



PWRP3 - Fiche action 3.6.1.1.1
***Réseaux de surveillance des risques liés aux pesticides
présents dans l'air ambiant et les sols en Wallonie***

Projet SuRiPest

Benchmarking des réseaux de surveillance des pesticides dans
l'environnement en Wallonie et en Europe et détermination des
listes 'a priori' de substances actives d'intérêt

-

Volet 1 – « Matrice sol »

Rapport n° 0059/2024

Caroline THIRY & Eric GISMONDI

AUTEURS

THIRY CAROLINE, ATTACHÉ, CELLULE ENVIRONNEMENT-SANTÉ, DIRECTION DES RISQUES CHRONIQUES, ISSeP.

GISMONDI ERIC, ATTACHÉ, CELLULE ENVIRONNEMENT-SANTÉ, DIRECTION DES RISQUES CHRONIQUES, ISSeP.

RELECTEURS

BLONDEL ALODIE, RESPONSABLE DE RECHERCHE/PROJET, UNITÉ PRODUITS DE PROTECTION, DE CONTROLE ET RÉSIDUS, DÉPARTEMENT CONNAISSANCE ET VALORISATION DES PRODUITS, CENTRE WALLON DE RECHERCHES AGRONOMIQUES (CRA-W, GEMBOUX).

PIGEON OLIVIER, DIRECTEUR SCIENTIFIQUE, UNITÉ PRODUITS DE PROTECTION, DE CONTROLE ET RÉSIDUS, DÉPARTEMENT CONNAISSANCE ET VALORISATION DES PRODUITS, CENTRE WALLON DE RECHERCHES AGRONOMIQUES (CRA-W, GEMBOUX).

MONSEUR LOÏC, CHARGÉ DE MISSION, ASBL CORDER (COORDINATION RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT RURAL).

PETIT JÉRÔME, ATTACHÉ, CELLULE ENVIRONNEMENT-SANTÉ, DIRECTION DES RISQUES CHRONIQUES, ISSeP.

CREVECOEUR SOPHIE, ATTACHÉ, CELLULE ENVIRONNEMENT-SANTÉ, DIRECTION DES RISQUES CHRONIQUES, ISSeP.

VANDENBERGHE CHRISTOPHE, AXE ÉCHANGES EAU-SOL-PLANTE, GEMBOUX AGRO-BIO TECH (ULIÈGE).

DEPREZ MÉLISSA, ATTACHÉ QUALIFIÉ, COORDINATRICE DU PROGRAMME WALLON DE RÉDUCTION DES PESTICIDES, DÉPARTEMENT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU – CELLULE D'INTÉGRATION AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT (CIAE) (SPW ARNE).

Table des matières

Résumé	5
Liste des figures	6
Liste des tableaux	7
Liste des annexes	8
Liste des acronymes	9
1. Introduction.....	10
2. Substances actives agréées en Belgique	12
3. Bilan des réseaux de surveillance des pesticides existants en Belgique	13
3.1. Réseau de surveillance des eaux de surface (ESu)	13
3.2. Réseau de surveillance des eaux souterraines (ESo).....	15
3.3. Réseau de surveillance des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH)	16
3.4. Réseau de surveillance des denrées alimentaires.....	18
3.5. Suivi complémentaire : Biomonitoring Humain Wallon (BMH-Wal) - surveillance des imprégnations en pesticides de la population générale wallonne	19
5. Benchmarking de surveillance des pesticides dans le sol	21
5.1. En Belgique	21
5.2. En Europe	24
6. Évaluation du risque sanitaire	34
6.1. Evaluation de l'exposition	36
6.2. Evaluation du risque	37
7. Hiérarchisation des substances actives d'intérêt	41
7.1. Méthodologie	41
7.2. Résultats de hiérarchisation	46
7.3. PPP autorisés pour les professionnels en Wallonie	46
Conclusions.....	48
Bibliographie.....	49
Annexes	53

Résumé

Des quantités importantes de pesticides sont utilisées pour lutter contre les organismes nuisibles par les agriculteurs, les horticulteurs, les entreprises de parcs et jardins, les transports publics et autres professionnels, mais également les particuliers. Parmi les pesticides, les produits de protection des plantes (PPP) ou produits phytopharmaceutiques ont pour but de protéger les végétaux des maladies, ravageurs et adventices. Par ailleurs, depuis plusieurs décennies, de nombreuses études mettent en lien l'exposition à ces pesticides et des effets sanitaires tels que des troubles neurologiques, du développement ou encore des perturbations endocriniennes, via l'ingestion, l'inhalation ou le contact cutané qui sont les voies privilégiées d'exposition aux pesticides. De ce fait, en Europe, la Directive 2009/128/EC sur l'utilisation des pesticides compatible avec le développement durable enjoint les États membres à développer des plans d'actions en vue de réduire les risques et les effets de l'utilisation des pesticides sur la santé humaine et l'environnement.

Actuellement, en Belgique, il existe des réseaux de surveillance de la qualité de l'eau (compétence régionale) et des denrées alimentaires (AFSCA, compétence fédérale). Cependant, aucun programme de surveillance n'existe pour le sol alors même que des études récentes (projet Sol-Phy-Ly, étude de Cors et Delva 2022, PLAN BEE et OVAM) ont démontré la présence de certains pesticides dans les sols.

Le 1^{er} volet du projet SuRiPest vise à réaliser un inventaire des connaissances et des données existantes sur les pesticides en Wallonie (substances actives (s.a.) agréées, utilisées en agriculture, réseaux de surveillance existants), ainsi qu'un benchmarking des réseaux de surveillance des pesticides dans l'air ambiant et les sols en Europe. Cette première étape a également pour but d'établir des listes « a priori » de s.a. d'intérêts à surveiller dans les réseaux développés sur base d'informations théoriques (ex. paramètres physico-chimiques des s.a.).

En Wallonie, il existe actuellement 3 réseaux de surveillance des pesticides dans les eaux (eaux de surface (ESu), eaux souterraines (ESo), eaux de distribution pour la consommation humaine (EDCH)) et un réseau de surveillance existe au niveau national pour les denrées alimentaires (contrôle des denrées alimentaires par l'AFSCA). Par ailleurs, bien que de nombreux pesticides soient analysés dans les différentes eaux, une grande majorité des pesticides suivis ont été interdits depuis plusieurs années et seule une faible proportion (5 à 10 %) des s.a. autorisées en Belgique sont suivies dans ces réseaux existants. Le réseau de surveillance des denrées alimentaires est le réseau analysant le plus de pesticides puisqu'il couvre environ 90 % des s.a. autorisées en Belgique.

Le benchmarking a permis de mettre en évidence qu'il n'existe pas de programme de surveillance des pesticides dans les sols en Europe. La méthodologie de prélèvement la plus fréquente consiste à prélever 5 échantillons élémentaires à l'aide d'une bêche en acier inoxydable sur chaque site pour former un échantillon composite. Les échantillons composites sont ensuite séchés puis tamisés à 2 mm afin d'être homogénéisés. Ils sont ensuite conservés dans des sachets en plastique et dans l'obscurité à une température d'environ -20°C avant analyse.

Enfin, l'étape de hiérarchisation des substances actives selon une approche théorique a permis de définir une liste de 76 s.a. dites « prioritaires » et une liste de 23 s.a. dites « hautement prioritaires ». De plus, une liste de 135 s.a. autorisées pour les usages professionnels (notamment sur les 17 cultures principales de Wallonie représentant ~85% de la surface agricole utile) et donc possiblement détectables dans le sol a été déterminée suite à la consultation de la base de données Phytoweb.

Mots-clés : pesticides, produits phytosanitaires, sol, réseaux de surveillance, substances actives

Liste des figures

FIGURE 1 BILAN DES SUBSTANCES ACTIVES AUTORISEES ET RECEMMENT INTERDITES EN BELGIQUE (DONNEES JUIN 2023 – EU PESTICIDES DATABASE).....	12
FIGURE 2 DISPOSITIF D'ECHANTILLONNAGE RMQS	25
FIGURE 3 NOMBRE DE SUBSTANCES ACTIVES ETUDIEES POUR LA DETERMINATION DES LISTES "A PRIORI"	41
FIGURE 4 ECHELLE DE SCORE DE PRIORITE ET NOMBRE DE S.A. DANS CHAQUE CATEGORIE DE LISTE.	46

Liste des tableaux

TABLEAU 1 LISTE DES SUBSTANCES ACTIVES ET METABOLITES SUIVIS DANS LE RESEAU DE SURVEILLANCE DES EAUX DE SURFACE (ESu) ET LES FREQUENCES D'ECHANTILLONNAGE	14
TABLEAU 2 LISTE DES SUBSTANCES ACTIVES ET METABOLITES SUIVIS DANS LA WATCH LIST DU RESEAU ESu SELON LES ANNEES	15
TABLEAU 3 LISTE DES SUBSTANCES ACTIVES ET METABOLITES SUIVIS DANS LE RESEAU DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES (ESo)	16
TABLEAU 4 LISTE DES SUBSTANCES ACTIVES ET METABOLITES « PERTINENTS » ET « NON-PERTINENTS » SUIVIS DANS LE RESEAU EDCH	17
TABLEAU 5 SYNTHESE DU NOMBRE DE SUBSTANCES ACTIVES ANALYSEES DANS CHAQUE RESEAU DE SURVEILLANCE EN WALLONIE PAR RAPPORT A LA LISTE DES SUBSTANCES ACTIVES AUTORISEES ET RECEMMENT INTERDITES EN BELGIQUE (DONNEES DE JUIN 2023).	18
TABLEAU 6 LISTE DES SUBSTANCES ACTIVES POUVANT ETRE A L'ORIGINE DES METABOLITES MESURES DANS L'ETUDE BMH-WAL	20
TABLEAU 7 SUBSTANCES ACTIVES RECHERCHEES DANS LE SOL DE L'ETUDE DE CORS ET DELVA, 2022	23
TABLEAU 8 LISTE DES SUBSTANCES ACTIVES DETECTEES DANS L'ETUDE DE FROGER ET AL., (2023)	26
TABLEAU 9 LISTE DES ETUDES ANALYSEES ET COMPAREES	26
TABLEAU 10 TAUX D'INGESTION DE PARTICULES DE SOL ET DE POUSSIERES (MG.J ⁻¹) PRECONISES DANS LES MODELES D'EXPOSITION RECENTS VISANT L'USAGE RESIDENTIEL AVEC POTAGER (ALLOTMENT GARDEN/MOESTUIN), CLASSES PAR VALEUR DECROISSANTES.	35
TABLEAU 11 CRITERES SELECTIONNES POUR LA HIERARCHISATION DES SUBSTANCES ACTIVES D'INTERET POUR LA MATRICE 'SOL'	41
TABLEAU 12 CRITERES UTILISES POUR DETERMINER LA PRESENCE POTENTIELLE D'UNE MOLECULE DANS LE SOL	42
TABLEAU 13 QUANTITES DE SUBSTANCES ACTIVES UTILISEES ESTIMEES EN WALLONIE ET LES SCORES ASSOCIES	43
TABLEAU 14 CRITERES DE TOXICITE RETENUS POUR LES EFFETS CANCEROGENES POUR L'EVALUATION DE LA TOXICITE CHRONIQUE ET SCORE ATTRIBUE (ANSES, 2017)	44
TABLEAU 15 CRITERES DE TOXICITE RETENUS POUR LES EFFETS MUTAGENES POUR L'EVALUATION DE LA TOXICITE CHRONIQUE ET SCORE ATTRIBUE (ANSES, 2017)	44
TABLEAU 16 CRITERES DE TOXICITE RETENUS POUR LES EFFETS TOXIQUES SPECIFIQUES A CERTAINS ORGANES CIBLES LORS D'EXPOSITION REPETEE POUR L'EVALUATION DE LA TOXICITE CHRONIQUE ET SCORE ATTRIBUE (ANSES, 2017)	44
TABLEAU 17 CRITERES DE TOXICITE RETENUS POUR LES EFFETS PERTURBATEURS ENDOCRINIENS (PE) POUR L'EVALUATION DE LA TOXICITE CHRONIQUE ET SCORE ATTRIBUE (ANSES, 2017)	45
TABLEAU 18 CRITERES DE TOXICITE RETENUS POUR LES EFFETS SUR LA REPRODUCTION POUR L'EVALUATION DE LA TOXICITE CHRONIQUE ET SCORE ATTRIBUE (ANSES, 2017)	45

Liste des annexes

ANNEXE 1 TAUX D'INGESTION JOURNALIER DE SOL ET DE POUSSIERE ($IR_{SOIL/DUST_DAILY}$) ET FRACTION DU SOL CONTRIBUANT A L'INGESTION DE SOL ET DE POUSSIERE (F_{ORAL_SOIL}) POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS (CORNELIS ET AL., 2017).....	53
ANNEXE 2 VALEURS DES PARAMETRES POUR LES CALCULS D'EXPOSITION (CORNELIS ET AL., 2017).....	53
ANNEXE 3 CATEGORIES D'AGES ET DE POIDS CORPOREL (DERIVES DE ROELANTS & HAUSPIE (2004) ET DEMAREST & DRIESKENS (2004) (CORNELIS ET AL., 2017).....	53
ANNEXE 4 SCENARIOS PAR DEFAUT POUR LE MODELE S-RISK (CORNELIS ET AL., 2017).	54
ANNEXE 5 VALEURS D'ADHERENCE DU SOL (AF_{SOIL_SKIN}) EN MG/M ² (CORNELIS ET AL., 2017).....	54
ANNEXE 6 SURFACE CUTANEE EN CONTACT AVEC LE SOL (M ²) (CORNELIS ET AL., 2017).	54
ANNEXE 7 VALEURS D'ADHERENCE DE LA POUSSIERE (AF_{DUST_SKIN}) EN MG/M ² (CORNELIS ET AL., 2017).	55
ANNEXE 8 SURFACE CUTANEE EN CONTACT AVEC LA POUSSIERE (M ²) (CORNELIS ET AL., 2017).....	55
ANNEXE 9 CATEGORIES D'AGE ET NOMBRE D'ANNEES CORRESPONDANTES (CORNELIS ET AL., 2017).	55
ANNEXE 10 LISTE DES S.A. HAUTEMENT PRIORITAIRES	55
ANNEXE 11 LISTE DES S.A. PRIORITAIRES	56
ANNEXE 12 LISTE DES 135 S.A. UTILISEES SUR LES CULTURES PRINCIPALES WALLONNES	56

Liste des acronymes

AFSCA	Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire
ANSES	Agence nationale (française) de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
CWEA	Compendium Wallon des méthodes d'Échantillonnage et d'Analyse (ISSeP)
DAEA	Direction de l'Analyse Economique Agricole
EDCH	Eaux Destinées à la Consommation Humaine (EDCH)
ESo	Eaux souterraines
ESu	Eaux de Surface
GREC	Guide de Référence pour l'Étude de Risques
IPM	Integrated Pest Management
LMR	Limite Maximale de Résidus
LOD	Limit Of Detection
LOQ	Limit Of Quantification
PPP	Produit de Protection des Plantes (Produit Phytopharmaceutique)
s.a.	Substance Active
SPGE	Société Publique de Gestion de l'Eau
VITO	Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek (Institut de recherche flamand dans le domaine des Technologies)

1. Introduction

Des quantités importantes de pesticides¹ sont utilisées pour lutter contre des organismes nuisibles (animaux, végétaux, champignons), mais peuvent également réguler la croissance des végétaux, avoir des propriétés défoliantes ou dessicantes, ou encore améliorer le stockage ou le transport de produits agricoles.

Les utilisateurs principaux sont les agriculteurs, les horticulteurs, les entreprises de parcs et jardins, les transports publics et autres professionnels, mais également les particuliers.

Depuis plusieurs décennies, de nombreuses études mettent en lien l'exposition des personnes à ces pesticides et des effets sanitaires tels que des troubles neurologiques, du développement ou encore des perturbations endocriniennes (Rani *et al.*, 2021), via l'ingestion, l'inhalation ou le contact cutané qui sont les voies privilégiées d'exposition aux pesticides.

De ce fait, en Europe, la Directive 2009/128/EC² enjoint les États membres à développer des plans d'actions en vue de réduire les risques et les effets de l'utilisation des pesticides sur la santé humaine et l'environnement. Malgré cette directive et les bonnes pratiques dont font preuve les utilisateurs de pesticides, leur dispersion dans l'environnement reste encore peu maîtrisée. Les PPP peuvent donc être omniprésents dans nos milieux de vie, causant ainsi des risques pour la santé humaine.

En Belgique, la quantité totale de substances actives (s.a.) de produits phytopharmaceutiques (PPP) vendues en 2020 était de 5 518 tonnes, dont 97,4 % (5 374 tonnes) utilisées par les professionnels (agriculteurs, entrepreneurs de parcs et jardins, gestionnaires des infrastructures ferroviaires, gestionnaires des espaces publics, ...).

En Wallonie, il est estimé qu'environ 1 200 à 1 500 tonnes de PPP (principalement herbicides, fongicides et insecticides) sont épandus chaque année sur les Surfaces Agricoles Utilisées qui représentent environ 44 % du territoire (EEW³).

Actuellement, en Belgique, il existe des réseaux de surveillance des pesticides dans l'environnement pour les eaux de surface (ESu), souterraines (ESo) et de distribution (EDCH) ainsi que dans les denrées alimentaires (AFSCA, compétence fédérale), mais aucun programme de surveillance n'existe pour le sol. Pourtant, de nombreuses études menées en Europe et dans le reste du monde montrent la présence de divers pesticides dans les sols (Sabzevari *et al.*, 2022).

L'objectif du projet SuRiPest est de mettre en place deux programmes de surveillance des pesticides dans l'air ambiant et les sols, afin d'avoir une vision générale de la contamination par les pesticides des différents compartiments environnementaux, mais aussi dans le but de collecter les données nécessaires à une meilleure évaluation des risques liés à l'exposition aux pesticides dans l'environnement. Cela permettra d'améliorer la prévention de la contamination par les pesticides, mais aussi de compléter les évaluations des risques réalisées via les données obtenues dans les réseaux existants. Ces deux nouveaux réseaux permettront également d'évaluer l'efficacité des mesures de réduction de l'utilisation des PPP prises dans le cadre du PWRP.

Pour cela, le projet est divisé en 3 grands volets :

¹ Pesticides = produits phytopharmaceutiques + biocides (définition complètes sur www.fytoweb.be)

² Directive 2009/128/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable 24.11.2009, p. 71–86

³ <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicator sheets/AGRI%206.html#>

- Le 1^{er} volet vise à réaliser un inventaire des connaissances et des données existantes sur les pesticides en Wallonie, ainsi qu'un benchmarking des réseaux de surveillance des pesticides dans l'air ambiant et les sols en Europe. Cette première étape vise également à établir des listes « a priori » de s.a. d'intérêts à surveiller dans les réseaux développés sur base d'informations théoriques (ex. paramètres physico-chimiques des s.a.),

- Le 2^{ème} volet consiste à définir une méthodologie préliminaire pour la surveillance des pesticides dans l'air ambiant et les sols afin de réaliser des analyses de screening prospectif des s.a. présentes dans ces deux matrices, durant une année en Wallonie. Il s'agira d'évaluer la variabilité des s.a. (présence/absence) dans le temps et l'espace et de croiser ces résultats obtenus aux listes « a priori » déterminées dans le volet 1, afin d'affiner la liste des s.a. pertinentes à analyser et à suivre dans chaque matrice,

- Le 3^{ème} volet est consacré à l'organisation opérationnelle des programmes de surveillance des pesticides dans l'air ambiant et les sols. Les résultats obtenus dans les précédentes étapes (volets 1 et 2) permettront de déterminer des réseaux de surveillance les plus pertinents possibles et de les mettre en œuvre. Pour cela, une 1^{ère} phase de test sera réalisée pendant un an et permettra d'ajuster la méthodologie des réseaux (fréquence d'échantillonnage, sites échantillonnés, etc.), avant de procéder à une 2nd phase de tests et d'ajustement final, qui permettra d'aboutir à des réseaux de surveillance opérationnalisés.

La mise en place de ce programme de surveillance des pesticides dans l'air ambiant et les sols s'inscrit pleinement dans le cadre du Programme Wallon de Réductions des Pesticides (PWRP3), mais également dans le cadre de la Directive Européenne 2009/128/CE, des plans ENVieS et Air Climat Energie et du plan stratégique de la recherche agronomique en Wallonie.

Ce rapport se focalise sur la matrice « sol » et sur la présentation des résultats obtenus dans le volet 1 de l'étude.

2. Substances actives agréées en Belgique

L'évaluation des s.a., qu'il s'agisse de substances nouvelles ou d'une révision de substances existantes, est réalisée au niveau européen selon le Règlement (CE) n°1107/2009⁴. L'Europe peut donc agréer des s.a. pour chaque état membre. Par la suite, chaque état membre peut décider d'autoriser ou non l'utilisation des s.a. préalablement agréées par l'Europe.

La base de données de la Commission Européenne⁵ a été consultée en juin 2023 et une liste de 298 s.a. a été identifiée pour la Belgique, comprenant 280 s.a. autorisées et 18 s.a. récemment interdites en juin 2023 (Figure 1).

Un certain nombre de ces substances ne sont pas synthétisées chimiquement mais sont dites « naturelles », comme les phéromones, les huiles végétales, ou encore les micro-organismes. Ces substances étant naturelles, elles ont été retirées de nos listes. En retirant ces s.a., il y a donc 199 s.a. autorisées et 18 s.a. récemment interdites en Belgique en juin 2023.

Les pesticides sont classés en 3 catégories principales : fongicides, insecticides et herbicides (incluant les régulateurs de croissance). Parmi les 199 s.a. autorisées, il y a 68 s.a. fongicides, 90 s.a. herbicides et 41 s.a. insecticides. Concernant les s.a. récemment interdites, celles-ci regroupent 7 fongicides, 3 herbicides et 8 insecticides. Par ailleurs, d'après la Direction de l'Analyse Economique Agricole (DAEA), il apparaît que parmi les 199 s.a. autorisées par l'Europe, 148 s.a. ont été utilisées en Wallonie en 2018 et 2019.

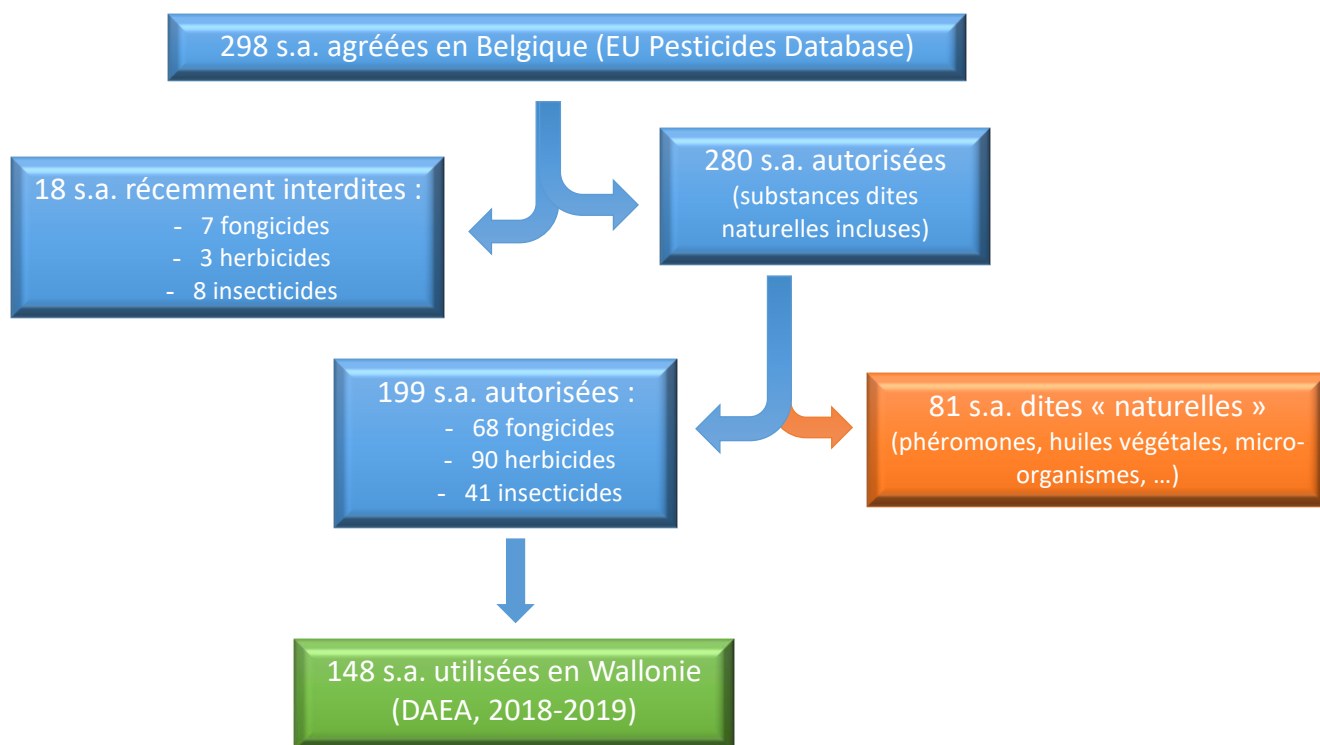


Figure 1 Bilan des substances actives autorisées et récemment interdites en Belgique (données juin 2023 – EU Pesticides Database)

⁴ Règlement (CE) n°1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil

⁵ EU Pesticides Database <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances>

3. Bilan des réseaux de surveillance des pesticides existants en Belgique

En Wallonie, les pesticides sont surveillés dans différentes matrices environnementales afin de contrôler la contamination de l'environnement mais également pour prévenir tout risque pour les populations et la biodiversité. Actuellement, les matrices les plus surveillées sont les eaux (de surface, souterraines et pour la consommation humaine) et les denrées alimentaires.

3.1. Réseau de surveillance des eaux de surface (ESu)

Le réseau de surveillance des eaux de surface est le réseau du compartiment « eau » qui surveille le plus de pesticides, notamment en suivant le Code de l'Eau et l'Annexe Xbis qui fixe les normes de qualité environnementale pour les substances prioritaires et certains autres polluants. Concernant les pesticides, la directive fixe des normes à ne pas dépasser, et notamment une concentration maximale de $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ par substance active et une concentration maximale de $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour la somme des substances actives mesurées.

Ce réseau est divisé en différents types de contrôles, qui sont :

- Le **contrôle de surveillance** : contrôle global, destiné à donner l'état général des masses d'eau (notamment à l'échelle européenne) et censé refléter son évolution à long terme,
- Le **contrôle opérationnel** : assurer le suivi de toutes les masses d'eau identifiées comme risquant de ne pas répondre aux objectifs environnementaux, notamment en évaluant l'efficacité des actions mises en place dans le cadre des plans de gestion,
- Le **contrôle d'enquête** : ponctuellement là où les raisons de la non-atteinte des objectifs restent inconnues mais qui permet également de déterminer l'ampleur et l'incidence de pollutions accidentelles,
- Le **contrôle additionnel** : sur les masses d'eau qui ne sont pas à risque ou pour la surveillance des zones protégées (les points de captage d'eau, les zones Natura 2000...).

La fréquence et la périodicité de visite d'un site varie d'un site à l'autre. De manière générale, les 54 sites faisant partie du contrôle de surveillance sont visités 13 fois par an tandis que les sites des contrôles opérationnels et additionnels sont prélevés de 6 à 13 fois tous les 3 ans. Les contrôles d'enquête sont réalisés ponctuellement (limités dans le temps et l'espace).

La liste des pesticides surveillés est différente selon le contrôle qui est effectué. De manière générale, celle-ci comprend environ 65 s.a. et métabolites et est adaptée selon le contrôle souhaité ([Tableau 1](#)). Par ailleurs, la Commission Européenne détermine une Watch List tous les deux ans qui comprend principalement des pesticides émergents⁶ et des médicaments qu'il est intéressant de surveiller pour prévenir tout dépassement de normes et donc tout problème environnemental et sanitaire. Cette liste comprenait 8 s.a. en 2017-2018 et 2019-2020, 13 s.a. en 2021-2022 et comprend maintenant 15 s.a. pour 2023-2024 (

⁶ Les pesticides émergents sont des nouveaux types de pesticides qui émergent ou se développent, souvent en réponse à l'évolution des pestes, des réglementations ou des technologies agricoles. Ils peuvent inclure de nouveaux composés chimiques, des formulations améliorées ou des méthodes alternatives de lutte antiparasitaire.

Tableau 2). La fréquence d'analyse de la Watch List fluctue selon les recommandations. Par exemple, les Watch List de 2017 à 2022 étaient suivies 2 fois par an sur 6 sites, alors que la Watch List de 2023-2024 est suivie 2 fois par an sur 2 sites (excepté le fipronil qui est analysé sur 4 sites).

Différence avec le rapport sur la matrice « Air »

Dans le rapport sur la matrice « Air », les substances en rouge dans les tableaux 1 à 4 et dans le tableau 6 sont des s.a. agréées au niveau européen pour la Belgique mais qui sont interdites d'utilisation par les professionnels au niveau belge.

Dans le rapport sur la matrice « Sol », il a été décidé pour ces tableaux de mettre en rouge toutes les molécules ne pouvant pas être utilisées par les utilisateurs professionnels (que ce soit par une interdiction au niveau européen ou par une interdiction au niveau belge). Le terme « récemment » étant un peu précis, il a été retiré. Pour plus de précision, la date de consultation des autorisations (identique pour les deux rapports) a été ajoutée.

Tableau 1 Liste des substances actives et métabolites suivis dans le réseau de surveillance des eaux de surface (ESu) et les fréquences d'échantillonnage

Fréquence : 13 fois par année sur 54 sites			Fréquence: 6 fois par année sur 12 sites
2,4,5-T	Dichlorvos	Hexachlorocyclohexane-gamma (Lindane)	Thiamétoxame*
2,4-DDT	Dieldrine	Imidaclopride*	Clothianidine
3,4-dichloroaniline	Diméthoate*	Isodrine	Thiaclopride*
4,4-DDD	Diuron	Isoproturon	Acétamipride*
4,4-DDE	Endosulfan alpha	Linuron	Métamitron*
4,4-DDT	Endosulfan bêta	Malathion	Ethofumésate*
AMPA	Endrine	MCPA*	Diméthénamide
Aclonifène*	Fénitrothion	MCPP (Mécoprop)*	Phoxime
Alachlore	Flufénacet*	Méthiocarbe	
Aldrine	Glufosinate-ammonium	Ométhoate	
Atrazine	Glyphosate*	Parathion éthyl	
Bentazone*	Heptachlore	Pentachlorophénol	
Bifénox*	Heptachloroépoxyde (cis)	Propanil	
Biphényle	Heptachloroépoxyde (trans)	Prosulfocarbe*	
Chlorfenvinphos (cis+trans)	Hexachlorobenzène	Quinoxyfène	
Chloridazon*	Hexachlorocyclohexane-alpha	Simazine	
Chlorpyrifos (éthyl)	Hexachlorocyclohexane-bêta	Terbutryne	
Cybutryne	Hexachlorocyclohexane-delta	Tributylétains (cations)	
Cyperméthrine*	Hexachlorocyclohexane-epsilon	Trifluraline	

* : substances présentes dans la liste des substances agréées en Belgique par l'Europe (juin 2023)
Substances en rouge = substances non-autorisées d'utilisation en Belgique (juin 2023)

Tableau 2 Liste des substances actives et métabolites suivis dans la Watch List du réseau ESu selon les années

2017-2018	2019-2020	2021-2022	2023-2024
Acétamipride	Acétamipride	Clotrimazole	Azoxystrobine*
Clothianidine	Clothianidine	Dimoxystrobin	<i>Clotrimazole</i>
Imidaclopride	Imidaclopride	Famoxadone	Dimoxystrobine*
Méthiocarbe	Métaflumizone	Fluconazole	Diflufenican*
Oxadiazon	Méthiocarbe	Imazalil	<i>Famoxadone</i> *
Thiaclopride	Thiaclopride	Ipconazole	<i>Fipronil</i>
Thiaméthoxame	Thiaméthoxame	Métaflumizone	<i>Fluconazole</i>
Triallate		Metconazole	Imazalil*
		Miconazole	<i>Ipconazole</i> *
		Penconazole	Metconazole*
		Prochloraz	<i>Miconazole</i>
		Tébuconazole	Penconazole*
		Tétraconazole	<i>Prochloraze</i> *
			Tébuconazole*
			Tétraconazole*

* : substances présentes dans la liste des substances agréées en Belgique par l'Europe (juin 2023)

Substances en rouge = substances non-autorisées d'utilisation en Belgique (juin 2023)

Substances en italique = médicaments, pas des pesticides

La surveillance de la contamination des eaux de surface par les pesticides comprend donc l'analyse de 80 s.a. différentes (65 s.a. + 15 s.a. de la Watch List). Parmi ces substances, seules 21 s.a. sont incluses dans la liste des s.a. autorisées en Belgique et 7 s.a. sont des s.a. récemment interdites (Tableau 1 &

Tableau 2). Les autres substances sont des pesticides qualifiés « d'anciens », c'est-à-dire interdits au niveau européen depuis plusieurs années (ex. DDT, lindane, atrazine, dieldrine, ...) dont la persistance dans l'environnement reste préoccupante pour la santé des populations.

Par conséquent, le réseau de surveillance actuel des eaux de surfaces analyse seulement 10,5% des 199 s.a. autorisées.

3.2. Réseau de surveillance des eaux souterraines (ESo)

En Wallonie, la qualité des eaux souterraines est surveillée par plusieurs réseaux de surveillance qui visent notamment à répondre aux obligations de la Directive Cadre sur l'Eau. Cette directive fixe des normes à ne pas dépasser pour les résidus de pesticides, et notamment une concentration maximale de 0,1 µg.L⁻¹ par s.a. et une concentration maximale de 0,5 µg.L⁻¹ pour la somme des s.a. mesurées.

Pour cela, deux programmes de surveillance ont été développés :

- Le programme de contrôle de surveillance destiné à établir régulièrement l'état chimique des masses d'eau souterraine et à détecter l'apparition de nouveaux polluants. Ce type de

contrôle est fait à une fréquence de 1 ou 2 analyses, tous les 3 ans (ou 6 ans pour les captages dont le volume de production est inférieur à 275 m³ en moyenne journalière). Ce contrôle porte sur tous les polluants ou paramètres pertinents présents dans les eaux souterraines, dont les pesticides.

- Le programme de contrôles opérationnels portant sur les masses d'eau souterraines qui risquent de ne pas atteindre le bon état et qui vise à suivre les altérations constatées et en particulier à établir les tendances évolutives des concentrations en polluants observés. En pratique, le contrôle opérationnel est effectué chaque année (en dehors du contrôle de surveillance) et à une fréquence de 1 à 4 fois par an, sur les sites où un risque a été mis en évidence par les résultats du contrôle de surveillance. Ce contrôle ne se focalise que sur le ou les paramètres pour lesquels une altération a été observée durant le contrôle de surveillance. Il a donc pour but de les préciser, de suivre leur évolution et de vérifier l'efficacité d'éventuelles mesures correctives.

Ces contrôles de surveillance des ESo analysent actuellement 45 s.a. et métabolites. Parmi ces substances, seules 17 s.a. sont présentes dans la liste des 199 s.a. autorisées en Belgique et une molécule a été récemment interdite (le chloridazon et ses 2 métabolites) (Tableau 3). Tout comme pour le réseau de surveillance ESu, les s.a. suivis dans les ESo sont majoritairement des pesticides et métabolites de pesticides interdits depuis plusieurs années mais dont la persistance dans l'environnement et les risques sanitaires sont maintenant bien établis (ex. atrazine, chloridazon, diuron, ...).

Le réseau de surveillance actuel des eaux souterraines analyse donc uniquement environ 8,5 % de la liste des 199 s.a. autorisées en Belgique (ou leurs métabolites).

Tableau 3 Liste des substances actives et métabolites suivis dans le réseau de surveillance des eaux souterraines (ESo)

2,4 D*	D-Chloridazon*	Métazachlore*
Atrazine	Déisopropyl Atrazine	Méthabenzthiazuron
Bentazone*	Désaminométamitron	Métobromuron*
BH479-11 (métabolite métazachlore)	Déséthylatrazine	Métolachlore*
BH479-12 (métabolite métazachlore)	Dichlorobenzamide	Métolachlore ESA*
BH479-4 (métabolite métazachlore)	Diuron	Métolachlore OA*
BH479-6 (métabolite métazachlore)	Flufénacet*	Métoxuron
BH479-8 (métabolite métazachlore)	Flufénacet ESA*	Métribuzin*
BH479-9 (métabolite métazachlore)	Flufénacet OA*	Monolinuron
Bromacile	Isoproturon	Monuron
Chlorbromuron	Linuron	Propazine
Chloridazon*	MCPA*	Simazine
Chlorothalonil ESA (VIS01)	MCPP*	Terbutylazine*
Chlortoluron*	MD-Chloridazon*	Terbutylazine déséthyl*
Cyanazine	Métamitron*	Terbutryne

* : substances présentes dans la liste des substances agréées en Belgique par l'Europe (juin 2023)
Substances en rouge = substances non-autorisées d'utilisation en Belgique (juin 2023)

3.3. Réseau de surveillance des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH)

La directive (UE) 2020/2184 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et le Code de l'eau imposent des normes de potabilité pour les eaux fournies par le réseau public de distribution. Les eaux distribuées doivent ainsi répondre à des exigences de propreté et de

salubrité, afin de garantir la santé des consommateurs. Les pesticides font partie des paramètres chimiques qui sont contrôlés.

En Wallonie, deux listes de pesticides et métabolites ont récemment été définies pour être surveillées et mesurées dans les eaux potables ([Tableau 4](#)) :

- La liste des pesticides et métabolites « pertinents » qui regroupe 20 s.a. et métabolites
- La liste des pesticides et métabolites « non-pertinents » comprenant 6 s.a. et métabolites

La différence entre ces deux listes réside notamment dans les normes à respecter. En effet, la Directive (UE) 2020/2184 fixe des normes à ne pas dépasser pour les pesticides et métabolites « pertinents », et notamment une concentration maximale de 0,1 µg.L⁻¹ pour chaque substance active et une concentration maximale de 0,5 µg.L⁻¹ pour la somme des substances actives mesurées.

En revanche, chaque État membre définit la concentration maximale à ne pas dépasser pour les pesticides et métabolites « non-pertinents ». En Belgique, les concentrations maximales ont été fixées entre 0,5 et 4,5 µg.L⁻¹ selon le métabolite.

Tableau 4 Liste des substances actives et métabolites « pertinents » et « non-pertinents » suivis dans le réseau EDCH

PESTICIDES ET METABOLITES PERTINENTS	PESTICIDES ET METABOLITES NON-PERTINENTS
2,4-D*	2,6-dichlorobenzamide
Atrazine	Chlorothalonil ESA
Bentazone*	Desphényl-chloridazon*
Bromacile	Flufénacet ESA*
Chloridazon*	Métazachlore ESA*
Chlorpyrifos	Métolachlore ESA*
Chlorotoluron*	
Déisopropyl Atrazine	
Déséthyl Atrazine	
Diuron	
Endosulfan	
Glyphosate*	
Isoproturon	
Lindane	
S-métolachlore*	
Flufénacet*	
MCPA*	
Métribuzine*	
Simazine	
Terbutylazine*	

* : substances présentes dans la liste des substances agréées en Belgique par l'Europe (juin 2023)
Substances en rouge = substances non-autorisées d'utilisation en Belgique (juin 2023)

Le réseau de surveillance des EDCH se focalise sur les 26 s.a. et métabolites présents dans le tableau ci-dessus. Parmi ces 26 s.a. et métabolites, seules 12 molécules (9 s.a. et 3 métabolites) sont présentes dans la liste des 199 s.a. autorisées en Belgique, ce qui correspond à 6 %.

3.4. Réseau de surveillance des denrées alimentaires

L'utilisation de PPP au cours de la croissance de fruits, de légumes et de produits de grandes cultures peut entraîner la présence de résidus dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux. Des limites maximales de résidus (LMR) sont fixées dans la législation européenne afin de vérifier la bonne utilisation des PPP (utilisation des produits autorisés conformément aux bonnes pratiques agricoles) et de protéger les consommateurs. Les denrées alimentaires et les aliments pour animaux qui ne respectent pas les LMR ne peuvent être ni mis sur le marché ni utilisés. Cependant, il est important de noter que les LMR ne sont pas des limites toxicologiques et par conséquent, tout dépassement de LMR est le signe d'une utilisation incorrecte d'un produit phytopharmaceutique mais n'implique pas nécessairement un risque pour la santé des consommateurs.

En Belgique, la surveillance des denrées alimentaires est une compétence fédérale, assurée par l'Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (AFSCA). Celle-ci réalise le programme de contrôle pluriannuel défini par la Commission Européenne, qui indique les produits d'origines végétales et animales devant être contrôlés ainsi que la liste des s.a. à analyser⁷. Par ailleurs, certains échantillonnages ciblés, principalement des produits provenant de pays tiers, lors des contrôles aux frontières (ports, aéroports, ...), sont également inclus dans le programme de contrôle conformément au règlement 1793/2019⁸. Enfin, des ajustements peuvent être apportés au programme en cours d'année afin de traiter les problèmes émergents.

Les analyses réalisées sur les denrées échantillonnées permettent de mesurer plus de 600 s.a. et métabolites (liste présentée en annexe des rapports annuels de l'AFSCA⁹). Parmi ces substances, 194 s.a. figurent dans la liste des 217 s.a. agréées en Belgique, soit 89,4 %. L'alimentation, qui pourrait être la source d'exposition aux PPP la plus importante, est la source la plus surveillée.

Le **Tableau 5** ci-dessous présente une synthèse des réseaux de surveillance des pesticides mis en place en Wallonie. Il regroupe les 4 principaux réseaux : eaux de surface, eaux souterraines, eaux destinées à la consommation humaine et les denrées alimentaires.

Cette synthèse met en évidence qu'un grand nombre de s.a. autorisées en Belgique ne sont pas suivies dans les réseaux existants.

Tableau 5 Synthèse du nombre de substances actives analysées dans chaque réseau de surveillance en Wallonie par rapport à la liste des substances actives autorisées et récemment interdites en Belgique (données de juin 2023).

	Réseau ESu	Réseau ESo	Réseau EDCH	Réseau chaîne alimentaire
--	------------	------------	-------------	---------------------------

⁷ Commission Implementing Regulation (EU) 2020/585 concerning a coordinated multiannual control programme of the Union for 2021, 2022 and 2023 to ensure compliance with maximum residue levels of pesticides and to assess the consumer exposure to pesticide residues in and on food of plant and animal origin

⁸ Regulation (EU) N°1793/2019 of 22 October 2019 on the temporary increase of official controls and emergency measures governing the entry into the Union of certain goods from certain third countries implementing Regulations (EU) 2017/625 and (EC) N° 178/2002 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) No 669/2009, (EU) No 884/2014, (EU) 2015/175, (EU) 2017/186 and (EU) 2018/1660

⁹ <https://www.favv-afscab.be/publicationsthematiques/pesticide-residue-monitoring-food-plant-origin.asp>

Nombre de s.a. suivies	80	45	26	> 600
Nombre et pourcentage de s.a. présentes dans la liste s.a. agréées en Belgique (EU) – (Total = 217 s.a.*)	28 (12,9%)	20 (9,2%)	14 (6,5%)	194 (89,4%)
Nombre et pourcentage de s.a. présentes dans la liste s.a. autorisées en Belgique (EU) – (Total = 199 s.a.)	21 (10,5%)	17 (8,5%)	12 (6%)	178 (89,4%)
Nombre et pourcentage de s.a. présentes dans la liste s.a. récemment interdites en Belgique (EU) – (Total = 18 s.a.)	7 (38,9%)	3 (16,7%)	2 (11,1%)	16 (88,9%)
Nombre et pourcentage de s.a. agréées mais non analysées dans le réseau (Total = 217 s.a.*)	189 (87,1%)	197 (90,8%)	203 (93,5%)	23 (10,6%)
Nombre et pourcentage de s.a. autorisées mais non analysées dans le réseau (Total = 199 s.a.)	178 (89,5%)	180 (90,5%)	187 (93%)	21 (10,6%)

* le nombre de 217 s.a. provient de l'addition des 199 s.a. autorisées et 18 s.a. récemment interdites (sans tenir compte des substances dites « naturelles »).

3.5. Suivi complémentaire : Biomonitoring Humain Wallon (BMH-Wal) - surveillance des imprégnations en pesticides de la population générale wallonne

Outre les réseaux de surveillance de matrices environnementales, les pesticides sont également analysés et suivis lors d'études de biomonitoring humain réalisés depuis 2019 en Wallonie. Ces études consistent à déterminer la présence et à mesurer les concentrations de nombreuses substances actives et/ou métabolites dans des fluides ou tissus humains (sang, urine, cordon ombilical, cheveux, ...). Ces analyses permettent d'obtenir une estimation de l'exposition interne et globale des populations, toutes sources et voies d'exposition confondues. À ce titre, le biomonitoring est particulièrement utile pour le suivi des substances largement distribuées dans l'environnement intérieur et extérieur (eau, air, sol) mais également dans l'alimentation et les produits de la vie quotidienne.

Les données collectées lors de campagnes de biomonitoring permettent de suivre l'évolution au fil du temps de l'exposition de la population aux substances, de surveiller l'exposition des populations vulnérables et de soutenir la mise en œuvre et le développement de politiques qui minimisent l'exposition aux polluants et produits chimiques dangereux.

Le Gouvernement wallon a confié la coordination et la mise en place d'un programme de biomonitoring humain intitulé BMH-Wal (BioMonitoring Humain Wallon) à l'ISSEP, dans lequel de nombreuses s.a. et métabolites ont été analysés dans l'urine ou le sang des participants (Jacques *et al.*, 2023), notamment les métabolites de pesticides organophosphorés et pyréthriinoïdes, ainsi que l'herbicide glyphosate et son métabolite AMPA (Tableau 6). Ces substances ont été sélectionnées car

elles sont/ont été beaucoup utilisées et présentent de grands risques pour la santé entre autres via des effets toxiques sur le système nerveux des vertébrés.

Les métabolites analysés dans le cadre de l'étude BMH-Wal peuvent être des produits de dégradation d'environ 51 substances actives listées dans le tableau ci-dessous, dont certaines sont également autorisées en Belgique en tant que biocides. Parmi ces 51 molécules, 15 s.a. figurent dans la liste des s.a. autorisées et récemment interdites en Belgique, ce qui représente environ 7 % de ces substances.

Tableau 6 Liste des substances actives pouvant être à l'origine des métabolites mesurés dans l'étude BMH-Wal

Pesticides		
Pyréthri-noïdes	Organophosphorés	Autre
Alléthrine	Azinphos-méthyl	Glyphosate (+ AMPA)*
Alpha-cyperméthrine*	Chlorethoxyphos	
Cyfluthrine	Chlorpyrifos-méthyl	
Cyperméthrine*	Chlorpyriphos	
Deltaméthrine*	Chlorpyriphos-éthyl	
Esfenvalérate*	Coumaphos	
Etofenprox	Diazinon	
Fenpropathrine	Dichlofenthion	
Fenvalérate	Diméthoate*	
Gamma-cyhalothrine*	Disulfoton	
Lambda-cyhalothrine*	Ethion	
Perméthrine	Ethoprofos	
Phénothrine	Fénitrothion	
Pyréthrine*	Fenthion	
Resméthrine	Isazophos-méthyl	
tau-Fluvalinate*	Malathion	
Téfluthrine*	Méthidathion	
Tétraméthrine	Méthyl-parathion	
Tralométhrine	Ométhoate	
Transfluthrine	Oxydéméton-méthyl	
Zeta-Cyperméthrine*	Parathion	
	Phorate	
	Phosalone	
	Phosmet*	
	Pirimiphos-méthyl*	
	Sulfotep	
	Téméphos	
	Terbufos	
	Triclopyr*	

* : substances présentes dans la liste des substances agréées en Belgique par l'Europe (juin 2023)
Substances en rouge = substances non-autorisées d'utilisation en Belgique (juin 2023)

5. Benchmarking de surveillance des pesticides dans le sol

D'après Sabzevari *et al.* (2022), l'utilisation de pesticides est devenue inévitable de nos jours, car depuis des années, c'est l'une des méthodes les plus efficaces pour accroître les rendements agricoles, répondant ainsi à un besoin vital lié à la croissance démographique. Cependant, leur usage entraîne des conséquences inquiétantes pour l'environnement et la santé humaine. En effet, les pesticides présents dans le sol influencent de manière négative la biodiversité et la qualité du sol en ayant des effets sur des espèces non ciblées telles que les microorganismes du sol (Aktar *et al.*, 2009).

De plus, le sol peut servir d'interface entre les différents milieux. En effet, les pesticides dans le sol peuvent atteindre les eaux souterraines ou les eaux de surface mais ils peuvent également contaminer l'air par volatilisation depuis la zone traitée (Aktar *et al.*, 2009). Le comportement des produits phytopharmaceutiques dans le sol dépend de plusieurs processus complexes tels que la volatilisation, la sorption, la dégradation chimique et biologique, le lessivage, le ruissellement et l'absorption par les végétaux (Alekseeva *et al.*, 2014).

Par conséquent, il est nécessaire de surveiller les concentrations en résidus de pesticides dans les sols car les transferts des pesticides dans l'air, dans l'eau de boisson et dans la nourriture se fait en partie depuis ce milieu ce qui est une menace directe pour la santé humaine (Barchanska *et al.*, 2017).

La partie qui suit a pour objectif d'analyser et comparer les méthodologies d'échantillonnage et les résultats des études traitant des pesticides dans les sols en Belgique et en Europe.

5.1. En Belgique

Bien qu'il n'existe pas de réseau de surveillance des pesticides dans les sols en Belgique, des études ont été menées en Wallonie et en Flandre en vue d'approfondir les connaissances sur cette thématique.

Projet Sol-Phy-Ly

Le projet Sol-Phy-Ly mené par l'ULiège Gembloux Agro-Bio Tech et le CRA-W¹⁰ de 2018 à 2024 a pour objectif d'évaluer le devenir des produits phytopharmaceutiques en plein champ en fonction des pratiques culturales (Vandenberghe *et al.*, 2021).

Dans cette optique, des prélèvements de sol ont été réalisés à plusieurs profondeurs (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm) et 8 lysimètres de 2 mètres de profondeur ont été placés sur 4 parcelles agricoles en Hesbaye et 4 parcelle expérimentale à Gembloux. Pour chaque couche de sol, 12 carottes ont été prélevées à l'aide d'une gouge semi-circulaire puis assemblées pour former un échantillon composite. Chaque échantillon a ensuite été tamisé à 2 mm pour être homogénéisé puis un aliquot a été prélevé et conservé, avant analyse, dans un tube en plastique « Falcon » de 50 ml à -18°C dans l'obscurité.

Un total de 426 analyses multi-résidus, 274 analyses de glyphosate, 267 analyses de bentazone, 273 analyses de fongicides SDHI et 95 analyses de fluroxypyr/propaquizafop ont été effectuées sur les prélèvements de sol durant les 3 premières années du projet.

Les résultats du projet Sol-Phy-Ly montrent que le glyphosate et l'AMPA se dégradent en quelques semaines et ne migrent pas vers les couches profondes du sol. En effet, aucune trace de ces

¹⁰ CRA-W : Centre Wallon de Recherches Agronomiques

2 molécules dans les analyses d'eau provenant des lysimètres n'a été détectée. De plus, la température et l'humidité jouent un rôle dans la dégradation des substances actives. En effet, la dégradation du glyphosate est 30 fois plus grande lorsqu'il fait chaud et humide (Bento *et al.*, 2016).

D'autre part, la présence de bentazone a été mise en évidence dans les couches profondes du sol (30-60 et 60-90 cm) une semaine après pulvérisation, ce qui est rapide en absence de précipitation. Il est donc possible de supposer que cette molécule peut diffuser dans l'eau interstitielle du sol ce qui facilite le transport vers les couches profondes. De plus, étant donné la rapide diminution des concentrations de la bentazone dans la couche 0-10 cm, cela témoigne de sa dégradation dans la couche humifère. Le flux « moyen » de cette molécule à l'exutoire des lysimètres correspondait à 1/70 000^{ème} de la dose apportée. Cette s.a. ne semble donc pas poser de problème environnemental pour les eaux souterraines dans ces conditions expérimentales.

Pour conclure, l'étude Sol-Phy-Ly a mis en évidence que les concentrations des substances actives dans les sols sont corrélées à la dose appliquée, à l'ancienneté du traitement, à leurs caractéristiques physico-chimiques et aux observations réalisées aux exutoires des lysimètres.

Projet PLAN BEE

L'étude « PLAN BEE » menée par l'asbl Nature & Progrès Belgique a été mise en place suite à un appel à projets de la SPGE¹¹ pour la protection de la ressource en eau (Buysens et Roda, 2022). Un des objectifs du projet était l'analyse de l'état de l'environnement des sites de captage d'eau avec les abeilles comme indicateurs.

Dans ce cadre, des analyses des pesticides dans les sols ont été réalisées en 2020 et 2021 sur 2 parcelles : la première en agriculture conventionnelle à Orp-Jauche et la deuxième en agriculture biologique à Ciney.

Les résultats montrent que les molécules détectées à Orp-Jauche étaient semblables entre 2020 et 2021 et les concentrations étaient généralement plus faibles la deuxième année par rapport à la première. Le bixafen a eu la plus haute concentration (40,6 µg.kg⁻¹) suivi de l'époxiconazole (39,4 µg.kg⁻¹).

Aucun pesticide n'a été détecté dans les échantillons provenant de la parcelle biologique pour aucune des 2 années de prélèvement.

Projet de l'OVAM (2021)

En Flandre, l'OVAM¹² a mené une étude dont les objectifs étaient la dérivation des valeurs cibles pour les PFAS sur base de mesures de terrain en Flandre et également la gestion de recherches exploratoires sur la présence de certaines substances émergentes (dont des pesticides) dans des sols insoupçonnés ou non pollués (OVAM, 2021).

Les pesticides à suivre dans l'étude ont été sélectionnés à partir d'une liste des 70 s.a. les plus vendues en Belgique. Ces données ont été obtenues auprès du SPF Santé Publique (Fytobel). Ensuite, les s.a. possédant une demi-vie (DT50) dépassant les 30 jours et possédant un coefficient d'adsorption du sol (Koc) supérieur à 1000 ont été sélectionnées. Puis, quelques molécules ont été ajoutées à la liste sur base pesticides les plus fréquemment détectés dans les études européennes.

Cinquante sites de prélèvement ont été sélectionnés aléatoirement de manière homogène en Flandre. Afin d'avoir des résultats représentatifs des sols flamands, des paramètres précis ont été

¹¹ Société Publique de la Gestion de l'Eau

¹² Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij = Agence Publique des déchets de Flandre

respectés tels que l'absence d'influence humaine, l'homogénéité du sol, l'évitement de sites surélevés, de sites en milieu urbain et de sites utilisés intensivement pour l'agriculture.

Les prélèvements de sol ont été réalisés jusqu'à une profondeur de 20 cm puis conservés au congélateur dans des contenants en polypropylène. Une partie de ces 50 échantillons ont été analysés pour rechercher les pesticides selon les procédures CMA¹³ lorsqu'elles étaient disponibles. Les matières étrangères des échantillons ont été éliminées. Ensuite, les prélèvements ont été homogénéisés, séchés à 40°C puis tamisés à 2 mm. A la suite du tamisage, les échantillons ont été extrait à l'aide de la méthode QuEChERS¹⁴ puis analysés en LC-MS/MS et GC-MS/MS.

Les résultats des analyses montrent que le glyphosate et l'AMPA étaient présents dans 20 % et 50 % des sols échantillonnés, respectivement, avec une mesure atteignant les 160 µg.kg⁻¹ MS (matière sèche) pour l'AMPA. En dehors du glyphosate et de l'AMPA, le boscalid était la molécule la plus fréquemment détectée et présentant la plus grande concentration, à savoir 47 µg.kg⁻¹ MS.

Projet de Cors et Delva (2022)

Les pesticides présents dans les sols et dans l'air autour des galeries du Néblon¹⁵ ont été examinés par l'ASBL Eco-Impact dans le cadre d'une étude financée par la SPGE (Cors et Delva, 2022). L'objectif principal de cette étude était « de construire en 3 ans un outil de diagnostic précoce du risque de contamination de l'eau souterraine par les pesticides à l'aide de la biosurveillance ».

Le choix des s.a. recherchées s'est basé sur différentes données provenant d'organismes wallons et/ou de précédentes études. Il s'agissait :

- des s.a. retrouvées durant les 10 dernières années dans les analyses réalisées par la CILE (matrice eau),
- des s.a. retrouvées dans le projet PROPULPPP (matrice air, ISSEP, Ruthy *et al.*, 2019),
- des s.a. dans l'eau du ruisseau (données SPW DGO3),
- des molécules analysées en routine par les laboratoires ayant répondu aux appels d'offres de la CILE
- des principales s.a. utilisées en Wallonie (données SPW DGO3).

La liste des 27 substances actives recherchées dans le sol est présentée dans le [Tableau 7](#).

Tableau 7 Substances actives recherchées dans le sol de l'étude de Cors et Delva, 2022

Atrazine	Diflufenican	Métribuzine
Bromacil	Époxiconazole	Pendimethaline
Carbétamide	Flufenacet	Pirimicarbe
Chlortoluron	Fluroxypyr	Prochloraz
Clomazone	Lénacil	Prosulfocarbe
Clopyralid	Métamitron	Pyraclostrobine
Cymoxanil	Métazachlore	Sulcotrione
Cyperméthrine	Métobromuron	Terbutylazine
Déséthylatrazine	Métolachlore	Terbutryne

¹³ Compendium voor Monsterneming en Analyse = Recueil d'échantillonnage et d'analyse

¹⁴ Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged et Safe

¹⁵ Endroits de captage d'eau potable situés sous la commune d'Ouffet

Sur chacune des 16 parcelles échantillonnées, 36 échantillons élémentaires ont été prélevés de manière à former 6 cercles chacun constitué de 6 prélèvements. Les échantillons au sein d'un même cercle étaient séparés de maximum 1 mètre et chacun des cercles était espacé de quelques mètres.

Le protocole de prélèvement du sol pour cette étude a été basé sur le Compendium Wallon des méthodes d'Échantillonnage et d'Analyse (CWEA, P-11V1 de 2014). Ainsi, l'outil de prélèvement utilisé était une gouge en acier inoxydable (de la marque Ijkelkamp) de 2 cm de diamètre. Les échantillons élémentaires ainsi prélevés ont été assemblés dans un seau en PEHD¹⁶ d'une contenance de 10 litres avant d'être homogénéisés. Ensuite, 500 g ont été prélevés et placés dans un flacon en verre pour être conservée à 4°C avant analyse.

Dans le but de mieux représenter les dernières pulvérisations des pesticides et donc obtenir des concentrations plus proches de celles des échantillons d'air, la couche de sol prélevée a été de 0-2 cm alors que le CWEA propose une profondeur de 0-25 cm.

L'extraction et l'analyse par LC-MS/MS a été opérée selon les normes XP X33-012 et NF EN ISO 15913.

Les résultats mettent en évidence que sur les 27 pesticides recherchés, seulement 7 ont été retrouvés dans les sols. Les plus grandes concentrations mesurées sont de 4000 µg.kg⁻¹, 810 µg.kg⁻¹ et 300 µg.kg⁻¹ respectivement pour le flufenacet, la pendiméthaline et le diflufenican.

Par ailleurs, il est important de noter qu'environ 85 % des parcelles de Hesbaye ne présentaient aucune des 27 molécules recherchées. La substance active la plus fréquemment détectée est le diflufenican. La pendiméthaline est l'unique pesticide observé à la fois dans le bassin du Néblon et en Hesbaye.

Enfin, sur les 7 s.a. détectées dans le sol, 5 s.a. ont également été détectées dans l'air.

5.2. En Europe

Pour réaliser ce benchmarking des pesticides dans les sols en Europe, plusieurs études ont été analysées et comparées pour leurs protocoles d'échantillonnage et leurs résultats.

5.2.1. La France

En France, de même qu'en Belgique, il n'existe pas de réseau de surveillance des pesticides dans les sols. Face aux études révélant la présence de pesticides dans ce compartiment, un projet visant à évaluer la contamination des sols par 111 pesticides (48 fongicides, 36 herbicides, 25 insecticides et/ou acaricides et 2 phytoprotecteurs) a été mis en place en utilisant le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS¹⁷) (Froger *et al.*, 2023).

Dans ce projet, 47 parcelles réparties dans toute la France métropolitaine ont été prélevées de 2019 à 2020.

Les terrains de types cultures biologiques, prairies, forêts et friches industrielles étaient considérés comme des contrôles car aucun pesticide n'est utilisé dessus. Par conséquent, peu de prélèvements ont été réalisés sur ces derniers.

¹⁶ Polyéthylène haut densité

¹⁷ Programme du Groupement d'intérêt scientifique (GIS) Sol, outil de surveillance à long terme de la qualité des sols en France grâce au suivi de 2240 sites répartis uniformément sur le territoire français.

Sur chaque parcelle, un carré de 20 m sur 20 m divisé en 100 placettes de 4 m² chacune a été défini (Figure 2). L'échantillonnage a été réalisé à l'aide d'une tarière manuelle jusqu'à une profondeur de 20 cm (Jolivet *et al.*, 2018 ; Froger *et al.*, 2023). Le sol de 25 des 100 placettes a été prélevé puis les échantillons ont été homogénéisés avant d'être stockés à -20°C dans l'attente des analyses.

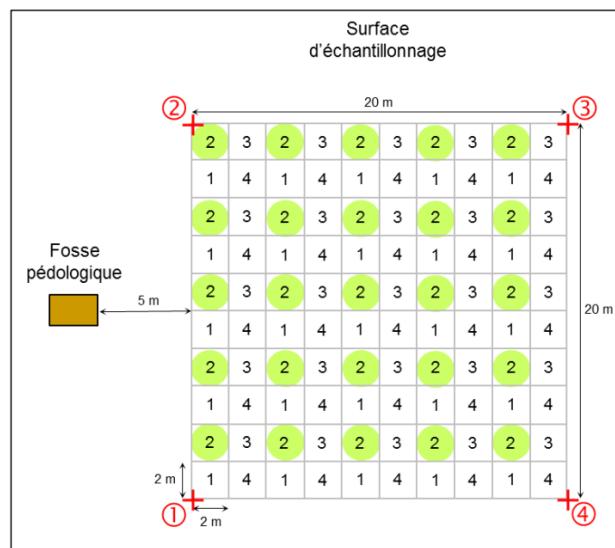


Figure 2 Dispositif d'échantillonnage RMQS. Les cercles verts matérialisent les placettes élémentaires numérotées « 2 » qui seront échantillonnées durant la deuxième campagne. Les points 1, 2, 3 et 4 levés au GPS permettent la réimplantation du site. (Jolivet *et al.*, 2018)

Avant analyse, les échantillons ont été lyophilisés à -40°C, tamisés à 2 mm puis broyés dans un broyeur à boulets. Les échantillons ont ensuite été extraits puis aliquotés avant d'être analysés par LC/MS-MS et GC-MS/MS.

Les résultats des analyses mettent en évidence que les parcelles les plus contaminées étaient celles en agriculture conventionnelle avec jusqu'à 33 substances différentes pour un site de prélèvement. De plus, 98 % des échantillons analysés étaient contaminés par au moins une substance active. Sur les 111 molécules recherchées, 67 molécules distinctes (principalement des fongicides et des herbicides) ont été détectées (Tableau 8). De manière significative, 13 de ces molécules ont été identifiées dans des sols de terrains pourtant non traités aux pesticides depuis plusieurs années tels que des prairies permanentes et des forêts.

Froger *et al.*, (2023) n'ont pas pu montrer de corrélation entre les pesticides retrouvés et les propriétés du sol pour les terrains cultivés et non-cultivés. A contrario, la différence du nombre de résidus de pesticides et des concentrations cumulées selon les sols cultivés (champ, verger, vignoble) et non-cultivés (prairie, forêts, friche) était statistiquement significative.

Les pesticides les plus fréquemment rencontrés sont le glyphosate et l'AMPA, dans 70 % et 83 % des sols respectivement. La pendiméthaline a atteint la plus grande concentration (1115 µg.kg⁻¹). Dans 52 % des échantillons de sol, des pesticides n'ayant pas été délibérément appliqués ont été détectés. De plus, la DT50 et la DT90 de 35 molécules détectées ont été comparées au temps écoulé depuis la dernière application de la molécule. Parmi ces 35 s.a., 25 s.a. étaient présentes au-delà de leur durée de dégradation théorique.

Tableau 8 Liste des substances actives détectées dans l'étude de Froger *et al.*, (2023)

Azoxystrobine	Flutonanil	Bentazone	Propyzamide
Bénalaxyl	Flutriafol	Chloridazon	Simazine
Bixafen	Fluxapyroxad	Chlortoluron	S-métolachlore
Boscalid	Iprodione	Clomazone	Terbuthylazine
Chlorothalonil	Metconazole	Diflufénican	Acétamipride
Cyproconazole	Métrafénone	Diméthachlore	Acrinathrine
Cyprodinil	Myclobutanil	Diuron	Carbofuran
Difénoconazole	Prochloraz	Éthofumésate	Chlorpyrifos-éthyl
Diméthomorphe	Propiconazole	Flufénacet	Clothianidine
Dimoxystrobine	Pyraclostrobine	Glyphosate	Diméthoate
Époxiconazole	Piriméthanil	Isoproturon	Imidaclopride
Fenbuconazole	Sédaxane	Linuron	Indoxacarbe
Fenpropimorphe	Tébuconazole	Métamitrone	Téfluthrine
Fluazinam	Tétraconazole	Métazachlore	Thiaclopride
Fludioxonyl	Thiabendazole	Napropamide	Cloquintocet-mexyl
Fluopyram	Triticonazole	Oryzalin	Méfenpyr diéthyl
Flusilazole	AMPA	Pendiméthaline	

Ces constatations sont en cohérence avec les résultats de l'étude de Pelosi *et al.*, (2021), qui montrait que les cultures céréalières, par rapport aux prairies et aux haies, affichaient des concentrations plus élevées en PPP, ainsi qu'un plus grand nombre de pesticides différents. De plus, l'étude a révélé que les sols non traités, tels que ceux des cultures biologiques, présentaient tout de même plus de trois substances actives dans 83 % des cas, avec une moyenne de six substances par échantillon. En revanche, la s.a. la plus fréquemment détectée était le diflufénican suivi de l'imidaclopride avec des taux de détection de 90 % et 89 %, respectivement. Les concentrations maximales ont été atteintes par le boscalid et le diflufénican avec des valeurs de 1212 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et 1361 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, respectivement.

5.2.2. Dans le reste de l'Europe

Il n'existe pas de programme de surveillance des pesticides dans les sols dans le reste de l'Europe. Il sera présenté ici une synthèse des protocoles et des résultats des études européennes publiées à partir de 2013 (Tableau 9).

Tableau 9 Liste des études analysées et comparées

Aznar <i>et al.</i> (2017)	Karasali <i>et al.</i> (2017)	Qu <i>et al.</i> (2017)
Barchanska <i>et al.</i> (2017)	Kosubova <i>et al.</i> (2020)	Sanchez-Gonzalez <i>et al.</i> (2013)
Bragança <i>et al.</i> (2019)	Kucharski <i>et al.</i> (2014)	Scherr <i>et al.</i> (2017)
Chiaia-Hernandez <i>et al.</i> (2017)	Masiá <i>et al.</i> (2015)	Silva <i>et al.</i> (2018)
Fernandes <i>et al.</i> (2014)	Padilla-Sánchez <i>et al.</i> (2015)	Silva <i>et al.</i> (2019)
Hvězdová <i>et al.</i> (2018)	Plaza-Bolaños <i>et al.</i> (2012)	Szekacs <i>et al.</i> (2014)
Karanasios <i>et al.</i> (2018)	Pose-Juan <i>et al.</i> (2014)	Vieira <i>et al.</i> (2023)
Karasali <i>et al.</i> (2016)	Pose-Juan <i>et al.</i> (2015)	Vonberg <i>et al.</i> (2014)

5.2.2.1. Protocole d'échantillonnage

Période de prélèvement

La littérature scientifique indique que les prélèvements sont effectués majoritairement en février (période précédant le labour et la pulvérisation), ainsi qu'en juin et juillet (période de pulvérisation).

Profondeur

Dans la majorité des études, les prélèvements sont effectués dans la couche la plus superficielle du sol jusqu'à une profondeur de 30 cm. Effectivement, sur 19 études indiquant la profondeur d'échantillonnage, 11 d'entre elles n'ont pas dépassé la profondeur de 20 cm pour les prélèvements et 6 autres sont allées jusqu'à une profondeur entre 20 et 30 cm. Enfin, la profondeur de 30 cm est dépassée dans les 3 études restantes.

Zone de prélèvement

D'après Hvězdová *et al.*, (2018), il est recommandé d'éviter les prélèvements à proximité des bordures des parcelles afin de minimiser les zones de passage des tracteurs et, par conséquent, les zones potentiellement plus exposées aux pesticides.

Nombre de sous-échantillons

Chaque échantillon analysé est constitué d'un mélange de plusieurs « sous-échantillons » ou « échantillons élémentaires ». Ainsi, l'ensemble forme un « échantillon composite ». Cependant, le nombre d'échantillons élémentaires varie selon les études. De fait, 8 études sur 14 ont eu recours à 5 sous-échantillons, le minimum et le maximum étant de 3 et de 9 sous-échantillons dans 1 et 3 études sur 14, respectivement.

Outil

L'outil le plus utilisé pour effectuer l'échantillonnage est la bêche en inox suivie de la tarière manuelle puis de la gouge et enfin du forage moteur. À ce propos, Fernández-Ugalde *et al.*, (2020) ont mené une étude comparant l'utilisation de la bêche par rapport à la tarière gouge pour le prélèvement de sol. Les résultats montrent que la méthode avec la bêche est une méthode simple, peu coûteuse et efficace si la profondeur et le retrait de la litière sont bien contrôlés.

Conservation

Les échantillons sont généralement stockés dans des sachets en plastique (dans 10 études sur 17) et une minorité dans des pots en verre (7 études sur 17). La température de conservation des échantillons varie le plus souvent entre -20°C et +4°C. En effet, une basse température est nécessaire pour éviter la métabolisation, transformation et dégradation des pesticides dans les échantillons.

Avant l'extraction, les prélèvements sont séchés dans l'obscurité le plus souvent à température ambiante pendant 1 à 3 semaines selon les études.

Extraction et analyse

Ensuite, les échantillons sont homogénéisés et tamisés à un calibre de 2 mm. La méthode d'extraction la plus utilisée est l'extraction avec un solvant organique comme l'acétonitrile, l'acétone ou le méthanol. La seconde méthode d'extraction la plus fréquente est la méthode QuEChERS.

Masiá *et al.*, (2015) ont comparé la méthode QuEChERS avec la méthode Pressurized Liquid Extraction (PLE) et les résultats montrent que la méthode QuEChERS est meilleure car plus rapide, moins chère et consomme moins d'énergie.

Les différentes méthodes analytiques utilisées pour identifier et quantifier les substances actives présentes dans les échantillons sont la GC-MS, GC-MS/MS, LC-MS, LC-MS/MS ou encore la LC ou GC-HRMS. La plus utilisée est la chromatographie en phase liquide (LC).

5.2.2.2. Résultats

Europe

Une évaluation des pesticides dans les sols à l'échelle de l'Europe a été réalisée par Silva *et al.*, (2018 et 2019) et Vieira *et al.*, (2023) grâce aux échantillons récoltés dans le cadre du programme européen LUCAS (Land Use/Cover Area frame Survey).

Le programme LUCAS a été créé initialement pour la caractérisation physico-chimique des sols européens selon l'utilisation des terres et la couverture terrestre. Ainsi, des prélèvements et des analyses sont effectués tous les 3 ans depuis 2009.

Silva *et al.*, (2019) ont analysé 317 échantillons dont 300 échantillons provenant des prélèvements de LUCAS 2015 et 17 échantillons provenant de vignobles portugais. Les sols analysés provenaient des 10 pays européens ayant la plus grande surface de terres agricoles et ayant le plus recours aux pesticides (Royaume-Uni, Danemark, Italie, Grèce, Espagne, Hongrie, Pologne, Pays-Bas, France et Allemagne). Au sein de ces pays, les parcelles ayant reçu le plus de PPP par hectare ou se trouvant dans les zones les plus cultivées, ont été prélevées.

La liste des substances actives d'intérêt a été basée sur les s.a. les plus utilisées sur les cultures analysées ainsi que sur les résultats d'autres études portant sur les pesticides dans les sols européens. Les pesticides interdits par la convention de Stockholm puis les principaux métabolites des molécules sélectionnées ont ensuite été ajoutés à cette liste. Finalement, des s.a. de la liste n'ont pas pu être analysées à cause de limites logistiques et budgétaires. La liste finale était composée de 76 substances actives.

Les résultats révèlent qu'au moins une molécule était présente dans 83 % des échantillons et plusieurs molécules dans 58 % des cas. La molécule la plus fréquemment retrouvée était l'AMPA puisqu'elle figurait dans 42 % des échantillons, à des concentrations allant jusqu'à 1920 µg.kg⁻¹. Tandis que la concentration la plus élevée était de 2050 µg.kg⁻¹ pour le glyphosate. Les pays d'Europe de l'Est (Hongrie et Pologne) ont montré la plus grande fréquence de détection des pesticides dans les sols (93 %) et la plus grande fréquence d'échantillons avec plus de 6 résidus différents détectés.

Vieira *et al.* (2023) ont examiné la présence de 118 s.a. et métabolites dans 3473 échantillons issus de la campagne LUCAS de 2018.

Au moins une molécule a été détectée dans 74,5 % des échantillons et plusieurs molécules dans 57,1 % des échantillons. Selon la liste des s.a. autorisées datant de mai 2023, 36 % des molécules retrouvées sont des s.a. interdites.

Parmi eux, 73 échantillons provenaient des mêmes sites de prélèvement que les échantillons analysés dans l'étude de Silva *et al.* (2019). En comparant les résultats des sites communs aux deux campagnes de prélèvement, une augmentation de l'incidence a été observée pour 42 % des substances actives, mais une légère réduction des concentrations a été notée pour les molécules présentes au cours des deux années.

La Belgique se classe parmi les pays présentant une incidence des pesticides dans les sols supérieure à la moyenne européenne mais seulement 9 sites ont été échantillonnés.

Il est à noter que les limites de quantification atteintes dans ces études sont assez élevées par rapport à d'autres études plus ciblées.

Espagne

L'Espagne ne possède pas de réseau de surveillance des pesticides dans les sols. Toutefois, plusieurs études ont été menées et ont permis d'évaluer leur contamination par les pesticides.

La province d'Almeria est le principal lieu de production de légumes sous serre en Espagne. Malgré la mise en place du programme IPM¹⁸ (Integrated Pest Management) depuis 2003 dans cette région, la forte utilisation des PPP présente un risque de contamination des sols. Afin d'évaluer cette contamination, Plaza-Bolaños *et al.*, (2012) ont recherché 126 substances dans 38 échantillons de sol provenant de cultures sous serres.

Les résultats ont mis en évidence que des pesticides pourtant interdits d'utilisation dans le cadre de ce programme tels que la bifenthrine et la procymidone étaient présents dans les sols analysés. Cela pourrait s'expliquer par une utilisation antérieure à la mise en place du programme IPM. Les concentrations se situaient entre 3 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (o,p'-DDD, endosulfan sulfate et imidaclopride) et 228 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (bupirimate). Tandis que la molécule la plus souvent détectée était un métabolite du DDT, le p,p'-DDE avec un taux de détection de 87 %.

Padilla-Sánchez *et al.*, (2015) ont évalué la variation temporelle des concentrations en pesticides, HAP et PCB dans des échantillons de sol de cette même province d'Almeria. Au moment des prélèvements, le programme IPM était en train de se développer depuis une dizaine d'années dans cette région. Au total, 62 échantillons de sol provenant de serres suivant le programme IPM ont été prélevés sur 3 années consécutives. Ainsi, 38 échantillons ont été prélevés la première année (en 2009) pour la recherche de 126 pesticides puis les 12 échantillons les plus représentatifs ont à nouveau été prélevés lors de la 2^{ème} (en 2010) et de la 3^{ème} année (en 2011).

Les résultats mettent en évidence qu'une diminution des concentrations a été observée durant les 3 années ce qui suggère l'efficacité du programme IPM. Sur les 3 années, la substance la plus fréquemment détectée dans les échantillons est le p,p'-DDE (47 %) suivi par l'endosulfan éther (45 %) et la procymidone (40 %). Or, les deux premières molécules sont des métabolites de substances interdites. Enfin, les plus hautes concentrations ont été atteintes par la procymidone (337 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) suivie du bupirimate (228 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) et du dimétomorphe (208 $\mu\text{g.kg}^{-1}$).

Sanchez-Gonzalez *et al.*, (2013) ont prélevé 42 échantillons de sols et 52 échantillons d'eaux souterraines dans le bassin de la rivière Águada (situé à la frontière entre l'Espagne et le Portugal, et faisant partie du Réseau Natura 2000). Les objectifs du projet étaient d'évaluer la présence de 16 pesticides fréquemment utilisés ainsi que d'étudier la possible relation entre la contamination du sol et des eaux souterraines. Les prélèvements de sol ont eu lieu durant les mois de janvier et février 2012. Les résultats montrent que seulement 3 s.a. sur 16 ont été détectées (terbuthylazine, métalaxyl et tébuconazole). La plus grande concentration a été atteinte par la terbuthylazine (7,44 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). De plus, aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre les résidus de pesticides détectés dans les sols et dans les eaux souterraines analysés.

¹⁸ Programme entrant dans le cadre de la Directive européenne 2009/128/EC et consistant à améliorer et réduire l'utilisation des PPP par le recours à des méthodes alternatives afin de réduire les risques pour la santé humaine et l'environnement.

Dans le but de tester une procédure optimisée d'extraction et d'analyse (extraction multirésidus, LC-MS et GC-MS), les sols de 17 vignobles de la région de La Rioja ont été prélevés en mars 2012 à la recherche de 17 substances actives (Pose-Juan *et al.*, 2014). Cette région située dans le nord de l'Espagne est connue dans le monde entier pour ses vins.

Les résultats montrent que la terbuthylazine et la déséthylatrazine ont été détectés dans 100 % des échantillons. De plus, la terbuthylazine et le fluométuron ont été mesurés à des concentrations de 403 et 174 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Ces hautes concentrations peuvent s'expliquer par l'augmentation de l'utilisation de la terbuthylazine suite à l'interdiction de l'atrazine en 2004 et l'association fréquente de terbuthylazine et fluométuron dans les formulations des PPP. Les fongicides étaient également fortement présents, avec des fréquences de détection dépassant les 80 %.

Aznar *et al.*, (2017) ont étudié la présence de 10 pyréthriinoïdes (insecticides) et leur variabilité spatio-temporelle dans les sols de rizières situées dans un parc naturel au bord de la mer Méditerranée. Un total de 33 prélèvements a été réalisés à 2 profondeurs (0-40 et 40-60 cm) et à 2 périodes de l'année (avant labour et pendant la production de riz).

Les résultats mettent en évidence qu'avant labour, 6 s.a. sur 10 ont été détectées, les plus fréquentes étant la resméthrine, cyfluthrine, α -cyperméthrine et esfenvalérate avec une concentration maximale de 57 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pour cette dernière. En revanche pendant la production, le taux de détection était de 100 % pour les deux profondeurs pour la resméthrine, la bifenthrine et la cyfluthrine. A cette période, la concentration maximale mesurée était de 62,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pour la resméthrine. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans des échantillons prélevés à proximité d'une arrivée d'eau de station d'épuration.

Portugal

Fernandes *et al.*, (2014) a mené une étude pour comparer des cultures de fraises biologiques (8 échantillons) avec des cultures de fraises sous le programme de management intégré des nuisibles (IPM, 3 échantillons). Un nombre de 27 pesticides ont été recherchés par LC-MS/MS, 143 s.a. ont été analysées par LP-GC-MS/MS (low pressure GC-tandem mass spectrometry) et un screening de plus de 600 pesticides a été réalisé grâce à la méthode GC $\times$ GC-TOF-MS (two-dimensional gas chromatography time-of-flight mass spectrometry). Dans cette étude, aucun pesticide n'a été détecté dans les sols des cultures biologiques alors que dans les échantillons provenant des cultures IPM, 9 substances actives ont été détectées à des concentrations allant de 2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et 50 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Les substances détectées par le plus grand nombre de méthodes analytiques et d'échantillons sont le cyprodinil et le fludioxonil.

Dans une deuxième étude portugaise, 10 échantillons de sol provenant de plaines de jeux en zone urbaine et 18 échantillons de sol provenant de cultures conventionnelles ont été analysés en été et en hiver pour les 8 pyréthriinoïdes suivants : α -cyperméthrine, β -cyfluthrine, cyhalothrine, bifenthrine, deltaméthrine, fenvalérate, perméthrine et tétraméthane (Bragança *et al.*, 2019). Les résultats montrent qu'aucun pesticide n'a été détecté dans les sols des plaines de jeux. Dans les sols agricoles, la seule molécule ayant été détectée en été est la deltaméthrine à des concentrations allant de 15,7 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ à 101,7 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Aucune s.a. n'a été détectée en hiver dans les sols agricoles.

Grèce

Karasali *et al.*, (2016) a mené une étude pour mesurer l'évolution de 5 pesticides (fluométuron, S-métolachlore, éthalfuraline, trifluraline et pendiméthaline) dans les sols avant et après l'application

du protocole LCM (Low-Input Crop Management)¹⁹. À cet égard, des prélèvements de sols ont été effectués sur 6 sites tous les 3 mois à partir d'avril 2009 jusqu'en septembre 2011. Le protocole LCM a été mis en application en 2010 et 2011. Un total de 66 échantillons a été ainsi prélevés et analysés sur les 3 années.

La molécule la plus fréquemment détectée est l'éthalfuraline (39.47%) à des concentrations entre 10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et 260 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. De plus, la quantité d'herbicides a diminué de plus de 75 % après 2 saisons d'application du protocole LCM.

En 2012, Karasali *et al.*, (2017) ont analysé 3 molécules appartenant à la famille des dinitroanilines (pendiméthaline, éthalfuraline et trifluraline) dans les sols de cultures intensives de coton.

Les concentrations les plus élevées ont été mesurées pour la trifluraline alors que cette molécule était interdite depuis 3 ans lors des prélèvements. De fait, des concentrations allant de 10 à 210 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ont été mesurées pour cette dernière.

De plus, la trifluraline était également la s.a. ayant la plus grande fréquence de détection (44 %) probablement dû à son coefficient de partage Koc très élevée (8765 ml.g^{-1}) indiquant une persistance dans le sol.

Une autre étude menée en Grèce par Karanasios *et al.*, (2018) visait à évaluer les concentrations de glyphosate et AMPA dans le sol de 2 oliveraies (à Chora et Peza) pendant 3 ans. Les résultats de l'étude soulignent que l'AMPA est plus persistant que le glyphosate sur les deux sites. Les concentrations maximales étaient de 350 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et 650 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pour le glyphosate et l'AMPA respectivement.

De plus, des échantillons provenant de cultures biologiques à Chora ont été analysés et les résultats montrent l'absence de glyphosate dans l'ensemble des échantillons à l'exception d'un échantillon où le glyphosate a été mesuré à une concentration de 27 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. L'AMPA a été détecté sur 5 parcelles à des concentrations entre 13 et 440 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, pouvant probablement provenir des parcelles avoisinantes traitées avec du glyphosate. Ces hautes concentrations mesurées pour l'AMPA sont probablement dues à une source de pollution ponctuelle. En effet, après utilisation du glyphosate sur des cultures voisines, le nettoyage du matériel de pulvérisation a été réalisé sur 2 des parcelles prélevées pour cette étude.

Allemagne

En Allemagne, Vonberg *et al.*, (2014) ont évalué les concentrations d'atrazine dans les sols agricoles 21 ans après l'interdiction d'utilisation de ce pesticide. Pour cela, 3 forages de sol ont été réalisés jusqu'à une profondeur de 3 mètres sur une parcelle en culture conventionnelle. Ensuite, les 3 carottes obtenues ont été divisées en 8 sections (0-10, 10-30, 30-60, 60-100, 100-150, 150-200, 200-250 et > 250 cm) de manière à obtenir un total de 24 échantillons à analyser.

De manière générale, les résultats ont mis en évidence des concentrations d'atrazine allant de 0,01 à 0,2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans les couches les plus superficielles et les plus faibles dans les couches plus profondes.

¹⁹ LCM : Low-Input Crop Management = approche pour la protection des plantes respectueuse de l'environnement notamment via la réduction de la pollution par les poussières provenant du semis de graines traitées aux pesticides, le remplacement des buses de pulvérisation par des buses à faible dérive, la réparation du matériel de pulvérisation et des offres de formations pour les professionnels.

Pologne

Kucharski *et al.*, (2014) a évalué la présence d'acétochlore dans 62 prélèvements de sol de cultures de maïs. Les résultats montrent que 17,4 % des prélèvements de sol contenaient de l'acétochlore avec des concentrations variant entre 1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et 3.2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. De plus, il a été mis en évidence qu'une augmentation de la pluie après la pulvérisation augmente le transfert des substances actives vers des couches plus profondes du sol, entraînant des concentrations plus faibles en surface.

En 2017 est sortie une autre étude polonaise sur la contamination des sédiments, du sol et des eaux de surface par la mésotrione, la sulcotrione et l'atrazine ainsi que leurs produits de dégradation (Barchanska *et al.*, 2017). L'atrazine n'a pas été détectée dans les échantillons de sol, par contre ses produits de dégradation ont été retrouvés dans 71 % des sols. La sulcotrione était présente dans 85 % des échantillons de sol et son produit de dégradation CMBA était présent dans 43 % des prélèvements de sol.

Hongrie

En Hongrie, dans le comté de Békés, Szekacs *et al.*, (2014) ont recherché 33 pesticides et 14 métabolites dans 423 échantillons de sol provenant de cultures conventionnelles, biologiques, de prairies et de sites industriels entre 2008 et 2013. Les résultats montrent que les sols étaient peu contaminés puisque 77 échantillons sur 423 (18,2 %) contenaient au moins 1 substance active. Dans le sol, une concentration maximale de 580 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ a été mesurée pour l'atrazine.

République Tchèque

En 2015, 75 cultures conventionnelles ont été prélevées par Scherr *et al.*, (2016) afin d'évaluer la présence de la simazine, l'atrazine (2 triazines interdites d'utilisation au moment des prélèvements) et la terbuthylazine (autorisée d'utilisation) ainsi que leurs métabolites. Les prélèvements ont eu lieu 6 mois après la dernière application de terbuthylazine et entre 8 et 10 ans après la dernière application de l'atrazine et la simazine.

Les résultats des analyses ont révélé que parmi les composés parents, il n'y a que la terbuthylazine qui était présente dans plus d'un échantillon. La plus grande concentration a été mesurée pour l'hydroxy-atrazine (123 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) et la plus grande fréquence de détection était de 83 % pour l'hydroxy-terbuthylazine. Par ailleurs, au moins 1 métabolite des 2 triazines interdites a été détecté dans 56 % des sites. Cette forte contamination par des substances interdites malgré l'absence de pulvérisation depuis une dizaine d'années peut être expliquée par le règlement d'exécution (UE) n°820/2011 de la commission du 16 août 2011 (EC, 2011) qui autorise une légère contamination des produits à base de terbuthylazine par de la simazine et de l'atrazine. Il est donc compliqué d'évaluer leur temps réel de dégradation dans le sol (Scherr *et al.*, 2016).

En 2018, une étude a analysé 51 pesticides et 9 produits de dégradations dans 75 échantillons de sols arables tchèques (Hvězdová *et al.*, 2018). Il en ressort que plus de la moitié des sols (53 %) contenaient au moins 5 molécules différentes. La concentration la plus élevée était de 139 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pour la pendiméthaline. De plus, les produits de dégradations de l'atrazine et de la simazine ont souvent été retrouvés alors que les prélèvements ont eu lieu 10 ans après leur interdiction officielle.

Dans l'étude de Kosubová *et al.*, (2020), 34 parcelles de tous types ont été analysées chaque année (entre 2014 et 2017) à la recherche de 64 s.a. et produits de dégradation dans le but d'évaluer

la distribution spatiale et temporelle des pesticides dans les sols tchèques. Les résultats ont mis en évidence la présence de la carbendazime, un pesticide interdit au moment des prélèvements, dans 21 à 29 % des échantillons de sol et à des concentrations atteignant les $35 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Cela peut s'expliquer par son temps de dégradation 90 % de 257 jours (DT_{90}) et par la dégradation du thiophanate méthyl qui produit de la carbendazime. Par ailleurs, plus de la moitié des échantillons contenaient un mélange de 2 à 7 substances actives.

6. Évaluation du risque sanitaire

Les produits phytopharmaceutiques (PPP) sont utilisés dans la lutte contre les nuisibles (adventices, champignons et insectes). Des études ont cependant mis en évidence des effets de ces substances sur la santé humaine. C'est le cas notamment de l'INSERM (2021) qui a montré une forte présomption « *d'un lien entre l'exposition aux pesticides et six pathologies : lymphomes non hodgkiniens (LNH), myélome multiple, cancer de la prostate, maladie de Parkinson, troubles cognitifs, bronchopneumopathie chronique obstructive et bronchite chronique* ».

L'organisme peut être exposé aux pesticides présents dans les sols et les poussières via trois voies :

1. La voie orale

L'ingestion de sol et de poussières peut avoir lieu par contact main-bouche, en particulier chez les enfants, mais également chez les adultes ou encore via des légumes mal lavés. La population peut également être exposée à des résidus de PPP via la consommation de fruits, légumes, céréales et produits transformés.

2. La voie cutanée

Le contact cutané avec le sol a lieu lors d'activités en extérieur comme par exemple le jardinage, mais également en intérieur lors de contact avec de la poussière.

3. La voie respiratoire

Les pesticides dans les sols peuvent entrer en contact avec l'organisme par inhalation lorsque des particules de sol se remettent en suspension dans l'air.

Dans ce chapitre sera décrit l'évaluation des risques pour la santé humaine liés aux pesticides présents dans les sols. Les voies d'exposition prises en compte seront l'ingestion de sol et de poussières et le contact cutané avec le sol et les poussières. En revanche, l'exposition par inhalation ne sera pas abordée dans ce volet mais sera reprise dans le volet concernant l'air ambiant.

En Wallonie, l'instrument de référence pour la mise en œuvre du Décret Sols est le Code Wallon des Bonnes Pratiques. La méthodologie d'évaluation des risques pour la santé humaine liés aux sols pollués est décrite dans un de ces guides, le GRER partie B. Le modèle de référence à utiliser dans ce cadre est le modèle S-Risk version wallonne (S-Risk WAL). En parallèle, la Région Wallonne propose un outil pour évaluer et réduire les risques sanitaires liés à la fréquentation d'un sol potentiellement pollué en métaux et à la consommation de produits issus d'une activité de jardinage, l'outil SANISOL. L'outil SANISOL permet, sur base d'une analyse de sol, de fournir des recommandations personnalisées (comportementales et culturelles) à l'utilisateur afin de réduire les risques sanitaires liés au jardinage et à la consommation de légumes. Les deux modèles diffèrent par de nombreux points (voir Petit *et al.*, 2022). Ils utilisent notamment deux jeux de valeurs différents de taux d'ingestion de particules de sols et de poussières : l'outil S-Risk utilise ceux établis par le VITO (2008) et le modèle Sanisol ceux établis par l'US-EPA (2017).

Le **VITO** a établi en 2008 deux distributions de référence des taux d'ingestion de particules de sols et de poussières (VITO, 2008) pour les enfants et les adultes en usage résidentiel. Les valeurs des taux d'ingestion sont ensuite interpolées pour différentes classes d'âge et adaptées selon les différents scénarii d'exposition de l'outil S-RISK (agricole, résidentiel avec jardin potager, industriel, ...). Jusqu'en 2019, les 95^{ème} percentiles de ces distributions étaient implémentés dans les modèles S-RISK/FL et S-

RISK/WAL. En 2019, elles ont été remplacées par des valeurs au 60^{ème} percentile de ces distributions pour S-RISK version Flandre-Bruxelles (S-Risk/FL) (VITO, 2019). L'ISSEP a réalisé une analyse de ces valeurs (Jacquemin *et al.*, 2019) et a décidé de ne pas les retenir actuellement. En effet, scientifiquement, les taux d'ingestion pris en compte dans la version S-Risk WAL sont toujours d'actualité. De plus, l'adoption de ces nouvelles valeurs en Wallonie relèvera les valeurs seuil pour la santé humaine (VSH) de certains polluants (sans impacter les valeurs seuil du Décret Sols pour l'usage résidentiel). Cette révision a été faite par le VITO dans le cadre d'une révision des normes flamandes.

Les taux d'ingestion de particules de sol et de poussières de la population générale ont fait l'objet d'une mise à jour par l'**US EPA** en 2017 qui définit des valeurs centrales et des valeurs « percentile élevé ». Dans les travaux récents réalisés dans le cadre de SANISOL (Le Bel, 2019), les taux d'ingestion de particules de sol et de poussières ont été réévalués par recatégorisation des valeurs de l'US EPA (2017) en classes d'âge compatibles avec l'outil S-RISK®, selon trois jeux de valeurs (tendance centrale, tendance centrale supérieure et tendance extrême). La tendance centrale est recommandée par SPAQUE²⁰ dans le cadre du modèle d'exposition développé dans SANISOL (voir tableau 21 page 35 de Le Bel, 2019), compte tenu de sa volonté d'être le plus proche de la réalité et refléter une exposition moyenne.

Le choix de taux d'ingestion plus élevés relève plutôt d'une approche plus sécuritaire, prise notamment dans l'outil S-RISK WAL. Cela dit, la recherche des taux d'ingestion utilisés actuellement dans les évaluations des risques sanitaires propres aux usages « résidentiel avec potager » (ou « moestuin », en néerlandais ; ou « allotment garden », en anglais) suggèrent plutôt l'usage de taux d'ingestion supérieurs à ceux définis pour le modèle SANISOL (

Tableau 10).

Les taux d'ingestion de particules de poussières proposés dans S-RISK WAL permettent

	S-RISK WAL	IEUBK	S-RISK FL	RIVM (2015)	DEFRA (2014)	SANISOL
Enfants	85-152	85-135	67-106	100	100	42-75
Adultes	77	-	66	50		30
	Cornelis <i>et al.</i> (2017)		VITO (2019)	Otte <i>et al.</i> (2015)		Le Bel (2019)

d'évaluer les risques de manière plus sécuritaire que ceux utilisés dans SANISOL, reflétant quant à eux, une exposition d'avantage médiane. De plus, l'utilisation de l'outil S-Risk dans le cadre de cette étude permet de rester harmonisé avec les évaluations des risques sanitaires liées aux sols pollués réalisées dans le cadre du Décret sols.

Tableau 10 Taux d'ingestion de particules de sol et de poussières (mg.j⁻¹) préconisés dans les modèles d'exposition récents visant l'usage résidentiel avec potager (allotment garden/moestuin), classés par valeur décroissantes.

	S-RISK WAL	IEUBK	S-RISK FL	RIVM (2015)	DEFRA (2014)	SANISOL
Enfants	85-152	85-135	67-106	100	100	42-75
Adultes	77	-	66	50		30
	Cornelis <i>et al.</i> (2017)		VITO (2019)	Otte <i>et al.</i> (2015)		Le Bel (2019)

²⁰ SPAQUE est un opérateur multitâche spécialisé dans l'assainissement des sols pollués.

6.1. Evaluation de l'exposition

La caractérisation des risques est réalisée pour chaque substance active. La première étape consiste à évaluer l'exposition pour chacune des deux voies d'exposition (orale et cutanée).

6.1.1. Voie orale

Les deux équations suivantes permettent d'évaluer l'exposition journalière moyenne par ingestion de sol et de poussières, respectivement (Cornelis *et al.*, 2017).

$$ED_{oral_soil}^{daily} = \frac{IR_{soil/dust_daily} \times RBA_{soil} \times F_{oral_soil} \times C \times CF}{BW}$$

$$ED_{oral_dust}^{daily} = \frac{IR_{soil/dust_daily} \times RBA_{dust} \times (1 - F_{oral_soil}) \times C_{settled_dust} \times CF}{BW}$$

Ensuite, pour chaque voie d'exposition, l'exposition annuelle moyenne est calculée en multipliant les résultats de ces deux premières équations par la fréquence d'exposition (Cornelis *et al.*, 2017).

$$ED_{oral_soil/dust}^{yearly} = \frac{(ED_{oral_soil}^{daily} + ED_{oral_dust}^{daily}) \times EF_{week} \times EF_{year}}{365}$$

Avec,

Abréviation	Nom	Unité
$ED_{oral_soil}^{daily}$	Dose journalière moyenne de la SA ingérée via le sol par unité de poids vif	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
$IR_{soil/dust_daily}$	Quantité de sol et poussière ingérée par jour (Annexe 1)	mg.j ⁻¹
RBA_{soil}	Biodisponibilité relative des polluants dans le sol (valeur = 1)	/
F_{oral_soil}	Fraction de sol dans la quantité de sol et de poussière ingérée (Annexe 1)	/
C	Concentration de la SA dans la couche superficielle du sol	mg.kg ⁻¹
CF	Facteur de conversion (Annexe 2)	kg.mg ⁻¹
BW	Poids corporel (Annexe 3)	kg
$ED_{oral_dust}^{daily}$	Dose journalière moyenne via la poussière par unité de poids vif	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
RBA_{dust}	Biodisponibilité relative des polluants dans la poussière (valeur = 1)	/
$C_{settled_dust}$	Concentration de la SA dans la poussière	mg.kg ⁻¹
$ED_{oral_soil/dust}^{yearly}$	Dose annuelle moyenne via le sol et la poussière par unité de poids vif	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
EF_{week}	Fréquence par semaine	j.sem ⁻¹
EF_{year}	Fréquence par an	sem.an ⁻¹

Des valeurs par défaut sont proposées dans ce guide pour différents scénarios ([Annexe 4](#)) mais, il est possible d'utiliser d'autres données pour autant qu'elles soient représentatives et justifiées.

6.1.2. Voie cutanée

L'évaluation de l'exposition par contact cutané consiste à déterminer la dose absorbée par la peau. Les deux équations suivantes permettent d'évaluer l'exposition journalière par contact cutané direct avec de la terre et/ou des poussières (Cornelis *et al.*, 2017).

$$AD_{dermal_soil}^{daily} = \frac{C \times AF_{soil_skin} \times CF \times ABS_{dermal} \times SA_{out} \times EV_{out}}{BW}$$

$$AD_{dermal_dust}^{daily} = \frac{C \times AF_{dust_skin} \times CF \times ABS_{dermal} \times SA_{in} \times EV_{in}}{BW}$$

L'exposition annuelle moyenne est ensuite calculée en multipliant les résultats de ces deux premières équations par la fréquence d'exposition.

$$AD_{dermal_soil/dust}^{yearly} = \frac{(AD_{dermal_soil}^{daily} + AD_{dermal_dust}^{daily}) \times EF}{365}$$

Avec,

Abréviation	Nom	Unité
$AD_{dermal_soil}^{daily}$	Dose journalière absorbée par contact cutané via le sol par surface de peau	mg.m ⁻² .j ⁻¹
C	Concentration de la SA dans le sol/poussière	mg.kg ⁻¹
AF_{soil_skin}	Adhérence moyenne du sol sur la peau (Annexe 5)	mg.m ⁻²
CF	Facteur de conversion (Annexe 2)	kg.mg ⁻¹
ABS_{dermal}	Facteur d'absorption cutanée pour le sol et la poussière	/
SA_{out}	Surface de la peau couverte de sol pendant des activités en extérieur (Annexe 6)	m ²
EV_{out}	Nombre d'événements « sols » par jour. Un événement correspond à l'intervalle entre 2 lavages de la peau (Annexe 2)	év.j ⁻¹
$AD_{dermal_dust}^{daily}$	Dose journalière absorbée par contact cutané via la poussière par surface de peau	mg.m ⁻² .j ⁻¹
AF_{dust_skin}	Adhérence moyenne de la poussière sur la peau (Annexe 7)	mg.m ⁻²
SA_{in}	Surface de la peau couverte de poussière pendant des activités en intérieur (Annexe 8)	m ²
EV_{in}	Nombre d'événements « poussière » par jour. Un événement correspond à l'intervalle entre 2 lavages de la peau (Annexe 2)	év.j ⁻¹
$AD_{dermal_soil/dust}^{yearly}$	Dose annuelle moyenne absorbée par contact cutané via le sol et la poussière	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
EF	Fréquence d'exposition	j.an ⁻¹

6.2. Evaluation du risque

L'évaluation du risque consiste à comparer les doses d'exposition à des valeurs de référence toxicologiques. Le risque est évalué pour deux types d'effet : effet à seuil et effet sans seuil.

6.2.1. Effets à seuil

Les substances présentant des effets à seuil vont induire des effets à partir d'une certaine dose et d'une durée d'exposition déterminée. De plus, l'intensité des effets est proportionnelle à la dose reçue. Les effets à seuil concernent les substances non cancérogènes ou cancérogènes non génotoxiques (qui n'agissent pas sur le génome). Le risque est exprimé par un indice de risque (RI) qui est défini comme étant la dose journalière d'exposition (pour les voies d'exposition par ingestion et par contact cutané) rapportée à la valeur toxicologique correspondante.

La valeur de référence toxicologique pour les effets à seuil est exprimée par une dose journalière tolérable (TDI : Tolerable Daily Intake).

Un indice de risque pour la voie d'exposition orale et par contact cutané peut être obtenu grâce à la dose d'exposition annuelle moyenne calculée précédemment en utilisant les équations suivantes pour les différentes catégories d'âge (Cornelis *et al.*, 2017) :

$$D_{site,oral/dermal}^{child} = \frac{\sum_{i=1-2} D_{oral/dermal}^{yearly,i} \times Yr_i}{\sum_{i=1-2} Yr_i}$$

$$RI_{oral/dermal}^{child} = \frac{D_{site,oral/dermal}^{child}}{TDI/U_{oral/dermal}^{child}}$$

Avec,

Abréviation	Nom	Unité
$D_{site,oral/dermal}^{child}$	Dose annuelle moyenne pour un enfant par ingestion ou contact cutané par unité de poids vif	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
$D_{oral/dermal}^{yearly,i}$	Dose annuelle moyenne de la SA par ingestion ou contact cutané et pour la catégorie d'âge i par unité de poids vif	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
Yr_i	Nombre d'années dans la catégorie d'âge i (Annexe 9)	/
$RI_{oral/dermal}^{child}$	Indice de risque pour un enfant par ingestion ou contact cutané	/
$TDI/U_{oral/dermal}^{child}$	Dose journalière tolérable pour un enfant par ingestion ou contact cutané (I = intake et U = uptake) par unité de poids vif	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹

L'évaluation du risque pour les adultes de 15 ans et plus peut se faire grâce aux mêmes équations que pour les enfants mais adaptées au niveau des catégories d'âge :

$$D_{site,oral/dermal}^{adult} = \frac{\sum_{i=5-10} D_{oral/dermal}^{yearly,i} \times Yr_i}{\sum_{i=5-10} Yr_i}$$

$$RI_{oral/dermal}^{adult} = \frac{D_{site,oral/dermal}^{adult}}{TDI/U_{oral/dermal}^{adult}}$$

Avec,

Abréviation	Nom	Unité
$D_{site,oral/dermal}^{adult}$	Dose annuelle moyenne pour un adulte par ingestion ou contact cutané par unité de poids vif	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
$D_{oral/dermal}^{yearly,i}$	Dose annuelle moyen de la SA par ingestion ou contact cutané et pour la catégorie d'âge i par unité de poids vif	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
Yr_i	Nombre d'années dans la catégorie d'âge i (Annexe 9)	/
$RI_{oral/dermal}^{adult}$	Indice de risque pour un adulte par ingestion ou contact cutané	/
$TDI/U_{oral/dermal}^{adult}$	Dose journalière tolérable pour un adulte par ingestion ou contact cutané (I = intake et U = uptake)	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹

Pour les effets à seuil, il y a un risque si RI est > 1.

6.2.2. Effets sans seuil

Les substances présentant des effets sans seuil peuvent induire des effets quelle que soit la dose de la substance reçue. En outre, la probabilité d'observer un effet augmente en fonction de la dose et de la durée d'exposition, mais l'intensité de l'effet n'en dépend pas. Les effets cancérogènes, mutagènes ou tératogènes sont des exemples d'effets sans seuil. Le risque est exprimé par un excès de risque de cancer (ExCR) qui correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu développe, pendant sa vie, l'effet associé à la substance du fait de l'exposition considérée. L'ExCR (ou ERI) est calculé pour chaque substance et chaque voie d'exposition à partir de la dose d'exposition journalière et de la valeur toxicologique de référence correspondante (ERU ou slope factor).

Lorsqu'il s'agit d'effets sans seuil, la valeur toxicologique de référence est exprimée par un facteur de pente (SF : Slope Factor) qui exprime la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu a de développer l'effet s'il est exposé à une unité de dose de la substance considérée pendant sa vie entière. L'évaluation du risque se base sur une dose annuelle moyenne tout au long de la vie. Il peut être évalué avec les équations suivantes (Cornelis *et al.*, 2017) :

$$D_{site,oral/dermal} = \frac{\sum_{i=1-10} D_{oral/dermal}^{yearly,i} \times Yr_i}{\sum_{i=1-10} Yr_i}$$

$$ExCR_{oral/dermal} = D_{site,oral/dermal} \times SF_{oral/dermal}$$

Avec,

Abréviation	Nom	Unité
$D_{site,oral/dermal}$	Dose annuelle moyenne tout au long de la vie par ingestion ou contact cutané	Mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
$D_{oral/dermal}^{yearly,i}$	Dose annuelle moyenne tout au long de la vie par ingestion ou contact cutané et catégorie d'âge i	Mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹
Yr_i	Nombre d'années dans la catégorie d'âge i (Annexe 9)	/
$ExCR_{oral/dermal}$	Excès de risque de cancer tout au long de la vie par ingestion ou contact cutané	/
$SF_{oral/dermal}$	Facteur de pente par ingestion ou contact cutané	(mg/kg.j) ⁻¹

Pour les effets sans seuil, il y a un risque si ExCR est > 10⁻⁵.

6.2.3. Additivité des risques

Les s.a. peuvent présenter des effets locaux ou systémiques. Un effet est local lorsqu'il se produit au point de contact entre l'organisme et la substance. Un effet systémique se produit sur un ou plusieurs organes distants du point de contact après diffusion de la substance dans le corps. Pour les effets locaux, le risque est calculé pour chaque voie d'exposition. En revanche, si les effets sont

systémiques alors les risques sont additionnés pour les différentes voies d'exposition de manière à obtenir un indice de risque global (RI) ou un excès global de risque de cancer (ExCR).

$$RI = \sum RI_{route}$$
$$ExCR = \sum ExCR_{route}$$

Les risques sont cependant caractérisés selon une approche mono-polluant. Les interactions entre polluants ne sont donc, actuellement, pas prises en compte.

Ce chapitre présente les principes permettant d'évaluer les risques dus aux pesticides liés au contact cutané et à l'ingestion directe (non intentionnelle) de particules de sol et de poussières (transfert sol-homme). Il n'explore pas les transferts indirects en provenance du sol tels que les transferts sol-plante-homme (racinaire et déposition surfacique ; et consommation des végétaux), sol-(plante)-animal-homme (consommation du fourrage contaminé et contamination du lait/bétail, consommation des œufs/viande de volaille) ; sol-air-homme (volatilisation depuis le sol) ou sol-eau-homme (lixiviation vers les nappes) qui s'appliquent en usage agricole et résidentiel, par ailleurs pris en compte dans le modèle S-RISK. Les transferts des pesticides via les denrées alimentaires sont évalués via les études d'ingestion alimentaire et réglementés par les LMRs (Limites Maximales de Résidus) des pesticides dans les denrées alimentaires.

De plus, le contact cutané et l'ingestion de particules de sols et de poussière, voies d'exposition faisant spécifiquement l'objet de cette étude, ne sont que deux voies d'exposition parmi d'autres, comme l'alimentation totale (tout type d'aliment confondus, y compris l'eau de boisson) ou l'inhalation d'air ambiant. Ne faire reposer l'évaluation des risques que sur deux de ces voies sans considérer l'additivité des doses associées aux autres voies ne donne qu'une évaluation partielle des risques, ce qui est n'est pas favorable à la mise en œuvre de mesures de protection et de gestion pertinentes en terme de santé publique vis-à-vis des pesticides.

7. Hiérarchisation des substances actives d'intérêt

7.1. Méthodologie

L'étude effectuée par l'ANSES en 2017 (ANSES, 2017) et le projet EXPOPESTEN (Giusti *et al.*, 2018) ont utilisé une méthode de priorisation des substances actives potentiellement présentes dans la matrice air. Cette méthode a été adaptée à la matrice sol et sera développée dans ce chapitre. Cette démarche « a priori » est basée sur une hiérarchisation des substances actives sur base de plusieurs critères différents selon la matrice environnementale considérée (Tableau 11).

Tableau 11 Critères sélectionnés pour la hiérarchisation des substances actives d'intérêt pour la matrice 'sol'

Présence potentielle dans le sol	Constante d'adsorption (Koc) Demi-vie dans le sol aérobie (DT50)
Utilisation	Quantités utilisées en Wallonie
Toxicité	Cancérogénicité Mutagénicité Perturbation endocrinienne Toxicité sur organes (expositions chroniques) Reprotoxicité

L'ensemble de ces données a été obtenu à partir de la base de données 'Pesticide Properties DataBase' (PPDB²¹).

Dans un premier temps, la base de données européennes (EU Pesticide Database²²) des substances actives agréées en Belgique a été consultée et a permis de répertorier **314 substances actives agréées en janvier 2022 et 293 substances actives agréées en janvier 2023**.

De ces substances actives, toutes substances dites d'origine naturelle telles que les phéromones, les huiles végétales ou encore les substances microbiennes ont été retirées, car ces microorganismes et molécules dérivés de plantes ou animaux peuvent naturellement être présents dans l'environnement et sont donc en dehors de l'objectif de cette étude. Il résulte alors une liste de **234 s.a. (janv. 2022) et 216 s.a. (janv. 2023)** (Figure 3).

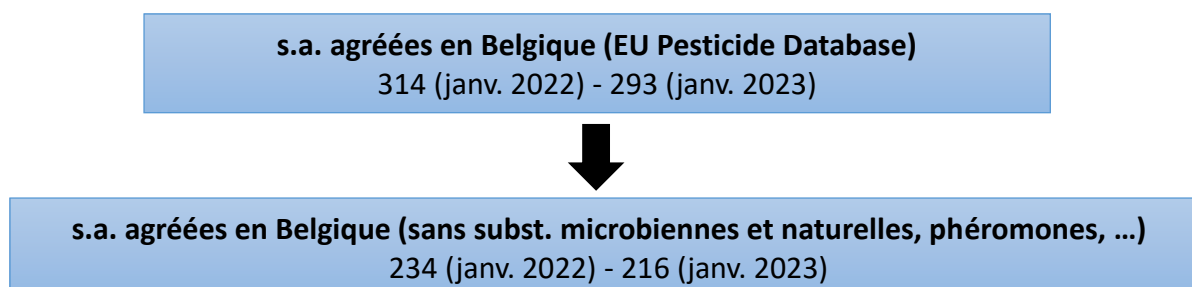


Figure 3 Nombre de substances actives étudiées pour la détermination des listes "a priori"

²¹ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>

²² <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances>

La liste de s.a. ainsi réduite a ensuite été utilisée pour déterminer les scores de priorité à l'aide de la méthodologie de hiérarchisation selon les critères repris dans le [Tableau 11](#).

7.1.1. Présence potentielle dans la matrice sol

Ce critère est divisé en deux sous-critères qui sont : la constante d'adsorption (Koc) et le temps de demi-vie dans un sol aérobie (DT50). Les informations pour chaque s.a. ont été obtenues en consultant la base de données PPDB²³.

La constante d'adsorption indique la mobilité potentielle de la molécule dans le sol. Plus le Koc est faible, plus la molécule sera mobile et plus elle sera susceptible de se retrouver dans les nappes souterraines. A contrario, plus le Koc est élevé, moins la molécule sera mobile et plus elle aura tendance à se répandre dans l'environnement terrestre. La valeur Koc a été divisée en 5 catégories allant de « très mobile » à « non-mobile » et ayant respectivement un score de 1 à 16 ([Tableau 12](#)).

Le temps de demi-vie dans le sol aérobie permet de connaître le temps nécessaire pour que la concentration de la molécule soit diminuée de moitié dans la matrice. Plus le temps de demi-vie est long, plus la molécule est dite « persistante ». Quatre catégories de persistance ont été définies allant de « non-persistant » à « très persistant » et ayant respectivement un score de 1 à 8 ([Tableau 12](#)).

Tableau 12 Critères utilisés pour déterminer la présence potentielle d'une molécule dans le sol

Koc (ml/g)	Mobilité	Score
< 10	Très mobile	1
10 – 100	Mobile	2
100 - 1000	Modérément mobile	4
1000 - 10000	Peu mobile	8
> 10000	Non-mobile	16
DT50 (j)	Persistance	Score
< 30	Non-persistant	1
30 – 100	Modérément persistant	2
100 - 365	Persistant	4
> 365	Très persistant	8

Le score obtenu pour chacun des deux critères a été additionné afin d'obtenir le score de potentialité de présence dans le sol. Le score est donc compris entre 2 à 24.

7.1.2. Quantités utilisées estimées en Wallonie

Les quantités utilisées estimées sont des données pertinentes à prendre en considération dans la hiérarchisation des s.a. Ces données ont été obtenues de la Direction de l'Analyse Economique Agricole (DAEA) qui rassemble chaque année les données d'utilisation de produits phytopharmaceutiques pour de nombreuses exploitations agricoles, puis elles ont été extrapolées par l'asbl CORDER selon leur méthodologie développée dans le rapport « Estimation quantitative des utilisations de produits phytopharmaceutiques par les différents secteurs d'activité en Wallonie » (CORDER, 2022).

Les quantités utilisées estimées ont ensuite été catégorisées et un score a été attribué à chaque catégorie ([Tableau 13](#)).

²³ PPDB : Pesticide Properties DataBase

Tableau 13 Quantités de substances actives utilisées estimées en Wallonie et les scores associés

Quantités utilisées estimées (kg)	Score
0	1
0 – 500	2
500 - 1000	4
1000 - 10000	8
10000 - 100000	16
> 100000	32

7.1.3. Critères de toxicité chronique

L'un des objectifs de cette étude et de la gestion des PPP est d'évaluer les risques liés à leur présence dans les matrices environnementales et donc d'assurer la protection de la santé de la population. De ce fait, les données de toxicité chronique ont été considérées comme pertinentes à inclure dans la méthodologie de hiérarchisation des s.a. d'intérêt.

Pour cela, les différents critères d'effets toxiques retenus par l'ANSES ont été utilisés, à savoir : la cancérogénicité, la mutagénicité, la toxicité sur un organe spécifique, la perturbation endocrinienne et la reprotoxicité. Les informations reprises dans ces catégories ont été obtenues suite à la consultation de plusieurs bases de données (CIRC, US EPA, INSERM, EFSA, Agritox, SAgE).

Pour chaque critère de toxicité, un score a été attribué à chaque niveau de risque ([Tableau 14](#) - [Tableau 18](#)). Lorsqu'une molécule était indiquée dans plusieurs niveaux de risque (selon la base de données consultée), le risque le plus élevé a été retenu.

Enfin, le score de toxicité de chaque s.a. a été calculé en additionnant le score obtenu pour chaque critère de toxicité. Ainsi le score de toxicité est compris entre 2 et 56.

Tableau 14 Critères de toxicité retenus pour les effets cancérogènes pour l'évaluation de la toxicité chronique et score attribué (ANSES, 2017)

Niveau de risque cancérogène	CLP ³⁶	CIRC	US EPA (2005)	INSERM	Score
Cancérogène chez l'Homme	CLP 1A : Effet cancérogène avéré pour l'Homme	CIRC 1 : Cancérogène pour l'Homme	Carcinogenic to humans	Présomption de lien fort + plausibilité biologique forte	16
Cancérogène probable chez l'Homme	CLP 1B : Effet cancérogène présumé pour l'Homme	CIRC 2A : Probablement cancérogène pour l'Homme CIRC 2B : Possiblement cancérogène pour l'Homme	Likely to be carcinogenic to humans	Présomption de lien fort + plausibilité biologique moyenne <u>OU</u> présomption de lien moyen + plausibilité biologique forte <u>OU</u> présomption de lien moyen + plausibilité biologique moyenne	8
Cancérogène possible chez l'Homme	CLP 2 : Effet cancérogène suspecté, mais les informations disponibles sont insuffisantes		Suggestive evidence of carcinogenic potential	Présomption de lien fort + plausibilité biologique inconnue <u>OU</u> présomption de lien faible + plausibilité biologique forte <u>OU</u> Présomption de lien moyen + hypothèse mécanistique inconnue <u>ou</u> faible présomption de lien + plausibilité biologique moyenne	4
Données inexistantes ou insuffisantes	-	CIRC 3 : Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'Homme	Inadequate information to assess carcinogenic potential	Faible présomption de lien et hypothèse mécanistique inconnue en fonction des données disponibles	1
Cancérogène peu probable chez l'Homme	-	CIRC 4 : Probablement pas cancérogène pour l'Homme	Not likely to be carcinogenic to humans	-	0

Tableau 15 Critères de toxicité retenus pour les effets mutagènes pour l'évaluation de la toxicité chronique et score attribué (ANSES, 2017)

Niveau de risque mutagène	CLP ³⁶	Score
Mutagène chez l'Homme	CLP 1A : Effet mutagène avéré pour l'Homme	8
Mutagène probable chez l'Homme	CLP 1B : Effet mutagène présumé pour l'Homme	4
Mutagène possible chez l'Homme	CLP 2 : Effet mutagène suspecté, mais les informations disponibles sont insuffisantes	2
Substance non classée		1

Tableau 16 Critères de toxicité retenus pour les effets toxiques spécifiques à certains organes cibles lors d'exposition répétée pour l'évaluation de la toxicité chronique et score attribué (ANSES, 2017)

Toxicité spécifique pour certains organes cibles – Exposition répétée	CLP ³⁶	Score
Effets toxiques notables chez l'Homme	1 : Substances ayant produit des effets toxiques notables chez des êtres humains ou dont il y a lieu de penser, sur la base de données provenant d'études sur des animaux, qu'elles peuvent être gravement toxiques pour l'être humain à la suite d'expositions répétées	8
Effets toxiques possibles chez l'Homme	2 : Substances dont des études sur des animaux permettent de penser qu'elles peuvent porter préjudice à la santé humaine à la suite d'expositions répétées	4
Substance non classée		0

Tableau 17 Critères de toxicité retenus pour les effets perturbateurs endocriniens (PE) pour l'évaluation de la toxicité chronique et score attribué (ANSES, 2017)

Niveau de risque PE	BKH (2000)*	BKH (2002) et DHI*	IEPA	US EPA – EDSP*	Listes	Score
PE évident	Catégorie 1 : "HPV and/or persistent and/or exposure expected as well as evidence of endocrine disruptive effects"	Catégorie 1 : "at least 1 <i>in vivo</i> study providing clear evidence for ED in a intact organism"	Known	"Evidence for potential interaction with the estrogen, androgen or thyroid pathways in mammals"	Présence sur la liste SIN	8
PE probable	Catégorie 2 : "HPV and/or persistent and/or exposure expected as well as potential evidence of endocrine disruptive effects"	Catégorie 2: "Potential for ED. In-vitro data indicating potential for ED in intact organisms. Also includes effects in-vivo that may, or may not, be ED-mediated"	Probable	"Limited evidence for potential interaction with the estrogen, androgen or thyroid pathways in mammals"	Présence sur liste TEDX	4
PE suspecté	Suspected					2
Données inexistantes ou insuffisantes	Catégorie 3 : "HPV and/or persistent and/or exposure expected as well as no scientific basis for/no data on endocrine effects"	Catégorie 3b: "substances with no or insufficient data gathered"				1
Effets PE peu probables		Catégorie 3a: "No scientific basis for inclusion in list (ED studies available but no indications of ED effects)"		"No convincing evidence of potential interactions with estrogen, androgen or thyroid pathways or mammals"		0

* Le BKH et le DHI proposent une classification PE combinant une classification pour les effets sur la santé humaine et une pour les effets sur la faune. L'US EPA considère également les données sur les mammifères aussi bien que sur la faune. Le choix a été fait de se baser uniquement sur les effets sur la santé humaine pour être cohérent avec l'ensemble des classifications CLP retenues.

Tableau 18 Critères de toxicité retenus pour les effets sur la reproduction pour l'évaluation de la toxicité chronique et score attribué (ANSES, 2017)

Niveau de risque Effets reprotoxiques et sur le développement	CLP ³⁶	INSERM	Score
Reprotoxique chez l'Homme	CLP 1A : Effet reprotoxique avéré pour l'Homme	Présomption de lien fort + plausibilité biologique forte	16
Reprotoxique probable chez l'Homme	CLP 1B : Effet reprotoxique présumé pour l'Homme	Présomption de lien fort + plausibilité biologique moyenne <u>OU</u> présomption de lien moyen + plausibilité biologique forte <u>OU</u> présomption de lien moyen + plausibilité biologique moyenne	8
Reprotoxique possible chez l'Homme	CLP 2 : Effet reprotoxique suspecté, mais les informations disponibles sont insuffisantes	Présomption de lien fort + plausibilité biologique inconnue <u>OU</u> présomption de lien faible + plausibilité biologique forte <u>OU</u> Présomption de lien moyen + hypothèse mécanistique inconnue <u>ou</u> faible présomption de lien + plausibilité biologique moyenne	4
Données inadéquates pour l'évaluation du potentiel Reprotoxique chez l'Homme ou substance non classée	Non classée	Faible présomption de lien et hypothèse mécanistique inconnue en fonction des données disponibles	1

7.2. Résultats de hiérarchisation

7.2.1. Score de priorité

Après avoir déterminé le score de chaque critère de sélection ([Tableau 11](#)), le score de priorité de chaque s.a. a été calculé en additionnant l'ensemble des critères. Ce score a uniquement été établi lorsque les informations pour l'ensemble des 3 critères de sélection ont pu être obtenus des bases de données.

Parmi les 234 s.a. agréées en Belgique (données de janvier 2022), un score de priorité a pu être calculé pour 224 s.a. et celui-ci est compris entre 4 et 62. Seules 10 s.a. n'ont pas obtenu de score de priorité du fait du manque d'information dans les bases de données.

7.2.2. Détermination des listes de s.a. « prioritaires » et « hautement prioritaires »

A partir des scores de priorités, 3 listes ont été établies, à savoir :

- Liste des s.a. non-prioritaires
- Liste des s.a. prioritaires
- Liste des s.a. hautement prioritaires

L'appartenance d'une s.a. à chacune des listes dépend de la valeur de son score de priorité par rapport à la distribution pour l'ensemble des substances ayant obtenu un score de priorité. Ainsi, les percentiles de la distribution des scores de priorités ont été calculés, notamment le 70^{ème} centile (P70) retenu comme limite pour déterminer la liste des s.a. « prioritaires » et le 90^{ème} centile (P90) retenu comme limite pour la liste des s.a. « hautement prioritaires » ([Figure 4](#)).

Le résultat de cette étape de travail a permis de déterminer que la liste de s.a. « hautement prioritaires » contient 23 s.a. ([Annexe 10](#)) et que la liste de s.a. « prioritaires » reprend 76 s.a. ([Annexe 11](#)). Enfin, il apparaît que 147 s.a. ont un score de priorité inférieur au P70 et sont donc repris comme s.a. non-prioritaires ([Figure 4](#)).

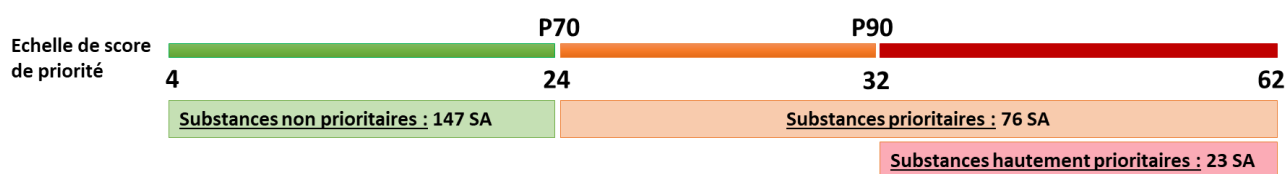


Figure 4 Echelle de score de priorité et nombre de s.a. dans chaque catégorie de liste.

7.3. PPP autorisés pour les professionnels en Wallonie

Bien que plus de 250 s.a. soient agréées en Belgique, celles-ci ne sont pas toutes utilisées en Wallonie.

La consultation de la base de données Phytoweb a permis de rechercher les s.a. autorisées pour les professionnels en Wallonie, c'est-à-dire dans l'agriculture wallonne. En effet, ce secteur professionnel est le plus grand consommateur de pesticides (~95 %) comparé à l'utilisation par les

amateurs (~5 %) (CORDER, 2022). Par ailleurs, l'agriculture en Wallonie est majoritairement constituée par 17 cultures principales, représentant ainsi environ 82 % de la surface agricole utilisée. La recherche des s.a. autorisées d'utilisation par les professionnels s'est donc focalisée sur ces cultures principales et il en résulte une liste de 135 s.a. ([Annexe 12](#)), qui pourraient potentiellement être retrouvées dans le sol.

Conclusions

Ce 1^{er} volet du programme de travail de la mise en place d'un réseau de surveillance des risques liés aux pesticides présents dans les sols a pour objectifs de faire un bilan des réseaux de surveillance existants, mais également de déterminer les stratégies de surveillance mise en place dans d'autres pays d'Europe (notamment la méthodologie développée) et enfin la détermination de listes de substances actives qu'il est intéressant (voire nécessaire) de suivre dans les sols.

Au niveau régional, bien que de nombreux pesticides soient analysés dans les différentes eaux, une grande majorité des pesticides suivis ont été interdits depuis plusieurs années. Seule une faible proportion (5 à 10 %) des s.a. autorisées en Belgique sont suivies dans ces réseaux existants. Comme très peu de s.a. autorisées en Belgique sont suivies dans l'eau, il n'y a pas d'anticipation des risques de contaminations de la ressource. Elles sont suivies souvent à posteriori. Le réseau de surveillance des denrées alimentaires est le réseau analysant le plus de pesticides puisqu'il couvre environ 90 % des s.a. autorisées en Belgique.

Le benchmarking a permis de mettre en évidence qu'il n'existe pas de programme de surveillance pérenne des pesticides dans les sols en Europe. En effet, de nombreuses études ponctuelles européennes démontrent la présence de pesticides dans les sols, mais aucune n'a encore établi de programme précis de suivi récurrent.

Les méthodologies mises en place dans les différentes études européennes révèlent majoritairement le prélèvement de 5 échantillons élémentaires sur chaque parcelle à l'aide d'une bêche en acier inoxydable puis leur assemblage afin d'obtenir un échantillon composite. Ce dernier est ensuite séché puis tamisé à 2 mm afin d'être homogénéisé. Enfin, il est conservé dans un sachet en plastique dans l'obscurité et à une température d'environ -20°C avant analyse.

Enfin, la dernière partie de ce volet vise à déterminer des listes de substances actives d'intérêt à surveiller dans la matrice 'sol' à l'aide d'une approche théorique. Cette approche s'est basée sur l'utilisation de critères tels que les paramètres physico-chimiques de la molécule, les quantités utilisées en Wallonie et les caractéristiques de toxicité. Il a découlé de cette hiérarchisation deux listes de substances actives d'intérêts : une liste de 76 s.a. dites « prioritaires » et une liste de 23 s.a. dites « hautement prioritaires ». De même, la consultation de la base de données Phytoweb a permis d'établir une liste de 135 s.a. autorisées pour les professionnels et donc possiblement détectables dans les sols.

Dans la suite de ce projet, ces trois listes seront comparées aux résultats de terrain obtenus lors des campagnes d'analyses de screening, afin d'élaborer une liste de s.a. à surveiller dans les sols la plus pertinente possible.

Bibliographie

- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2(1), 1.
- Alekseeva, T., Kolyagin, Y., Sancelme, M., & Besse-Hoggan, P. (2014). Effect of soil properties on pure and formulated mesotrione adsorption onto vertisol (Limagne plane, Puy-de-Dôme, France). *Chemosphere*, 111, 177-183.
- Anses. (2017). Proposition de modalités pour une surveillance des pesticides dans l'air ambiant. Saisine n° « 2014-SA-0200 ». 306p.
- Aznar, R., Moreno-Ramón, H., Albero, B., Sánchez-Brunete, C., & Tadeo, J. L. (2017). Spatio-temporal distribution of pyrethroids in soil in Mediterranean paddy fields. *Journal of Soils and Sediments*, 17, 1503-1513.
- Barchanska, H., Sajdak, M., Szczypka, K., Swientek, A., Tworek, M., & Kurek, M. (2017). Atrazine, triketone herbicides, and their degradation products in sediment, soil and surface water samples in Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 644-658.
- Bento, C., Yang, X., Gort, G., Xue, S., van Dam, R., Zomer, P., Mol, H., Ritsema, C., Geissen, V. (2016). Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness, *Sci Total Environ* 572: 301-311.
- Bragança, I., Lemos, P. C., Delerue-Matos, C., & Domingues, V. F. (2019). Assessment of pyrethroid pesticides in topsoils in northern Portugal. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230, 1-10.
- Buysens, C., Roda, M. (2022). Plan BEE, Bilan de 3 années d'études 2019-2022. *Nature & Progrès Belgique ASBL*, 116p.
- Chiaia-Hernandez, A. C., Keller, A., Wächter, D., Steinlin, C., Camenzuli, L., Hollender, J., & Krauss, M. (2017). Long-term persistence of pesticides and TPs in archived agricultural soil samples and comparison with pesticide application. *Environmental science & technology*, 51(18), 10642-10651.
- CORDER. (2022). Estimation quantitative des utilisations de produits phytopharmaceutiques par les différents secteurs d'activité. (No. CSC 03.09.00-21-326). 256p.
- Cornelis C., Standaert A. & Willems H. (2017). S-Risk version for the Walloon region: Technical guidance document 2016/MRG/0771, 166 pp.
- Cors, M., Delva, J. (2022). Rapport final – Diagnostic précoce du risque de contamination par les pesticides : biosurveillance autour des galeries du Néblon. 82p.
- DEFRA (2014) SP1010 – Development of Category 4 Screening Levels for Assessment of Land Affected by Contamination Final Project Report (Revision 2) Contaminated Land: Applications in Real Environments (CL:AIRE). 111 pp.
- EC. (2011). Commission Implementing Regulation (EU) No 820/2011 of 16 August 2011 Approving the Active Substance Terbutylazine, in Accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council Concerning the Placing of Plant Protection Products on the Market, and Amending the Annex to Commission Implementing Regulation (EU) No 540/ 2011 and Commission Decision 2008/934/EC Text with EEA Relevance. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:209:0018:0023:EN:PDF>

- Fernandes, V. C., Lehotay, S. J., Geis-Asteggianti, L., Kwon, H., Mol, H. G., Van der Kamp, H., ... & Delerue-Matos, C. (2014). Analysis of pesticide residues in strawberries and soils by GC-MS/MS, LC-MS/MS and two-dimensional GC-time-of-flight MS comparing organic and integrated pest management farming. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(2), 262-270.
- Fernández-Ugalde, O., Jones, A., & Meuli, R. G. (2020). Comparison of sampling with a spade and gouge auger for topsoil monitoring at the continental scale. *European Journal of Soil Science*, 71(2), 137-150.
- Froger, C., Jolivet, C., Budzinski, H., Pierdet, M., Caria, G., Saby, N. P., ... & Bispo, A. (2023). Pesticide Residues in French Soils: Occurrence, Risks, and Persistence. *Environmental Science & Technology*.
- Giusti, A., Pirard, C., Charlier, C., Petit, J.C.J., Crevecoeur, S., Remy, S. (2018). Selection and ranking method for currently used pesticides (CUPs) monitoring in ambient air. *Air Qual Atmos Health* 11, 385–396. <https://doi.org/10.1007/s11869-017-0516-6> <https://www.issep.be/expoesten-2/>
- Hvězdová, M., Kosubová, P., Košíková, M., Scherr, K. E., Šimek, Z., Brodský, L., ... & Hofman, J. (2018). Currently and recently used pesticides in Central European arable soils. *Science of the Total Environment*, 613, 361-370.
- Inserm. (2021). Pesticides et effets sur la santé : Nouvelles données. Collection Expertise collective. Montrouge : EDP Sciences.
- Jacques, A., Pirard, C., Hoet, P., Ruttens, A., Maggi, P., Ruthy, I., Charlier, C., Haufroid, V., Demaegdt, H., Cheyns, K., Champon, L., Remy, S. (2023). Biomonitoring Humain BMH-Wal - Détermination des valeurs de référence pour la population wallonne Phase 1 : nouveau-nés, adolescents et adultes de 20-39ans - Version 2. ISSEP. 66p.
- Jolivet C., Almeida-Falcon J-L., Berché P., Boulonne L., Fontaine M., Gouny L., Lehmann S., Maître B., Ratié C., Schellenberger E. & Soler-Dominguez N. (2018), Manuel du Réseau de mesures de la qualité des sols. RMQS2 : deuxième campagne métropolitaine, 2016 – 2027, Version 3, INRA, US 1106 InfoSol, Orléans, France.
- Karanasios, E., Karasali, H., Marousopoulou, A., Akrivou, A., & Markellou, E. (2018). Monitoring of glyphosate and AMPA in soil samples from two olive cultivation areas in Greece: Aspects related to spray operators activities. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-15.
- Karasali, H., Marousopoulou, A., & Machera, K. (2016). Pesticide residue concentration in soil following conventional and Low-Input Crop Management in a Mediterranean agro-ecosystem, in Central Greece. *Science of the Total Environment*, 541, 130-142.
- Karasali, H., Pavlidis, G., Marousopoulou, A., & Ambrus, A. (2017). Occurrence and distribution of trifluralin, ethalfluralin, and pendimethalin in soils used for long-term intensive cotton cultivation in central Greece. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 52(10), 719-728.
- Kosubová, P., Škulcová, L., Poláková, Š., Hofman, J., & Bielská, L. (2020). Spatial and temporal distribution of the currently-used and recently-banned pesticides in arable soils of the Czech Republic. *Chemosphere*, 254, 126902.
- Kucharski, M., Dziągwa, M., & Sadowski, J. (2014). Monitoring of acetochlor residues in soil and maize grain supported by the laboratory study. *Plant, Soil and Environment*, 60(11), 496-500.

- Le Bel, M. (2019). Délivrables 2.6 et 2.7 : Proposition de scénarii « jardinier » pour les particuliers et les professionnels. Rapport Final. 88pp.
- Masiá, A., Vázquez, K., Campo, J., & Picó, Y. (2015). Assessment of two extraction methods to determine pesticides in soils, sediments and sludges. Application to the Túria River Basin. *Journal of Chromatography A*, 1378, 19-31.
- Otte, P.F., Bakker, M.I., Lijzen, J.P.A., Versluijs, C.W., Zeilmaker, M.J. (2015). Diffuse loodverontreiniging in de bodem. RIVM, 86pp.
- OVAM. (2021). Afleiden streefwaarden voor perfluorverbindingen en enkele andere 'emerging contaminants'. Deel 1 : Analyses, 104p.
- Padilla-Sánchez, J. A., Romero-González, R., Plaza-Bolaños, P., Garrido Frenich, A., & Martínez Vidal, J. L. (2015). Residues and organic contaminants in agricultural soils in intensive agricultural areas of Spain: a three years survey. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 43(5), 746-753.
- Pelosi, C., Bertrand, C., Daniele, G., Coeurdassier, M., Benoit, P., Nélieu, S., ... & Fritsch, C. (2021). Residues of currently used pesticides in soils and earthworms: A silent threat?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 305, 107167.
- Petit, J.C.J. (2022). Implementation des modèles toxicocinétiques probabilistes pour Pb et As dans le modèle SANISOL. Subv. Générale Annexe 2.7, 24 pp.
- Plaza-Bolaños, P., Padilla-Sánchez, J. A., Garrido-Frenich, A., Romero-González, R., & Martínez-Vidal, J. L. (2012). Evaluation of soil contamination in intensive agricultural areas by pesticides and organic pollutants: south-eastern Spain as a case study. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(4), 1181-1188.
- Pose-Juan, E., Herrero-Hernández, E., Álvarez-Martín, A., Sánchez-Martín, M. J., & Rodríguez-Cruz, M. S. (2014). Development of a procedure for the multiresidue analysis of pesticides in vineyard soils and its application to real samples. *Journal of separation science*, 37(16), 2215-2224.
- Pose-Juan, E., Sánchez-Martín, M. J., Andrades, M. S., Rodríguez-Cruz, M. S., & Herrero-Hernández, E. (2015). Pesticide residues in vineyard soils from Spain: spatial and temporal distributions. *Science of the Total Environment*, 514, 351-358.
- Qu, C., Albanese, S., Lima, A., Li, J., Doherty, A. L., Qi, S., & De Vivo, B. (2017). Residues of hexachlorobenzene and chlorinated cyclodiene pesticides in the soils of the Campanian Plain, southern Italy. *Environmental Pollution*, 231, 1497-1506.
- Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A.S., Srivastav, A.L., Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production* 283, 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
- Ruthy, I., Remy, S., Veschkens, M., Huyghebaert, B., Herman, J.-L., Pigeon, O., Ducat, N., Schiffrers, B., Fripiat, Ch., Nadin, C. & Bémelmans, S. (2019). Objectivation de l'exposition des populations aux pulvérisations de produits phytopharmaceutiques en Wallonie et des mesures de protection destinées à limiter cette exposition - Etude PROPULPPP. Rapport final n° 04460/2018, 23 p. + 6 annexes.
Available at : <http://environnement.sante.wallonie.be/home/expert/projets/propulppp.html>
and <https://www.issep.be/propulppp/>
- Sabzevari, S., & Hofman, J. (2022). A worldwide review of currently used pesticides' monitoring in agricultural soils. *Science of The Total Environment*, 812, 152344.

- Sanchez-Gonzalez, S., Pose-Juan, E., Herrero-Hernandez, E., Álvarez-Martín, A., Sánchez-Martín, M. J., & Rodríguez-Cruz, S. (2013). Pesticide residues in groundwaters and soils of agricultural areas in the Águeda River Basin from Spain and Portugal. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 93(15), 1585-1601.
- Scherr, K. E., Bielská, L., Kosubova, P., Dinisova, P., Hvězdová, M., Šimek, Z., & Hofman, J. (2017). Occurrence of Chlorotriazine herbicides and their transformation products in arable soils. *Environmental Pollution*, 222, 283-293.
- Silva, V., Montanarella, L., Jones, A., Fernández-Ugalde, O., Mol, H. G., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2018). Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. *Science of the Total Environment*, 621, 1352-1359.
- Silva, V., Mol, H. G., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils—A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653, 1532-1545.
- Szekacs, A., Moertl, M., Fekete, G., Fejes, Á., Darvas, B., Dombos, M., ... & Anton, A. (2014). Monitoring and biological evaluation of surface water and soil micropollutants in Hungary. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(3), 47-60.
- US-EPA. (2017). Update for Chapter 5 of the Exposure Factors Handbook – Soil and Dust Ingestion. 1-85pp.
- Vandenberghe, C., Blondel, A., Pierreux, J., Lacroix, C., Colinet, G., Dumont, B., Pigeon, O. (2021). Evaluation du devenir des produits phytopharmaceutiques en plein champ en fonction des pratiques culturales pour le développement d'une agriculture éco responsable (Sol-Phy-Ly). Rapport d'activités final 2018-2021. Gembloux Agro-Bio Tech (Uliège) & Centre wallon de Recherches Agronomiques. 122p.
- Vieira, D., Franco, A., De Medici, D., Martin Jimenez, J., Wojda, P., Jones, A. (2023). Pesticides residues in European agricultural soils - Results from LUCAS 2018 soil module, *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, doi:10.2760/86566, JRC133940.
- VITO (2008). Van Holderbeke, M., Cornelis, C., Bierkens, J. & Torfs, R. (2008). Review of the soil ingestion pathway in human exposure assessment - final report. Study in support of the BeNeKempen project -subproject on harmonization of the human health risk assessment methodology. VITO, 195 pp.
- VITO (2019). Van Holderbeke, M., Geerts, L., Bierkens J., Cornelis, C. (2019). Voorstel voor herziening van de bodemsaneringsnormen voor dichloormethaan, tetrachloormethaan, trichlooretheen, 1,1,1-trichloorethaan en tetrachlooretheen. Version mars 2019. Disponible sur <https://www.s-risk.be/>
- Vonberg, D., Hofmann, D., Vanderborght, J., Lelickens, A., Köppchen, S., Pütz, T., ... & Vereecken, H. (2014). Atrazine soil core residue analysis from an agricultural field 21 years after its ban. *Journal of environmental quality*, 43(4), 1450-1459.

Annexes

Annexe 1 Taux d'ingestion journalier de sol et de poussière ($IR_{soil/dust_daily}$) et fraction du sol contribuant à l'ingestion de sol et de poussière (F_{oral_soil}) pour les différents scénarios (Cornelis et al., 2017).

Age	AGR / RES-veg / RES		RES-ng		IND-I		IND-h	
	$IR_{soil/dust_daily}$ (mg/d)	F_{oral_soil} (-)	$IR_{soil/dust_daily}$ (mg/d)	F_{oral_soil} (-)	$IR_{soil/dust_daily}$ (mg/d)	F_{oral_soil} (-)	$IR_{soil/dust_daily}$ (mg/d)	F_{oral_soil} (-)
1 - < 3 year	152	0.45	125	0.32	0.0	0.0	0.0	0.0
3 - < 6 year	122	0.45	100	0.32	0.0	0.0	0.0	0.0
6 - < 10 year	93	0.45	73	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0
10 - < 15 year	89	0.45	68	0.23	0.0	0.0	0.0	0.0
15 - < 21 year	85	0.45	63	0.20	26	0.20	38.5	0.8
21 - < 31 year	77	0.45	53	0.20	26	0.20	38.5	0.8
31 - < 41 year	77	0.45	53	0.20	26	0.20	38.5	0.8
41 - < 51 year	77	0.45	53	0.20	26	0.20	38.5	0.8
51 - < 61 year	77	0.45	53	0.20	26	0.20	38.5	0.8
≥ 61 years	77	0.45	53	0.20	26	0.20	38.5	0.8

Annexe 2 Valeurs des paramètres pour les calculs d'exposition (Cornelis et al., 2017).

Abbr.	Name	Unit	value
CF	Conversion factor from mg/d to kg/d	kg/mg	1E-6 (fixed value)
CF ₂	conversion factor from cm to m	m/cm	1E-2 (fixed value)
EV _{out}	number of "soil" events	events/d	1 if $t_{out} > 0$, else = 0 (fixed value)
EV _{in}	number of "dust" events	events/d	1 if in $t_{in} > 0$, else = 0 (fixed value)
l_{sc}	apparent thickness of the stratum corneum	cm	1E-3 (fixed value)
t_{sh}	time under the shower	h	0.25
t_{br}	time in the bathroom after showering	h	0.25
$t_{bathing}$	time in the bath	h	0.33

Annexe 3 Catégories d'âges et de poids corporel (dérivés de Roelants & Hauspie (2004) et Demarest & Drieskens (2004) (Cornelis et al., 2017).

Age	Body weight (kg)
1 - < 3 year	12.3
3 - < 6 year	17.6
6 - < 10 year	26.8
10 - < 15 year	44.4
15 - < 21 year	62.5
21 - < 31 year	68.5
31 - < 41 year	70.5
41 - < 51 year	71.0
51 - < 61 year	74.0
≥ 61 years	72.5

Annexe 4 Scénarios par défaut pour le modèle S-Risk (Cornelis et al., 2017).

Full name	Abbreviation	SRV
Residence with vegetable garden in agricultural area	AGR	agricultural
Residential area with vegetable garden	RES-veg	residential
Residential with garden	RES	
Residential without garden	RES-ng	
Day recreation (incl. sport)	REC-dayout	recreational
Day recreation indoor sport scenario	REC-dayin	recreational
Light industry (adults)	IND-I	Industrial
Heavy industry with outside activity (adults)	IND-h	Industrial

Annexe 5 Valeurs d'adhérence du sol (AF_{soil_skin}) en mg/m^2 (Cornelis et al., 2017).

Age	AGR RES-vg	RES	RES-ng	REC- dayout	REC- dayin	IND-I	IND-h
1 - < 3 year	2000	2000	600	4000	4000	0	0
3 - < 6 year	2000	2000	600	4000	4000	0	0
6 - < 10 year	2000	2000	600	4000	4000	0	0
10 - < 15 year	2000	2000	600	4000	4000	0	0
15 - < 21 year	1000	700	100	1000	1000	100	100
21 - < 31 year	1000	700	100	1000	1000	100	100
31 - < 41 year	1000	700	100	1000	1000	100	100
41 - < 51 year	1000	700	100	1000	1000	100	100
51 - < 61 year	1000	700	100	1000	1000	100	100
≥ 61 years	1000	700	100	1000	1000	100	100

Annexe 6 Surface cutanée en contact avec le sol (m^2) (Cornelis et al., 2017).

Age	AGR RES-vg	RES	RES-ng	REC- dayout	REC- dayin	IND-I	IND-h
1 - < 3 year	0.143	0.143	0.143	0.180	0.180	0.060	0.060
3 - < 6 year	0.211	0.211	0.211	0.266	0.266	0.080	0.080
6 - < 10 year	0.281	0.281	0.281	0.360	0.360	0.100	0.100
10 - < 15 year	0.425	0.425	0.425	0.544	0.544	0.133	0.133
15 - < 21 year	0.511	0.511	0.511	0.642	0.642	0.147	0.147
21 - < 31 year	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152
31 - < 41 year	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152
41 - < 51 year	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152
51 - < 61 year	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152
≥ 61 years	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152

Annexe 7 Valeurs d'adhérence de la poussière (AF_{dust_skin}) en mg/m^2 (Cornelis et al., 2017).

Age	AGR RES-vg	RES	RES-ng	REC- dayout	REC- dayin	IND-I	IND-h
1 - < 3 year	100	100	100	100	100	0	0
3 - < 6 year	100	100	100	100	100	0	0
6 - < 10 year	100	100	100	100	100	0	0
10 - < 15 year	100	100	100	100	100	0	0
15 - < 21 year	100	100	100	100	100	100	100
21 - < 31 year	100	100	100	100	100	100	100
31 - < 41 year	100	100	100	100	100	100	100
41 - < 51 year	100	100	100	100	100	100	100
51 - < 61 year	100	100	100	100	100	100	100
≥ 61 years	100	100	100	100	100	100	100

Annexe 8 Surface cutanée en contact avec la poussière (m^2) (Cornelis et al., 2017).

Age	AGR RES-vg	RES	RES-ng	REC- dayout	REC- dayin	IND-I	IND-h
1 - < 3 year	0.143	0.143	0.143	0.180	0.180	0.060	0.060
3 - < 6 year	0.211	0.211	0.211	0.266	0.266	0.080	0.080
6 - < 10 year	0.281	0.281	0.281	0.360	0.360	0.100	0.100
10 - < 15 year	0.425	0.425	0.425	0.544	0.544	0.133	0.133
15 - < 21 year	0.511	0.511	0.511	0.642	0.642	0.147	0.147
21 - < 31 year	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152
31 - < 41 year	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152
41 - < 51 year	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152
51 - < 61 year	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152
≥ 61 years	0.566	0.566	0.566	0.703	0.703	0.152	0.152

Annexe 9 Catégories d'âge et nombre d'années correspondantes (Cornelis et al., 2017).

Age category	Number	Number of years
1 - < 3 year	1	2
3 - < 6 year	2	3
6 - < 10 year	3	4
10 - < 15 year	4	5
15 - < 21 year	5	6
21 - < 31 year	6	10
31 - < 41 year	7	10
41 - < 51 year	8	10
51 - < 61 year	9	10
≥ 61 year	10	10

Annexe 10 Liste des s.a. hautement prioritaires

Aclonifène	Fenpropimorphe
Benfluraline	Fluazinam
Bixafen	Flufenacet (anciennement fluthiamide)
Captan	Lambda-Cyhalothrine
Carbétamide	Mancozèbe
Chlorméquat	Métamitrone

Chlorotoluron	Pendimethaline
Cyperméthrine	Prothioconazole
Cyproconazole	Spirodiclofène
Difénoconazole	Spiroxamine
Éthéphon	Terbutylazine
Fenpropidine	

Annexe 11 Liste des s.a. prioritaires

Abamectine (avermectine)	Dodine	Pendiméthaline*
Acéquinocyl	Émamectine	Phenmédiphame
Aclonifène*	Esfenvalérate	Picolinafen
Alpha-Cyperméthrine (alphaméthrine)	Éthéphon*	Pirimicarbe
Benfluraline*	Éthofumesate	Propamocarbe
Bentazone	Fenpropidine*	Propyzamide
Benzovindiflupyr	Fenpropimorphe*	Proquinazid
Béta-Cyfluthrine	Fluazinam*	Prosulfocarbe
Bixafen*	Fludioxonil	Prothioconazole*
Boscalid (anciennement nicobifen)	Flufénacet (anciennement fluthiamide)*	Pyréthrines
Captan*	Fluroxypyr	Pyridate
Carbétamide*	Flutolanil	Pyriproxifène
Chloridazon (pyrazone)	Gamma-cyhalothrine	S-Métolachlore
Chlorméquat*	Glyphosate	Spinétorame
Chlorotoluron*	Ipconazole	Spinosad
Cyazofamide	Lambda-Cyhalothrine*	Spirodiclofène*
Cyflumétofène	Mancozèbe*	Spiroxamine*
Cymoxanil	Mandipropamide	Tau-Fluvalinate
Cyperméthrine*	MCPA (4-chloro-2methylphenoxy acetic acid)	Tébuconazole
Cyproconazole*	Mésotrione	Terbutylazine*
Cyprodinil	Métamitrone*	Thiaclopride
Deltaméthrine	Métazachlore	Tri-allate
Difénoconazole*	Metconazole	Triflumizole
Diflufénican	Métirame	Zeta-Cyperméthrine
Diméthénamide-P	Métobromuron	
Diméthomorphe	Métribuzine	

* Substances hautement prioritaires parmi les s.a. prioritaires

Annexe 12 Liste des 135 s.a. utilisées sur les cultures principales wallonnes

1,4-diméthyl-naphthalène	Flonicamide	Phenmédiphame
2,4-D	Florasulam	Picolinafen
Abamectine	Fluazifop-P	Pinoxaden
Acétamipride	Fluazinam	Pirimicarbe
Aclonifène	Flufénacet	Pirimiphos-méthyl

Amétoctradine	Fluopyram	Prohexadione-calcium
Amidosulfuron	Fluoxastrobine	Propaquizafop
Aminopyralide	Fluroxypyr	Propoxycarbazone de sodium
Amisulbrom	Folpet	Propyzamide
Azoxystrobine	Foramsulfuron	Proquinazid
Béflubutamide	Fosthiazate	Prosulfocarbe
Benfluraline	Gamma-cyhalothrine	Prosulfuron
Bentazone	Glyphosate	Prothioconazole
Benzovindiflupyr	Halauxifen-méthyl	Pyraclostrobine
Bifénox	Hyméxazol	Pyraflufen-éthyl
Bixafen	Imazamox	Pyridate
Boscalid	Iodosulfuron	Pyriofénone
Bromuconazole	Ipconazole	Pyroxsulam
Carfentrazone-éthyl	Isofétamide	Quinmérac
Chlorméquat-chlorure	Isoxabène	Quizalofop-P-éthyl
Chlorotoluron	Isoxaflutole	Quizalofop-P-téfuryl
Cléthodime	Lambda-cyhalothrine	Rimsulfuron
Clomazone	Lénacile	S-métolachlore
Clopyralid	Mandipropamide	Spinosad
COS-OGA	MCPA	Spiromesifen
Cyantraniliprole	MCPB	Spirotetramat
Cyazofamide	Mécoprop-P	Spiroxamine
Cycloxydime	Méfentrifluconazole	Sulcotrione
Cyflufénamide	Mépiquat	Sulfosulfuron
Cymoxanil	Mésosulfuron-méthyl-sodium	Tau-Fluvalinate
Cyperméthrine	Mésotrione	Tébuconazole
Cyprodinil	Métaldéhyde	Tébufenpyrad
Deltaméthrine	Métamitrone	Télfluthrine
Dicamba	Metconazole	Tembotrione
Dichlorprop-P, sel de diméthylamine	Métobromuron	Terbutylazine
Difénoconazole	Métrafénone	Tétraconazole
Diflufénican	Métribuzine	Thifensulfuron-méthyl
Diméthénamide-P	Metsulfuron-méthyl	Triallate
Dimoxystrobine	Napropamide	Tribénuron
Esfenvalérate	Nicosulfuron	Trifloxystrobine
Éthéphon	Oxamyl	Triflusulfuron
Éthofumesate	Oxathiapiproline	Trinexapac
Fénoxaprop-P	Pendiméthaline	Trinexapac-éthyle
Fenpicoxamide (anciennement Lyserphenvalpyr)	Penoxsulam	Tritosulfuron
Fenpropidine	Péthoxamide	Zoxamide