa globalité. En effet des phénomènes de débromation sont rapportés. Ainsi des congénères plus « légers » apparaissent dans les sols et dans les végétaux alors que seul le BDE209 a été introduit dans le sol de culture en début d'expérimentation (Huang et al., 2010 ; Vrkoslavová et al., 2010). La première étude porte sur différentes espèces végétales (luzerne, radis, courge, maïs, ray grass...) plantées sur un sol affichant une concentration de 4 700 ng/g de BDE209 et constate que la teneur en lipides des racines influe sur les concentrations mesurées en PBDE dans les parties racinaires (corrélation positive). Les BCF du BDE209 sont inférieurs à 1 pour l'ensemble des espèces végétales. La deuxième étude porte sur le tabac et la morelle noire (famille des Solanacées comme la pomme de terre), plantés directement sur les boues (pas de mélange à un sol agricole). Les BCF sont plus élevés pour le tabac (<0,3) que pour la morelle (<0,05) pour les 4 congénères suivants BDE47, BDE100, BDE99 et BDE209. Les BCF sont inversement proportionnels au logKow des 4 substances.

L'étude menée par le comité de Aarhus Amt (2005) au Danemark affiche un BCF pour le BDE99 à hauteur de 2,75 pour l'orge. Les trois autres congénères étudiés (47, 100 et 153) n'ont pas été quantifiés dans le végétal. Ainsi, pour la présente étude les BCF obtenus pour les 3 végétaux sont globalement similaires (fourchette de valeurs¹⁸ comprises entre 1,2 et 2). Notons que seuls 3 congénères (BDE183, BDE207 et BDE209) considérés comme fortement bromés sont quantifiés dans la pomme de terre. Seul le BDE209 est quantifié dans le grain de blé et seuls 2 congénères faiblement bromés (BDE28 et BDE47) sont quantifiés dans le colza. Cette observation souligne l'importance de l'espèce végétale et de son métabolisme dans l'assimilation des PBDE.

4.8 Perfluoroalkylés

Deux substances ont été étudiées : PFOA et PFOS. Seul le PFOS est présent dans les boues à de faibles concentrations ; il n'est pas quantifié dans les sols agricoles amendés.

Aucun « potentiel de dégradation », ni « potentiel de transfert » n'a pu être déterminé.

Les études de transfert menées récemment (Lechner et al., 2011 ; Stahl et al., 2009) montrent des BCF pour le PFOA compris entre 0,01 et 0,05 pour la pomme de terre pelée, la carotte pelée et le concombre non pelé (pour les pelures, les BCF sont similaires 0,02-0,04). Pour le PFOS, les valeurs sont légèrement

¹⁷ BCF exprimé en matière fraîche pour les gousses et graines

¹⁸ BCF famille PBDE = somme des concentrations dans le végétal/ somme des concentrations dans le sol

plus faibles pour ces mêmes espèces. La concentration du PFOS dans le sol influe les valeurs BCF du PFOS (Beach et al, 2006) : le BCF diminue globalement lorsque la concentration dans le sol augmente. Pour les différentes espèces cultivées (oignon, ray grass, luzerne, lin, laitue, soja, tomate), le BCF est compris entre 0,06 et 4,3 sur le sol le moins concentré (3,6 µg/g PFOS) et entre 0,01 et 0,24 sur le sol le plus concentré (278 µg/g PFOS).

4.9 Composés organiques volatils

Six substances ont été étudiées pour le « potentiel de dégradation ». Elles sont présentes en faible concentration dans les boues et dans des proportions très variables selon la boue. Le composé affichant la concentration la plus élevée dans la boue est le diphényléther. Il résulte que seul le nonane est quantifié dans le sol amendé. Le temps de demi-vie estimé dans le cadre de cette étude varie entre 40 et 170 j. Aucune donnée n'est disponible dans la littérature pour corroborer ces valeurs. Le « potentiel de transfert » n'a pas été étudié.

4.10 Hygiène et soin

Deux substances ont été étudiées, d'une part le galaxolide non quantifié dans les boues (LQ à 70 µg/g), et d'autre part, les cholestènes et ses dérivés quantifiés dans les boues à hauteur du mg/g. Seul le « potentiel de dégradation » a été déterminé pour les cholestènes et ses dérivés. Le temps de demi-vie estimé dans l'étude n'a pu être comparé à d'autres valeurs issues de la littérature. Le « potentiel de transfert » n'est pas un paramètre pertinent pour les cholestènes et ses dérivés puisque ces molécules sont produites naturellement par les végétaux.

4.11 Alkylphénols

Cinq substances ont été étudiées (4NP ; 4nOP ; 4nNP ; mélange¹⁹ 2,3,4NP et BPA). Les composés majoritaires dans les boues sont 4NP et BPA. Ils sont quantifiés dans les sols agricoles amendés. Le « potentiel de dégradation » a été déterminé pour 3 substances (4nOP ; 4nNP et BPA). Les temps de demi-vie estimés s'échelonnent de 14 à 203 j selon la substance. Pour 4nOP et BPA, ils sont cohérents avec ceux de la littérature ($T_{1/2}$ de l'ordre de 1 à 2 mois), en revanche le temps estimé pour 4nNP serait sur-estimé d'un facteur 5 à 7 avec une valeur de 30 j proposée dans la littérature. Le degré d'incertitude pour les temps proposés dans la présente étude est élevé en raison d'une quantification des 3 substances proche de la LQ dans les sols.

Il est à noter que 4nOP est quantifié dans une des trois boues testées expérimentalement, en revanche 4nNP n'est quantifié dans aucune des boues. Ces deux composés sont ponctuellement quantifiés à l'état de traces dans le sol agricole retenu (proche LQ), et dans 2 des 12 parcelles agricoles suivies pour le 4nOP. Les temps de demi-vie estimés dans la présente étude correspondraient vraisemblablement aux substances présentes initialement dans le sol agricole retenu.

Le « potentiel de transfert » a été déterminé pour 4NP et BPA (ainsi que le mélange 2,3,4NP). Ils sont compris entre 11 et 160 (BCF estimé sur la base de la limite de quantification dans les sols pour le colza), et globalement 10 à 1 600 fois supérieurs aux valeurs BCF obtenues empiriquement (équation tenant compte du logKow). Une étude basée sur le transfert du 4NP dans les grains de blé fourrage montre des BCF variant entre 0,24 et 0,35 en fonction de la concentration dans le sol comprise entre 6 et 47 µg/g (Dettenmaier et Doucette, 2007). Ces concentrations dans le sol sont toutefois 3 ordres de grandeur plus élevées que celles de la présente étude.

Notons aussi le possible dépôt sur les végétaux d'alkylphénols présents dans l'atmosphère, qui pourrait expliquer un BCF élevé en plein champ. Une étude sur l'eau de pluie et la neige menée en Belgique et en Allemagne atteste de la présence de 4NP dans l'atmosphère (Fries et Püttmann, 2004).

Notons que le nonylphénol en tant que tensio-actif pouvait rentrer dans la formulation des pesticides et des biocides. Or depuis le 17 janvier 2005 (date d'application de la Directive 2003/53/CE²⁰), son utilisation est

¹⁹ Mélange des isomères 2NP, 3NP et 4NP

²⁰ Directive 2003/53/CE du 18 juin 2003 portant vingt-sixième modification de la directive 76/769/CEE du Conseil concernant la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses (nonyl-phénol, éthoxylate de nonylphénol et ciment)

restreinte. Il ne peut être mis sur le marché ni employé en tant que substance ou constituant de préparations à des concentrations égales ou supérieures à 0,1 % en masse dans les applications suivantes : 1) nettoyage industriel et institutionnel, 2) nettoyage domestique, 3) traitement des textiles et du cuir, 4) émulsifiant dans les produits agricoles de traitement par immersion des trayons, 5) usinage des métaux, 6) fabrication de pâte à papier et de papier, 7) produits cosmétiques, 8) autres produits d'hygiène corporelle, et 9) coformulants dans les pesticides et biocides.

La consultation de certaines fiches de données de sécurité d'insecticides et de fongicides appliqués sur les parcelles en plein champ révèle l'absence de nonylphénol dans les préparations. Toutefois cette substance a été quantifiée dans les sols amendés et dans les végétaux, suggérant une rémanence plus élevée dans le milieu naturel ou bien une source d'apport non identifiée.

Quant au bisphénol A, il est utilisé pour la fabrication de plastiques particuliers (polycarbonates) servant à la confection de bouteilles recyclables, de vaisselles, de conteneurs de stockage..., ainsi que de résines (résines époxy) servant de revêtement intérieur aux boîtes de conserves et aux cannettes. De ce fait, on peut actuellement le retrouver comme contaminant des denrées. Il est également utilisé pour d'autres usages, par exemple pour fabriquer le papier de certains tickets de caisse. il est **interdit en France depuis le 1er janvier 2013 pour les contenants alimentaires de denrées destinées aux enfants de moins de 3 ans. Il le sera pour tous les contenants alimentaires à partir du 1er janvier 2015. Sa concentration pourrait donc diminuer dans le futur dans l'environnement et dans les boues.**

5. Conclusion du chapitre IV

Les expérimentations menées ont visé à mieux appréhender la persistance et le transfert des substances « émergentes » dans un agrosystème de type grandes cultures (pomme de terre, colza, blé). Un seul sol agricole de nature limono-sableux a été testé pour les expérimentations de laboratoire.

L'application de trois boues au ratio agronomique dans un sol agricole sablo-limoneux montre que certaines substances « émergentes » ne sont pas quantifiées dans le sol amendé, notamment en raison du facteur de dilution compris entre 325 et 1 000. Cela concerne, dans notre cas, les organo-étains, les perfluoroalkylés, l'aniline chloré et certains composés organiques volatils.

Deux paramètres ont été déterminés expérimentalement en vue d'alimenter l'évaluation des risques sanitaires :

- 1/ le temps de demi-vie reposant sur la persistance des substances au sein de colonnes de terre remplies de sol agricole amendé et placées en conditions extérieures ;
- 2/ le facteur de bioaccumulation ou BCF reposant sur le transfert sol-plante dans des parcelles de plein champ, ou sur une culture de blé en conditions contrôlées.

Les temps de demi-vie estimés à l'issue d'un essai sur colonnes de sol placées dans des conditions extérieures pendant 5 mois sont compris entre 7 et 462 j. Il est démontré :

- **une faible persistance (<30 j) pour trois substances pharmaceutiques et un alkylphénol ;**
- **une persistance modérée (<100 j) pour la famille des PBDE, pour les cholestènes, pour un COV, pour un alkylphénol (bisphénol-A) ; et**
- **une persistance élevée (comprise entre 100 et 462 j) pour cinq substances de la famille des HAP, pour le crésol et pour un nonylphénol.**

Cette durée d'expérimentation se révèle suffisante pour les pharmaceutiques mais affiche ses limites pour la famille des HAP, des phénols ou des alkylphénols par exemple.

Concernant le transfert de substances émergentes dans 3 grandes cultures (pomme de terre, colza, blé) dont les sols sont amendés avec des boues, les concentrations obtenues dans les grains et les tubercules épluchés sont variables selon l'organe végétal et les groupes de substances considérées. Elles sont de l'ordre du ng/g MS et restent à cet égard faibles. **La pomme de terre épluchée concentre un très faible nombre de substances, par rapport au blé ou colza. Le facteur de bioconcentration, BCF, calculé expérimentalement est inférieur à 1 pour une grande majorité de HAP. Il est compris entre 0,07 et 2,9 pour 3 pharmaceutiques. Il varie autour de 1,6 pour la famille des PBDE dans les 3 végétaux. Il atteint 15 pour le bisphénol-A dans le blé, et jusqu'à 164 pour les nonylphénols (valeur déterminée dans ce chapitre – voir annexe 9a et 12 et encadré p.84). Les valeurs de BCF déterminées expérimentalement sont retenues pour l'évaluation des risques sanitaires dans une première approche (choix majorant). Ces valeurs doivent être étayées et confirmées. Elles sont décrites dans le chapitre suivant et reportées en annexe 18.**

Ces premiers résultats sont encourageants pour la filière d'épandage car ils démontrent que la majorité des substances suivies sont faiblement persistantes dans le sol et faiblement bioaccumulées dans les végétaux consommés par l'homme.

L'application des boues au ratio agronomique a impliqué de travailler sur des concentrations faibles dans les matrices sols et végétaux, ne permettant pas d'obtenir des résultats probant au stade de ces travaux. Aussi, ces premières tendances nécessiteraient des travaux complémentaires pour conforter ces résultats préliminaires, à la fois en plein champ mais aussi en conditions contrôlées.

Rappelons aussi que ces premiers travaux ont été obtenus dans des conditions expérimentales spécifiques et ne peuvent être extrapolés sans précaution à d'autres espèces végétales ni à d'autres typologies de sol. Les conditions météorologiques pour les études de transfert en plein champ et l'étude de la persistance ont elles aussi joué un rôle dans le système sol-boue et le devenir des substances organiques émergentes.

Enfin, les résultats obtenus sont le reflet d'une composition des boues agricoles à un instant t (ici l'année 2012-2013) qui est largement susceptible d'évoluer en fonction de nos modes de vie et des activités industrielles.

V. Evaluation des risques sanitaires liés aux filières de valorisation des boues et composts de boues

1. Présentation générale de la démarche

L'objectif de cette étude a été de caractériser, de manière quantitative, quand cela est possible, les risques sanitaires liés aux filières d'épandage de boues et de composts de boues pour un nombre important de substances « émergentes » organiques. Le but était non seulement de calculer le risque lié à ces substances mais également d'appréhender leur contribution notamment par rapport aux ETM.

Cette partie est organisée selon les étapes clés de l'ERS telles que définies dans la méthodologie des guides de références de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS, 2000) et des guides INERIS (INERIS, 2003 et INERIS 2013), à savoir :

- L'identification des dangers et des relations doses-réponses des substances. Cette partie présentera les substances d'intérêt et abordera la sélection des relations doses-réponses disponibles et également la méthodologie utilisée pour pallier le manque de données toxicologiques pour les substances pharmaceutiques,
- L'évaluation des expositions : qui comprend la présentation et les choix effectués pour l'ensemble des paramètres d'entrée permettant le calcul des doses d'exposition,
- La caractérisation des risques : qui permet une appréciation du risque avec le calcul, quand cela est possible, de quotients de dangers (QD) pour les effets à seuil et des excès de risque individuel (ERI) pour les effets sans seuil.

La dernière partie est consacrée d'une part, à la présentation des incertitudes et d'autre part, à la discussion des résultats en fonction des hypothèses prises en compte dans les étapes précédentes.

Cette évaluation s'intéressera uniquement au risques attribuables aux substances sélectionnées et provenant de l'épandage. Les autres sources potentielles de contamination (dépôts atmosphériques, préexistence des substances dans les sols,...) ne sont pas prises en compte. Seul le risque attribuable à l'épandage des produits sur les sols est donc évalué. Enfin, la démarche se veut également raisonnablement majorante pour l'ensemble des paramètres incertains ou pour les données manquantes, au regard des connaissances actuelles.

2. Identification des dangers et des relations doses-effets

2.1 Identification des dangers

La hiérarchisation a précédemment permis de sélectionner les substances potentiellement les plus à risques et susceptibles d'être présentes dans les boues et les composts de boues. Les 33 substances pharmaceutiques et les 81 substances non pharmaceutiques (soit 114 substances sans dissocier le mercure organique et le mercure inorganique) sélectionnées selon la méthodologie présentée ont été incluses dans l'ERS. En complément, huit ETM ont été également pris en compte (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc, sélénium) (cf. annexe 3). Cette liste contient les substances actuellement réglementées dans les boues et les composts de boues.

Pour pallier le manque de données relatives à certaines substances, l'ERS est parfois menée par groupes de substances. De plus, le manque de Valeurs Toxicologiques de Références (VTR) pour une grande partie des substances à usage pharmaceutique (27 sur 33) ne permet pas de finaliser la dernière étape de caractérisation du risque de manière quantitative. Ainsi, pour ces 27 substances, le risque sera appréhendé de manière qualitative selon une méthodologie développée dans les sections suivantes.

Le tableau ci-dessous présente les substances ou groupes de substances prises en compte dans l'ERS, le nombre de substances de chaque groupe et le type d'évaluation menée.

Tableau 29 : substances ou groupes de substances inclus dans l'évaluation des risques sanitaires

Substances ou groupes de substances inclus dans ERS		Nombre de substances du groupe	Type d'évaluation
Eléments traces métalliques	Cadmium	-	Quantitative
	Chrome III	-	
	Cuivre	-	
	Mercure inorganique	1 (deux spéciations)	
	Mercure organique		
	Nickel	-	
	Plomb	-	
	Sélénium	-	
Zinc	-		
Substances non pharmaceutiques	DEHP	-	
	4-Chloraniline	-	
	PCB indicateurs	7	
	Alkylphénols	5	
	COV	6	
	HAP	20	
	HAP alkylés	4	
	Organoétains	4	
	Perfluoroalkyls	2	
	Phénols	3	
	Polybromodiphényléthers (PBDE)	9	
Dioxines/furannes	17		
Pharmaceutiques avec VTR	17-béta-oestradiol	-	
	Flumequine	-	
	Ivermectin	-	
	Spiramycin	-	
	Tétracycline	-	
	Carbamazépine	-	
Pharmaceutiques sans VTR	Autres substances pharmaceutiques	27	Qualitative

Le regroupement des substances, ne s'applique pas pour les cas suivants :

- les ETM : ils seront traités métal par métal. En effet, les données disponibles pour les ETM au niveau des transferts sol/plantes notamment sont suffisantes et de bonne qualité pour mener une ERS par composé individualisé.
- les substances pharmaceutiques : les substances pharmaceutiques ne forment pas un groupe chimique cohérent. Leur structure et leurs mécanismes d'actions sont très différents, c'est pourquoi ces substances ne peuvent pas être traitées de manière groupée.
- les substances qui sont les seuls représentantes de leur groupe : diéthylhexylphtalates (DEHP) et 4-Chloraniline.



Les scénarios d'expositions prennent en compte les paramètres d'épandages et les différences de pratiques d'épandage entre boues et composts de boues. Cette ERS s'effectue de manière globale pour l'ensemble du gisement de boues et de composts de boues actuellement produits, sur l'ensemble du territoire français et sur l'ensemble de la population. Dans ce contexte, des généralités sont proposées afin de définir des valeurs nécessaires aux calculs. Toutes ces généralités et hypothèses sont décrites dans les sections suivantes.

2.2 Relations dose-réponses : sélection des Valeurs Toxicologiques de Références (VTR)

2.2.1 Méthode

Les relations dose-réponses des substances sont appréciées par le biais de VTR. Pour ces VTR, selon les mécanismes toxiques mis en jeu, deux types d'effets sanitaires chroniques sont considérés :

- les effets à seuil : survenant à partir d'un seuil de dose d'exposition.
 La plupart de ces effets sont non cancérogènes. Dans ce cas, une VTR représente le seuil en-dessous duquel aucun effet sanitaire n'est attendu. Au-delà de ce seuil, un effet sanitaire est possible. La VTR s'exprime différemment selon la voie d'exposition considérée. Pour une exposition par inhalation, il s'agit d'une Concentration Admissible dans l'Air (CAA), qui s'exprime en masse de substance par mètre cube d'air inhalé (mg/m³). Pour une exposition par ingestion, il s'agit d'une Dose Journalière Admissible (DJA), qui s'exprime en masse de substance ingérée par jour et par kilogramme de poids corporel (mg/kgpc/j). Comme il s'agit ici d'effet chronique, l'exposition est considérée sur une période d'un an. Le risque s'exprime sous forme de Quotient de Danger (QD).
- les effets survenant sans seuil de dose d'exposition.
 Les effets sont cancérogènes génotoxiques. Dans ce cas, la VTR représente la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un effet s'il est exposé à une unité de dose de la substance pendant la totalité ou une partie de sa vie. La VTR est nommée Excès de Risque Unitaire par inhalation (ERUi) ou par voie orale (ERUo). Elle s'exprime différemment selon la voie d'exposition, dans une unité inverse de celle de l'exposition : en (mg/m³)-1 pour la voie inhalation et en (mg/kgpc/j)-1 pour la voie ingestion. Le risque s'exprime alors sous forme d'Excès de Risque Individuel par inhalation (ERli) ou par ingestion (ERlo).

Les VTR des substances sélectionnées dans l'étude sont recherchées dans la littérature, plus précisément dans les six bases de données internationales classiquement utilisées (USEPA, ATSDR, OMS, OEHHA, RIVM) ainsi que sur le site de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). Dans ces bases, lorsque plusieurs VTR existent pour une même substance, la même voie d'exposition et le même type d'effet, deux cas de figure sont possibles :

1. L'ANSES ou l'INERIS²¹ recommande un choix de VTR. Dans ce cas, ce choix de l'ANSES est retenu pour l'étude, puis le choix de l'INERIS.
2. Aucune recommandation de l'INERIS ou de l'ANSES n'est disponible pour la substance étudiée. Dans ce cas, le choix de VTR est réalisé selon la démarche décrite par la circulaire n°DGS/SD7B/2006/234 de la Direction Générale de la Santé, qui définit une hiérarchisation entre les différentes bases de données citées ci-dessus.

2.2.2 Résultats

Pour les 81 substances non pharmaceutiques, les résultats de la recherche des VTR ont permis d'identifier, pour des expositions chroniques et :

- pour la voie orale : 26 VTR pour les effets à seuil et 26 VTR pour les sans seuil,
- pour la voie inhalation : 5 VTR pour les effets à seuil et 25 VTR pour les sans seuil.

²¹ Voir le Portail Substances Chimiques : <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

Pour les 33 substances pharmaceutiques, les résultats de la recherche des VTR ont permis d'identifier, pour des expositions chroniques et :

- pour la voie orale : 6 VTR pour les effets à seuil et 1 VTR pour les sans seuil,
- pour la voie inhalation : aucune VTR pour les effets à seuil et 1 VTR pour les sans seuil.

Les 114 substances sélectionnées ne sont pas caractérisées indépendamment dans l'ERS mais réunies généralement en groupe comme expliqué dans la section précédente. **Ainsi, lorsqu'il s'agit de groupe de substances, la VTR la plus contraignante est retenue pour l'ensemble du groupe.**

Pour les substances non pharmaceutiques, il existe au moins une VTR par substance ou groupe de substances (sauf pour le galaxolide et les cholestènes).

Pour les substances à usage pharmaceutique, des VTR ont été trouvées pour seulement 6 substances différentes (spiramycine, ivermectine, flumequine, tétracycline, 17- β -oestradiol, carbamazépine).

L'annexe 15 présente les VTR retenues par substance ou groupe de substances considérées dans l'ERS.

2.3 Substances pharmaceutiques sans VTR - Elaboration de VTR « posologie »

Sur l'ensemble des 33 substances pharmaceutiques, 27 ne disposent pas de VTR permettant de caractériser le risque de manière quantitative. Toutefois, il apparaît important d'estimer la contribution de ces molécules, a minima par une approche qualitative. Pour ce faire, et après discussion avec le COTEC, il est proposé d'utiliser les posologies des molécules en question afin d'élaborer des VTR_{poso} selon une méthodologie déjà expérimentée par l'ANSES et l'OMS. Cette méthodologie est détaillée ci-dessous. Il est à noter que les informations des dossiers d'autorisations de mise sur le marché ne sont pas utilisées car ils sont difficilement accessibles.

En 2007, Mullot et al. ont démontré que les doses thérapeutiques sont fortement corrélées aux VTR (Mullot et al., 2007, cité dans AFSSA, 2008). L'Organisation Mondiale de la Santé cite cette méthodologie comme état de l'art pour l'évaluation des risques liés aux molécules pharmaceutiques au niveau international (OMS, 2012). En France, l'ANSES, se réfère à cette méthodologie (AFSSA, 2008; ANSES, 2013).

Les valeurs repères d'activité thérapeutique qui sont proposées ici sont qualifiées de VTR_{poso}. L'élaboration de ces VTR_{poso} s'est déroulée en deux étapes principales :

- Recherche des posologies minimales
- Application de facteur d'incertitude

Dans un premier temps, les posologies minimales ont été recherchées dans la base de données du ministère de la santé, développée en partenariat, notamment avec l'Agence Nationale des Médicaments (ANSM, 2013). Pour la sélection des posologies, les choix suivants ont été effectués :

- Seules les posologies adultes ont été considérées ; les posologies enfant ou les posologies adaptées à des populations particulières (insuffisants rénaux par exemple) n'ont pas été prises en compte ;
- Les posologies minimales par prise ont été retenues (ceci afin d'être majorant par rapport aux autres posologies possibles). C'est la dose minimale pouvant engendrer un effet thérapeutique en une prise. Cette dose peut être inférieure à la dose journalière totale si la substance est administrée à plusieurs reprises au cours de la journée afin de maintenir la concentration sanguine.

En l'absence de posologie voie orale disponible une dose de 10 mg a été retenue, approche protectrice par défaut citée par l'OMS (2012). Quatre substances sont concernées : la cefopérazone, l'estrone, la lidocaïne et la bromadiolone.

Les posologies trouvées, exprimées en mg par personne, ont été converties en mg/kg en considérant un poids moyen d'individu de 60kg. Ensuite, les facteurs d'incertitude appliqués ont été similaires à ceux applicables à l'élaboration de VTR (ECHA, 2012) :

1. Facteur d'incertitude intra-espèces pour couvrir la susceptibilité de certains individus au sein de la population (enfants, personnes âgées, insuffisants rénaux,...) : 10 ;
2. Facteur d'incertitude relatif à la relation dose-réponse
Le facteur est par défaut de 1 lorsqu'une dose sans effet est utilisée comme point de départ à l'élaboration d'une VTR. Lorsqu'une dose minimale avec effet est employée, un facteur de 3 peut être appliqué, le facteur pouvant être de 10 dans certaines situations (à apprécier au cas par cas sur avis d'expert). La dose thérapeutique utilisée ici comme donnée de départ est une dose avec effet. Un facteur de 10 a été retenu ;
3. Facteur d'incertitude complémentaire : peut être appliqué lorsqu'il existe un manque de données (peu d'études disponibles, problème de qualité des études) ; étant donné la méthodologie appliquée, un facteur de 10 est choisi.

Ainsi, en choisissant un facteur de 10 à chaque étape, un facteur total de 1000 depuis les posologies minimales a été appliqué afin d'extrapoler aux valeurs repères d'activité des molécules pharmaceutiques "VTR_{poso}".

Cette approche n'a pas été utilisée pour une des substances anticancéreuse, le fluorouracil, possédant une activité de cancérogénèse avec action sur l'ADN. Dans le cas de telles molécules, il a été proposé d'utiliser le seuil de préoccupation toxicologique le plus bas (TTC en anglais), celui défini pour les substances ayant un potentiel génotoxique. Ce seuil est utilisé par l'EFSA dans son arbre décisionnel et correspond au seuil de 0,15 µg/personne soit 0,0025 µg/kg poids corporel en considérant un poids corporel de 60 kg (EFSA, 2012).

Les VTR_{poso} ainsi calculées sont :

- pour les 6 substances pharmaceutiques disposant de VTR, généralement inférieures d'un facteur 10 avec les VTR disponibles dans la littérature (sauf pour spiramycine, facteur 3 environ),
- cohérentes avec les toxicités données par les VTR disponibles (par exemple, VTR de 17-β-oestradiol < VTR Ivermectine < VTR Carbamazépine),
- cohérentes avec les toxicités potentiellement attendues (hormones et antinéoplasique les plus toxique)

L'ensemble des VTR_{poso} ainsi élaborées, des posologies retenues et les remarques spécifiques à chaque substance sont donnés en annexe 16.

3. Evaluation des expositions

3.1 Paramètres liés aux cultures

3.1.1 Paramètres génériques

La surface actuellement épandue en France est de l'ordre de 750 000 à 800 000 hectares pour une surface agricole utile (SAU) d'environ 29 millions d'hectares. L'épandage concerne donc entre 2,5 et 3 % de la SAU.

La durée des plans d'épandage est généralement de 10 ans. Toutefois, les pratiques d'épandage sont plus anciennes (une centaine d'années). Dans cette étude, une période de 10 ans sera retenue en première approche. En effet, les pratiques de cultures ainsi que la qualité et la composition des produits épandus peuvent évoluer assez rapidement. L'influence de la durée d'épandage prise en compte est discutée dans les incertitudes.

Une rotation des parcelles épandues s'effectue lors des épandages de boues ou composts de boues. Ainsi, c'est en moyenne 3,6 tonnes de produits en matière sèche qui sont épandues par hectare tous les trois ans (données moyennes présentées dans les plans d'épandage ou données des revendeurs de composts). Pour simplification du modèle de calcul, il est considéré que l'épandage est effectué tous les ans, sur les 726 000 ha concernés à raison de 1,2 tonnes de matière sèche de produits par ha.

Le labour est généralement réalisé rapidement après l'épandage et entraîne un mélange des produits épandus avec le sol. Les enquêtes de terrain et la connaissance des pratiques agricoles amènent à proposer une profondeur moyenne de labour de 0,3 m qui correspond à la profondeur d'enfouissement des boues. La densité moyenne des sols agricoles est prise égale à 1 500 kg matière sèche par m³.

Le Tableau 30 récapitule les paramètres d'épandage pris en compte dans l'étude.

Tableau 30 : Récapitulatif des paramètres d'épandage retenus dans l'étude

paramètre	valeur
Surface Agricole Utile (SAU) en France	29 000 000 ha
Surface épandue	726 000 ha
Masse moyenne de produits épandus par an et par hectare	1,2 tonne MS.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Durée du plan d'épandage	10 ans
Profondeur de labour	0,3 m
Densité du sol (MS)	1,5.10 ³ kg.m ⁻³

3.1.2 Choix des cultures

Pour mémoire, le choix des cultures a été réalisé par le COPIL en accord avec le COTEC. Ce choix s'est porté sur les grandes cultures (blé, maïs, colza,...) susceptibles d'être épandues (voir partie IV.2).

Le dimensionnement de l'étude ne permettait pas de tester toutes les cultures susceptibles d'être épandues. Ainsi, le choix s'est tourné vers des cultures différentes les plus répandues :

- le blé, comme céréale la plus cultivée (environ 50% des céréales cultivées en France) et consommée par l'homme,
- le colza, comme oléagineuse (environ 60% des oléagineuses cultivées), notamment utilisé pour servir d'ensilage (nourriture animale via les tourteaux),
- la pomme-de-terre : pour inclure un tubercule consommé par l'homme.

Ce choix permet de disposer d'une bonne représentativité des cultures épandues. Le maïs fourrager et l'épandage sur prairie sont les deux principales autres surfaces épandues autres que celles sélectionnées.

L'ensemble de la surface épandue en France (les 726 000 ha) est alors considérée comme cultivée avec du blé (pour 74 %), du colza (pour 23%) et de la pomme de terre (pour 3%).

3.1.3 Concentrations retenues pour les produits épandus

Les concentrations retenues pour caractériser de façon « moyenne » les boues et les composts de boues épandus en France proviennent de plusieurs sources de données : les analyses réalisées dans la partie quantification analytiques de la présente étude (pour mémoire, 12 stations d'épuration collective suivies sur 4 campagnes de prélèvements), mais aussi les analyses réalisées par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie sur une partie des échantillons collectés pour les dioxines/furannes et le DEHP et les analyses de l'année 2013 collectés chez des exploitants de stations pour les métaux et les PCBi.

Dans une optique de réalisation de l'ERS sous un angle majorant et en accord avec le COTEC, les centiles 80 des concentrations sont retenus dans un premier temps. Pour les groupes de substances, c'est la somme des centiles 80 de chaque substance qui est retenue.

Le Tableau 31 présente les valeurs de concentrations considérées dans les boues et les composts de boues ainsi que le nombre d'analyse et la source des données.

Tableau 31 : Concentrations des substances ou groupes de substances retenues (centile 80) comme paramètre d'entrée dans l'évaluation des risques sanitaires et sources des données.

substances	Centile 80 des concentrations mesurées (ou somme des centiles 80 pour les groupes) mg/kg MS	Source des données et nombre d'analyses (n)
Cadmium	2,6E+0	analyses réglementaires 2013 (n > 4 500 analyses)
Chrome III	5,4E+1	
Cuivre	4,0E+2	
Mercure inorganique	1,4E+0	
Mercure organique	1,4E-2	
Nickel	3,0E+1	
Plomb	9,7E+1	
Sélénium	3,7E+0	
Zinc	1,1E+3	
PCB indicateurs	2,4E-1	
4-chloraniline	6,0E-1	analyses de la présente étude (n = 47 analyses)
Alkylphénols	6,6E+0	
COV	3,0E-2	
HAP	3,5E+0	
HAP alkylés	5,9E-1	
Organoétains	1,6E-1	
Perfluoroalkyls	8,4E-2	
Phénols	3,4E+1	
Polybromodiphényléthers (PBDE)	5,4E+0	
17-β-oestradiol	1,7E-4	
Flumequine	2,8E-2	
Ivermectin	2,0E-3	
Spiramycin	1,0E-3	
Tétracycline	2,2E-1	
Carbamazépine	3,6E-2	
DEHP	1,1E+1	analyses AESN* (n = 8 analyses)
Dioxines/furanes (I-TEQ OMS 98)	2,3E-5	

*Agence de l'Eau Seine-Normandie

Ces concentrations sont utilisées dans les calculs pour définir les concentrations dans les sols et les doses d'exposition en fonction des typologies de populations et des types d'effets (cf. section 3.1).

3.1.4 Concentrations prises en compte dans le sol

L'épandage des produits fertilisants sur les sols agricoles puis le travail du sol entraînent un mélange des matières. Il s'agit ici d'évaluer la quantité de substances chimiques directement attribuable aux boues et aux composts de boues épandus. Cet apport théorique $[X]_{\text{sol/boue}}$ se calcule par dilution dans le sol des substances chimiques contenues initialement dans les boues et les composts de boues selon la formule ci-dessous :

$$[X]_{\text{sol/boue}} = [X]_{\text{boue}} \times M_{\text{boue}} / M_{\text{terre}}$$

$$\text{où } M_{\text{terre}} = S_{\text{terre}} \times P_{\text{enfouissement}} \times D_{\text{sol}}$$

Avec :

- la masse M_{boues} de boues épandues (en kg);
- la teneur $[X]_{\text{boue}}$ de chaque substance chimique dans les boues (mg/kg) ;
- la masse de sol dans laquelle les boues vont être mélangées, estimée à partir de la surface S_{terre} (en m²) et la masse volumique D_{sol} (kg/m³) du sol sec amendé, ainsi que la profondeur d'enfouissement $P_{\text{enfouissement}}$ (en m) des boues.

Les données prises en compte ici sont données ci-dessus dans le Tableau 30 et le Tableau 31.

3.1.5 Spéciations prises en compte pour les éléments traces métalliques

Pour certains éléments traces métalliques, les spéciations influencent fortement les propriétés physico-chimiques et toxicologiques. Dans le cas présent, un choix raisonnable de spéciation a porté sur les éléments suivants : le chrome et le mercure.

Le chrome est considéré uniquement sous l'état d'oxydation +III. En effet, les conditions environnementales sont majoritairement réductrices, et par conséquent la forme majoritaire du chrome dans l'environnement est le CrIII (Kimbrough et al., 1999). De plus, il apparaît, dans des expérimentations en microcosmes, que la population microbienne du sol a une action majoritairement réductrice sur le CrVI (Bader et al., 1999).

Concernant le mercure, la spéciation retenue dépend de la voie d'exposition considérée :

- pour la voie orale, le mercure organique est considéré car c'est sous cette forme que cette substance s'accumule dans les organismes ;
- pour la voie inhalation, le mercure inorganique est considéré car c'est la spéciation la plus volatile du mercure selon la fiche de données toxicologiques et environnementales de l'INERIS.

Les concentrations en mercure dans les sols ou dans les boues sont données en mercure total. Pour répartir cette concentration totale entre les spéciations organique et inorganique, l'INERIS considère que le mercure est généralement présent à moins de 1% sous forme organique dans les sols (Gochfeld, 2003), et que ce principe peut être étendu au cas des sols amendés par des boues dans la mesure où celles-ci sont réparties dans au moins 100 fois leur masse de terre. En conséquence, les concentrations en mercure inorganique dans les sols ou dans les boues sont prises égales à 99% de la concentration totale, et les concentrations en mercure organique sont prises égales à 1% de la concentration totale.

3.2 Scénarios et paramètres d'exposition

3.2.1 Typologie de population considérée et schéma conceptuel

L'ERS porte sur la population générale pour laquelle trois typologies de population ont été considérées :

- le consommateur (enfant et adulte),
- le riverain (enfant et adulte),
- l'agriculteur (adulte).

Lors de l'épandage de boues ou de composts de boues, les voies d'exposition à partir de la source secondaire de contamination (les sols amendés) sont de deux types :

- voies d'exposition directes :
 - ingestion de terre en provenance des parcelles amendées ;
 - inhalation de particules de terre en provenance des parcelles amendées ;
- voies d'exposition indirectes :

- consommation de végétaux cultivés sur des parcelles amendées ;
- consommation d'animaux élevés à partir de végétaux cultivés sur des parcelles amendées.

En cohérence avec le positionnement actuel de la DGS (Direction Générale de la Santé) et de l'OPERSEI (Observatoire des Pratiques de l'Évaluation des Risques Sanitaires dans les Études d'Impact), la voie d'exposition par contact cutané n'est pas prise en compte. La voie ingestion d'eau (via eau de surface ou captage d'eau souterraine) n'a pas non plus été retenue dans le cadre de cette étude.

Un schéma conceptuel d'exposition, résumant les voies d'exposition ainsi prises en compte, est proposé par la Figure 23.

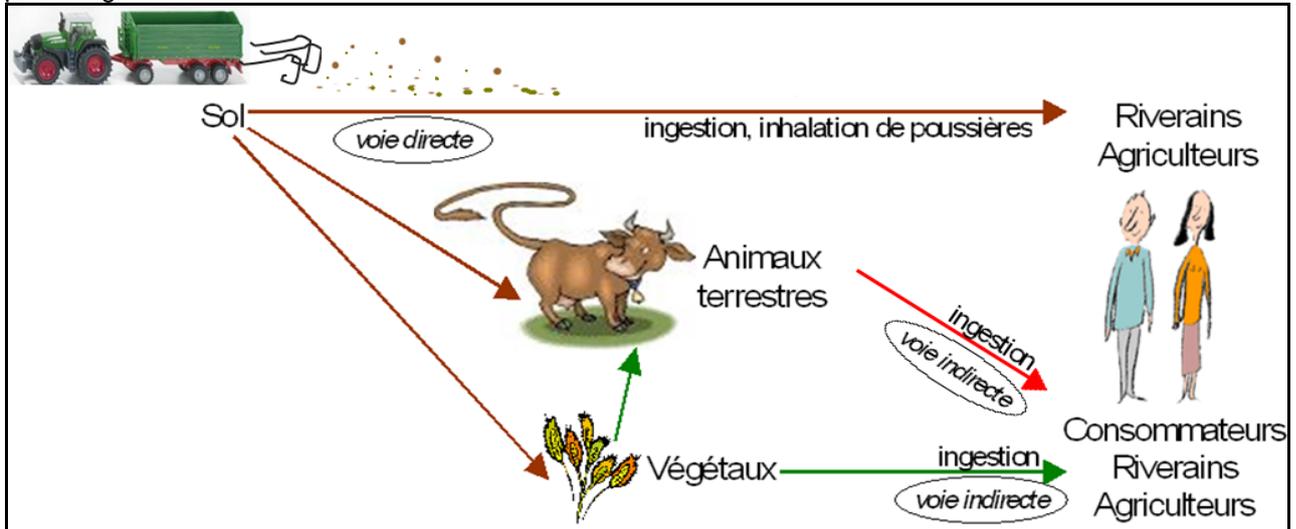


Figure 23 : schéma conceptuel d'exposition lors d'épandage de boues ou composts de boues

Les voies d'exposition dépendent donc de la typologie de la population considérée. Les consommateurs sont exposés aux substances liées à l'épandage uniquement par la consommation de végétaux cultivés sur les parcelles épandues et par les animaux élevés à proximité des parcelles et nourris avec ces végétaux. Les riverains et les agriculteurs, en plus des consommations d'aliments, sont exposés directement par inhalation de poussières et ingestion de sol venant des parcelles épandues.

3.2.2 Durée d'exposition et principes des calculs des doses d'exposition

Comme décrits dans la section précédente, les effets des substances sont de deux types : à seuil ou sans seuil ; ainsi :

- Pour les effets à seuil, la dose d'exposition est calculée sur l'année d'exposition maximale. Cette année correspond à la dernière année d'épandage, en raison, pour les substances persistantes, de leur accumulation dans le sol.
- Pour les effets sans seuil, la durée d'exposition est calculée selon la typologie de population considérée. Le tableau ci-dessous présente les différents temps d'exposition par typologie de populations et les cumuls possibles entre les différentes typologies. Ces expositions sont considérées sur la vie entière, dont la durée est classiquement prise égale à 70 ans.

Tableau 32 : durée prise en compte pour le calcul des expositions pour les effets sans seuil en fonction des typologies de populations et cumuls possibles

Typologie de population	Durée d'exposition
Consommateurs et riverains enfants	6 ans
Consommateurs et riverains adultes	64 ans
Agriculteurs (adultes)	40 ans
Riverain « cumul » (enfant et adulte)	6 ans + 64 ans
Consommateur « cumul » (enfant et adulte)	6 ans + 64 ans
Agriculteur « cumul » (enfant riverain, agriculteur, riverain adulte)	6 ans + 40 ans + 24 ans

Par exemple les consommateurs sont exposés potentiellement toute leur vie, 6 ans en tant qu'enfant et 64 ans en tant qu'adulte. C'est le même principe avec les agriculteurs qui sont exposés 6 ans en tant que riverain enfant, 24 ans en tant que riverain adulte et 40 ans en tant qu'agriculteur.

3.2.3 Principe du calcul de la dégradation des substances dans le sol

Pour les substances qui ne se dégradent pas dans le sol, il y a accumulation des apports durant les années d'épandage (10 ans). Ces substances sont ensuite présentes dans le sol à la même concentration que celle de la dernière année d'épandage car aucun phénomène d'atténuation n'est pris en compte (pas de lixiviation, de volatilisation,...). C'est le cas notamment des ETM (cf. Figure 24).

Pour les substances qui se dégradent dans le sol, il y a durant les années d'épandage en même temps qu'un apport, une dégradation de ces substances dans le sol. Cela correspond à la courbe de la Figure 24 entre le début et la fin de l'épandage. A la fin des années d'épandage, l'apport des substances est terminé et seuls se poursuivent les phénomènes de dégradation (ce qui correspond à la courbe entre la fin de l'épandage et la fin de la durée d'exposition considérée).

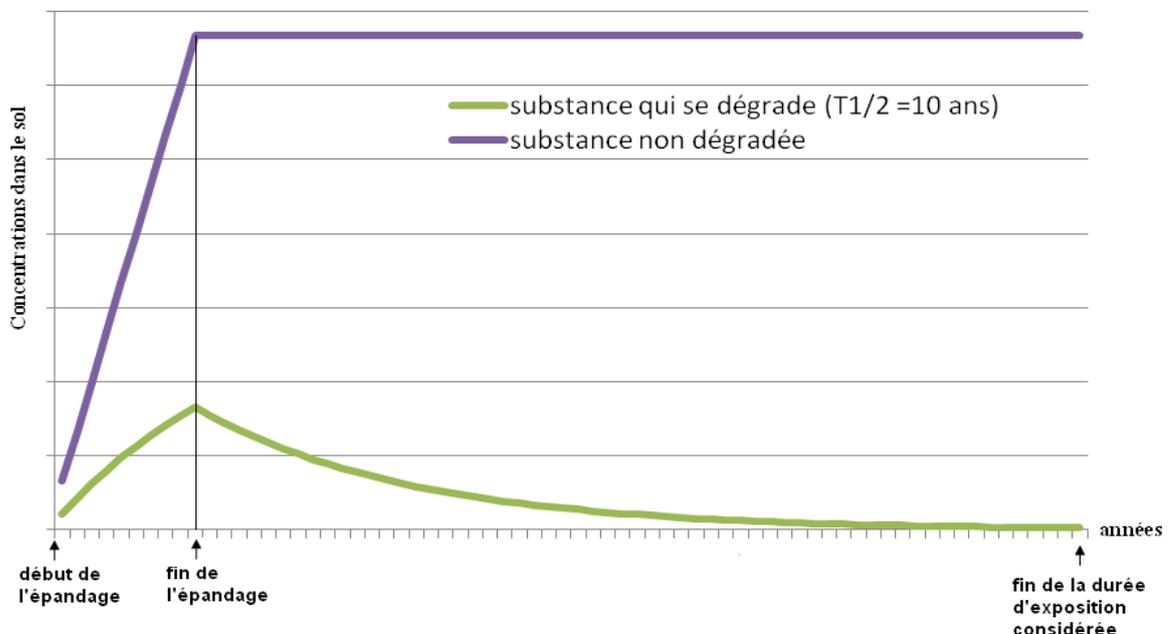


Figure 24 : Evolution théorique des concentrations en substances dans le sol liées à l'épandage (pour deux substances avec une même concentration dans les produits épandus)

La dégradation des substances dans le sol est prise en compte sous la forme d'une atténuation exponentielle par la formule suivante :

$$X_n = X_1 \times \exp[-\ln(2) \times (n-1) / T_{1/2}]$$

Avec :

- X_n est la concentration résiduelle en un apport donné n années après cet apport (en mg/kg),
- X_1 la concentration initiale de cet apport (en mg/kg),
- $T_{1/2}$ la persistance (cf ; partie IV) de la substance considérée (en année).

La concentration dans le sol, pour une année A donnée durant les années d'épandage, correspond donc à la somme des concentrations X_n (n allant de 1 à A). Puis, la concentration dans le sol pour une année B donnée après la fin de l'épandage, correspond à la concentration dans le sol de l'année de la fin de l'épandage dégradée jusqu'à l'année B .

Les concentrations dans le sol sont calculées de manière théorique année par année. Cela signifie qu'à chaque année est attribuée une (et une seule) valeur de concentration dans le sol (résultant de l'apport et de la dégradation).

Exemple : Pour une substance qui se dégrade, à la 4^e année après le début de l'épandage, la concentration du sol sera composée de l'apport de l'année 1 dégradé durant 3 ans, l'apport de l'année 2 dégradé pendant 2 ans, l'apport de l'année 3 dégradé pendant 1 an et l'apport de l'année 4 non encore dégradé.

La concentration dans le sol 3 ans après la fin de l'épandage (soit 13 ans après le début de l'épandage pour une durée d'épandage de 10 ans) se traduit comme la somme des concentrations X_n (n allant de 1 à 10) ; valeur à laquelle on applique le facteur de dégradation $\exp(-\ln(2) * 2 / T_{1/2})$.

Les potentiels de dégradation des différentes substances dans le sol proviennent soit des résultats expérimentaux, soit de la littérature (cf. partie IV). Le choix de la valeur prise en compte dans l'ERS, quand plusieurs valeurs sont disponibles, est explicité dans les sections suivantes (cf. section 3.3).

3.2.4 Principe du calcul des doses d'exposition

La méthode retenue pour calculer les concentrations d'exposition est développée ci-dessous :

- Pour les effets à seuil :

Comme expliqué plus haut, la dose est calculée pour l'année où l'exposition est maximale, ce qui correspond à l'année de la fin de l'épandage (ici pris égale à la 10^e année).

- Pour les effets sans seuil :

La concentration considérée dans le sol pour le calcul des doses d'expositions (transfert dans les végétaux, ingestion de sol,...) est la concentration moyenne maximale du sol durant les années d'expositions considérées selon la typologie de populations (riverains enfants, agriculteurs,...cf. Tableau 32). Par exemple, pour un enfant riverain, la concentration considérée dans le sol est la moyenne des 6 années pour lesquelles le sol présente les concentrations les plus importantes.

3.2.5 Autres paramètres d'exposition

D'autres paramètres sont nécessaires au calcul des doses d'expositions. Les principaux paramètres sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Tableau 33 : Présentation des autres paramètres pris en compte pour le calcul des doses d'exposition

	Consommateurs		Riverains		Agriculteurs adultes	Références
	adultes	enfants	adultes	enfants		
Durée journalière d'exposition aux parcelles amendées (h/j)	0	0	1,0	2,0	8,0	Cf. définition scénarios annexe 17
Jours d'exposition dans l'année (j/an)	0	0	26	92	100	Cf. définition scénarios annexe 17
Masse de sol ingérée par jour (g/j) *	0	0	50	150	216	USEPA 1988 et 1997
Masse corporelle (kg)	70	15	70	15	70	InVS, 2012
Concentration en poussières dans l'air inhalée (kg/m ³)	7E-8	7E-8	7E-8	7E-8	2E-5	Veerkamp and Ten Berge, 1994 et Caillaud 2002
Facteur de rétention des particules dans les poumons (-)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,1	

* les valeurs publiées par l'InVs en 2012 et fondées sur Stanek et al. (2001) donnent pour les enfants des ingestions de terre médiane de 26,2 mg/j et maximum de 198 mg/j. Dans une première approche raisonnablement majorante, les valeurs données par l'US-EPA, ont été retenues.

Le facteur de rétention des particules dans les poumons intervient dans la voie inhalation. Il prend en compte le fait qu'une partie des particules est retenue au niveau des poumons alors qu'une autre partie est expectorée et n'a donc pas d'effet.

3.2.6 Scénario de consommation alimentaire

Les individus considérés dans l'ERS sont exposés, entre autre, par l'alimentation, aussi bien via l'ingestion de végétaux cultivés que de produits animaliers. Pour prendre en compte cette exposition, des catégories d'aliments sont définies, il s'agit des catégories :

- céréales ;
- pomme de terre ;
- viandes de bœuf, veau, cheval ;
- viandes de mouton, agneau ;
- viande de porc.

Ainsi les quantités d'aliments consommées de chaque catégorie sont recherchées et mises à jour. Cette mise à jour se fonde surtout sur les travaux menés au sein de l'Ineris dans le cadre du développement du modèle de transfert dans la chaîne alimentaire MODUL'ERS. Les quantités considérées dans cette ERS ainsi que les références associées sont détaillées en annexe 17.

Une partie seulement de la masse des aliments consommés provient de parcelles épandues. Pour définir cette fraction provenant de sols épandus, les règles suivantes ont été adoptées :

- Pour les végétaux hors pomme de terre : Cette fraction est égale au pourcentage de la SAU épandue, **ici 2,5 %**
- Pour les animaux et les pommes de terre : Cette fraction est égale au pourcentage de la SAU épandue **(2.5 %) plus un pourcentage produit localement.**

Ces règles découlent du fait que les grandes cultures, telles que le blé, sont supposées ne pas être consommées directement au niveau local mais centralisées dans des coopératives puis redistribuées. Ce n'est pas forcément le cas de la production animale ou des pommes de terre dont une partie peut être consommée directement par l'agriculteur et/ou vendue directement aux riverains de celui-ci.

Les pourcentages de productions locales pris en compte sont également reportés dans l'annexe 17.

3.3 Paramètres retenus pour les transferts vers les végétaux (BCF)

Les données utilisées dans l'ERS pour estimer le transfert des substances vers les végétaux proviennent de trois sources, les données produites dans la partie IV (« Comportement des substances dans l'environnement ») de la présente étude ($BCF_{\text{estimé}}$, BCF_{globale} , $BCF_{\text{expérimental}}$), les données de la littérature et les calculs théoriques à partir du Kow.

Si les données de transfert sol/plante commencent à être bien définies pour les éléments métalliques (notamment avec la base de données BAPPET²²), il subsiste néanmoins parfois des écarts importants entre les différentes valeurs de la littérature. Dans le cas du transfert des substances organiques, les connaissances sont beaucoup plus ténues.

La comparaison de BCF entre eux ou avec des BCF émanant de la littérature met en évidence des différences importantes. En effet, pour une même substance et un même végétal, l'écart est généralement d'un ordre de grandeur (voire jusqu'à 2 rarement 3 ordres de grandeur). Certains BCF montrent néanmoins une bonne cohérence entre les différentes valeurs.

Dans ce contexte d'incertitude, quand plusieurs valeurs sont disponibles pour un même végétal et une même substance, la démarche de l'ERS amène à choisir la valeur la plus contraignante, c'est-à-dire la valeur de transfert la plus élevée. Lorsqu'il s'agit d'un groupe de substances, le BCF le plus élevé du groupe est retenu. Cette démarche est réalisée quel que soit le BCF (estimé, global, expérimental) ou sa source (expérimentation ou littérature). Toutefois, il peut y avoir certaines exceptions. En effet, certaines valeurs trouvées dans la littérature, même si elles sont les plus élevées, peuvent ne pas être retenues car

²² : Base de données sur les teneurs en Eléments Traces métalliques de Plantes Potagères

elles ont été élaborées sur la base d'expérimentations jugées trop éloignées des conditions réelles de l'épandage (concentration de la substance élevée, culture en substrat liquide, ...).

Lorsque aucune donnée n'est disponible, la formule de calcul empirique du transfert sur la base du Kow est utilisée ($\log BCF = 1,588 - 0,578 \times \log Kow$). Toutefois, cette formule qui apparaît dans plusieurs publications (Versluijs et al. 1998, Baes, 1982, Travis et Arms, 1988) a un domaine de validité restreint et s'applique uniquement aux parties aériennes des végétaux (ce qui exclut de l'utiliser pour la pomme de terre).

Une particularité est à noter pour la famille des PBDE comme cela est expliqué dans la partie IV précédente. Etant donné la débromation supposée des PBDE dans le sol et les végétaux, un BCF unique a été élaboré pour l'ensemble de cette famille.

Enfin, il existe une autre différence entre les BCF. Certains d'entre eux ont été élaborés sur la base des résultats d'expérimentations menées en conditions contrôlées et excluent donc les dépôts atmosphériques, tandis que d'autres ont été élaborés sur la base des résultats d'expérimentations réalisés en plein champs et englobent ces dépôts. Ces différences peuvent être prises en compte au niveau des calculs théoriques. Il est possible pour les BCF ne prenant pas en compte le dépôt atmosphérique d'ajouter un dépôt théorique calculé. Cependant, ce dépôt calculé est toujours négligeable dans le cas de la présente étude.

Les BCF retenus, pour les substances ou groupes de substances, dans l'ERS et les taux de matière sèche utilisée pour les conversions sont détaillés en annexe 18.

3.4 Paramètres retenus pour les transferts vers les animaux

En l'absence de mesures spécifiques, le transfert vers les animaux est estimé par l'utilisation d'un facteur de bioaccumulation (noté ici BAF), qui donne le rapport de la concentration en une substance dans l'animal (si possible dans le muscle puisqu'il s'agit de la partie la plus consommée) sur la concentration en cette même substance dans une matrice initiale (aliment, sol, ...).

Les valeurs de BAF sont issues en priorité de la littérature, en sélectionnant uniquement les expérimentations les plus proches des conditions observées dans le cas de la présente étude (sol amendés, quantité de boue apportée, expérimentation de plein champ privilégiée...). Si aucune valeur de la bibliographie ne peut être exploitée, alors, la valeur du BAF est estimée selon une relation empirique.

La seule relation empirique utilisée par l'INERIS dans le cadre de la présente étude est celle de Travis and Arms (1988), qui a été déterminée pour la bioaccumulation des substances organiques dans la viande de bœuf selon l'équation suivante où le BAF est exprimé en poids sec :

$$\log BAF_{\text{bœuf}} = -7,735 + 1,033 \times \log K_{ow}$$

Avec :

BAF : facteur de bioaccumulation dans l'animal considéré (sans unité, exprimé en matière sèche)

Kow : coefficient de partage octanol-eau (-)

Sur la base des études de Laurent et al. (2003), l'INERIS considère qu'un animal accumule des substances chimiques par l'ingestion :

- de sol amendé par les boues ;
- de fourrage cultivé sur les parcelles amendées ;
- de compléments (ensilage : maïs, soja...) cultivés sur les parcelles amendées.

En l'absence de données plus détaillées, la part de ces trois composants dans l'alimentation est supposée être la même pour tous les animaux, et est prise égale à :

sol : 4%

fourrage : 48%

ensilage : 48%

Des BAF ont été recherchés pour chaque catégorie de produits animaux (définis par CIBLEX, 2003 : bœuf, mouton, porc, ...) et pour chaque composant de l'alimentation. Un BAF global a été calculé à partir d'une part, de la ration alimentaire donnée ci-dessus et d'autre part, des valeurs de BCF déterminées précédemment. Ce BAF global donne le rapport de la concentration en une substance dans la partie comestible de l'animal sur la concentration en cette même substance dans le sol amendé, selon la formule générale :

$$BAF_{\text{global}} = 0,04 \times BAF_{\text{sol}} + 0,48 \times BCF_{\text{fourrage}} \times BAF_{\text{fourrage}} + 0,48 \times BCF_{\text{ensilage}} \times BAF_{\text{ensilage}}$$

Dans le cadre de la présente étude, aucune parcelle amendée n'est destinée à la culture de fourrage pour animaux. La contribution de l'épandage des boues à la voie « ingestion d'animaux » ne se fera donc que par les deux autres composants de l'alimentation.

Des valeurs n'ont été trouvées dans la littérature ou ont pu être élaborées par les formules empiriques, que pour trois catégories d'animaux (bœuf, mouton et porc), et pas pour la totalité des substances retenues (notamment manque de valeur pour ivermectin, spiramycine et perfluoroalkyls du fait du manque de valeur sur le Kow). La quantification ne pourra donc se faire que sur les données existantes. Les valeurs retenues pour ces transferts sont détaillées en annexe 18 ainsi que les teneurs en matières sèches nécessaires à convertir la matière sèche en matière fraîche.

3.5 Paramètres retenus pour la persistance dans le sol

Pour mémoire, pour décrire la diminution des concentrations dans le sol des substances au cours du temps, on parle ici de taux de dissipation lorsque les données proviennent des expérimentations de la partie précédente de la présente étude (conditions réelles de t°, pluviométrie, phénomène de lixiviation,...) et de temps de demi-vie lorsque les données proviennent de la littérature et qu'elles sont obtenues dans des conditions contrôlées.

Ce paramètre est propre à chaque substance. Lorsque plusieurs valeurs sont disponibles pour la même substance et dans des conditions similaires à celles étudiées, alors la valeur la plus contraignante est retenue (c'est-à-dire la dégradation la plus lente). De plus, lorsqu'il s'agit d'un groupe de substances, c'est également la valeur de la substance la plus persistante qui est retenue.

Pour deux substances, aucune valeur de persistance dans le sol n'est disponible (ivermectine et spiramycine). Ces substances sont donc, à défaut, considérées comme non dégradées dans le sol. A noter également que les PCB sont considérés, de manière majorante, comme non dégradé dans le sol.

Les temps de demi-vie retenus pour les substances ou groupes de substances inclus dans l'ERS sont détaillés en annexe 19.

4. Caractérisation des risques

4.1 Principes de quantification du risque

La quantification des risques s'exprime sous forme de Quotient de Danger (QD) ou d'Excès de Risque Individuel (ERI). Les expressions de calculs sont données ci-dessous :

- QD pour les effets à seuil :

$$\text{QD} = \frac{\text{Dose d'exposition}}{\text{valeur toxicologique de référence}}$$

- ERI pour les effets sans seuil :

$$\text{ERI} = (\text{dose d'exposition}) \times (\text{valeur toxicologique de référence})$$

Les tableaux suivants proposent des synthèses pour la durée d'épandage de 10 ans, d'une part pour les effets à seuil avec des quotients de danger sommés en première approche, d'autre part pour les effets sans seuil avec des excès de risque individuel sommés systématiquement pour toutes les voies et toutes les substances.

Dans les tableaux qui suivent, une cellule non remplie signifie qu'il n'y a pas de valeur associée à cette cellule : la population considérée n'est pas concernée par la voie d'exposition considérée ou il n'existe pas de relation dose-effet pour la substance et l'exposition considérée.

L'ensemble des résultats et des calculs est disponible en annexe 20.

4.2 Résultats pour les substances disposant de VTR - Approche quantitative

4.2.1 Effets à seuil

Le tableau suivant propose une synthèse des quotients de danger attribuables à l'épandage pour chaque substance ou groupes de substances pour une durée d'épandage de 10 ans.

Tableau 34 : synthèse des Quotients de Danger attribuable à l'épandage pour une période de 10 ans

Substances ou groupes de substances	Consommateur		Riverains		Agriculteurs
	Adulte	Enfant	Adultes	Enfants	
Cadmium	1,5E-04	4,0E-04	3,0E-04	9,5E-04	4,2E-04
Chrome III	6,1E-08	1,7E-07	1,2E-07	4,0E-07	4,1E-07
Cuivre	2,8E-04	7,4E-04	4,1E-04	1,2E-03	6,1E-04
Mercure inorganique	1,1E-05	3,1E-05	4,0E-05	1,3E-04	7,2E-05
Mercure organique	4,4E-07	1,2E-06	4,0E-07	1,2E-06	5,0E-07
Nickel	3,1E-06	9,1E-06	2,4E-05	8,0E-05	1,2E-04
Plomb	5,5E-05	1,6E-04	5,1E-04	1,7E-03	9,6E-04
Sélénium	5,4E-06	1,5E-05	2,1E-05	6,6E-05	3,2E-05
Zinc	1,9E-04	5,2E-04	2,5E-04	7,4E-04	3,0E-04
Somme des ETM	7,0E-04	1,9E-03	1,6E-03	4,9E-03	2,5E-03
Alkylphénols	4,8E-05	1,3E-04	4,3E-05	1,2E-04	4,3E-05
4 Chloraniline	3,2E-05	8,4E-05	2,9E-05	8,2E-05	2,9E-05
COV	2,4E-09	6,3E-09	2,1E-09	6,1E-09	2,2E-09
DEHP	1,6E-07	4,2E-07	3,3E-07	9,5E-07	1,7E-06
Dioxines (I-Teq)	1,5E-05	4,1E-05	3,4E-05	9,6E-05	1,8E-04
HAP (20)	4,3E-06	1,4E-05	7,3E-05	2,4E-04	1,2E-04
HAP alkylés (4)	3,7E-07	9,8E-07	3,4E-07	9,6E-07	3,4E-07
Organoétains	1,4E-03	4,2E-03	1,7E-02	5,6E-02	2,8E-02
PCB indicateurs	1,9E-03	5,0E-03	2,0E-03	5,6E-03	3,6E-03
Perfluoroalkyls	2,9E-08	9,4E-08	5,5E-07	1,9E-06	1,1E-06
Phénols	8,6E-05	2,3E-04	7,8E-05	2,2E-04	7,8E-05
Polybromodiphényléthers	2,5E-03	6,8E-03	3,7E-03	1,1E-02	4,7E-03
17-béta-oestradiol	1,0E-08	2,7E-08	9,3E-09	2,7E-08	9,5E-09
Flumequine	6,9E-08	1,8E-07	6,3E-08	1,8E-07	6,3E-08
Ivermectin			1,1E-11	1,1E-09	1,5E-09
Spiramycin			1,1E-13	1,1E-11	1,5E-11
Tétracycline	7,1E-05	1,9E-04	6,5E-05	1,9E-04	6,5E-05
Carbamazépine	1,8E-06	4,9E-06	1,7E-06	4,8E-06	1,7E-06
Somme toutes substances	6,7E-03	1,9E-02	2,5E-02	7,9E-02	3,9E-02
Valeur repère	1				

Tous les QD pour toutes les substances sont inférieurs à la valeur repère de 1. La somme des QD de chaque substance est également inférieure à la valeur repère. Il est question ici de QD attribuable à l'épandage ; c'est-à-dire que les substances qui pourraient être préalablement présentes dans le sol ou dans les végétaux ne sont pas prises en compte.

Les substances qui contribuent le plus au risque pour les effets à seuil pour toutes les typologies de populations sont d'abord les organo-étains, puis les PBDE, les PCBi et les ETM. Les substances qui ont la plus faible contribution sont les COV, la 17-β-oestradiol, la flumequine, l'ivermectine, la spiramycine.

Parmi les 6 substances pharmaceutiques évaluées quantitativement, la tétracycline est celle qui contribue le plus au risque (contribution de 1,1 % pour le consommateur adulte à 0,2 % chez l'agriculteur).

La figure ci-dessous propose une représentation graphique des QD par voie d'exposition pour le riverain enfant (individu le plus exposé).

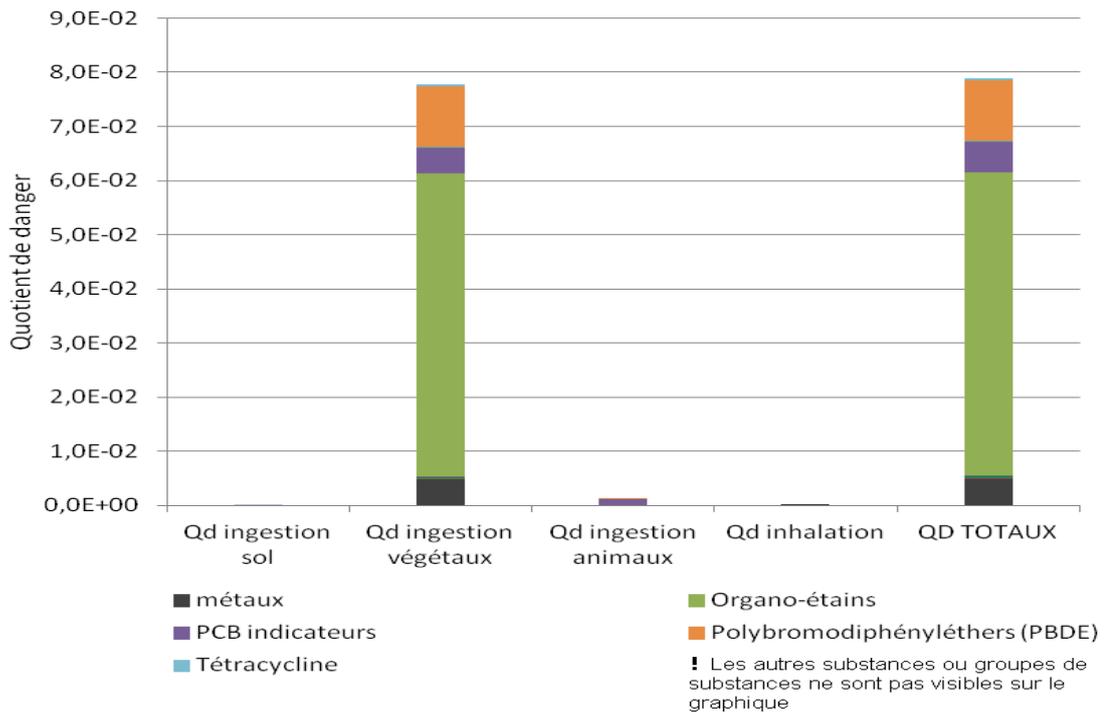


Figure 25 : Quotients de Danger (QD) attribuables à l'épandage de boues ou de composts de boues par voie d'exposition et QD totaux (somme de toutes voies) pour le riverain enfant.

Note : les substances non représentées dans la légende ne sont pas visibles sur le graphique car leur contribution est trop faible.

La voie d'exposition par ingestion de végétaux est très nettement prédominante pour toutes les typologies de populations. La proportion de cette voie augmente légèrement dans le cas de l'agriculteur.

4.2.2 Effets sans seuil

Le Tableau 35 ci-après propose la synthèse des excès de risque individuel pour les effets sans seuil suite à la sommation des différentes voies d'exposition pour une durée d'épandage de 10 ans.

Tableau 35 : synthèse des Excès de Risque Individuel (ERI) attribuable à l'épandage pour une période de 10 ans

Substances ou groupes de substances	Consommateurs			Riverain			Agriculteur	
	Adulte	Enfant	Cumul	Adulte	Enfant	Cumul	Adulte	Cumul
Cadmium				8,3E-13	4,4E-13	1,3E-12	5,8E-10	5,8E-10
Nickel				1,4E-12	7,2E-13	2,1E-12	9,5E-10	9,5E-10
Plomb	2,5E-10	5,6E-11	3,1E-10	2,3E-9	6,0E-10	2,9E-9	2,7E-9	4,2E-9
Somme des ETM	2,5E-10	5,6E-11	3,1E-10	2,3E-9	6,0E-10	2,9E-9	4,2E-9	5,7E-9
DEHP	6,3E-12	9,9E-12	1,6E-11	1,3E-11	2,2E-11	3,5E-11	6,9E-11	9,7E-11
Dioxines (I-Teq)	1,5E-9	8,3E-10	2,3E-9	3,2E-9	1,9E-9	5,1E-9	1,5E-8	1,9E-8
HAP	5,1E-9	3,7E-9	8,8E-9	8,7E-8	6,5E-8	1,5E-7	1,3E-7	2,3E-7
PCB indicateurs	6,4E-9	6,5E-9	1,3E-8	6,6E-9	7,2E-9	1,4E-8	7,4E-9	1,7E-8
PBDE	2,5E-11	4,1E-11	6,6E-11	3,7E-11	6,7E-11	1,0E-10	4,7E-11	1,3E-10
17-béta-oestradiol	2,8E-12	4,5E-12	7,4E-12	2,6E-12	4,5E-12	7,0E-12	2,7E-12	8,1E-12
<i>somme toutes substances</i>	1,3E-8	1,1E-8	2,4E-8	9,9E-8	7,4E-8	1,7E-7	1,6E-7	2,7E-7
Valeur repère	1,0E-5							

Tous les ERI sont inférieurs à la valeur repère de 1,0E-5 pour les différentes typologies de populations considérées et également pour le cumul des différentes typologies au cours d'une vie.

La figure ci-dessous propose une représentation graphique des ERI par typologie de population considérée et pour leurs cumuls le cas échéant.

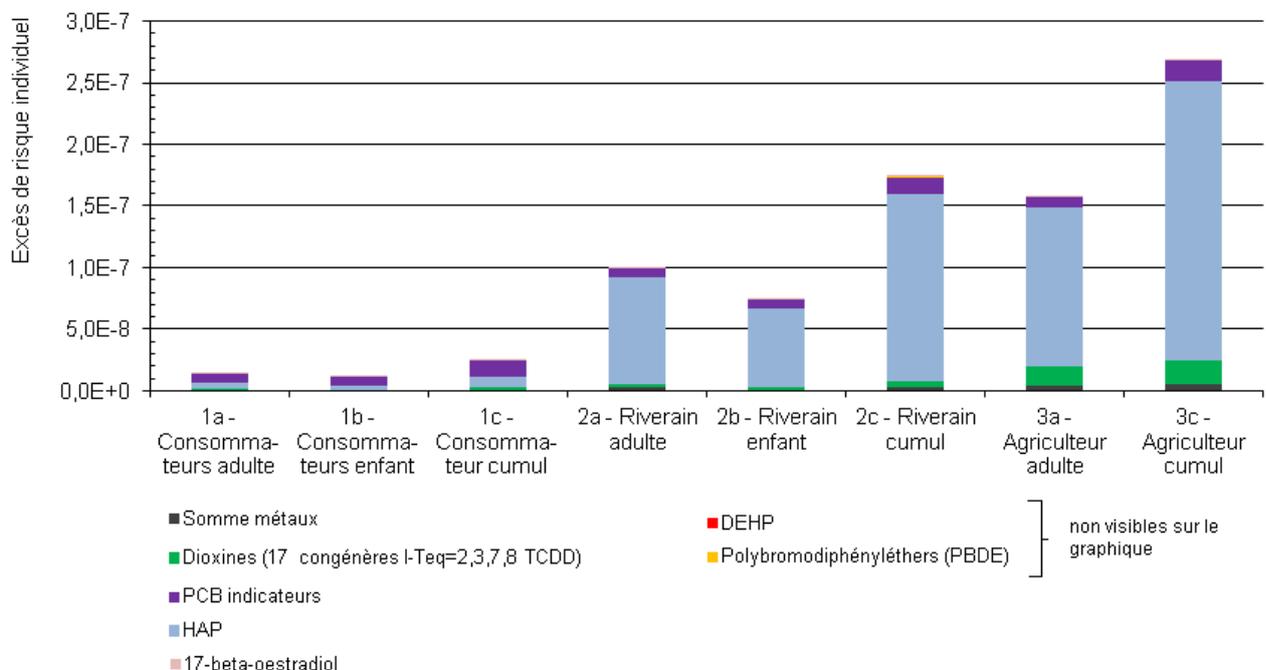


Figure 26 : Excès de risque individuel (ERI) attribuable à l'épandage de boues ou de composts de boues par typologie de populations et ERI cumulés. Note : les PBDE, la 17-β - oestradiol et le DEHP ne sont pas visibles sur le graphique. Les autres substances incluses dans l'ERS ne possèdent pas d'effets sans seuil.

Comme dans le cas des effets à seuil, la voie d'exposition très nettement prédominante est l'ingestion de végétaux.

4.3 Résultats pour les substances pharmaceutiques - Approche qualitative

Sur les 33 substances à usage pharmaceutiques sélectionnées, 6 disposent de VTR donc ont pu être évaluées quantitativement par rapport au risque sanitaire lié à l'épandage. Pour les 27 substances pharmaceutiques ne disposant pas de VTR, afin d'appréhender le risque, une approche qualitative a été mise en œuvre en considérant d'une part, la toxicité des substances par le biais de VTR_{poso} (cf. section 2.3), et d'autre part, l'exposition à ces substances par l'élaboration d'un score d'exposition.

Le score d'exposition a pour objectif d'estimer l'exposition des populations aux substances au regard de leurs propriétés. Ce score se fonde donc sur les capacités de transfert et de persistance des molécules ainsi que sur leurs concentrations mesurées dans les produits. Les scores de « transfert » et de « persistance » définies précédemment sont donc utilisés (cf. partie I). Un score de « concentration » est établi selon les mêmes principes que les deux scores précédents. Il considère, pour chaque substance, la valeur médiane des concentrations analysées dans les boues sur les 47 analyses et les fréquences de quantification

Plus précisément, le score de « concentration » est calculé comme suit : la concentration médiane est multipliée par la fréquence de quantification. L'étendue des valeurs obtenues est scindée en 11 plages de valeurs. A chaque plage est attribué un score de 0 à 10 (0 étant la plage minimum et 10 la maximale).

Le score « d'exposition » est calculé comme suit :

$$\text{Score d'exposition} = \text{score de transfert} \times \text{score de persistance} \times \text{score de concentration}$$

Le détail des calculs des scores pour les substances est disponible en annexe 21.

Afin de qualifier le risque, l'exposition estimée par la méthode de scores est mise en perspective avec la toxicité appréhendée avec les VTR_{poso} par la réalisation d'un diagramme. Cette représentation est donnée Figure 27. Afin de faciliter la lecture, la toxicité est représentée par l'opposé du logarithme de la VTR_{poso} ($-\log(VTR_{\text{poso}})$).

Sur le graphique sont représentées, de la même façon que les 27 substances pharmaceutiques ne disposant pas de VTR, les 6 substances pour lesquelles le calcul d'un QD a été possible (flumequine, spiramycine, tétracycline, carbamazépine, 17-B-oestradiol et ivermectine). L'absence de données de persistance dans le sol pour 3 substances (propranolol, amoxiciline et fluorouracile) a amené à considérer une persistance maximum (score de 10) et minimum (score de 0). Cela permet de représenter deux scores d'exposition pour chacune de ces substances, un score maximum et un minimum (cf. Figure 27 triangles noirs).

Les substances qui figurent dans le quart inférieur gauche du diagramme sont celles pour lesquelles l'exposition potentielle et la toxicité sont faibles (14 substances), à l'inverse de celles situées dans le quart supérieur droit (exposition et toxicité potentiellement forte ; 2 substances : escitalopram et dompéridone). Deux substances attirent également l'attention : la dompéridone et la carbamazépine.

La dompéridone car c'est la première fois que cette substance est quantifiée dans les boues et qu'elle ressort dans la partie supérieure droite du diagramme. La carbamazépine car, si elle est un peu mieux connue, ressort dans plusieurs autres études (ANSES, 2012 ; Zhi li, 2012 ; AQUAREF, 2009) notamment pour sa persistance dans les sols.

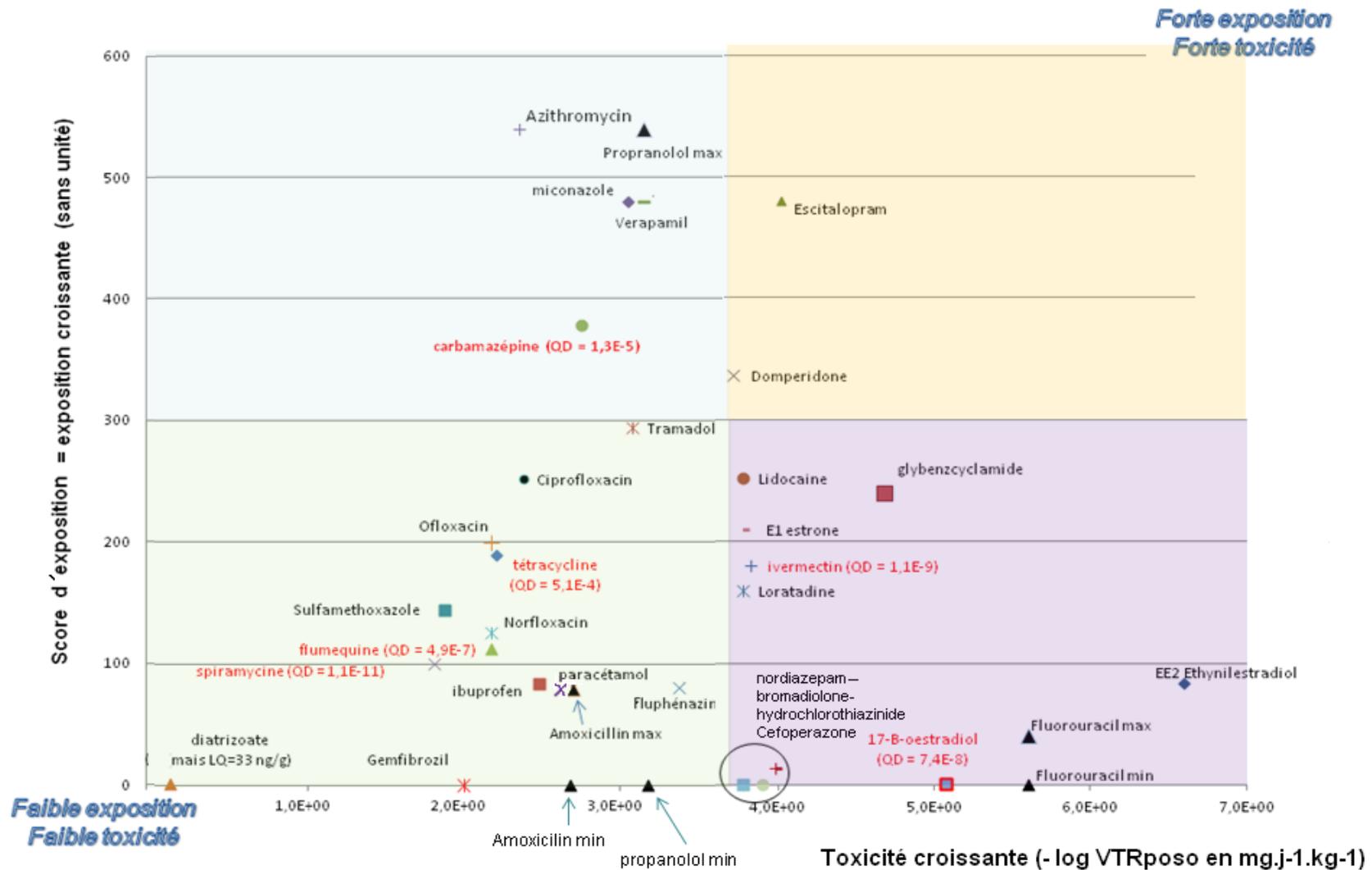


Figure 27 : diagramme des scores d'exposition (en unité arbitraire) en fonction de la toxicité ($-\log VTR_{poso}$ en $mg.j^{-1}.kg^{-1}$).

Pour la flumequine, spiramycine, tétracycline, carbamazépine, 17-B-oestradiol et ivermectine, les QD calculés sont donnés en rouge entre parenthèses. Pour le propranolole, l'amoxicilline et le fluorouracile, en l'absence de données sur la persistance, il est considéré un score min et max de persistance (ce qui donne un score d'exposition min et max- cf. triangles noirs)

Au regard de ce diagramme, les risques sanitaires liés aux substances pharmaceutiques semblent faibles.

Néanmoins, il apparaît certaines divergences. En effet, les QD calculés pour les 6 substances pharmaceutiques qui disposent de VTR ne se classent pas de manière cohérente par rapport au diagramme score d'exposition-toxicité de la Figure 27. Si les positions sur le diagramme sont cohérentes avec le risque calculé pour la carbamazépine (risque plus fort), la spiramycine et la flumequine (risque plus faible), les positions des 3 autres substances (tétracycline, ivermectine et 17-B-oestradiol) ne le sont pas. Ces divergences peuvent s'expliquer par la variabilité des données retenues pour les scores de transfert et de persistance.

Si cette méthode permet d'avoir une idée du risque potentiel lié à l'épandage de ces substances pharmaceutiques, elle ne permet pas d'appréhender le risque de manière quantitative. De plus, les nombreuses lacunes dans la connaissance du comportement de ces substances dans l'environnement et de leur toxicité à long terme via des expositions environnementales, rendent les conclusions délicates.

5. Incertitudes et discussion des résultats

Concernant les hypothèses retenues et les incertitudes, il est important de noter les points suivants :

- L'ERS a été menée pour la population générale en France. Il a été retenu différentes typologies de populations (consommateurs, riverains des parcelles épandues, agriculteurs) afin d'appliquer le principe de spécificité et permettant ainsi de considérer des scénarios d'exposition différents. Ces typologies distinguent les adultes et les enfants. Toutefois, ces typologies sont des grandes catégories de populations recouvrant des expositions relativement majorantes. Des situations très particulières, qui pourraient engendrer des expositions plus fortes que celles considérées, n'ont pas été prises en compte dans la présente étude.
- Certains paramètres d'entrée ont une grande influence sur les résultats de calcul de risques. Il s'agit notamment des paramètres de transferts sol/plante pour lesquels une importante variabilité des données subsiste. Ce point est un des plus incertains de l'étude et concerne la plupart des substances « émergentes organiques » et particulièrement les perfluoroalkyls, la spiramycine et l'ivermectin pour lesquelles aucun Kow n'a été trouvé afin de calculer empiriquement le transfert. Seules les PCB_i disposent d'un peu plus de données.
- La persistance dans le sol a également une influence sur le résultat mais dans une moindre mesure. Excepté pour la plupart des substances pharmaceutiques, les données disponibles (notamment dans la littérature) semblent plus solides que pour les transferts.
- Certains paramètres ont peu d'influence sur le résultat calculé. Il s'agit des quantités d'aliments consommés et des proportions de production locale, et dans une moindre mesure des quantités de sol ingéré ou inhalé (puisque la voie d'exposition très majoritaire est la consommation de végétaux).
- La durée du plan d'épandage, augmente également les risques finaux. Toutefois, les tests réalisés avec 150 ans d'épandage montrent des risques attribuables à seuil et sans seuil encore inférieurs aux valeurs repères. L'augmentation de la durée d'épandage donne plus d'importance aux substances très persistantes dans le sol (les PCB_i notamment et dans une moindre mesure les PBDE).

Les principales limites de cette étude se situent dans la non prise en compte de la lixiviation et du transfert des polluants vers les eaux de surface et les eaux souterraines qui peut entraîner une légère minoration du risque. Cette limite a été définie depuis le départ. Il a été supposé ici que les réglementations et la norme déjà en vigueur permettent de limiter ces impacts. Cette condition engendre cependant en même temps une légère majoration des risques puisqu' aucun phénomène d'atténuation des substances via la lixiviation (notamment en ce qui concerne les ETM) n'a été pris en compte.

Une autre limite de l'étude se trouve d'une part, dans le nombre de substances sélectionnées, et d'autre part, dans la non prise en compte des molécules « filles » qui résultent de la dégradation des molécules initiales. En effet, les boues et les composts de boues sont des mélanges très complexes, et même si un nombre conséquent de substances a été retenu et analysé (114 substances organiques au total et 8 ETM), un grand nombre de substances n'a pas été considéré. C'est pourquoi la mise en place de tests globaux (écotoxicité et bio-essais) est particulièrement intéressante pour ces mélanges. La dégradation des molécules, qui peut survenir à tous les niveaux (dans les boues ou les composts de boues, dans le sol, les végétaux, les animaux), est susceptible d'engendrer des molécules « filles » peu connues et potentiellement toxiques. Si pour certaines substances, il existe des données sur leurs voies de dégradation dans l'environnement (PCB, carbamazépine, ...), pour beaucoup d'autres, les données sont rares ou inexistantes.

Il est rappelé que l'ERS est un calcul théorique et prospectif, réalisé sur la base d'hypothèses qui présentent plus ou moins d'incertitudes. Cela explique notamment des risques attribuables à certains groupes de molécules (cas des organo-étains notamment), alors que la partie expérimentale n'en mesure pas forcément dans les végétaux. Ces deux approches (mesure expérimentale et modélisation prospective) sont complémentaires. Les mesures expérimentales sont limitées en termes d'échantillons et de conditions de cultures et ne sont pas forcément extrapolables alors que les incertitudes liées à la modélisation (notamment en termes de transfert) peuvent être très importantes (cf. section 5 conclusion-discussion).

Dans le cas des substances à usage pharmaceutique, l'ERS reste compliquée. En effet, dans leur contexte normal d'utilisation thérapeutique, ces substances sont censées produire un effet « bénéfique » sur l'organisme. Très peu de connaissances sont actuellement disponibles sur les effets à long terme de ces substances via une exposition environnementale. Toutefois, au regard de la Figure 27, des calculs de risques pour les 6 substances qui possèdent une VTR et des données recueillies, le risque sanitaire pour l'homme attribuable à l'épandage de boues ou de composts de boues de ces substances pharmaceutiques apparaît faible.

Il est rappelé que les pesticides n'ont pas été pris en compte dans cette étude car les quantités apportées par l'épandage sont, dans la majorité des cas, négligeables par rapport aux quantités apportées par les traitements phytopharmaceutiques.

Enfin, il est rappelé que l'ERS prospective est fondée sur un certain nombre d'hypothèses et sur la continuité des pratiques agricoles considérées. Elle est donc susceptible d'être mise à jour au fur et à mesure de l'acquisition de connaissances nouvelles. L'ERS est avant tout un outil de gestion et de hiérarchisation des actions et une aide à la décision.

6. Conclusion du chapitre V

Les risques attribuables aux substances étudiées et épandues avec les boues et les composts de boues sont inférieurs à 1 pour les effets à seuil et à la valeur repère de $1,0E-5$ pour les effets sans seuil. La voie d'exposition très nettement prédominante est l'ingestion de végétaux.

Les groupes de substances qui contribuent le plus aux risques à seuil sont les ETM, les organo-étains, les PCBi et les PBDE. Pour les effets sans seuil, les principaux contributeurs sont les ETM, les HAP, les PCBi et les dioxines ; substances déjà relativement connues. Ces résultats sont à considérer avec les incertitudes inhérentes à l'évaluation des risques sanitaires découlant d'expositions environnementales. Ces incertitudes peuvent être liées au manque de données expérimentales (transferts sol/plante, transferts vers les animaux,...) ou à la nécessité de définir des d'hypothèses (pratiques culturelles, typologies de populations,...) permettant l'appréciation du risque.

Pour les substances à usage pharmaceutique ne disposant pas de Valeur Toxicologiques de Références (VTR), leurs contributions, évaluées de manière qualitative, semblent plutôt faibles dans l'état des connaissances actuelles. Ainsi, le retour au sol des boues ou composts de boues, sous réserve des scénarios et hypothèses retenus dans cette étude, présente un risque sanitaire attribuable calculé très inférieur aux valeurs repères. L'évaluation des risques sanitaires s'inscrit dans un contexte d'incertitudes pour un certain nombre de paramètres. Les connaissances sur certaines substances (notamment pour la persistance dans les sols et le transfert vers les végétaux) méritent toutefois d'être étayées par des études complémentaires.

VI. Conclusion générale

Les différentes parties de cette étude ont été conçues pour répondre à la question des risques sanitaires liés à l'épandage de substances organiques « émergentes » dans les boues et composts de boues. La hiérarchisation et les analyses réalisées ont permis de mieux connaître les principales substances et leurs concentrations présentes dans ces produits au niveau français.

Les expérimentations menées sur le comportement des substances a permis de déterminer des paramètres clés pour l'ERS tels que la persistance dans le sol agricole ou le transfert du sol vers les plantes. Ces données sont produites spécifiquement dans l'objectif d'une ERS.

L'évaluation des risques sanitaires a permis d'apprécier le risque attribuable du retour au sol des boues ou composts de boues. Cela sous réserve des incertitudes, des scénarios et des hypothèses retenus ici. Cette étude représente la première étude réalisée de manière intégrée, depuis la quantification dans les produits (aussi bien des boues que des composts de boues) jusqu'à l'évaluation du risque sanitaire.

Les essais d'écotoxicité et les essais bio-analytiques, non indispensables à la réalisation de l'ERS, ont apporté des éléments supplémentaires par rapport à la caractérisation purement analytique. Ces essais ont permis d'appréhender ces mélanges complexes de manière globale et de prendre ainsi en compte l'intégralité de leurs composants et de leurs effets sur des organismes uni ou pluricellulaires.

L'évaluation des risques sanitaires s'inscrit dans un contexte d'incertitudes pour un certain nombre de paramètres. Les connaissances, encore lacunaires sur certaines substances (notamment pour la persistance dans les sols et le transfert vers les végétaux), méritent d'être étayées par des études complémentaires.

Références bibliographiques

AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments), 2000, Dioxines : données de contamination et d'exposition de la population française

AFSSA, (2005). Seuil de préoccupation toxicologique pour l'analyse de risque sanitaire des substances chimiques dans les aliments. Agence française de sécurité sanitaire des aliments. Disponible sur www.anses.fr

AFSSA, (2008). Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA 2). 225 pages avec annexes.

AFSSA, (2008). Hiérarchisation des résidus de médicaments d'intérêt pour l'analyse des ressources et des eaux traitées. Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

Aït-Aïssa, S. (2009) Outils bio-analytiques in vitro : principe et apports pour la surveillance des contaminants organiques dans le milieu aquatique. INERIS, Convention cadre INERIS-ONEMA 2008, Verneuil-en-Halatte, p. 26.

Aït-Aïssa, S. and Creusot, N. (2010) Caractérisation de l'état de contamination de sédiments de rivières par des composés à activité « dioxin-like » : développement et application d'un outil bio-analytique in vitro., INERIS, Convention cadre INERIS-ONEMA 2009, Verneuil-en-Halatte, p. 22.

ANSES, (2013). Évaluation des risques sanitaires liés à la présence de résidus de médicaments dans les eaux destinées à la consommation humaine : méthode générale et application à la carbamazépine et à la danofloxacine. Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Disponible sur www.anses.fr

ANSES, (2013). Évaluation des risques sanitaires liés à la présence de résidus de médicaments dans les eaux destinées à la consommation humaine : méthode générale et application à la carbamazépine et à la danofloxacine. Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective.

ANSM (2013). Base de données publique des médicaments. Développée à partir d'informations de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM), la Haute Autorité de Santé (HAS) et l'Assurance Maladie (UNCAM) sous l'égide du ministère des affaires sociales et de la santé. www.base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr (consultée en octobre 2013).

AQUAREF (2009). Les substances émergentes dans l'environnement. Note de synthèse sur l'état de l'art concernant les produits pharmaceutiques, les cosmétiques et les produits d'hygiène corporelle. Convention de partenariat ONEMA-INERIS 2008. DRC-09-95687-06381C.

Bader J. L., Gonzalez G. L., Goodell P. C., Ali A. M. S. and Pillai S. D., (1999). Aerobic Reduction of Hexavalent Chromium in Soil by Indigenous Microorganisms. *Bioremediation Journal*, vol. 3 (n°3), pp. 201-211.

Baes III C. F., (1982). Prediction of the soil-plant concentration ratios. *Transaction of the American Nuclear Society*, pp. 53-54.

Balaguer, P., François, F., Comunale, F., Fenet, H., Boussioux, A.-M., Pons, M., Nicolas, J.-C. and Casellas, C. (1999) Reporter cell lines to study the estrogenic effects of xenoestrogens. *Sci. Tot. Environ.* 233, 47-56.

Barron, L., Tobin, J., Paull, B (2008) Multi-residue determination of pharmaceuticals in sludge and sludge enriched soils using pressurized liquid extraction, solid phase extraction and liquid chromatography with tandem mass spectrometry. *Journal of Environmental Monitoring* 10, 353-361.

Boggio V., Grossiord A., Guyon S., Fuchs F., Fantino M. (1999). Consommation alimentaire des nourrissons et des enfants en bas âge en France en 1997. *Archives de Pédiatrie*, 6 : 740-7

Borges, V., Hennion, J. (2005) Determination of pharmaceutical compounds in aqueous dimethyl sulfoxide by electrospray ionization mass spectrometry. *Rapid Communication in Mass Spectrometry* 19, 415-423.

Caillaud D., (2002). Les maladies respiratoires professionnelles en milieu rural. In 8ème Congrès National de la Société Française d'Aérobiologie « Aérobiologie et milieu rural : risques sanitaires et prévention », Paris, 25 février 2002.

Charissou AM ; Pandard P., Cossu-Leguille C., Chenon P., Nassr N., (2012). Développement d'un protocole d'évaluation de l'écotoxicité des matières fertilisantes organiques utilisées en fertilisation agricole, Convention ADEME n°09-75-C0061

Ciblex, 2003. Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué. ADEME / IRSN, version 0 de juin 2003.

Citulski J, Farahbakhsh K (2012) Overcoming the toxicity effects of municipal wastewater sludge and biosolid extracts in the Yeast Estrogen Screen (YES) assay. *Chemosphere*, 87, 498-503.

ECHA, (2012). Guide des exigences d'information et évaluation de la sécurité chimique. Characterisation of dose [concentration] - response for human health (Chapter R.8). Agence européenne des produits chimiques. Disponible sur www.echa.europa.eu/fr

EFSA, (2012). Scientific Opinion on Exploring options for providing advice about possible human health risks based on the concept of Threshold of Toxicological Concern (TTC). *EFSA Journal* 2012;10(7):2750. Agence européenne de sécurité alimentaire. Disponible sur www.efsa.europa.eu/fr

Gochfeld M. (2003). Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 56, pp. 174-179.

INERIS, (2003). Substances chimiques, Évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des installations classées. www.ineris.fr.

INERIS, (2013). Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires. www.ineris.fr.

InVS, (2000) ; Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact, www.invs.sante.fr

InVS, (2012) ; Dereumeaux C, Kairo C, Zeghnoun A. Synthèse des travaux du Département santé environnement de l'Institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2012. 29 p. Disponible à partir de l'URL :<http://www.invs.sante.fr>

Kinani, S., Bouchonnet, S., Creusot, N., Bourcier, S., Balaguer, P., Porcher, J.M. and Aït-Aïssa, S. (2010) Bioanalytical characterisation of multiple endocrine- and dioxin-like activities in sediments from reference and impacted small rivers. *Environmental Pollution* 158, 74-83.

Lajeunesse, A., Smyth, S.A., Barclay, K., Sauvé, S., Gagnon, C. (2012) Distribution of antidepressant residues in wastewater and biosolids following different treatment processes by municipal wastewater treatment plants in Canada. *Water Research* 46, 5600-5612.

Laurent C., Feidt C. et Laurent F., (2003). Etat de l'art sur les transferts de polluants organiques et métalliques du sol vers l'animal. ENSAIA & ADEME, rapport de 2003, 239 pages (avec annexes).

Liu, S., Ying, G.G., Zhao, J.L., Chen, F., Yang, B., Zhou, L.J., Lai, H.J. (2011) Trace analysis of 28 steroids in surface water, wastewater and sludge samples by rapid resolution liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1218, 1367-1378.

Louiz, I., Kinani, S., Gouze, M.E., Ben-Attia, M., Menif, D., Bouchonnet, S., Porcher, J.-M., Ben-Hassine, O.K. and Aït-Aïssa, S. (2008) Monitoring of dioxin-like, estrogenic and anti-androgenic activities in sediments of the Bizerta lagoon (Tunisia) by means of in vitro cell-based bioassays: contribution of low concentrations of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs). *Sci. Total Environ.* 402, 318-329.

Martin, J., Santos, J.L. Aparicio, I., Alonso, E (2010) Multi-residue method for the analysis of pharmaceutical compounds in sewage sludge, compost and sediments by sonication-assisted extraction and LC determination. *Journal of Separation Science* 33, 1760-1766.

Martin, J., Camacho-Munoz, D., Santos, J.L., Aparicio, I., Alonso, E. (2012) Occurrence of pharmaceutical compounds in wastewater and sludge from wastewater treatment plants: removal and ecotoxicological impact of wastewater discharges and sludge disposal. *Journal of Hazardous Materials* 239-240, 40-47.

Muller M, Rabenoelina F, Balaguer P, Patureau D, Lemenach K, Budzinski H, Barcelo D, Lopez de Alda M, Kuster M, Delgenes JP, Hernandez-Raquet G. (2008) Chemical and biological analysis of endocrine-disrupting hormones and estrogenic activity in an advanced sewage treatment plant. *Environ Toxicol Chem.* 27, 1649-1658.

Mullot J., Karolak S., Lévi Y. (2007). A comparison of seven different endpoints for toxicity scoring in ranking methodologies applied to pharmaceuticals. ERAPharm "International Conference on Pharmaceuticals in the Environment", York. Cité dans AFSSA, 2008.

OMS, (2012). Pharmaceuticals in drinking-water. World Health Organization. Disponible sur www.who.int/en/

Patureau D, Delgenes N, Muller M, Dagnino S, Lhoutellier C, Delgenes JP, Balaguer P, Hernandez-Raquet G (2012) Chemical and toxicological assessment of a full-scale biosolid compost. *Environ Toxicol Chem*, 31, 2748-2756.

Peysson, W., Vulliet, E. (2013) Determination of 136 pharmaceuticals and hormones in sewage sludge using quick, easy, cheap, effective, rugged and safe (QuEChERS) extraction followed by analysis with liquid chromatography-time-of-flight-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1290, 46-61.

Radjenovic, J., Jelic A., Petrovic, M., Barcelo, D (2009) Determination of pharmaceuticals in sewage sludge by pressurized liquid extraction (PLE) coupled to liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 393, 1685-1695.

Salvia, MV., Vulliet, E., Wiest, L., Baudot, R., Cren-Olive, C. (2012) Development of a multi-residue method using acetonitrile-based extraction followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the analysis of steroids and veterinary and human drugs at traces level in soil. *Journal of Chromatography A* 1245, 122-133.

Speltini, A., Sturini, M., Maraschi, F., Profumo, A., Albini, A. (2011) Analytical methods for the determination of fluoroquinolones in solid environmental matrices, *Trends in Analytical Chemistry* 30, 1337-1350.

Stanek EJ, Calabrese EJ, Zorn M. (2001). Biasing factors for simple soil ingestion estimates in mass balance studies of soil ingestion. *Human and ecological risk assessment* ; 7:329-55.

Ternes, T.A., Bonerz, M., Herrmann, N., Löffler, D., Keller, E., Bago Lacida, B., Alder, A.C. (2005) Determination of pharmaceuticals, iodinated contrast media and musk fragrances in sludge by LC/tandem MS and GC/MS. *Journal of Chromatography A* 1067, 213-223.

Travis C.C. and Arms A. D., (1988). Bioconcentration of organics in beef, milk, and vegetation. *Environmental Science and Technology*, vol. 22 (n°3), pp. 271-274.

US EPA (1988c) - Code of Federal Regulation. US Environmental Protection Agency. 40 CFR 372.65. <http://www.epa.gov>

US EPA, 1997. Exposure factors handbook; volumes I, II, and III. Final report EPA/600/P-95/002Fa August 1997.

Van de Steene, J.C., Lambert, W.E. (2008) Validation of a solid-phase extraction and liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometric method for the determination of nine basic pharmaceuticals in wastewater and surface water samples. *Journal of Chromatography A* 1182, 153-160.

Veerkamp W. and ten Berge W., 1994. The concept of HESP – Reference manual – Human exposure to soil pollutants. Shell Internationale Petroleum Maatschappij B. V., The Hague, Version 2.10a.

Vega-Morales T, Sosa-Ferrera Z, Santana-Rodriguez JJ (2013) Evaluation of the presence of endocrine-disrupting compounds in dissolved and solid wastewater treatment plant samples of Gran Canaria Island (Spain). *BioMed Res International*, art.ID790570.

Versluijs C. W., Koops R., Dreule P. and Waitz M. F. W., (1998). The accumulation of soil contaminants in crops, location-specific calculation based on the CSOIL module. National Institute of Public Health and Environment Protection (Rijkinstituut Voor Volksgezondheid en Milieu), Bilthoven, The Netherlands.

Volatier J.L. (2000). *Enquête Individuelle et Nationale sur les Consommations Alimentaires*. ISBN : 2-7430-0426-6. Editions Tec&Doc, 158 pages.

Zhi Li, (2012). *Devenir des résidus de médicaments dans les sols : biodégradation – sorption*. Discussion dans un contexte de réutilisation des eaux usées. Thèse de l'Université de Montpellier I.

VII. Annexes

Annexes

1a	Liste des sources utilisées pour définir la liste initiale des substances
1b	Liste initiales des substances et scores attribués
2	Résultats du screening
3	Liste des 114 substances d'intérêt sélectionnées
4	Protocoles d'échantillonnage
5	Résultats de quantification
6	Graphiques de concentrations des STEP
7	Caractéristiques des sols pour les essais d'écotoxicité
8	Rapport d'analyse des substances pharmaceutiques pour végétaux, sols et lixiviats
9a	Culture plein champ colza
9b	Culture plein champ blé
9c	Culture plein champ pomme-de-terre
10	Culture phytotron blé
11	Calcul BCF détaillé
12	Calcul BCF et comparaison avec calcul sur Kow
13	Taux de dissipation dans les colonnes de sol
14	Temps de demi-vie et graphiques
15	VTR retenues pour ERS
16	Création des VTR _{poso}
17	Détails des scénarios d'exposition
18	BCF retenus pour la partie ERS
19	Persistances retenues pour la partie ERS
20	Feuilles de calculs
21	Calculs des scores d'exposition

Annexe 1.a : Liste des sources utilisées pour définir la liste initiale des substances

- Directive 2000/60/CE établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau
- Directive 2008/105/CE établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau
- Directive 76/464/CEE concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique de la Communauté
- Directive 86/278/CEE relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture + projet de révision de 2003
- 3RSDE Recherche des substances dangereuses dans les eaux
- AMPERES Analyse de micropolluants prioritaires et émergents dans les rejets et les eaux superficielles
- NORMAN Réseau Européen sur la surveillance des polluants émergents dans l'environnement
- ONEMA Office national de l'eau et des milieux aquatiques
- OSPAR Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est
- PNSE2 Plan national santé-environnement - Action 5 « méthodologie d'identification et de hiérarchisation des substances toxiques les plus préoccupantes »
- SIRIS Système d'intégration des risques par interaction des scores pour les pesticides
- Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP)
- Arrêtés des 07/12/2007, 06/11/2008 et 12/11/2009 établissant la liste des substances prioritaires ainsi que la liste des substances définies à l'article R. 213-48-13 du code de l'environnement relatif à la redevance pour pollutions diffuse
- Arrêté 17/07/2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines
- Arrêté 25/01/2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface
- Arrêté 30/06/2005 relatif au programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses
- Arrêté 31/01/2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets
- Circulaire 05/01/2009 relative à la mise en œuvre de la deuxième phase de l'action nationale de recherche et de réduction des substances dangereuses pour le milieu aquatique présentes dans les rejets des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises à autorisation
- Circulaire 13/07/2006 relative à la constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance pour les eaux douces de surface
- Circulaire 29/09/2010 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées

Annexe 1.b : Liste initiales des substances et scores attribués

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
PCB		1336-36-3	PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	8	4	10	6	8	480	1
Phtalates		117-81-7	di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP)	8	0	1	7	8	448	2
HAP		191-24-2	Benzo(g,h,i)perylène	8	8	9	3	6	432	3
HAP		50-32-8	benzo[a]pyrène	8	7	10	7	6	420	4
HAP		85-01-8	phénanthrène	8	5	9	3	9	405	5
Hygiène et soin	Parfums / Muscs polycycliques	1222-05-5	1,3,4,6,7,8-Hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexaméthylcyclopenta[g]-2-nonylphénol	8	5	7	1	10	400	6
Phénols	Nonylphénols	25154-52-3		8	5	4	7	7	392	7
Pesticides	Organophosphorés	5598-13-0	O,O-diméthyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) phosphorothioate	8	7	7	4	7	392	7
HAP		205-99-2	benzo(b)fluoranthène	8	7	9	7	6	378	9
HAP		207-08-9	benzo[k]fluoranthène	8	7	9	7	6	378	9
HAP		56-55-3	benzo[a]anthracène	8	6	9	7	6	378	9
Phénols		80-05-7	2,2-(4,4'-Dihydroxydiphényl)propane (Bisphenol A ou BPA)	6	0	1	10	6	360	12
HAP		192-97-2	benzo[e]pyrène	8	0	7	7	6	336	13
HAP		205-82-3	benzo[j]fluoranthène	8	0	7	7	6	336	13
HAP		218-01-9	Benzo[a]phenanthrene (chrysène)	8	0	7	7	6	336	13
HAP		53-70-3	dibenzo[a,h]anthracène	8	0	7	7	6	336	13
HAP		120-12-7	anthracène	8	6	9	3	6	324	17
HAP		193-39-5	indéno[1,2,3-cd]pyrène	8	6	9	0	6	324	17
HAP		206-44-0	fluoranthène	8	6	9	3	6	324	17
Pesticides	Pyréthroïdes	68359-37-5	3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate de α-Octane	8	8	10	4	4	320	20
COV	Alcanes	111-65-9		7	5	4	0	9	315	21
HAP		86-73-7	fluorène	8	5	9	3	7	315	21
BTEX		71-43-2	benzène	5	0	1	10	6	300	23
Pesticides		86-50-0	azinphos-methyl	6	7	6	4	7	294	24
HAP	Goudrons et créosotes	90640-80-5	huile anthracénique	7	0	0	7	6	294	24
Pesticides	Organochlorés	115-29-7	endosulfan	6	8	6	4	6	288	26
Pesticides	Pyréthroïdes	52645-53-1	3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate de m-chlorane, pur	8	6	7	3	6	288	26
Pesticides	Organochlorés	57-74-9	acétate de fenitine	6	0	10	4	7	280	28
Pesticides		900-95-8	acénaphthène	6	10	7	5	4	280	28
HAP		83-32-9	hexachlorobenzène	6	5	9	3	6	270	30
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	118-74-1	hexachlorobenzène	6	0	4	7	6	252	31
Dioxines et furanes	Dioxines	3268-87-9	1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzodioxine	8	0	0	10	3	240	32
Pesticides		8001-35-2	toxaphène	8	0	10	4	6	240	32
Hygiène et soin	Parfums / Nitro muscs	81-15-2	5-tert-butyl-2,4,6-trinitro-m-xylène (Musk xylène)	8	0	10	4	6	240	32
Pesticides		81-81-2	coumafène (warfarine)	4	3	4	10	6	240	32
HAP		91-20-3	naphthalène	6	4	9	4	6	216	36
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	32536-52-0	Octabromodiphényléther (BDE-207)	8	0	10	7	3	210	37
Pesticides		330-54-1	diuron	6	7	6	4	5	210	37
COV halogénés		79-01-6	trichloroéthylène	5	0	4	7	6	210	37
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	634-90-2	1,2,3,5-tétrachlorobenzène	8	0	7	5	5	200	40
Aromatiques halogénés	Bromobenzènes	87-82-1	hexabromobenzène	8	0	10	4	5	200	40
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	95-94-3	1,2,4,5-tétrachlorobenzène	8	0	7	5	5	200	40
Pesticides	Organochlorés	58-89-9	hexachlorocyclohexane gamma (lindane)	6	7	7	4	4	196	43
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	32534-81-9	Pentabromodiphényléther (PentaBDE)	8	0	4	4	6	192	44
Pesticides		76-44-8	1,4,5,6,7,8,8-Heptachloro-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methano-1H-4-tert-Butyl-2,6-diméthyl-3,5-dinitroacetophenone/Ketone	8	0	4	4	6	192	44
Hygiène et soin	Parfums / Nitro muscs	81-14-1		8	0	7	4	6	192	44
Phénols	Alkylphénols	84852-15-3	4-(para)-nonylphénol	8	0	4	4	6	192	44
Anilines chlorés		106-47-8	4-chloroaniline	4	0	4	7	6	168	48
Hygiène et soin		1763-23-1	acide sulfonique de perfluorooctane	8	0	4	7	3	168	48
Pesticides	Organochlorés	60-57-1	dieldrine	6	0	4	4	7	168	48
HAP		129-00-0	pyrène	8	3	9	3	6	162	51
Pesticides	Benzimidazoles	148-79-8	thiabendazole	6	4	8	3	5	160	52
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	634-66-2	1,2,3,4-tétrachlorobenzène	8	0	7	4	5	160	52
Aromatiques alkylés		141-93-5	1,3 Diéthylbenzène	7	3	0	0	7	147	54
Pesticides	Organochlorés	319-84-6	Hexachlorocyclohexane alpha tétrachloroéthylène	6	0	6	4	6	144	55
COV halogénés		127-18-4	tétrachloroéthylène	5	0	4	4	7	140	56
BTEX		1330-20-7	xylènes (o-, m-, p-)	5	0	1	4	7	140	56
COV halogénés		85535-84-8	C10-C13 chloroalcanes	7	0	4	4	5	140	56
Pesticides	Organochlorés	1024-57-3	époxyde d'heptachlore	8	0	4	4	4	128	59
Pesticides	Organochlorés	309-00-2	aldrine	8	0	4	4	4	128	59
Pesticides	Organophosphorés	333-41-5	O,O-diéthylO-[6-méthyl-2-(1-méthylethyl)-4-1-chloro-4-nitrobenzène	6	7	5	5	3	126	61
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	100-00-5	1,4-dichlorobenzène	6	0	4	4	5	120	62
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	106-46-7	1,3,5 Triméthylbenzène	5	0	4	4	6	120	62
Aromatiques alkylés		108-67-8	toluène	5	3	4	0	8	120	62
BTEX		108-88-3	bifénazate	6	5	4	4	4	120	62
Pesticides	Hydrazines carboxylates	149877-41-8	S-ethyl azepane-1-carbothioate, S-ethyl perhydroazepine-1-o-xylène	6	5	5	4	4	120	62
Pesticides		2212-67-1		5	0	1	4	6	120	62
BTEX		95-47-6		3	5	1	1	7	105	69
Pesticides		156-62-7		6	0	7	7	2	98	70
Amines aromatiques		91-94-1		5	0	1	3	6	90	71
BTEX		100-41-4		5	0	4	3	6	90	71
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	95-50-1	1,2-dichlorobenzène	5	0	4	3	6	90	71
Phénols	Alkylphénols	108-39-4	m-crésol	4	0	0	3	7	84	73
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	114-07-8	erythromycin (total)	7	3	0	0	4	84	73
COV halogénés		75-09-2	Chlorure de méthylène (dichlorométhane)	3	0	0	4	7	84	73
Amines aromatiques		95-69-2	4-chloro-o-toluïdine	6	0	4	7	2	84	73
Pharmaceutiques		10540-29-1	tamoxifène	8	5	0	10	1	80	77
Hygiène et soin	Désinfectants	3380-34-5	5-Chloro-2-(2,4-dichlorophenoxy)-phénol (Triclosan)	8	0	7	1	10	80	77
Dioxines et furanes	Dioxines	35822-46-9	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzodioxine	8	0	0	10	1	80	77
Amines aromatiques		92-87-5	benzidine	4	0	4	10	2	80	77
Pesticides		1918-00-9	3,6-Dichloro-2-méthoxybenzoic acid (Dicamba)	4	2	5	3	5	75	81
Phénols		108-95-2	phénol	3	0	1	4	6	72	82
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	300-62-9	Amphetamine	3	0	0	4	6	72	82
Pesticides	Organophosphorés	62-73-7	2,2-Dichlorovinyl diméthyl phosphate (d-Dichlorvos)	4	4	4	6	3	72	82
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	87-61-6	1,2,3-trichlorobenzène	8	0	7	4	2	64	85
COV	Alcanes	110-82-7	Cyclohexane	5	2	4	0	6	60	86
HAP halogénés		1321-64-8	pentachloronaphtalène	8	0	10	1	6	60	86
Pharmaceutiques		20830-75-5	digoxin	3	0	0	4	5	60	86
Pesticides	Acides carboxyliques	65-85-0	acide benzoïque	4	3	0	1	5	60	86
Hygiène et soin	Désinfectants	70-30-4	hexachlorophène	8	0	10	1	6	60	86
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	108-70-3	1,3,5-trichlorobenzène	7	0	7	4	2	56	91
Pharmaceutiques	Anticoagulants	28772-56-7	3-[3-(4-bromo[1,1'-biphényl]-4-yl)-3-hydroxy-1-phénylpropyl]-4-hydrazine	8	5	4	7	1	56	91
Amines		302-01-2		1	0	4	7	2	56	91
Amines		62-75-9	N-Nitrosodiméthylamine (NDMA)	1	0	4	7	2	56	91
Amines aromatiques		95-53-4	o-toluïdine	4	0	1	7	2	56	91
COV	Alcènes	75-21-8	oxyde d'éthylène	1	0	1	7	7	49	96
COV halogénés		67-66-3	chloroforme	3	0	0	4	4	48	97
Aromatiques alkylés		95-63-6	1,2,4-triméthylbenzène	5	0	4	1	9	45	98
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	120-82-1	1,2,4-trichlorobenzène	7	0	7	1	6	42	99
Hygiène et soin		5989-27-5	(+)-4-Isopropenyl-1-méthyl-1-cyclohexane (d-Limonène)	7	0	4	1	6	42	99
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	108-90-7	chlorobenzène	5	0	4	1	8	40	101
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	608-93-5	pentachlorobenzène	8	0	4	1	5	40	101
Retardateurs de flamme		79-94-7	2,2-Bis[3,5-dibromo-4-hydroxyphényl]propane (Tetrabromo-p-toluïdine)	8	0	10	1	4	40	101
Amines aromatiques		106-49-0		4	0	1	4	2	32	104
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	541-73-1	1,3-dichlorobenzène	5	0	4	1	6	30	105
Pesticides	Organochlorés	72-20-8	endrine	6	0	4	1	5	30	105
BTEX		98-82-8	cumène (isoprylbenzène)	5	0	4	1	6	30	105
Pesticides		110488-70-5	diméthomorphe	6	4	7	1	1	28	108
Phénols	Alkylphénols	95-48-7	o-cresol	4	0	1	1	7	28	108
BTEX		106-42-3	p-xylène	5	0	1	4	1	20	110

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistence (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
BTEX		108-38-3	m-xylène	5	0	1	4	1	20	110
Pharmaceutiques		58-08-2	1,3,7-Triméthylpurine-2,6-dione (Caféine)	2	0	1	1	8	16	112
Pesticides		7704-34-9	soufre sublimé	4	2	8	1	1	16	112
COV	Aryles	100-42-5	styrène	5	0	1	1	3	15	114
Amines aromatiques		101-83-7	N-cyclohexylcyclohexanamine (dicyclohexylamin (DCHA))	4	0	4	1	2	8	115
Phénols	Alkylphénols	106-44-5	méthylphénol (para-crésol)	4	0	1	1	2	8	115
Amines aromatiques		108-44-1	m-toluidine	4	0	1	1	2	8	115
Amines		109-89-7	diéthylamine	3	0	1	1	2	6	118
Amines		60-00-4	acide edetique	2	0	1	1	2	4	119
Amines		124-40-3	diméthylamine	1	0	1	1	2	2	120
Pesticides	Isoxazolones	10004-44-1	hymexazol	4	3	4	1	0	0	121
Hydrures d'étain		1002-53-5	dibutylétain	3	0	6	0	9	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorotoluènes	100-44-7	α -chlorotoluène	5	0	1	7	0	0	121
Pesticides		10045-86-0	phosphate ferrique	0	2	5	2	0	0	121
Pesticides	Aryloxyacides	100646-51-3	quizalofop éthyl -d	8	5	7	4	0	0	121
Pesticides	Triazines	1007-28-9	atrazine déisopropyl	4	0	7	0	0	0	121
COV		100-86-7	2-méthyl-1-phénylpropan-2-ol	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Pyréthrinoides	101007-06-1	acrinathrine	8	4	10	3	0	0	121
Non classés	Toxines algales	101043-37-2	microcystin-LR	6	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Triazines	101-05-3	anilazine	6	5	10	3	0	0	121
Non classés	Toxines algales	101064-48-6	microcystin-YR	3	0	10	0	0	0	121
Non classés		10108-64-2	chlorure de cadmium	2	0	4	7	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	10118-90-8	minocycline	3	0	0	0	6	0	121
Pesticides	Urées substituées	101200-48-0	tribénuron-méthyle	4	5	7	4	0	0	121
Hygiène et soin	Désinfectants	101-20-2	triclocarban	8	0	7	0	9	0	121
Pesticides	Cyclohexanediones	101205-02-1	cycloxdime	4	3	4	3	0	0	121
Pesticides	Carbamates	101-21-3	isopropyl m-chlorocarbanilate (chlorprophame)	6	4	6	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pleuromutilines	101312-92-9	(4R,5S,6S,8R,9aR,10R)-6-éthényl-5-hydroxy-4,6,9,10-	8	0	10	0	1	0	121
HAP	Goudrons et crésotes	101316-50-1	distillats (pétrole), huile de pyrolyse de la fabrication d'alcènes-	0	0	0	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	101342-45-4	Epi-chlortetracycline(ECT)	3	0	0	0	7	0	121
Aromatiques alkylés	Urées substituées	1014-60-4	1,3-bis(1,1-diméthyléthyl)-benzène	8	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Triazines	101463-69-8	flufenoxuron	8	9	10	4	0	0	121
Pesticides		1014-69-3	NV-méthyl-6-méthylsulfanyl-N-propan-2-yl-1,3,5-triazine-2,4-	6	6	7	4	0	0	121
Hygiène et soin	Chlorobenzènes	101-48-4	(2,2-Diméthoxyéthyl)benzène (viridine)	4	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Aryles	101-76-8	1,1'-méthylènebis[4-chlorobenzène]	8	0	7	0	5	0	121
COV		101-81-5	diphénylméthane	8	0	0	0	0	0	121
COV	Ethers	101-84-8	diphényléther (phénoxybenzène)	8	0	4	0	8	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Autres	101-86-0	hécylcinnamaldéhyde (hécylcinnamaldéhyde)	8	0	0	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Céphalosporines	10206-21-0	hécylcinnamaldéhyde (hécylcinnamaldéhyde)	2	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Sulfonamides	102280-35-3	5-[8-(éthylamino)-7-méthylquinolin-5-yl]méthylpyrimidine-2,4-	6	0	7	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Antidiabétiques	10238-21-8	glyburide (glybenzcyclamide)	8	0	10	0	6	0	121
Pesticides	Organophosphorés	10265-92-6	méthamidophos	2	5	4	5	0	0	121
Plastifiants		102-76-1	Triacétin	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiépileptiques	102767-28-2	(S)-2-(2-oxopyrrolidin-1-yl)butanamide (levetiracetam)	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Pyréthrinoides	102851-06-9	tau-fluvalinate	8	7	10	4	0	0	121
Pesticides	Benzoylurées	103055-07-8	lufenuron	8	7	10	4	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	1031-07-8	endosulfan sulfate	6	0	0	0	6	0	121
Pesticides	Organophosphorés	10311-84-9	dialiphos	8	7	4	1	0	0	121
COV halogénés	Biphényles	10331-57-4	niclofolan	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Phthalimides	103361-09-7	flumioxazine	6	7	7	7	0	0	121
Pharmaceutiques	Anticérebrovasculaires	103577-45-3	2-[[3-méthyl-4-(2,2,2-trifluoroéthoxy)pyridin-2-yl]méthylsulfanyl]-	6	0	10	0	1	0	121
Aromatiques alkylés		103-65-1	Propylbenzène	5	0	4	0	7	0	121
Anilines		103-69-5	n-éthylaniline	6	0	1	1	0	0	121
COV	Nitriles / Isocyanures	103-71-9	phénylisocyanate	5	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	103-90-2	4-hydroxy phényl acétamide (paracétamol)	4	0	4	0	6	0	121
Pesticides	Sulfonylurées	104040-78-0	flazasulfuron	2	6	10	4	0	0	121
Pesticides	Tricétones	104206-82-8	mesotrione	4	4	7	4	0	0	121
COV	Ethers	104-35-8	éthylène glycol mono(p-nonylphényl) éther (4-nonylphénol mono-	8	0	0	0	0	0	121
Phénols	Nonylphénols	104-40-5	p-nonylphénol	8	0	7	0	8	0	121
Pesticides		104653-34-1	diféthialone	8	7	7	3	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	104-92-7	4-bromoanisole	6	0	0	0	0	0	121
Aromatiques alkylés		105-05-5	1,4 Diethylbenzene	7	0	0	0	6	0	121
Amines		10543-57-4	tétraaacétyléthylènediamine (EDTA)	2	0	0	0	2	0	121
Pesticides	Aryloxyacides	105512-06-9	clodinafop-propargyl	6	5	10	4	0	0	121
Pesticides	Néonicotinoides	105827-78-9	imidaclopride	3	3	7	3	0	0	121
Hygiène et soin		105-95-3	éthylène-brassylate	6	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin		106-02-5	cyclopentadécanoïde	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	10605-21-7	1h-benzimidazol-2-ylcarbamimidométhylester (carbendazime)	4	5	5	7	0	0	121
Pesticides	Triazoles	106325-08-0	époxinazole	6	6	10	4	0	0	121
Phénols	Bromophénols	106-41-2	4-bromophénol	6	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorotoluènes	106-43-4	4-chlorotoluène	5	0	4	1	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	106-48-9	4-chlorophénol	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides		1066-51-9	α -amino-3-hydroxy-5-méthylisooazol-4-propionate (amino méthyl	2	0	0	0	0	0	121
COV halogénés		106-89-8	1-chloro-2,3-époxypropane (épichlorhydrine)	3	0	1	7	0	0	121
COV halogénés		106-93-4	1,2-dibromoéthane	3	0	4	7	0	0	121
COV halogénés		107-05-1	3-chloropropène (chlorure d'allyle)	5	0	1	4	0	0	121
COV halogénés		107-06-2	1,2-dichloroéthane	3	0	0	7	0	0	121
COV	Alcools	107-07-3	2-chloroéthanol	3	0	1	1	0	0	121
COV	Nitriles	107-13-1	acrylonitrile	3	0	4	7	0	0	121
Pesticides		1071-83-6	glyphosate	2	3	6	2	0	0	121
Hygiène et soin		107-46-0	triméthyl-triméthylsilyloxy-silane (hécylméthyltrisiloxane (HMDS))	7	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin		107-51-7	diméthyl-bis(triméthylsilyloxy)silane (octaméthyltrisiloxane	7	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Triazoles	107534-96-3	tébuconazole	6	4	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Macrolides	108050-54-0	(10E,12E)-(3R,4S,5S,6R,8R,14R,15R)-14-(6-déoxy-2,3-di-O-	7	0	10	0	1	0	121
Pesticides		108-18-9	n-isopropylpropan-2-amine (diisopropylamine)	3	0	1	1	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorotoluènes	108-41-8	3-chlorotoluène	5	0	4	1	0	0	121
Anilines chlorés		108-42-9	3-chloroaniline	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	108-43-0	3-chlorophénol	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides	Sulfamides	1085-98-9	dichlofluamide	6	6	4	4	0	0	121
COV	Ethers	108-60-1	oxyde de bis(2-chloro-1-méthyléthyle)	5	0	0	0	0	0	121
Pesticides		108-62-3	métaldéhyde	4	0	1	1	0	0	121
Aromatiques alkylés		1087-02-1	p-dicyclohexylbenzène	8	0	0	0	5	0	121
Pesticides		108-77-0	2,4,6-trichloro-1,3,5-triazine	4	0	1	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolytiques	1088-11-5	7-chloro-5-phényl-1,3-dihydro-2H-1,4-benzodiazépin-2-on	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	11006-76-1	Virginamycine	0	0	0	0	7	0	121
Pesticides	Pyrimidines	110235-47-7	mépanipyrin	6	5	6	4	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	11081-15-5	isooctylphénol	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	1113-02-6	2-diméthoxyphosphorylthio-N-méthyl-acétamide (ométhoate)	2	6	5	5	0	0	121
COV	Composés carbonylés	111-30-8	glutaral	1	0	1	1	0	0	121
Pesticides		111479-05-1	propaquizafop	8	5	7	4	0	0	121
Non classés	Toxines algales	111755-37-4	microcystin-RR	4	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Pyrazoles	111812-58-9	fenpyroximate	8	7	7	4	0	0	121
COV	Alcanes	111-84-2	Nonane	7	0	4	0	9	0	121
Pesticides	Pyréthrinoides	111872-58-3	brofenprox	8	9	10	5	0	0	121
Pesticides	Pyridines	111988-49-9	thiaclopride	4	3	7	4	0	0	121
Pesticides	Sulfonylurées	111991-09-4	nicosulfuron	2	2	7	2	0	0	121
Pesticides	Triazoles	112143-82-5	triazamate	6	6	2	4	0	0	121
Pesticides	Triazoles	112281-77-3	tétraconazole	6	4	10	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Fluoroquinolones	112398-08-0	1-cyclopropyl-6-fluoro-7-(5-méthyl-2,5-diazabicyclo[2.2.1]hept-2-	3	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Hydrazides	112410-23-8	tébufénozide	8	5	7	3	0	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Hygiène et soin		1125-21-9	2,6,6-triméthyl-2-cyclohexène-1,4-dione (4-oxoisophorone)	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		113096-99-4	cyproconazole	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Thiocarbamates	1134-23-2	cycloate	8	3	6	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antispasmodiques	1134-47-0	(RS)-4-amino-3-(4-chlorophényl)butanoic acid (baclofen)	2	0	0	0	0	0	121
Hydrures d'étain		1135-99-5	diphényl tin ion	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	1138-52-9	3,5-di-tert-butylphénol	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Macrolides	114-07-8	6-(4-diméthylamino-3-hydroxy-6-méthyl-tétrahydropyran-2-yl)oxy-	7	0	10	0	1	0	121
Pesticides	Imidazolines	114311-32-9	imazamox	8	6	7	1	0	0	121
Pesticides		114369-43-6	fenbuconazole	6	5	7	4	0	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	115-27-5	anhydride 1,4,5,6,7,7-hexachloro-8,9,10-trinorborn-5-ène-2,3-	8	0	1	1	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	115-32-2	2,2,2-trichloro-1,1-bis(4-chlorophényl)éthanol, $\alpha,\alpha,\alpha,4,4'$ -	8	5	10	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Sédatifs / Barbituriques	115-38-8	5-éthyl-1-méthyl-5-phénylbarbituric (méphobarbital)	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Fluoroquinolones	115550-35-1	9-fluoro-2,3-dihydro-3-méthyl-10-(4-méthyl-1-piperazinyl)-7-oxo-	2	0	7	0	1	0	121
Retardateurs de flamme		115-86-6	triphényl phosphoric acid ester (triphényl phosphate)	8	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme		115-96-8	phosphoric acid, tris(2-chloroéthyl) ester (tris(2-	4	0	7	7	0	0	121
Pesticides	Carbamates	116-06-3	2-méthyl-2-(méthylthio)propanol O-(N-méthylcarbamoyl)oxime	4	5	6	4	0	0	121
Pesticides	Triazoles	116255-48-2	bromuconazole	6	5	8	4	0	0	121
Pesticides	Sulfone s	116-29-0	tétradifon	8	4	10	4	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	1163-19-5	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-décabromodiphényl éther (Déca BDE 209)	8	0	10	0	5	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Nitro muscs	116-66-5	1,1,3,3,5-pentaméthyl-4,6-dinitroindane	8	0	10	0	5	0	121
Pesticides	Strobilurines	117428-22-5	picoxystrobine	6	6	10	3	0	0	121
Pesticides	Quinones	117-80-6	dichlone	6	0	5	2	0	0	121
Phtalates		117-84-0	1,2-benzènedicarboxylic acid, dioctyl ester (Di-n-octylphthalate)	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Agents de contraste	117-96-4	3,5-bis(acétylamino)-2,4,6-triiodo-benzoic acid (diatrizoate)	4	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Amines	118134-30-8	spiroxamine	6	7	7	3	0	0	121
Hygiène et soin		118-56-9	3,3,5-triméthylcyclohexylsalcylate (homosalate)	8	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin		118-58-1	benzyl salicylate	8	0	0	0	0	0	121
Phénols	Bromophénols	118-79-6	2,4,6-tribromophénol	8	4	4	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	118-91-2	Acide 2-chlorobenzoïque	6	0	0	0	5	0	121
COV	Nitro-aromatiques / Nitrobenzènes	118-96-7	2,4,6-trinitrotoluène	4	0	7	1	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	119-12-0	pyridaphenthion	6	3	5	4	0	0	121
Pesticides		119126-15-7	flupoxam	8	0	10	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiulcéreux	119141-88-7	(S)-5-méthoxy-2-[(4-méthoxy-3,5-diméthylpyridin-2-	6	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Amides	119168-77-3	tébuflupyrad	8	6	7	4	0	0	121
Hygiène et soin		119-36-8	2-Hydroxy-benzoic acid-methyl-ester (Methylsalicylate)	6	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Triazoles	119446-68-3	difenoconazole	8	4	10	4	0	0	121
Pesticides		1194-65-6	2,6-dichlorobenzonitrile (diclobénil)	6	4	6	4	0	0	121
Hygiène et soin	Filtres solaires	119-61-9	Diphenyl ketone (Benzophenone)	6	0	0	0	3	0	121
Hygiène et soin		119-65-3	isoquinoline	6	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	12002-48-1	trichlorobenzène	7	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Pyrazoles	120068-37-3	fipronil	6	6	10	5	0	0	121
Pesticides	Imidazoles	120116-88-3	cyazofamid	6	6	7	3	0	0	121
Pesticides	Sulfonylurées	120162-55-2	azimsulfuron	4	6	7	3	0	0	121
COV		120-18-3	2-Naphthalenesulfonic acid (Naphthalene sulphonic acid)	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	120-32-1	2-Benzyl-4-chlorophenol (Chlorophene)	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		120-36-5	dichlorprop	6	0	1	1	0	0	121
Hygiène et soin	Conservateurs / Parabènes	120-47-8	4-Hydroxybenzoic acid ethyl ester (Ethyl-paraben)	6	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Thiocarbamates	12071-83-9	propinebe	2	5	2	4	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	120-83-2	2,4-dichlorophénol	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides	Sulfonylurées	120923-37-7	amidosulfuron	4	2	5	3	0	0	121
Pesticides	Quinazolines	120928-09-8	fenazaquin	8	7	7	4	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	120-95-6	2,4-di-tert-pentylphénol	8	0	0	0	0	0	121
COV	Nitro-aromatiques / Nitrobenzènes	121-14-2	2,4-dinitrotoluene	4	0	4	7	0	0	121
Pesticides	Dithiocarbamates	12122-67-7	zinebe	4	4	5	3	0	0	121
Pesticides		1214-39-7	6-benzyladenine	6	3	5	2	0	0	121
Pesticides	Pyrimidines	121552-61-2	cyprodinil	8	6	6	3	0	0	121
Anilines		121-69-7	N,N-diméthylaniline	5	0	4	4	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	121-73-3	1-chloro-3-nitrobenzène	6	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Organophosphorés	121-75-5	acido 2-(diméthosfosfinitoilitio) butanédioco diétil ester	6	7	4	3	0	0	121
Pesticides	Aryloxyesters	122008-85-9	cyhalofop butyl	6	4	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Sulfonamides	122-11-2	4-amino-N-(2,6-diméthoxy-pyrimidin-4-yl)benzenesulfonamide	4	0	7	0	4	0	121
Pesticides	Organophosphorés	122-14-5	fenitrothion	6	6	4	4	0	0	121
Pesticides		122-34-9	simazine	6	6	6	4	0	0	121
Pesticides	Amines	122-39-4	diphénylamine	6	5	4	3	0	0	121
Pesticides	Carbamates	122-42-9	prophame	6	3	5	3	0	0	121
Pesticides	Auxines	122-88-3	4-cpa	6	4	1	3	0	0	121
Pesticides	Sulfonylurées	122931-48-0	rimsulfuron	2	4	7	3	0	0	121
Pesticides	Triazinones	123312-89-0	pymetrozine	2	3	5	4	0	0	121
Pesticides	Pyridazines	123-33-1	hydrazide maleique	4	2	4	2	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	12408-10-5	tétrachlorobenzène	8	0	7	0	5	0	121
Plastifiants		1241-94-7	phosphate de 2-éthylhexyle et de diphényle	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Thiocarbamates	12427-38-2	manebe	2	6	5	4	0	0	121
COV halogénés		124-48-1	dibromochlorométhane	5	0	0	0	0	0	121
Pesticides		124495-18-7	5,7-dichloro-4-quinolyl 4-fluorophenyl ether (quinoxifén)	8	6	10	3	0	0	121
Hygiène et soin		124-76-5	exo-1,7,7-Triméthylbicyclo(2.2.1)heptan-2-ol (Isoborneol)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Triazoles	125116-23-6	metconazole	6	4	7	4	0	0	121
Hygiène et soin		125-12-2	Isobornyl acetate (Isobornylacetate)	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	125-28-0	Morphinan-6-ol, 4,5-époxy-3-méthoxy-17-méthyl-, (5a,6a)-	4	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	125-29-1	Morphinan-6-one, 4,5-époxy-3-méthoxy-17-méthyl-, (5a)-	6	0	7	0	3	0	121
Pharmaceutiques	Sédatifs / Barbituriques	125-33-7	5-Ethyl-5-phénylperhydropyrimidine-4,6-dione (Primidone)	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antémétiques	1257-78-9	acid'éthane-1,2-disulfonique, composé avec 2-chloro-10-[3-(4-	8	0	10	0	0	0	121
Eléments chimiques	Métaux	12595-26-5	Argent	0	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Sulfonylurées	126535-15-7	triflusaluron-méthyle	4	6	10	3	0	0	121
Plastifiants		126-71-6	tris(iso-butyl)phosphate (TIBP Tri-iso-butylphosphate)	6	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme		126-73-8	phosphate de tributyle	8	0	1	4	0	0	121
Pesticides	Hydroxyanilides	126833-17-8	fenhexamide	6	5	7	3	0	0	121
COV		126-86-3	5-Decyne-4,7-diol-2,4,7,9-tetraméthyl (Surfinol-104)	6	0	0	0	0	0	121
COV halogénés		126-99-8	2-chlorobuta-1,3-diène (chloroprène)	5	0	1	7	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	127-20-8	dalapon-sel de sodium	4	3	6	3	0	0	121
Pesticides		127277-53-6	prohexadione-calcium	2	2	5	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	127-33-3	démeclocycline	0	0	0	0	5	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Autres	127-51-5	3-Méthyl-4-(2,6,6-triméthyl-2-cyclohexen-1-yl)-3-butène-2-one (g-	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Pyrimidyls	12771-68-5	ancymidole	4	3	5	2	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Sulfonamides	127-79-7	4-Amino-N-(4-méthylpyrimidin-2-yl)-benzenesulfonamide	4	0	0	0	8	0	121
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	128196-01-0	S-(+)-1-[3-(diméthylamino)propyl]-1-[p-fluorophenyl]-5-	6	0	10	0	7	0	121
Phénols	Alkylphénols	128-37-0	2,6-Di-tert-butyl-4-méthylphénol (BHT)	8	0	0	0	3	0	121
Phénols	Alkylphénols	128-39-2	2,6-Di-tert-butylphénol (2,6-Di-tert-butylphénol)	8	0	0	0	0	0	121
HAP halogénés		128-63-2	1,3,6,8-tétrabromopyrène	8	0	10	0	6	0	121
Pesticides	Triazolines	128639-02-1	carfentrazone-éthyl	6	6	10	2	0	0	121
HAP alkylés		128-69-8	dianhydride perylène-3,4,9,10-tétracarboxylique	8	0	10	0	6	0	121
Amines aromatiques		128-83-6	1-amino-2-bromo-4-p-toluidinoanthraquinone	8	0	7	0	2	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	129025-54-3	clofencet	2	2	6	3	0	0	121
Pesticides	Pyrazoles	129630-19-9	pyraflufen-éthyl	5	8	4	3	0	0	121
Anilines		129-73-7	N,N,N',N'-tétraméthyl-4,4'-benzylidènedianiline	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides		130561-48-7	sintofen	4	3	7	3	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	13071-79-9	terbufos	8	8	5	5	0	0	121
Plastifiants		131-11-3	1,2-Benzènedicarboxylic acid, diméthyl ester (Diméthylphthalate)	4	0	0	0	3	0	121
Pesticides	Organostannanes	13121-70-5	cyhexatin	8	8	6	5	0	0	121
Pesticides	Pyrrroles	13141-86-1	fludioxonil	7	5	5	2	0	0	121
Plastifiants		131-56-6	(2,4-Dihydroxyphényl)phénylméthane (2,4-	6	0	0	0	0	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistence (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Hygiène et soin		131-57-7	2-hydroxy-4-méthoxybenzophénone (oxybenzone)	6	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Muscs polycycliques	13171-00-1	4-Acetyl-6-t-butyl-1,1-diméthylindan (ADBI (Celestolide))	8	0	7	0	7	0	121
Pesticides	Organophosphorés	13171-21-6	phosphamidon	4	6	5	4	0	0	121
Pesticides		1317-39-1	oxyde de dicuivre	4	7	7	3	0	0	121
Pesticides	Oxazolidines	131807-57-3	famoxadone	8	6	7	4	0	0	121
Pesticides	Strobilurines	131860-33-8	azoxystrobine	6	5	7	3	0	0	121
Pesticides		131929-63-0	spinosad	9	5	5	3	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	13194-48-4	ethoprophos	6	5	5	5	0	0	121
Pesticides	Triazoles	131983-72-7	triticonazole	6	4	7	3	0	0	121
HAP halogénés		1321-65-9	trichloronaphtalène	8	0	7	0	6	0	121
HAP		132-65-0	dibenzothiophène	8	0	0	0	6	0	121
Pesticides	Phtalamates	132-66-1	naptalame	4	2	5	3	0	0	121
Pesticides	Dicarboximides	133-06-2	captane	6	5	4	4	0	0	121
Pesticides	Phtalimides	133-07-3	N-(trichlorométhylthio)phtalimide (folpet)	6	5	4	4	0	0	121
Anilines chlorés		1331-47-1	Dichlorodiaminodiphényl (dichlorobenzidine) (tous isomères)	6	0	7	0	0	0	121
Non classés		1332-21-4	Amiante (Asbestos)	0	0	0	0	0	0	121
Pesticides		1332-65-6	cuivre de l'oxychlorure de cuivre	0	6	10	3	0	0	121
Pesticides		1333-22-8	sulfate de cuivre tribasique	3	7	8	3	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	133-32-4	acide b-indole butyrique	6	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	133-49-3	pentachlorobenzénethiol	8	0	10	0	0	0	121
Phénols		133-53-9	Dichlorodiméthylphénol, 2,4-Dichloro-Meta-Xylenol	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organostannanes	13356-08-6	oxyde de bis(tris(2-méthyl-2-phénylpropyl)étain) (fenbutatin	8	6	10	3	0	0	121
HAP halogénés		1335-87-1	hexachloronaphtalène	8	0	10	0	6	0	121
HAP halogénés		1335-88-2	tétrachloronaphtalène	8	0	7	0	6	0	121
Non classés		1336-21-6	ammoniac, solution aqueuse	1	0	1	1	0	0	121
Hygiène et soin		133855-98-8	Epoxiconazole	5	0	4	4	0	0	121
Pesticides	Phosphorothiolates	13457-18-6	pyrazophos	6	8	6	4	0	0	121
Hygiène et soin		134-62-3	N,N-diéthyl-3-méthyl-benzamide (N,N-diéthyl-m-toluamide	6	0	4	1	0	0	121
Hygiène et soin		13463-41-7	Zincpyrithione	2	0	0	0	0	0	121
Éléments chimiques	Métalloïdes	13494-80-9	tellure	4	0	10	0	0	0	121
Aromatiques alkylés		135-01-3	1,2 Diéthylbenzene	5	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Benzothiadiazoles	135158-54-2	acibenzolar-s-methyl	6	5	5	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Bêtabloquants	13523-86-9	1-(1H-Indol-4-yloxy)-3-propan-2-ylamino-propan-2-ol (Pindolol)	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Néonicotinoïdes	135410-20-7	acetamipride	4	2	4	3	0	0	121
Pesticides		135590-91-9	méfénpyr diéthyl	6	4	7	2	0	0	121
Anilines	Organophosphorés	135-91-1	4,4-méthylènebis[N,N-diéthylaniine]	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Antibiotiques / Tétracyclines	13593-03-8	quinapfos	8	7	5	5	0	0	121
Pharmaceutiques	Triazoles	13614-98-7	2-(Amino-hydroxy-méthylidene)-4,7-bis(diméthylamino)-	5	0	10	0	1	0	121
Pesticides	Triazoles	136426-54-5	fluquinconazole	6	6	10	5	0	0	121
COV halogénés	Biphényles	13654-09-6	décabromo-1,1'-biphényl	8	0	10	0	0	0	121
COV	Esters	13674-84-5	Tris(1-chloro-2-propyl) phosphate (TCPP)	6	0	7	0	0	0	121
Retardateurs de flamme		13674-87-8	Phosphoric acid tris(1,3-dichloro-2-propyl) ester (Tri-	6	0	10	0	0	0	121
Anilines	Carbamates	13680-35-8	4,4-méthylènebis[2,6-diéthylaniline]	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	13684-56-5	(3-éthoxycarbonylamino-phényl) anilinoformate (desmedipham)	6	6	5	3	0	0	121
Pesticides	Carbamates	13684-63-4	phenmediphame	6	5	5	3	0	0	121
COV	Benzotriazoles	136-85-6	5-méthyl-1H-benzotriazole (tolyltriazole)	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	13710-19-5	2-(4-Chloro-3-méthyl-phényl)aminobenzoic acid (Tolfenamic	8	0	0	0	1	0	121
Pesticides	Thiocarbamates	137-26-8	thirame	4	6	5	4	0	0	121
Pesticides	Dithiocarbamates	137-30-4	zirame	4	7	5	4	0	0	121
Pesticides	Thiocarbamates	137-42-8	metam-sodium	4	5	5	5	0	0	121
Pharmaceutiques	Anesthésiques locaux	137-58-6	2-(Diéthylamino)-N-(2,6-diméthylphényl)acetamide (Lidocaine)	6	0	7	0	3	0	121
Pesticides	Amides	137641-05-5	picolinafene	8	9	10	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	13803-65-1	anhdyrotetracycline	0	0	0	0	7	0	121
Pesticides		138261-41-3	1-[[6-chloro-3-pyridinyl)méthyl]-N-nitro-2-imidazolidinimine	4	0	7	1	0	0	121
Amines		139-13-9	Nitrilotriacetic acid (NTA)	2	0	0	0	2	0	121
Pesticides		139-40-2	6-chloro-N2,N4-diisopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine	6	0	7	4	0	0	121
Pesticides	Triazolopyrimidine	139528-85-1	métosulame	6	7	10	4	0	0	121
Amines		139-60-6	N,N'-bis(1-éthyl-3-méthylpentyl)-p-phénylenediamine	8	0	7	0	2	0	121
Hygiène et soin		140-11-4	Benzyl acetate (Benzylacetate)	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Macrolides	1401-69-0	[[2R,3R,4E,6E,9R,11R,12S,13S,14R) -12- [[3,6-dideoxy-4-O-(2,6-	5	0	10	0	4	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Aminosides	1403-66-3	(3R,4R,5R)-2-[[[(1S,2S,3R,4S,6R)-4,6-diamino-3-[[[(2R,3R,6S)-3-	2	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Aminoglycosides	1404-04-2	(1R,2R,3S,4R,6S)-4,6-diamino-2-[[[3-O-(2,6-diamino-2,6-dideoxy-	3	0	0	0	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	140-66-9	4-tert-Octylphénol	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides	Carbamates	140923-17-7	iprovalcarbe	6	3	5	4	0	0	121
Pesticides	Isoxazoles	141112-29-0	isoxaflutole	6	5	7	4	0	0	121
Pesticides	Strobilurines	141517-21-7	trifloxystrobine	8	7	7	3	0	0	121
Hygiène et soin		141-62-8	(Diméthyl-triméthylsilyloxy-silyl)oxy-diméthyl-triméthylsilyloxy-	7	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin		141-63-9	Bis[[diméthyl-triméthylsilyloxy-silyl)oxy]-diméthyl-silane	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Sulfonurées	141776-32-1	sulfosulfuron	2	5	7	2	0	0	121
Pesticides		1420-07-1	2-tert-Butyl-4,6-dinitrophenol (Dinoterb)	4	0	7	7	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	14206-58-7	Epi-oxytetracycline(EOT)	0	0	0	0	6	0	121
Pesticides		142459-58-3	4-fluoro-N-isopropyl-2-[5-(trifluorométhyl)-1,3,4-thiadiazol-2-	6	7	10	4	0	0	121
Pesticides	Phtalimides	142891-20-1	cinidon-ethyl	7	6	4	4	0	0	121
Pesticides	Strobilurines	143390-89-0	kresoxim-methyl	6	6	5	4	0	0	121
Pesticides		143-50-0	chlordecone	8	0	7	4	0	0	121
Pesticides	Sulfonurées	144550-36-7	iodosulfuron-methyl-sodium	5	5	7	3	0	0	121
Pesticides	Sulfonurées	144740-54-5	flupyrulfuron-méthyl	4	7	10	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Sulfonamides	144-83-2	4-Amino-N-pyridin-2-yl-benzènesulfonamide (Sulfapyridine)	4	0	0	0	7	0	121
Pesticides	Dithiocarbamates	14484-64-1	ferbame	4	5	5	4	0	0	121
Pesticides	Sulfonamide	145701-23-1	florasulam	2	7	10	3	0	0	121
Aromatiques alkylés		1460-02-2	1,3,5-tri-tert-butylbenzene	8	0	7	0	2	0	121
Hydrides d'étain		1461-25-2	tétrabutylétain	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Neuroleptiques	146-56-5	fluphénazine, dichlorhydrate	9	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Quinolones	14698-29-4	5-Ethyl- 8-oxo- 5,8-dihydro [1,3] dioxolo [4,5-g] quinoline- 7-	4	0	0	0	4	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Bactériostatiques	1476-53-5	7-(4-Carbamoyloxy-3-hydroxy-5-méthoxy-6,6-diméthyl-	5	0	7	0	0	0	121
Anions		14797-65-0	Nitrite	4	0	0	0	0	0	121
Anions		14808-79-8	Sulfates	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	14816-18-3	O,O-diéthyl alpha-cyanobenzylidèneaminoxyphosphonothioate, (EZ)	6	7	5	5	0	0	121
Pharmaceutiques		149-30-4	2-Mercapto-benzothiazole (2-Mercapto-benzothiazole)	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides	Strobilurines	149961-52-4	dimoxystrobine	6	6	7	4	0	0	121
Pesticides	Cyclohexanediones	149979-41-9	tepraloxidim	4	2	1	4	0	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Muscs polycycliques	1506-02-1	7-Acetyl-1,1,3,4,4,6-hexaméthyl-1,2,3,4-tetrahydronaphtalène	8	0	7	0	7	0	121
HAP nitrés		15114-15-5	4,8-diamino-2-(4-éthoxyphényl)-1,5-dihydroxyanthraquinone	8	0	7	0	6	0	121
Pesticides	Aryloxyacides	15165-67-0	dichlorprop p	2	3	5	3	0	0	121
Non classés	Détergents	15234-85-2	4-Octylphénoxy acetic acid (OPE1C)	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Amides	15299-99-7	napropamide	6	3	6	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	15307-79-6	diclofénac sodium	8	0	0	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	15307-86-5	2-[[2-(2,6-dichlorophényl)aminophényl]acétic acid (diclofénac)	8	0	0	0	6	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Muscs polycycliques	15323-35-0	5-Acetyl-1,1,3,3,3,6-hexaméthyl indan (AHDI (Phantolide))	8	0	7	0	5	0	121
Pesticides	Oxazoles	153233-91-1	etoxazole	8	6	10	3	0	0	121
Pesticides	Néonicotinoïdes	153719-23-4	thiamethoxam	2	2	6	3	0	0	121
Anions		15541-45-4	Bromates	4	0	10	0	0	0	121
Pesticides		15545-48-9	3-(3-chloro-p-tolyl)-1-méthylurée (chlorotoluron)	6	6	6	4	0	0	121
Hygiène et soin		155633-54-8	2-(2H-Benzotriazol-2-yl)-4-méthyl-6-[2-méthyl-3-[1,3,3,3-	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Amides	156052-68-5	zoxamide	6	6	10	2	0	0	121
Pesticides	Carbamates	1563-66-2	carbouluron	4	6	5	2	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Céphalosporines	15686-71-2	(6R,7R)-7-[[2(R)-2-amino-2-phénylacetyl]amino]- 3-méthyl-8-oxo-	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	15687-27-1	2-[4-(2-méthylpropyl)phényl]propanoic acid (ibuprofen)	6	0	2	0	8	0	121
Phénols		1570-64-5	4-chloro-o-cresol	6	0	1	1	0	0	121
Pesticides	Pyridines	158062-67-0	flonicamid	4	2	7	3	0	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistence (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Pesticides	Triazines	1582-09-8	trifluraline	8	6	7	4	0	0	121
Pesticides		15879-93-3	alpha-chloralose	4	0	1	1	0	0	121
Pesticides	Morpholines	1593-77-7	dodémorphe	6	4	6	3	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	15950-66-0	2,3,4-trichlorophénol	6	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Hydrazides	1596-84-5	daminozide	4	5	5	2	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	15972-60-8	alachlore	6	4	5	4	0	0	121
Pesticides		160171-18-6	Zoxamide	5	0	0	0	0	0	121
HAP nitrés		1606-67-3	pyrène-1-ylamine	8	0	7	0	6	0	121
Pesticides		1610-18-0	Prometon (Prometon)	6	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Hydrazides	161050-58-4	methoxyfenozide	6	4	7	3	0	0	121
Pesticides	Amides	16118-49-3	carbetamide	2	2	5	3	0	0	121
Pesticides	Imidazolinones	161326-34-7	fenamidone	6	5	5	3	0	0	121
COV	Ethers	1634-04-4	tert-Butyl methyl ether (Methyl-tert-butyl ether (MTBE))	3	0	1	1	0	0	121
Pesticides	Chloroacetamides	163515-14-8	dimethenamid-p	3	6	7	3	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	163520-33-0	isoxadifen-ethyl	5	5	4	3	0	0	121
Pesticides		1646-88-4	Aldicarb sulfone	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides		16484-77-8	acide (R)-2-(4-chloro-2-méthylphénoxy)propionique (mécoprop- ampropylfos)	4	3	5	4	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	16606-64-7	acide 2-chloroéthylphosphonique (éthephon)	2	2	0	0	0	0	121
Pesticides		16672-87-0	acide 2-chloroéthylphosphonique (éthephon)	2	4	5	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-dépresseurs	16688-19-5	11-(3-Diméthylaminopropylidène)-6,11-dihydrodibenz(b,e)oxipin methomyl	8	0	0	0	1	0	121
Pesticides	Carbamates	16752-77-5	methomyl	4	6	5	4	0	0	121
Dérivés soufrés	Sulfonamides	1678-25-7	N-Phénylbenzenesulfonamide	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		168316-95-8	spinosad	8	5	10	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Macrolides	16846-24-5	[6-[6-[14-Acetyloxy-8-hydroxy-13-methoxy-2,9-diméthyl-16-oxo- Chlorures	7	0	10	0	1	0	121
Anions		16887-00-6	Chlorures	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Benzonitriles	1689-83-4	ioxynil	6	5	4	4	0	0	121
Pesticides	Benzonitriles	1689-84-5	bromoxynil phenol	4	5	4	4	0	0	121
Pesticides		1689-99-2	2,6-dibromo-4-cyanophényl octanoate (Bromoxynil octanoate)	8	6	4	4	0	0	121
Dérivés soufrés	Sulfonamides	1691-99-2	N-Ethyl-N-2-(hydroxyéthyl)perfluorooctyl (2-(N- (1R,3S,5R,8R,10R,11S,12S,13R,14S))-8,12,14-trihydroxy-5- N-Acetyl-morpholine	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Aminocyclitiques	1695-77-8	(1R,3S,5R,8R,10R,11S,12S,13R,14S))-8,12,14-trihydroxy-5- N-Acetyl-morpholine	2	0	9	0	0	0	121
Amines		1696-20-4	Fluorure	2	0	0	0	2	0	121
Anions		16984-48-8	Fluorure	3	0	0	0	0	0	121
Pesticides		1698-60-8	1-Phényl-4-amino-5-chloro-6-pyridazine (Chloridazon)	4	4	6	3	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	1702-17-6	acide 3,6-dichloropyridine-2-carboxylique (clopyralid)	2	3	5	3	0	0	121
Pesticides		17040-19-6	demeton-s-méthylsulfone	4	6	4	5	0	0	121
HAP alkylés		1705-85-7	6-méthylchrysène	8	0	7	0	6	0	121
HAP nitrés		17117-34-9	7H-benz[de]anthracen-7-one (4-nitrobenzanthrone)	8	0	0	0	6	0	121
Pesticides		1715-40-8	bromocyclène	8	0	10	0	0	0	121
Hygiène et soin		17164-77-1	2-naphthalen-2-yl-1-benzothiophène (2-(2- foramsulfuron	2	7	7	2	0	0	121
Pesticides	Sulfonurées	173159-57-4	indoxacarbe	8	5	10	4	0	0	121
Pesticides	Oxadiazines	173584-44-6	indoxacarbe	8	0	0	10	0	0	121
Dioxines et furanes	Dioxines	1746-01-6	2,3,7,8-tétrachlorodibenzo[b,e][1,4]dioxine	8	0	0	10	0	0	121
Pesticides	Urées	1746-81-2	monolinuron	6	7	6	4	0	0	121
Pesticides	Strobilurines	175013-18-0	pyraclostroline	6	6	7	3	0	0	121
Pesticides	Thiophènes	175217-20-6	siltiofam	6	3	6	3	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	17540-75-9	4-sec-butyl-2,6-di-tert-butylphénol	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Thiosulfonates	17606-31-4	bensultap	6	4	7	3	0	0	121
Pesticides		1762-95-4	thiocyanate d'ammonium	2	4	0	0	0	0	121
Pesticides	Benzimidazoles	17804-35-2	benomyl	4	5	6	7	0	0	121
Pesticides	Triazoles	178928-70-6	prothioconazole	6	4	4	3	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	1806-26-4	p-octylphénol	6	0	0	0	10	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolytiques	1812-30-2	9-Bromo-6-pyridin-2-yl-2,5-diazabicyclo[5.4.0]undeca-5,8,10,12- propoxycarbazone sodium	6	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Triazolones	181274-15-7	propoxycarbazone sodium	2	6	5	2	0	0	121
Pesticides		18181-70-9	iodofenphos	8	7	7	0	0	0	121
Pesticides	Diphénols	18181-80-1	bromopropylate	8	5	7	3	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	182346-21-0	2,2',3,4,4'-Pentabromodiphényl ether (BDE-85)	0	0	0	0	5	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	1825-21-4	pentachloroanisole	8	0	10	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	182677-30-1	2,2',3,4,4',5'-Hexabromodiphényl ether (BDE-138)	0	0	0	0	4	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	18323-44-9	Clindamycine	6	0	0	0	5	0	121
Hormones	Hormones androgènes	18339-16-7	(5S,8R,9S,10S,13R,14S)-10,13-diméthyl- nitrofène	8	0	7	0	1	0	121
Pesticides		1836-75-5	nitrofène	8	0	7	7	0	0	121
Pesticides		1836-77-7	chlornitrofène	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides		18467-77-1	dikegulac	4	0	0	0	0	0	121
Éléments chimiques	Métaux	18540-29-9	Chrome (VI)	0	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Bronchodilatateurs	18559-94-9	2-(Hydroxyméthyl)-4-(1-hydroxy-2-tert-butylamino-ethyl)-phénol	4	0	0	0	2	0	121
Pesticides		1861-32-1	diméthyl tetrachloroterephthalate (Chlorthal-diméthyl)	8	3	7	2	0	0	121
Pesticides	Amines	1861-40-1	benfluraline	8	3	10	4	0	0	121
Pesticides	Urées	18691-97-9	methabenzthiazuron	6	5	7	3	0	0	121
Pesticides	Amides	188425-85-6	boscalid	6	4	7	3	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	189084-61-5	2,3',4,4'-Tetrabromodiphényl ether (BDE-66)	0	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	189084-62-6	2,3',4,6'-Tetrabromodiphényl ether (BDE-71)	0	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	189084-64-8	Penta BDE 100	8	0	10	0	6	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	189084-67-1	BDE-185	0	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	189084-68-2	2,3',3,4,4',5,6-Heptabromodiphényl ether (BDE-190)	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antipsychotiques	1893-33-0	1-[4-(4-fluorophényl)-4-oxobutyl]-1,4'-bipiperidine-4'- benzo(r,s)pentaphène	6	0	10	0	1	0	121
HAP		189-55-9	benzo(r,s)pentaphène	8	0	10	0	6	0	121
HAP		189-64-0	dibenzo[b,def]chrysène	8	0	10	0	6	0	121
Pesticides	Organochlorés	1897-45-6	2,4,5,6-tetrachloroisophthalonitrile (Chlorothalonil)	6	6	10	4	0	0	121
Pesticides	Sulfonamides	19044-88-3	oryzalin	6	5	7	4	0	0	121
Pesticides	Ammoniums quaternaires	1910-42-5	paraquat-dichlorure	2	8	9	4	0	0	121
HAP		191-07-1	coronène	8	0	10	0	6	0	121
Pesticides	Triazines	1912-24-9	2-chloro-4-(éthylamine)-6-(isopropylamine)-s-triazine (atrazine)	6	5	6	4	0	0	121
HAP		191-26-4	dibenzo[def,mno]chrysène	8	0	7	0	6	0	121
HAP		191-30-0	dibenzo[def,pq]chrysène	8	0	10	0	6	0	121
Pesticides		1918-02-1	acide 4-amino-3,5,6-trichloropyridine-2-carboxylique (piclorame)	4	3	7	3	0	0	121
Pesticides	Benzonitriles	1918-13-4	chlortiamide	6	2	6	1	0	0	121
Pesticides		1918-16-7	2-chloro-N-isopropylacetanilide, α-chloro-N-isopropylacetanilide	4	6	4	3	0	0	121
HAP		192-65-4	naphto[1,2,3,4-def]chrysène	8	0	10	0	6	0	121
Pesticides		1928-43-4	2,4-dichlorophénoxyacétate de 2-éthylhexyle (2,4-d éthylhexyl	8	5	3	3	0	0	121
Pesticides		1928-47-8	2,4,5-trichlorophénoxyacétate de 2-éthylhexyle	8	0	7	0	0	0	121
Aromatiques alkylés		1929-29-9	3-(Bromo-4-méthoxyphényl)propionique	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Thiocarbamates	1929-77-7	vermolate	6	4	5	2	0	0	121
Aromatiques alkylés		19398-13-1	2-(2,4,5-trichlorophénoxy)propionate de 2-butoxyéthyle	8	0	7	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	1940-43-8	2,2'-méthylènebis(4,6-dichlorophénol)	8	0	10	0	0	0	121
Dioxines et furanes	Dioxines	19408-74-3	Hexachlorodibenzo-p-dioxin, mixture	8	0	0	10	0	0	121
Pharmaceutiques	Bronchodilatateurs	1944-12-3	5-[1-(4-hydroxyphényl)propan-2- 2-tert-butyl-1,4-dihydroxybenzène (BHQ)	4	0	0	0	0	0	121
COV		1948-33-0	2-tert-butyl-1,4-dihydroxybenzène (BHQ)	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques		1949-07-1	chlorure de 1-méthyl-4-[3,3,3-tris(4- benzo[c]phénanthrène	8	0	7	0	6	0	121
HAP		195-19-7	benzo[c]phénanthrène	8	0	7	4	0	0	121
Pesticides		19668-30-9	5-tert-butyl-3-(2,4-dichloro-5-propan-2-yloxyphényl)-1,3,4- (2-butyl-3-benzofuryl)-4-[2-(diéthylamino)éthoxy]-3,5- 3-[4-(4-chlorophénoxy)phényl]-1,1-diméthylurea (Chloroxuron)	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Vasodilatateurs	19774-82-4	(2-butyl-3-benzofuryl)-4-[2-(diéthylamino)éthoxy]-3,5- 3-[4-(4-chlorophénoxy)phényl]-1,1-diméthylurea (Chloroxuron)	6	6	6	3	0	0	121
Pesticides	Urées	1982-47-4	siduron	6	5	7	3	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	1982-69-0	dicamba et ses sels	2	0	4	1	0	0	121
HAP		198-55-0	perylène	8	0	7	0	6	0	121
Pesticides		19937-59-8	3-(3-chloro-4-méthoxyphényl)-1,1-diméthylurea (Metoxuron)	4	5	6	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Vasodilatateurs	19774-82-4	(2-butyl-3-benzofuryl)-4-[2-(diéthylamino)éthoxy]-3,5- 3-[4-(4-chlorophénoxy)phényl]-1,1-diméthylurea (Chloroxuron)	4	4	0	0	0	0	121
Pesticides	Urées	1982-47-4	siduron	6	6	6	3	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	1982-69-0	dicamba et ses sels	2	0	4	1	0	0	121
HAP		198-55-0	perylène	8	0	7	0	6	0	121
Pesticides		19937-59-8	3-(3-chloro-4-méthoxyphényl)-1,1-diméthylurea (Metoxuron)	4	5	6	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Vasodilatateurs	19774-82-4	(2-butyl-3-benzofuryl)-4-[2-(diéthylamino)éthoxy]-3,5- 3-[4-(4-chlorophénoxy)phényl]-1,1-diméthylurea (Chloroxuron)	4	4	0	0	0	0	121
Pesticides	Urées	1982-47-4	siduron	6	6	6	3	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	1982-69-0	dicamba et ses sels	2	0	4	1	0	0	121
HAP		198-55-0	perylène	8	0	7	0	6	0	121
Pesticides		19937-59-8	3-(3-chloro-4-méthoxyphényl)-1,1-diméthylurea (Metoxuron)	4	5	6	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Vasodilatateurs	19774-82-4	(2-butyl-3-benzofuryl)-4-[2-(diéthylamino)éthoxy]-3,5- 3-[4-(4-chlorophénoxy)phényl]-1,1-diméthylurea (Chloroxuron)	4	4	0	0	0	0	121
Pesticides	Urées	1982-47-4	siduron	6	6	6	3	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	1982-69-0	dicamba et ses sels	2	0	4	1	0	0	121
HAP		198-55-0	perylène	8	0	7	0	6	0	121
Pesticides		19937-59-8	3-(3-chloro-4-méthoxyphényl)-1,1-diméthylurea (Metoxuron)	4	5	6	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Vasodilatateurs	19774-82-4	(2-butyl-3-benzofuryl)-4-[2-(diéthylamino)éthoxy]-3,5- 3-[4-(4-chlorophénoxy)phényl]-1,1-diméthylurea (Chloroxuron)	4	4	0	0	0	0	121
Pesticides										

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Perfluoroalkylés		2043-47-2	1H,1H,1H,2H-perfluorohexan-1-ol (4:2 FTOH)	5	0	10	0	0	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	204-91-1	dinaphtho[2,1-b : 2',3'-d]furan (Dinaphtho[2,1-b : 2',3'-d]furan)	0	0	0	0	0	0	121
PCB		2051-24-3	décachloro-1,1'-biphényl (PCB 209)	8	0	10	0	0	0	121
Perfluoroalkylés		2058-94-8	Perfluoroundecanoic acid (PFUnA) (Perfluoro-n-undecanoic acid)	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antipsychotiques	2062-78-4	pimozide	8	0	10	0	2	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	207122-15-4	2,2',4,4',5,6'-Hexabromodiphenyl ether (2,2',4,4',5,6'-	8	0	10	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	207122-15-4	2,2',4,4',5,6'-Hexabromodiphenyl ether (BDE-154)	0	0	0	0	5	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	207122-16-5	2,2',3,4,4',5',6'-Heptabromodiphenyl ether (2,2',3,4,4',5',6'-	8	0	10	0	4	0	121
Phénols	Alkylphénols	2078-54-8	Di-iso-propylphenol	6	0	0	0	0	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	207-93-2	Dinaphtho[1,2-b:1',2'-d]furan	0	0	0	0	0	0	121
COV		2082-79-3	Octadecyl-3- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenylpropionate	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-neoplasiques	20830-81-3	Daunorubicin (Daunorubicin)	5	0	7	0	1	0	121
Pesticides		208465-21-8	Mesosulfuron méthyle	2	5	6	2	0	0	121
Pesticides		20859-73-8	phosphore d'aluminium	2	0	10	1	0	0	121
HAP		208-96-8	acénaphthylène	6	0	0	0	6	0	121
Pesticides	Organophosphorés	2104-64-5	phénylthiophosphate de O-éthyle et de O-4-nitrophényle	8	0	4	1	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	2104-96-3	bromophos	8	0	7	1	0	0	121
Pesticides		21087-64-9	metribuzine	4	6	5	4	0	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Autres	21145-77-7	tonalide	8	5	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	21150-89-0	hydrogénophosphate de bis(p-tert-butylphényle)	8	0	7	0	0	0	121
HAP		215-58-7	dibenzo[a,c]anthracène	8	0	7	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Céphalosporines	21593-23-7	(6R,7R)-3-[(acetyloxy)méthyl]-8-oxo-7- [[pyridin-4-	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	21609-90-5	leptophos	8	0	7	1	0	0	121
Pesticides		2163-68-0	autres métabolites de l'atrazine	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		2164-08-1	lenacile	4	6	6	3	0	0	121
Aromatiques halogénéés	Bromobenzènes	21702-84-1	2,4-Dibromoanisole	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		21725-46-2	2-(4-chloro-6-ethylamino-1,3,5-triazin-2-ylamino)-2-	6	5	10	4	0	0	121
HAP		217-59-4	triphénylène	8	0	7	0	6	0	121
Retardateurs de flamme		21850-44-2	2,2-Bis[3,5-dibromo-4-(2,3-dibromopropoxy)phényl]propane	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	22071-15-4	2-(3-Benzoylphényl)propanoic acid (Ketoprofen)	6	0	0	0	5	0	121
Pesticides		220899-03-6	metrafenone	7	4	7	2	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	22131-79-9	2-(3-Chloro-4-prop-2-enoxy-phényl)acetic acid (Alclofenac)	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	22204-53-1	2-(6-Methoxynaphthalen-2-yl)propanoic acid (Naproxen)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	22224-92-6	phenamiphos	6	8	4	5	0	0	121
Pesticides	Carbamates	22259-30-9	formétanate	2	5	5	4	0	0	121
Pesticides		2227-13-6	tetrasul	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	2227-17-0	dienochlore	8	5	10	3	0	0	121
HAP halogénéés		2234-13-1	octachloronaphthalène	8	0	10	0	6	0	121
HAP		224-41-9	dibenzo[a,j]anthracène	8	0	7	0	6	0	121
Pesticides	Organothiophosphates	2275-18-5	prothoate	6	3	4	1	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	2275-23-2	varmidithion	2	0	2	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiparasitaires	2277-92-1	oxyclozanide	8	0	10	0	1	0	121
Pesticides	Carbamates	22781-23-3	bendiocarbe	4	6	4	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antifongiques	22832-87-7	nitrate de miconazole	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antifongiques	22916-47-8	miconazole	8	0	10	0	8	0	121
Pesticides	Carbamates	2302-17-2	asulam sel de sodium	4	4	5	2	0	0	121
Pharmaceutiques	Bronchodilatateurs	23031-25-6	5-(1-Hydroxy-2-tert-butylamino-ethyl)benzene-1,3-diol	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		2303-17-5	S-2,3,3-trichloroallyl diisopropyl(thiocarbamate) (Tri-allate)	8	5	7	5	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	2310-17-0	phosalone	8	7	4	4	0	0	121
Pesticides	Carbamates	23103-98-2	pirimicarbe	4	6	7	3	0	0	121
Pesticides		2312-35-8	propargite	6	6	7	4	0	0	121
Pesticides	Carbamates	23135-22-0	N-méthylcarbamate de N,N'-	2	5	5	5	0	0	121
Pharmaceutiques	Agents contraceptifs	2315-61-9	OP2OE	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Agents contraceptifs	2315-67-5	OP1OE	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	23422-53-9	formetanate-chlorhydrate	4	7	4	4	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	23560-59-0	heptenophos	6	7	4	4	0	0	121
Pesticides	Carbamates	23564-05-8	thiophanate-méthyl	4	4	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antifongiques	23593-75-1	1-[(2-chlorophényl)diphénylméthyl]-1H-imidazole (Clotrimazole)	8	0	7	0	1	0	121
Hygiène et soin		23726-91-2	(2,6,6-triméthyl-1-cyclohexényl)but-2-en-1-one (Damascone)	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	2385-85-5	mirex	8	0	10	4	0	0	121
Pesticides	Pyrimidinols	23947-60-6	ethyrimol	6	3	5	3	0	0	121
Pesticides		23950-58-5	Propyzamide	6	4	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	23981-80-8	naproxene	6	0	0	0	6	0	121
Hygiène et soin		2400-22-4	Drometrizol	0	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	24017-47-8	triazophos	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides		24307-26-4	chlorure de 1,1-diméthylpipéridinium (mepiquat-chlorure)	2	3	6	3	0	0	121
PCB		2437-79-8	2,2',4,4'-tétrachlorobiphényl (PCB 47)	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Dithiocarbamates	2439-01-2	chinomethionate	6	6	6	4	0	0	121
Pesticides		2439-10-3	dodine	4	6	5	4	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	243982-82-3	2,2',4,5'-Tetrabromodiphenylether (BDE-49)	0	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	243982-83-4	2,23,4,46Hexabromodiphenyl ether (BDE-140)	4	0	0	0	3	0	121
COV	Acides carboxyliques	2444-37-3	2-méthylsulfanylacetic acid (2-Méthylthioacetic acid)	0	0	0	0	0	0	121
Perfluoroalkylés		24448-09-7	2-(N-méthylperfluorooctanesulfonamido)-éthyl alcohol (N-Me-	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Sulfonamides	2447-57-6	4-Amino-N-(5,6-diméthoxy-4-pyrimidinyl)benzenesulfonamide	4	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Morpholines	24602-86-6	tridemorphe	8	5	5	7	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	2464-37-1	chlorflurenol	6	4	4	3	0	0	121
Pesticides	Fenaniols	24691-80-3	fenfuram	6	3	6	0	0	0	121
Hygiène et soin		24851-98-7	3-Oxo-2-pentyl cyclopentane acetic acid méthylester	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	24934-91-6	chlormephos	6	4	5	5	0	0	121
COV		25013-16-5	2-tert-Butyl-4-méthoxyphénol (BHA)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		25057-89-0	3-(1-Méthylethyl)-1H-2,1,3-benzothiadiazin-4(3H)-one,2,2-dioxide	2	3	5	3	0	0	121
Pesticides	Benzothiazolones	25059-80-7	benazoline-éthyl	6	4	4	4	0	0	121
COV		25155-30-0	Dodecylbenzene sulfonic acid, sodium salt (C12-LAS)	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	25167-80-0	Monochlorophénols	5	0	4	1	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	25167-81-1	Dichlorophénols	6	0	0	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	25167-83-3	Tétrachlorophénols	8	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénéés	Chlorobenzènes	25167-93-5	Chloronitrobenzène (2 isomers)	6	0	0	0	5	0	121
COV	Esters	25168-15-4	(2,4,5-trichlorophénoxy)acétate d'isooctyle	8	0	7	0	0	0	121
Perfluoroalkylés		25288-77-3	N-méthylperfluorooctanesulfonamidoéthyl acrylate (N-	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	25311-71-1	isophenphos	8	7	7	5	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-neoplasiques	25316-40-9	10-(4-Amino-5-hydroxy-6-méthyl-oxan-2-yl)oxy-6,8,11-trihydroxy-	3	0	0	0	0	0	121
Aromatiques alkylés		25321-09-9	diisopropylbenzène	8	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Organothiophosphates	2540-82-1	formothion	4	3	5	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-épileptiques	25451-15-4	(3-carbamoyloxy-2-phényl-propyl) carbamate (Taloxa)	4	0	0	0	0	0	121
COV	Esters	2545-59-7	2,4,5-trichlorophénoxyacétate de 2-butoxyéthyle	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques		2545-60-0	piclorame sel de potassium	2	3	0	3	0	0	121
Aromatiques halogénéés	Chlorotoluènes	25567-68-4	chloronitrotoluène	6	0	0	0	0	0	121
Aromatiques alkylés		25586-43-0	chloronaphthalène	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	25606-41-1	propamocarbe	2	2	6	2	0	0	121
COV		25637-99-4	Hexabromocyclododecane (Hexabromocyclododecane (HBCD))	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	256-96-2	11H-benzo[b][1]benzazépine (Iminostilbene)	8	0	0	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	25812-30-0	5-(2,5-Diméthylphénoxy)-2,2-diméthyl-pentanoic acid	8	0	7	0	5	0	121
Non classés		2591-86-8	Formylpipéridine	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Céphalosporines	25963-19-9	(6R,7R)-3-[[[5-méthyl-1,3,4-thiadiazol-2-yl]thio]méthyl]-8-oxo-7-	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	25964-13-6	fosamine-sel d'ammonium	2	3	5	3	0	0	121
Hygiène et soin		25973-55-1	2-(2H-benzotriazole-2-yl)-4,6-ditertpentylphénol	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	26129-32-8	2-[4-(4-Chlorophénoxy)phénoxy]propanoic acid (Fenofibric acid)	8	0	0	0	0	0	121
COV	Terphényls	26140-60-3	terphényl (mélange d'isomères)	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		26225-79-6	2-Ethoxy-2,3-dihydro-3,3-déméthylbenzofuran-5-yl	6	4	6	3	0	0	121
Pesticides		26259-45-0	Secbumeton (Secbumeton)	6	0	7	1	0	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Pesticides		2635-10-1	Methiocarb sulfoxide	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		26399-36-0	profuralin	8	0	10	1	0	0	121
Pesticides		2642-71-9	S-3,4-dihydro-4-oxo-1,2,3-benzotriazin-3-ylmethyl O,O-diethyl	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides		2642-80-0	1-chloro-4-[2-chloro-1-(4-chlorophenyl)ethyl]benzene, 2,2-Bis(4-	8	0	7	0	0	0	121
COV halogénés		26447-49-4	hexabromododécane	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Triazines	26603-40-7	isocyanate de (2,4,6-trioxotriazine-1,3,5(2H,4H,6H)-	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Pipérazines	26644-46-2	triflorine	6	3	10	3	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	2668-47-5	2,6-di-tert-butyl-4-phénylphénol	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	26787-78-0	6-[[2-Amino-2-(4-hydroxyphényl)acetyl]amino]-3,3-diméthyl-7-oxo	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Bêta-bloquants	26839-75-8	timolol	4	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antipsychotiques	26864-56-2	penfluridol	8	0	10	0	1	0	121
Dérivés soufrés	Sulfonamides	26914-52-3	N-Ethyltoluenesulfonamide	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques		26952-20-5	piclorame ester iso octylique	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides		2699-79-8	difluorure de sulfuryle	3	4	1	4	0	0	121
Pesticides	Organothiophosphates	26999-29-1	hydrogénodithiophosphate de O,O-diisooctyle	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	270076-60-3	Pristinamycine	0	0	0	0	0	0	121
Anilines chlorés		27134-27-6	Dichloroaniline (tous isomères)	6	0	0	0	0	0	121
Phénols	Nonylphénols	27176-93-8	NP2OE	8	0	0	0	0	0	121
Aromatiques alkylés		2719-62-2	6-Phényldodécane	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	27203-92-5	2-[(Diméthylamino)méthyl]-1-(3-méthoxyphényl)cyclohexanol	6	0	7	0	6	0	121
Pesticides		27314-13-2	norflurazone	6	6	7	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antispasmodiques	2753-45-9	RS)-4-(éthyl[1-(4-méthoxyphényl)propan-2-yl]amino)butyl 3,4-	6	0	0	0	0	0	121
Phthalates		27554-26-3	phtalate de diisooctyle	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Aryloxyacides	2758-42-1	2,4- sel de diméthylamine	6	0	7	4	0	0	121
COV halogénés	Biphényles	27753-52-2	nonabromo-1,1'-biphényl	8	0	10	0	0	0	121
HAP halogénés		27858-07-7	tétrabromo(tétrabromophényl)benzène	8	0	10	0	6	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	27900-75-0	Dichloronitrobenzen (tous isomères)	6	0	7	0	5	0	121
Phénols	Alkylphénols	27986-36-3	Nonylphenols poly-éthoxyates (4-NP2EO ou NP1OE)	8	0	0	0	7	0	121
Pesticides		28159-98-0	N-tert-butyl-N-cyclopropyl-6-(méthylthio)1,3,5-triazin-2,4-diamine	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Agents de contraste	28179-44-4	5-acetamido-N-(2- hydroxyéthyl)-2,4,6-triidoisophthalamide	5	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Pyréthrinoides	28434-01-7	bioretmethrine	8	7	4	3	0	0	121
COV	Alcènes	28680-45-7	heptachlorobicyclo[2.2.1]hept-2-ène	8	0	10	0	7	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolytiques	2898-12-6	7-Chloro-2,3-dihydro-1-méthyl-5-phényl-1H-1,4-benzodiazépine	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques		28981-97-7	Alprazolam	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	29098-15-5	terofenamate	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Diphényles	29104-30-1	benzoximate	6	4	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Bêta-bloquants	29122-68-7	2-[4-(2-Hydroxy-3-propan-2-ylamino-propoxy)phényl]ethanamide	4	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Organophosphorés	2921-88-2	chlorpyrifos	8	9	5	4	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	29232-93-7	O-[2-(Diéthylamino)-6-méthylpyrimidin-4-yl] O,O-diméthyl	6	8	6	4	0	0	121
Anilines		29312-59-2	4-(2,6-diphényl-4-pyridyl)-N,N-diméthylaniline	8	0	7	0	0	0	121
COV	Benzotriazoles	29385-43-1	Tolyltriazole (Méthylbenzotriazole)	3	0	0	0	0	0	121
Anilines		29398-96-7	N,N'-bis(2,4-dinitrophényl)-3,3'-diméthoxy[1,1'-biphényl]-4,4'-	8	0	10	0	0	0	121
Perfluoroalkylés		29420-49-3	Perfluorobutanesulfonate anion (PFBS)	6	0	0	0	0	0	121
COV	Alcanes	294-62-2	cyclododécane	8	0	0	0	4	0	121
Plastifiants		29761-21-5	phosphate d'isodécyle et de diphényle	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	297-78-9	isobenzan	8	0	1	1	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	298-00-0	O,O-Diméthyl-O-4-nitro-phénylthiophosphate (Parathion méthyl)	6	6	5	4	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	298-02-2	phorate	6	7	6	5	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	298-03-3	demeton-O	6	0	1	1	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	298-04-4	disulfoton	6	6	6	5	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiépileptiques	298-46-4	carbamazépine	6	0	9	0	7	0	121
COV	Benzotriazoles	29878-31-7	4-Méthyl-1H-benzotriazole (4-Méthyl-1H-benzotriazole)	3	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	29973-13-5	ethiophencarbe	6	5	6	3	0	0	121
Pesticides		30043-49-3	1-(5-éthylsulfonyle)-1,3,4-thiadiazole-2-yl)-1,3-diméthylurée	2	2	4	1	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	300-76-5	naled	4	8	3	4	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	301-12-2	oxydemeton-méthyl	2	5	4	5	0	0	121
Pesticides		30125-63-4	Terbutylazine deséthyl	6	0	7	0	0	0	121
COV	Alcools	302-17-0	2,2,2-trichloroéthane-1,1-diol	3	0	1	1	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	30560-19-1	acephate	2	2	4	4	0	0	121
Pesticides	Urées	3060-89-7	metobromuron	6	5	6	4	0	0	121
Perfluoroalkylés		307-24-4	2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-Undecafluorohexanoïque acid	7	0	10	0	0	0	121
Perfluoroalkylés		307-35-7	Perfluorooctanesulfonyle fluoride (POSF) (Perfluorooctanesulfonyle	7	0	10	0	0	0	121
Perfluoroalkylés		307-55-1	n-Perfluorododécanoïque acid (Perfluorododécanoïque acid (PFDoA))	8	0	10	0	0	0	121
Aromatiques alkylés		3081-01-4	N-(1,4-diméthylpentyloxy)-N'-phénylbenzène-1,4-diamine	8	0	0	0	5	0	121
Pharmaceutiques	Sédatifs / Barbituriques	309-43-3	5-Pentan-2-yl-5-prop-2-enyl-1,3-diazinane-2,4,6-trione	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		3100-04-7	méthylcyclopropène	5	4	5	5	0	0	121
Pesticides		3112-85-4	Méthylphénylsulfone	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Nonylphénols	3115-49-9	4-Nonylphénoxy acétique acid (NPE1C ou NPE2C)	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	3116-76-5	7-[3-(2,6-Dichlorophényl)-5-méthyl-oxazol-4-yl]carbonylamino-	6	0	10	0	1	0	121
Pesticides	Organophosphorés	31218-83-4	trans-3-[[[éthylamino)méthoxyphosphinothio]oxy]crotonate	6	6	5	1	0	0	121
Pesticides		314-40-9	(RS)-5-bromo-3-sec-butyl-6-méthyluracil (Bromacil)	4	6	7	3	0	0	121
Hygiène et soin		3147-75-9	2-(2H-benzotriazole-2-yl)-4-(1,1,3,3-tétraméthylbutyl)phénol	8	0	7	0	0	0	121
PCB		31508-00-6	PCB 118 (2',3,4,4',5'-PCB)	8	0	0	0	0	0	121
COV	Nitriles / Isocyanures	3173-53-3	Cyclohexylisocyanate	5	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	31879-05-7	2-(3-Phénoxyphényl)propanoïque acid (Fenoprofen)	6	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme		3194-55-6	1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclohexane (1,2,5,6,9,10-	8	0	7	0	8	0	121
COV halogénés		319-85-7	Hexachlorocyclohexane bêta	6	0	0	0	5	0	121
COV halogénés		319-86-8	Hexachlorocyclohexane delta	8	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	3209-22-1	1,2-dichloro-3-nitrobenzène	6	0	7	0	2	0	121
HAP halogénés		32241-08-0	heptachloronaphthalène	8	0	10	0	6	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Autres	32388-55-9	Acétyl cedrene (Acétylcedrene)	8	0	7	0	5	0	121
PCB		32598-13-3	PCB 77 (3,3',4,4'-Tetrachlorobiphényl)	8	0	0	0	0	0	121
PCB		32774-16-6	PCB 169 (3,3',4',5,5'-hexachlorobiphényl)	8	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Bromobenzènes	3278-89-5	2-(allyloxy)-1,3,5-tribromobenzène	8	0	7	0	5	0	121
Pesticides	Organophosphorés	327-98-0	trichloronat	8	0	7	1	0	0	121
Pesticides		32809-16-8	Procymidone	6	4	10	3	0	0	121
Pesticides		330-55-2	3-(3,4-dichlorophényl)-1-méthoxy-1-méthylurea (Linuron)	6	6	6	7	0	0	121
Pesticides		33089-61-1	amitraz	8	6	4	4	0	0	121
Pesticides		33213-65-9	bêta Endosulfan	6	0	10	0	0	0	121
Pesticides		3337-71-1	asulam	4	0	5	0	0	0	121
Pesticides		3347-22-6	dithianon	6	6	6	4	0	0	121
Pesticides		3351-28-8	1-méthylchrysène	8	0	7	0	6	0	121
HAP alkylés		33543-31-6	Méthyl-2-Fluoranthène	8	0	7	0	6	0	121
COV halogénés		335-57-9	perfluoroheptane	7	0	10	0	0	0	121
Perfluoroalkylés		335-67-1	Perfluorooctanoïque acid (Perfluorooctanoïque acid (PFOA))	7	0	10	0	4	0	121
Perfluoroalkylés		335-76-2	n-Perfluorodécanoïque acid (Perfluorodécanoïque acid (PFDA))	8	0	10	0	4	0	121
Perfluoroalkylés		335-77-3	Henicosafuorodécane sulfonate (Perfluorodécane sulfonate	8	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Triazines	33629-47-9	4-tert-butyl-N-sec-butyl-2,6-dinitroaniline (butraline)	8	5	7	4	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	33693-04-8	terbumeton	6	6	7	3	0	0	121
Pesticides		3383-96-8	temephos	8	3	6	5	0	0	121
COV	Alcènes	3389-71-7	1,2,3,4,7,7-hexachlorobicyclo[2.2.1]hepta-2,5-diène	8	0	0	0	7	0	121
Hormones		33956-49-9	codlemone	6	5	0	0	0	0	121
Pesticides		3397-62-4	Désisopropyl-déséthyl-atrazine	4	0	7	0	0	0	121
PCB		33979-03-2	2,2',4,4',6,6'-hexachlorobiphényle	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Urées	34014-18-1	tebuthiuron	4	5	7	3	0	0	121
Pesticides		34123-59-6	isoproturon	6	6	5	4	0	0	121
Pesticides		34205-21-5	diméfuron	6	6	7	3	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	3424-82-6	1,1-Dichloro-2-(o-chlorophényl)-2-(p-chlorophényl) ethylene (2,4-	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides		34256-82-1	acétochlore	8	7	7	4	0	0	121
Pesticides		34363-01-4	di-1-p-menthène	7	4	0	0	0	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Pesticides	Organophosphorés	470-90-6	chlorfenvinphos	6	8	6	5	0	0	121
Pesticides	Amines	4726-14-1	nitralin	6	7	7	3	0	0	121
Aromatiques halogénés	Fluorobenzènes	475-26-3	1,1'-(2,2,2-trichloroéthylidène)bis(p-fluorobenzène)	8	0	10	0	5	0	121
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	4757-55-5	dimetacrine	8	0	7	0	0	0	121
HAP alkylés		4773-83-5	1,2,3-Triméthyl-1H-indène	8	0	0	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	479-92-5	Propyphenazone (Propyphenazone)	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		4824-78-6	bromophos-ethyl	8	6	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiparasitaires	483-63-6	N-Ethyl-N-(2-méthylphényl)-2-butanamide (Crotamiton)	6	0	0	0	0	0	121
COV	Composés carbonylés	486-56-6	1-Méthyl-5-pyridin-3-yl-pyrrolidin-2-one (Cotinine)	4	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme		4904-61-4	cyclododéca-1,5,9-triéne	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antinéoplasiques	494-03-1	chlornaphazine	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	49562-28-9	Propan-2-yl 2-[4-(4-chlorobenzoyl)phenoxy]-2-méthyl-propanoate	8	0	7	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	49690-94-0	Tribromodiphényléther (TriBDE)	8	0	7	0	3	0	121
Phénols	Alkylphénols	497-39-2	4,6-di-tert-butyl-m-crésol	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		50-00-0	Formaldéhyde	3	5	5	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	50-02-2	9-fluoro-11β,17,21-trihydroxy-16a-méthylpregna-1,4-diene-3,20-	4	0	7	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Sédatifs / Barbituriques	50-06-6	5-éthyl-5-phénylpyrimidine-2,4,6(1H,3H,5H)-trione	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		50-14-6	ergocalciférol (vitamine D)	6	0	1	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Antinéoplasiques	50-18-0	1-Bromonaphthalène (Cyclophosphamide)	4	0	0	0	0	0	121
COV	Composés carbonylés	5022-29-7	N-Ethylphthalimide	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	50-24-8	11,17-dihydroxy-17-(2-hydroxyacétyl)- 10,13-diméthyl-	4	0	7	0	1	0	121
Hormones	Hormones estrogènes	50-27-1	13-Méthyl-7,8,9,11,12,13,14,15,16,17-decahydro-6H-	6	0	0	0	5	0	121
Hormones	Hormones estrogènes	50-28-2	13-Méthyl-6,7,8,9,11,12,14,15,16,17-	8	0	5	0	5	0	121
Pesticides	Organochlorés	50-29-3	clofenotane (4-4' DDT)	8	7	9	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiépileptiques	50-33-9	4-Butyl-1,2-diphénylpyrazolidine-3,5-dione (Phénylbutazone)	6	0	0	0	0	0	121
Drogues		50-36-2	Méthyl 3-benzoyloxy-8-méthyl-8-azabicyclo[3.2.1]octane-4-	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		50471-44-8	N-3,5-dichlorophényl-5-méthyl-5-vinyl-1,3-oxazolidine-2,4-dione	6	4	7	7	0	0	121
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	50-48-6	1-Propanamine, 3-(10,11-dihydro-5H-dibenzof[a,c]cyclohepten-5-	8	0	7	0	5	0	121
Pharmaceutiques	Antihistaminiques	50-49-7	imipramine	8	0	7	0	2	0	121
Drogues		50-53-3	chlorpromazine	8	0	7	0	4	0	121
Pesticides		50563-36-5	2-chloro-N-(2,6-diméthylphényl)-N-(2-méthoxyéthyl)acétamide	6	5	7	3	0	0	121
Pesticides	Diphényl-éthers	50594-66-6	acifluorène	4	3	10	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	50-63-5	bis(phosphate) de chloroquine	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Thiadiazones	50723-80-3	bentazone sel de sodium	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Glucosides	507-60-6	scilliroside	3	5	1	1	0	0	121
COV	Ethers	50772-29-7	chlorure de 4-[2,4-bis(1,1-diméthylpropyl)phénoxy]butyryle	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	50-78-2	o-Acetylsalicylic acid (Acetylsalicylic acid (aspirin))	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Nonylphénols	50849-47-3	5-nonylsalicylaldéhyde-oxime	8	0	0	0	0	0	121
COV	Esters	51000-52-3	néodécanoate de vinyle	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		510-15-6	chlorobenzilate	8	0	7	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Bronchodilatateurs	51022-70-9	2-(Hydroxyméthyl)-4-(1-hydroxy-2-tert-butylamino-ethyl)-phenol;	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		51-03-6	piperonyl butoxyde	8	5	5	3	0	0	121
Pesticides		510-75-8	gibberelline a7	4	2	0	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	51146-55-5	Ibuprofène 2-hydroxy	6	0	0	0	0	0	121
Hormones	Saponines stéroïdiens	512-04-9	(20R,25R)-spirost-5-ène-3β-ol	8	0	7	0	1	0	121
Dioxines et furanes		51207-31-9	2,3,7,8-Tétrachlorodibenzofurane	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antinéoplasiques	51-21-8	5-Fluoro-1H-pyrimidine-2,4-dione (Fluorouracil)	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides		51218-45-2	2-chloro-N-(6-éthyl-o-tolyl)-N-[(1RS)-2-méthoxy-1-	6	4	7	3	0	0	121
Pesticides	Chloroacétamides	51218-49-6	pretilachlore	8	4	7	3	0	0	121
Pesticides		51235-04-2	3-cyclohexyl-6-diméthylamino-1-méthyl-1,2,3,4-tétrahydro-1,3,5-	4	6	7	3	0	0	121
Phénols		51-28-5	2,4-Dinitrophenol (DNP)	4	0	1	1	0	0	121
Pesticides		51338-27-3	Diclofop-méthyl	8	5	7	5	0	0	121
Pesticides		51596-10-2	milbectine	8	7	7	3	0	0	121
Pesticides		51596-11-3	milbectine-a4	8	7	7	3	0	0	121
Pesticides	Pyréthroides	51630-58-1	fenvalerate	8	9	7	3	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	51775-36-1	2,2,5-endo,6-exo,8,9,10-heptachloronorbornane	8	0	10	0	0	0	121
Non classés	Agents réducteurs	51805-45-9	Tris(2-carboxyethyl)phosphine hydrochloride (TCEP)	4	0	0	0	0	0	121
COV	Esters	52179-28-9	2-[4-(2-dichlorocyclopropyl)phénoxy]-2-méthylpropanoate	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Pyréthroides	52315-07-8	3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate de α-	8	8	10	3	0	0	121
Pesticides		5234-68-4	5,6-Dihydro-2-méthyl-1,4-oxathi-ine-3-carboxanilide (Carboxine)	6	4	4	4	0	0	121
Pesticides		52434-90-9	1,3,5-tris(2,3-dibromopropyl)-1,3,5-triazine-2,4,6(1H,3H,5H)-	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Sédatifs / Barbituriques	52-43-7	5,5-Diprop-2-enyl-1,3-diazinane-2,4,6-trione (Allobarbital)	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antihistaminiques	52468-60-7	flunarizine	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	5250-39-5	(2S,5R,6R)-6-(((3-(2-chloro-6-fluorophényl)-5-méthylisoxazole-4-	6	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Inhibiteurs calciques	52-53-9	2-(3,4-Diméthoxyphényl)-5-[2-(3,4-diméthoxyphényl)éthyl]-méthyl-	6	0	10	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Bétabloquants	525-66-6	1-Naphthalen-1-yloxy-3-propan-2-ylamino-propan-2-ol	6	0	0	0	8	0	121
Pesticides	Amides	5259-88-1	oxycarboxine	4	3	5	3	0	0	121
Aromatiques alkylés		526-73-8	1,2,3-triméthylbenzène	5	0	0	0	2	0	121
Pesticides	Organophosphorés	52-68-6	(RS)-2,2,2-trichloro-1-diméthoxyphosphoryl-ethanol (Trichlorfon)	4	4	7	4	0	0	121
Anilines chlorés		527-20-8	pentachloroaniline	8	0	10	0	0	0	121
HAP halogénés		52740-90-6	1-amino-N-(3-bromo-9,10-dihydro-9,10-dioxo-2-anthryl)-9,10-	9	0	10	0	6	0	121
Anilines		5285-60-9	4,4'-méthylènebis[N-sec-butylaniline]	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	52888-80-9	Prosulfocarbe	8	5	5	4	0	0	121
Pesticides	Pyréthroides	52918-63-5	Deltaméthrine	8	8	7	4	0	0	121
COV	Nitriles	529-19-1	Méthylbenzotrile	5	0	0	0	0	0	121
Pesticides		530-48-3	2,2-Bis(4-chlorophényl)-1-chloroethane (4,4'-DDNU)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		53112-28-0	Pyriméthanal	6	4	6	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	53164-05-9	2-[2-[1-(4-Chlorobenzoyl)-5-méthoxy-2-méthyl-indol-3-	8	0	0	0	1	0	121
Hormones	Hormones estrogènes	53-16-7	3-Hydroxy-13-méthyl-7,8,9,11,12,14,15,16-octahydro-6H-	6	0	5	0	5	0	121
Pesticides		53-19-0	o,p'-Dichlorodiphényldichloroethane (o,p'-DDD ou mitotane)	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides		533-74-4	dazomet	4	5	4	4	0	0	121
Pesticides	Phénols	534-52-1	dnoc	6	5	5	4	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	535-80-8	Acide 3-chlorobenzoïque	1	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Pyrimidamines	535-89-7	crimidine	4	3	1	1	0	0	121
PCB		53742-07-7	nonachloro-1,1'-biphényl	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	53746-45-5	Calcium 2-(3-phénoxyphényl)propanoate dihydrate (Fenoprofen	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Amides	53780-34-0	meffluide	6	4	7	2	0	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	53-86-1	2-[1-(4-Chlorobenzoyl)-5-méthoxy-2-méthyl-indol-3-yl]acetic acid	8	0	0	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	53949-53-4	Ibuprofène 1-hydroxy	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiprotozoaires	54-05-7	chloroquine	8	0	7	0	0	0	121
COV halogénés		540-59-0	1,2-dichloroéthylène	5	0	4	1	0	0	121
Hygiène et soin		540-97-6	2,2,4,4,6,6,8,8,10,10,12,12-Dodecaméthyl-1,3,5,7,9,11-hexaoxa-	8	0	7	0	0	0	121
Hygiène et soin		541-02-6	2,2,4,4,6,6,8,8,10,10-Decaméthyl-1,3,5,7,9,2,4,6,8,10-	4	5	4	6	0	0	121
Pesticides		54-11-5	nicotine	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	542-75-6	1,3-dichloropropène	3	4	5	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Durétiques	54-31-9	4-Chloro-2-(2-furylméthylamino)-5-sulfamoyl-benzoic acid	6	0	7	0	1	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	5436-43-1	2,2',4,4'-Tétrabromodiphényl ether (tétra-BDE-47)	8	0	10	0	4	0	121
COV	Ethers	54460-96-7	Bis(chloropropyl)ethers	5	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin		54464-57-2	1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydro-2,3,8,8-tetraméthyl-naphthalen-2-yl]	8	0	7	0	0	0	121
Hygiène et soin		5466-77-3	(5-Méthylheptyl 3-(4-méthoxyphényl)-2-propenoate (Ethylhexyl	8	0	0	0	5	0	121
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	54739-18-3	2-[5-Méthoxy-1-[4-(trifluorométhyl)phényl]-	6	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	54910-89-3	Benzenepropanamine, N-méthyl-gamma-[4-	8	0	7	0	6	0	121
Phénols		5510-99-6	di-sec-butylphénol, mélange d'isomères	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Triazoles	55179-31-2	bitertanol	8	5	5	5	0	0	121
Pesticides	Triazoles	55219-65-3	triadiménol	6	4	7	3	0	0	121
HAP nitrés		5522-43-0	1-nitropyrene	8	0	10	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Céphalosporines	55268-75-2	Ceforuxime	0	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	55285-14-8	[(dibutylamino)thio]méthylcarbamate de 2,3-dihydro-2,2-diméthyl-	8	7	5	2	0	0	121
Pesticides	Dithiines	55290-64-7	diméthipin	2	3	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pleuromutlines	55297-95-5	Tiamulin (Tiamulin)	8	0	10	0	2	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Pesticides	Acides carboxyliques	55335-06-3	triclopyr	8	2	7	3	0	0	121
Pesticides	Pyridines	55335-06-3	Triclopyr	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	55-38-9	O,O-dimethyl O-4-methylthio-m-tolyl phosphorothioate (Fenthion)	8	6	5	4	0	0	121
Anilines chlorés		554-00-7	2,4-dichloroaniline	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques		554-13-2	Lithium carbonate (Lithium carbonate)	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides		55512-33-9	thiocarbonate de O-(6-chloro-3-phénylpyridazine-4-yle) et de S-	4	4	5	3	0	0	121
COV	Nitriles / Isocyanures	55525-54-7	diisocyanate de 3,3'-(uréylène diméthylène)bis(3,5,5-	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Urées	555-37-3	neburon	6	6	7	0	0	0	121
Pesticides	Cyclohexanediones	55634-91-8	aloxodyme	2	2	5	3	0	0	121
Pesticides		556-61-6	isothiocyanate de méthyle	3	5	4	1	0	0	121
Hygiène et soin		556-67-2	2,2,4,4,6,6,8,8-Octaméthyl-1,3,5,7,2,4,6,8-tetraoxatétrasiloxane	7	0	4	4	0	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	55673-89-7	1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofurane	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Céphalosporines	5575-21-3	(6R,7R)-3-[[4-carbamoylpyridin-1-ium-1-yl)méthyl]-8-oxo-7-[(2-	3	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Amides	55814-41-0	mepronil	6	3	6	3	0	0	121
COV	Esters	559-11-5	acrylate de 2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,7-tridécylfluoroheptyle	7	0	10	0	0	0	121
Non classés	Additifs alimentaires	56038-13-2	Sucralose	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides		56073-07-5	difenacoum	8	5	7	4	0	0	121
Pesticides		56073-10-0	brodifacoum	8	5	7	6	0	0	121
Drogues		561-27-3	Morphinan-3,6-diol, 7,8-dihydro-4,5-époxy-17-méthyl- (5a,6a)-,	4	0	7	0	0	0	121
COV halogénés		56-23-5	tétrachlorure de carbone	5	0	4	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Sédatifs / Barbituriques	56-29-1	5-(1-Cyclohexényl)-1,5-diméthyl-1,3-diazinane-2,4,6-trione	4	0	0	0	0	0	121
Amines		56296-78-7	chlorure de méthyl(3-phényl-3-[4-	8	0	0	0	2	0	121
Pesticides	Organophosphorés	563-12-2	[[[Dethoxyphosphinothioylthio)méthylthio]-diéthoxy-	8	7	6	4	0	0	121
Hydrures d'étain		56-35-9	oxyde de bis(tributyletain)	6	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	56-38-2	O,O-Diéthyl-O-4-nitro-phénylthiophosphate (Parathion ethyl)	6	7	6	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antinéoplasiques	56420-45-2	10-(4-Amino-5-hydroxy-6-méthyl-oxan-2-yl)oxy-6,8,11-trihydroxy-	5	0	7	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	564-25-0	Doxycycline Monohydrate (Doxycycline (monohydrate))	3	0	7	0	6	0	121
Pesticides		56425-91-3	Flurprimidol	6	4	10	4	0	0	121
HAP alkylés		56-49-5	3-méthylcholanthène	8	0	10	0	6	0	121
Hormones	Hormones estrogènes	56-53-1	Phenol, 4-[(1,2-diéthyl-1,2-éthenediyl)bis, (E)-	8	0	0	0	7	0	121
Pesticides	Benzonitriles	56634-95-8	bromoxynil heptanoate	8	6	4	4	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	56-72-4	coumaphos	6	0	4	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Autres	56-75-7	D(-)-threo-2,2-Dichloro-N-[beta-hydroxy-alpha-(hydroxy-méthyl)-	4	0	7	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	56775-91-8	2-[12-(4-Chlorophenoxy)-2-méthyl-propanoyle]oxyéthyl pyridine-3-	6	0	7	0	1	0	121
Pesticides		56776-30-8	Disodium 4,4'-bis[(4-anilino-6-morpholino-1,3,5- triazin-2-	3	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	57018-04-9	O-2,6-dichloro-p-tolyl O,O-diméthyl phosphorothioate (Tolclofos	8	4	7	3	0	0	121
Pharmaceutiques		570-74-1	cholestérol	8	0	0	0	10	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	57117-31-4	2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane	8	0	0	0	0	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	57117-41-6	1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane	8	0	0	0	0	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	57117-44-9	1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	8	0	0	0	0	0	121
Anions		57-12-5	cyanures totaux	1	7	10	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	57-15-8	1,1,1-Trichloro-2-méthylpropan-2-ol (Chlorobutanol)	6	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	57-27-2	Morphinan-3,6-diol, 7,8-dihydro-4,5-époxy-17-méthyl- (5a,6a)-	4	0	7	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Antiépileptiques	57-41-0	5,5-diphénylméthylidazole-2,4-dione (Phénytoïne)	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Sédatifs / Barbituriques	57-43-2	5-Ethyl-5-(3-méthylbutyl)-1,3-diazinane-2,4,6-trione	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Guanidines	57520-17-9	guazatine triacétate	6	5	8	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolytiques	57-53-4	[2-(Carbamoyloxy)méthyl]-2-méthyl-pentyl] aminoformate	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	576-24-9	2,3-dichlorophénol	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	57-62-5	Chlorotétracycline (Chlortétracycline)	3	0	10	0	5	0	121
Hormones	Hormones estrogènes	57-63-6	(8S,9S,13S,14S,17S)-17-Ethynyl-13-méthyl-7,8,9,11,12,14,15,16-	6	0	7	0	5	0	121
Pesticides	Acides aminés	57646-30-7	furalaxyl	6	3	6	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Antipsychotiques	57648-21-2	timiperone	8	0	10	0	0	0	121
Dioxines et furanes	Dioxines	57653-85-7	1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	8	0	0	10	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Sulfonamides	57-68-1	4-Amino-N-(4,6-diméthylpyrimidin-2-yl)-benzenesulfonamide	4	0	0	0	4	0	121
Pesticides		57754-85-5	clopyralid sel de monoéthanolamine (Acide picolinique)	0	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Bêta-bloquants	57775-29-8	1-(9H-Carbazol-4-yloxy)-3-propan-2-ylamino-propan-2-ol	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		57808-65-8	closantel	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antémétiques	57808-66-9	5-chloro-1-(1-[3-(2-oxo-2,3-dihydro-1H-benzo[d]imidazol-1-	6	0	7	0	7	0	121
Pesticides		57837-19-1	N-(2,6-diméthylphényl)-N-(méthoxyacetyl)-DL-	4	3	6	3	0	0	121
Pharmaceutiques		57-88-5	(3S,8S,9S,10R,13R,14S,17R)-10,13-Diméthyl-17-[(2R)-6-	8	0	7	0	8	0	121
Hormones	Hormones estrogènes	57-91-0	(9S,14S,17R)-13-méthyl-6,7,8,9,11,12,14,15,16,17-	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Aminoglycosides	57-92-1	5-(2,4-diguuanidino-3,5,6-trihydroxy-cyclohexoxy)- 4-[4,5-	3	0	0	1	0	0	121
Pesticides		57966-95-7	2-cyano-N-[(éthylamino)carbonyl]-2-(méthoxyimino)acétamide	4	4	5	4	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	57973-67-8	flamprop-m-isopropyl forme I	6	4	7	4	0	0	121
HAP alkylés		57-97-6	7,12-diméthylbenzo[a]anthracène	8	0	10	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Inhibiteurs calciques	58001-44-8	Acide clavulanique	0	0	0	0	0	0	121
Pesticides		58138-08-2	Tridiphane	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides		5836-29-3	coumatetralyl	4	3	6	7	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	583-78-8	2,5-dichlorophénol	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antipsychotiques	58-38-8	prochlorperazine	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Pyréthroïdes	584-79-2	allethrine	7	6	6	1	0	0	121
Pesticides	Amides	58810-48-3	ofurace	4	3	6	3	0	0	121
Hygiène et soin		588-68-1	N-(Benzylidèneamino)-1-phényl-méthanimine (Eusolex)	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Diurétiques	58-93-5	Hydrochlorothiazide (Hydrochlorothiazide)	2	0	7	0	5	0	121
Pesticides	Uraciles	5902-51-2	terbacile	4	6	7	3	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	591-35-5	3,5-dichlorophénol	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		5915-41-3	N2-(tert-Butyl)-N4-éthyl-6-chloro-1,3,5-triazine-2,4-diamine	6	6	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiviraux	59277-89-3	2-Amino-9-(2-hydroxyéthoxyméthyl)-3H-purin-6-one (Acyclovir)	2	0	0	0	0	0	121
COV	Esters	59447-55-1	acrylate de (pentabromophényl)méthyle	8	0	10	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anesthésiques locaux	59467-70-8	midazolam	8	0	7	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	59-50-7	4-chloro-3-méthylphénol (chlorocresol)	6	0	1	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiépileptiques	59-66-5	N-(5-sulfamoyl-1,3,4-thiadiazol-2-yl)acétamide (Acétazolamide)	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	59669-26-0	(3EZ,12EZ)-3,7,9,13-tetraméthyl-5,11-dioxa-2,8,14-trithia-	4	6	5	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	59729-32-7	1-(3-(diméthylamino-propyl)-1-(parafluorophényl)-5-phthalane-	5	0	0	0	0	0	121
Pesticides		59756-60-4	fluridone	4	3	10	3	0	0	121
Amines		59-89-2	N-nitrosomorpholine (NMOR)	2	0	0	0	2	0	121
Pesticides		60168-88-9	(RS)-2,4'-dichloro- α -(pyrimidin-5-yl)benzhydryl alcohol	6	4	7	4	0	0	121
Pesticides	Triazoles	60207-31-0	azaconazole	6	3	1	3	0	0	121
Pesticides		60207-90-1	(2RS,4RS;2RS,4SR)-1-[2-(2-dichlorophényl)-4-propyl-1,3-	6	5	7	3	0	0	121
Hygiène et soin		6028-61-1	1-propylsulfanyldisulfanypropane (Dipropyltrisulfide)	6	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	60348-60-9	Penta BDE 99	8	0	10	0	4	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolytiques	604-75-1	10-Chloro-4-hydroxy-2-phényl-3,6-diazabicyclo[5.4.0]undeca-	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	60-51-5	diméthoate	4	4	5	5	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	60-54-8	2-(Amino-hydroxy-méthylidène)-4-diméthylamino-6,10,11,12a-	3	0	7	0	8	0	121
COV	Nitro-aromatiques / Nitrobenzènes	606-20-2	2,6-dinitrotoluène	6	0	4	7	0	0	121
Pesticides	Aryloxyacides	6062-26-6	2,4-mcpb sels et esters	2	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Bromobenzènes	607-99-8	2,4,6-Tribromoanisole	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Analgésiques	60-80-0	1,5-Diméthyl-2-phényl-1,2-dihydro-pyrazol-3-one (Phenazone)	4	0	9	0	3	0	121
Anilines chlorés		608-27-5	Dichloroaniline	6	0	0	0	0	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	60851-34-5	2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	8	0	0	0	0	0	121
Phénols	Bromophénols	608-71-9	pentabromophénol	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	608-73-1	hexachlorocyclohexane	6	0	0	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	609-19-8	3,4,5-trichlorophénol	8	0	7	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	611-06-3	1,3-dichloro-4-nitrobenzène	6	0	7	0	2	0	121
Pesticides	Pyrrolidones	61213-25-0	flurochloridone	6	7	10	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	61-32-5	7-(2,6-Diméthoxybenzoyl)amino-3,3-diméthyl-6-oxo-2-thia-5-	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	61-33-6	3,3-Diméthyl-6-oxo-7-(2-phénylacetyl)amino-2-thia-5-	4	0	3	0	5	0	121
COV	Nitriles / Isocyanures	614-68-6	Méthylphénylisocyanate	5	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	61477-96-1	Pipéracilline	0	0	0	0	0	0	121
COV	Benzothiazoles	615-22-5	2-(Méthylthio)benzothiazol	6	0	0	0	0	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Phénols	Bromophénols	615-58-7	2,4-Dibromophenol	6	0	0	0	0	0	121
Amines aromatiques		615-65-6	2-chloro-p-toluïdine	6	0	0	0	2	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	61-68-7	2-(2,3-Dimethylphenyl)aminobenzoic acid (Mefenamic acid)	8	0	0	0	5	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	61-72-3	Cloxacilline	5	0	0	0	1	0	121
COV halogénés	Terphényles	61788-33-8	terphényle chloré	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		61-82-5	3-Amino-1H-1,2,4-triazole (Amitrole)	2	4	5	5	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	618-62-2	3,5-dichloronitrobenzène	6	0	7	0	5	0	121
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	61869-08-7	3-(Benzo[1,3]dioxol-5-ylloxymethyl)-4-(4-fluorophenyl)-piperidine	6	0	7	0	5	0	121
Pesticides		6190-65-4	Déséthylatrazine (DEA)	4	0	7	0	0	0	121
COV	Alcanes	619-33-0	1,1-Dichloro-2,2-diéthoxyethane	3	0	0	0	9	0	121
Pesticides		62229-77-0	[Cyano-(3-phenoxyphényl)-methyl] 3-(2,2-dibromoéthényl)-2,2-	7	0	0	0	4	0	121
Pesticides	Diphényl-éthers	62476-59-9	acifluorène sel de sodium	4	3	10	4	0	0	121
Anilines		62-53-3	aniline	3	0	1	4	0	0	121
Pesticides	Thiocarbamides	62-56-6	thiouree	2	3	4	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Agents de contraste	62883-00-5	N,N'-Bis(1,3-dihydroxypropan-2-yl)-5-(2-	1	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Céphalosporines	62893-19-0	(6R,7S)-7-[[2-[(4-éthyl-2,3-dioxo-piperazine-1-carbonyl)amino]-2-	3	0	7	0	1	0	121
Hormones		630-56-8	caproate d'hydroxyprogesterone	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Carbamates	63-25-2	1-naphthyl methylcarbamate (Carbaryl)	6	6	6	4	0	0	121
Pesticides		632-79-1	anhydride tétrabromoptalique	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Pyrimidines	63284-71-9	nuarimol	6	4	10	3	0	0	121
Pesticides		63333-35-7	bromethaline	8	7	10	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	63387-28-0	2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nonabromodiphényléther (BDE-206)	0	0	0	0	3	0	121
Non classés	Paraffines	63449-39-8	cires de paraffine et cires d'hydrocarbures, chloro	8	0	10	0	0	0	121
Anilines chlorés		634-67-3	2,3,4-trichloroaniline	6	0	7	0	0	0	121
Anilines chlorés		634-91-3	3,4,5-trichloroaniline	6	0	7	0	0	0	121
Anilines chlorés		634-93-5	2,4,6-trichloroaniline	6	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques		635-12-1	anthracen-1,4-dione (Anthracen-1,4-dione)	6	0	0	0	0	0	121
Anilines chlorés		636-30-6	2,4,5-trichloroaniline	6	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Bétaïoquants	63659-18-7	1-[4-[2-(Cyclopropylmethoxy)ethyl]phenoxy]-3-propan-2-ylamino-	6	0	0	0	0	0	121
Hydrures d'étain		639-58-7	chlorure de fentine	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	640-15-3	thiometon	6	4	4	4	0	0	121
Pesticides	Organothiophosphates	64131-85-7	thiophosphate de O,O,O-tris(4-nitrophényle)	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Pyréthrinoides	64257-84-7	fenpropathrine	8	8	7	3	0	0	121
Amines		64381-97-1	N,N,N'-tris(1-méthylpropyl)benzène-1,4-diamine	8	0	7	0	2	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	644-62-2	2-(2,6-Dichloro-3-méthyl-phenyl)aminobenzoic acid	8	0	7	0	2	0	121
Pharmaceutiques	Bétaïoquants	6452-71-7	1-Propan-2-ylamino-3-(2-prop-2-enoxyphenoxy)-propan-2-ol	6	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin		646-01-5	3-Méthylthiopropionique acid	4	0	0	0	1	0	121
Pesticides	Benzoylurées	64628-44-0	triflumuron	8	7	10	4	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	64700-56-7	tricolpyr ester de butylglycol	8	5	7	3	0	0	121
Perfluoroalkylés		647-42-7	1H,1H,2H,2H-Perfluorooctanol (6:2 FTOH)	7	0	10	0	0	0	121
Hygiène et soin		6485-40-1	(5R)-2-méthyl-5-prop-1-en-2-ylcyclohex-2-en-1-one (Methyl-iso-	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		64902-72-3	2-chloro-N-[[4-méthoxy-6-méthyl-1,3,5-triazine-2-	2	4	7	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Vasodilatateurs	6493-05-6	3,7-Diméthyl-1-(5-oxohexyl)purine-2,6-dione (Pentoxifylline)	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	650-51-1	tca-sodium	4	0	6	1	0	0	121
Pesticides		65195-55-3	abamectine	9	0	0	0	0	0	121
Anilines		65294-17-9	m-[(p-anilino-phényl)azo]benzènesulfonate de p,p',p''-	6	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antidiabétiques	657-24-9	2-(N,N-Diméthylcarbamimidoyl)guanidine (Metformin)	2	0	0	0	8	0	121
Hygiène et soin		658051-75-3	Butan-2-yl 2-(2-dihydroxyéthyl)piperidine-1-carboxylate (Bayrepel)	6	0	0	0	4	0	121
Pesticides	Carbamates	65907-30-4	butyl 2,3-dihydro-2,2-diméthylbenzofuran-7-yl N,N'-diméthyl-N,N'-	8	7	4	4	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	65925-28-2	1-[2-(2-chloroéthoxy)éthoxy]-4-(1,1,3,3-tétraméthylbutyl)benzène	8	0	7	0	5	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	65996-93-2	brai de goudron de houille à haute température	0	0	0	7	6	0	121
Pesticides	Urées	66063-05-6	pencycuron	8	5	6	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Agents de contraste	66108-95-0	5-(Acetyl-(2,3-dihydroxypropyl)amino)-N,N'-bis(2,3-	3	0	7	0	1	0	121
Pesticides	Triazines	66215-27-8	cyromazine	4	3	7	3	0	0	121
Pesticides	Pyréthroides	66230-04-4	Esfenvalerate	8	7	7	3	0	0	121
Pesticides	Triazoles	66246-88-6	penconazole	6	4	7	3	0	0	121
Pesticides		66332-96-5	Flutolanil	6	4	9	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antihistaminiques	66357-35-5	NV-[2-[[5-(Diméthylaminométhyl)-2-furyl]méthylsulfanyl]éthyl]-N-	4	0	0	0	1	0	121
Pesticides		66393-62-2	3,5-dichloro-N-(1,1-diméthylprop-2-ynyl)benzamide	0	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Aryloxyacides	66441-23-4	fenoxaprop-ethyl	8	5	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Bétaïoquants	66722-44-9	1-Propan-2-ylamino-3-[4-(2-propan-2-	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		66753-07-9	Terbutylazine hydroxy	2	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	66-79-5	3,3-Diméthyl-7-(5-méthyl-3-phényl-oxazol-4-yl)carbonylamino-6-	6	0	0	0	0	0	121
Hydrures d'étain		668-34-8	triphénylétaïn cation	8	0	5	0	5	0	121
Pesticides	Pyréthrinoides	66841-25-6	tralomethrine	8	9	10	4	0	0	121
COV	Alcools	67124-09-8	1-(tert-dodécylthio)propane-2-ol	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		67129-08-2	Métazachlore	6	6	7	3	0	0	121
Pesticides		67306-00-7	Fenpropidine	6	6	7	3	0	0	121
Pesticides	Pyréthroides	67375-30-8	alpha-cyperméthrine	8	8	10	4	0	0	121
Amines		67-43-6	Diéthylénetriaminépentaaétique acid (DTPA)	2	0	0	0	2	0	121
Pesticides		67-48-1	chlorure de choline	2	0	5	1	0	0	121
Pesticides		67485-29-4	hydraméthylon	6	6	10	5	0	0	121
Pesticides		6753-47-5	piclorame sel de tri isopropanolamine	0	2	0	0	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	67554-50-1	octylphénol	8	0	0	0	0	0	121
COV	Alcools	67-56-1	méthanol	1	0	1	1	0	0	121
Dioxines et furanes	Furanes	67562-39-4	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		67564-91-4	cis-4-[3-(p-tert-butylphényl)-2-méthylpropyl]-2,6-	8	5	7	4	0	0	121
Hygiène et soin		67-71-0	2-Méthylthioacetic acid ethylester	2	0	0	0	0	0	121
COV halogénés		67-72-1	hexachloroéthane	8	0	10	0	8	0	121
Pesticides		67747-09-5	N-propyl-N-[2-(2,4,6-trichlorophenoxy)éthyl]imidazole-1-	8	0	10	4	0	0	121
Perfluoroalkylés		678-39-7	1H,1H,2H,2H-Perfluorodécanol (8:2 FTOH)	8	0	10	0	0	0	121
Dérivés soufrés	Sulfones	67969-69-1	N-éthylheptadécafluoro-N-[2-	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides	Vitamine D	67-97-0	calcécoliferol	8	3	4	1	0	0	121
Dérivés soufrés	Sulfones	68002-20-0	Hexa(méthoxyméthyl)melamine	3	0	10	0	0	0	121
Dérivés soufrés	Sulfones	68015-60-1	bis(2-aminobenzènesulfonate) de isopropyldénédi-1,4-	8	0	10	0	0	0	121
COV	Imines	68083-48-7	butane-2-one-O-[[[1,3,3-triméthyl-5-[[[1-	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides		68085-85-8	3-(2-chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-enyl)-2,2-	2	0	10	0	4	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Muscs polycycliques	68140-48-7	5-Acetyl-3-isopropyl-1,1,2,6-tétraméthylindane (ATI (Traseolide))	8	0	7	0	6	0	121
Hydrures d'étain		683-18-1	dichlorure de dibutylétaïn	4	0	4	7	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Sulfonamides	68-35-9	4-Amino-N-pyrimidin-2-yl-benzènesulfonamide (Sulfadiazine)	2	0	0	0	0	0	121
COV	Esters	6842-15-5	tetramer 1-propene	7	0	0	0	0	0	121
Plastifiants		6846-50-0	2,4,4-Triméthylpentane-1,3-dioldi-iso-butyrate (TXIB)	8	0	0	0	0	0	121
Plastifiants		68515-48-0	Di-isononyl-phthalate (DINP)	8	0	0	0	0	0	121
Phthalates		68515-49-1	Di-isodecyl-phthalate (DIDP)	8	0	7	0	0	0	121
COV		686-07-7	N,N-Diéthylthiocarbamic acid methyl ester	4	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	68631-49-2	2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphényl ether (hexa BDE-153)	8	0	10	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Antihistaminiques	68844-77-9	astemizole	8	0	10	0	1	0	121
Hydrures d'étain		688-73-3	hydrure de tri-n-butylétaïn	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Vasodilatateurs	68-90-6	benziodarone	6	0	7	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Antiprotozoaires	69-05-6	mepacrine (quinacrine)	9	0	7	0	1	0	121
Pesticides	Organophosphorés	6923-22-4	monocrotophos	2	6	6	5	0	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolitiques	69-23-8	fluphénazine	8	0	10	0	1	0	121
Pesticides	Thiadiazines	69327-76-0	buprofezine	8	5	6	4	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	6936-40-9	1,2,4,5-tétrachloro-3-méthoxybenzène	8	0	7	0	5	0	121
Pesticides		69377-81-7	4-Amino-dichloro-6-fluoro-pyridyl-2-oxycetic acid (Fluroxypyr)	6	3	7	2	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	69-53-4	(2S,5R,6R)-6-[[2(R)-2-Amino-2-phényl-acetyl]amino]-3,3-	4	0	0	0	0	0	121
COV		69669-44-9	C10-C14 benzene sulfonic acid, sodium salt (C10-C14-LAS)	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides		69898-41-5	5-[4-(diéthylamino)-2-éthoxyphényl]-5-(1-éthyl-2-méthyl-1H-	8	0	10	0	0	0	121
PCB		7012-37-5	2,4,4'-trichlorobiphényle	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides		70124-77-5	2-[4-(difluorométhoxy)phényl]-3-méthylbutyratate de cyano(3-	8	0	7	0	0	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
COV halogénés		77-47-4	hexachlorocyclopentadiène	8	0	10	1	0	0	121
Pesticides	Diphényl-éthers	77501-60-1	fluoroglycofen	6	8	7	4	0	0	121
Non classés		7758-98-7	sulfate de cuivre	3	0	4	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Sédatifs / Barbituriques	77-66-7	N-(Acetylcarbamoyl)-2-bromo-2-ethyl-butanamide	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiépileptiques	77-67-8	(RS)-3-ethyl-3-methyl-pyrrolidine-2,5-dione (Ethosuximide)	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		77732-09-3	N-(2,6-diméthylphényl)-2-méthoxy-N-(2-oxo-3-chlorate de sodium)	4	2	6	4	0	0	121
Pesticides		7775-09-9	chlorate de sodium	2	1	7	3	0	0	121
Éléments chimiques	Halogènes	7782-41-4	fluor	3	0	1	1	0	0	121
Éléments chimiques	Non-métaux	7782-49-2	sélénium	3	0	10	1	0	0	121
Pesticides		7782-63-0	sulfate de fer	3	0	1	1	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	7786-34-7	mevinphos	4	8	4	5	0	0	121
Plastifiants		77-90-7	tributyl 2-acétyloxypropane-1,2,3-tricarboxylate	8	0	0	0	4	0	121
Plastifiants		77-93-0	1,2,3-Triéthyl 2-hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylate	4	0	0	0	4	0	121
Non classés	Organométalliques	78-00-2	tétraéthylplomb	8	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme		78-40-0	Phosphoric acid, triethyl ester (Triethylphosphate)	3	0	1	1	0	0	121
Plastifiants		78-42-2	tris(2-éthylhexyl) phosphate (tris(2-éthylhexyl)phosphoric acid)	8	0	0	0	0	0	121
Retardateurs de flamme		78-43-3	2,3-Dichloro-1-propanol phosphate	6	0	10	0	0	0	121
Plastifiants		78-51-3	Ethanol, 2-butoxy-, phosphate (3:1)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		78587-05-0	Trans-5-(4-chlorophényl)-4-méthyl-2-oxo-3-thiazolidine-carbophenothion	6	4	7	3	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	786-19-6		8	5	6	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Agents de contraste	78649-41-9	N,N'-Bis(2,3-dihydroxypropyl)-5-[(2-hydroxyacetyl)-methyl-	3	0	7	0	1	0	121
Hydrures d'étain		78763-54-9	Monobutylétain	5	0	7	0	9	0	121
COV halogénés		78-87-5	1,2-dichloropropane	3	0	1	1	0	0	121
COV halogénés		78-88-6	2,3-dichloropropène	5	0	4	4	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	789-02-6	DDT (1-chloro-4-[2,2,2-trichloro-1-(2-chlorophényl)éthyl]benzene)	8	0	10	0	6	0	121
COV halogénés		79-00-5	1,1,2-trichloroéthane	3	0	1	4	0	0	121
Plastifiants		79-06-1	acrylamide	2	0	1	7	0	0	121
Non classés		79-11-8	acide chloroacétique	4	0	1	1	0	0	121
Pesticides		79127-80-3	fenoxycarbe	8	0	0	0	0	0	121
COV	Terphényles	791-28-6	Triphénylphosphine oxide (Triphenyl phosphine oxide)	6	0	0	0	0	0	121
Non classés	Oxydants	79-21-0	acide peroacétique	1	0	1	1	0	0	121
Pesticides		79241-46-6	Fluazifop-P-butyl	6	4	7	4	0	0	121
Pesticides		79277-27-3	Thifensulfuron methyl	2	6	7	4	0	0	121
Aromatiques alkylés		793-23-7	1,4-Bis(phénylméthyl) benzene	8	0	0	0	5	0	121
Amines aromatiques		793-24-8	N-1,3-diméthylbutyl-N'-phényl-p-phénylenediamine	8	0	0	0	2	0	121
COV halogénés		79-34-5	1,1,2,2-tétrachloroéthane	5	0	7	1	0	0	121
Pesticides	Pyréthroïdes	79538-32-2	tefluthrine	8	9	10	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	79-57-2	2-(Amino-hydroxy-méthylidène)-4-diméthylamino-5,6,10,11,12a-	3	0	9	0	5	0	121
Pharmaceutiques	Antidépresseurs	79617-96-2	(1S-cis)-4-(3,4-dichlorophényl)-1,2,3,4-tetrahydro-N-méthyl-1-	8	0	7	0	3	0	121
Pesticides		79622-59-6	Fluazinam	6	6	10	4	0	0	121
Hormones		797-63-7	Lévonorgestrel	6	0	0	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Antihistaminiques	79794-75-5	Loratadine	8	0	10	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	79902-63-9	Simvastatin	8	0	0	0	1	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Autres	79-92-5	camphène	7	0	0	0	3	0	121
Phénols	Chlorophénols	79-95-8	2,2',6',6'-tétrachloro-4,4'-isopropylidenediphénol	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides		79983-71-4	Hexaconazole	6	4	7	4	0	0	121
Pesticides		8001-50-1	strobane dichloride aerosol	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides		8003-34-7	pyréthrine	8	6	5	3	0	0	121
Pesticides		80-06-8	chlorfenéthol	8	0	7	1	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Sulfonamides	80-08-0	4-[(4-aminobenzène)sulfonyl]aniline (Dapsone)	4	0	1	1	0	0	121
Hygiène et soin		80135-31-5	2-Ethylhexyl 2-cyano-3,3-diphényl-prop-2-enoate (Octocrylene)	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		8018-01-7	Mancozeb	4	6	6	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Macrolides	80214-83-1	6-(4-Diméthylamino-3-hydroxy-6-méthyl-tetrahydropran-2-yl)oxy	7	0	10	0	6	0	121
Hygiène et soin		8024-53-1	1,3,3-triméthyl-2-oxabicyclo[2,2,2]octane (Cineole)	5	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Macrolides	8025-81-8	Spiramycin (Spiramycin)	5	0	10	0	8	0	121
Pesticides		8030-53-3	gibberellines a4a7	0	2	0	1	0	0	121
Pesticides	Sulfonates	80-33-1	chlorofenizon	8	4	7	4	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	80-38-6	fenizon	6	3	4	1	0	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Autres	8047-67-4	1H-Indole	6	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin		80-54-6	3-(4-tert-Butylphényl)isobutyraldéhyde (p-t-Bucinal)	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Aminoglycosides	8063-07-8	2-(aminométhyl)- 6-[4,6-diamino-3- (4-amino-3,5-dihydroxy-6-	3	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Autres	8064-90-2	4-N-(6-méthoxyquinolin-8-yl)pentane-1,4-diamine	3	0	0	0	0	0	121
COV	Alcools	8072-20-6	1,1-bis(4-chlorophényl)-éthanol, mixed	8	0	7	0	0	0	121
Pesticides	Diphényl-éthers	80844-07-1	etofenprox	8	7	7	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Macrolides	81103-11-9	Erythromycin,6-0-méthyl-6-0-Méthylerythromycin	7	0	10	0	5	0	121
Pharmaceutiques	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	81131-70-6	3,5-Dihydroxy-7-[6-hydroxy-2-méthyl-8-(2-méthylbutanoxy)-	3	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Imidazolines	81334-34-1	imazapyr	4	3	7	1	0	0	121
Pesticides	Imidazolines	81335-37-7	imazaquine	4	3	5	2	0	0	121
Pesticides	Imidazolines	81405-85-8	imazaméthabenz-méthyl	4	2	6	3	0	0	121
Pesticides		81406-37-3	Fluroxypyr-meptyl	8	5	10	2	0	0	121
Pesticides		81412-43-3	tridemorph	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides		81591-81-3	glyphosate-trimesium (Sulfosate)	1	4	5	3	0	0	121
Pesticides		81777-89-1	Clomazone	6	4	6	3	0	0	121
Hydrures d'étain		818-08-6	oxyde de dibutylétain	7	0	0	0	0	0	121
HAP halogénés		81-98-1	3,9-dibromo-7H-benzo[de]anthracène-7-one	8	0	7	0	6	0	121
HAP		82-05-3	benzo[de]anthracène-7-one	8	0	0	0	6	0	121
Pesticides		82097-50-5	Triasulfuron	2	6	10	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Fluoroquinolones	82419-36-1	(+)-9-Fluoro-3-Méthyl-10-(4-Méthyl-1-Piperaziny)-7-Oxo-2,3-	2	0	10	0	9	0	121
Pesticides		82558-50-7	Isoxaben	6	4	7	3	0	0	121
Pesticides	Carbamates	82560-54-1	Benfuracarbe	8	6	7	4	0	0	121
Pesticides		825629-31-0	N-éthyl-4-méthylbenzènesulfonamide (N-Ethyl-2-	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolitiques	82626-48-0	N,N-Diméthyl-2-[4-méthyl-8-(4-méthylphényl)-6,9-	6	0	7	0	1	0	121
Pesticides	Pyréthroïdes	82657-04-3	Biphenthrin	8	8	10	4	0	0	121
Pesticides		82-66-6	diphacinone	8	4	7	4	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	82-68-8	quintozène	8	5	10	4	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	82697-71-0	clofencet-potassium	2	0	0	3	0	0	121
Pesticides		83055-99-6	bensulfuron méthyl (londax)	4	4	5	3	0	0	121
Pesticides		83-05-6	Bis(4-chlorophényl)acétique acid (4,4'-DDA)	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Benzoylurées	83121-18-0	teflubenzuron	8	8	10	4	0	0	121
Pesticides		83164-33-4	Diflufenicanil	8	7	10	3	0	0	121
HAP alkylés		832-64-4	4-Méthylphenanthrene (4-Méthyl-phenanthrene)	8	0	7	4	0	0	121
Pesticides		834-12-8	N2-éthyl-N4-isopropyl-6-méthylthio-1,3,5-triazine-2,4-diamine	6	7	7	4	0	0	121
Hormones	Phytoestrogènes	83-46-5	2,4-alpha-Ethylcholestérol (Beta-sitostérol)	8	0	7	0	0	0	121
Hygiène et soin	Parfums / Nitro muscs	83-66-9	Benzène, 1-(1,1-diméthylethyl)-2-méthoxy-4-méthyl-3,5-dinitro	8	0	7	0	3	0	121
Pesticides		83-79-4	Roténone	8	7	7	5	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Macrolides	83905-01-5	(2R,3R,4R,5R,8R,10R,11R,13S,14R)-11-[(2S,3R,4S,6R)-4-	9	0	10	0	8	0	121
Pharmaceutiques	Antiépileptiques	84057-84-1	6-(2,3-dichlorophényl)-1,2,4-triazine-3,5-diamine (Lamotrigine)	4	0	7	0	8	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	84087-01-4	quinclorac	2	3	8	2	0	0	121
Hygiène et soin		84-15-1	1,4-Diphénylbenzène (o-Terphényl)	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Oxazolidines	84332-86-5	chlozolinate	6	4	7	4	0	0	121
Pesticides		84-54-8	2-méthyl-10-anthracenedione (2-méthylanthraquinone)	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolitiques	846-49-1	10-Chloro-2-(2-chlorophényl)-4-hydroxy-3,6-	6	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Anxiolitiques	846-50-4	2H-1,4-Benzodiazépin-2-one, 7-chloro-1,3-dihydro-3-hydroxy-1-	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		84-65-1	anthraquinone	6	3	5	4	0	0	121
Plastifiants		84-66-2	1,2-Benzenedicarboxylique acid, diéthyl ester (Diéthylphthalate)	6	0	0	0	0	0	121
Phthalates		84-69-5	phthalate de diisobutyle	8	0	1	7	0	0	121
Phthalates		84-74-2	1,2-Benzenedicarboxylique acid, dibutyl ester (Di-n-butylphthalate)	8	0	1	7	0	0	121
Retardateurs de flamme		84852-53-9	Decabromodiphényléthane	8	0	10	0	5	0	121
Pesticides	Ammoniums quaternaires	85-00-7	diquat	2	6	9	4	0	0	121
Aromatiques halogénés	Bromobenzènes	85-22-3	2,3,4,5,6-pentabromoéthylbenzène	8	0	10	0	5	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistance (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Pesticides		85409-17-2	stannane, tributyl-, dérivés mono(naphténoxy)	0	0	0	0	0	0	121
Pesticides		85509-19-9	bis(4-fluorophenyl)(methyl)(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)silane	6	4	10	7	0	0	121
COV halogénés		85535-85-9	C14-17 Chloroalcanes	8	0	4	1	0	0	121
Phtalates		85-68-7	1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl phenylmethyl ester	8	0	4	7	0	0	121
COV	Nitriles	85688-81-9	2,3-Diethyl-2,3-dimethylsuccinonitrile	6	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Fluoroquinolones	85721-33-1	Quinoline-3-carboxylic acid (Ciprofloxacin)	4	0	7	0	7	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Lincosamides	859-18-7	N-[2-Hydroxy-1-(3,4,5-trihydroxy-6-methylsulfanyl-oxan-2-yl)-	4	0	5	0	3	0	121
Pesticides	Urées	85-98-3	N,N'-Diethyl-N,N'-diphenylurea	8	0	0	0	0	0	121
Anilines		86-30-6	N-Nitrosodiphenylamine	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Benzoylurées	86479-06-3	hexafluron	8	8	10	3	0	0	121
Perfluoroalkylés		865-86-1	1H,1H,2H,2H-Perfluorododecanol (10:2 FTOH)	8	0	10	0	0	0	121
Pesticides		86-74-8	3-Amino-9-ethylcarbazole (Carbazole)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		86-86-2	alpha-naphthyl acetamide	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides		86-87-3	acide naphthalene acetique	6	3	5	0	0	0	121
Hygiène et soin		87075-14-7	1-(4-Methoxyphenyl)-3-(4-tert-butylphenyl)propane-1,3-dione	8	0	7	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	87-08-1	3,3-Dimethyl-6-oxo-7-(2-phenoxyacetyl)amino-2-thia-5-	6	0	0	0	6	0	121
Pesticides	Carbamates	87130-20-9	diethofencarbe	6	4	4	2	0	0	121
Pesticides		87237-48-7	haloxyfop ethoxyethyl ester	8	4	10	5	0	0	121
Plastifiants		872-50-4	1-Methyl-2-pyrrolidone (NMP)	1	0	1	7	0	0	121
Pesticides	Chloroacetamides	87392-12-9	s-metolachlor	6	6	7	3	0	0	121
Pesticides		87-51-4	acide beta indolacetique	4	4	0	0	0	0	121
Amines aromatiques		87-60-5	3-chloro-o-toluidine	6	0	0	0	2	0	121
Phénols	Chlorophénols	87-65-0	2,6-dichlorophénol	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		87674-68-8	Dimethenamide	6	6	7	3	0	0	121
COV halogénés		87-68-3	hexachlorobuta-1,3-diène	8	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Cyclohexanediones	87820-88-0	tralkoxydime	6	4	5	4	0	0	121
Aromatiques halogénés	Bromotoluènes	87-83-2	2,3,4,5,6-pentabromotoluène	8	0	10	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	87-86-5	pentachlorophénol	6	0	4	5	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	88-04-0	Chlorodiméthylphénol, Chloroxylenol	6	0	1	1	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	88-06-2	2,4,6-trichlorophénol	6	0	7	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	882-09-7	2-(4-Chlorophenoxy)-2-methyl-propanoic acid (Clofibrac acid)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Pyridines	88283-41-4	pyrifénox	6	5	7	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antihistaminiques	88637-37-0	2-Benzhydryloxy-N,N-dimethyl-ethanamine (Diphenhydramine)	5	0	0	0	2	0	121
Pesticides		886-50-0	N'-ethyl-6-methylsulfanyl-N-tert-butyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine	6	0	7	0	0	0	121
Pesticides		88671-89-0	myclobutanil (systhane)	6	4	6	4	0	0	121
COV	Nitro-aromatiques / Nitrobenzènes	88-72-2	2-nitrotoluène	6	0	4	7	0	0	121
COV	Nitro-aromatiques / Nitrobenzènes	88-73-3	1-chloro-2-nitrobenzène	6	0	0	0	0	0	121
COV	Nitro-aromatiques / Nitrobenzènes	88-75-5	1-hydroxy-2-nitrobenzene (2-Nitrophenol)	4	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Phénols	88-85-7	dinoseb	6	6	5	7	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	89-21-4	4-chloro-2-nitroanisole	6	0	0	0	0	0	121
Hydrures d'étain		892-20-6	triphénylétain	8	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorotoluènes	89-59-8	4-chloro-2-nitrotoluène	6	0	0	0	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	89-61-2	1,4-dichloro-2-nitrobenzène	6	0	7	0	2	0	121
Anilines chlorés		89-63-4	4-chloro-2-nitroaniline	6	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques		89796-99-6	2-[4-(2,6-Dichlorophenyl)amino] benzeneacetic acid	6	0	0	0	0	0	121
Phénols		89-83-8	thymol	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides		90035-08-8	flocoumafen	8	5	10	5	0	0	121
Pesticides		9006-42-2	Metiram	4	5	7	3	0	0	121
Pesticides	Polysaccharides	9008-22-4	laminarine	1	2	7	1	0	0	121
HAP halogénés		90-13-1	1-chloronaphtalène	8	0	0	0	6	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	90134-59-1	flamprop-m	6	4	7	0	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	9016-45-9	Ethoxylate nonylphénolique (4-NP1EO)	8	0	0	0	8	0	121
Amines aromatiques		90-30-2	N-phenyl-1-naphthylamine (N-phenyl-naphthylamine)	8	0	0	0	2	0	121
Pesticides		90-43-7	biphényle-2-ol	6	0	1	1	0	0	121
Phénols	Nonylphénols	90481-05-3	phénol, nonyl-, fabrication, sous-produits, point d'ébullition élevé	0	0	0	0	0	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	90640-81-6	huile anthracénique, pâte anthracénique	0	0	0	7	6	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	90640-82-7	huile anthracénique à faible teneur en anthracène	0	0	0	7	6	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	90640-86-1	distillats (goudron de houille), huiles lourdes	0	0	0	7	6	0	121
Pesticides	Quinoléines	90717-03-6	quinmerac	2	2	5	3	0	0	121
Pesticides		90-98-2	4,4'-Dichlorobenzophenone (DBP)	8	0	7	0	0	0	121
HAP alkylés		91-17-8	Decahydronaphtalene (Dekalin)	7	0	0	0	6	0	121
COV		91-22-5	Chinoline	6	0	4	7	0	0	121
Pesticides	Pyréthroïdes	91465-08-6	Lambda cyhalothrine	8	8	10	4	0	0	121
Pharmaceutiques	Béta-bloquants	91524-16-2	1-[(4-Morpholin-4-yl-1,2,5-thiadiazol-3-yl)oxy]-3-tert-butylamino-	3	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Quinoléines	91-53-2	ethoxyquine	6	4	1	4	0	0	121
HAP alkylés		91-57-6	2-méthylnaphtalène	6	0	7	0	6	0	121
Pharmaceutiques	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	91853-74-6	2-[1-(4-chlorophenyl)carbonyl]-5-methoxy-2-methyl-1H-indol-3-	0	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	919-86-8	demethon-s-methyl	4	6	4	5	0	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	91995-15-2	aceite de antraceno, pasta de antraceno, fracción de antraceno	0	0	0	7	6	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	91995-17-4	Huile anthracénique, pâte anthracénique, fractions légères de	0	0	0	7	6	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	91995-42-5	destilados (alquitran de hulla), aceites pesados, fracción de	0	0	0	7	6	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	91995-52-7	destilados (alquitran de hulla), brea, fracción de pireno	0	0	0	7	6	0	121
HAP	Goudrons et créosotes	92061-94-4	résidus (goudron de houille), distillation de brai	0	0	0	7	6	0	121
HAP		92-24-0	naphtacène (tétracène)	8	0	7	0	6	0	121
Amines		924-16-3	N-nitrosodi-n-butylamine (NDBA)	6	0	0	0	2	0	121
COV	Biphényles	92-52-4	Biphényles	6	0	4	1	0	0	121
Retardateurs de flamme	Polybromodiphényléthers (PBDE)	92-86-4	4,4'-Dibromobiphenyl (BDE-15)	0	0	0	0	6	0	121
Hygiène et soin		92-94-4	1,4-Diphénylbenzène (p-Terphenyl)	8	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Fluoroquinolones	93106-60-6	1-Cyclopropyl-7-(4-ethylpiperazin-1-yl)-6-fluoro-4-oxo-quinoline-3-	4	0	10	0	5	0	121
Phénols	Chlorophénols	933-75-5	2,3,6-trichlorophénol	6	0	7	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	933-78-8	2,3,5-trichlorophénol	6	0	7	0	0	0	121
Pesticides		934-32-7	2-Aminobenzimidazole	4	0	0	0	0	0	121
Amines aromatiques		93-46-9	N,N'-di-2-naphthyl-p-phénylenediamine	8	0	7	0	2	0	121
Pesticides		93-65-2	2-(4-Chloro-2-methylphenoxy)propionic acid (MCPP (Mecoprop))	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		93-65-2	mécoprop	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	93-72-1	fenoprop	6	3	5	4	0	0	121
Pesticides		93-76-5	2,4,5-T	6	0	5	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Tétracyclines	94088-85-4	(2Z,4S,4aR,5S,5aR,6R,12aS)-2-(amino-hydroxy-methylidene)-4-	3	0	7	0	6	0	121
Pesticides		94125-34-5	Prosulfuron	4	6	10	3	0	0	121
Hygiène et soin	Conservateurs / Parabènes	94-13-3	4-Hydroxybenzoic acid propyl ester (Propyl-paraben)	6	0	0	0	5	0	121
COV	Benzothiazoles	941-57-1	Benzothiazole sulfonic acid (Benzothiazol-2-sulfonic acid)	2	0	0	0	0	0	121
Pesticides		94361-06-5	Cyproconazole	6	5	7	4	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	944-22-9	fonofos	6	7	6	4	0	0	121
Pesticides	Sulfurylurées	94593-91-6	cinosulfuron	4	3	7	3	0	0	121
Plastifiants		947-19-3	(1-Hydroxycyclohexyl)phenylketone (Methanone, Irgacure 184)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		94-74-6	(4-Chloro-2-methylphenoxy)acetic acid (2,4-MCPA)	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides		94-75-7	(2,4-Dichlorophenoxy)acetic acid (2,4 D)	2	0	4	1	0	0	121
Pesticides		94-81-5	4-(4-Chloro-2-methylphenoxy)-butyric acid (MCPB)	8	3	5	4	0	0	121
Pesticides		94-82-6	acide 4-(2,4-dichlorophénoxy)butyrique (2,4-db)	4	4	5	3	0	0	121
Pesticides	Organophosphorés	950-37-8	methidathion	6	6	5	5	0	0	121
Hygiène et soin		95-14-7	1,2,3-Benzotriazole	4	0	0	0	0	0	121
COV	Benzothiazoles	95-16-9	Benzothiazole (Benzothiazole)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Acides carboxyliques	95266-40-3	trinexapac-ethyl	2	3	5	2	0	0	121
Pesticides	Organothiophosphates	95465-99-9	cadusafos	6	5	6	5	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorotoluènes	95-49-8	2-chlorotoluène	5	0	4	3	0	0	121
Anilines chlorés		95-51-2	2-chloroaniline	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Bromophénols	95-56-7	2-Bromophenol	6	0	0	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	95-57-8	2-chlorophénol	5	0	4	1	0	0	121
Phénols		95-65-8	3,4-xylénol	6	0	4	1	0	0	121
Pesticides	Diphényl-éthers	95737-68-1	pyriproxyfene	8	5	7	3	0	0	121

ANNEXE 1b

Famille	Sous-famille	CAS	Nom	Transferts (de 1 à 10)	Ecotoxicité (de 1 à 10)	Persistence (de 1 à 10)	Toxicité (de 1 à 10)	Présence (de 1 à 10)	Score final	Classement absolu
Amines aromatiques		95-74-9	3-chloro-p-toluidine	6	0	0	0	2	0	121
Pesticides	Amides	957-51-7	difenamide	6	5	6	2	0	0	121
Anilines chlorés		95-76-1	3,4-dichloroaniline	6	0	4	1	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	95-77-2	3,4-dichlorophénol	6	0	0	0	0	0	121
Amines aromatiques		95-79-4	5-chloro-o-toluidine	6	0	0	0	2	0	121
Phénols	Chlorophénols	95-85-2	2-amino-4-chlorophénol	4	0	0	0	0	0	121
Phénols	Chlorophénols	95-95-4	2,4,5-trichlorophénol	6	0	7	1	0	0	121
Pesticides		95975-55-6	4,4'-Dichlorobenzhydrol (4,4'-DDOH)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides	Organochlorés	959-98-8	Endosulfan (alpha)	6	0	10	0	5	0	121
Non classés	Toxines algales	96181-79-9	Microcystin-LA	0	0	0	0	0	0	121
COV halogénés		96-19-5	1,2,3-Trichloropropene, TRCP	5	0	0	0	0	0	121
COV halogénés		96-23-1	1,3-dichloropropane-2-ol	3	0	1	7	0	0	121
Pesticides		96489-71-3	Pyridabène	8	8	7	4	0	0	121
Pesticides		96525-23-4	Flurtamone	6	6	7	3	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	97-00-7	1-chloro-2,4-dinitrobenzène	6	0	7	0	5	0	121
Pesticides		97-17-6	dichlofenthion	8	2	7	1	0	0	121
Pharmaceutiques		97-18-7	bithional	8	0	10	0	1	0	121
Pesticides	Diphénols	97-23-4	dichlorophene	6	4	7	2	0	0	121
Pesticides		97955-44-7	[Cyano-(3-phenoxyphenyl)-methyl] 3-(2,2-dichloroethenyl)-2,2-	7	0	0	0	4	0	121
Dérivés soufrés	Sulfones	98-10-2	Benzenesulfonamide	4	0	0	0	0	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Fluoroquinolones	98105-99-8	6-fluoro-1-(4-fluorophenyl)-4-oxo-7-piperazin-1-ylquinoline-3-	4	0	10	0	7	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Fluoroquinolones	98106-17-3	6-fluoro-1-(4-fluorophenyl)-7-(4-methylpiperazin-1-yl)- 4-	4	0	10	0	1	0	121
Pharmaceutiques	Antibiotiques / Pénicillines	985-16-0	(2S,5R,6R)-6-[(2-ethoxy-1-naphthoyl)amino]-3,3-dimethyl-7-oxo-	3	0	0	0	0	0	121
COV	Alcools	98-52-2	tert-Butylcyclohexanol (2 isomers)	6	0	0	0	0	0	121
COV	Cétones	98-53-3	tert-Butylcyclohexanone (2 isomers)	6	0	0	0	0	0	121
Phénols	Alkylphénols	98-54-4	4-tert-butylphénol	6	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin		98-55-5	3-Cyclohexene-1-methanol, α,α -trimethyl- (Terpineol)	6	0	0	0	0	0	121
Pesticides		98730-04-2	Benoxacor	6	4	7	4	0	0	121
Aromatiques alkylés		98-83-9	2-phénylpropène	5	0	4	1	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorotoluènes	98-87-3	α,α -dichlorotoluene	5	0	1	4	0	0	121
Pesticides		98886-44-3	Fosthiazate	4	5	5	4	0	0	121
COV	Nitro-aromatiques / Nitrobenzènes	98-95-3	nitrobenzène	4	0	4	4	0	0	121
Pesticides		99105-77-8	Sulcotrione	2	4	7	5	0	0	121
Pesticides	Cyclohexanediones	99129-21-2	clethodime	4	4	4	4	0	0	121
Aromatiques halogénés	Chlorobenzènes	99-54-7	1,2-dichloro-4-nitrobenzène	6	0	7	0	2	0	121
Pesticides		99607-70-2	Cloquintocet-mexyl	8	4	4	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Antiépileptiques	99-66-1	2-propylpentanoic acid (Valproic acid)	6	0	0	0	0	0	121
Hygiène et soin	Conservateurs / Parabènes	99-76-3	4-Hydroxybenzoic acid methyl ester (Methyl-paraben)	4	0	0	0	5	0	121
Pesticides	Ammoniums quaternaires	999-81-5	chlormequat-chlorure	2	3	5	3	0	0	121
Pharmaceutiques	Vasodilatateurs	1951-25-3	Amiodarone	0	0	0	0	4	0	121
Pharmaceutiques	Antifongiques	27220-47-9	Econazole	0	0	0	0	9	0	121

Annexe 2 : Résultats du screening

Annexe 2

		N° STEP																													
		02	03	04	05	06	07	08	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
Substance	n° CAS																														
composé aromatiques																															
Toluène	108-88-36					X		X			X		X																X		
éthylbenzène	100-41-4												X																		
styrène	100-42-5									X			X	X													X	X	X		
benzène trisubstitué (méstyène + trichlorobenzènes)																															
isopropylbenzène	98-82-8							X					X									X	X								
isopropyltoluène	99-87-6	X		X					X				X	X	X						X				X						
dérivé benzénique		X				X			X				X	X	X	X		X		X			X	X	X						
méthylphénol	106-44-5												X	X	X								X	X	X						
HAP		X		X		X	X	X			X		X	X	X						X			X	X	X					
cadalène (HAP)	483-78-3	X											X	X	X								X	X	X						
phénol	108-95-2			X	X	X	X	X			X		X	X								X	X	X				X	X		
calaménène (HAP)	483-77-2	X	X												X																
diphényl ether	10184-8								X				X	X														X			
crésol	95-48-7			X			X		X	X			X	X		X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X			
crésol	108-39-4			X			X		X	X			X	X		X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X			
crésol	106-44-5			X			X		X	X			X	X		X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X			
diméthylbenzène	95-47-6																											X			
diméthylbenzène	108-38-3																											X			
diméthylbenzène	106-42-3																											X			
3-propylphénol	621-27-2								X																						
totarol (terpène)	511-15-9	X		X																	X										
composés soufrés																															
diméthyltrisulfide	3658-80-8				X																					X	X		X		
diméthylsulfide	624-92-0				X																										
hexathiepane	17233-71-5			X					X				X	X								X	X	X				X			
octathiocane	10544-50-0	X	X	X		X			X		X		X	X	X	X						X	X	X				X			
hexathiène	3798-23-7	X	X	X					X				X	X														X			
1,2,4-trithiolane	289-16-7			X		X	X	X	X			X										X	X	X				X			
224477hexaméthyl-octahydro-1H-indène	57832-83-6																									X					
CS2	75-15-0										X																				
composé soufré (S7 cyclique) : 7704-34-9																															
hydrocarbures																															
camphène (monoterpène)	79-92-5			X						X			X						X									X	X		
limonène (terpène cyclique)	5989-27-5	X		X	X			X	X		X		X	X	X					X	X			X				X	X		
limonène (terpène cyclique)	5989-54-8	X		X	X			X	X		X		X	X	X					X	X			X				X	X		
limonène (terpène cyclique)	138-86-3	X		X	X			X	X		X		X	X	X					X	X			X				X	X		
terpènes				X				X	X		X		X		X				X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		
coupe hydrocarbures				X	X	X	X	X	X		X	X		X	X				X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		
hydrocarbure saturés (alcanes)		X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X				X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		
hydrocarbure cyclique saturés								X						X					X	X	X			X			X	X			
hydrocarbures insaturés (alcènes)				X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X				X	X			X	X	X	X	X			
hydrocarbures cycliques insaturés				X	X			X			X														X		X	X			
cyclopentène	142-29-0					X																									
composés azotés																															
amines																															
indole	120-72-9	X			X	X	X		X		X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
méthylindol	83-34-1				X					X				X					X		X	X	X	X			X	X	X		
2-tert-butyl-3 méthylaziridine	55669-76-6			X										X												X	X	X	X		
méthylloxindole	61-70-1																	X													
N,N-bis(N-décy)-méthylamine ou éthylamine	7396-58-9						X																					X			
méthyl-éthylamine	624-78-2												X																		
4-méthylindoline									X																						
éthylindol									X																	X			X		

N° STEP

		02	03	04	05	06	07	08	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Substance	n°CAS																											
composés oxygénés																												
ester d'acide (carboxylates ?)						X		X			X					X			X				X					X
galaxolide	1222-05-5	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
composé oxygéné (méthyl-a-ionone)	79-69-6		X	X			X			X			X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
dérivé d'acide benzoïque		X			X				X					X		X		X	X	X			X	X	X			
diméthoxybutane								X																				
2,6-Di-tert-butylquinone	719-22-2				X												X											
cholestérol	570-74-1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
dérivé benzopyrane																												X
benzophénone	116-61-9												X															
diméthylbenzaldéhyde	15764-16-6						X																					
diméthylbenzaldéhyde	1123-56-4						X																					
diméthylbenzaldéhyde	5973-71-7						X																					
diméthylbenzaldéhyde	5779-94-2						X																					
diméthylbenzaldéhyde	5779-95-3						X																					
3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzaldehyde	1620-98-0				X																							
p-tert-butylpivalophénone	22583-66-0												X															
benzaldehyde	100-52-7						X		X	X			X									X		X			X	
composés chlorés																												
tétrachloroéthylène	127-18-4																											X
acides																												
acide butanoïque	107-92-6					X			X					X							X			X				X
acide 3-méthylbutanoïque	503-74-2			X		X			X	X			X	X							X					X	X	X
acide pentanoïque	109-52-4				X				X	X				X							X				X	X	X	X
acide 2-méthylbutanoïque	116-53-0			X					X	X				X										X	X	X	X	X
acide 4-méthylpentanoïque	646-07-1								X	X				X										X	X	X	X	X
acide hexanoïque	111-14-8							X						X										X	X	X	X	X
acide heptanoïque	111-14-8													X										X		X	X	X
acide octanoïque	124-07-2												X												X		X	X
acide benzène propanoïque	501-52-0								X	X				X										X	X	X	X	X
acide décanoïque	334-48-5												X	X													X	X
acide dodécanoïque	143-07-7									X				X	X										X	X	X	X
acide pentadécanoïque	1002-84-2													X												X	X	X
acide hexadécanoïque	57-10-3									X				X									X		X	X	X	X
acide tridécanoïque	638-53-9																									X	X	X
acide hexanoïque dodecyl ester	42232-29-1																										X	X
acide octadécanoïque	57-11-4																									X	X	X
acide oleïque	112-80-1																										X	X
acide tétradécanoïque	544-63-8													X												X	X	X
acide 4-(méthylsulfanyl) butanoïque	32391-97-2																									X	X	X
acide 3-(méthylthio)-propionique	646-01-5																									X	X	X
1,3-dithiane	505-23-7																									X	X	X
acide benzène acétique	103-82-2			X					X	X				X							X			X	X	X	X	X
divers																												
diméthylphthalate	131-11-3						X	X					X									X					X	X
butylhydrotoluène	128-37-0		X		X				X				X				X							X				X
cholestérol	57-88-5						X	X					X									X					X	X

N° STEP

		02	03	04	05	06	07	08	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Substance	n° CAS																											
pharmaceutiques [tétra et fluo]																												
Difloxacin	98106-17-3																											
Marbofloxacine	115550-35-1																											
Norfloxacine	70458-96-7		X	X	X			X		X	X	X	X			X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X
Ciprofloxacine	85721-33-1		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X
Ofloxacine	82419-36-1		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X
Enrofloxacin	93106-60-6																											
Minocycline	13614-98-7																											
Tétracycline	60-54-8					X		X														X						X
Oxytétracycline	79-57-2																											
Chlortétracycline	57-62-5																											
Doxycycline	564-25-0					X		X																		X		X
Sarafloxacine	98105-99-8																											
Flumequin	42835-25-6				X	X		X							X		X	X								X	X	
Enoxacine	74011-58-8				X	X		X		X	X					X	X					X	X		X	X		X
pharmaceutiques [ES+]																												
Acetaminophen	103-90-2		X	X		X	X	X		X	X	X	X						X							X	X	X
Amiodarone	1951-25-3					X		X				X						X	X		X	X		X	X	X	X	X
Amitriptiline	50-48-6			X	X	X	X	X		X		X				X		X	X		X	X		X	X			X
Androstendione	630-508																											
Androsténone	18339-16-7																											
Antipyrine	60-80-0			X								X				X	X	X				X						
Astemizole	68844-77-9																											
Atenolol	29122-68-7																											
Azithromycine	83905-01-5				X	X	X	X				X					X		X		X				X			X
Baquioprim	102280-35-3																											
Benziodarone	68-90-6																											
Bezafibrate	41859-67-0																											
Caféine	58-08-2	X	X	X	X		X		X		X	X				X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Carbamazépine	298-46-4				X	X	X	X			X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cefoperazone	62893-19-0																											
Cimetidine	51481-61-9																											
Clarithromycine	81103-11-9					X				X											X		X			X		X
Clenbuterol	37148-27-9																											
Clotrimazole	23593-75-1																											
Cloxacillin	61-72-3																											
Codeine	76-57-3						X			X	X			X								X			X			X
Daunorubicin	20830-81-3																											
Diazepam	439-14-5																											
Dibenzazépine	256-96-2																											
Dicloxacillin	3116-76-5																											
Diméthomorphe	110488-70-5																											
Diosgénine	512-04-9																											
Diphénylhydramine	88637-37-0										X																	
Domperidone	57808-66-9		X		X	X	X	X		X	X	X				X	X	X	X		X	X		X	X			X
Doxépine	1668-19-5																											
Econazole	27220-47-9	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Epirubicin	56420-45-2																											
Epoxy-carbamazépine	36507-30-9				X			X				X									X							X
Erythromycine	114-07-8																											
Escitopram	128196-01-0		X		X	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X
Etiofibrate	56775-91-8																											
Famotidine	76824-35-6																											
Fluoxétine	54910-89-3		X		X	X	X	X		X		X					X											X
Fluphenazine	69-23-8																											
Fluvoxamine	54739-18-3				X							X														X		
Glybenzocyclamide	10238-21-8																											
Histodenz	66108-95-0																											
Hydrocodone	125-29-1				X						X	X							X									X
Imipramine	50-49-7																	X							X			
Indométhacine	53-86-1																											
Iomeprol	78649-41-9																											
Iopromid	73334-07-3																											
Ivermectin	70288-86-7																											

N° STEP

		02	03	04	05	06	07	08	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
Substance	n°CAS																												
Josamycin	16846-24-5																												
Ketoprofen	22071-15-4																												
Lamotrigine	84057-84-1		X		X	X	X	X			X	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	
Lansoprazole	103577-45-3																												
Levonorgestrel	797-63-7																												
Lidocaine	137-58-6																					X				X	X	X	X
Lincomycin	859-18-7																												
Loratadine	79794-75-5																												
Mevinolin	75330-75-5																												
Miconazole	22916-47-8					X		X		X		X				X	X	X				X	X		X			X	
Morphine	57-27-2																												
Norethindrone	68-22-4																												
Oxycodone	76-42-6																												
Paroxetine	61869-08-7				X	X	X	X		X		X				X	X					X						X	
Penfluridol	26864-56-2																												
Penicilline G	61-33-6																												
Pimozide	2062-78-4							X		X																			
Pipamperon	1893-33-0					X																							
Prednisolone	50-24-8																												
Progesterone	57-83-0																												
Propranolol	525-66-6		X	X	X	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X	X		X	
Rantidine	66357-35-5																												
Roxithromycine	80214-83-1																												
Sertraline	79617-96-2					X		X		X		X									X	X				X		X	
Simvastatin	79902-63-9																					X					X		X
Sulfadiazine	68-35-9																												
Sulfadimethoxine	122-11-2				X							X						X											
sulfamethoxazole	723-46-6																												
Sulfapyridine	144-83-2					X	X	X		X		X					X		X					X	X			X	
Tamoxifen	10540-29-1																												
Testosterone	58-22-0																												
Tiamulin	55297-95-5											X						X											
Tilmicosin	108050-54-0																												
Tramadol	27203-92-5	X	X	X	X	X	X	X				X			X		X	X	X	X	X	X		X					
Trifluoperazine	440-17-5											X																	
Trifluoperidol	749-13-3											X																	
Trimethoprim	738-70-5						X	X				X								X								X	
Tylosin	1401-69-0																												
Valnemuline	101312-92-9																												
Verapamil	52-53-9				X	X	X	X		X	X	X					X	X	X		X	X				X	X	X	
Zolpidem	82626-48-0																												

N° STEP

Substance	n°CAS	N° STEP																											
		02	03	04	05	06	07	08	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
pharmaceutiques (ES)																													
Acemetacin	53164-05-9																												
Bithinol	97-18-7																									X			
Bromadiolone	28772-56-7																												
Chloramphenicol	56-75-7																												
Dexamethasone	50-02-2																												
Diclofenac	15307-86-5																X				X								X
Diethylstilbestrol	56-53-1		X																		X								
Estradiol-A	57-91-0																												
Estradiol-B	50-28-2																												
Estrinol	50-27-1																												
Estrone	53-16-7			X									X		X	X		X		X			X						
Ethynylestradiol	57-63-6																												
Furosemide	54-31-9																												
Gemfibrozil	25812-30-0									X									X								X		
Hydrochlorothiazide	58-93-5																X				X								X
Ibuprofen	15687-27-1	X		X	X				X					X	X	X	X	X	X	X				X					X
Meclofenamic acid	644-62-2																X												X
Menfenamic acid	61-68-7																												
Oxyclozanide	2277-92-1																												
Tolfenamic acid	13710-19-5																												
Triclocarban	101-20-2		X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Triclosan	3380-34-5	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Substances pharma détectées	5	12	12	26	28	21	28	5	21	17	32	8	6	11	19	27	22	26	6	29	16	10	12	25	16	11	34
Substances non pharma détectées	16	10	24	20	17	22	21	31	19	16	7	38	36	14	14	12	15	17	18	12	14	20	21	36	24	42	35
Total substances détectées	21	22	36	46	45	43	49	36	40	33	39	46	42	25	33	39	37	43	24	41	30	30	33	61	40	53	69

Annexe 3 : Liste des 114 substances d'intérêt sélectionnées

ANNEXE 3

Substances non pharmaceutiques
(toutes ces substances ont été quantifiées dans l'étape de caractérisation)

n° de CAS	Substance (nom d'usage)	abréviation	Famille chimique	Principaux usages ou sources
106-47-8	4-chloroaniline	/	Anilines chlorés	Intermédiaire de synthèse, utilisations dans l'industrie chimique
111-65-9	octane	/	COV	
110-82-7	cyclohexane	/	COV	
100-42-5	styrène	/	COV	
111-84-2	nonane	/	COV	
294-62-2	cyclododécane	/	COV	
101-84-8	phénoxybenzène (diphénylether)	/	COV	
191-24-2	benzo(g,h,i)perylène	B(ghi)P	HAP	
50-32-8	benzo[a]pyrène	B(a)P	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
85-01-8	phénanthrène	PHE	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
205-99-2	benzo(b)fluoranthène	B(b)F	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
207-08-9	benzo[k]fluoranthène	B(k)F	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
56-55-3	benzo[a]anthracène	B(a)A	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
192-97-2	benzo[e]pyrène	B(e)P	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
205-82-3	benzo[j]fluoranthène	B(j)F	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
218-01-9	chrysène	CHY	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
53-70-3	dibenzo[a,h]anthracène	D(a,h)A	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
120-12-7	anthracène	ANT	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
193-39-5	indéno[1,2,3-cd]pyrène	In(1,2,3,cd)P	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
206-44-0	fluoranthène	FLT	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
86-73-7	fluorène	/	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
83-32-9	acénaphène	ACE	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
91-20-3	naphtalène	NAP	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
129-00-0	pyrène	PYR	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
208-96-8	acénaphylène	ACY	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
198-55-0	perylène	/	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique
191-07-1	coronène	/	HAP	origine pyrolitique ou pétrogénique

ANNEXE 3

91-57-6	2-méthylnaphtalène	/	HAP alkylés	intermédiaires de synthèse industries chimiques
1705-85-7	6-méthylchrysène	/	HAP alkylés	intermédiaires de synthèse industries chimiques
3351-28-8	1-méthylchrysène	/	HAP alkylés	intermédiaires de synthèse industries chimiques
33543-31-6	méthyl-2-Fluoranthène	/	HAP alkylés	intermédiaires de synthèse industries chimiques
56-35-9	tributylétain	TBT	Hydrures d'étain	biocides, conservateurs
1002-53-5	dibutylétain	DBT	Hydrures d'étain	biocides, conservateurs
78763-54-9	monobutylétain	MBT	Hydrures d'étain	biocides, conservateurs
668-34-8	triphénylétain cation	TPhT	Hydrures d'étain	biocides, conservateurs
108-39-4	m+p crésol	/	Phénols	désinfectant, intermédiaires de synthèses industries chimiques
95-48-7	o-cresol	/	Phénols	désinfectant, intermédiaires de synthèses industries chimiques
108-95-2	phénol	/	Phénols	désinfectant, intermédiaires de synthèses industries chimiques
80-05-7	bisphenol A	BPA	Phénols	désinfectant, intermédiaires de synthèses industries chimiques
25154-52-3	2/3/4 nonylphénol	2-3-4 NP	Phénols	désinfectant, intermédiaires de synthèses industries chimiques
84852-15-3	4 nonylphénol (ramifié)	4 NP	Phénols	désinfectant, intermédiaires de synthèses industries chimiques
1806-26-4	4-n-octylphénol (p-octylphénol)	4nOP	Phénols	désinfectant, intermédiaires de synthèses industries chimiques
104-40-5	4-n-nonylphénol (p-nonylphénol)	4nNP	Phénols	désinfectant, intermédiaires de synthèses industries chimiques
49690-94-0	Tribromodiphényléther (TriBDE)	BDE-28	Polybromodiphényles éthers	Retardateurs de flamme
5436-43-1	2,2',4,4'-Tetrabromodiphényl éther	BDE-47	Polybromodiphényles éthers	Retardateurs de flamme
60348-60-9	Pentabromodiphényl éther 99	BDE-99	Polybromodiphényles éthers	Retardateurs de flamme
189084-64-8	Pentabromodiphényl éther 100	BDE-100	Polybromodiphényles éthers	Retardateurs de flamme
68631-49-2	2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphényl éther	BDE-153	Polybromodiphényles éthers	Retardateurs de flamme
207122-16-5	2,2',3,4,4',5,6-Heptabromodiphényl éther	BDE-183	Polybromodiphényles éthers	Retardateurs de flamme
32536-52-0	Octabromodiphényléther	BDE-207	Polybromodiphényles éthers	Retardateurs de flamme
1163-19-5	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'décabromodiphényléther	BDE-209	Polybromodiphényles éthers	Retardateurs de flamme
335-67-1	Perfluorooctanoic acid	PFOA	Perfluoroalkylés	Imperméabilisant
45298-90-6	Perfluorooctanesulfonate amine	PFOS	Perfluoroalkylés	Imperméabilisant

ANNEXE 3

Substances non pharmaceutiques

(Non quantifiées dans l'étape de caractérisation mais incluses dans l'étape d'évaluation des risques sanitaires)

n° de CAS	Substance (nom d'usage)	abréviation	Famil le chimique	Principaux usages ou sources	Sources des données
1336-36-3	PCB indicateurs (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	PCBi	PCB	Dans les fluides isolants	Analyses réglementaires
117-81-7	di(2-éthylhexyl)phtalate	DEHP	Phtalates	Plastifiant (notamment PVC souples)	Analyse AESN
3268-87-9	Dioxines/furannes (17 congénères) *	/	Dioxines	Produits de combustion	Analyse AESN

* les 17 congénères des dioxines/furannes sont : 2,3,7,8-tétraCDD ; 1,2,3,7,8-pentaCDD ; 1,2,3,4,7,8-hexaCDD ; 1,2,3,6,7,8-hexaCDD ; 1,2,3,7,8,9-hexaCDD ; 1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD ; OCDD ; 2,3,7,8-TétraCDF ; 1,2,3,7,8-pentaCDF ; 2,3,4,7,8-pentaCDF ; 1,2,3,4,7,8-hexaCDF ; 1,2,3,6,7,8-hexaCDF ; 1,2,3,7,8,9-hexaCDF ; 2,3,4,6,7,8-hexaCDF ; 1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF ; 1,2,3,4,7,8,9-heptaCDF ; OCDF

Métaux

(Non quantifiées dans l'étape de caractérisation mais incluses dans l'étape d'évaluation des risques sanitaires)

n° de CAS	Substance (nom d'usage)	abréviation	Famil le chimique	Sources des données
7440-43-9	Cadmium	Cd	métaux	Analyses réglementaires
7440-47-3	Chrome III	Cr	métaux	Analyses réglementaires
7440-50-8	Cuivre	Cu	métaux	Analyses réglementaires
7439-97-6	Mercure	Hg	métaux	Analyses réglementaires
7440-02-0	Nickel	Ni	métaux	Analyses réglementaires
7439-92-1	Plomb	Pb	métaux	Analyses réglementaires
7782-49-2	Sélénium	Se	métaux	Analyses réglementaires
7440-66-6	Zinc	Zn	métaux	Analyses réglementaires

ANNEXE 3

Substances pharmaceutiques

(Toutes ces substances sont quantifiées dans l'étape de caractérisation)

CAS	Substance	Classe thérapeutique/famille	Principaux usages
117-96-4	diatrizoate	Agents de contraste	En injection pour l'imagerie médicale
27203-92-5	tramadol	Analgésiques	Antidouleurs
103-90-2	paracétamol	Analgésiques	Antidouleurs
137-58-6	lidocaïne	Anesthésiques locaux /amino-amides	Anesthésie pour petite chirurgie, exploration voies respiratoires supérieures,...
62893-19-0	cefoperazone	Antibiotiques / Céphalosporines	
82419-36-1	ofloxacin	Antibiotiques / Fluoroquinolones	Souvent pour infection des voies respiratoires aériennes
70458-96-7	norfloxacin	Antibiotiques / Fluoroquinolones	Souvent pour infection des voies respiratoires aériennes
85721-33-1	ciprofloxacine	Antibiotiques / Fluoroquinolones	Souvent pour infection des voies respiratoires aériennes
8025-81-8	spiramycine	Antibiotiques / Macrolides	Infection voie aérienne, infection diffuse (à strepto et staphylocoques)
83905-01-5	azithromycine	Antibiotiques / Macrolides	Infection génito-urétrale, respiratoire, des tissus mous (un des plus utilisés)
26787-78-0	amoxicilline	Antibiotiques / Aminopénicillines	
42835-25-6	flumequine	Antibiotiques / Quinolones	Souvent pour infection des voies respiratoires aériennes
723-46-6	sulfaméthoxazole	Antibiotiques / Sulfonamides	Diverses infections bactériennes
60-54-8	tétracycline	Antibiotiques / Tétracyclines	Infection voies respiratoires, urinaires, gastriques
28772-56-7	bromadiolone	Anticoagulants	Rodenticide, anti vitamine K
128196-01-0	escitalopram	Antidépresseurs	
10238-21-8	glybenzcyclamide	Antidiabétiques	
57808-66-9	domperidone	Antiémétiques	Soulagement des symptômes de nausée
298-46-4	carbamazépine	Antiépileptiques	
22916-47-8	miconazole	Antifongiques	
79794-75-5	loratadine	Antihistaminiques	
15687-27-1	ibuprofène	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	
51-21-8	fluorouracil	Antinéoplasiques	Anticancéreux, en perfusion pour chimiothérapie

ANNEXE 3

CAS	Substance	Classe thérapeutique/famille	Principaux usages
70288-86-7	ivermectine	Antiparasitaires	antihelminthique, contre la galle
1088-11-5	nordiazepam	Anxiolitiques	
69-23-8	fluphénazine	Anxiolitiques	
525-66-6	propranolol	Bêtabloquants	
58-93-5	hydrochlorothiazide	Diurétiques	
50-28-2	17-beta-Estradiol	Hormones estrogènes	Contraceptif
57-63-6	ethynilestradiol	Hormones estrogènes	
53-16-7	estrone	Hormones estrogènes	Parfois en traitement de substitution hormrmonales (naturellement produit par corps humain)
52-53-9	verapamil	Inhibiteurs calciques	
25812-30-0	gemfibrozil	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	

Annexe 4 : Protocoles d'échantillonnage

ECHANTILLONNAGE DES BOUES ETDES COMPOSTS DE BOUES

I. OBJET

Ce mode opératoire a pour objet de définir les méthodes d'échantillonnage des boues ou des composts à analyser dans le cadre de l'étude des risques liés à la présence de substances émergentes dans les boues et les compost épanchés sur les sols agricoles.

Ces méthodes d'échantillonnage varient en fonction des caractéristiques physiques et des conditions de production des boues et des composts.

Les analyses à réaliser concernent la détermination de substances organiques dites émergentes, des résidus médicamenteux et hormonaux présents dans les boues ou les composts en très faibles quantités. Il convient donc d'être particulièrement précautionneux lors du prélèvement des échantillons afin de s'assurer que cette étape permette d'obtenir un échantillon représentatif et qu'aucune interférence ne vienne polluer l'échantillon obtenu.

II. REFERENCES

Arrêté du 08/01/1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues.

NF EN 12 579 (juillet 2000) : Amendements organiques et support de culture – Echantillonnage.

NF U 44-108 (octobre 1982) : Boues – échantillonnage en vue de l'estimation de la teneur moyenne d'un lot

NF EN ISO 5667-13 : Qualité des eaux – échantillonnage – lignes directrices pour l'échantillonnage des boues

III. DEFINITIONS

Lot : quantité de matières, précisément identifiée, produite au cours d'une période donnée, selon des conditions de fabrication identique.

Prélèvement élémentaire : Quantité prélevée en un point du lot.

Echantillon global : Ensemble des prélèvements élémentaires effectués sur un même lot.

Echantillon réduit : Partie représentative de l'échantillon global, obtenue par réduction de celui-ci.

Echantillon laboratoire : Partie de l'échantillon réduit envoyée au laboratoire d'analyses.

IV. MODE OPERATOIRE

IV.1. Généralités

L'échantillon prélevé et analysé doit être représentatif du lot à caractériser.

Il peut être réalisé :

- soit au fil de la production (prélèvement continu) ;
- soit à intervalle régulier (prélèvement discontinu en cours de transfert) ;
- soit sur un lot fini, stocké et entreposé (cas du compost par exemple)

IV.2. Matériel, flaconnage et quantités à envoyer

Pour le prélèvement et le conditionnement, le choix du matériel doit être adapté à l'état physique du produit échantillonné. Le **matériel** doit être **propre** et rincé avant chaque opération et **exempt d'eau de rinçage**. Il **ne doit exercer aucune influence sur l'échantillon** (ni risque de contamination, ni dilution).

Pour le prélèvement d'un produit liquide, on utilisera :

- Sonde d'échantillonnage ou bouteille lestée (avec dispositif de fermeture si possible), de 1 litre de capacité en verre sans influence sur l'échantillon ;
- Seau en un matériau sans influence sur l'échantillon.

Pour le prélèvement d'un produit pâteux, solide ou d'un compost, on utilisera :

- 1 pelle ;
- 1 bassine ou seau en matériau sans influence sur l'échantillon.

La personne effectuant le prélèvement doit porter des gants.

Comme recommandé par la norme ISO 5667 les échantillons seront conditionnés dans des flacons en verre à large ouverture fournis par le laboratoire d'analyses.

Le volume d'échantillon à envoyer au laboratoire est de :

- 4 litres pour les boues liquides
- 2 litres pour les boues déshydratées ou séchées ainsi que pour les composts.

La taille de l'échantillon global ne pourra en aucun être inférieure à 5 fois celle de l'échantillon réduit.

Les échantillons doivent être envoyés au laboratoire d'analyse dans les 24 heures suivant le prélèvement, afin de ne pas altérer ou modifier la composition de l'échantillon, et de limiter les risques d'accumulation de gaz dans les flacons. Lorsqu'il existe un risque potentiel de dégagement gazeux, il est recommandé que les flacons utilisés pour l'échantillonnage ne soient remplis qu'aux 2/3 et qu'ils soient enveloppés de ruban adhésif étanche à l'eau ou enveloppés dans un filet plastique. Ces mesures réduiront la dispersion des fragments du flacon en cas d'explosion.

Quantités de matières à prélever et à envoyer au laboratoire d'analyses :

Type de matrice	Echantillon laboratoire
Boue liquide	4L
Boue pâteuse	2L
Compost	2L
Boue séchée	2L

IV.3. Identification et envoi des échantillons

Les échantillons seront identifiés de la façon suivante :

- Date d'envoi de l'échantillon.
- Nom et coordonnées de la personne ayant préparé et envoyé l'échantillon
- Le type de boues

IV.4. Prélèvement d'une boue liquide

Les boues, du bassin ou du silo contenant le lot à caractériser, doivent être homogénéisées (soit en circuit fermé, soit par agitation mécanique) avant tout prélèvement, pendant 30 minutes à 2 heures selon leur état.

Pour les bassins de volume important (> à 200 m³), une homogénéisation préalable de 24 heures est recommandée.

Effectuer entre **9 et 25 prélèvements élémentaires** (9 prélèvements au minimum) de 1 litre environ après homogénéisation.



Pour des raisons de sécurité l'accès au silo doit être effectué en présence du préposé de la station.

Tableau 1 — Contrôle de la teneur moyenne de la boue liquide dans un récipient
Nombre de prélèvements élémentaires en cours de transfert de la boue.

Volume du récipient (m ³)	Nombre de prélèvements élémentaires (1)
< 10	5
10 à 30 exclus	10
30 à 100 exclus	15
≥ 100	20

(1) Effectuer les prélèvements à intervalles réguliers.

Tableau extrait de la norme NF U 44-108

Constitution de l'échantillon global :

Mélanger les prélèvements élémentaires et les homogénéiser le mieux possible, sans en modifier les caractéristiques, pour constituer l'échantillon global. Homogénéiser ensuite cet échantillon global et en extraire un échantillon de laboratoire d'un volume compatible avec celles mentionnées au § IV.2.

IV.5. Prélèvement d'une boue déshydratée ou séchée

Echantillonnage sur un lot :

Pour obtenir un échantillon représentatif du lot à caractériser, il faut effectuer 25 prélèvements élémentaires en différents points et différentes profondeurs du lot de boues destiné à être épandu.

Le prélèvement des échantillons élémentaires doit être réalisé en dehors de la croûte de surface et des zones où une accumulation d'eau s'est produite. Les prélèvements

élémentaires doivent être effectués au hasard dans l'ensemble du lot. Leur volume doit être approximativement égal à 0.5l.

D'après la norme ISO 5667, pour le prélèvement de boue solide stocké en tas, le nombre de prélèvements à réaliser par carottage peut être calculé selon la formule suivante. Le prélèvement par carottage n'est envisageable que si les conditions de sécurité sont réunies. :

$$N = 0,5 * \sqrt{(\text{volume du lot en m}^3)} \quad \text{et} \quad 4 < N < 30$$

Les prélèvements élémentaires sont mélangés dans le seau ou la bassine en plastique pour ensuite constituer l'échantillon laboratoire par la méthode des quartiers (cf. § IV.7.).

Echantillonnage d'une production continue :

Pour obtenir un échantillon représentatif du lot à caractériser, il faut effectuer 25 prélèvements élémentaires régulièrement espacés au cours de la période de production du lot.

Chaque prélèvement élémentaire doit contenir au moins 50 g de matière sèche et tous doivent être identiques. Ces échantillons élémentaires sont conservés dans des conditions ne modifiant pas leur composition (température < 5°C), puis rassemblés et mélangés dans un récipient sec, propre et inerte pour ensuite constituer l'échantillon laboratoire par la méthode des quartiers (cf. § IV.7.).

IV.6. Prélèvement d'un compost

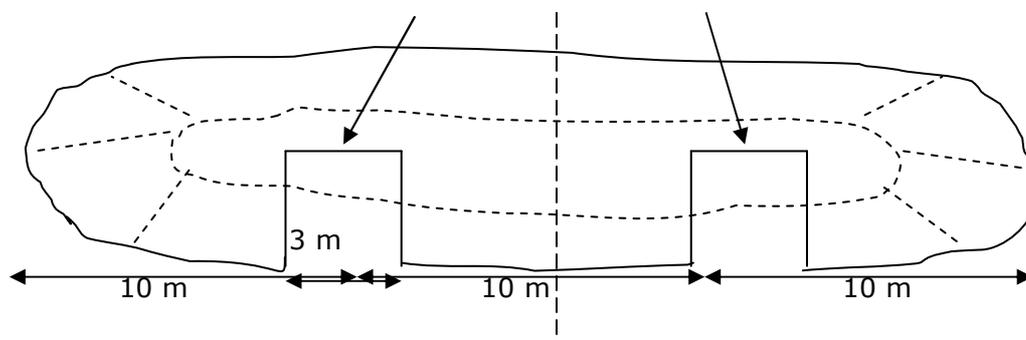
Le nombre d'échantillons élémentaires à prélever (N) pour constituer l'échantillon global est fixé par la norme NF EN 12579. Il est déterminé par la formule suivante :

$$N = 0,5 * \sqrt{(\text{volume du lot en m}^3)} \quad \text{et} \quad 12 < N < 30$$

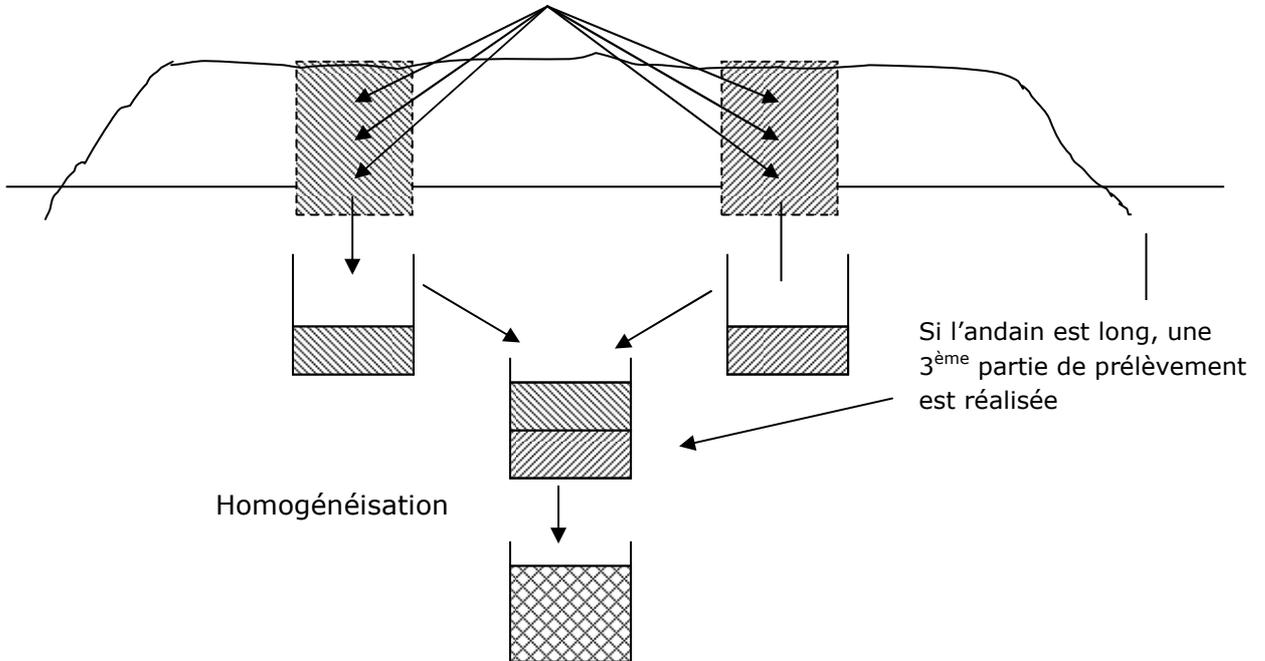
Ces N prélèvements sont répartis comme suit dans l'andain.

L'andain doit être divisé en parties approximativement égales. En théorie, le nombre de parties doit être égal au nombre de prélèvements élémentaires prévus. En pratique, par souci de simplification, on procédera comme suit :

1. Ouverture de l'andain au chargeur jusqu'au centre

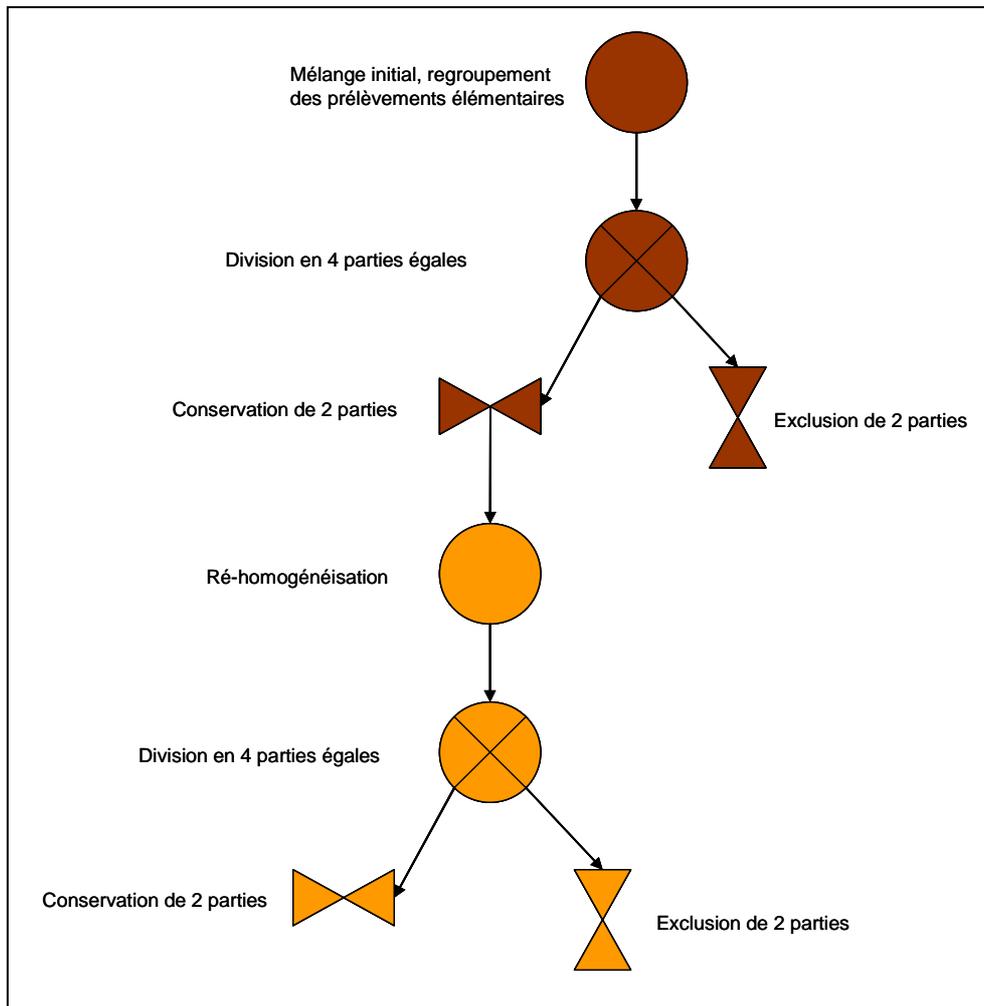


2. Prélèvements élémentaires à différents niveaux



On applique ensuite la méthode des quartiers (cf. § IV.7.) pour la constitution de l'échantillon laboratoire.

IV.7. Méthode des Quartiers - Constitution d'un échantillon laboratoire



Les deux parties conservées constituent l'échantillon qui sera envoyé au laboratoire pour analyse.

Le poids total des prélèvements élémentaires destinés à constituer l'échantillon laboratoire ne peut être inférieur à 4 kilogrammes, pour un échantillon laboratoire de 1 kilogramme.

IV.8. Entreposage

L'entreposage des échantillons doit être réduit au maximum. Il faut privilégier l'envoi des échantillons au laboratoire dans les 24 heures suivant le prélèvement.

Cependant, si l'on ne peut pas faire autrement, l'entreposage doit se réaliser dans les conditions suivantes :

- dans un endroit frais, à une température inférieure à 5°C,
- à l'obscurité pour éviter la stimulation de l'activité biologique.

IV.9. Rapport d'échantillonnage

Pour conserver une trace et l'historique des conditions d'échantillonnage, un rapport d'échantillonnage est établi et précise :

- La date du prélèvement
- Le nom du préleveur et ses coordonnées
- L'origine et le type de boues
- Le n° de lot
- Les conditions d'échantillonnage
- La référence de l'échantillon
- La date de l'envoi au laboratoire

Un double de ce rapport est envoyé en même temps que l'échantillon. Le CNRS s'engage à garantir la confidentialité de ces informations.

Annexe 5 : Résultats de quantification

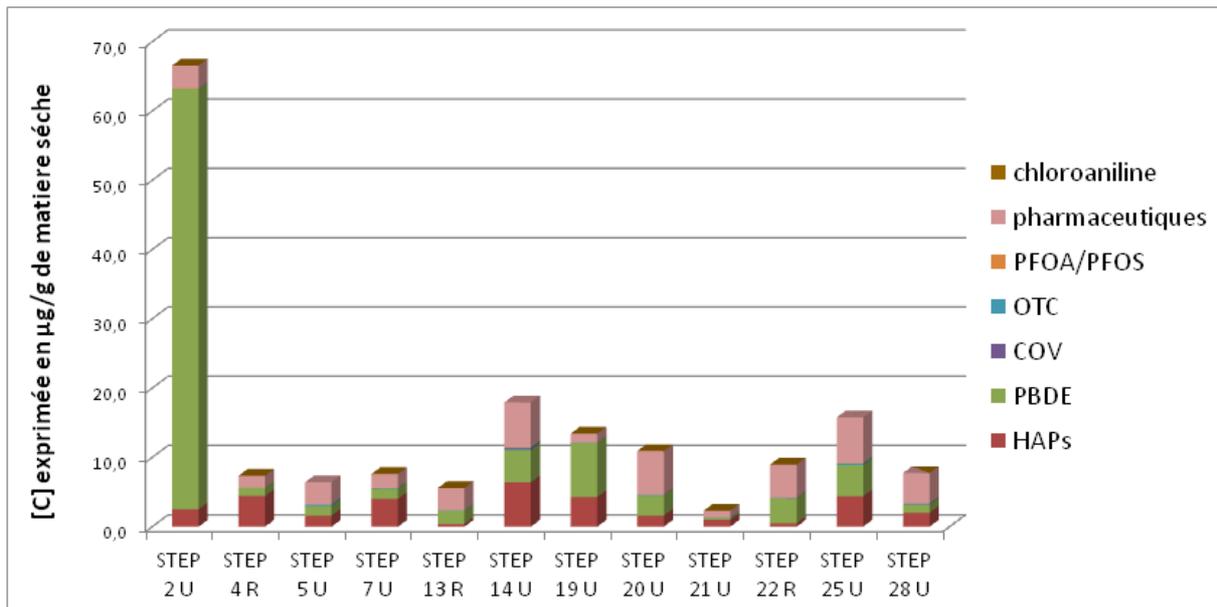
ng/g MS	Nom de STEP	n°CAS	Toutes	STEP 2	STEP 2	STEP 2	STEP 2	STEP 4	STEP 4	STEP 4	STEP 4	STEP 5	STEP 5	STEP 5	STEP 5	STEP 7	STEP 7	STEP 7	STEP 7	STEP 13	STEP 13	STEP 13	STEP 13	STEP 14	STEP 14	STEP 14	STEP 14
	Nom de Campagne		LQ	Première campagne	deuxième campagne	troisième campagne	Quatrième campagne	Première campagne	deuxième campagne	troisième campagne	Quatrième campagne	Première campagne	deuxième campagne	troisième campagne	Quatrième campagne	Première campagne	deuxième campagne	troisième campagne	Quatrième campagne	Première campagne	deuxième campagne	troisième campagne	Quatrième campagne	Première campagne	deuxième campagne	troisième campagne	Quatrième campagne
	Extrait sec (%)			78	63	67	65	37	45	47	52	28	30	32	32	90	89	90	91	25	28	pas de résultats	35	54	54	53	53
Alkylphénols, BPA	4 nonylphénol	84852-15-3	212	nd	nd	nd	670	nd	2400	1400	nd	3200	1845	3040	4500	320	1680	1060	620	760	1130	pas de résultats	2320	16500	20100	16200	31000
	4 n octylphénol	1806-26-4	40	nd	nd	nd	nd	nd	88	nd	nd	nd	50	nd	540	nd	nd	nd	130	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd
	4 n nonylphénol	104-40-5	40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd												
	Bisphénol A	80-05-7	40	104	320	nd	nd	nd	580	1350	nd	nd	1500	3420	4350	195	340	nd	nd	60	1180	pas de résultats	nd	5200	5480	5340	9400
	2,3,4nonylphénol	25154-52-3	220	nd	nd	nd	750	nd	2820	1570	nd	5260	2060	3400	5040	360	1900	1200	700	850	1260	pas de résultats	2600	36250	22500	18200	35000
somme des alkylphénols				104	320	1420	5888	4320	8460	5455	9860	14430	875	3920	2260	1450	1670	3570	4920	57950	48080	39740	75400				
Phénols	phénol	108-95-2	2,4	233	310	350	260	9900	170	120	110	4230	600	7800	610	1720	630	320	500	730	758	pas de résultats	2500	9500	17500	33600	20300
	m+p crésol	108-39-4	2,4	512	890	650	1390	123950	700	570	1960	3100	1880	1310	7600	3910	2380	2250	460	490	2320	pas de résultats	200	180000	263000	192000	207000
	o crésol	95-48-7	2,4	12	12	14	3,5	< 2,4	21	7	< 2,4	30	24	< 2,4	8	39	34	4,6	21	9	23	pas de résultats	12	nd	15	25	39
somme des phénols				757	1212	1014	1654	133850	891	697	2070	7360	2504	9110	8218	5669	3044	2575	981	1229	3101	2712	189500	280515	225625	227339	
HAP	naphtalène	91-20-3	4	21	42	22	28	<4	5	11	7	1363	789	857	1174	9	14	14	15	<4	<4	pas de résultats	<4	52	57	92	123
	méthyl 2 naphtalène	91-57-6	4	408	372	359	365	1849	435	313	199	45	25	19	28	36	42	123	170	23	<4	pas de résultats	<4	396	499	541	1462
	Acénaphène	83-32-9	2	27	10	14	13	202	24	21	9	<2	<2	3	<2	3	8	77	<2	<2	pas de résultats	<2	30	59	76	79	
	Fluorène	86-73-7	2	31	45	28	28	412	56	32	15	31	23	25	23	21	23	15	12	3	<2	pas de résultats	2,4	20	303	257	241
	Phénanthrène	85-01-8	4	207	315	281	207	1979	355	200	118	34	28	32	35	147	133	138	98	13	11	pas de résultats	16,1	984	1124	1008	1015
	Anthracène	120-12-7	2	19	28	23	24	153	27	13	8	2	2	4	3	22	29	20	19	2	2	pas de résultats	3,7	85	105	89	97
	Fluoranthène	206-44-0	2	233	408	394	323	2426	487	354	278	66	48	59	63	454	490	277	246	53	48	pas de résultats	38,2	913	940	857	831
	Pyrène	129-00-0	2	204	357	512	274	1453	356	297	209	119	129	132	117	444	537	294	250	56	44	pas de résultats	55,5	891	943	855	852
	Méthyl 2 fluoranthène	33543-31-6	2	21	36	26	17	24	21	22	17	<2	<2	4	10	21	27	26	19	<2	<2	pas de résultats	<2	20	22	38	26
	B(a)A	56-55-3	2	108	117	105	113	293	148	111	26	14	11	18	21	238	287	239	158	23	20	pas de résultats	17,2	217	221	282	326
	Chrysène	218-01-9	4	109	161	146	123	267	194	135	114	29	23	37	11	345	391	287	228	34	29	pas de résultats	30,6	454	448	407	265
	6 méthyl chrysène	1705-85-7	2	8	10	14	5	<2	<2	6	3	<2	<2	6	8	10	6	4	4	4	4	pas de résultats	<2	<2	20	20	
	B(e)P	192-97-2	4	129	210	184	175	305	212	160	149	78	40	36	30	420	484	291	352	59	53	pas de résultats	44	385	368	299	248
	B(b)F	205-99-2	2	121	207	153	151	285	228	138	138	33	34	25	28	471	606	347	347	53	51	pas de résultats	37,1	388	378	287	281
	B(k)F	207-08-9	2	42	73	71	66	139	95	65	62	15	15	14	15	219	243	170	147	22	19	pas de résultats	17,9	156	163	137	137
	B(a)P	50-32-8	2	51	86	93	88	219	119	86	84	27	27	30	27	357	433	294	253	45	38	pas de résultats	39,2	229	247	215	207
	D(a,h)A	53-70-3	2	13	20	17	16	47	17	16	15	5	4	4	2	79	91	66	66	11	7	pas de résultats	6,6	45	48	38	37
	B (g,h,i)P	191-24-2	2	61	99	84	85	220	119	100	94	36	33	32	28	388	414	195	269	68	60	pas de résultats	58,9	231	209	188	159
	In (1,2,3,cd) P	193-39-5	4	48	92	55	<4	151	114	50	10	30	22	17	12	358	460	56	54	61	44	pas de résultats	48,4	183	181	163	78
	Coronène	191-07-1	2	6	10	17	18	19	7	11	17	5	7	8	29	33	29	22	24	15	13	pas de résultats	19,1	<2	<2	43	(226)
Acénaphthylène	208-96-8	4	252	30	65	10	<4	<4	<4	<4	20	14	11	12	<4	<4	<4	<4	<4	<4	pas de résultats	<4	<4	<4	<4	5	
B(j)F	205-82-3	2	47	87	77	78	131	95	68	59	14	12	11	10	203	239	180	155	22	14	pas de résultats	11	152	163	169	155	
1 méthyl chrysène	3351-28-8	2	11	19	14	8	27	19	9	17	7	10	6	4	31	34	21	14	9	6	pas de résultats	4	54	43	35	32	
Pérylène	198-55-0	10	16	28	14	13	45	32	21	22	<10	<10	5	21	86	111	92	74	14	11	pas de résultats	12,8	48	54	55	55	
somme des HAP				2193	2862	2768	2228	10646	3165	2239	1670	1973	1296	1389	1709	4390	5131	3299	2982	663	470	463	6133	6575	6151	6731	
Polybromodiphényléthers (PBDE)	BDE28	49690-94-0	1,3	<1,3	<1,3	<1,5	1,5	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	1,5	1,6	1,5	<1,3	<1,3	<1,5	<1,5	<1,5	1,5	pas de résultats	<1,5	5,5	3,1	6,5	3,8
	BDE47	5436-43-1	1,3	34,5	45	17	42	35,9	23	26	18	56,2	53	44	40	29	40	22	26	180,5	201	pas de résultats	120	96,7	168	166	90
	BDE99	60348-60-9	1,3	8	60	13	57	11	24	29	23	12	70	66	44	44,2	49	26	37	44	273	pas de résultats	146	15	159	99	111
	BDE100	189084-64-8	1,3	40	15	<1,5	12	55	5,6	<1,3	4,4	71	15	<1,3	11	6,4	6,6	6,9	6,3	266	<1,3	pas de résultats	45	126	75	22	<1,3
	BDE153	68631-49-2	1,3	4,9	8,4	<1,3	6	6	nd	<1,3	<1,3	9,5	5,3	<1,3	4	<1,3	8	2,7	<1,5	27	nd	pas de résultats	18	17	56	<1,3	<1,3
	BDE154	207122-15-4	1,3	2,6	7,3	<1,3	3,6	<1,3	2,3	<1,3	<1,3	7,4	2,9	3,4	3,8	5	3,3	<1,5	5	25	10,1	pas de résultats	10	25	27	28	<1,3
	BDE183	207122-16-5	1,3	7,8	18	<1,3	<1,3	<1,3	4,7	<1,3	<1,3	28,1	nd	<1,3	3,6	2,8	4,7	<1,5	<1,5	44,4	nd	pas de résultats	<1,5	124,3	72	17	39
	BDE207	32536-52-0	12	250	1550	240	<24	124,3	nd	<24	<24	29,3	35	<24	<24	22,9	97	18	27	53,3	nd	pas de résultats	<12	138,1	123	102	<1,3
	BDE209	1163-19-5	12	29650	104000	22000	84800	<12	1200	1350	1850	432	1700	1720	1210	1000	1750	832	1900	888	nd	pas de résultats	5050	1630	2835	8130	4160
somme des PBDE				29998	105704	22270	84917	232	1260	1405	1891	646	1883	1830	1309	1110	1959	898	1995	1528	486	5389	2178	3518	8571	4404	

ng/g MS		N° CAS	Toutes LQ	STEP 2 Première campagne	STEP 2 deuxième campagne	STEP 2 troisième campagne	STEP 2 Quatrième campagne	STEP 4 Première campagne	STEP 4 deuxième campagne	STEP 4 troisième campagne	STEP 4 Quatrième campagne	STEP 5 Première campagne	STEP 5 deuxième campagne	STEP 5 troisième campagne	STEP 5 Quatrième campagne	STEP 7 Première campagne	STEP 7 deuxième campagne	STEP 7 troisième campagne	STEP 7 Quatrième campagne	STEP 13 Première campagne	STEP 13 deuxième campagne	STEP 13 troisième campagne	STEP 13 Quatrième campagne	STEP 14 Première campagne	STEP 14 deuxième campagne	STEP 14 troisième campagne	STEP 14 Quatrième campagne								
Composés volatils organiques (COV)	Extrait sec (%)			78	63	67	65	37	45	47	52	28	30	32	32	90	89	90	91	25	28	28	35	54	54	53	53								
	Octane	111-65-9	0,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,5	1,1	0,6	nd	nd	nd	pas de résultats	0,7	2,4	7	1,3	nd								
	Cyclohexane	110-82-7	0,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,8	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd							
	Styrène	100-42-5	0,5	0,6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,9	nd	0,8	nd	nd	nd	pas de résultats	4,3	7,4	31,5	4,5	1,1							
	Nonane	111-84-2	0,5	nd	nd	nd	nd	5,9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,9	0,7	nd	19	nd	nd	pas de résultats	1	nd	5,7	nd	nd							
	Cyclododécane	294-62-2	0,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,3	nd	nd	nd	pas de résultats	6,1	nd	nd	nd	nd							
diphényléther	101-84-8	0,5	5,8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	122	478	81,5	nd																				
<i>somme des COV</i>				5,8												6,3				6,1				122				478				81,5			
amine chloré	Chloroaniline	106-47-8	1200	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd																			
Organocétains	monobutyl étain	78763-54-9	1,48	42,2	39,9	21,3	27,9	47,3	13,3	10,3	13,3	247,2	202,8	257,5	236,8	90,3	pas de résultats	100,6	97,7	165,8	124,3	pas de résultats	97,6	182,0	158,4	202,8	183,5								
	dibutyl étain	1002-53-5	3,92	12,3	17,6	7,6	10,5	43,1	7,2	7,8	12,5	121,5	111,7	115,6	92,1	66,6	pas de résultats	58,8	60,8	29,4	22,3	pas de résultats	23,5	37,2	31,4	31,4	29,4								
	tributyl étain	56-35-9	2,4	< 2,4	3,9	< 2,44	< 2,44	4,1	< 2,4	< 2,4	< 2,4	< 2,44	9,0	10,2	10,7	8,8	pas de résultats	6,6	6,6	5,4	3,4	pas de résultats	4,3	< 2,44	9,5	11,5	11,7								
	triphenyl étain	668-34-8	2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	pas de résultats	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	pas de résultats	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9							
	<i>somme des organocétains</i>				55	61	29	38	95	21	18	26	369	324	383	340	166	166				165	201	150	125				219	199	246	225			
Divers	galaxolide	1222-05-5	<70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	pas de résultats	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000							
	cholestènes	pas de n°CAS	<110000	4700000	4400000	3400000	2500000	4600000	2500000	1900000	2000000	5000000	4400000	4500000	7000000	4500000	6200000	3100000	2900000	1400000	12800000	pas de résultats	1900000	21900000	22000000	24300000	22400000								
Pharmaceutiques (ng/g MS)	17-béta-estradiol	50-28-2	0,5	12	nd	nd	nd	9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	14	nd	nd	nd								
	acétaminophen	103-90-2	9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	25	54	33	<9	74	74	66	nd	26	nd	pas de résultats	nd	588	412	458	504								
	amoxicillin	26787-78-0	20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd																				
	Azitromycine	83905-01-5	3	14	10	nd	12	83	13	nd	10	148	95	43	59	417	222	140	95	29	29	pas de résultats	28	7	nd	nd	nd								
	Bromadiolone	28772-56-7	1	nd	nd	nd	nd	<1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	<1	nd	nd	nd								
	Carbamazepine	298-46-4	1	1	9	10	14	11	7	13	12	17	18	31	25	15	23	27	96	5	8	pas de résultats	24	9	15	<0,3	25								
	Cefopérazone	62893-19-0	25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd																				
	Ciprofloxacine	85721-33-1	45	184	1821	47	748	949	147	22	122	800	1024	234	231	421	377	162	19	1010	<45	pas de résultats	396	2564	260	37	72								
	Diatrizolate	117-96-4	100	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd																				
	Domperidone	57808-66-9	3	39	71	<3	37	48	16	nd	nd	524	304	569	<3	330	382	<3	335	204	393	pas de résultats	278	50	214	45	25								
	E1 estrone	53-16-7	0,2	159	162	140	127	19	138	nd	65	9	31	<3	nd	10	34	nd	nd	31	pas de résultats	nd	170	203	286	<0,2	nd								
	Escitalopram	128196-01-0	6	82	59	50	86	116	13	nd	23	162	98	141	102	184	115	<6	259	145	62	pas de résultats	107	52	164	115	nd								
	Ethinylestradiol	57-63-6	33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd																				
	Fluorouracil	51-21-8	10	nd	nd	nd	79	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd								
	Flumequine	42835-25-6	7	nd	nd	nd	nd	23	nd	nd	nd	41	65	280	18	nd	30	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	12	nd	40	14								
	Fluphénazine	69-23-8	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd																				
	Gemfibrozil	25812-30-0	0,2	20	16	nd	nd	31	nd	nd	nd	34	52	nd	nd	20	23	nd	37	nd	nd	pas de résultats	nd	25	21	<0,05	nd								
	Glybenzocyclamide	10238-21-8	8	141	nd	nd	nd	32	nd	nd	nd	54	6	nd	nd	9	nd	nd	nd	16	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd								
	Hydrochlorothiazide1	58-93-5	0,7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<0,7	1310	nd	nd	<0,7	77	nd	nd	671	645	pas de résultats	nd	22	nd	nd	nd								
	Ibuprofen	15687-27-1	1	99	44	45	nd	245	nd	nd	<1	nd	nd	45	nd	801	25	<1	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	413	189	130	119								
	Ivermectin	70288-86-7	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd																				
	Lidocaïne	137-58-6	1	6	10	nd	4	6	4	nd	2	31	47	16	19	12	10	6	21	10	5	pas de résultats	3	38	32	53	53								
Loratadine	79794-75-5	4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4	6	nd	nd	<4	nd	nd	nd	<4	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd									
Miconazole	22916-47-8	4	5	9	9	28	<4	7	nd	12	8	28	6	20	14	9	4	18	20	25	pas de résultats	20	4	14	14	nd									
Nordiazepam	1088-11-5	0,2	nd	nd	30	nd	nd	nd	nd	nd	0,9	1,3	0,8	nd	nd	nd	0,6	0,3	<0,2	1	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd									
Norfloxacine	70458-96-7	30	187	2593	108	705	1120	4	14	62	517	363	212	69	414	220	103	19	2643	1629	pas de résultats	401	2799	2185	1600	1750									
Ofloxacine	82419-36-1	9	666	1476	21	1020	2363	123	22	254	898	504	267	654	484	299	169	31	3629	2289	pas de résultats	716	6575	1050	324	578									
Propranolol	525-66-6	4	44	39	21	<4	104	16	nd	18	117	154	143	155	224	149	204	238	104	81	pas de résultats	136	193	169	268	323									
Spiramycine	8025-81-8	2	nd	nd	nd	nd	68	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	60	nd	<2	<2	nd	nd	pas de résultats	nd	nd	nd	nd	nd									
Sulfaméthoxazole	723-46-6	8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	29	34	21	17	11	22	11	20	18	16	pas de résultats	<8	nd	nd	nd	nd									
Tetracycline	60-54-8	7	112	1699	30	54	158	<7	35	34	149	233	328	32	201	254	157	26	119	149	pas de résultats	371	nd	47	24	26									
Tramadol	27203-92-5	4	14	50	nd	4	34	<4	nd	nd	143	246	105	105	43	62	84	99	130	89	pas de résultats	42	22	21	21	3									
Verapamil	52-53-9	4	nd	43	7	30	nd	21	nd	10	40	153	85	75	98	142	176	144	39	90	pas de résultats	76	nd	164	159	237									
<i>somme des pharmaceutiques</i>				1785	8111	518	2948	5419	509	106	624	3751	4826	2560	1581	3829	2546	1333	1420	8855	5542	2598				13553	5160	3574	3729						

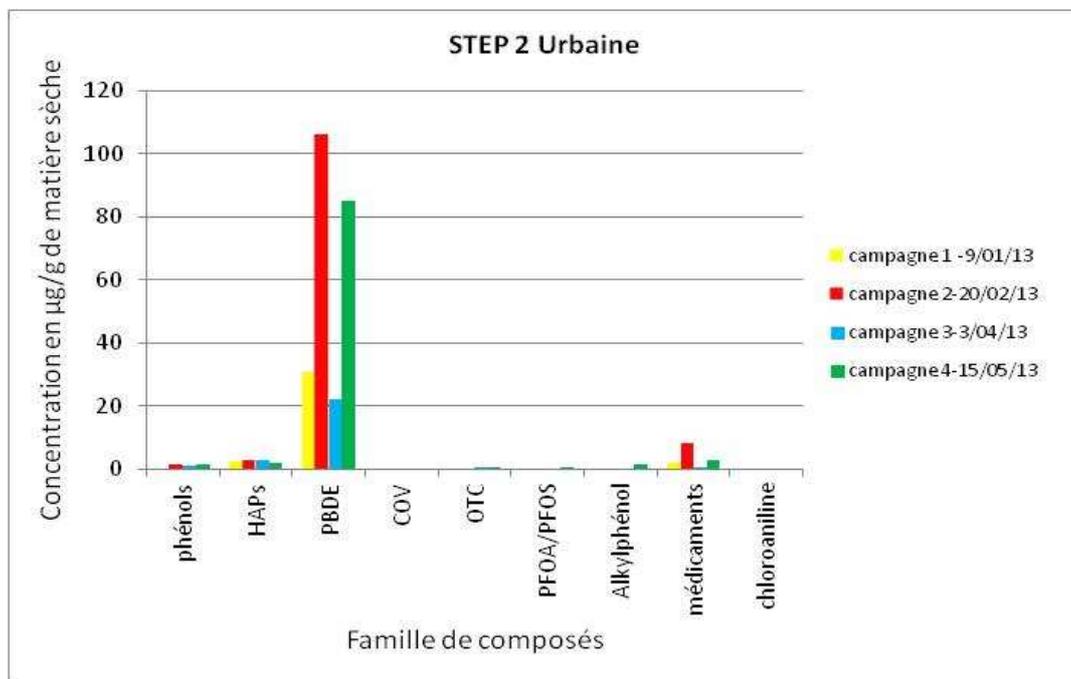
Numéro de STEP		n°CAS	Toutes LQ	STEP 19	STEP 19	STEP 19	STEP 19	STEP 20	STEP 20	STEP 20	STEP 20	STEP 21	STEP 21	STEP 21	STEP 21	STEP 22	STEP 22	STEP 22	STEP 22	STEP 25	STEP 25	STEP 25	STEP 25	STEP 28	STEP 28	STEP 28	STEP 28	
Numéro de Campagne				STEP 19	STEP 19	STEP 19	STEP 19	STEP 20	STEP 20	STEP 20	STEP 20	STEP 21	STEP 21	STEP 21	STEP 21	STEP 22	STEP 22	STEP 22	STEP 22	STEP 25	STEP 25	STEP 25	STEP 25	STEP 28	STEP 28	STEP 28	STEP 28	
ng/g MS		Extrait sec (%)	52	56	55	59	30	31	58	88	58	60	62	62	5	5	5	5	29	24	29	25	27	90	89	94		
Composés volatils organiques (COV)	Octane	111-65-9	0,5	1,2	nd	nd	nd	nd	2,3	<0,5	1,7	nd	nd	nd	nd	nd	10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,8	12,4	5,9		
	Cyclohexane	110-82-7	0,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd										
	Styrène	100-42-5	0,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<0,5	2,3	21,3	7,2									
	Nonane	111-84-2	0,5	nd	0,7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,4	2,1	4,7	2,4							
	Cyclododécane	294-62-2	0,5	nd	nd	nd	14	nd	nd	1,2	57	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,6	2,8	3,9	5,2	
	diphényléther	101-84-8	0,5	nd	41	nd	nd	nd	nd	nd	74	nd	83	45	nd	10	70,4	31,1	34,8	nd								
somme des COV							14		1,2	98					74		83	45		10	76	33,9	38,7	5,2				
amine chloré	Chloroaniline	106-47-8	1200	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd									
Organotétrais	monobutyl étain	78763-54-9	1,48	28,1	26,6	59,2	42,9	79,9	72,5	87,3	87,3	54,8	54,8	99,2	91,8	54,8	45,9	54,8	54,8	168,7	174,6	185,0	167,2	84,4	59,2	94,7	72,5	
	dibutyl étain	1002-53-5	3,92	12,9	9,6	35,3	20,6	29,4	31,4	29,4	33,3	15,7	10,4	13,7	14,5	45,1	33,3	33,3	40,4	145,0	145,0	139,2	129,4	74,5	64,7	49,0	90,2	
	tributyl étain	56-35-9	2,4	< 2,44	< 2,44	3,4	< 2,44	12,7	9,8	11,5	11,2	< 2,44	< 2,44	< 2,44	< 2,44	7,3	5,9	7,1	5,6	17,1	15,4	17,3	15,1	6,8	6,8	8,3	8,8	
	triphenyl étain	668-34-8	2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	
	somme des organotétrais				41	36	98	64	122	114	128	132	70	65	113	106	107	85	95	101	331	335	341	312	166	131	152	171
Divers	galaxolide	1222-05-5	<70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	< 70000	
	cholestérols	pas de n°CAS	<110000	4800000	2100000	3600000	3400000	5700000	9300000	5100000	4700000	3300000	3200000	4500000	9100000	4000000	3800000	4800000	5000000	16300000	12300000	15200000	13800000	6200000	15600000	15700000	11800000	
Pharmaceutiques (ng/g MS)	17-béta-estradiol	50-28-2	0,5	10	nd	nd	nd	12	nd	nd	nd	31	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd								
	acétaminophen	103-90-2	9	nd	nd	nd	nd	19	29	nd	<9	nd	nd	nd	106	45	97	<9	nd	26	nd	<9	130	212	551	665		
	amoxicillin	26787-78-0	20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<20	nd	nd	nd	nd									
	Azithromycine	83905-01-5	3	13	11	<3	<3	98	133	41	31	7	nd	nd	703	555	197	123	6	nd	4	nd	7	nd	nd	851	nd	
	Bromadiolone	28772-56-7	1	nd	<1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd							
	Carbamazepine	298-46-4	1	nd	8	16	24	8	18	18	24	nd	4	<1	nd	39	87	84	151	55	40	16	141	11	22	37	69	
	Cefopérazone	62893-19-0	25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd									
	Ciprofloxacine	85721-33-1	45	530	551	182	71	1465	3222	26	221	332	<45	14	123	246	411	nd	70	5477	nd	150	191	1856	139	172	220	
	Diatrizoate	117-96-4	100	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd								
	Domperidone	57808-66-9	3	26	50	64	58	205	458	157	253	45	27	29	nd	1094	996	900	1357	8	<3	<3	924	829	239	125	136	
	E1 estrone	53-16-7	0,2	155	118	496	457	3	28	nd	498	78	103	285	382	30	33	<0,2	nd	18	40	498	58	14	37	<0,2	nd	
	Escitalopram	128196-01-0	6	29	15	25	36	160	93	199	171	49	23	44	nd	199	226	184	221	15	nd	<2	nd	69	184	562	167	
	Ethinylestradiol	57-63-6	33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd								
	Fluorouracil	51-21-8	10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd								
	Flumequine	42835-25-6	7	nd	29	nd	nd	nd	<7	nd	7	nd	<7	273	7	nd	52	nd	nd	204	nd	122	19	nd	nd	nd	nd	nd
	Fluphénazine	69-23-8	6	nd	nd	nd	nd	nd	<6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Gemfibrozil	25812-30-0	0,2	22	16	11	14	940	nd	nd	nd	23	nd	30	21	11	nd	nd	21	nd	<0,2							
	Glybenzcyclamide	10238-21-8	8	54	nd	nd	nd	9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Hydrochlorothiazide1	58-93-5	0,7	nd	nd	nd	nd	nd	1356	nd	nd	16	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd							
	Ibuprofen	15687-27-1	1	104	24	71	nd	nd	<0,2	nd	nd	nd	nd	86	147	379	24	69	61	346	45	70	nd	834	69	85	nd	
	Ivermectin	70288-86-7	6	nd	nd	nd	nd	<6	nd	nd	<6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<6	nd	nd	nd	nd
	Lidocaine	137-58-6	1	6	58	nd	3	8	8	nd	4	4	45	nd	2	26	57	35	79	4	3	nd	3	7	9	9	10	
	Loratadine	79794-75-5	4	nd	nd	nd	nd	<4	5	nd	nd	<4	nd	<4	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd						
	Miconazole	22916-47-8	4	5	13	19	51	5	10	12	28	5	6	1	nd	8	9	8	34	nd	10	22	19	nd	7	<4	nd	
	Nordiazepam	1088-11-5	0,2	nd	nd	nd	nd	1,2	2	0,5	0,5	pas de résultats	nd	nd	nd	1,1	1	<1	nd	1,8	2	nd	0,3	1	nd	nd	nd	
	Norfloxacine	70458-96-7	30	168	132	65	23	2706	1883	604	138	331	125	188	51	3308	199	514	225	4785	50	981	134	2415	212	153	150	
	Ofloxacine	82419-36-1	9	1017	1172	445	88	4674	3381	234	220	478	220	373	128	2227	750	411	323	10265	20	404	291	2985	391	248	262	
	Propranolol	525-66-6	4	25	14	18	<4	108	107	151	121	20	16	19	46	191	179	170	156	6	5	29	435	119	120	289	177	
	Spiramycine	8025-81-8	2	nd	nd	nd	nd	59	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	128	142	65	313	nd	nd	nd	nd	nd	nd	383	176	
	Sulfaméthoxazole	723-46-6	8	nd	nd	nd	nd	10	17	<2	10	nd	nd	nd	nd	23	19	35	25	nd	nd	nd	5	nd	nd	nd	nd	
	Tetracycline	60-54-8	7	116	151	45	35	203	224	29	52	107	nd	25	80	290	168	1170	206	297	171	73	67	229	33	25	165	
	Tramadol	27203-92-5	4	9	185	nd	nd	45	61	43	18	5	87	nd	nd	104	149	82	119	8	nd	nd	22	33	43	74	9	
	Verapamil	52-53-9	4	nd	28	29	35	77	170	111	124	nd	22	3	14	131	304	99	225	nd	20	19	32	128	187	204	221	
somme des pharmaceutiques				2289	2575	1486	895	10803	11205	1626	1423	1500	678	1340	980	9271	441											

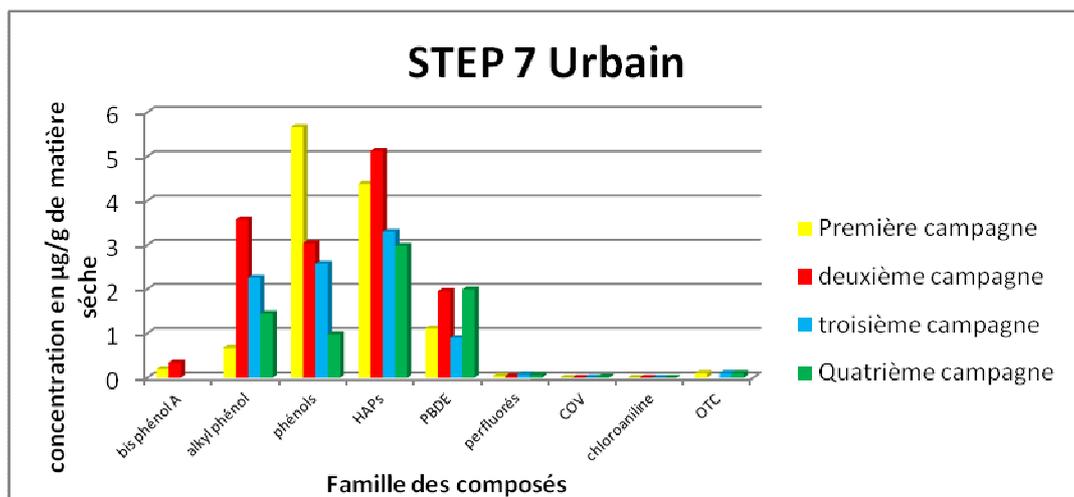
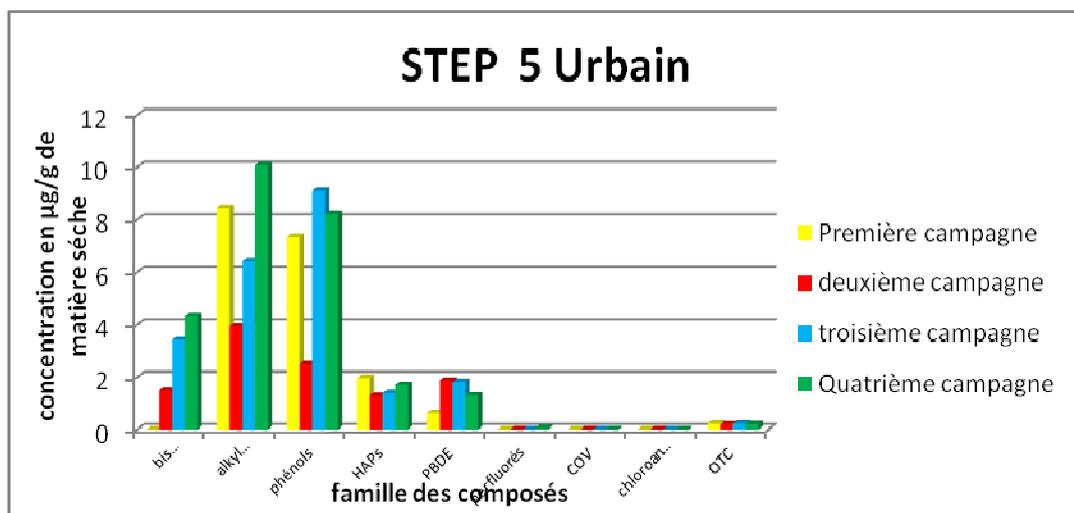
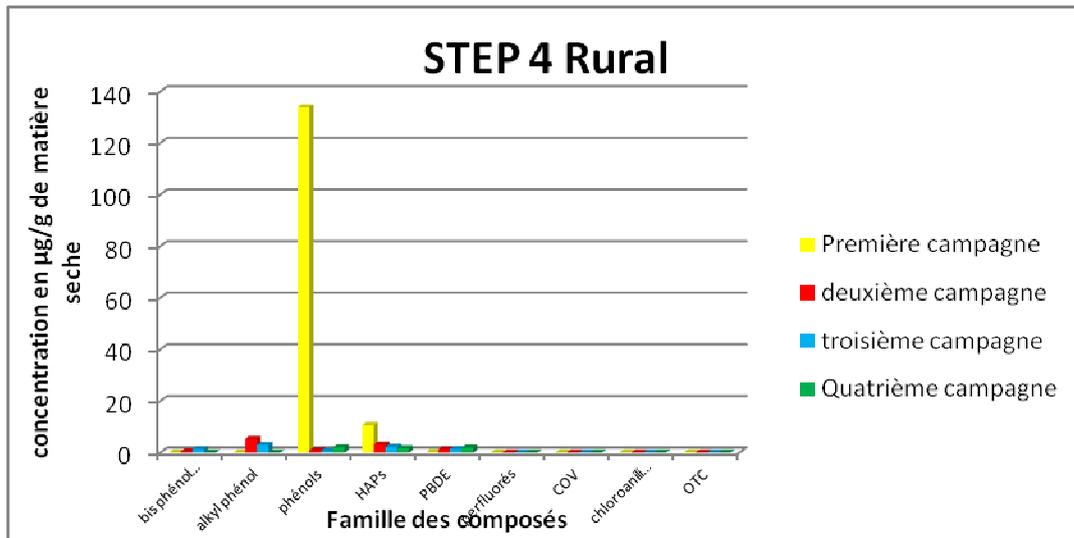
Annexe 6 : Graphiques de concentrations des STEP

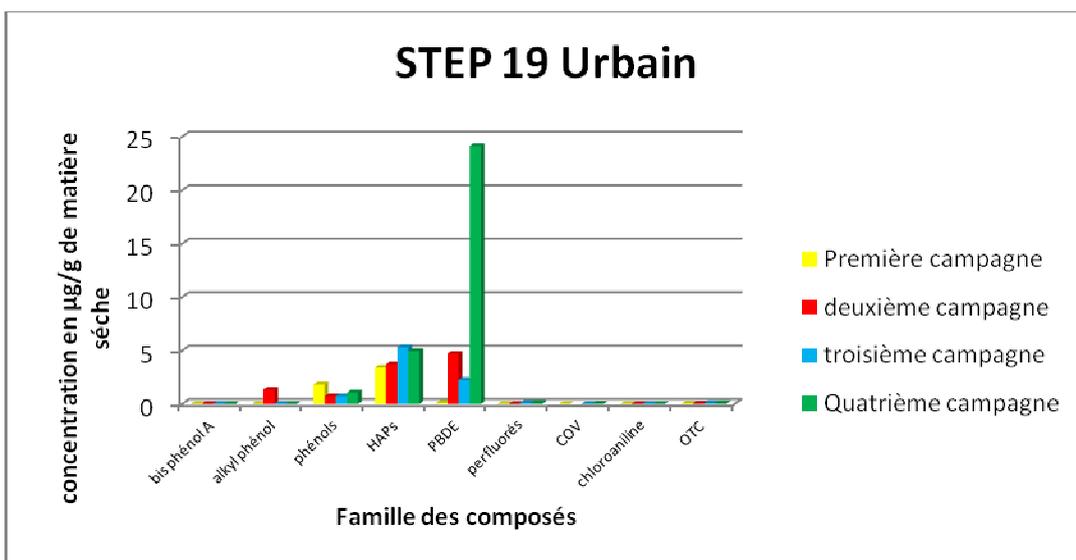
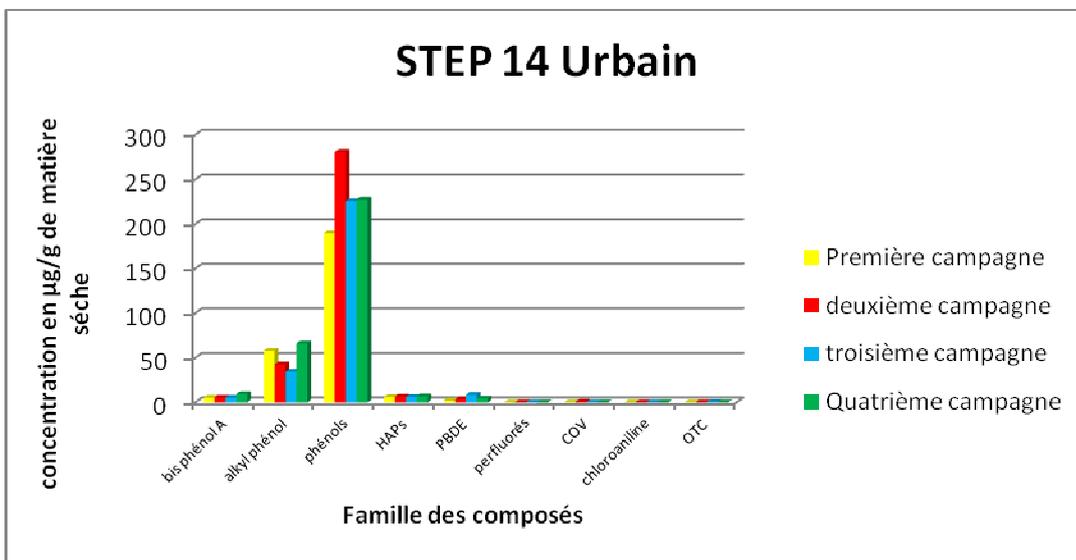
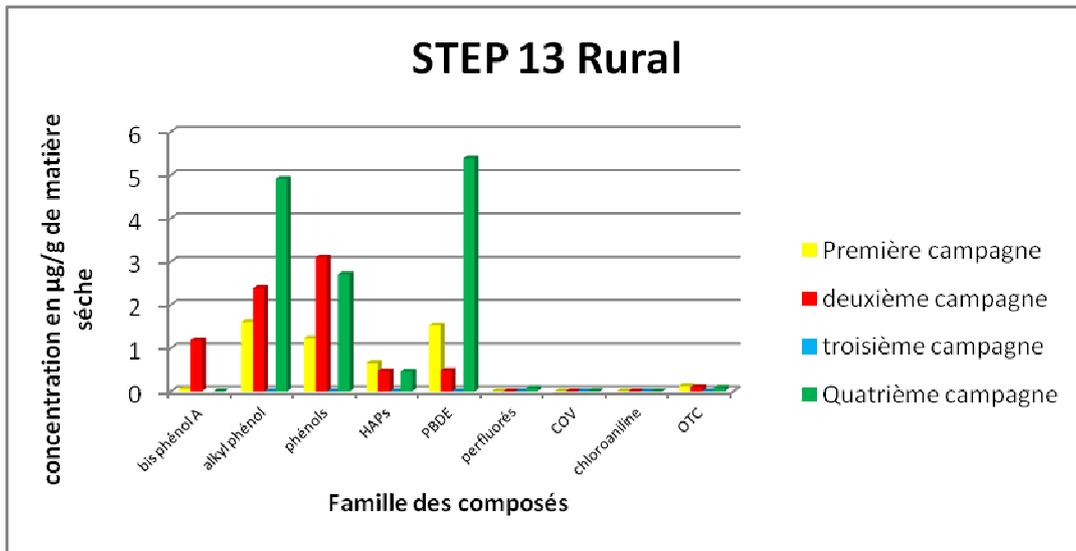
Somme des concentrations en substances pour les 12 stations d'épuration collectives (STEP) hors phénols et alkylphénols, moyenne des 4 campagnes. U=Station Urbaine, R= Station Rurale

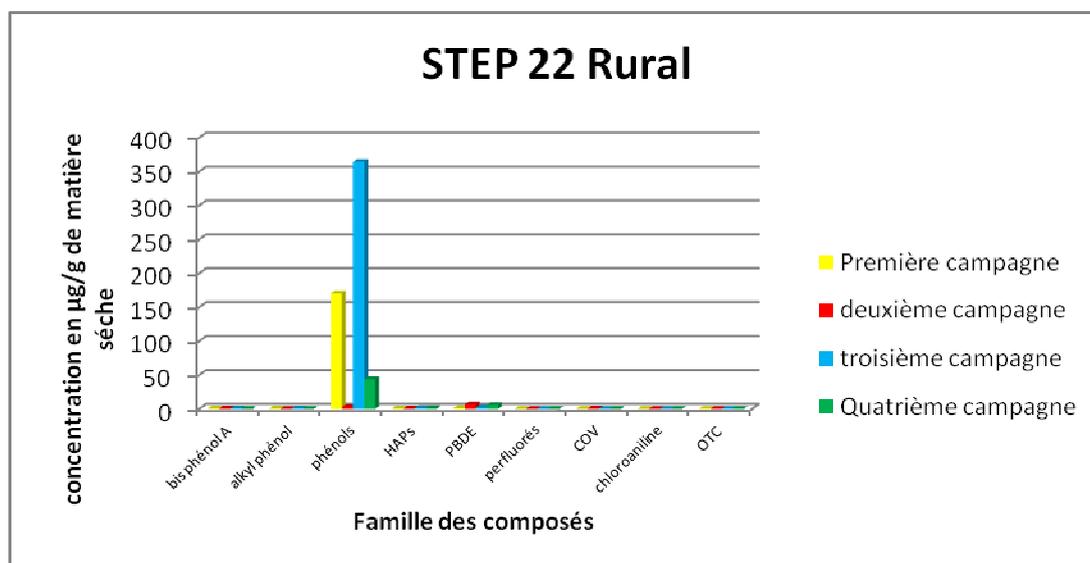
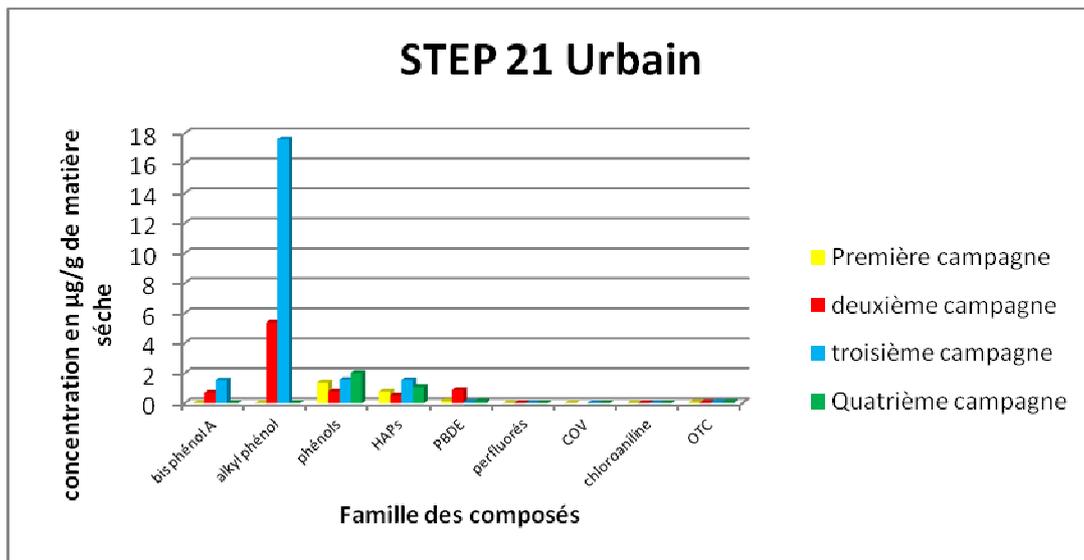
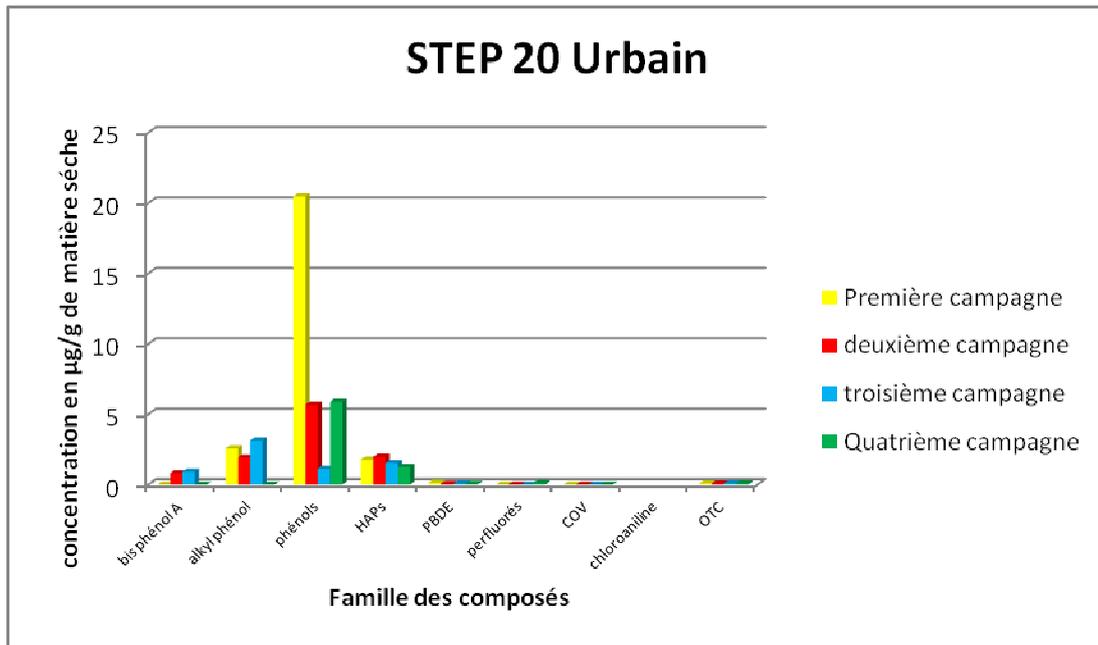


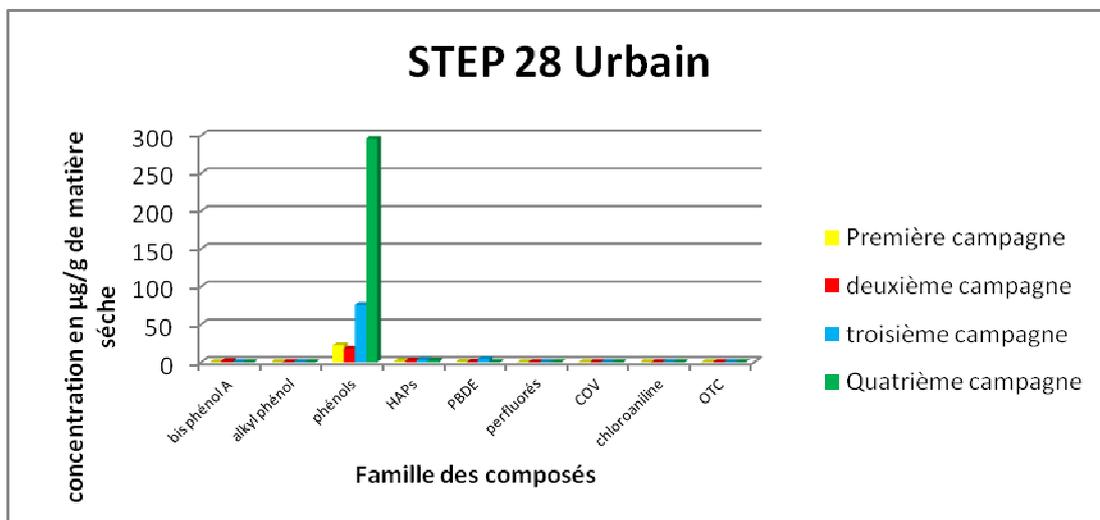
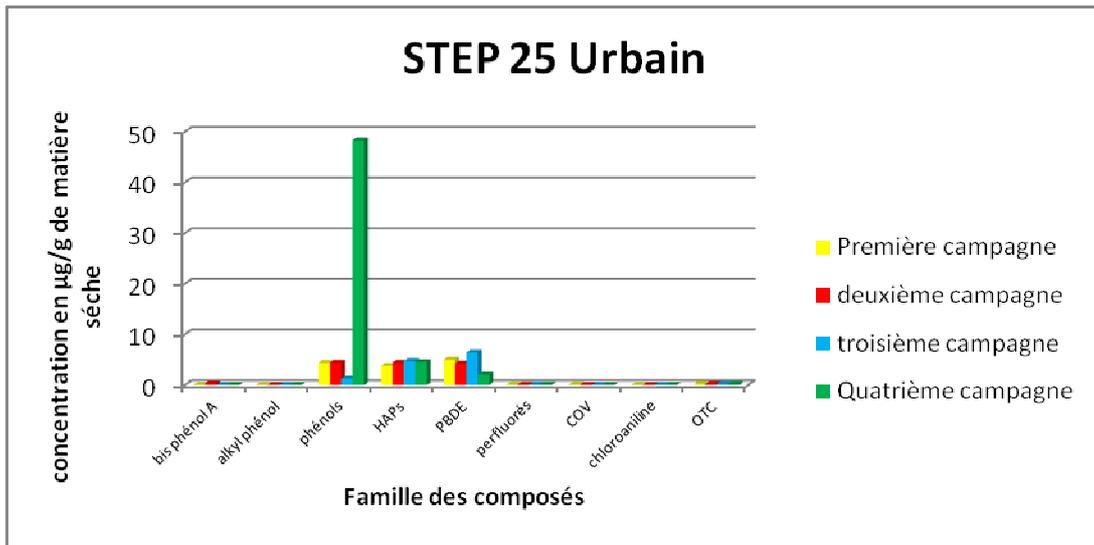
Moyenne sur les 4 campagnes de la somme des composés par famille











Annexe 7 : Caractéristiques des sols pour les essais d'écotoxicité

ANNEXE 7

À

Composition

Tourbe broyée à 2 mm	5 %Kaolin
Sable	74,7 %
CaCO ₃	0,3 %

Caractéristiques physico chimiques

pH	6 ± 0,5
Taux d'humidité	1,0 à 1,3
CRE	59 % – 63 %

Caractéristiques physico-chimiques des mélanges sol artificiel / boue et des éluats de ces mélanges aux trois doses testées

STEP	Dose testée (multiple de la dose agronomique préconisée)	Caractéristiques des mélanges sol / boue	Caractéristiques des éluats des mélanges sol / boue		
		pH	pH	Oxygène dissous mg/L	Conductivité (μ S/cm)
02	1 X	6,4	7,3	9,0	134
	5 X	6,9	7,3	9,1	293
	10 X	7,1	7,3	8,0	433
07	1 X	7,1	7,7	9,5	192
	5 X	7,2	7,5	7,6	271
	10 X	7,2	7,2	1,7	312
14	1 X	6,7	6,6	8,7	114
	5 X	6,8	7,1	8,6	164
	10 X	6,9	7,2	8,3	201
25	1 X	6,5	6,9	8,4	165
	5 X	6,6	7,3	8,4	212
	10 X	6,7	7,6	7,4	233

**Annexe 8 : Rapport d'analyse des substances pharmaceutiques pour végétaux,
sols et lixiviats**



INSTITUT DES SCIENCES ANALYTIQUES
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Villeurbanne le : 07/03/2014

Renseignements :
Responsable scientifique
Emmanuelle Vulliet

Demandeur : INERIS
Julien DALVAI
183 AVENUE DU 18 JUIN 1940
92500 RUEIL MALMAISON

Tél : 03 44 55 61 77

RAPPORT D'ANALYSE
Convention 1006C0122 - Etape 5

OBJET :

Quantification de substances pharmaceutiques par Chromatographie Liquide Haute Performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS) dans 42 échantillons de sols, 6 lixiviats, 14 échantillons de blé, 4 échantillons de pommes de terre et 4 échantillons de colza.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

VULLIET Emmanuelle
tél. : 04 37 42 36 08
mail : emmanuelle.vulliet@isa-lyon.fr



INSTITUT DES SCIENCES ANALYTIQUES

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1. Vos références

Convention de recherche ADEME 1006C0122 « Caractérisation des substances émergentes dans les boues de station d'épuration ». Etape 5 : détermination expérimentale du comportement des substances

2. Echantillons soumis aux analyses

Date d'enregistrement de la demande d'analyse :

Référence des échantillons de sol	N° ISA	Date réception
13AQ377-78-79 Sol colonne	13/0606	05/07/2013
13AQ380-81-82 Sol colonne	13/0607	
13AQ383-84-85 Sol colonnes témoins	13/0608	
13AQ376-77-78 Sol colonne	13/0609	
13AQ392 Sol parcelle pomme de terre 1	13/0610	
13AQ393 Sol parcelle pomme de terre 2	13/0611	
13AQ394 Sol parcelle pomme de terre 3	13/0612	
13AQ395 Sol parcelle pomme de terre 4	13/0613	
13AQ397 Sol parcelle colza 1	13/0614	
13AQ396 Sol parcelle colza 4	13/0615	
13AQ398 Sol parcelle blé 2	13/0616	
13AQ399 Sol parcelle blé 4	13/0617	
13AQ400 Sol parcelle blé 3	13/0618	
13AQ401 Sol parcelle blé 1	13/0619	
13AQ402 Sol parcelle colza 2	13/0620	
13AQ403 Sol parcelle colza 3	13/0621	
13 AQ369-71 Témoins 19-21 To	14/00730	10/12/2014
13A5525 T1 sol	14/00731	
13AQ362 63 1-2 To R1	14/00732	
13AQ365 66 3-4 To R2	14/00733	
13AQ367 68 5-6 To R3	14/00734	
13A5526 T1 sol	14/00735	
13AQ351 52 7-8 To R1	14/00736	
13AQ353 54 9-10 To R2	14/00737	
13AQ355 56 11-12 To R3	14/00738	
135527 T1 sol	14/00739	
13AQ537 58 13-14 To R1	14/00740	
13AQ359 360 15-16 To R2	14/00741	
13AQ361 364 17-18 To R3	14/00742	
13BE088	14/00743	
13AV636	14/00744	
13BE087	14/00745	
13AR661	14/00746	
13AV634	14/00747	
13BE085	14/00748	
13AV635	14/00749	
13AV599	14/00750	
13AR660	14/00751	
13AV597	14/00752	
13AR662	14/00753	
13AV598	14/00754	
13BE086	14/00755	

Référence des échantillons de pomme de terre	N° ISA	Date réception
13BE090	14/00756	10/12/2014
13BE091	14/00757	
13BE092	14/00758	
13BE093	14/00759	



INSTITUT DES SCIENCES ANALYTIQUES

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Référence des échantillons de blé	N° ISA	Date réception
13BE147	14/00769	14/01/2014
13BE146	14/00770	
13BE151	14/00771	
13BE145	14/00772	
13AV616	14/00773	
13BE143	14/00774	
13BE148	14/00775	
13AV633	14/00776	
13AV600	14/00777	
13BE149	14/00778	
13BE144	14/00779	
13BE142	14/00780	
13AR655	14/00781	
13BE150	14/00782	

Référence des échantillons de lixiviat	N° ISA	Date réception
Lixiviat Composite A 13BE101	14/00760	10/12/2013
Lixiviat Composite B 13BE102	14/00761	
Lixiviat Composite C 13BE103	14/00762	
SYPREA To à T5 13BE136	14/00763	
13 BE104 Témoin (x4)	14/00764	14/01/2014
13BE501 Témoin	14/00765	

Référence des échantillons de colza	N° ISA	Date réception
13AR656	14/00765	14/01/2014
13AR657	14/00766	
13AV602	14/00767	
13AV601	14/00768	

3. Analyse(s) réalisée(s) par

FIEU Maëva

4. Préparation d'échantillons et conditions analytiques pour les échantillons de sols

L'échantillon est réceptionné lyophilisé et broyé. Les échantillons sont extraits par PLE, purifiés par SPE puis analysés par LC-MS/MS.

La prise d'essai est de 5g.

L'extraction PLE est réalisée sur un extracteur de la marque Dionex ASE 350 avec les conditions suivantes :

- Solvant d'extraction : MeOH/ACN/0.2M acide citrique 40/40/20
- Pression : 120 bars
- Température : 80°C
- Statique 10 minutes
- Nombre de cycles :2

Après extraction, chaque extrait est purifié par Extraction sur Phase Solide (SPE). La purification est réalisée sur un extracteur automatique de la marque Caliper AutoTrace SPS Workstation avec les conditions suivantes :

- Cartouche : StrataX, 3 mL, 200 mg
- Volume de l'extrait ramené à 500 mL avec de l'eau MilliQ
- Protocole classique de conditionnement et élution : conditionnement au méthanol, puis eau, chargement de l'échantillon, rinçage de la colonne à l'eau, séchage de la colonne, élution au méthanol.
- Du DMSO est rajouté avant évaporation sous azote à 40 °C
- De l'eau et de l'acétonitrile sont ensuite ajoutés avant filtration sur membrane PTFE puis mise en vial

L'appareillage utilisé pour l'analyse est de marque Waters 2695 pour la chromatographie liquide et de marque Waters Quattro Micro pour la spectrométrie de masse.

Les données sont acquises et retraitées grâce au logiciel MassLynx (version 4.0).

Amoxicilline, carbamazépine, cefoperazone, fluphénazine, sulfaméthoxazole, kétoprofène, propranolol, tramadol, norfloxacin, escitalopram, ivermectin, ciprofloxacine, loratadine, nordiazepam, ofloxacine, dompéridone, vérapamil, acétaminophène, aténolol, lidocaïne, diatrizoate, triméthoprime, tétracycline, azithromycine, spiramycine, fluméquine, glybencyclamide et miconazole sont analysés en mode positif. Ibuprofène, bromadiolone, fluorouracil, éthinyléstradiol hydrochlorothiazide, gemfibrozil, 17beta-estradiol, estrone et triclocarban sont analysés en mode négatif.

L'analyse est réalisée en phase inverse (gradient d'élution) avec les conditions suivantes :

En mode positif :

- Colonne : Poroschell 2,7 µm (100x2,1)mm
- Volume injecté : 20 µL
- Conditions d'analyse:
 - Phase mobile: (A)= Eau qualité MilliQ +acide formique 0,1%
(B)= Méthanol +acide formique 0,1%
 - Température de colonne 58°C
 - Débit : 0.4 mL.min⁻¹
- Source d'ionisation : Electrospray
- Paramètres d'acquisition: Mode d'acquisition MRM (Multiple Reaction Monitoring)

En mode négatif :

- Colonne : Zorbax Eclipse XDBC18 1,8 µm (100x2,1)mm
- Volume injecté : 20 µL
- Conditions d'analyse:
 - Phase mobile: (A)= Eau qualité MilliQ + NH₄OH 0,1%
(B)= Acétonitrile
 - Température de colonne 58°C
 - Débit : 0.3 mL.min⁻¹
- Source d'ionisation : Electrospray
- Paramètres d'acquisition: Mode d'acquisition MRM (Multiple Reaction Monitoring)

La molécule est identifiée par son temps de rétention, par la présence de 2 transitions MRM (ion parent-> ion fils) minimum et des rapports d'ions de l'ordre de +/- 20% par rapport à un étalon analytique analysé dans les mêmes conditions. Chaque extrait est injecté 2 fois et les résultats présentés sont la moyenne des deux mesures.

La quantification est effectuée par étalonnage dans la matrice, à partir d'un sol reconstitué. Des étalons internes sont également utilisés (acetaminophen-d₃, erythromycine-13C-d₃, miconazole-d₅, propranolol-d₇, sulfaméthoxazole-d₄, ciprofloxacine-d₈, norfloxacine-d₅, sulfaméthoxazole-d₄, ibuprofène-d₃, 17beta-estradiol-d₂, estrone-d₂) afin de vérifier le bon déroulement de l'analyse.

Sont présentés ci-dessous les valeurs de limite de quantification (LQ) exprimée en ng/g matière sèche.

LQ (ng/g)		LQ (ng/g)		LQ (ng/g)	
Carbamazépine	0.1	Sulfaméthoxazole	5	Azithromycine	10
Tramadol	0.1	Kétoprofène	5	Spiramycine	10
Escitalopram	0.1	Propranolol	5	Fluphénazine	10
Lidocaïne	0.1	17 beta estradiol	5	Ivermectine	10
Triméthoprime	0.5	Estrone	5	Fluorouracil	10
Fluméquine	0.5	Miconazole	5	Amoxicilline	20
Ibuprofène	0.5	Ofloxacine	5	Céfopérazone	25
Domperidone	0.5	Hydrochlorothiazide	5	Ethinyléstradiol	25
Gemfibrozil	0.5	Triclocarban	5	Norfloxacine	40
Vérapamil	5	Loratadine	5	Ciprofloxacine	40
Acétaminophène	5	Nordiazépan	5	Diatrizoate	100
Tétracycline	5	Bromadiolone	5		
Glybencyclamide	5	Aténolol	10		

5. Résultats d'analyse pour les échantillons de sol

Sont présentés dans le tableau ci-dessous, les résultats des analyses effectuées sur les échantillons de sol. Une case vide signifie que la substance ciblée n'a pas été détectée (la limite de détection peut être considérée, par convention, comme égale à LQ/3). Un résultat <LQ signifie que la substance est présente dans l'échantillon à une teneur supérieure à la limite de détection mais inférieure à la limite de quantification.

ref INERIS	13AQ380-82 sol colonne	13AQ376-378 sol colonne	13AQ383-385 sol colonne témoin	13AQ377-79 sol colonne	13AQ392 sol parcelle pdt 1	13AQ393 sol parcelle pdt 2	13AQ394 sol parcelle pdt 3	13AQ395 sol parcelle pdt 4
ref ISA	13/0607	13/0609	13/0608	13/0606	13/0610	13/0611	13/0612	13/0613
Acétaminophène						21.27 ± 4.6		
Amoxicilline								
Aténolol								
Azitromycine								
17beta-estradiol		5.02 ± 0.43						
Bromadiolone								
Carbamazepine								
Ciprofloxacine								
Cefoperazone								
Domperidone	3.42 ± 0.41	3.46 ± 0.42	3.12 ± 0.37	3.04 ± 0.36	3.66 ± 0.44	< LQ		3.34 ± 0.40
Escitalopram		3.2 ± 0.45				3.12 ± 0.44		3.1 ± 0.43
Estrone	< LQ	5.02 ± 1.15	10.63 ± 2.45	10.52 ± 2.41	14.49 ± 3.33	12.23 ± 2.81	11.71 ± 2.69	<LQ
Ethinylestradiol								
Flumequine		3.71 ± 0.96	3.8 ± 0.99	3.95 ± 1.03	3.99 ± 1.04		< LQ	3.93 ± 1.02
Fluorouracil								
Fluphénazine								
Gemfibrozil								
Glybencyclamide								
Hydrochlorothiazide								
Ibuprofène								
Ivermectine								
Kétoprofène								
Lidocaïne								< LQ
Loratadine								
Miconazole	<LQ				<LQ			
Nordiazepam								
Norfloxacine							< LQ	
Ofloxacine			< LQ					
Propranolol								
Spiramycine								
Sulfamethoxazole								
Tetracycline	< LQ							
Tramadol			3.46 ± 0.66					
triclocarban								
triclosan								
Trimethoprime								
Verapamil				< LQ	< LQ	< LQ		< LQ

ref INERIS	13AQ401 sol parcelle blé 1	13AQ398 sol parcelle blé 2	13AQ400 sol parcelle blé 3	13AQ399 sol parcelle blé 4	colza 1 sol parcelle colza 1	colza 2 sol parcelle colza 2	colza 3 sol parcelle colza 3	colza 4 sol parcelle colza 4
ref ISA	13/0619	13/0616	13/0618	13/0617	13/0614	13/0620	13/0621	13/0615
Acétaminophène			22.62 ± 4.9		11.76 ± 2.54			
Amoxicilline								
Aténolol								
Azitromycine								
17beta-estradiol				5.52 ± 0.47				
Bromadiolone								
Carbamazepine								
Ciprofloxacine								
Cefoperazone								
Domperidone	3.6 ± 0.43	3.96 ± 0.48	5.53 ± 0.66	3.29 ± 0.39		< LQ		
Escitalopram			3.25 ± 0.46	3.09 ± 0.43				
Estrone	16.4 ± 3.77	10.15 ± 2.33	12.96 ± 2.98	15.2 ± 3.49	<LQ			
Ethinylestradiol								
Flumequine	5.83 ± 1.51	< LQ	3.75 ± 0.98		3.76 ± 0.98	3.82 ± 1.00		
Fluorouracil								
Fluphénazine								
Gemfibrozil								
Glybencyclamide								
Hydrochlorothiazide								
Ibuprofène								
Ivermectine								
Kétoprofène								
Lidocaine								
Loratadine								
Miconazole	24.55 ± 3.44		30.89 ± 4.32	< LQ		36.17 ± 5.06		
Nordiazepam								
Norfloxacine			16.51 ± 4.95					
Ofloxacine								
Propranolol								
Spiramycine								
Sulfamethoxazole								
Tetracycline								
Tramadol								
triclocarban								
triclosan								
Trimethoprim								
Verapamil	< LQ							

Compte-tenu des résultats obtenus dans les boues et dans les échantillons de sols Témoins et les parcelles To, certaines substances n'ont pas été recherchées dans les colonnes de sol.

Finalement les substances suivantes ont été recherchées pour les essais sur colonnes : Carbamazépine, sulfaméthoxazole, kétoprofène, propranolol, tramadol, norfloxacin, escitalopram, ciprofloxacine, ofloxacine, dompéridone, vérapamil, acétaminophène, aténolol, lidocaïne, triméthoprime, tétracycline, azithromycine, spiramycine, fluméquine, glybencyclamide, miconazole, ibuprofène, hydrochlorothiazide, gemfibrozil, 17beta-estradiol, estrone et triclocarban.

	19-21 To	T1 sol	1-2 To R1	3-4 To R2	5-6 To R3	T1 sol	7-8 To R1
ref ISA	14/00730	14/00731	14/00732	14/00733	14/00734	14/00735	14/00736
Acetaminophen					19.28 ± 4.16	72.95 ± 15.7	
Azithromycine							
Atenolol							
17beta-estradiol						< LQ	
Carbamazepine							
Ciprofloxacine							
Domperidone			< LQ		< LQ	3.24 ± 0.39	< LQ
Escitalopram					2.85 ± 0.40	3.1 ± 0.43	2.87 ± 0.40
Estrone							
Flumequine							
Gemfibrozil							
Glybencyclamide							
Hydrochlorothiazide							
Ibuprofen							
Ketoprofen	< LQ						
Lidocaïne							
Miconazole							
Norfloxacin							
Ofloxacine	< LQ						
Propranolol					< LQ		
Spiramycin							
Sulfaméthoxazole							
Tétracycline							
Tramadol							
Triclocarban	< LQ	8.18 ± 0.74	13.34 ± 1.2	7.87 ± 0.71	8.75 ± 0.79	< LQ	< LQ
Triméthoprime							
Verapamil							

ref INERIS	13AQ353 54 9-10 To R2	13AQ355 56 11-12 To R3	135527 T1 sol	13AQ537 58 13-14 To R1	13AQ359 360 15-16 To R2	13AQ361 364 17-18 To R3
ref ISA	14/00737	14/00738	14/00739	14/00740	14/00741	14/00742
Acetaminophen						
Azithromycine						
Atenolol						
17beta-estradiol		< LQ				
Carbamazepine						
Ciprofloxacin						
Domperidone	< LQ	3.48 ± 0.42	3.16 ± 0.38	3.68 ± 0.44		6.12 ± 0.73
Escitalopram	2.91 ± 0.41			2.75 ± 0.39		3 ± 0.42
Estrone						
Flumequine						
Gemfibrozil						
Glybencyclamide						
Hydrochlorothiazide						
Ibuprofen						
Ketoprofen						
Lidocaine						
Miconazole						10.96 ± 1.53
Norfloxacin						
Ofloxacin			< LQ	< LQ		
Propranolol						< LQ
Spiramycin						
Sulfamethoxazole						
Tetracycline						
Tramadol						
Triclocarban	< LQ	7.14 ± 0.64	7.19 ± 0.65	< LQ		9.52 ± 0.86
Trimethoprim						
Verapamil		< LQ				

ref INERIS	13BE088	13AV636	13BE087	13AR661	13AV634	13BE085	13AV635
ref ISA	14/00743	14/00744	14/00745	14/00746	14/00747	14/00748	14/00749
Acetaminophen							
Azithromycine							
Atenolol							
17beta-estradiol							
Carbamazepine							
Ciprofloxacin							
Domperidone		3.73 ± 0.45	< LQ	3.83 ± 0.46	< LQ	3.45 ± 0.41	
Escitalopram				3.01 ± 0.42	3.02 ± 0.42	3.01 ± 0.42	
Estrone							
Flumequine							
Gemfibrozil							
Glybencyclamide							
Hydrochlorothiazide							
Ibuprofen							
Ketoprofen							
Lidocaine							
Miconazole							< LQ
Norfloxacin							
Ofloxacin				< LQ		< LQ	
Propranolol							
Spiramycin							
Sulfamethoxazole							
Tetracycline							
Tramadol							
Triclocarban		< LQ					< LQ
Trimethoprim							
Verapamil					< LQ		< LQ

ref INERIS	13AV599	13AR660	13AV597	13AR662	13AV598	13BE086
ref ISA	14/00750	14/00751	14/00752	14/00753	14/00754	14/00755
Acetaminophen			31.11 ± 6.7	15.55 ± 3.36		
Azithromycine						
Atenolol						
17beta-estradiol						
Carbamazepine						
Ciprofloxacin						
Domperidone	5.51 ± 0.66		4.62 ± 0.55	5.69 ± 0.68	4.33 ± 0.52	5.28 ± 0.63
Escitalopram	3 ± 0.42	3.04 ± 0.43		3.24 ± 0.45		3.18 ± 0.45
Estrone						
Flumequine	< LQ					
Gemfibrozil						
Glybencyclamide						
Hydrochlorothiazide						
Ibuprofen						
Ketoprofen						
Lidocaine						
Miconazole						
Norfloxacin						< LQ
Ofloxacin	< LQ		< LQ		< LQ	
Propranolol						
Spiramycin						
Sulfamethoxazole						
Tetracycline						
Tramadol						
Triclocarban						
Trimethoprim						
Verapamil		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ

6. Préparation d'échantillons et conditions analytiques pour les échantillons de pomme de terre

L'échantillon est réceptionné lyophilisé et broyé. Les échantillons sont extraits par PLE, purifiés par SPE puis analysés par LC-MS/MS dans les mêmes conditions que pour les échantillons de sols, mais avec une prise d'essai de 2g.

Les analyses sont effectuées dans les mêmes conditions que celles décrites pour les sols.

Compte-tenu des résultats obtenus dans les boues et dans les échantillons de sols To, certaines substances n'ont pas été recherchées dans la pomme de terre. La diminution du nombre d'analytes recherché a permis, en outre, de diminuer les limites de quantification.

Finalement les substances suivantes ont été recherchées dans les échantillons de pommes de terre : Carbamazépine, sulfaméthoxazole, kétoprofène, propranolol, tramadol, norfloxacin, escitalopram, ciprofloxacine, ofloxacine, dompéridone, vérapamil, acétaminophène, aténolol, lidocaïne, triméthoprime, tétracycline, azithromycine, spiramycine, fluméquine, glybencyclamide, miconazole, ibuprofène, hydrochlorothiazide, gemfibrozil, 17b-estradiol, estrone et triclocarban.

La quantification est effectuée par étalonnage dans la matrice, à partir de pomme de terre issue d'un marché bio (et après vérification de l'absence des substances recherchées). Des étalons internes sont également utilisés (acetaminophen-d3, erythromycine-13C-d3, miconazole-d5, propranolol-d7, sulfamethoxazole-d4, ciprofloxacine-d8, norfloxacine-d5, sulfamethoxazole-d4, ibuprofen-d3, 17beta-estradiol-d2, estrone-d2) afin de vérifier le bon déroulement de l'analyse.

Sont présentés ci-dessous les valeurs de limite de quantification (LQ) exprimée en ng/g matière sèche.

LQ (ng/g)	
Carbamazépine	0,5
Sulfaméthoxazole	0,5
Flumequine	0,5
Gemfibrozil	0,5
Propranolol	1
Tramadol	1
Norfloxacin	1
Lidocaïne	1
Triméthoprim	1

LQ (ng/g)	
Miconazole	1
Ibuprofen	1
Escitalopram	5
Verapamil	5
Azithromycine	5
Spiramycin	5
Glybencyclamide	5
17 beta estradiol	5
Ketoprofen	10

LQ (ng/g)	
Ciprofloxacine	10
Ofloxacine	10
Domperidone	10
Acetaminophen	10
Atenolol	10
Tétracycline	10
Triclocarban	10
Hydrochlorothiazide	40
Estrone	40

7. Résultats d'analyse pour les échantillons de pomme de terre

Sont présentés dans le tableau ci-dessous, les résultats des analyses effectuées sur les échantillons de pomme de terre. Une case vide signifie que la substance ciblée n'a pas été détectée.

ref INERIS	13BE090	13BE091	13BE092	13BE093
ref ISA	14/00756	14/00757	14/00758	14/00759
Acetaminophen				
Atenolol				
Azithromycine				
17beta-estradiol				
Carbamazepine				
Ciprofloxacin				
Domperidone				
Escitalopram				
Estrone				
Flumequine				
Gemfibrozil				
Glybencyclamide				
Hydrochlorothiazide				
Ibuprofen				
Ketoprofen				
Lidocaine				
Miconazole				
Norfloxacin				
Ofloxacin				
Propranolol				
Spiramycin				
Sulfamethoxazole				
Tetracycline				
Tramadol				
Triclocarban				
Trimethoprim				
Verapamil				

8. Préparation d'échantillons et conditions analytiques pour les échantillons de blé

L'échantillon réceptionné a été préalablement broyé cryogéniquement. Les échantillons sont extraits par PLE, purifiés par SPE puis analysés par LC-MS/MS dans les mêmes conditions que pour les échantillons de sols, mais avec une prise d'essai de 2g.

Les analyses sont effectuées dans les mêmes conditions que celles décrites pour les sols.

Compte-tenu des résultats obtenus dans les boues et dans les échantillons de sols, certaines substances n'ont pas été recherchées dans le blé. La diminution du nombre d'analytes recherché a permis, en outre, de diminuer les limites de quantification.

Finalement les substances suivantes ont été recherchées dans les échantillons de blé : Carbamazépine, sulfaméthoxazole, kétoprofène, propranolol, tramadol, norfloxacin, escitalopram, ciprofloxacin, ofloxacin, dompéridone, vérapamil, acétaminophène, aténolol, lidocaïne, triméthoprime, tétracycline, azithromycine, spiramycine, fluméquine, glybencyclamide, miconazole, ibuprofène, hydrochlorothiazide, gemfibrozil, 17beta-estradiol, estrone et triclocarban.

La quantification est effectuée par étalonnage dans la matrice, à partir de grain de blé issue d'un marché bio (et après vérification de l'absence des substances recherchées). Des étalons internes sont également utilisés (acetaminophen-d3, erythromycine-13C-d3, miconazole-d5, propranolol-d7, sulfamethoxazole-d4, ciprofloxacin-d8, norfloxacin-d5, sulfamethoxazole-d4, ibuprofen-d3, 17beta-estradiol-d2, estrone-d2) afin de vérifier le bon déroulement de l'analyse.

Sont présentés ci-dessous les valeurs de limite de quantification (LQ) exprimée en ng/g matière sèche.

LQ (ng/g)	
Carbamazepine	0,5
Sulfamethoxazole	0,5
Tramadol	0,5
Lidocaine	0,5
Flumequine	0,5
Hydrochlorothiazide	0,5
Gemfibrozil	0,5
Verapamil	1
Azithromycine	1

LQ (ng/g)	
Ibuprofen	1
17 beta estradiol	1
Acetaminophen	5
Propranolol	5
Escitalopram	5
Ofloxacin	5
Trimethoprim	5
Tetracycline	5
Spiramycin	5

LQ (ng/g)	
Glybencyclamide	5
Miconazole	5
Norfloxacin	10
Atenolol	10
Ketoprofen	40
Ciprofloxacin	40
Domperidone	40
Estrone	40
Triclocarban	40

9. Résultats d'analyse pour les échantillons de blé

Sont présentés dans le tableau ci-dessous, les résultats des analyses effectuées sur les échantillons de blé. Une case vide signifie que la substance ciblée n'a pas été détectée (la limite de détection peut être considérée, par convention, comme égale à LQ/3). Un résultat <LQ signifie que la substance est présente dans l'échantillon à une teneur supérieure à la limite de détection mais inférieure à la limite de quantification.

ref INERIS	13BE147	13BE146	13BE151	13BE145	13AV616	13BE143	13BE148	13AV633	13AV600	13BE149	13BE144	13BE142	13AR655	13BE150
ref ISA	14/00769	14/00770	14/00771	14/00772	14/00773	14/00774	14/00775	14/00776	14/00777	14/00778	14/00779	14/00780	14/00781	14/00782
Acetaminophen														
Atenolol														
Azithromycine														
17beta-estradiol														
Carbamazepine														
Ciprofloxacine														
Domperidone														
Escitalopram														
Estrone														
Flumequine														
Gemfibrozil														
Glybencyclamide														
Hydrochlorothiazide														
Ibuprofen														
Ketoprofen														
Lidocaine														
Miconazole		< LQ		< LQ								< LQ	8.34 ± 2.1	
Norfloxacine							< LQ						< LQ	
Ofloxacine													< LQ	
Propranolol														
Spiramycin														
Sulfamethoxazole														
Tetracycline										< LQ				
Tramadol														
Triclocarban														
Trimethoprim														
Verapamil														

10. Préparation d'échantillons et conditions analytiques pour les échantillons de colza

L'échantillon est réceptionné broyé. Les échantillons sont extraits par PLE, purifiés par SPE puis analysés par LC-MS/MS dans les mêmes conditions que pour les échantillons de sols, mais avec une prise d'essai de 1g.

Les analyses sont effectuées dans les mêmes conditions que celles décrites pour les sols.

Compte-tenu des résultats obtenus dans les boues et dans les échantillons de sols, certaines substances n'ont pas été recherchées dans le colza. La diminution du nombre d'analytes recherché a permis, en outre, de diminuer les limites de quantification.

Finalement les substances suivantes ont été recherchées dans les échantillons de colza : Carbamazépine, sulfaméthoxazole, kétoprofène, propranolol, tramadol, norfloxacin, escitalopram, ciprofloxacine, ofloxacine, dompéridone, vérapamil, acétaminophène, aténolol, lidocaïne, triméthoprime, tétracycline, azithromycine, spiramycine, fluméquine, glybencyclamide, miconazole, ibuprofène, hydrochlorothiazide, gemfibrozil, 17beta-estradiol, estrone et triclocarban.

La quantification est effectuée par étalonnage dans la matrice, à partir de graine de colza issue d'une animalerie (et après vérification de l'absence des substances recherchées). Des étalons internes sont également utilisés (acetaminophen-d3, erythromycine-13C-d3, miconazole-d5, propranolol-d7, sulfamethoxazole-d4, ciprofloxacine-d8, norfloxacin-d5, sulfamethoxazole-d4, ibuprofen-d3, 17beta-estradiol-d2, estrone-d2) afin de vérifier le bon déroulement de l'analyse.

Sont présentés ci-dessous les valeurs de limite de quantification (LQ) exprimée en ng/g de graine de colza. Compte-tenu de la complexité de cette matrice particulièrement riche en matières grasses, certaines limites de quantification sont très élevées. Trois substances ne peuvent pas être analysées : estrone, ibuprofène et hydrochlorothiazide.

LQ (ng/g)		LQ (ng/g)		LQ (ng/g)	
Carbamazépine	1	Azithromycine	5	Tétracycline	40
Ketoprofène	1	Flumequine	5	Spiramycine	40
Escitalopram	1	Glybencyclamide	5	17Beta-estradiol	40
Triclocarban	1	Lidocaïne	10	Ofloxacine	100
Verapamil	2	Gemfibrozil	10	Norfloxacin	200
Miconazole	2	Sulfaméthoxazole	40	Triméthoprime	500
Tramadol	5	Propranolol	40	Estrone	non détecté
Ciprofloxacine	5	Acétaminophène	40	Hydrochlorothiazide	non détecté
Domperidone	5	Aténolol	40	Ibuprofène	non détecté

11. Résultats d'analyse pour les échantillons de colza

Sont présentés dans le tableau ci-dessous, les résultats des analyses effectuées sur les échantillons de colza. Une case vide signifie que la substance ciblée n'a pas été détectée (la limite de détection peut être considérée, par convention, comme égale à LQ/3). Un résultat <LQ signifie que la substance est présente dans l'échantillon à une teneur supérieure à la limite de détection mais inférieure à la limite de quantification.

ref INERIS	13AR656	13AR657	13AV602	13AV601
ref ISA	14/00765	14/00766	14/00767	14/00768
Acetaminophen		86.67± 22.1		
Atenolol				
Azithromycine				
17beta-estradiol				
Carbamazepine				
Ciprofloxacine				
Domperidone				
Escitalopram				
Estrone				
Flumequine				
Gemfibrozil				
Glybencyclamide				
Hydrochlorothiazide				
Ibuprofen				
Ketoprofen		7.83 ± 1.9		
Lidocaine				
Miconazole				
Norfloxacine				
Ofloxacine				
Propranolol				
Spiramycin				
Sulfamethoxazole				
Tetracycline				
Tramadol				
Triclocarban				
Trimethoprim				
Verapamil				

12. Préparation d'échantillons et conditions analytiques pour les échantillons de lixiviats et dépôts atmosphériques

Les échantillons réceptionnés congelés sont décongelés pendant 24°C à l'obscurité et température ambiante. Tous les échantillons sont extraits par SPE puis analysés par LC-MS/MS. La prise d'essai est de 300 mL.

La préconcentration est réalisée par Extraction sur Phase Solide (SPE) sur un extracteur automatique de la marque Caliper AutoTrace SPS Workstation avec les conditions suivantes :

- Cartouche : Oasis HLB, 3 mL, 60 mg
- pH initial de l'échantillon ajusté à 7 avec NH₄OH
- Protocole classique de conditionnement et élution : conditionnement au méthanol, puis eau, chargement de l'échantillon, rinçage de la colonne à l'eau, séchage de la colonne, élution au méthanol.
- Du DMSO est rajouté avant évaporation sous azote à 40 °C
- De l'eau et de l'acétonitrile sont ensuite ajoutés avant mise en vial

Les analyses sont effectuées dans les mêmes conditions que celles décrites pour les sols.

Seuls les substances recherchées dans les colonnes de sols ont été recherchées dans les lixiviats. La diminution du nombre d'analytes recherché a permis, en outre, de diminuer les limites de quantification.

Finalement les substances suivantes ont été recherchées dans les lixiviats : Carbamazépine, sulfaméthoxazole, kétoprofène, propranolol, tramadol, norfloxacine, escitalopram, ciprofloxacine, ofloxacine, dompéridone, vérapamil, acétaminophène, aténolol, lidocaïne, triméthoprime, tétracycline, azithromycine, spiramycine, fluméquine, glybencyclamide, miconazole, ibuprofène, hydrochlorothiazide, gemfibrozil, 17beta-estradiol, estrone et triclocarban.

Sont présentés ci-dessous les valeurs de limite de quantification (LQ) exprimée en ng/L.

LQ (ng/L)	
Carbamazepine	0.5
Sulfamethoxazole	0.5
Propranolol	0.5
Ofloxacin	0.5
Verapamil	0.5
Lidocaine	0.5
Trimethoprim	0.5
Tramadol	2
Ciprofloxacin	2

LQ (ng/L)	
Domperidone	2
Escitalopram	5
Atenolol	5
Spiramycin	5
Flumequine	5
Miconazole	5
Norfloxacin	10
Tetracycline	10
Azithromycin	10

LQ (ng/L)	
Ibuprofen	10
Gemfibrozil	10
17 beta estradiol	10
Triclocarban	10
Ketoprofen	25
Acetaminophen	50
Glybencyclamide	50
Estrone	50
Hydrochlorothiazide	50

13. Résultats d'analyse pour les échantillons de lixiviats

Sont présentés dans le tableau ci-dessous, les résultats des analyses effectuées sur les lixiviats. Une case vide signifie que la substance ciblée n'a pas été détectée (la limite de détection peut être considérée, par convention, comme égale à LQ/3). Un résultat <LQ signifie que la substance est présente dans l'échantillon à une teneur supérieure à la limite de détection mais inférieure à la limite de quantification.

ref INERIS	13 BE104 Témoin	13 BE501 Témoin	Lixiviât Composite A 13BE101	Lixiviât Composite B 13BE102	Lixiviât Composite C 13BE103	SYPREA To à T5 13BE136
ref ISA	14/00764	14/00765	14/00760	14/00761	14/00762	14/763
Acetaminophen					853.8 ± 128	
Atenolol						
Azithromycine						
17beta-estradiol						
Carbamazepine					8.9 ± 1.1	
Ciprofloxacin			7.3 ± 3.1			
Domperidone						
Escitalopram						
Estrone						
Flumequine						
Gemfibrozil						
Glybencyclamide						
Hydrochlorothiazide						
Ibuprofen						
Ketoprofen						
Lidocaine				3.8 ± 0.5	6.1 ± 0.7	<LQ
Miconazole						
Norfloxacin						
Ofloxacin			2.9 ± 0.2			16.2 ± 1.4
Propranolol						
Spiramycin						
Sulfamethoxazole						
Tetracycline						
Tramadol			5.7 ± 1.3	6.3 ± 1.4	8.7 ± 2	
Triclocarban						
Trimethoprim						
Verapamil					2.2 ± 0.2	

-----FIN DU RAPPORT-----

Annexe 9.a : Culture plein champ colza

Substances	Boue STEP 14						Apport moyen	Colza						Boue STEP 20			Apport moyen	Colza	
	LQ (sols)	LQ (vgtx)	Moy. 4 camp.	Min	Max	Parc. 001 (ratio 6,7 tMF/ha)		Parc. Etrepilly Q (ratio 9,7 tMF/ha)		Parc. 023 (ratio 6,7 tMF/ha)		Moy. 4 camp.	Min	Max	13AQ396	13AV602			
						Sols		Végétaux	Sols	Végétaux	Sols							Végétaux	
ganoétains (µg Sn/kg)																			
TBT	2	1	123	107	137	1,3E-01	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	55	49	59	8,2E-02	<LQ	<LQ	
MBT	1	2	17	15	19	1,8E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	16	15	17	2,3E-02	<LQ	<LQ	
DBT	1	1	3	<LQ	5	3,6E-03	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5	4	5	6,9E-03	<LQ	<LQ	
TPHT	2	2	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	
Chloroaniline (µg/g)																			
	1,2	3	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	
HAP (ng/g)																			
Naphtalène	2	2	81	52	123	0,1	<LQ	3,3	4	4,2	<LQ	22,0	2	<LQ	7	2,6E-03	3	2,1	
Méthyl 2 Naphtalène	2	4	725	396	1462	0,8	<LQ	<LQ	7	<LQ	<LQ	<LQ	36	36	57	5,4E-02	5	<LQ	
Acénaphthène	2	2	61	30	79	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	44	<LQ	166	6,5E-02	<LQ	<LQ	
Fluorène	2	4	255	220	303	0,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	8	6	10	1,2E-02	<LQ	<LQ	
Phénanthrène	2	2	1033	984	1124	1,1	<LQ	<LQ	14	<LQ	<LQ	<LQ	68	43	117	1,0E-01	7	<LQ	
Anthracène	2	2	94	85	105	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	9	6	14	1,3E-02	<LQ	<LQ	
Fluoranthène	2	2	885	831	940	0,9	<LQ	<LQ	30	<LQ	<LQ	<LQ	162	119	205	2,4E-01	15	<LQ	
Pyrène	2	2	885	852	943	0,9	<LQ	<LQ	26	<LQ	<LQ	<LQ	218	179	274	3,2E-01	12	<LQ	
Méthyl 2 Fluoranthène	2	2	27	20	38	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3	<LQ	5	4,8E-03	<LQ	<LQ	
B(a)A	2	2	262	217	326	0,3	<LQ	<LQ	15	<LQ	<LQ	<LQ	86	76	92	1,3E-01	6	<LQ	
Chrysène	2	2	394	265	454	0,4	<LQ	<LQ	19	<LQ	<LQ	<LQ	126	93	165	1,9E-01	8	<LQ	
6 méthyl chrysène	2	2	10	<LQ	20	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3	2	3	4,1E-03	<LQ	<LQ	
B(e)P	2	2	325	248	385	0,3	<LQ	<LQ	23	<LQ	<LQ	<LQ	171	153	194	2,5E-01	<LQ	<LQ	
B(b)F	2	4	334	281	388	0,4	<LQ	<LQ	21	<LQ	<LQ	<LQ	133	120	150	2,0E-01	8	<LQ	
B(k)F	2	2	148	137	163	0,2	<LQ	<LQ	11	<LQ	<LQ	<LQ	65	57	80	9,6E-02	4	<LQ	
B(a)P	2	2	225	207	247	0,2	<LQ	<LQ	19	<LQ	<LQ	<LQ	133	118	168	2,0E-01	7	<LQ	
D(a,h)A	2	4	42	37	48	0,0	<LQ	<LQ	4	<LQ	<LQ	<LQ	22	18	26	3,3E-02	<LQ	<LQ	
B(g,h,i)P	2	2	197	159	231	0,2	<LQ	<LQ	18	<LQ	<LQ	<LQ	131	117	164	1,9E-01	<LQ	<LQ	
In (1,2,3,cd)P	4	2	151	78	183	0,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	90	11	140	1,3E-01	<LQ	<LQ	
Coronène	2	2	67	<LQ	226+	0,1	<LQ	<LQ	5	<LQ	<LQ	<LQ	14	7	20	2,0E-02	<LQ	<LQ	
Acénaphthylène	4	10	1	<LQ	5	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	
B(j)F	10	4	160	152	169	0,2	<LQ	<LQ	15	<LQ	22	<LQ	64	58	82	9,5E-02	<LQ	<LQ	
1 méthyl chrysène	2	2	41	32	54	0,0	<LQ	<LQ	5	<LQ	5	<LQ	14	9	21	2,0E-02	<LQ	<LQ	
Pérylène	2	2	53	48	55	0,1	<LQ	<LQ	7	<LQ	4	<LQ	24	10	42	3,5E-02	2	<LQ	
TOTAL			6454	5331	7845	6,9	0	3,3	243	4,2	31	22,0	1624	1238	2202	2,40	77	2,1	
Phénols (ng/g)																			
Phénol	2,4	1,2	20225	9500	33600	22	<LQ	<LQ	3,3	<LQ	3,3	24,5	378	110	660	0,56	4,6	<LQ	
m + p crésol	2,4	1,2	210500	180000	263000	224	<LQ	4,5	7,8	<LQ	4,3	<LQ	7888	680	19800	11,68	1,4	<LQ	
o-crésol	2,4	3	20	nd	39	0,02	<LQ	10,8	<LQ	11,9	<LQ	70,8	14	3	34	0,02	<LQ	<LQ	
TOTAL			230745	189500	296639	246	0	15,3	11,1	11,9	7,6	95,3	8279	793,2	20494	12,3	6	0	
Pharmaceutiques (ng/g de MS)																			
Carbamazépine	0,1	1	12	9	25	1,3E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	17	8	24	2,5E-02	nd	nd	
Sulfaméthoxazole	5	40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9	<LQ	17	1,4E-02	nd	nd	
Ketoprofen	5	1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8,6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Propriolol	5	40	238	169	323	2,5E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	122	107	151	1,8E-01	nd	nd	
Tramadol	0,1	5	17	3	22	1,8E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	42	18	61	6,2E-02	nd	nd	
Norfloxacine	40	200	2084	1600	2799	2,2E+00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1333	138	2706	2,0E+00	nd	nd	
Escitalopram	0,1	1	83	nd	164	8,8E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	156	93	199	2,3E-01	nd	nd	
Ciprofloxacine	40	5	733	37	2564	7,8E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1234	26	3222	1,8E+00	nd	nd	
Ofloxacine	5	100	2132	324	6575	2,3E+00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2127	220	4674	3,2E+00	nd	nd	
Domperidone	0,5	5	84	25	214	8,9E-02	nd	nd	<LQ	nd	nd	nd	268	157	458	4,0E-01	nd	nd	
Verapamil	5	2	140	159	237	1,5E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	121	77	170	1,8E-01	nd	nd	
Acetaminophen	5	40	491	412	588	5,2E-01	11,76	nd	nd	nd	nd	95,1	12	nd	29	1,8E-02	nd	nd	
Atenolol	10	40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Lidocaine	0,1	10	44	32	53	4,7E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5	nd	8	7,4E-03	nd	nd	
Triméthoprim	0,5	500	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Tétracycline	5	40	24	nd	47	2,6E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	127	29	224	1,9E-01	nd	nd	
Azithromycine	10	5	2	nd	7	1,9E-03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	76	31	133	1,1E-01	nd	nd	
Spiramycin	10	40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	15	nd	59	2,2E-02	nd	nd	
Flumequine	0,5	5	17	nd	40	1,8E-02	3,76	nd	3,82	nd	nd	nd	2	nd	7	2,6E-03	nd	nd	
Glybenclamide	5	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2	9	9	3,3E-03	nd	nd	
Miconazole	5	2	7	nd	14	7,5E-03	nd	nd	36,17	nd	nd	nd	14	5	28	2,0E-02	nd	nd	
Ibuprofen	0,5	nd	213	119	413	2,3E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Hydrochlorothiazide	5	nd	6	nd	22	5,9E-03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	339	nd	1356	5,0E-01	nd	nd	
Gemfibrozil	0,5	10	12	nd	25	1,2E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	235	nd	940	3,5E-01	nd	nd	
17 beta estradiol	5	40	4	nd	14	3,7E-03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Estrone	5	nd	165	<LQ	286	1,8E-01	<LQ	nd	nd	nd	nd	nd	8	nd	28	1,1E-02	nd	nd	
Trilocarban	5	1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Amoxicillin	20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Bromadiolone	1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Cefoperazone	25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Diatrizote	100	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
EE2 Ethynilestradiol	33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Fluorouracil	10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Ivermectin	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<LQ	nd	5	1,9E-03	nd	nd	
Loratidine	4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1	nd	5	1,9E-03	nd	nd	

Annexe 9.b : Culture plein champ blé

Annexe 9.c : Culture plein champ pomme-de-terre

Substances	Boue STEP 7						Pomme De Terre							
	LQ (sols)	LQ(vgtx)	Moy. 4 camp.	Min	Max	Apport moyen	AL-015 (ratio 4,3 tMF/ha)		AN-001 (ratio 3,8 tMF/ha)		AL-023 (4,3 tMF/ha)		AL-024 (3,6 tMF/ha)	
							Sols	Végétaux	Sols	Végétaux	Sols	Végétaux	Sols	Végétaux
	13AQ392	13BE090	13AQ393	13BE089	13AQ394	13BE091	13AQ395	13BE092						
Organoétains (µg Sn /kg)														
TBT	2	1	65	61	68	5,9E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MBT	1	4	32	30	34	2,9E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
DBT	1	1	3	2,7	3,6	2,7E-03	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
TPHT	1	2	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Chloroaniline (µg/g)														
	1,2	1,2	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
HAP (ng/g)														
Naphtalène	2	2	13	9	15	1,2E-02	<LQ	<LQ	22	<LQ	8	<LQ	16	<LQ
Méthyl 2 Naphtalène	2	2	93	36	170	8,3E-02	<LQ	<LQ	76	<LQ	<LQ	<LQ	87	<LQ
Acénaphthène	2	2	4	<LQ	8	3,4E-03	<LQ	8	6	9	<LQ	7	12	8
Fluorène	2	2	18	12	23	1,6E-02	<LQ	<LQ	4	<LQ	<LQ	<LQ	12	<LQ
Phénanthrène	4	2	129	98	147	1,2E-01	<LQ	<LQ	57	<LQ	<LQ	<LQ	210	<LQ
Anthracène	2	2	23	19	29	2,0E-02	<LQ	<LQ	7	<LQ	<LQ	<LQ	30	<LQ
Fluoranthène	2	2	367	246	490	3,3E-01	<LQ	<LQ	97	<LQ	80	<LQ	322	<LQ
Pyrène	2	2	381	250	537	3,4E-01	37	250	76	<LQ	55	<LQ	283	<LQ
Méthyl 2 Fluoranthène	2	2	23	19	27	2,1E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	19	<LQ
B(a)A	2	2	231	158	287	2,1E-01	24	<LQ	50	<LQ	39	<LQ	148	<LQ
Chrysène	2	2	313	228	391	2,8E-01	30	<LQ	60	<LQ	54	<LQ	179	<LQ
6 méthyl chrysène	2	2	7	4	10	6,3E-03	<LQ	<LQ	2	<LQ	<LQ	<LQ	3	<LQ
B(e)P	4	2	387	291	484	3,5E-01	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	224	<LQ
B(b)F	2	2	474	347	606	4,3E-01	<LQ	<LQ	54	<LQ	<LQ	<LQ	147	<LQ
B(k)F	2	2	195	147	243	1,8E-01	<LQ	<LQ	29	<LQ	<LQ	<LQ	70	<LQ
B(a)P	2	2	334	253	433	3,0E-01	<LQ	<LQ	51	<LQ	<LQ	<LQ	141	<LQ
D(a,h)A	2	2	76	66	91	6,8E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	21	<LQ
B(g,h,i)P	2	2	317	195	414	2,8E-01	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	93	<LQ
In [1,2,3,cd]P	4	2	232	54	460	2,1E-01	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Coronène	2	2	27	22	33	2,4E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12	<LQ
Acénaphthylène	4	4	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	266 (interf.)	<LQ	1573 (interf.)	<LQ	1077 (interf.)	<LQ	268 (interf.)
B(j)F	4	10	194	155	239	1,7E-01	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	22	<LQ	77	<LQ
1 méthyl chrysène	2	2	25	14	34	2,3E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	14	<LQ	47	<LQ
Pérylène	2	2	91	74	111	8,2E-02	4	<LQ	11	<LQ	8	<LQ	33	<LQ
TOTAL			3951	2697	5282	4	95	8	602	9	280	7	2186	8
Phénols (ng/g)														
Phénol	2,4	2,4	793	320	1720	7,1E-01	2,2	<LQ	7,2	<LQ	<LQ	<LQ	5,3	<LQ
m + p crésol	2,4	2,4	2250	460	3910	2,0E+00	10,5	<LQ	20,8	<LQ	24,7	<LQ	18	<LQ
o-crésol	2,4	2,4	25	5	39	2,2E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
TOTAL			3067	785	5669	3	12,7	0	28	0	24,7	0	23,3	0
Pharmaceutiques (ng/g de MS)														
Carbamazepine	0,1	0,5	40	15	96	3,6E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sulfaméthoxazole	5	0,5	16	11	22	1,4E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ketoprofen	5	10				0,0E+00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Propranolol	5	1	204	149	238	1,8E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tramadol	0,1	1	72	43	99	6,5E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Norfloxacine	40	1	189	19	414	1,7E-01	nd	nd	nd	nd	<LQ	nd	nd	nd
Escitalopram	0,1	5	140	<LQ	259	1,3E-01	nd	nd	3,12	nd	nd	nd	3,1	nd
Ciprofloxacine	40	10	245	19	421	2,2E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ofloxacine	5	10	246	31	484	2,2E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Domperidone	0,5	10	262	<LQ	382	2,4E-01	3,66	<LQ	<LQ	nd	nd	nd	3,34	nd
Verapamil	5	5	140	98	176	1,3E-01	<LQ	nd	<LQ	nd	nd	nd	<LQ	nd
Acetaminophen	5	10	54	nd	74	4,8E-02	nd	nd	21,27	nd	nd	nd	nd	nd
Atenolol	10	10				0,0E+00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Lidocaïne	0,1	1	12	6	21	1,1E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<LQ	nd
Triméthoprim	0,5	1				0,0E+00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tétracycline	5	10	160	26	254	1,4E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Azithromycine	10	5	219	95	417	2,0E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Spiramycine	10	5	15	<LQ	60	1,4E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Flumequine	0,5	0,5	8	nd	30	6,8E-03	3,99	nd	nd	<LQ	nd	nd	3,93	nd
Glybencyclamide	5	5	2	nd	9	2,0E-03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Miconazole	5	1	11	4	18	1,0E-02	<LQ	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ibuprofène	0,5	1	207	nd	801	1,9E-01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hydrochlorothiazide	5	40	19	nd	77	1,7E-02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Gemfibrozil	0,5	0,5	11	nd	23	9,7E-03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
17 beta estradiol	5	5	2	nd	7	1,6E-03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Estrone	5	40	11	nd	34	9,9E-03	14,49	nd	12,23	nd	11,71	nd	<LQ	nd
Triclocarban	5	10					nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Amoxicilline	20		nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Bromadiolone	1		nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cefoperazone	25		nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Diatrizolate	100		nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
EE2 Ethynilestradiol	33		nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluorouracil	10		nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ivermectine	6		nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Loratidine	4		nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nordiazepam	0,2		0	nd	0,6	2,0E-04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL			2282	516	4417	2	22,1	0,0	36,6	0,0	11,7	0,0	10,4	0,0
PBDE (ng/g)														
BDE28	0,05	0,1	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
BDE47	0,05	0,1	32	22	40	2,9E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
BDE100	0,05	0,1	39	26	49	3,5E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
BDE99	0,05	0,1	3	6	7	2,9E-03	0,16	<LQ	0,3	<LQ	0,07	<LQ	<LQ	<LQ
BDE154	0,05	0,1	2	<LQ	8	1,8E-03	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
BDE153	0,05	0,1	3	<LQ	5	3,0E-03	0,04	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	<LQ
BDE183	0,05	0,1	2	<LQ	5	1,7E-03	<LQ	0,10	<LQ	0,18	<LQ	<LQ	0,03	0,10
BDE207	0,5	1	41	18	97	3,7E-02	<LQ	1,10	<LQ	1,30	<LQ	5,00	<LQ	1,50
BDE209	0,5	1	1369	832	1900	1,2E+00	6,7	<LQ	1,41	1,00	2,47	<LQ	1,83	1,00
TOTAL			1491	904	2110	1,3	6,90	1,20	1,71	2,48	2,54	5,00	1,89	2,60
Perfluoroalkylés (ng/g)														
PFOA	27	27	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PFOS	33	33	50	36	72	4,5E-02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
TOTAL			50	35,9	72	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
COV (ng/g)														
Octane	0,31		0,8	nd	1,5	7,2E-04	<LQ		<LQ		<LQ		<LQ	
Cyclohexane	0,43		0,2	nd	0,8	1,8E-04	<LQ		<LQ		<LQ		<LQ	
Styrène	0,41		0,4	nd	0,9	3,8E-04	<LQ		<LQ		<LQ		<LQ	
Nonane	0,26		5,2	<LQ	19,0	4,6E-03	<LQ		<LQ		<LQ		0,3	
Cyclododécane	0,56		1,6	nd	6,3	1,4E-03	<LQ		<LQ		<LQ		<LQ	
diphényléther	0,3		nd	nd	nd		<LQ		<LQ		<LQ		<LQ	
TOTAL			8,2	0,0	28,5	0,01	0	0	0	0	0	0	0,3	0
Hygiène et soin (µg/g)														
galaxolide	0,8	0,8	<LQ	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Σ cholestènes	1,8	1,8	4175	2900	6200	3,8E+00	<LQ	22	<LQ	41	<LQ	17	<LQ	37
TOTAL			4175	2900	6200	3,8	0	22	0	41	0	17	0 </	

Annexe 10 : Culture phytotron blé

Annexe 11 : Calcul BCF détaillé

		BCF sur PARCELLES														
		Pomme de Terre					Blé					Colza				
		BCF AL015	BCF AN001	BCF AL023	BCF AL024	BCF moyen	BCF 001	BCF 007	BCF I	BCF 001-M	BCF moyen	BCF 001	BCF Q	BCF 023	BCF 11-04	BCF moyen
OTC	TBT					x					x					x
	MBT					x					x					x
	DBT					x					x					x
	TPhT					x					x					x
	Chloroaniline					x					x					x
HAP	Naphtalène					x	1,26	0,66	0,39	0,00	5,8E-01	1,64	1,06	10,98	0,70	4,6E+00
	Méthyl 2 Naphtalène					x	0,46	1,39	0,37	0,95	7,9E-01					x
	Acénaphthène	4,00	1,50	3,50	0,67	2,4E+00					x					x
	Fluorène					x					x					x
	Phénanthrène					x					x					x
	Anthracène					x					x					x
	Fluoranthène					x					x					x
	Pyrène					x	0,00	0,28	0,05	0,56	2,2E-01					x
	Méthyl 2 Fluoranthène					x	3,99	6,17	4,38	5,09	4,9E+00					x
	B(a)A					x					x					x
	Chrysène					x					x					x
	6 méthyl chrysène					x					x					x
	B(e)P					x					x					x
	B(b)F					x					x					x
	B(k)F					x					x					x
	B(a)P					x					x					x
	D(a,h)A					x					x					x
	B(g,h,i)P					x					x					x
	In (1,2,3,cd)P					x					x					x
	Coronène					x					x					x
	Acénaphthylène					x					x					x
	B(j)F					x					x					x
	1 méthyl chrysène					x					x					x
Pérylène					x					x					x	
Phénols	Phénol					x					x	0,00	0,00	7,42	0,00	2,5E+00
	m + p crésol					x					x	3,72	0,00	0,00	0,00	1,2E+00
	o-crésol					x					x	3,60	3,96	23,60	0,00	1,0E+01
Pharmaceutiques	Carbamazépine					x					x					x
	Sulfaméthoxazole					x					x					x
	Ketoprofen					x					x	0,00	0,00	8,60	0,00	2,9E+00
	Propranolol					x					x					x
	Tramadol					x					x					x
	Norfloxacine					x					x					x
	Escitalopram					x					x					x
	Ciprofloxacine					x					x					x
	Ofloxacine					x					x					x
	Domperidone					x					x					x
	Verapamil					x					x					x
	Acetaminophen					x					x	0,00	0,00	2,38	0,00	7,9E-01
	Atenolol					x					x					x
	Lidocaïne					x					x					x
	Triméthoprim					x					x					x
	Tétracycline					x					x					x
	Azithromycine					x					x					x
	Spiramycine					x					x					x
	Flumequine					x					x					x
	Glybencyclamide					x					x					x
Miconazole					x	0,00	0,00	0,29	0,00	7,2E-02					x	
Ibuprofène					x					x					x	
Hydrochlorothiazide					x					x					x	
Gemfibrozil					x					x					x	
17 beta estradiol					x					x					x	
Estrone					x					x					x	
Triclocarban					x					x					x	
PDBEs	BDE28					x					x					x
	BDE47					x					x					x
	BDE100					x					x					x
	BDE99					x					x					x
	BDE154					x					x					x
	BDE153					x					x					x
	BDE183					x					x					x
	BDE207					x					x					x
BDE209	0,17	1,45	1,97	1,38	1,2E+00					x	5,37	0,00	0,65	0,00	2,0E+00	
PFOS	PFOA					x					x					x
	PFOS					x					x					x
Soin	galaxolide					x					x					x
	Σ cholestènes	<i>non concerné</i>					<i>non concerné</i>					<i>non concerné</i>				
Alkylphénols	4NP					x					x	217,7	144,4	130,3	0,00	1,6E+02
	4nOP					x					x					x
	4nNP					x					x					x
	BPA					x	33,11	25,94	77,73	26,39	4,1E+01					x
2,3,4 NP					x					x	246,5	142,3	95,3	0,00	1,6E+02	

Xx Substance ayant au moins un BCF expérimental

Pas de données exploitées

R1,R2,... Réplicat 1, Réplicat 2,...

BCF Bioconcentration Factor

Xx BCF estimé avec la LQ

Xx BCF moyen

Xx BCF moyen calculé avec BCF estimé

non concerné: le cholestène est un produit métabolisé par les végétaux

		BCF sur PHYTOTRON											
		STEP7				STEP14				STEP25			
		BCF R1	BCF R2	BCF R3	BCF moyen	BCF R1	BCF R2	BCF R3	BCF moyen	BCF R1	BCF R2	BCF R3	BCF moyen
OTC	TBT				x				x				x
	MBT				x				x				x
	DBT				x				x				x
	TPhT				x				x				x
HAP	Chloroaniline				x				x				x
	Naphtalène				x	0,03	0,04	0,00	2,4E-02				x
	Méthyl 2 Naphtalène	0,02	0,00	0,01	1,1E-02	0,00	0,00	3,13	1,0E+00	0,01	0,01	0,01	7,3E-03
	Acénaphtène				x				x				x
	Fluorène	0,03	0,00	0,00	1,1E-02				x				x
	Phénanthrène	0,00	0,00	0,00	3,7E-04				x				x
	Anthracène				x				x				x
	Fluoranthène				x				x				x
	Pyrène	0,00	0,00	0,00	6,8E-04				x	0,00	0,00	0,00	8,5E-04
	Méthyl 2 Fluoranthène	4,09	0,02	0,04	1,4E+00	0,03	1,34	2,27	1,2E+00	0,06	0,02	1,36	4,8E-01
	B(a)A				x				x				x
	Chrysène				x				x				x
	6 méthyl chrysène				x				x				x
	B(e)P				x				x				x
	B(b)F				x				x				x
	B(k)F				x				x				x
	B(a)P				x				x				x
	D(a,h)A				x				x				x
	B(g,h,i)P				x				x				x
	In (1,2,3,cd)P				x				x				x
	Coronène				x				x				x
Acénaphthylène				x				x				x	
B(j)F				x				x				x	
1 méthyl chrysène				x				x				x	
Pérylène				x				x				x	
Phénols	Phénol				x	0,00	0,00	0,16	5,3E-02				x
	m + p crésol				x				x				x
	o-crésol				x				x				x
Pharmaceutiques	Carbamazépine				x				x				x
	Sulfaméthoxazole				x				x				x
	Ketoprofen				x				x				x
	Propranolol				x				x				x
	Tramadol				x				x				x
	Norfloxacine				x				x				x
	Escitalopram				x				x				x
	Ciprofloxacine				x				x				x
	Ofloxacine				x				x				x
	Domperidone				x				x				x
	Verapamil				x				x				x
	Acétaminophen				x				x				x
	Atenolol				x				x				x
	Lidocaïne				x				x				x
	Triméthoprim				x				x				x
	Tétracycline				x				x				x
	Azithromycine				x				x				x
	Spiramycine				x				x				x
	Flumequine				x				x				x
	Glybencyclamide				x				x				x
Miconazole	1,88	0,00	0,00	6,3E-01				x				x	
Ibuprofen				x				x				x	
Hydrochlorothiazide				x				x				x	
Gemfibrozil				x				x				x	
17 beta estradiol				x				x				x	
Estrone				x				x				x	
Triclocarban				x				x				x	
PDBES	BDE28				x				x				x
	BDE47				x				x				x
	BDE100				x				x				x
	BDE99				x				x				x
	BDE154				x				x				x
	BDE153				x				x				x
	BDE183				x				x				x
	BDE207				x				x				x
BDE209				x	1,76	0,00	1,24	1,5E+00	0,79	1,83	0,00	1,3E+00	
PFOs	PFOA				x				x				x
	PFOS				x				x				x
Soin	galaxolide				x				x				x
	Σ cholestènes	<i>non concerné</i>				<i>non concerné</i>				<i>non concerné</i>			
Alkylphénols	4NP				x				x	0,00	0,00	34,10	1,1E+01
	4nOP				x				x				x
	4nNP				x				x				x
	BPA	0,00	0,00	48,89	1,6E+01	4,15	19,56	11,30	1,2E+01	10,27	11,34	14,60	1,2E+01
2,3,4 NP	0,00	13,12	0,00	4,4E+00				x	0,00	0,00	34,89	1,2E+01	

Xx Substance ayant au moins un BCF expérimental

Pas de données exploitées

R1,R2,... Réplicat 1, Réplicat 2,...

BCF Bioconcentration Factor

Xx BCF estimé avec la LQ

Xx BCF moyen

Xx BCF moyen calculé avec BCF estimé

non concerné: le cholestène est un produit métabolisé par les végétaux

Annexe 12 : Calcul BCF et comparaison avec calcul sur Kow

n° CAS		BCF retenus étape 5								
		Pomme de Terre			Colza			Blé		
		Dét. sol	Dét. Vgtx	BCF global plein champ	Dét. sol	Dét. Vgtx	BCF global plein champ	Dét. sol	Dét. Vgtx	BCF phyto/ BCF plein champ
Organoétains										
56-35-9	TBT	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
78763-54-9	MBT	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
1002-53-5	DBT	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
668-34-8	TPhT	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
Chloroaniline										
106-47-8	Chloroaniline	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
HAP										
91-20-3	Naphtalène	3/4	0/4	x	2/4	4/4	4,6E+00	11/13	5/13	2,4E-02
91-57-6	Méthyl 2 Naphtalène	2/4	0/4	x	2/4	0/4	x	12/13	12/13	1,1E-02
83-32-9	Acénaphthène	2/4	4/4	2,4E+00	0/4	0/4	x	7/13	0/13	x
86-73-7	Fluorène	2/4	0/4	x	0/4	0/4	x	9/13	1/13	1,1E-02
85-01-8	Phénanthrène	2/4	0/4	x	2/4	0/4	x	13/13	1/13	3,7E-04
120-12-7	Anthracène	2/4	0/4	x	0/4	0/4	x	11/13	0/13	x
206-44-0	Fluoranthène	3/4	0/4	x	2/4	0/4	x	13/13	0/13	x
129-00-0	Pyrène	4/4	0/4	x	2/4	0/4	x	13/13	9/13	8,5E-04
33543-31-6	Méthyl 2 Fluoranthène	1/4	0/4	x	0/4	0/4	x	5/13	13/13	1,4E+00
56-55-3	B(a)A	4/4	0/4	x	2/4	0/4	x	12/13	0/13	x
218-01-9	Chrysène	4/4	0/4	x	2/4	0/4	x	12/13	0/13	x
1705-85-7	6 méthyl chrysène	2/4	0/4	x	0/4	0/4	x	1/13	0/13	x
192-97-2	B(e)P	1/4	0/4	x	1/4	0/4	x	12/13	0/13	x
205-99-2	B(b)F	2/4	0/4	x	2/4	0/4	x	12/13	0/13	x
207-08-9	B(k)F	2/4	0/4	x	2/4	0/4	x	12/13	0/13	x
50-32-8	B(a)P	2/4	0/4	x	2/4	0/4	x	12/13	0/13	x
53-70-3	D(a,h)A	1/4	0/4	x	1/4	0/4	x	10/13	0/13	x
191-24-2	B(g,h,i)P	1/4	0/4	x	1/4	0/4	x	11/13	0/13	x
193-39-5	In (1,2,3,cd)P	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	11/13	0/13	x
191-07-1	Coronène	1/4	0/4	x	1/4	0/4	x	10/13	0/13	x
208-96-8	Acénaphthylène	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	7/13	0/13	x
205-82-3	B(j)F	2/4	0/4	x	2/4	0/4	x	9/13	0/13	x
3351-28-8	1 méthyl chrysène	2/4	0/4	x	2/4	0/4	x	9/13	0/13	x
198-55-0	Pérylène	4/4	0/4	x	3/4	0/4	x	12/13	0/13	x
Phénols										
108-95-2	Phénol	3/4	0/4	x	3/4	1/4	2,5E+00	12/13	1/13	5,3E-02
108-39-4	m + p crésol	4/4	0/4	x	3/4	1/4	1,2E+00	10/13	0/13	x
95-48-7	o-crésol	0/4	0/4	x	0/4	3/4	1,0E+01	0/13	0/13	x
Pharmaceutiques										
298-46-4	Carbamazépine	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
723-46-6	Sulfaméthoxazole	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
22071-15-4	Ketoprofen	0/4	0/4	x	0/4	1/4	2,9E+00	0/13	0/13	x
525-66-6	Propranolol	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
27203-92-5	Tramadol	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
70458-96-7	Norfloxacine	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	1/13	0/13	x
128196-01-0	Escitalopram	2/4	0/4	x	0/4	0/4	x	7/13	0/13	x
85721-33-1	Ciprofloxacine	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
82419-36-1	Ofloxacine	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
57808-66-9	Domperidone	2/4	0/4	x	0/4	0/4	x	7/13	0/13	x
52-53-9	Verapamil	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
103-90-2	Acetaminophen	1/4	0/4	x	1/4	1/4	7,9E-01	2/13	0/13	x
29122-68-7	Atenolol	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
137-58-6	Lidocaïne	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
738-70-5	Triméthoprim	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
60-54-8	Tétracycline	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
83905-01-5	Azithromycine	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
8025-81-8	Spiramycine	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
42835-25-6	Flumequine	2/4	0/4	x	2/4	0/4	x	2/13	0/13	x
10238-21-8	Glybencyclamide	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
22916-47-8	Miconazole	0/4	0/4	x	1/4	0/4	x	3/13	2/13	7,2E-02
15687-27-1	Ibuprofen	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
58-93-5	Hydrochlorothiazide	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
25812-30-0	Gemfibrozil	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
50-28-2	17 beta estradiol	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	1/13	0/13	x
53-16-7	Estrone	3/4	0/4	x	0/4	0/4	x	4/13	0/13	x
101-20-2	Triclocarban	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	5/13	0/13	x
26787-78-0	Amoxicilline	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
28772-56-7	Bromadiolone	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
62893-19-0	Cefoperazone	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
117-96-4	Diatrizote	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
57-63-6	EE2 Ethynilestradiol	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
51-21-8	Fluorouracil	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
70288-86-7	Ivermectine	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
79794-75-5	Loratidine	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
1088-11-5	Nordiazepam	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
PBDE										
49690-94-0	BDE28	0/4	0/4		0/4	1/4		0/13	0/13	
5436-43-1	BDE47	0/4	0/4		1/4	2/4		10/13	0/13	
189084-64-8	BDE100	0/4	0/4		0/4	0/4		2/13	0/13	
60348-60-9	BDE99	3/4	0/4	BCF famille ci-dessous	3/4	0/4	BCF famille ci-dessous	11/13	0/13	BCF famille ci-dessous
207122-15-4	BDE154	0/4	0/4		2/4	0/4		3/13	0/13	
68631-49-2	BDE153	2/4	0/4		2/4	0/4		7/13	0/13	
207122-16-5	BDE183	1/4	3/4		2/4	0/4		11/13	0/13	
32536-52-0	BDE207	0/4	4/4		1/4	0/4		4/13	0/13	
1163-19-5	BDE209	4/4	2/4	1,2E+00	4/4	0/4	2,0E+00	13/13	4/13	1,5E+00
Perfluoroalkylés										
335-67-1	PFOA	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
45298-90-6	PFOS	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
COV										
111-65-9	Octane	0/4	/	/	0/4	/	/	0/13	/	/
110-82-7	Cyclohexane	0/4	/	/	0/4	/	/	0/13	/	/
100-42-5	Styrène	0/4	/	/	0/4	/	/	0/13	/	/
111-84-2	Nonane	1/4	/	/	1/4	/	/	1/13	/	/
294-62-2	Cyclododécane	0/4	/	/	0/4	/	/	0/13	/	/
101-84-8	diphényléther	0/4	/	/	0/4	/	/	0/13	/	/
Hygiène et soin										
1222-05-5	galaxolide	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	0/13	0/13	x
570-74-1	cholestène	0/4	4/4	non concerné	0/4	4/4	non concerné	9/13	13/13	non concerné
Alkylphénols										
25154-52-3	4NP	2/4	0/4	x	2/4	3/4	1,6E+02	1/13	1/13	1,1E+01
1806-26-4	4nOP	0/4	0/4	x	1/4	0/4	x	2/13	0/13	x
104-40-5	4nNP	0/4	0/4	x	0/4	0/4	x	4/13	0/13	x
80-05-7	BPA	3/4	0/4	x	4/4	0/4	x	13/13	11/13	1,6E+01
84852-15-3	2,3,4 NP	2/4	0/4	x	2/4	3/4	1,6E+02	2/13	2/13	1,2E+01
117-81-7	DEHP	Non étudié								
3268-87-9	OCDD									
35822-46-9	HpCDD									
1336-36-3	PCB indic									

substance	Substance pour laquelle un BCF est déterminé
valeur	BCF expérimental mesuré
valeur	BCF expérimental estimé en considérant la LQ de la substance dans le sol lorsque celle-ci est détecté dans le végétal
valeur	BCF global issu des mesures plein champ - pour le blé
x	Aucun calcul de BCF (aucune détection de la substance dans végétal)
0/4	Nombre de fois où la substance est quantifiée dans la matrice considérée
Dét.	Quantification des substances dans les matrices considérées (sol ou végétal)

Coefficient de partition octanol/eau = Kow					
log Kow min	log Kow max	Source Kow	Transfert max	Transfert min	BCF max avec validité log Kow
Organoétains					
3,19	3,84	INERIS 2005	5,55E-01	2,34E-01	5,55E-01
3,31		US EPA 2011	4,73E-01		4,73E-01
1,49		US EPA 2011	5,33E+00		5,33E+00
6,58		US EPA 2011	6,09E-03		6,09E-03
Chloroaniline					
1,83		INERIS 2011	3,39E+00		3,39E+00
HAP					
3,70		ECB 2003	2,81E-01		2,8E-01
3,86	4,00	US EPA 2011	2,27E-01	1,89E-01	2,3E-01
3,92		US EPA 2011	2,10E-01		2,1E-01
4,18		US EPA 2011	1,49E-01		1,5E-01
4,46		US EPA 2011	1,02E-01		1,0E-01
3,45	4,80	INERIS 2005	3,93E-01	6,51E-02	3,9E-01
5,13	5,33	UE 2011	4,20E-02	3,22E-02	4,2E-02
4,88	5,23	US EPA 2011	5,85E-02	3,67E-02	5,9E-02
5,48		US EPA 2011	2,63E-02		2,6E-02
5,66	5,76	US EPA 2011	2,07E-02	1,81E-02	2,1E-02
5,81		US EPA 2011	1,70E-02		1,7E-02
6,07		US EPA 2011	1,20E-02		1,2E-02
6,44		US EPA 2011	7,34E-03		7,3E-03
5,78	6,57	US EPA 2011	1,77E-02	6,17E-03	1,8E-02
6					

Annexe 13 : Taux de dissipation dans les colonnes de sol

Annexe 14 : Temps de demi-vie et graphiques

Mois/an Période	STEP 14						STEP 7						STEP 25						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5	
Naphtalène	107	135	22	20	47	129	150	66	21	30	103	52	62	67	28	243	59	118	
[C] _i /[C] _e	1	1,26	0,21	0,19	0,44	1,21	1	0,44	0,14	0,20	0,69	0,35	1	1,08	0,45	3,92	0,95	1,90	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,2324	-1,582	-1,677	-0,823	0,187	0	-0,821	-1,966	-1,609	-0,376	-1,059	0	0,0776	-0,795	1,3659	-0,05	0,6436	
Tdissipation (an)		-2,789	9,4907	6,7084	2,468	-0,449		9,8518	11,797	6,4378	1,1277	2,5425		-0,931	4,7696	-5,464	0,1488	-1,545	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Méthyl 2 Naphtalène	1158	1465	227	471	1368	3189	1568	922	250	331	1554	1800	767	960	429	130	577	640	
[C] _i /[C] _e	1	1,2651	0,196	0,4067	1,1813	2,7539	1	0,588	0,1594	0,2111	0,9911	1,148	1	1,2516	0,5593	0,1695	0,7523	0,8344	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,2352	-1,629	-0,9	0,1667	1,013	0	-0,531	-1,836	-1,555	-0,009	0,138	0	0,2244	-0,581	-1,775	-0,285	-0,181	
Tdissipation (an)		-2,822	9,777	3,5984	-0,5	-2,431		6,3721	11,017	6,2218	0,0269	-0,331		-2,693	3,4862	7,0998	0,8539	0,4344	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Acénaphthène	49	45	13	29	51	116	58	41	11	15	64	93	32	36	21	44	22	28	
[C] _i /[C] _e	1	0,9184	0,2653	0,5918	1,0408	2,3673	1	0,7069	0,1897	0,2586	1,1034	1,6034	1	1,125	0,6563	1,375	0,6875	0,875	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	-0,085	-1,327	-0,525	0,04	0,8618	0	-0,347	-1,663	-1,352	0,0984	0,4722	0	0,1178	-0,421	0,3185	-0,375	-0,134	
Tdissipation (an)		1,0219	7,9612	2,0981	-0,12	-2,068		4,1625	9,9753	5,4096	-0,295	-1,133		-1,413	2,5273	-1,274	1,1241	0,3205	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Fluorène	299	337	56	125	289	735	349	250	63	76	367	326	186	250	105	234	112	154	
[C] _i /[C] _e	1	1,1271	0,1873	0,4181	0,9666	2,4582	1	0,7163	0,1805	0,2178	1,0516	0,9341	1	1,3441	0,5645	1,2581	0,6022	0,828	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,1196	-1,675	-0,872	-0,034	0,8994	0	-0,334	-1,712	-1,524	0,0503	-0,068	0	0,2957	-0,572	0,2296	-0,507	-0,189	
Tdissipation (an)		-1,436	10,051	3,4885	1,021	-2,159		4,0033	10,272	6,0974	-0,151	0,1636		-3,549	3,4307	-0,918	1,5217	0,4531	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Phénanthrène	3524	3916	1155	1774	3320	6891	4260	2647	1048	1427	3559	4057	2353	2733	1518	2859	1658	1890	
[C] _i /[C] _e	1	1,1112	0,3278	0,5034	0,9421	1,9554	1	0,6214	0,246	0,335	0,8354	0,9523	1	1,1615	0,6451	1,215	0,7046	0,8032	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,1055	-1,115	-0,686	-0,06	0,6706	0	-0,476	-1,402	-1,094	-0,18	-0,049	0	0,1497	-0,438	0,1948	-0,35	-0,219	
Tdissipation (an)		-1,266	6,693	2,7454	0,1789	-1,609		5,7101	8,4143	4,3748	0,5394	0,1172		-1,797	2,6298	-0,779	1,0502	0,5259	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Anthracène	329	434	104	192	403	768	370	333	98	127	371	446	177	300	138	219	154	169	
[C] _i /[C] _e	1	1,3191	0,3161	0,5836	1,2249	2,3343	1	1	0,9	0,2649	0,3432	1,0027	1,2054	1	1,6949	0,7797	1,2373	0,8701	0,9548
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,277	-1,152	-0,539	0,2029	0,8477	0	-0,105	-1,329	-1,069	0,0027	0,1868	0	0,5276	-0,249	0,2129	-0,139	-0,046	
Tdissipation (an)		-3,324	6,91	2,1542	-0,609	-2,035		1,2643	7,9712	4,2773	-0,008	-0,448		-6,332	1,4934	-0,852	0,4176	0,111	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Fluoranthène	4681	4871	2553	3059	4294	7113	5399	3674	2329	2849	4284	4920	3456	3691	2755	3781	1873	3230	
[C] _i /[C] _e	1	1,0406	0,5454	0,6535	0,9173	1,5195	1	0,6805	0,4314	0,5277	0,7935	0,9113	1	1,068	0,7972	1,094	0,542	0,9346	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,0398	-0,606	-0,425	-0,086	0,4184	0	-0,385	-0,841	-0,639	-0,231	-0,093	0	0,0658	-0,227	0,0899	-0,613	-0,068	
Tdissipation (an)		-0,477	3,6375	1,7017	0,2589	-1,004		4,6192	5,0446	2,557	0,694	0,223		-0,789	1,3602	-0,36	1,8377	0,1623	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Pyrène	3281	3523	1706	1959	2745	4430	3835	2703	1526	1862	2698	3003	2469	2642	1832	2353	1895	2077	
[C] _i /[C] _e	1	1,0738	0,52	0,5971	0,8366	1,3502	1	0,7048	0,3979	0,4855	0,7035	0,7831	1	1,0701	0,742	0,953	0,7675	0,8412	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,0712	-0,654	-0,516	-0,178	0,3003	0	-0,35	-0,922	-0,723	-0,352	-0,245	0	0,0677	-0,298	-0,048	-0,265	-0,173	
Tdissipation (an)		-0,854	3,924	2,0629	0,5351	-0,721		4,1977	5,5291	2,8901	1,055	0,5869		-0,813	1,7904	0,1925	0,7938	0,4149	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Méthyl 2 Fluoranthène	169	194	106	12	150	237	< LQ	< LQ	93	114	153	185	151	148	105	141	113	117	
[C] _i /[C] _e	1	1,1479	0,6272	0,071	0,8876	1,4024							1	0,9801	0,6954	0,9338	0,7483	0,7748	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,138	-0,466	-2,645	-0,119	0,3382							0	-0,02	-0,363	-0,069	-0,29	-0,255	
Tdissipation (an)		-1,656	2,7988	10,58	0,3578	-0,812								0,2408	2,1799	0,2741	0,8697	0,6123	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
B(a)A	1734	1777	889	1004	1432	2221	1919	1355	792	971	1375	1582	1307	1368	939	1181	961	1110	
[C] _i /[C] _e	1	1,0248	0,5127	0,579	0,8258	1,2809	1	0,7061	0,4127	0,506	0,7165	0,8244	1	1,0467	0,7184	0,9036	0,7353	0,8493	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,0245	-0,668	-0,546	-0,191	0,2475	0	-0,348	-0,885	-0,681	-0,333	-0,193	0	0,0456	-0,331	-0,101	-0,308	-0,163	
Tdissipation (an)		-0,294	4,0085	2,1858	0,5741	-0,594		4,176	5,31	2,7249	1,0001	0,4635		-0,547	1,9858	0,4055	0,9225	0,3921	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
Chrysène	1839	1775	1015	1123	1479	2227	2051	1403	877	1120	1469	1599	1394	1397	1052	1330	1040	1235	
[C] _i /[C] _e	1	0,9652	0,5519	0,6107	0,8042	1,211	1	0,6841	0,4276	0,5461	0,7162	0,7796	1	1,0022	0,7547	0,9541	0,7461	0,8859	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	-0,035	-0,594	-0,493	-0,218	0,1914	0	-0,38	-0,85	-0,605	-0,334	-0,249	0	0,0021	-0,281	-0,047	-0,293	-0,121	
Tdissipation (an)		0,4251	3,566	1,9729	0,6536	-0,459		4,5566	5,0975	2,42	1,0012	0,5975		-0,026	1,6889	0,188	0,8789	0,2907	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
B(e)P	1523	1464	1027	1045	1194	1945	1575	< LQ	961	1136	1373	1364	1153	1197	935	1179	975	1255	
[C] _i /[C] _e	1	0,9613	0,6743	0,6861	0,784	1,2771	1	Non Calculé	0,6102	0,7213	0,8717	0,866	1	1,0382	0,8109	1,0225	0,8456	1,0885	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	-0,04	-0,394	-0,377	-0,243	0,2446	0	Non Calculé	-0,494	-0,327	-0,137	-0,144	0	0,0375	-0,21	0,0223	-0,168	0,0848	
Tdissipation (an)		0,4741	2,3642	1,5067	0,7301	-0,587		2,9642	1,307	0,4118	0,3452		-0,449	1,2575	-0,089	0,5031	-0,203		
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
B(b)F	1362	1478	906	973	1177	1767	1537	1179	823	920	1233	1270	1145	1199	885	1087	926	1033	
[C] _i /[C] _e	1	1,0852	0,6652	0,7144	0,8642	1,2974	1	0,7671	0,5355	0,5986	0,8022	0,8263	1	1,0472	0,7729	0,9493	0,8087	0,9022	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,0817	-0,408	-0,336	-0,146	0,2603	0	-0,265	-0,625	-0,513	-0,22	-0,191	0	0,0461	-0,258	-0,052	-0,212	-0,103	
Tdissipation (an)		-0,981	2,446	1,3453	0,438	-0,625		3,182	3,7478	2,0529	0,6611	0,458		-0,553	1,5454	0,2079	0,6369	0,247	
λ	Diminution non significative						Diminution non significative						Diminution non significative						
T _{1/2} (an puis jour)																			
B(k)F	886	911	546	589	747	1066	1026	737	505	582	741	775	723	725	571	678	564	645	
[C] _i /[C] _e	1	1,0282	0,6163	0,6648	0,8431	1,2032	1	0,7183	0,4922	0,5673	0,7222	0,7554	1	1,0028	0,7898	0,9378	0,7801	0,8921	
ln ([C] _i /[C] _e)	0	0,0278	-0,484	-0,408	-0,171	0,185	0	-0,331	-0,709	-0,567	-0,325	-0,281	0	0,0028	-0,236	-0,064	-0,248	-0,114	
Tdissipation (an)		-0,334	2,9046	1,6332	0,512	-0,444		3,97	4,2532	2,2678	0,9763	0,6733		-0,033					

Annexe 15 : VTR retenues pour ERS

	effet à seuil par voie orale			effet à seuil par voie inhalation		
	DJTo (mg/kg.j)		source biblio ou calculs	CT (mg/m3)		source biblio ou calculs
	adulte	enfant		adulte	enfant	
Cadmium	3,6E-4	3,6E-4	EFSA 2011 (choix Ineris)	3,0E-4	3,0E-4	ANSES, 2012 (plus basse entre les deux)
Chrome III	1,5E+0	1,5E+0	US EPA, 1998 (sels insolubles) (choix Ineris)	6,0E-2	6,0E-2	RIVM, 2001 (choix Ineris)
Cuivre	1,4E-1	1,4E-1	ATSDR 2004 (choix Ineris)	1,0E-3	1,0E-3	RIVM, 2001 (choix Ineris)
Mercure inorganique	2,0E-3	2,0E-3	ATSDR 2001 (VTR Subchronique - choix INERIS)	3,0E-5	3,0E-5	OEHHA 2008 (Choix Ineris mercure élémentaire)
Mercure organique	1,0E-4	1,0E-4	US EPA, 2001 (méthylmercure)			
Nickel	1,1E-2	1,1E-2	OEHHA, 2012 (choix Ineris)	9,0E-5	9,0E-5	ATSDR 2005 (Choix Ineris)
Plomb	6,3E-4	6,3E-4	ANSES 2013 (choix Ineris)	9,0E-4	9,0E-4	ANSES 2013 (choix Ineris)
Sélénium	5,0E-3	5,0E-3	US EPA, 1991 (choix Ineris)			
Zinc	3,0E-1	3,0E-1	US EPA, 1992 (DGS 2006)			
Alkylphénols	5,0E-02	5,0E-2	BisphénolA - USEPA 1998			
4 Chloraniline	2,0E-03	2,0E-3	OMS IPCS 2001			
COV	2,0E-01	2,0E-1	styrène US EPA 1990	8,6E-01	8,6E-1	Styrène-ATSDR 2010
DEHP	2,0E-02	2,0E-2	DEHP - US EPA 1991			
Dioxines (17 congénères I-Teq=2,3,7,8)	2,3E-09	2,3E-9	2,3,7,8 TCDD - OMS 2011 (choix ANSES)	4,0E-08	4,0E-8	2,3,7,8 - TCDD - OEHHA 2000
HAP (20)	2,0E-02	2,0E-2	Naphtalène - US EPA 1998	3,0E-03	3,0E-3	Naphtalène -US EPA 1998
HAP alkylés (4)	4,0E-02	4,0E-2	2méthylnaphtalène - ATSDR 2005			
Organo-étains	3,0E-04	3,0E-4	TBT - US EPA 1997			
PCB indicateurs	1,0E-05	1,0E-5	AFSSA 2010	5,0E-04	5,0E-4	RIVM 2001
Perfluoroalkyls	1,5E-04	1,5E-4	PFOS - EFSA 2008			
Phénols	4,0E-02	4,0E-2	Phénols - RIVM 2001	2,0E-01	2,0E-1	Phénols-OEHHA 2000
Polybromodiphényléthers (PBDE)	1,0E-04	1,0E-4	PBDE 47 et 99 - US EPA 2008			
17-beta-oestradiol	5,0E-05	5,0E-5	OMS FAO 1999			
Flumequine	3,0E-02	3,0E-2	OMS FAO 2006			
Ivermectin	1,0E-03	1,0E-3	OMS FAO 2002			
Spiramycin	5,0E-02	5,0E-2	OMS FAO 1994			
Tétracycline	3,0E-02	3,0E-2	OMS FAO 1998			
Carbamazépine	1,6E-03	1,6E-3	NQE ONEMA 2010			

	effet sans seuil par voie orale			effet sans seuil par voie inhalation		
	ERUo (mg/kg.j)-1		source biblio ou calculs	ERUi (mg/m3)-1		source biblio ou calculs
	adulte	enfant		adulte	enfant	
Cadmium				1,8E+0	1,8E+0	US EPA, 1992 (DGS 2006)
Chrome III						
Cuivre						
Mercure inorganique						
Mercure organique						
Nickel				2,6E-1	2,6E-1	OEHHA 2011 (choix Ineris)
Plomb	8,5E-3	8,5E-3	OEHHA 2009 (choix Ineris)	1,2E-2	1,2E-2	OEHHA 2009 (choix Ineris)
Sélénium						
Zinc						
Alkylphénols						
4 Chloraniline						
COV						
DEHP	1,4E-02	1,4E-2	US EPA 1993	2,4E-03	2,4E-3	OEHHA 2005
Dioxines (17 congénères I-Teq=2,3,7,8)	1,3E+05	1,3E+5	2,3,7,8 - TCDD - OEHHA 2009	3,8E+04	3,8E+4	2,3,7,8 - TCDD - OEHHA 2009
HAP (20)	2,0E-01	2,0E-1	BaP - RIVM 2000	1,1E+00	1,1E+0	BaP - OEHHA 1993
HAP alkylés (4)						
Organo-étains						
PCB indicateurs	4,0E-01	2,0E+00	US EPA 1997	1,0E-01	1,0E-1	US EPA 1997
Perfluoroalkyls						
Phénols						
Polybromodiphényléthers (PBDE)	7,0E-04	7,0E-4	BDE209 - US EPA 2008			
17-beta-oestradiol	3,9E+01	3,9E+1	OEHHA 1992	1,1E+01	1,1E+1	OEHHA 1992
Flumequine						
Ivermectin						
Spiramycin						
Tétracycline						
Carbamazépine						

Annexe 16 : Création des VTRposo

ANNEXE 16

CAS	Substance	"Famille" thérapeutique	posologie minimale par individu en mg (par prise) selon le RCP ***	posologie minimale en mg/kg (avec poids de 60kg)	VTR poso (mg/kg) extrapolée depuis posologie	VTR disponible en mg.kg-1.j-1	remarque
57-63-6	EE2 Ethinylestradiol	Hormones estrogènes	0,015	0,00025	2,5E-07		
51-21-8	Fluorouracil	Antinéoplasiques	ND	ND	2,50E-06		Est retenu le Threshold of Toxicological Concern (TTC) cancéro (0,15 µg/personne ou 0,0025 µg/kg) - A noter : usage parentéral ou local
50-28-2	17-beta-Estradiol	Hormones estrogènes	0,5	0,01	8,3E-06	5,0E-05	VTR OMS FAO (1999) / posologie Estradiol
10238-21-8	glybenzcyclamide	Antidiabétiques	1,25	0,02	2,1E-05		
128196-01-0	Escitalopram	Antidépresseurs	5	0,08	8,3E-05		
58-93-5	Hydrochlorothiazid	Diurétiques	6,25	0,1	1,0E-04		
1088-11-5	nordiazepam	Anxiolitiques	7,5	0,1	1,3E-04		
70288-86-7	ivermectin	Antiparasitaires	9	0,15	1,5E-04	1,0E-03	VTR OMS FAO (2002)
57808-66-9	Domperidone	Antiémétiques	10	0,2	1,7E-04		
137-58-6	Lidocaine	Anesthésiques locaux	10	0,17	1,7E-04		Local/ Postulat de 10 mg comme l'OMS*
79794-75-5	Loratadine	Antihistaminiques	10	0,2	1,7E-04		
62893-19-0	Cefoperazone	Antibiotiques / Céphalosporines	10	0,2	1,7E-04		Postulat de 10 mg comme l'OMS*
28772-56-7	bromadiolone	Anticoagulants	10	0,2	1,7E-04		Rodenticide/ Postulat de 10 mg comme l'OMS *
53-16-7	E1 estrone	Hormones estrogènes	10	0,17	1,7E-04		Postulat de 10 mg comme l'OMS *
69-23-8	fluphénazine	Anxiolitiques	25	0,4	4,2E-04		
52-53-9	Verapamil	Inhibiteurs calciques	40	0,67	6,7E-04		
525-66-6	Propranolol	Bêtabloquants	40	0,7	6,7E-04		
22916-47-8	miconazole	Antifongiques	50	0,8	8,3E-04		
27203-92-5	Tramadol	Analgésiques	50	0,8	8,3E-04		
298-46-4	carbamazepine	Antiépileptiques	100	1,7	1,7E-03	2,5E-02	VTR dans la NQE = 1,6E-02 / VTR Anses = 2,5E-02 provenant de la même étude avec NOAEL de 25 mg/kg et AF 1000
26787-78-0	Amoxicillin	Antibiotiques / Pénicillines	125	2,1	2,1E-03		
103-90-2	paracétamol	Analgésiques	133	2,2	2,2E-03		posologie minimale dans des comprimés en association avec aspirine (posologie seule plus élevée)
15687-27-1	ibuprofen	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	200	3,3	3,3E-03		
83905-01-5	Azithromycin	Antibiotiques / Macrolides	250	4,2	4,2E-03		
85721-33-1	Ciprofloxacine	Antibiotiques / Fluoroquinolones	250	4,2	4,2E-03	(0,0016)	Calculé selon EMEA 1998 et inhibition microbio - EMEA/MRL/388/98 FINAL
60-54-8	Tétracycline	Antibiotiques / Tétracyclines	375	6,3	6,3E-03	3,0E-02	VTR OMS FAO (1998) **
82419-36-1	Ofloxacine	Antibiotiques / Fluoroquinolones	400	6,7	6,7E-03		
42835-25-6	Flumequine	Antibiotiques / Quinolones	400	6,7	6,7E-03	3,0E-02	VTR OMS FAO (2006) **
70458-96-7	Norfloxacine	Antibiotiques /	400	6,7	6,7E-03		
25812-30-0	Gemfibrozil	Liporégulateurs	600	10,0	1,0E-02		
723-46-6	Sulfaméthoxazole	Antibiotiques /	800	13,3	1,3E-02		
8025-81-8	Spiramycine	Antibiotiques / Macrolides	938	15,63	1,6E-02	5,0E-02	VTR OMS FAO** (1997)
117-96-4	diatrizoate	Agents de contraste	46000	766,7	7,7E-01		Amidotrizoate 76 g pour 100 mL et posologie 60mL - Dose non absorbée

* OMS,2012 :Pharmaceuticals in drinking-water. World Health Organization. Disponible sur www.who.int/en/

** <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/jecfa-vetdrugs/en/>

*** sur les sites ansm et médicaments.gouv

Annexe 17 : Détails des scénarios d'exposition

➤ Durée journalière d'exposition

Selon la définition de la typologie de population « consommateurs », il est supposé que les consommateurs de produits issus de parcelles amendées ne fréquentent pas ces parcelles.

Pour les riverains, il est supposé qu'ils se promènent aux abords des parcelles amendées uniquement pendant la moitié de l'année la plus propice : soit les 26 semaines d'été. Pour les riverains adultes, il est ainsi considéré qu'ils sont exposés 1 heure par jour, un jour par semaine, pendant 26 semaines (soit 26 jours d'exposition). Pour les riverains enfants, il est considéré qu'ils sont exposés 2 heures par jour, tous les jours des 8 semaines de vacances d'été et 2 jours par semaines durant les 18 autres semaines propices à la promenade (soit $7 \times 8 + 2 \times 18 = 92$ jours d'exposition).

Les cibles agriculteurs sont considérées comme des adultes. Pour calculer leurs paramètres d'exposition, plusieurs approches sont possibles. Les données de juillet 2001 du Bureau de Coordination du Machinisme Agricole permettent d'appréhender les performances horaires de divers travaux agricoles :

- semis (toutes cultures) : 1 ha/h ;
- épandage de matières fertilisantes (toutes cultures) : 3 ha/h ;
- entretien des cultures (seules les pommes de terre sont concernées) : 0,4 ha/h ;
- récolte de légumes-racine : 0,8 ha/h ;
- récolte de pommes de terre : 0,3 ha/h ;
- récolte de céréales : 2 ha/h ;
- récolte de maïs : 1,5 ha/h ;
- travail du sol après cultures (seules les céréales sont concernées) : 1,5 ha/h.

A partir de ces données, il apparaît que la culture des pommes de terre est la plus consommatrice en temps : 7,2 heures par hectare et par an. Ces chiffres peuvent être rapprochés d'autres sources de données disponibles comme par exemple celles de l'Office National Interprofessionnel des Céréales (ONIC) ou du Centre de Gestion Agricole de l'Ouest (CEGAO), et qui font état d'un temps de travail moyen de 5 h/ha.an pour un agriculteur. Dans le cadre d'une approche majorante, il est considéré que la cible agriculteur consacre 8 heures par hectare sur un plan d'épandage moyen de 100 ha, d'où une durée d'exposition de 800 heures/an aux terres amendées, soit une fréquence d'exposition de 9,1% de leur temps.

Annexe 17

Masse d'aliments ingérés par typologie de populations et par catégorie d'aliments

		1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte
Céréales	kg frais/j	0,187	0,106	0,170	0,104	0,170
pommes de terre	kg frais/j	0,059	0,041	0,059	0,041	0,059
consommation de bœuf, veau, cheval	kg frais/j	0,039	0,025	0,039	0,025	0,039
consommation de mouton, agneau	kg frais/j	0,027	0,015	0,021	0,013	0,021
consommation de porc	kg frais/j	0,038	0,019	0,038	0,019	0,038

Pourcentage de viande animale produite localement

(= animaux ingérant du sol amendé et nourris avec des végétaux provenant de surfaces épandues)

		2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte
bœuf, veau autoproduits	%	4,0	4,0	35
mouton, agneau autoproduits	%	4,36	4,36	43,5
porc autoproduit	%	4,0	4,0	30
Volaille autoproduite	%	20	20	75
Pomme de terre	%	45	45	75

Annexe 18 : BCF retenus pour la partie ERS

	Colza Transfert sol / plante (BCF) matière sèche [-] Max de la famille			
	Expérimentation INERIS	Littérature (Min-max)	BCF Calculé	BCF retenu
Alkylphénols	164 (4 nonylphénol) Plein champ – LOQ sol	/	0,71	164
Anilines Chlorées	pv exp.	/	3,39	calcul
COV	pv exp.	/	0,76	calcul
DEHP	pv exp.	/	0,002	calcul
Dioxines (17 congénères I-Teq WHO)	/	/	0,002	calcul
HAP	4,6 (naphthalène) Plein champ – LOQ sol	1,07 (maïs -Paraiba et al.) 0,003 (fritz et al 1983 modul'ERS- céréales)	0,39	4,6
HAP alkylés	pv exp.	/	0,23	calcul
Organoétain	pv exp.	0,05 à 8,8 (sur maïs de 16j - thèse J Heroult, 2008)	5,33	Calcul
PCB indicateurs	/	0,17 à 0,46 (min PCB180 max PCB28 - modul'ERS céréales, Travis (1988), Zhao (2006))	/	0,46
Perfluoroalkyls	pv exp.	/	Pas de Kow exp	pas de valeur
Phénols	10,4 (o-crésol) Plein champ – LOQ sol	/	5,47	10,4
Polybromodiphényléthers (PBDE)	2 (global famille) Plein champs	2,75 (BDE 99 Orge - Xia et Al 2010 - Aarhus Amt , 2005)	0,04	2,75
17 beta oestradiol	pv exp.	18 à 30 feuilles de haricots ethyniloestradiol (Adcharee Karnjanapiboonwong et al. 2011- dopage important)	0,19	calcul
flumequine	pv exp.	/	4,60	calcul
ivermectin	pv exp.	/	38,73	calcul
spiramycin	pv exp.	/	38,73	calcul
tetracycline	pv exp.	/	218,47	calcul
carbamazépine	pv exp.	0,36 (BCF pour la feuille - P.A. Herklotz et al.,2010)	1,94	0,36

Pv exp. = pas de valeur expérimentale (de l'étape 5)

Teneur en Matière sèche (-) : blé et colza : 0,90 ; pomme-de-terre : 0,210

Valeur majorante non choisie

ANNEXE 18

	Blé Transfert sol / plante (BCF) matière sèche [-] Max de la famille			
	Expérimentation INERIS	Littérature (Min-max)	BCF Calculé Max de la famille	BCF retenu
Alkylphénols	16 (BPA) Conditions control.	0,24 à 0,35 (feuille de blé -4NP, Dettenmaier and W.J. Doucette, 2007)	0,71	16
Anilines Chlorées	pv exp.	/	3,39	calcul
COV	pv exp.	/	0,76	calcul
DEHP	pv exp.	/	0,002	calcul
Dioxines	/	/	0,002	Calcul
HAP	0,02 (naphtalène) Conditions control-LOQ sol	1,07 (maïs - Paraiba et al.) 0,003 (fritz et al 1983 modul'ERS- céréales)	0,39	0,02
HAP alkylés	1,4 (méthyl-2-fluoranthène) Plein champ - LOQ sol	/	0,23	1,4
Organoétain	pv exp.	de 0,05 à 8,8 (sur maïs de 16j - thèse J Heroult, 2008)	5,33	Calcul
PCB indicateurs	/	0,17 à 0,46 (min PCB180 max PCB28 - modul'ERS céréales)	0,012	0,46
Perfluoroalkyls	pv exp.	/	pas de Kow exp.	pas de valeur
Phénols	0,05 (phénol) Conditions control.-LOQ sol	/	5,47	Calcul
Polybromodiphényléthers	1,5 (global famille) Conditions control.	2,75 (BDE 99 Orge - Xia et Al 2010 - Aarhus Amt , 2005)	0,04	2,75
17 beta oestradiol	pv exp.	18 à 30 (feuilles de haricots ethyniloestradiol – 4 semaine – sol dopé 1µg/g (200 à 10000x plus que mesure convention)- Karnjanapiboonwong et al. 2011)	0,19	Calcul
flumequine	pv exp.	/	4,60	calcul
ivermectin	pv exp.	/	38,73	calcul
spiramycin	pv exp.	/	38,73	calcul
tetracycline	pv exp.	/	218,47	calcul
carbamazépine	pv exp.	/	1,94	calcul

Pv exp. = pas de valeur expérimentale (de l'étape 5)

Teneur en Matière sèche (-) : blé et colza : 0,90 ; pomme-de-terre : 0,210

Valeur majorante non choisie

ANNEXE 18

	Pomme de terre Transfert sol / plante (BCF) matière sèche [-] Max de la famille		
	Expérimentation INERIS	Littérature (Min-max)	BCF retenu
Alkylphénols	pv exp.	/	Pas de valeur
Anilines Chlorées	pv exp.	/	Pas de valeur
COV	pv exp.	/	Pas de valeur
DEHP	pv exp.	/	Pas de valeur
Dioxines (17 congénères I-Teq WHO)	transfert négligeable	/	transfert négligeable
HAP	2,4 (acénaphène) Plein champ - Sur LOQ sol	1E-4 (modul'ERS - BaP - fritz et al. 1983)	2,4
HAP alkylés	pv exp.	/	Pas de valeur
Organoétain	pv exp.	134 (28 en MF) (culture sur sol avec TBT à 20 µg/kg (env. 5000x sup) mesure étude, dopé avec solution -lespes, Marcic et al. 2003 - EJEAFChe MBT et TBT)	28
PCB indicateurs	transfert négligeable	5.2E-3 (Weber et al. 1991 cité dans guide pour betterave)	transfert négligeable
Perfluoroalkyls	pv exp.	0,01 (PFOA/PFOS Lechner 2011 et stahl et al. 2009)	0,01
Phénols	pv exp.	/	Pas de valeur
Polybromodiphényléthers (PBDE)	1,2 plein champ	/	1,2
17 beta oestradiol	pv exp.	/	Pas de valeur
flumequine	pv exp.	/	Pas de valeur
ivermectin	pv exp.	/	Pas de valeur
spiramycin	pv exp.	/	Pas de valeur
tetracycline	pv exp.	/	Pas de valeur
carbamazépine	pv exp.	/	Pas de valeur

Pv exp. = pas de valeur expérimentale (de l'étape 5)

Teneur en Matière sèche (-) : blé et colza : 0,90 ; pomme-de-terre : 0,210

Annexe 19 : Persistances retenues pour la partie ERS

Substances	Dissipation ou demi-vie (an)	source
Tétracycline	1,6	Walters et al. (2010)
Phénols	0,3	Expérimentation INERIS : phénol – 119 j
Organoétains	8	Thèses Heroult, J., 2008 (MBT- Kannan 1996 Huang et Matzner 2004b Gotz 2007)
Flumequine	0,02	Expérimentation INERIS : 7 j
Anilines Chlorées	1	ECB 2004
Carbamazépine	1,5	Walters et al. (2010)
Alkylphénols	0,6	Expérimentation INERIS : 4n Nonyphénol - 204j
COV	0,5	Expérimentation INERIS : Nonane – 168 j
HAP (20)	11	Wild et al., 1991 pour le benzo(k)fluoranthène - cité dans "Chemical Fate Half-Lives for Toxics Release Inventory (TRI) Chemicals"
HAP alkylés (4)	0,5	Expérimentation INERIS : 1-méthylchrysène – 173 j
17-béta-oestradiol	0,05	Expérimentation INERIS : 19 j
Polybromodiphényléthers (PBDE)	0,2	Expérimentation INERIS : BDE99 – 76 j
PCB indicateurs	pas de dégradation	HSDB, 2003a,b,c,d
DEHP	0,8	ESIS European chemical bureau, vol. 80 cite Madsen et al., 1999 and Gejlsbjerg et al., 2001
Dioxines (17 congénères)	12	HSDB, 2002 (cite Young, 1983)
Perfluoroalkyls	Pas de valeur	considéré non dégradé - pas de valeur
Ivermectin	Pas de valeur	considéré non dégradé - pas de valeur
Spiramycin	Pas de valeur	considéré non dégradé -pas de valeur

Annexe 20 : Feuilles de calculs

		1a - Consomma- teurs adulte	1b - Consomma- teurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte	Source biblio
âge	ans	06 - 70	0 - 6	06 - 70	0 - 6	06 - 70	convention en EQRS
durée d'exposition	ans	64	6	64	6	40	convention en EQRS
masse corporelle	kg	70	15	70	15	70	US EPA, 1997
volume d'air inhalé	m3/j	20	7,6	20	7,6	20	Veerkamp and ten Berge, 1994
masse de sol ingéré (extérieur)	mg/j			50	150	216	cf. guide méthodologique
masse de poussières ingérée (intérieur)	mg/j						US EPA, 1997
concentration inhalée en poussières (extérieur)	kg/m3			7,0E-8	7,0E-8	2,0E-5	Veerkamp and ten Berge, 1994 ; Caillaud, 2002
concentration inhalée en poussières (intérieur)	kg/m3						Veerkamp and ten Berge, 1994 ; Caillaud, 2002
facteur de rétention des particules dans les poumons	-			0,75	0,75	0,1	Veerkamp and ten Berge, 1994 ; Caillaud, 2002
durée journalière d'exposition (extérieur)	h/j			1,0	2,0	8,0	choix définis spécifiquement dans le cadre de ce rapport
jours d'exposition (extérieur)	j/an			26	92	100	calculs
fréquence d'exposition (extérieur)	-			0,003	0,021	0,091	calculs
durée journalière d'exposition (intérieur)	h/j						choix définis spécifiquement dans le cadre de ce guide
jours d'exposition (intérieur)	j/an						calculs
fréquence d'exposition (intérieur)	-						calculs
rapport T/Tm pour les effets sans seuil	-	0,914	0,086	0,914	0,086	0,571	calculs
Ratio plan d'épandage considéré / SAU		2,503%	2,503%	2,503%	2,503%	2,503%	
consommation de vég1 - céréales	kg/j	0,187	0,106	0,170	0,104	0,170	
fraction produite sur plan d'épandage	-	2,503%	2,503%	2,503%	2,503%	2,503%	
consommation de vég5 - pommes de terre	kg/j	0,059	0,041	0,059	0,041	0,059	
fraction produite sur plan d'épandage	-	2,503%	2,503%	47,503%	47,503%	77,503%	Boggio (1999) , Volatier (2000), INCA 2 (2009), Agreste (2011), InVS (2009), Alliance7-Sofres- CHU/Dijon, INCA 1, Ciblex (2003), Agreste (2011) + expertise INERIS (travaux MODUL'ERS)
consommation de bœuf, veau, cheval	kg/j	0,039	0,025	0,039	0,025	0,039	
fraction produite sur plan d'épandage	-	2,503%	2,503%	6,503%	6,503%	37,503%	
consommation de mouton, agneau	kg/j	0,027	0,015	0,021	0,013	0,021	
fraction produite sur plan d'épandage	-	2,503%	2,503%	6,863%	6,863%	45,963%	
consommation de porc	kg/j	0,038	0,019	0,038	0,019	0,038	
fraction produite sur plan d'épandage	-	2,503%	2,503%	6,503%	6,503%	32,503%	
consommation de volaille	kg/j	0,027	0,012	0,027	0,012	0,027	
fraction produite sur plan d'épandage	-	2,503%	2,503%	22,503%	22,503%	77,503%	

N° CAS	Substances	organique ?	log Kow	Kow	Kd	source	demi-vie (an)	source
7440-43-9	Cadmium	non			2,1E+2			
7440-47-3	Chrome III	non						
7440-50-8	Cuivre	non			2,7E+0			
7487-94-7	Mercure inorganique	non			6,0E+4	fiches de données toxicologiques et environnementales de l'INERIS		pas de dégradation
22967-92-6	Mercure organique	oui	1,7	5,0E+1	6,7E+3			
7440-02-0	Nickel	non			3,6E+1			
7439-92-1	Plomb	non			7,0E+0			
7782-49-2	Sélénium	non						
7440-66-6	Zinc	non			2,0E+0			
	Alkylphénols	oui	3,00	1,0E+3		4noctylphénol - Portail substances INERIS	0,6	4n Nonyphénol - expérimentation
106-47-8	4 Chloraniline	oui	1,83	6,8E+1		aniline Chlorée - US EPA, 2011; INERIS, 2011	1,0	ECB 2004
	COV	oui	2,95	8,9E+2		styrène - Portail substances INERIS, 2008	0,5	nonane - expérimentation
117-81-7	DEHP	oui	7,50	3,2E+7		Portail substances INERIS	0,8	ESIS European chemical bureau, vol. 80 cite Madsen et al., 1999 and Gejlsbjerg et al., 2001
	Dioxines (17 congénères I-Teq=2,3,7,8)	oui	7,62	4,2E+7		hepachlorodibenzodioxine - Portail substances INERIS	12,0	HSDB, 2002 Young, 1983
	HAP (20)	oui	3,45	2,8E+3		anthracène - Portail substances INERIS 2005	11,0	Benzo(k)Fluoranthène - Wild et al., 1991 cité dans "Chemical Fate Half-Lives for Toxics Release Inventory (TRI) Chemicals"
	HAP alkylés (4)	oui	3,86	7,2E+3		méthyl-2naphtalène - US EPA, 2011	0,5	1 méthylchrysène - expérimentation
	Organo-étains	oui	1,49	3,1E+1		DBT - US EPA, 2011	8,0	thèses J.Heroult,2008 (Kannan 1996 Huang et Matzner 2004b Gotz 2007)
1336-36-3	PCB indicateurs	oui	6,03	1,1E+6		fiches toxicologiques et environnementales de l'INERIS		pas de dégradation
	Perfluoroalkyls	oui		pv			3,0	Perfluo C11 - Washington et al. 2010 (cité dans Risk evaluation of five groups of persistent...Danish ministry of the environment)
	Phénols	oui	1,47	3,0E+1		phénol - US EPA, 2011; ECB	0,3	phénol- expérimentation
	Polybromodiphényléthers (PBDE)	oui	5,24	1,7E+5		BDE209 - Portail substances INERIS	0,2	(étape 5 - 76 jours soit 0,2 an)
50-28-2	17-beta-oestradiol	oui	4,01	1,0E+4		Kow exp - USEPA 2011	0,05	valeur exp max
42835-25-6	Fiumequine	oui	1,60	4,0E+1		Kow exp - USEPA 2011	0,019	valeur exp max
70288-86-7	Ivermectin	oui		pv		4,11- Kow calculé - USEPA 2011		considéré non dégradé - pas de valeur exp
						2,1 - Kow calculé - http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?sid=164233761&viewopt=PubChem		considéré non dégradé - pas de valeur exp
8025-81-8	Spiramycin	oui		pv				
60-54-8	Tétracycline	oui	-1,30	5,0E-2		Kow exp - USEPA 2011	1,6	Valeur max - Walters et al. (2010)
298-46-4	Carbamazépine	oui	2,25	1,8E+2		USEPA 2011 (valeur min)	1,5	Valeur max - Walters et al. (2010)

Surface agricole utile (SAU)	ha	29 000 000
Surface agricole amendée en France	ha	
Surface du plan d'épandage considéré	ha	726 000
Quantité de boues apportées sur l'ensemble du plan d'épandage (MS)	t/an	871 200

Pourcentage de SAU amendée en France	2,5%
Ratio plan d'épandage considéré / SAU	2,50%
Quantité moyenne de boues épandues par hectare sur le plan d'épandage considéré	1,2 t/ha.an

	Moyenne pondérée par surface	source biblio	type de culture											
			betterave sucrière	blé	chicorée	colza	maïs	orge	pomme de terre	prairie	RGI	tourne-sol		
type de culture mise en place	-													
superficie de sol amendé	ha			540000,0		170000,0				16000,0				
quantité de boues apportées à la parcelle par épandage	t	calculs		648 000		204 000				19 200				
profondeur d'enfouissement des boues	cm	30,0	expertise	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
volume de sol amendé	m3		calculs	1 620 000 000		510 000 000				48 000 000				
densité du sol sec amendé	t/m3	1,50	expertise	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
masse de sol sec amendé	t		calculs	2 430 000 000		765 000 000				72 000 000				
facteur de dilution des boues à chaque apport	-	0,027%	calculs	0,03%		0,03%				0,03%				
fraction de sol dans les particules dans l'air extérieur	-	0,50	Veerkamp and ten Berge, 1994	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

	ha	Sol 1		Sol 2			
		minimum	maximum	Moyenne pondérée par surface	minimum	maximum	
surface		363000,0		363000,0			
caractéristiques générales	-	sols de type argilo-limoneux avec présence significative de calcaire		sols de type limoneux			
		Moyenne pondérée par surface	minimum	maximum	Moyenne pondérée par surface	minimum	maximum
pH du sol amendé	-	7,6	6,7	8,1	7,6	6,7	8,1
matières organiques du sol	g/kg	21,4	18,0	34,0	21,4	18,0	34,0
fraction argileuse	-	16,1%	10,8%	26,9%	16,1%	10,8%	26,9%
fraction limoneuse fine	-	27,1%	16,5%	32,6%	27,1%	16,5%	32,6%
fraction limoneuse grossière	-	41,7%	25,5%	51,9%	41,7%	25,5%	51,9%
fraction sableuse fine	-	8,9%	5,0%	22,5%	8,9%	5,0%	22,5%
fraction sableuse grossière	-	3,6%	0,7%	12,2%	3,6%	0,7%	12,2%

Concentrations max sur un an d'expo (10e année) - A SEUIL		Soils										Boues				
durée d'un plan d'épandage	10 ans	bruit de fond moyen au niveau national	bruit de fond moyen du plan d'épandage	Soils					concentration moyenne au niveau du plan d'épandage	Boues						
				1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte		1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte		
Cadmium	mg/kg	3,0E-1	3,0E-1	3,1E-1	3,1E-1	3,1E-1	3,1E-1	3,1E-1	2,6E+0	6,9E-3	6,9E-3	6,9E-3	6,9E-3	6,9E-3		
Chrome III	mg/kg	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	5,4E+1	1,4E-1	1,4E-1	1,4E-1	1,4E-1	1,4E-1		
Cuivre	mg/kg	1,4E+1	1,4E+1	1,5E+1	1,5E+1	1,5E+1	1,5E+1	1,5E+1	4,0E+2	1,1E+0	1,1E+0	1,1E+0	1,1E+0	1,1E+0		
Mercurure inorganique	mg/kg	5,0E-2	5,0E-2	5,4E-2	5,4E-2	5,4E-2	5,4E-2	5,4E-2	1,4E+0	3,7E-3	3,7E-3	3,7E-3	3,7E-3	3,7E-3		
Mercurure organique	mg/kg	5,0E-4	5,0E-4	5,4E-4	5,4E-4	5,4E-4	5,4E-4	5,4E-4	1,4E-2	3,7E-5	3,7E-5	3,7E-5	3,7E-5	3,7E-5		
Nickel	mg/kg	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	3,0E+1	7,9E-2	7,9E-2	7,9E-2	7,9E-2	7,9E-2		
Plomb	mg/kg	3,0E+1	3,0E+1	3,1E+1	3,1E+1	3,1E+1	3,1E+1	3,1E+1	9,7E+1	2,6E-1	2,6E-1	2,6E-1	2,6E-1	2,6E-1		
Sélénium	mg/kg	9,9E-3	9,9E-3	9,9E-3	9,9E-3	9,9E-3	9,9E-3	9,9E-3	3,7E+0	9,9E-3	9,9E-3	9,9E-3	9,9E-3	9,9E-3		
Zinc	mg/kg	5,9E+1	5,9E+1	6,2E+1	6,2E+1	6,2E+1	6,2E+1	6,2E+1	1,1E+3	2,9E+0	2,9E+0	2,9E+0	2,9E+0	2,9E+0		
Alkylphénols	mg/kg			2,5E-3	2,5E-3	2,5E-3	2,5E-3	2,5E-3	6,6E+0	2,5E-3	2,5E-3	2,5E-3	2,5E-3	2,5E-3		
4 Chloraniline	mg/kg			3,1E-4	3,1E-4	3,1E-4	3,1E-4	3,1E-4	6,0E-1	3,1E-4	3,1E-4	3,1E-4	3,1E-4	3,1E-4		
COV	mg/kg			1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	3,0E-2	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5		
DEHP	mg/kg			5,1E-3	5,1E-3	5,1E-3	5,1E-3	5,1E-3	1,1E+1	5,1E-3	5,1E-3	5,1E-3	5,1E-3	5,1E-3		
Dioxines (17 congénères I-Teq=2,3)	mg/kg			4,7E-8	4,7E-8	4,7E-8	4,7E-8	4,7E-8	2,3E-5	4,7E-8	4,7E-8	4,7E-8	4,7E-8	4,7E-8		
HAP (20)	mg/kg			7,2E-3	7,2E-3	7,2E-3	7,2E-3	7,2E-3	3,5E+0	7,2E-3	7,2E-3	7,2E-3	7,2E-3	7,2E-3		
HAP alkylés (4)	mg/kg			2,0E-4	2,0E-4	2,0E-4	2,0E-4	2,0E-4	5,9E-1	2,0E-4	2,0E-4	2,0E-4	2,0E-4	2,0E-4		
Organo-étains	mg/kg			4,5E-4	4,5E-4	4,5E-4	4,5E-4	4,5E-4	2,4E-1	4,5E-4	4,5E-4	4,5E-4	4,5E-4	4,5E-4		
PCB indicateurs	mg/kg			6,3E-4	6,3E-4	6,3E-4	6,3E-4	6,3E-4	2,4E-1	6,3E-4	6,3E-4	6,3E-4	6,3E-4	6,3E-4		
Perfluoroalkyls	mg/kg			9,7E-5	9,7E-5	9,7E-5	9,7E-5	9,7E-5	8,4E-2	9,7E-5	9,7E-5	9,7E-5	9,7E-5	9,7E-5		
Phénols	mg/kg			1,0E-2	1,0E-2	1,0E-2	1,0E-2	1,0E-2	3,4E+1	1,0E-2	1,0E-2	1,0E-2	1,0E-2	1,0E-2		
Polybromodiphényléthers (PBDE)	mg/kg			1,5E-3	1,5E-3	1,5E-3	1,5E-3	1,5E-3	5,4E+0	1,5E-3	1,5E-3	1,5E-3	1,5E-3	1,5E-3		
17-beta-oestradiol	mg/kg			4,5E-8	4,5E-8	4,5E-8	4,5E-8	4,5E-8	1,7E-4	4,5E-8	4,5E-8	4,5E-8	4,5E-8	4,5E-8		
Flumequine	mg/kg			7,5E-6	7,5E-6	7,5E-6	7,5E-6	7,5E-6	2,8E-2	7,5E-6	7,5E-6	7,5E-6	7,5E-6	7,5E-6		
Ivermectin	mg/kg			5,3E-6	5,3E-6	5,3E-6	5,3E-6	5,3E-6	2,0E-3	5,3E-6	5,3E-6	5,3E-6	5,3E-6	5,3E-6		
Spiramycin	mg/kg			2,7E-6	2,7E-6	2,7E-6	2,7E-6	2,7E-6	1,0E-3	2,7E-6	2,7E-6	2,7E-6	2,7E-6	2,7E-6		
Tétracycline	mg/kg			1,6E-4	1,6E-4	1,6E-4	1,6E-4	1,6E-4	2,2E-1	1,6E-4	1,6E-4	1,6E-4	1,6E-4	1,6E-4		
Carbamazépine	mg/kg			2,5E-5	2,5E-5	2,5E-5	2,5E-5	2,5E-5	3,6E-2	2,5E-5	2,5E-5	2,5E-5	2,5E-5	2,5E-5		

Concentrations max sur un an d'expo (10e année) - SANS SEUIL		Sols										Boues				
durée d'un plan d'épandage	10 ans	bruit de fond moyen au niveau national	bruit de fond moyen du plan d'épandage	Sols					concentration moyenne au niveau du plan d'épandage	Boues						
				1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte		1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte		
Cadmium	mg/kg	3,0E-1	3,0E-1	3,1E-1	3,1E-1	3,1E-1	3,1E-1	3,1E-1	2,6E+0	6,4E-3	5,2E-3	6,4E-3	5,2E-3	6,2E-3		
Chrome III	mg/kg	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	3,8E+1	5,4E+1	1,3E-1	1,1E-1	1,3E-1	1,1E-1	1,3E-1		
Cuivre	mg/kg	1,4E+1	1,4E+1	1,5E+1	1,5E+1	1,5E+1	1,5E+1	1,5E+1	4,0E+2	1,0E+0	8,0E-1	1,0E+0	8,0E-1	9,5E-1		
Mercure inorganique	mg/kg	5,0E-2	5,0E-2	5,3E-2	5,3E-2	5,3E-2	5,3E-2	5,3E-2	1,4E+0	3,5E-3	2,8E-3	3,5E-3	2,8E-3	3,3E-3		
Mercure organique	mg/kg	5,0E-4	5,0E-4	5,3E-4	5,3E-4	5,3E-4	5,3E-4	5,3E-4	1,4E-2	3,5E-5	2,8E-5	3,5E-5	2,8E-5	3,3E-5		
Nickel	mg/kg	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	2,0E+1	3,0E+1	7,3E-2	5,9E-2	7,3E-2	5,9E-2	7,0E-2		
Plomb	mg/kg	3,0E+1	3,0E+1	3,1E+1	3,0E+1	3,1E+1	3,0E+1	3,1E+1	9,7E+1	2,4E-1	1,9E-1	2,4E-1	1,9E-1	2,3E-1		
Sélénium	mg/kg			9,2E-3	7,4E-3	9,2E-3	7,4E-3	8,8E-3	3,7E+0	9,2E-3	7,4E-3	9,2E-3	7,4E-3	8,8E-3		
Zinc	mg/kg	5,9E+1	5,9E+1	6,2E+1	6,1E+1	6,2E+1	6,1E+1	6,2E+1	1,1E+3	2,7E+0	2,2E+0	2,7E+0	2,2E+0	2,6E+0		
Alkylphénols	mg/kg			3,9E-4	2,5E-3	3,9E-4	2,5E-3	6,2E-4	6,6E+0	3,9E-4	2,5E-3	3,9E-4	2,5E-3	6,2E-4		
Anilines Chlorées	mg/kg			4,9E-8	3,1E-7	4,9E-8	3,1E-7	7,8E-8	6,0E-4	4,9E-8	3,1E-7	4,9E-8	3,1E-7	7,8E-8		
COV	mg/kg			1,6E-6	1,0E-5	1,6E-6	1,0E-5	2,6E-6	3,0E-2	1,6E-6	1,0E-5	1,6E-6	1,0E-5	2,6E-6		
DEHP	mg/kg			7,9E-4	5,0E-3	7,9E-4	5,0E-3	1,3E-3	1,1E+1	7,9E-4	5,0E-3	7,9E-4	5,0E-3	1,3E-3		
Dioxines (17 congénères I-Teq=2,3,7,8)	mg/kg			1,6E-8	3,7E-8	1,6E-8	3,7E-8	2,3E-8	2,3E-5	1,6E-8	3,7E-8	1,6E-8	3,7E-8	2,3E-8		
HAP	mg/kg			2,3E-3	5,7E-3	2,3E-3	5,7E-3	3,4E-3	3,5E+0	2,3E-3	5,7E-3	2,3E-3	5,7E-3	3,4E-3		
HAP alkylés	mg/kg			3,2E-5	2,0E-4	3,2E-5	2,0E-4	5,1E-5	5,9E-1	3,2E-5	2,0E-4	3,2E-5	2,0E-4	5,1E-5		
Hydrures d'étain	mg/kg			1,2E-4	3,6E-4	1,2E-4	3,6E-4	1,8E-4	2,4E-1	1,2E-4	3,6E-4	1,2E-4	3,6E-4	1,8E-4		
PCB indicateurs	mg/kg			5,9E-4	4,7E-4	5,9E-4	4,7E-4	5,6E-4	2,4E-1	5,9E-4	4,7E-4	5,9E-4	4,7E-4	5,6E-4		
Perfluoroalkyls	mg/kg			1,7E-5	8,8E-5	1,7E-5	8,8E-5	2,7E-5	8,4E-2	1,7E-5	8,8E-5	1,7E-5	8,8E-5	2,7E-5		
Phénols	mg/kg			1,6E-3	1,0E-2	1,6E-3	1,0E-2	2,6E-3	3,4E+1	1,6E-3	1,0E-2	1,6E-3	1,0E-2	2,6E-3		
Polybromodiphényléthers (PBDE)	mg/kg			2,3E-4	1,5E-3	2,3E-4	1,5E-3	3,7E-4	5,4E+0	2,3E-4	1,5E-3	2,3E-4	1,5E-3	3,7E-4		
17-beta-oestradiol	mg/kg			7,1E-9	4,5E-8	7,1E-9	4,5E-8	1,1E-8	1,7E-4	7,1E-9	4,5E-8	7,1E-9	4,5E-8	1,1E-8		
Flumequine	mg/kg			1,2E-6	7,5E-6	1,2E-6	7,5E-6	1,9E-6	2,8E-2	1,2E-6	7,5E-6	1,2E-6	7,5E-6	1,9E-6		
Ivermectin	mg/kg			5,0E-6	4,0E-6	5,0E-6	4,0E-6	4,7E-6	2,0E-3	5,0E-6	4,0E-6	5,0E-6	4,0E-6	4,7E-6		
Spiramycin	mg/kg			2,5E-6	2,0E-6	2,5E-6	2,0E-6	2,4E-6	1,0E-3	2,5E-6	2,0E-6	2,5E-6	2,0E-6	2,4E-6		
Tétracycline	mg/kg			2,6E-5	1,6E-4	2,6E-5	1,6E-4	4,1E-5	2,2E-1	2,6E-5	1,6E-4	2,6E-5	1,6E-4	4,1E-5		
Carbamazépine	mg/kg			4,0E-6	2,4E-5	4,0E-6	2,4E-5	6,4E-6	3,6E-2	4,0E-6	2,4E-5	4,0E-6	2,4E-5	6,4E-6		

prise en compte des dépôts atmosphériques oui	vég1 - légumes saumons - légumes saumons - légumes saumons - légumes saumons - légumes saumons - légumes saumons - légumes						culture	blé				colza				pomme de terre																		
	10							surface (ha) 540000,0 teneur en MS (-) 0,897 (US EPA, 1997) type d'aliment vég1 - céréales	170000,0 (US EPA, 1997 + expertise) vég7 - ensilage				16000,0 (US EPA, 1997) vég5 - pommes de terre																					
nombre de végétaux	10						facteur de déposition (kg sol/kg plante MF)	9,05E-04				1,36E-03																						
surfaces (ha)	170000						Type de sol	Sol 1		Sol 2		Sol 1		Sol 2		Sol 1		Sol 2		BCF calculé racine + aérien (MF)		BCF retenu (MF)												
rendement (kg/m2)	0,30	0,38	0,11	0,11	0,11	0,20	0,30	expéri-mental	pois-sec ?	source biblio	expéri-mental	pois-sec ?	source biblio	expéri-mental	pois-sec ?	source biblio	expéri-mental	pois-sec ?	source biblio	expéri-mental	pois-sec ?	source biblio	expéri-mental	pois-sec ?	source biblio									
fraction interceptée (-)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	2017	1355	5308	5308	3026	2017	2017	1355	5308	5308	3026	2017	2017	1355	5308	5308	3026	2017									
taux de déposition (mg/m2.j)	60	60	60	60	60	60	60	BCF bruts																										
constante climatique (j-1)	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033																											
facteur de déposition (mg poussière / kg plante MS)	2017	1355	5308	5308	3026	2017																												
BCF (en matières fraîches) pondérés par surfaces cultivées avec prise en compte des dépôts atmosphériques	1,1E-1			2,3E-2		1,1E-1		Cadmium	1,2E-1	oui	modu/ERS médiane céréales	1,2E-1	oui	modu/ERS médiane céréales	3,3E-2	1,1E-1	1,2E-1	oui	modu/ERS médiane céréales	1,2E-1	oui	modu/ERS médiane céréales	3,4E-2	1,1E-1	1,1E-1	oui	Modu/ERS Bappet, Ademe(2005)	1,1E-1	oui	Modu/ERS Bappet, Ademe(2005)	7,6E-3	2,3E-2		
	9,0E-3			1,9E-3		9,0E-3		Chrom III	1,0E-2	oui	modu/ERS médiane céréales	1,0E-2	oui	modu/ERS médiane céréales	9,1E-4	9,0E-3	1,0E-2	oui	modu/ERS médiane céréales	1,0E-2	oui	modu/ERS médiane céréales	1,4E-3	9,0E-3	8,8E-3	oui	Modu/ERS Bappet, Ademe(2005)	8,8E-3	oui	Modu/ERS Bappet, Ademe(2005)	1,9E-3			
	5,3E-1			5,2E-2		2,4E+0		Cuivre	5,9E-1	oui	Toullec, 2003	5,9E-1	oui	Toullec, 2003	4,3E+0	5,3E-1	2,6E+0	oui	Pinet et al., 2003	2,6E+0	oui	Pinet et al., 2003	4,3E+0	2,4E+0	2,5E-1	oui	Samsøe-Petersen et al, 2002	2,5E-1	oui	Samsøe-Petersen et al, 2002	1,0E+0	5,2E-2		
	7,6E-2			4,2E-2		7,7E-2		Mercur inorganique	8,5E-2	oui	modu/ERS médiane céréales	8,5E-2	oui	modu/ERS médiane céréales	9,6E-4	7,6E-2	8,5E-2	oui	modu/ERS médiane céréales	8,5E-2	oui	modu/ERS médiane céréales	1,4E-3	7,7E-2	2,0E-1	oui	USEPA 1997	2,0E-1	oui	USEPA 1997	1,4E-5	4,2E-2		
	1,7E-2			8,1E-1		8,1E-1		Mercur organique	2,0E-2	oui	Toullec, 2003	2,0E-2	oui	Toullec, 2003	3,6E+0	1,7E-2	9,0E-1	oui	Pinet et al., 2003	9,0E-1	oui	Pinet et al., 2003	3,6E+0	8,1E-1										
	4,1E-3			7,8E-3		4,1E-3		Nickel	4,6E-3	oui	modu/ERS médiane céréales	4,6E-3	oui	modu/ERS médiane céréales	2,3E-1	4,1E-3	4,6E-3	oui	modu/ERS médiane céréales	4,6E-3	oui	modu/ERS médiane céréales	2,4E-1	4,1E-3	3,7E-2	oui	Modu/ERS Bappet, Ademe(2005)	3,7E-2	oui	Modu/ERS Bappet, Ademe(2005)	5,5E-2	7,8E-3		
	1,1E-3			2,9E-3		1,1E-3		Plomb	1,2E-3	oui	modu/ERS max céréales	1,2E-3	oui	modu/ERS max céréales	1,1E+0	1,1E-3	1,2E-3	oui	modu/ERS max céréales	1,2E-3	oui	modu/ERS max céréales	1,5E+0	1,1E-3	1,4E-2	oui	Modu/ERS Bappet, Ademe(2005)	1,4E-2	oui	Modu/ERS Bappet, Ademe(2005)	3,4E-1	2,9E-3		
	3,4E-2			2,1E-2		3,4E-2		Sélénium	3,8E-2	oui	modu/ERS max céréales	3,8E-2	oui	modu/ERS max céréales	9,1E-4	3,4E-2	3,8E-2	oui	modu/ERS max céréales	3,8E-2	oui	modu/ERS max céréales	1,4E-3	3,4E-2	1,0E-1	oui	Modu/ERS USEPA 1992	1,0E-1	oui	Modu/ERS USEPA 1992	2,1E-2			
	2,9E-1			1,8E+0		1,8E+0		Zinc	3,3E-1	oui	Toullec, 2003	3,3E-1	oui	Toullec, 2003	6,0E+0	2,9E-1	2,0E+0	oui	Pinet et al., 2003	2,0E+0	oui	Pinet et al., 2003	6,0E+0	1,8E+0	9,0E-2	oui	Dudka et al., 1996	9,0E-2	oui	Dudka et al., 1996	1,4E+0	1,9E-2		
	1,4E+1			1,5E+2		1,5E+2		Alkylphénols	1,6E+1	oui	expérimentation INERIS	1,6E+1	oui	expérimentation INERIS	6,4E-1	1,4E+1	1,6E+2	oui	expérimentation INERIS	1,6E+2	oui	expérimentation INERIS	6,4E-1	1,5E+2										
	3,0E+0			3,1E+0		3,1E+0		4 Chloraniline							3,0E+0	3,0E+0																		
	6,9E-1			6,9E-1		6,9E-1		COV							6,9E-1	6,9E-1																		
	2,5E-3			3,0E-3		3,0E-3		DEHP							2,5E-3	2,5E-3																		
	2,3E-3			2,7E-3		2,7E-3		Dioxines (17 congénères I-Teq=2,3)							2,3E-3	#VALEUR!																		
	2,0E-2			5,0E-1		4,1E+0		HAP (20)	2,2E-2	oui	expérimentation INERIS	2,2E-2	oui	expérimentation INERIS	3,5E-1	2,0E-2	4,6E+0	oui	expérimentation INERIS	4,6E+0	oui	expérimentation INERIS	3,5E-1	4,1E+0	2,4E+0	oui	expérimentation INERIS	2,4E+0	oui	expérimentation INERIS	5,0E-1			
	1,1E+0			2,1E-1		1,1E+0		HAP alkylés (4)	1,2E+0	oui	expérimentation INERIS	1,2E+0	oui	expérimentation INERIS	2,1E-1	1,1E+0																		
	4,8E+0			2,8E+1		4,8E+0		Organo-étains							4,8E+0	4,8E+0																		
	4,1E-1			4,1E-1		4,1E-1		PCB indicateurs	4,6E-1	oui	(PCB28) valeur de modu/ERS pour céréales	4,6E-1	oui	valeur max des PCB indic (PCB28) - valeur de modu/ERS pour céréales	1,2E-2	4,1E-1	4,6E-1	oui	valeur max des PCB indic (PCB28) - valeur de modu/ERS pour céréales	4,6E-1	oui	valeur max des PCB indic (PCB28) - valeur de modu/ERS pour céréales	1,3E-2	4,1E-1										
	#####			2,1E-3		#####		Perfluoroalkyls							#VALEUR!	#VALEUR!																		
	4,9E+0			9,4E+0		9,4E+0		Phénols	5,3E-2	oui	expérimentation INERIS	5,3E-2	oui	expérimentation INERIS	4,9E+0	9,4E+0	1,0E+1	oui	expérimentation INERIS	1,0E+1	oui	expérimentation INERIS	4,9E+0	9,4E+0	1,0E-2	oui	Lechner 2011 et stahl et al. 2009	1,0E-2	oui	Lechner 2011 et stahl et al. 2009	2,1E-3			
	2,5E+0			2,5E+0		2,5E+0		Polybromodiphényléthers (PBDE)	2,8E+0	oui	(BDE 99 dans l'Orge - Xia et Al 2010 - Aarhus Amt., 2005)	2,8E+0	oui	(BDE 99 dans l'Orge - Xia et Al 2010 - Aarhus Amt., 2005)	3,3E-2	2,5E+0	2,8E+0	oui	(BDE 99 dans l'Orge - Xia et Al 2010 - Aarhus Amt., 2005)	2,8E+0	oui	(BDE 99 dans l'Orge - Xia et Al 2010 - Aarhus Amt., 2005)	3,4E-2	2,5E+0	1,2E+0	oui	expérimentation INERIS	1,2E+0	oui	expérimentation INERIS	2,5E-1			
	1,7E-1			1,7E-1		1,7E-1		17-beta-oestradiol							1,7E-1	1,7E-1																		
	4,1E+0			4,1E+0		4,1E+0		Flumequine							4,1E+0	4,1E+0																		
	#####			#####		#####		Ivermectin							#VALEUR!	#VALEUR!																		
	#####			#####		#####		Spiramycin							#VALEUR!	#VALEUR!																		
	2,0E+2			2,0E+2		2,0E+2		Tétracycline							2,0E+2	2,0E+2																		
	1,7E+0			3,2E-1		3,2E-1		Carbamazépine							1,7E+0	1,7E+0	3,6E-1	oui	P.A. Herklotz et al. (2010) Chemosphere 78,1416-1422	3,6E-1	oui	P.A. Herklotz et al. (2010) Chemosphere 78,1416-1422	1,7E+0	3,2E-1										

bœuf, veau, cheval																		
teneur en MS animal		0,284 (US EPA, 1997)										BAF pondérés						
types d'aliment		sol				vég8 - fourrage				vég7 - ensilage				par la ration				
part dans l'alimentation		0,04				0,48				0,48				alimentaire				
teneur en MS aliment		non concerné										0,900						
BAF	expéri-mental	poids sec ?	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	expéri-mental	poids sec ?	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	expéri-mental	poids sec ? animal	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	BAF pondérés		
Cadmium						4,0E-6	oui	oui	Laurent et al., 2002		1,1E-5	1,0E-5	oui	oui	Laurent et al., 2002		3,2E-6	1,64E-7
Chrome III						2,6E-5	oui	oui	Laurent et al., 2002		7,4E-5							
Cuivre						1,0E-5	oui	oui	Laurent et al., 2002		2,8E-5	1,0E-5	oui	oui	Laurent et al., 2002		3,2E-6	3,57E-6
Mercure inorganique																		
Mercure organique				3,0E-7	3,0E-7					3,0E-6	3,0E-6				3,3E-7	3,3E-7	1,41E-7	
Nickel						1,3E-5	oui	oui	Laurent et al., 2002		3,7E-5	7,0E-5	oui	oui	Laurent et al., 2002		2,2E-5	4,39E-8
Plomb						1,0E-4	oui	oui	Laurent et al., 2002		2,8E-4	1,0E-5	oui	oui	Laurent et al., 2002		3,2E-6	1,64E-9
Sélénium												7,8E-4	oui	oui	Laurent et al., 2002		2,5E-4	4,04E-6
Zinc						1,3E-4	oui	oui	Laurent et al., 2002		3,6E-4	1,3E-3	oui	oui	Laurent et al., 2002		4,0E-4	3,35E-4
Alkylphénols				6,6E-6	6,6E-6					6,6E-5	6,6E-5				7,3E-6	7,3E-6	5,2E-4	
4 Chloraniline				4,1E-7	4,1E-7					4,1E-6	4,1E-6				4,5E-7	4,5E-7	6,8E-7	
COV				5,8E-6	5,8E-6					5,8E-5	5,8E-5				6,5E-6	6,5E-6	2,4E-6	
DEHP				2,9E-1	2,9E-1					2,9E+0	2,9E+0				3,2E-1	3,2E-1	1,2E-2	
Dioxines (17 congénères I-				3,9E-1	3,9E-1					3,9E+0	3,9E+0				4,3E-1	4,3E-1	1,6E-2	
HAP (20)				1,9E-5	1,9E-5					1,9E-4	1,9E-4				2,1E-5	2,1E-5	4,3E-5	
HAP alkylés (4)				5,1E-5	5,1E-5					5,1E-4	5,1E-4				5,6E-5	5,6E-5	7,6E-6	
Organo-étains				1,8E-7	1,8E-7					1,8E-6	1,8E-6				2,0E-7	2,0E-7	4,7E-7	
PCB indicateurs	2,7E+0	non	PCB 11	8,9E-3	2,7E+0												1,1E-1	
Perfluoroalkyls				#NOMBRE!	#NOMBRE!					#####	#NOMBRE!				#NOMBRE!	#NOMBRE!	#NOMBRE!	
Phénols				1,7E-7	1,7E-7					1,7E-6	1,7E-6				1,9E-7	1,9E-7	8,7E-7	
Polybromodiphényléthers				1,4E-3	1,4E-3					1,4E-2	1,4E-2				1,5E-3	1,5E-3	1,8E-3	
17-beta-oestradiol				7,3E-5	7,3E-5					7,3E-4	7,3E-4				8,1E-5	8,1E-5	9,4E-6	
Flumequine				2,4E-7	2,4E-7					2,4E-6	2,4E-6				2,6E-7	2,6E-7	5,3E-7	
Ivermectin				#NOMBRE!	#NOMBRE!					#####	#NOMBRE!				#NOMBRE!	#NOMBRE!	#NOMBRE!	
Spiramycine				#NOMBRE!	#NOMBRE!					#####	#NOMBRE!				#NOMBRE!	#NOMBRE!	#NOMBRE!	
Tétracycline				2,4E-10	2,4E-10					2,4E-9	2,4E-9				2,6E-10	2,6E-10	2,5E-8	
Carbamazépine				1,1E-6	1,1E-6					1,1E-5	1,1E-5				1,2E-6	1,2E-6	2,3E-7	

taux mat grasse bœuf et porc 20%

mouton, agneau																		
teneur en MS animal	0,266 (US EPA, 1997)																	
types d'aliment	sol					vég8 - fourrage					vég7 - ensilage							
part dans l'alimentation	0,04					0,48					0,48							
teneur en MS aliment	non concerné																	
BAF	0,100					0,900					0,900					BAF pondérés par la ration alimentaire		
	expéri-mental	poids sec ?	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	expéri-mental	poids animal	sec ? végétal	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	expéri-mental	poids animal	sec ? végétal	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	
Cadmium						#####	oui	oui	Laurent et al., 2002		5,32E-6	#####	oui	oui	Laurent et al., 2002		2,95E-9	1,53E-10
Chrome III						#####		oui	Liu, 2003 + expertise		3,20E+0	#####	oui	oui	Laurent et al., 2002		3,54E-5	4,00E-5
Cuivre																		
Mercure inorganique				2,79E-7	2,79E-7					2,79E-6	2,79E-6					3,10E-7	3,10E-7	1,32E-7
Mercure organique																		
Nickel						#####		oui	Liu, 2003 + expertise		3,10E-1	#####	oui	oui	Laurent et al., 2002		4,73E-5	2,45E-8
Plomb						#####		oui	Liu, 2003 + expertise		7,00E+0	#####	oui	oui	Laurent et al., 2002		1,15E-6	9,70E-7
Sélénium																		
Zinc																		
Alkylphénols				6,1E-6	6,1E-6					6,1E-5	6,1E-5					6,8E-6	6,8E-6	4,8E-4
4 Chloraniline				3,8E-7	3,8E-7					3,8E-6	3,8E-6					4,2E-7	4,2E-7	6,3E-7
COV				5,5E-6	5,5E-6					5,5E-5	5,5E-5					6,1E-6	6,1E-6	2,2E-6
DEHP				2,7E-1	2,7E-1					2,7E+0	2,7E+0					3,0E-1	3,0E-1	1,1E-2
Dioxines (17 congénères l-)				3,6E-1	3,6E-1					3,6E+0	3,6E+0					4,0E-1	4,0E-1	1,5E-2
HAP (20)				1,8E-5	1,8E-5					1,8E-4	1,8E-4					2,0E-5	2,0E-5	4,0E-5
HAP alkylés (4)				4,8E-5	4,8E-5					4,8E-4	4,8E-4					5,3E-5	5,3E-5	7,1E-6
Organo-étains				1,7E-7	1,7E-7					1,7E-6	1,7E-6					1,9E-7	1,9E-7	4,4E-7
PCB indicateurs				8,3E-3	8,3E-3					8,3E-2	8,3E-2					9,2E-3	9,2E-3	2,2E-3
Perfluoroalkyls				#####	#####					#####	#####					#####	#####	#NOMBRE!
Phénols				1,6E-7	1,6E-7					1,6E-6	1,6E-6					1,8E-7	1,8E-7	8,1E-7
Polybromodiphényléthers				1,3E-3	1,3E-3					1,3E-2	1,3E-2					1,4E-3	1,4E-3	1,7E-3
17-beta-oestradiol				6,8E-5	6,8E-5					6,8E-4	6,8E-4					7,5E-5	7,5E-5	8,8E-6
Flumequine				2,2E-7	2,2E-7					2,2E-6	2,2E-6					2,4E-7	2,4E-7	5,0E-7
Ivermectin				#####	#####					#####	#####					#####	#####	#NOMBRE!
Spiramycin				#####	#####					#####	#####					#####	#####	#NOMBRE!
Tétracycline				2,2E-10	2,2E-10					2,2E-9	2,2E-9					2,5E-10	2,5E-10	2,3E-8
Carbamazépine				1,0E-6	1,0E-6					1,0E-5	1,0E-5					1,1E-6	1,1E-6	2,2E-7

taux mat grasse bœuf et porc

porc																BAF pondérés par la ration alimentaire		
teneur en MS animal		0,300 (US EPA, 1997)																
types d'aliment		sol				vég8 - fourrage				vég7 - ensilage								
part dans l'alimentation		0,04				0,48				0,48								
teneur en MS aliment		non concerné				0,100				0,900								
BAF	expéri- mental	poids sec ?	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	expéri- mental	poids sec ? animal	végétal	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	expéri- mental	poids sec ? animal	végétal	source biblio	calculé (MF)	retenu (MF)	
Cadmium												8,30E-5	oui	oui	Laurent et al., 2002		2,77E-5	1,43E-6
Chrome III																		
Cuivre																		
Mercure inorganique				3,15E-7	3,15E-7					3,15E-6	3,15E-6					3,50E-7	3,50E-7	1,49E-7
Mercure organique												2,85E-4	oui	oui	Laurent et al., 2002		9,50E-5	1,89E-7
Nickel																		
Plomb																		
Sélénium																		
Zinc												6,24E-4	oui	oui	Laurent et al., 2002		2,08E-4	1,75E-4
Alkylphénols				6,94E-6	6,94E-6					6,94E-5	6,94E-5					7,71E-6	7,71E-6	5,46E-4
4 Chloraniline				4,29E-7	4,29E-7					4,29E-6	4,29E-6					4,77E-7	4,77E-7	7,16E-7
COV				6,16E-6	6,16E-6					6,16E-5	6,16E-5					6,84E-6	6,84E-6	2,51E-6
DEHP				3,09E-1	3,09E-1					3,09E+0	3,09E+0					3,43E-1	3,43E-1	1,28E-2
Dioxines (17 congénères l-)				4,11E-1	4,11E-1					4,11E+0	4,11E+0					4,56E-1	4,56E-1	1,70E-2
HAP (20)				2,02E-5	2,02E-5					2,02E-4	2,02E-4					2,25E-5	2,25E-5	4,55E-5
HAP alkylés (4)				5,36E-5	5,36E-5					5,36E-4	5,36E-4					5,96E-5	5,96E-5	8,04E-6
Organo-étains				1,91E-7	1,91E-7					1,91E-6	1,91E-6					2,12E-7	2,12E-7	4,97E-7
PCB indicateurs	1,26E+0	non	PCB 18	9,36E-3	1,26E+0													5,04E-2
Perfluoroalkyls				#NOMBRE!	#####					#####	#####					#NOMBRE!	#####	#NOMBRE!
Phénols				1,82E-7	1,82E-7					1,82E-6	1,82E-6					2,02E-7	2,02E-7	9,17E-7
Polybromodiphényléthers				1,43E-3	1,43E-3					1,43E-2	1,43E-2					1,59E-3	1,59E-3	1,94E-3
17-beta-oestradiol				7,66E-5	7,66E-5					7,66E-4	7,66E-4					8,52E-5	8,52E-5	9,97E-6
Flumequine				2,48E-7	2,48E-7					2,48E-6	2,48E-6					2,76E-7	2,76E-7	5,59E-7
Ivermectin				#NOMBRE!	#####					#####	#####					#NOMBRE!	#####	#NOMBRE!
Spiramycin				#NOMBRE!	#####					#####	#####					#NOMBRE!	#####	#NOMBRE!
Tétracycline				2,51E-10	2,51E-10					2,51E-9	2,51E-9					2,79E-10	2,79E-10	2,63E-8
Carbamazépine				1,17E-6	1,17E-6					1,17E-5	1,17E-5					1,29E-6	1,29E-6	2,48E-7

taux mat grasse bœuf et
porc

	ingestion de sol (extérieur) (mg/kg.j)			inhalation de poussières (extérieur) (mg/m3)			consommation de végétaux (mg/kg.j)					bovins vache, veau, chevreau	porc	consommation d'animaux (mg/kg.j)						
	1a - Consomma- teurs adulte	1b - Consomma- teurs enfant	2a - Rive- rain adulte	1a - Consomma- teurs adulte	1b - Consomma- teurs enfant	2a - Rive- rain adulte	1a - Consomma- teurs adulte	1b - Consomma- teurs enfant	2a - Rive- rain adulte	2b - Rive- rain enfant	3a - Agricul- teur adulte			1a - Consomma- teurs adulte	1b - Consomma- teurs enfant	2a - Rive- rain adulte	2b - Rive- rain enfant	3a - Agricul- teur adulte		
Cadmium		6,5E-10	6,4E-08	8,6E-08		2,4E-11	1,7E-10	2,8E-08		9,2E-05	2,5E-04	8,4E-05	2,4E-04	8,4E-05		2,6E-10	6,4E-10	2,6E-10	6,4E-10	2,6E-10
Chrome III		8,0E-08	7,9E-06	1,1E-05		2,9E-09	2,1E-08	3,4E-06		9,6E-04	2,6E-03	8,8E-04	2,5E-03	8,8E-04						
Cuivre		3,2E-08	3,1E-06	4,2E-06		1,2E-09	8,2E-09	1,4E-06		2,0E-02	5,4E-02	1,8E-02	5,3E-02	1,8E-02		2,4E-07	6,3E-07	2,0E-07	5,7E-07	2,0E-07
Mercure inorganique		1,1E-10	1,1E-08	1,5E-08		4,2E-12	3,0E-11	4,9E-09		1,2E-05	3,3E-05	1,1E-05	3,2E-05	1,1E-05						
Mercure organique		1,1E-12	1,1E-10	1,5E-10		4,2E-14	3,0E-13	4,9E-11		2,3E-08	6,2E-08	2,1E-08	6,1E-08	2,1E-08		1,1E-13	2,8E-13	1,0E-13	2,7E-13	1,0E-13
Nickel		4,3E-08	4,3E-06	5,8E-06		1,6E-09	1,1E-08	1,9E-06		3,6E-04	1,0E-03	3,4E-04	1,0E-03	3,4E-04		2,6E-09	6,5E-09	2,6E-09	6,5E-09	2,6E-09
Plomb		6,5E-08	6,4E-06	8,6E-06		2,4E-09	1,7E-08	2,8E-06		1,6E-04	4,8E-04	1,5E-04	4,7E-04	1,5E-04		3,2E-10	8,2E-10	2,6E-10	7,4E-10	2,6E-10
Sélénium		2,1E-11	2,1E-09	2,8E-09		7,7E-13	5,4E-12	9,0E-10		2,7E-08	7,4E-08	1,0E-07	3,3E-07	1,6E-07		5,6E-13	1,7E-12	1,5E-12	4,4E-12	8,4E-12
Zinc		1,3E-07	1,3E-05	1,7E-05		4,8E-09	3,4E-08	5,7E-06		4,7E-02	1,3E-01	4,3E-02	1,2E-01	4,3E-02		1,7E-05	4,7E-05	1,7E-05	4,7E-05	1,7E-05
Alkylphénols		5,3E-12	5,2E-10	7,0E-10		1,9E-13	1,4E-12	2,3E-10		2,4E-06	6,3E-06	2,2E-06	6,2E-06	2,2E-06		4,8E-11	1,3E-10	1,2E-10	3,3E-10	6,7E-10
4 Chloraniline		6,6E-13	6,5E-11	8,8E-11		2,4E-14	1,7E-13	2,8E-11		6,3E-08	1,7E-07	5,7E-08	1,6E-07	5,7E-08		7,9E-15	2,1E-14	2,0E-14	5,4E-14	1,1E-13
COV		2,2E-14	2,2E-12	2,9E-12		8,0E-16	5,7E-15	9,4E-13		4,7E-10	1,3E-09	4,3E-10	1,2E-09	4,3E-10		9,1E-16	2,4E-15	2,3E-15	6,2E-15	1,3E-14
DEHP		1,1E-11	1,1E-09	1,4E-09		3,9E-13	2,8E-12	4,6E-10		8,5E-10	2,3E-09	7,7E-10	2,2E-09	7,7E-10		2,3E-09	6,1E-09	5,7E-09	1,6E-08	3,2E-08
Dioxines (17 congénères I-		1,0E-16	9,9E-15	1,3E-14		3,7E-18	2,6E-17	4,3E-15		7,1E-15	1,9E-14	6,5E-15	1,9E-14	6,5E-15		2,8E-14	7,5E-14	7,1E-14	1,9E-13	4,0E-13
HAP (20)		1,5E-11	1,5E-09	2,0E-09		5,6E-13	4,0E-12	6,5E-10		8,6E-08	2,7E-07	1,5E-06	4,7E-06	2,4E-06		1,2E-11	3,1E-11	2,9E-11	7,9E-11	1,6E-10
HAP alkylés (4)		4,3E-13	4,3E-11	5,8E-11		1,6E-14	1,1E-13	1,9E-11		1,5E-08	3,9E-08	1,3E-08	3,8E-08	1,3E-08		5,8E-14	1,6E-13	1,5E-13	4,0E-13	8,2E-13
Organo-étains		9,5E-13	9,4E-11	1,3E-10		3,5E-14	2,5E-13	4,1E-11		4,1E-07	1,2E-06	5,2E-06	1,7E-05	8,3E-06		7,9E-15	2,1E-14	2,0E-14	5,4E-14	1,1E-13
PCB indicateurs		1,3E-12	1,3E-10	1,8E-10		4,9E-14	3,5E-13	5,8E-11		1,7E-08	4,6E-08	1,6E-08	4,5E-08	1,6E-08		1,4E-09	4,0E-09	3,7E-09	1,0E-08	2,0E-08
Perfluoroalkyls		2,1E-13	2,0E-11	2,7E-11		7,6E-15	5,4E-14	8,9E-12		4,3E-12	1,4E-11	8,2E-11	2,7E-10	1,3E-10		#####	#####	#####	#####	#####
Phénols		2,2E-11	2,2E-09	2,9E-09		8,1E-13	5,7E-12	9,5E-10		3,4E-06	9,1E-06	3,1E-06	8,9E-06	3,1E-06		3,4E-13	9,0E-13	8,4E-13	2,3E-12	4,8E-12
Polybromodiphényléthers		3,1E-12	3,1E-10	4,2E-10		1,2E-13	8,2E-13	1,4E-10		2,5E-07	6,8E-07	3,7E-07	1,1E-06	4,7E-07		1,0E-10	2,7E-10	2,5E-10	7,0E-10	1,4E-09
17-beta-oestradiol		9,6E-17	9,5E-15	1,3E-14		3,5E-18	2,5E-17	4,1E-15		5,1E-13	1,4E-12	4,6E-13	1,3E-12	4,6E-13		1,6E-17	4,3E-17	4,0E-17	1,1E-16	2,3E-16
Flumequine		1,6E-14	1,6E-12	2,1E-12		5,8E-16	4,1E-15	6,8E-13		2,1E-09	5,5E-09	1,9E-09	5,4E-09	1,9E-09		1,5E-16	3,9E-16	3,7E-16	1,0E-15	2,1E-15
Ivermectin		1,1E-14	1,1E-12	1,5E-12		4,2E-16	2,9E-15	4,9E-13		#####	#####	#####	#####	#####		#####	#####	#####	#####	#####
Spiramycin		5,7E-15	5,6E-13	7,5E-13		2,1E-16	1,5E-15	2,4E-13		#####	#####	#####	#####	#####		#####	#####	#####	#####	#####
Tétracycline		3,5E-13	3,4E-11	4,6E-11		1,3E-14	9,0E-14	1,5E-11		2,1E-06	5,7E-06	1,9E-06	5,6E-06	1,9E-06		1,5E-16	4,1E-16	3,8E-16	1,0E-15	2,1E-15
Carbamazépine		5,3E-14	5,3E-12	7,1E-12		2,0E-15	1,4E-14	2,3E-12		2,9E-09	7,8E-09	2,7E-09	7,6E-09	2,7E-09		2,2E-16	5,9E-16	5,5E-16	1,5E-15	3,1E-15

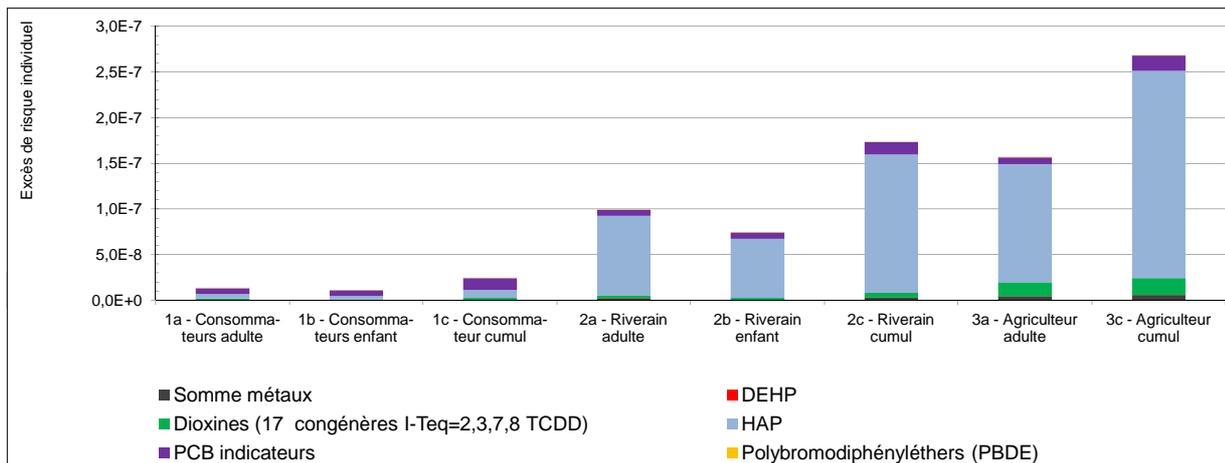
	ingestion de sol (extérieur) (mg/kg.j)			inhalation de poussières (extérieur) (mg/m3)			vég - céréales	vég - pommes de terre	consommation de végétaux (mg/kg.j)					boeuf, veau, cheval	mouton, agneau	porc	volaille	consommation d'animaux (mg/kg.j)					
	1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	3a - Agriculteur adulte	1a - Consommateurs adulte	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant			3a - Agriculteur adulte	1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant					3a - Agriculteur adulte	1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte
Cadmium	6,5E-10	6,4E-08	8,6E-08	2,4E-11	1,7E-10	2,8E-08			9,2E-05	2,5E-04	8,4E-05	2,4E-04	8,4E-05					2,6E-10	6,3E-10	2,6E-10	6,3E-10	2,6E-10	
Chrome III	8,0E-08	7,9E-06	1,1E-05	2,9E-09	2,1E-08	3,4E-06			9,6E-04	2,6E-03	8,8E-04	2,5E-03	8,8E-04					2,4E-07	6,3E-07	2,0E-07	5,7E-07	2,0E-07	
Cuivre	3,1E-08	3,1E-06	4,2E-06	1,2E-09	8,1E-09	1,3E-06			2,0E-02	5,4E-02	1,8E-02	5,3E-02	1,8E-02										
Mercure inorganique	1,1E-10	1,1E-08	1,5E-08	4,2E-12	2,9E-11	4,9E-09			1,2E-05	3,3E-05	1,1E-05	3,2E-05	1,1E-05										
Mercure organique	1,1E-12	1,1E-10	1,5E-10	4,2E-14	2,9E-13	4,9E-11			2,3E-08	6,2E-08	2,1E-08	6,1E-08	2,1E-08					1,1E-13	2,8E-13	1,0E-13	2,7E-13	1,0E-13	
Nickel	4,3E-08	4,3E-06	5,8E-06	1,6E-09	1,1E-08	1,9E-06			3,6E-04	1,0E-03	3,4E-04	1,0E-03	3,4E-04					2,6E-09	6,4E-09	2,6E-09	6,4E-09	2,6E-09	
Plomb	6,5E-08	6,4E-06	8,6E-06	2,4E-09	1,7E-08	2,8E-06			1,6E-04	4,8E-04	1,5E-04	4,7E-04	1,5E-04					3,2E-10	8,2E-10	2,5E-10	7,4E-10	2,6E-10	
Sélénium	1,9E-11	1,6E-09	2,5E-09	7,1E-13	4,1E-12	8,0E-10			2,5E-08	5,5E-08	9,6E-08	2,5E-07	1,4E-07					5,2E-13	1,2E-12	1,3E-12	3,2E-12	7,4E-12	
Zinc	1,3E-07	1,3E-05	1,7E-05	4,8E-09	3,4E-08	5,6E-06			4,7E-02	1,3E-01	4,3E-02	1,2E-01	4,3E-02					1,7E-05	4,6E-05	1,7E-05	4,6E-05	1,7E-05	
Alkylphénols	8,2E-13	5,2E-10	1,7E-10	3,0E-14	1,4E-12	5,7E-11			3,5E-07	5,9E-06	3,2E-07	5,8E-06	5,1E-07					6,4E-12	1,1E-10	1,6E-11	2,8E-10	1,4E-10	
Anilines Chlorées	1,0E-16	6,5E-14	2,2E-14	3,8E-18	1,7E-16	7,1E-15			9,9E-12	1,7E-10	9,0E-12	1,6E-10	1,4E-11					1,2E-18	2,1E-17	3,1E-18	5,3E-17	2,8E-17	
COV	3,4E-15	2,2E-12	7,2E-13	1,3E-16	5,7E-15	2,3E-13			7,4E-11	1,3E-09	6,7E-11	1,2E-09	1,1E-10					1,4E-16	2,4E-15	3,6E-16	6,1E-15	3,2E-15	
DEHP	1,7E-12	1,1E-09	3,6E-10	6,2E-14	2,8E-12	1,2E-10			1,3E-10	2,2E-09	1,2E-10	2,2E-09	1,9E-10					3,6E-10	6,0E-09	9,0E-10	1,5E-08	8,1E-09	
Dioxines (17 congénères I-)	3,4E-17	7,8E-15	6,6E-15	1,3E-18	2,1E-17	2,1E-15			2,5E-15	1,5E-14	2,2E-15	1,5E-14	3,2E-15					9,8E-15	5,9E-14	2,4E-14	1,5E-13	2,0E-13	
HAP	5,0E-12	1,2E-09	9,6E-10	1,8E-13	3,2E-12	3,1E-10			2,8E-08	2,2E-07	4,8E-07	3,8E-06	1,1E-06					3,8E-12	2,4E-11	9,4E-12	6,2E-11	7,7E-11	
HAP alkylés	6,8E-14	4,3E-11	1,4E-11	2,5E-15	1,1E-13	4,7E-12			2,3E-09	3,9E-08	2,1E-09	3,8E-08	3,4E-09					9,1E-15	1,5E-13	2,3E-14	3,9E-13	2,1E-13	
Hydrures d'étain	2,5E-13	7,6E-11	5,2E-11	9,3E-15	2,0E-13	1,7E-11			1,1E-07	1,0E-06	1,4E-06	1,4E-05	3,4E-06					2,1E-15	1,7E-14	5,2E-15	4,3E-14	4,6E-14	
PCB indicateurs	1,2E-12	1,0E-10	1,6E-10	4,6E-14	2,6E-13	5,1E-11			1,6E-08	3,5E-08	1,5E-08	3,4E-08	1,4E-08					1,3E-09	3,0E-09	3,4E-09	7,7E-09	1,8E-08	
Perfluoroalkyls	3,6E-14	1,8E-11	7,6E-12	1,3E-15	4,8E-14	2,5E-12			7,5E-13	1,3E-11	1,4E-11	2,4E-10	3,7E-11					#####	#####	#####	#####	#####	
Phénols	3,5E-12	2,2E-09	7,3E-10	1,3E-13	5,7E-12	2,4E-10			5,3E-07	9,1E-06	4,9E-07	8,9E-06	7,8E-07					5,3E-14	8,9E-13	1,3E-13	2,3E-12	1,2E-12	
Polybromodiphényléthers	4,9E-13	3,1E-10	1,0E-10	1,8E-14	8,2E-13	3,4E-11			3,9E-08	6,8E-07	5,8E-08	1,1E-06	1,2E-07					1,6E-11	2,7E-10	4,0E-11	6,9E-10	3,6E-10	
17-beta-oestradiol	1,5E-17	9,5E-15	3,2E-15	5,5E-19	2,5E-17	1,0E-15			8,0E-14	1,4E-12	7,2E-14	1,3E-12	1,2E-13					2,5E-18	4,2E-17	6,2E-18	1,1E-16	5,6E-17	
Flumequine	2,5E-15	1,6E-12	5,3E-13	9,1E-17	4,1E-15	1,7E-13			3,2E-10	5,5E-09	2,9E-10	5,4E-09	4,7E-10					2,3E-17	3,9E-16	5,8E-17	1,0E-15	5,2E-16	
Ivermectin	1,1E-14	8,4E-13	1,3E-12	3,9E-16	2,2E-15	4,3E-13			#####	#####	#####	#####	#####					#####	#####	#####	#####	#####	
Spiramycin	5,3E-15	4,2E-13	6,7E-13	1,9E-16	1,1E-15	2,2E-13			#####	#####	#####	#####	#####					#####	#####	#####	#####	#####	
Tétracycline	5,5E-14	3,3E-11	1,2E-11	2,0E-15	8,7E-14	3,8E-12			3,4E-07	5,5E-06	3,1E-07	5,4E-06	4,9E-07					2,4E-17	3,9E-16	6,0E-17	9,9E-16	5,4E-16	
Carbamazépine	8,4E-15	5,1E-12	1,8E-12	3,1E-16	1,3E-14	5,8E-13			4,6E-10	7,5E-09	4,2E-10	7,4E-09	6,7E-10					3,5E-17	5,6E-16	8,7E-17	1,4E-15	7,9E-16	

	ingestion de sol (extérieur) (mg/kg.j)			inhalation de poussières (extérieur) (mg/m3)			végés - pommes de terre végé - céréales	consommation de végétaux (mg/kg.j)					bovins, vœau, cheval porcs poulets, agneau	consommation d'animaux (mg/kg.j)						
	1a - Consommateurs adultes	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte	1a - Consommateurs adultes		1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte	1a - Consommateurs adultes		1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte			
Cadmium			6,4E-10	6,3E-08	8,5E-08		2,3E-11	1,7E-10	2,7E-08		9,2E-05	2,5E-04	8,4E-05	2,4E-04	8,4E-05	2,6E-10	6,4E-10	2,6E-10	6,4E-10	2,6E-10
Chrome III			8,0E-08	7,9E-06	1,1E-05		2,9E-09	2,1E-08	3,4E-06		9,6E-04	2,6E-03	8,8E-04	2,5E-03	8,8E-04					
Cuivre			2,9E-08	2,9E-06	3,9E-06		1,1E-09	7,6E-09	1,3E-06		2,0E-02	5,4E-02	1,8E-02	5,2E-02	1,8E-02	2,4E-07	6,3E-07	2,0E-07	5,7E-07	2,0E-07
Mercure inorganique			1,1E-10	1,1E-08	1,4E-08		3,9E-12	2,8E-11	4,6E-09		1,2E-05	3,3E-05	1,1E-05	3,2E-05	1,1E-05					
Mercure organique			1,1E-12	1,1E-10	1,4E-10		3,9E-14	2,8E-13	4,6E-11		2,3E-08	6,2E-08	2,1E-08	6,1E-08	2,1E-08	1,1E-13	2,8E-13	1,0E-13	2,7E-13	1,0E-13
Nickel			4,3E-08	4,3E-06	5,7E-06		1,6E-09	1,1E-08	1,9E-06		3,6E-04	1,0E-03	3,4E-04	1,0E-03	3,4E-04	2,6E-09	6,5E-09	2,6E-09	6,5E-09	2,6E-09
Plomb			6,4E-08	6,4E-06	8,5E-06		2,4E-09	1,7E-08	2,8E-06		1,6E-04	4,8E-04	1,5E-04	4,7E-04	1,5E-04	3,2E-10	8,2E-10	2,5E-10	7,4E-10	2,5E-10
Sélénium																				
Zinc			1,3E-07	1,2E-05	1,7E-05		4,6E-09	3,3E-08	5,4E-06		4,7E-02	1,3E-01	4,3E-02	1,2E-01	4,3E-02	1,7E-05	4,7E-05	1,7E-05	4,7E-05	1,7E-05
Alkylphénols																				
4 Chloraniline																				
COV																				
DEHP																				
Dioxines (17 congénères I-																				
HAP (20)																				
HAP alkylés (4)																				
Organo-étains																				
PCB indicateurs																				
Perfluoroalkyls											#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#####	#####	#####	#####	#####
Phénols																				
Polybromodiphényléthers																				
17-beta-oestradiol																				
Flumequine																				
Ivermectin											#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#####	#####	#####	#####	#####
Spiramycin											#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#####	#####	#####	#####	#####
Tétracycline											#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#####	#####	#####	#####	#####
Carbamazépine																				

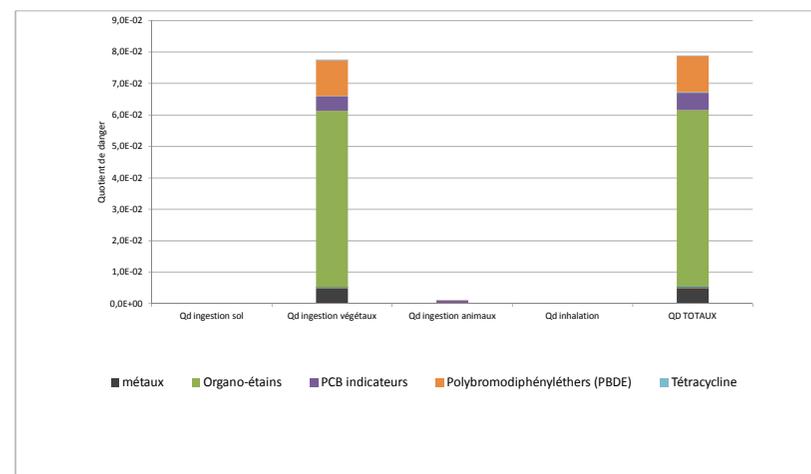
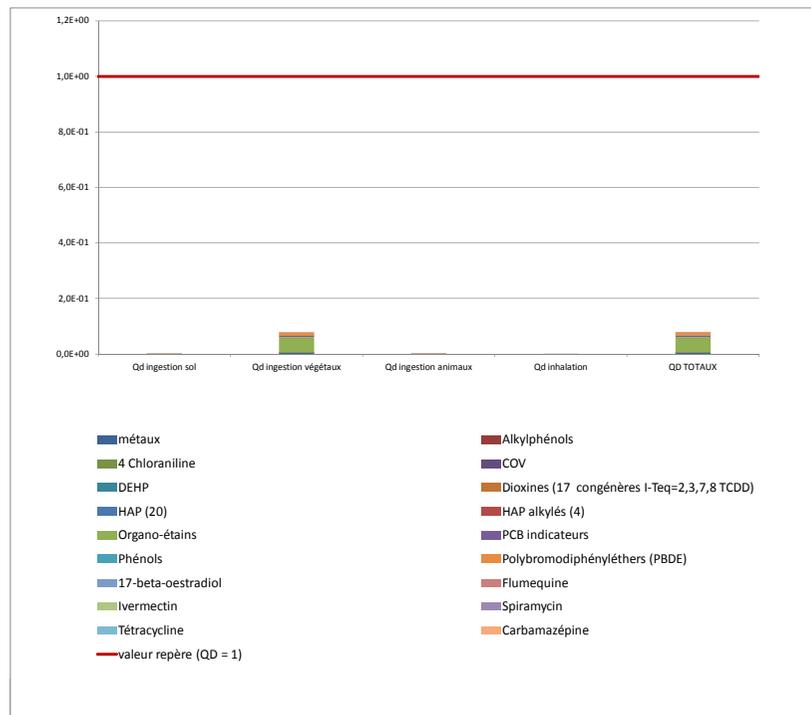
	ingestion de sol (extérieur) (mg/kg.j)					inhalation de poussières (extérieur)					végét - céréales		végét - pommes de terre		consommation de végétaux (mg/kg.j)					consommation d'animaux (mg/kg.j)	
	1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte	1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte	1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte	1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	3a - Agriculteur adulte	bovins, veau, cheval
Cadmium	6,4E-10	6,3E-08	8,5E-08			2,3E-11	1,7E-10	2,7E-08		9,2E-05	2,5E-04	8,4E-05	2,4E-04	8,4E-05	2,6E-10	6,3E-10	2,6E-10	6,3E-10	2,6E-10		
Chrome III	8,0E-08	7,9E-06	1,1E-05			2,9E-09	2,1E-08	3,4E-06		9,6E-04	2,6E-03	8,8E-04	2,5E-03	8,8E-04							
Cuivre	2,9E-08	2,9E-06	3,9E-06			1,1E-09	7,6E-09	1,3E-06		2,0E-02	5,3E-02	1,8E-02	5,2E-02	1,8E-02	2,4E-07	6,3E-07	2,0E-07	5,7E-07	2,0E-07		
Mercure inorganique	1,1E-10	1,1E-08	1,4E-08			3,9E-12	2,8E-11	4,6E-09		1,2E-05	3,3E-05	1,1E-05	3,2E-05	1,1E-05							
Mercure organique	1,1E-12	1,1E-10	1,4E-10			3,9E-14	2,8E-13	4,6E-11		2,3E-08	6,2E-08	2,1E-08	6,1E-08	2,1E-08	1,1E-13	2,8E-13	1,0E-13	2,7E-13	1,0E-13		
Nickel	4,3E-08	4,3E-06	5,7E-06			1,6E-09	1,1E-08	1,9E-06		3,6E-04	1,0E-03	3,4E-04	1,0E-03	3,4E-04	2,6E-09	6,4E-09	2,6E-09	6,4E-09	2,6E-09		
Plomb	6,4E-08	6,4E-06	8,5E-06			2,4E-09	1,7E-08	2,8E-06		1,6E-04	4,8E-04	1,5E-04	4,7E-04	1,5E-04	3,2E-10	8,2E-10	2,5E-10	7,4E-10	2,5E-10		
Sélénium																					
Zinc	1,3E-07	1,2E-05	1,7E-05			4,6E-09	3,3E-08	5,4E-06		4,7E-02	1,3E-01	4,3E-02	1,2E-01	4,3E-02	1,7E-05	4,6E-05	1,7E-05	4,6E-05	1,7E-05		
Alkylphénols																					
Anilines Chlorées																					
COV																					
DEHP																					
Dioxines (17 congénères I-HAP)																					
HAP alkylés																					
Hydrures d'étain																					
PCB indicateurs																					
Perfluoroalkyls										#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#####	#####	#####	#####	#####		
Phénols																					
Polybromodiphényléthers																					
17-beta-oestradiol																					
Flumequine																					
Ivermectin										#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#####	#####	#####	#####	#####		
Spiramycin										#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#####	#####	#####	#####	#####		
Tétracycline										#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	#####	#####	#####	#####	#####		
Carbamazépine																					

OD Attribuable épannage	ingestion de sol (extérieur)						inhalation de poussières (extérieur)						consommation de végétaux						consommation d'animaux						
	1a - Consomma- teurs adulte		1b - Consomma- teurs enfant		3a - Agriculteur adulte		1a - Consomma- teurs adulte		1b - Consomma- teurs enfant		3a - Agriculteur adulte		1a - Consomma- teurs adulte		1b - Consomma- teurs enfant		3a - Agriculteur adulte		1a - Consomma- teurs adulte		1b - Consomma- teurs enfant		3a - Agriculteur adulte		
	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	
Cadmium	4,1E-08	4,0E-06	5,4E-06				1,8E-09	1,3E-08	2,1E-06				1,5E-04	4,0E-04	3,0E-04	9,4E-04	4,2E-04	4,2E-10	1,0E-09	1,1E-09	2,7E-09	5,5E-09			
Chrome III	2,0E-10	2,0E-08	2,7E-08				1,9E-10	1,3E-09	2,2E-07				6,1E-08	1,7E-07	1,9E-07	3,8E-07	1,7E-07								
Cuivre	1,6E-08	1,6E-06	2,2E-06				8,3E-08	5,9E-07	9,8E-05				2,8E-04	7,4E-04	4,1E-04	1,2E-03	5,1E-04	3,4E-09	8,8E-09	7,4E-09	2,2E-08	4,9E-08			
Mercure inorganique	4,0E-09	3,9E-07	5,3E-07				9,7E-09	6,9E-08	1,1E-05				1,1E-05	3,1E-05	4,0E-05	1,3E-04	6,0E-05								
Mercure organique	7,9E-10	7,8E-08	1,1E-07				4,4E-07	1,2E-06	4,0E-07	1,1E-06	4,0E-07		4,4E-07	1,2E-06	4,0E-07	1,1E-06	4,0E-07	2,0E-12	5,2E-12	4,9E-12	1,3E-11	2,8E-11			
Nickel	1,5E-08	1,5E-06	2,0E-06				6,8E-08	4,8E-07	8,0E-05				3,1E-06	9,1E-06	2,4E-05	7,8E-05	3,8E-05	2,3E-11	5,7E-11	5,9E-11	1,5E-10	3,0E-10			
Plomb	8,7E-07	8,7E-05	1,2E-04				2,2E-08	1,6E-07	2,6E-05				5,5E-05	1,6E-04	5,1E-04	1,7E-03	8,2E-04	1,1E-10	2,8E-10	2,4E-10	6,8E-10	1,6E-09			
Sélénium	4,2E-09	4,1E-07	5,6E-07										5,4E-06	1,5E-05	2,1E-05	6,6E-05	3,1E-05	1,1E-10	3,4E-10	2,9E-10	8,7E-10	1,7E-09			
Zinc	2,1E-08	2,1E-06	2,8E-06										1,9E-04	5,2E-04	2,5E-04	7,4E-04	2,9E-04	6,9E-08	1,9E-07	1,8E-07	5,0E-07	9,9E-07			
Benzo[a]pyrène																									
Fluoranthène																									
Benzo[b]fluoranthène																									
Alkylphénols		1,1E-10	1,0E-08	1,4E-08									4,8E-05	1,3E-04	4,3E-05	1,2E-04	4,3E-05	9,6E-10	2,6E-09	2,4E-09	6,5E-09	1,3E-08			
4 Chloraniline		3,3E-10	3,3E-08	4,4E-08									3,2E-05	8,4E-05	2,9E-05	8,2E-05	2,9E-05	3,9E-12	1,0E-11	9,8E-12	2,7E-11	5,5E-11			
COV		1,1E-13	1,1E-11	1,4E-11									2,4E-09	6,3E-09	2,1E-09	6,1E-09	2,1E-09	4,6E-15	1,2E-14	1,1E-14	3,1E-14	6,4E-14			
DEHP		5,4E-10	5,3E-08	7,1E-08									4,3E-08	1,1E-07	3,9E-08	1,1E-07	3,9E-08	1,2E-07	3,1E-07	2,9E-07	7,8E-07	1,6E-06			
Dioxines (17 congénères I-Teq=2,3,7,8 TCD)		4,3E-08	4,3E-06	5,8E-06									9,2E-11	6,5E-10	1,1E-07			1,2E-05	3,3E-05	3,1E-05	6,4E-05	1,7E-04			
HAP (20)		7,6E-10	7,5E-08	1,0E-07									1,9E-10	1,3E-09	2,2E-07			5,8E-10	1,5E-09	1,4E-09	3,9E-09	8,1E-09			
HAP alkylés (4)		1,1E-11	1,1E-09	1,4E-09									3,7E-07	9,8E-07	3,4E-07	9,6E-07	3,4E-07	1,5E-12	3,9E-12	3,6E-12	9,9E-12	2,1E-11			
Organo-étains		3,2E-09	3,1E-07	4,2E-07									1,4E-03	4,2E-03	1,7E-02	5,6E-02	2,8E-02	2,6E-11	7,0E-11	6,5E-11	1,8E-10	3,7E-10			
PCB indicateurs		1,3E-07	1,3E-05	1,8E-05									1,7E-03	4,6E-03	1,6E-03	4,5E-03	1,6E-03	1,4E-04	4,0E-04	3,7E-04	1,0E-03	2,0E-03			
Perfluoroalkyls		1,4E-09	1,4E-07	1,8E-07									2,9E-08	9,4E-08	5,5E-07	1,8E-06	8,9E-07								
Phénols		5,5E-10	5,5E-08	7,3E-08									8,6E-05	2,3E-04	7,8E-05	2,2E-04	7,8E-05	8,5E-12	2,3E-11	2,1E-11	5,8E-11	1,2E-10			
Polybromodiphényléthers (PBDE)		3,1E-08	3,1E-06	4,2E-06									2,5E-03	6,8E-03	3,7E-03	1,1E-02	4,7E-03	1,0E-06	2,7E-06	2,5E-06	7,0E-06	1,4E-05			
17-beta-oestradiol		1,9E-12	1,9E-10	2,6E-10									1,0E-08	2,7E-08	9,3E-09	2,6E-08	9,3E-09	3,2E-13	8,5E-13	8,0E-13	2,2E-12	4,5E-12			
Flumequine		5,3E-13	5,2E-11	7,0E-11									6,9E-08	1,8E-07	6,3E-08	1,8E-07	6,3E-08	4,9E-15	1,3E-14	1,2E-14	3,4E-14	6,9E-14			
Ivermectin		1,1E-11	1,1E-09	1,5E-09																					
Spiramycin		1,1E-13	1,1E-11	1,5E-11																					
Tétracycline		1,2E-11	1,1E-09	1,5E-09									7,1E-05	1,9E-04	6,5E-05	1,9E-04	6,5E-05	5,1E-15	1,4E-14	1,3E-14	3,5E-14	7,1E-14			
Carbamazépine		3,4E-11	3,3E-09	4,5E-09									1,8E-06	4,9E-06	1,7E-06	4,8E-06	1,7E-06	1,4E-13	3,7E-13	3,5E-13	9,5E-13	2,0E-12			

	1a - Consommateurs adulte	1b - Consommateurs enfant	1c - Consommateur cumul	2a - Riverain adulte	2b - Riverain enfant	2c - Riverain cumul	3a - Agriculteur adulte	3c - Agriculteur cumul
Cadmium				8,3E-13	4,4E-13	1,3E-12	5,8E-10	5,8E-10
Chrome III								
Cuivre								
Mercure inorganique								
Mercure organique								
Nickel				1,4E-12	7,2E-13	2,1E-12	9,5E-10	9,5E-10
Plomb	2,5E-10	5,6E-11	3,1E-10	2,3E-9	6,0E-10	2,9E-9	2,7E-9	4,2E-9
Sélénium								
Zinc								
Somme métaux	2,5E-10	5,6E-11	3,1E-10	2,3E-9	6,0E-10	2,9E-9	4,2E-9	5,7E-9
Alkylphénols								
Anilines Chlorées								
COV								
DEHP	6,3E-12	9,9E-12	1,6E-11	1,3E-11	2,2E-11	3,5E-11	6,9E-11	9,7E-11
Dioxines (17 congénères I-Teq=2,3,7,8 TCDD)	1,5E-9	8,3E-10	2,3E-9	3,2E-9	1,9E-9	5,1E-9	1,5E-8	1,9E-8
HAP	5,1E-9	3,7E-9	8,8E-9	8,7E-8	6,5E-8	1,5E-7	1,3E-7	2,3E-7
HAP alkylés								
Hydrures d'étain								
PCB indicateurs	6,4E-9	6,5E-9	1,3E-8	6,6E-9	7,2E-9	1,4E-8	7,4E-9	1,7E-8
Perfluoroalkyls								
Phénols								
Polybromodiphényléthers (PBDE)	2,5E-11	4,1E-11	6,6E-11	3,7E-11	6,7E-11	1,0E-10	4,7E-11	1,3E-10
17-beta-oestradiol	2,8E-12	4,5E-12	7,4E-12	2,6E-12	4,5E-12	7,0E-12	2,7E-12	8,1E-12
Flumequine								
Ivermectin								
Spiramycin								
Tétracycline								
somme	1,3E-8	1,1E-8	2,4E-8	9,9E-8	7,4E-8	1,7E-7	1,6E-7	2,7E-7
ERI=10-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5	1,0E-5



2b - Riverain enfant		Qd ingestion	Qd ingestion	Qd ingestion	Qd inhalation	QD TOTAUX
1	Cadmium	4,0E-06	9,4E-04	2,7E-09	1,3E-08	9,5E-04
2	Chrome III	2,0E-08	3,8E-07		1,3E-09	4,0E-07
3	Cuivre	1,6E-06	1,2E-03	2,2E-08	5,9E-07	1,2E-03
4	Mercure inorganique	3,9E-07	1,3E-04		6,9E-08	1,3E-04
5	Mercure organique	7,8E-08	1,1E-06	1,3E-11		1,2E-06
6	Nickel	1,5E-06	7,8E-05	1,5E-10	4,8E-07	8,0E-05
7	Plomb	8,7E-05	1,7E-03	6,8E-10	1,6E-07	1,7E-03
8	Sélénium	4,1E-07	6,6E-05	8,7E-10		6,6E-05
9	Zinc	2,1E-06	7,4E-04	5,0E-07		7,4E-04
10	métaux	9,7E-05	4,8E-03	5,3E-07	1,3E-06	4,9E-03
11						
12	Benzo[a]pyrène					
13	Fluoranthène					
14	Benzo[b]fluoranthène					
15						
16						
17						
18						
19	Alkylphénols	1,0E-08	1,2E-04	6,5E-09		1,2E-04
20	4 Chloraniline	3,3E-08	8,2E-05	2,7E-11		8,2E-05
21	COV	1,1E-11	6,1E-09	3,1E-14	6,6E-15	6,1E-09
22	DEHP	5,3E-08	1,1E-07	7,8E-07		9,5E-07
23	Dioxines (17 congénères I-Te	4,3E-06	8,1E-06	8,4E-05	6,5E-10	9,6E-05
24	HAP (20)	7,5E-08	2,4E-04	3,9E-09	1,3E-09	2,4E-04
25	HAP alkylés (4)	1,1E-09	9,6E-07	9,9E-12		9,6E-07
26	Organo-étains	3,1E-07	5,6E-02	1,8E-10		5,6E-02
27	PCB indicateurs	1,3E-05	4,5E-03	1,0E-03	7,0E-10	5,6E-03
28	Perfluoroalkyls	1,4E-07	1,8E-06			1,9E-06
29						
30	Phénols	5,5E-08	2,2E-04	5,8E-11	2,9E-11	2,2E-04
31	Polybromodiphényléthers (PBDE)	3,1E-06	1,1E-02	7,0E-06		1,1E-02
32	17-beta-oestradiol	1,9E-10	2,6E-08	2,2E-12		2,7E-08
33	Flumequine	5,2E-11	1,8E-07	3,4E-14		1,8E-07
34	Ivermectin	1,1E-09				1,1E-09
35	Spiramycine	1,1E-11				1,1E-11
36	Tétracycline	1,1E-09	1,9E-04	3,5E-14		1,9E-04
37	Carbamazépine	3,3E-09	4,8E-06	9,5E-13		4,8E-06
somme par voie		1,2E-04	7,8E-02	1,1E-03	1,3E-06	7,9E-02
somme toute voie			7,9E-02			
Valeur repère		1	1	1	1	1



Annexe 21 : Calculs des scores d'exposition

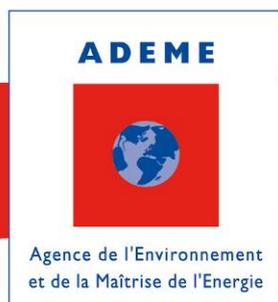
ANNEXE 21

Substance	CAS	Famille	score transfert	score persistance	médiane concentration (LOQ/2 et nd=LOQ/3) (ng/gMS)	fréquence de détection	valeurs de réf présence	score concentrations	Score d'exposition (transfert*persistance*c oncentration)	
									commentaires	
Azithromycine	83905-01-5	Antibiotiques / Macrolides	9	10	13	74%	9,7	6	540	
Escitalopram	128196-01-0	Antidépresseurs	6	10	86	89%	76,9	8	480	
Verapamil	52-53-9	Inhibiteurs calciques	6	10	75	85%	63,8	8	480	
miconazole	22916-47-8	Antifongiques	8	10	9	85%	7,7	6	480	
carbamazépine	298-46-4	Antiépileptiques	6	9	16	94%	15,0	7	378	
Domperidone	57808-66-9	Antémétiques	6	7	71	94%	66,5	8	336	
Tramadol	27203-92-5	Analgésiques	6	7	34	81%	27,5	7	294	
Ciprofloxacine	85721-33-1	Antibiotiques / Fluoroquinolones	4	7	220	96%	210,6	9	252	
Lidocaïne	137-58-6	Anesthésiques locaux	6	7	8	87%	7,0	6	252	
glybenzcyclamide	10238-21-8	Antidiabétiques	8	10	3	17%	0,5	3	240	
E1 estrone	53-16-7	Hormones estrogènes	6	5	31	79%	24,4	7	210	
Ofloxacine	82419-36-1	Antibiotiques / Fluoroquinolones	2	10	445	100%	445,0	10	200	
Tétracycline	60-54-8	Antibiotiques / Tétracyclines	3	7	112	96%	107,2	9	189	
ivermectin	70288-86-7	Antiparasitaires	9	10	2	6%	0,1	2	180	
Loratadine	79794-75-5	Antihistaminiques	8	10	1,3	19%	0,3	2	160	
Sulfaméthoxazole	723-46-6	Antibiotiques / Sulfonamides	4	9	3	43%	1,1	4	144	
Norfloxacine	70458-96-7	Antibiotiques / Fluoroquinolones	2	7	220	100%	220,0	9	126	
Flumequine	42835-25-6	Antibiotiques / Quinolones	4	7	2,3	40%	0,9	4	112	
Spiramycine	8025-81-8	Antibiotiques / Macrolides	5	10	1	23%	0,2	2	100	
EE2 Ethynilestradiol	57-63-6	Hormones estrogènes	6	7	11	2%	0,2	2	84	
ibuprofène	15687-27-1	Anti-inflammatoires non stéroïdiens	6	2	25	62%	15,4	7	84	
fluphénazine	69-23-8	Anxiolytiques	8	10	2,0	4%	0,1	1	80	
paracétamol	103-90-2	Analgésiques	4	4	5	53%	2,4	5	80	
Hydrochlorothiazide	58-93-5	Diurétiques	2	7	0,23	19%	0,04	1	14	
bromadiolone	28772-56-7	Anticoagulants	8	4	0,33	6%	0,02	0	0	très peu détecté dans les boues et faible concentration
diatrizoate	117-96-4	Agents de contraste	4	10	33	0,00%	-	0	0	jamais détecté dans les boues
Cefoperazone	62893-19-0	Antibiotiques / Céphalosporines	3	7	8	0,00%	-	0	0	jamais détecté dans les boues
Gemfibrozil	25812-30-0	Liporégulateurs (Hypolipémiants)	8	7	0,07	49%	0,033	0	0	faible concentration dans les boues
17-beta-Estradiol	50-28-2	Hormones estrogènes	8	5	0,17	15%	0,025	0	0	faible concentration dans les boues
nordiazepam	1088-11-5	Anxiolytiques	6	0	0,07	43%	0,028	0	0	faible concentration dans les boues (même si pas de données de persistance)
Fluorouracil	51-21-8	Antinéoplasiques	2	0 à 10	3,33	4%	0,142	2	0 à 40	pas de données de persistance dans sol - score min à max
Propranolol	525-66-6	Bêta-bloquants	6	0 à 10	117,00	98%	114,511	9	0 à 540	pas de données de persistance dans sol - score min à max
Amoxicilline	26787-78-0	Antibiotiques / Pénicillines	4	0 à 10	6,67	2%	0,142	2	0 à 80	pas de données de persistance dans sol - score min à max

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

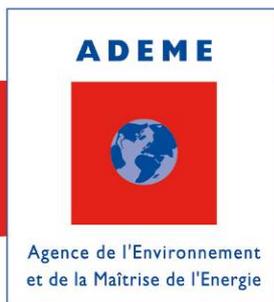


ABOUT ADEME

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is a public agency under the joint authority of the Ministry for Ecology, Sustainable Development, Transport and Housing, the Ministry for Higher Education and Research, and the Ministry for Economy, Finance and Industry. The agency is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development.

ADEME provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work the agency helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

www.ademe.fr.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr