

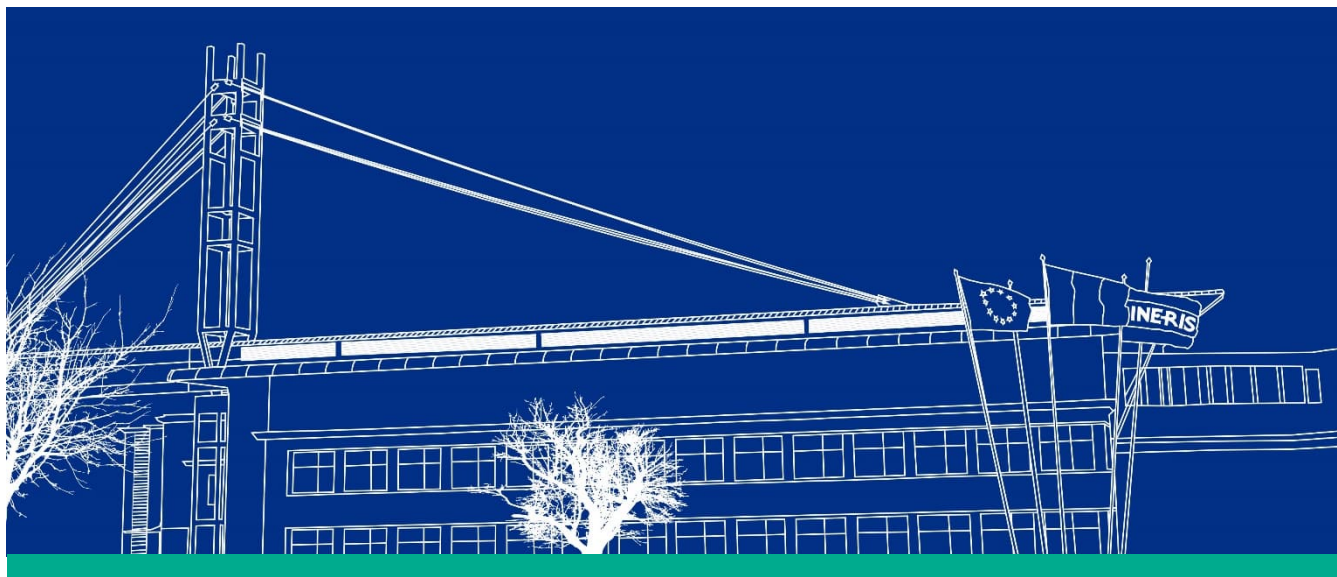


RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INERIS

*maîtriser le risque |
pour un développement durable |*



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 207010 - 2777010 - v1.0

08/10/2025

Paramètres de transfert - Transfert sol-plante

Eléments métalliques et métalloïdes - Analyse d'un jeu de données en contexte après-mine

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION SITES ET TERRITOIRES

Rédaction : GUERIN Sabine, LEMAIRE LUCIE

Vérification : PERRONNET KAREN; LAGERON VERONIQUE

Approbation : DUPLANTIER STEPHANE - le 08/10/2025

Liste des personnes ayant participé à l'étude : ARDAIN Emilie (Ineris)

Table des matières

1	Introduction	9
2	Présentation des données exploitées.....	10
2.1	Sources des données.....	10
2.2	Nature des données collectées	10
2.3	Protocole de prélèvement	10
2.3.1	Pour les sols	10
2.3.2	Pour les végétaux.....	11
2.4	Végétaux analysés	11
2.5	Eléments traces métalliques et métalloïdes analysés	13
2.6	Définition du facteur de bioconcentration (BCF)	13
2.7	Traitement statistique des données	15
3	Pâtures.....	16
3.1	Concentrations en ETMM dans les sols de pâtures.....	16
3.2	Concentrations en ETMM dans les pâtures	17
3.3	Facteurs de bioconcentration des pâtures	19
3.4	Comparaison aux valeurs réglementaires.....	21
4	Plantes potagères	24
4.1	Concentrations en ETMM dans les sols potagers.....	24
4.2	Concentrations en ETMM dans les végétaux potagers	27
4.3	Facteurs de bioconcentration des végétaux potagers	29
4.4	Comparaison aux valeurs réglementaires dans les végétaux potagers	33
4.4.1	Comparaison des concentrations dans les végétaux aux valeurs réglementaires pour le cadmium	34
4.4.2	Comparaison des concentrations dans les végétaux aux valeurs réglementaires pour le plomb	36
4.4.3	Comparaison des concentrations dans les végétaux aux valeurs réglementaires pour le nickel	39
4.4.4	Cas particuliers des légumes-tiges	41
5	Comparaison des facteurs de bioconcentration à la littérature existante.....	50
6	Valeur BCF par ETMM et espèces végétales	53
7	Conclusions	54
8	Perspectives	55
9	Références bibliographiques	56
10	Annexes	57

Liste des figures

Figure 1 : Différentes voies de transfert des milieux environnementaux vers les végétaux consommés	14
Figure 2 : Interprétation d'un boxplot.....	15
Figure 3 : Concentrations en ETMM dans les sols de pâtures	16
Figure 4 : Concentrations en ETMM dans les pâtures en mg/kg MF.....	19
Figure 5 : Valeurs BCF pour les graminées en fonction des ETMM.....	21
Figure 6 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires du cadmium pour les pâtures	22
Figure 7 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires du plomb pour les pâtures	22
Figure 8 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires de l'arsenic pour les pâtures.....	23
Figure 9 : Concentrations en ETMM dans les sols potagers	24
Figure 10 : Concentrations quantifiées en ETMM dans les sols potagers – Comparaison entre les ELT et les zones potentiellement impactées	25
Figure 11 : Concentrations en ETMM dans les végétaux potagers en mg/kg MF.....	27
Figure 12 : Valeurs BCF pour les végétaux potagers en fonction des ETMM.....	31
Figure 13 : Fréquence des gammes de BCF par métaux.....	32
Figure 14 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires du cadmium pour les contaminants dans les denrées alimentaires en fonction de la concentration dans le sol (mg/kg).....	34
Figure 15 : Répartition des dépassements des valeurs règlementaires du cadmium selon les catégories végétales en fonction des concentrations dans les sols	35
Figure 16 : Pourcentage d'échantillons qui dépassent les valeurs règlementaires par espèce végétale pour le cadmium	36
Figure 17 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires pour le plomb pour les contaminants dans les denrées alimentaires.....	37
Figure 18 : Répartition des dépassements des valeurs règlementaires du plomb selon les espèces végétales en fonction des concentrations dans les sols	38
Figure 19 : Pourcentage de dépassement des valeurs règlementaires par espèces végétales pour le plomb.....	38
Figure 20 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires du nickel pour les contaminants dans les denrées alimentaires	39
Figure 21 : Pourcentage de dépassement des valeurs règlementaires par espèces végétales pour le nickel.....	40
Figure 22 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires du plomb en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les tiges de poireaux.....	42
Figure 23 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les feuilles de poireaux.....	42
Figure 24 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les poireaux entiers	42
Figure 25 : Concentrations en plomb dans les tiges de poireaux en fonction des concentrations dans les feuilles de poireaux	42
Figure 26 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les tiges de blettes.....	44
Figure 27 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les feuilles de blettes	44
Figure 28 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les blettes entières	44
Figure 29 : Concentrations en plomb dans les tiges de blettes en fonction des concentrations dans les feuilles de blettes.....	44
Figure 30 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les tiges de poireaux.....	46
Figure 31 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les feuilles de poireaux	46

Figure 32 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les poireaux entiers.....	46
Figure 33 : Concentrations en cadmium dans les tiges de poireaux en fonction des concentrations dans les feuilles de poireaux.....	46
Figure 34 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les tiges de blettes.....	48
Figure 35 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les feuilles de blettes.....	48
Figure 36 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les blettes entières.....	48
Figure 37 : Concentrations en cadmium dans les tiges des blettes en fonction des concentrations dans les feuilles de blettes.....	48
Figure 38 : Diagramme en radar avec échelle logarithmique des médianes des BCF calculés en contexte minier en 2024 et BCF établis par l’Ineris en 2017 sur la base de données de la littérature .	51

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nature des végétaux récoltés et nombre d’échantillons associés.....	12
Tableau 2 : Conversion des teneurs maximales admissibles dans les produits destinés aux aliments pour animaux.....	17
Tableau 3 : Paramètres statistiques des concentrations quantifiées dans les pâtures.....	18
Tableau 4 : Paramètres statistiques des BCF pour les pâtures.....	20
Tableau 5 : Paramètres statistiques des données quantifiées pour les sols de potagers prélevés.....	26
Tableau 6 : Paramètres statistiques des concentrations quantifiées dans les végétaux potagers.....	28
Tableau 7 : Paramètres statistiques des BCF pour les végétaux potagers.....	30
Tableau 8 : Groupement d’ETMM en fonction de leur BCF pour les végétaux potagers.....	33
Tableau 9 : Ratio des concentrations et des teneurs maximales admissibles.....	49
Tableau 10 : Comparaison des valeurs de BCF obtenues dans les études IEM (Ineris 2024 – Contexte Minier) avec celles compilées dans MODUL’ERS (Ineris, 2017b).....	51
Tableau 11: Couple Substances/Végétaux possédant des ratios de médiane inférieurs à 0,2 entre le jeu de données issus des études IEM et celui du rapport Ineris, 2017b.....	52
Tableau 12 : Maximum des coefficients de variation des BCF en fonction des métaux et végétaux potagers.....	53

Résumé

Dans le cadre d'études d'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) sur d'anciens sites miniers concernés par une pollution métallique, l'Ineris a échantillonné à la fois des végétaux auto-produits par des particuliers vivant à proximité de sites miniers ainsi que les sols sur lesquels ces derniers ont été cultivés. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la mission d'appui de l'Ineris au GIP Géoderis.

La présente étude dresse le bilan de l'exploitation des données issues de 39 zones à proximité d'anciennes concessions minières dans l'objectif de compléter les connaissances quant au transfert de métaux dans les plantes (en particulier dans les plantes potagères et dans les pâtures dans une moindre mesure) en lien avec l'exposition des consommateurs de fruits et légumes auto-produits.

Cette étude porte sur 1 591 échantillons de végétaux (1 415 végétaux potagers et 176 pâtures) regroupés en 72 espèces végétales et 13 catégories de végétaux (légumes-feuilles, légumes-fleurs, légumes-fruits, fruits, fruits de verger, tubercules, légumes-racines, légumes-tiges, légumes secs, légumes-bulbes, aromates, champignons et pâtures) pour 19 Eléments Traces Métalliques et Métalloïdes (ETMM). Les données de transfert du sol vers les végétaux viennent compléter les connaissances actuelles notamment au travers du versement d'une partie des données dans la version actualisée 2024 de BAPPET¹. Le jeu de données est ainsi constitué de 679 échantillons de sols superficiels couplés à des échantillons de plantes.

À partir de ce jeu de données recueillies sur le terrain en conditions réelles, l'objectif était d'établir les concentrations en ETMM dans les parties consommées des végétaux et de les comparer aux valeurs réglementaires en fonction des concentrations mesurées dans les sols, mais aussi de calculer des facteurs de bioconcentration (BCF) en contexte d'après mine pour déterminer la mobilité des ETMM et la capacité des plantes à les accumuler.

A l'issue du traitement de ces données, plusieurs observations peuvent être formulées sur les données disponibles :

- Dans les sols, les teneurs en ETMM sont très dispersées, ce qui permet de disposer d'une large gamme de concentrations ;
- Pour les pâtures, les taux de dépassements des valeurs réglementaires pour l'arsenic, le cadmium et le plomb sont en lien avec l'augmentation de la concentration en ETMM dans les sols ;
- Pour les végétaux potagers, l'analyse des concentrations par rapport aux valeurs réglementaires européennes fixées pour le plomb, le cadmium et le nickel dans le cadre de la **commercialisation** de denrées alimentaires sur le marché européen a permis de tirer les conclusions suivantes :
 - Pour le cadmium et le plomb, le taux de dépassement augmente avec la concentration en ETMM dans les sols, à quelques exceptions près ;
 - Pour le cadmium, à des teneurs inférieures à 2 mg/kg MS (valeur d'action rapide pour les enfants de moins de 7 ans, avec une autoconsommation de 100% de végétaux), des dépassements des valeurs réglementaires peuvent être ponctuellement observés ;
 - Pour le plomb, un très faible nombre de dépassements ont été mis en évidence dans la gamme des sols « ordinaires » (0-50 mg/kg) et uniquement pour 3 espèces végétales : blette, thym, et menthe ;
 - Pour le nickel, le taux de dépassement des valeurs réglementaires reste faible sur les gammes de concentration retrouvée dans les sols.

Pour rappel, les végétaux prélevés étant auto-produits, la comparaison aux valeurs réglementaires fixées pour les denrées alimentaires commercialisées reste indicative. En effet, à ce jour, aucun règlement n'encadre la qualité des végétaux auto-produits.

L'accumulation préférentielle du cadmium et du plomb a été spécifiquement étudiée pour le poireau et la blette en distinguant l'accumulation dans les tiges et dans les feuilles. Pour la blette, les concentrations en plomb et cadmium dans les feuilles sont supérieures à celles des tiges. Il en est de même pour le plomb dans les poireaux. Le cadmium, quant à lui, se répartit de manière similaire entre les tiges et les feuilles de poireau.

L'analyse des facteurs de bioconcentration (BCF) estimés pour les végétaux potagers a permis d'identifier les substances et les végétaux pour lesquels le transfert des ETMM entre le sol et les parties comestibles des végétaux est élevé. Ainsi, le transfert de l'arsenic et du plomb semble plus faible que

¹ BAPPET : Base de données des teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères

pour les autres ETMM tandis que pour le cadmium, le cuivre et le zinc, les BCF calculés sont les plus élevés. Cependant, les données peuvent être très hétérogènes au sein du même famille ou peu fiable en cas d'un faible nombre d'échantillon. Les gammes de valeurs proposées sont indicatives et donnent des éléments sur le transfert dans le contexte particulier de l'après mine.

La comparaison des valeurs médianes des BCF des 5 catégories végétales (retenues pour l'évaluation de l'exposition) présentées dans ce rapport (Ineris, données à 2024) et ceux proposés par l'Ineris en 2017 montre des ordres de grandeur similaires pour 70% des couples substance-végétaux, et ce malgré les contextes différents (après mine ou non) et le nombre de données disponibles. Bien que les valeurs médianes semblent concordées entre les deux jeux de données, il est important de noter que les BCF obtenus restent très étendus pour un même couple «substance/végétaux» et difficilement prédictibles pour chaque ETMM. Ces écarts s'expliquent par la diversité des conditions de croissance des plantes ainsi que les propriétés des sols qui sont des paramètres pouvant influencer le transfert des ETMM du sol vers les végétaux. Il n'a pas été possible d'identifier les raisons exactes des écarts observés mais quelques hypothèses ont été formulées (contextes différents entre les deux bases de données, manque de données pour certains couples, valeurs communes fruits et légumes-fruits pour les données de 2017, etc.).

Les tendances et observations mises en évidence dans le cadre des présents travaux sont riches d'enseignement et permettent d'éclairer des valeurs obtenues dans d'autres contextes, tout en maintenant une analyse critique sur le jeu de données mis à disposition. Ainsi, il n'est pas recommandé d'utiliser ces valeurs dans des Evaluations de Risques Sanitaires (ERS) au vu des limites identifiées.

Il est nécessaire de poursuivre ces travaux afin de renforcer la connaissance sur les transferts dans les végétaux potagers en intégrant de nouveaux échantillons, d'identifier les paramètres influençant ces transferts (pH, MO, etc.) et de proposer des facteurs de bioconcentration robustes dont le domaine d'application sera précisé.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Paramètres de transfert - Transfert sol-plante, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 207010 -2777010 - v1.0, 08/10/2025.

Mots-clés :

Facteur de bioconcentration, BCF, transfert, végétaux potagers, métaux, métalloïdes, après-mines

GLOSSAIRE

AFSSA	<i>Anciennement</i> Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
BAPPET	Base de données des teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères
BCF	Facteur de Bioconcentration
CEC	Capacité d'Echange Cationique
COT	Carbone Organique Total
ELT	Environnement Local Témoin
ETMM	Eléments Traces Métalliques et Métalloïdes
HSCP	Haut Conseil de la Santé Publique
LQ	Limite de Quantification du laboratoire

1 Introduction

Dans le cadre d'études d'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) sur et autour d'anciens sites miniers concernés par une pollution métallique, l'Ineris a échantillonné à la fois des végétaux auto-produits ainsi que les sols sur lesquels ces derniers ont été cultivés. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la mission d'appui de l'Ineris au GIP Géoderis.

La présente étude dresse le bilan de l'exploitation des données issues de 39 sites distincts.

Ce retour d'expérience a été mené dans l'objectif de compléter les connaissances quant au transfert de métaux dans les plantes (en particulier dans les plantes potagères et dans les pâtures dans une moindre mesure) en lien avec l'exposition des jardiniers et/ou usagers consommant les fruits et légumes auto-produits.

Cette étude porte sur 1 591 échantillons de végétaux regroupés en 72 espèces végétales et 13 catégories de végétaux (légumes-feuilles, légumes-fleurs, légumes-fruits, fruits, fruits du verger, tubercules, légumes-racines, légumes-tiges, légumes secs, légumes-bulbes, aromates, champignons et pâtures) pour 19 Eléments Traces Métalliques et Métalloïdes (ETMM), dont certains n'étaient pas inclus dans la base de données BAPPET² de 2012. La caractérisation de leur transfert du sol vers les végétaux en est d'autant plus intéressante. Par ailleurs, une partie des données analysées dans le présent rapport a été intégrée dans la dernière version de BAPPET publiée en 2024.

L'objectif de cette étude est de déterminer, à partir de ce jeu de données acquis sur le terrain en conditions réelles, les facteurs de bioconcentration BCF³ à partir des concentrations dans les sols et les végétaux afin d'évaluer la mobilité des ETMM et la capacité des végétaux à les accumuler. Ces travaux permettent de compléter les travaux réalisés par l'Ineris en 2017⁴ compilant les valeurs de facteurs de bioconcentration basées sur la bibliographie internationale existante.

Une des limites de ce jeu de données est qu'il repose sur l'interprétation de données de terrain, intrinsèquement hétérogènes, notamment en termes de nature de sols, de variétés cultivées, de pratiques culturales et de conditions climatiques. En effet, les données utilisées sont issues d'études dont l'objectif initial visait en premier lieu à identifier d'éventuelles dégradations de la qualité des sols et des végétaux auto-produits, en lien avec d'anciennes exploitations minières. Aussi les éventuels apports provenant du milieu air sont considérés comme négligeables dans le calcul des BCF (aucune contribution de l'air n'ayant été considérée).

² BAPPET : Base de données des teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères. Une deuxième édition de cette base a été mise à disposition par l'Ademe en 2024.

³ BCF : Facteurs de Bioconcentration, paramètre adimensionnel, considéré comme étant le rapport entre la concentration dans le végétal (partie consommée) et la concentration dans le sol d'une même substance

⁴ INERIS (2017). Coefficients de transfert des éléments traces métalliques vers les plantes, utilisés pour l'évaluation de l'exposition Application dans le logiciel MODUL'ERS

2 Présentation des données exploitées

2.1 Sources des données

Les données exploitées dans ce rapport concernent les analyses chimiques de prélèvements réalisés dans le cadre d'études d'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) réalisées par l'Ineris sur le territoire métropolitain. Les milieux concernés sont les sols des potagers, les végétaux et l'eau d'arrosage, pouvant provenir de puits captant l'eau souterraine ou de captages d'eau de surface. L'eau du réseau d'eau potable ou des récupérateurs de pluie n'est pas retenue. La qualité de l'eau d'arrosage peut avoir un impact sur la qualité des sols et des végétaux, d'autant que l'aspersion d'eau contaminée peut se faire directement sur les parties consommées.

Les végétaux potagers sont majoritairement prélevés dans les jardins potagers privés et quelques maraîchers. Les graminées sont collectées au droit de pâtures destinées à l'alimentation d'animaux d'élevage (ovins, bovins). Les prélèvements de sol et de végétaux considérés dans la présente étude concernent à la fois ceux prélevés au droit des zones impactées par les polluants métalliques, et ceux visant à établir des Environnements Locaux Témoins (ELT)⁵, une zone supposée hors d'influence de l'activité étudié.

2.2 Nature des données collectées

Selon les études considérées, les données collectées peuvent présenter soit des similitudes (✓) ou des divergences (✗) :

- ✓ La source de pollution métallique est le sol et/ou l'eau d'arrosage (absence de rejets atmosphériques) ;
- ✓ Les méthodes de prélèvement, de préparation (lavage, épluchage) et d'analyse pour les sols et les végétaux sont similaires pour la majorité des échantillons (des valeurs de LQ peuvent avoir évoluées au vu de l'étalement temporelle des investigations) ;
- ✗ La nature du sol et leur niveau de concentration en ETMM sont spécifiques à chaque prélèvement ;
- ✗ La variabilité biologique des échantillons de végétaux (espèce, variété différente), conditions météorologiques, itinéraires de culture (amendement, utilisation d'intrant...), et régions géographiques différentes. La répétabilité des résultats n'est donc pas garantie ;
- ✗ L'acquisition des données ne s'est pas faite sur la base d'un programme analytique commun à tous les échantillons. Le programme analytique était différent en fonction des études. Il existe donc des ETMM moins recherchés que d'autres, ce qui rend le traitement statistique des données complexe. Le laboratoire d'analyse est identique pour plus de 95% des échantillons ;
- ✗ Sites répartis sur l'ensemble de la France hexagonale ;
- ✗ La période de prélèvement s'étalant de 2011 à 2022.

2.3 Protocole de prélèvement

2.3.1 Pour les sols

Pour les sols des potagers, les échantillons ont été prélevé à une profondeur de 0-30 cm au niveau des sols remaniés. Le prélèvement a été réalisé au moyen d'une bêche. Chaque prélèvement d'échantillon de sol a fait l'objet d'un relevé des observations de terrain (description lithologique des sols prélevés, indices visuels et organoleptiques, type de prélèvement : composite ou non et nombre de points).

⁵ Zone géographique jugée exempte de toute anomalie anthropique liée aux activités, passées ou présentes des sites des environs. L'ELT est situé à proximité du site en cours d'étude ; présente une géologie et une pédologie similaires à celles du site étudié ; présente des usages identiques à ceux du site étudié ; n'a jamais accueilli l'une des activités recensées sur le site étudié (BRGM, Glossaire SSP)

2.3.2 Pour les végétaux

Les végétaux sont prélevés en parallèle des échantillons de sols des potagers.

Les fruits et légumes ont été échantillonnés conformément au guide en vigueur pour ce milieu d'exposition (Ademe 2014⁶, Ineris 2022⁷), selon leur disponibilité, afin de disposer des quantités nécessaires aux analyses et à la représentativité de l'échantillon.

Sur le terrain, les échantillons prélevés n'ont pas été nettoyés, à l'exception des particules de terre les plus grossières adhérentes aux racines ou aux parties aériennes.

Les consignes suivantes de préparation ont été transmises au laboratoire d'analyse en fonction des végétaux concernés et des échanges avec les consommateurs sur leur pratique :

- lavage à l'eau déminéralisée avant analyses,
- épluchage puis lavage à l'eau déminéralisée avant analyses,
- lavage et élimination des pépins et du trognon avant analyses,
- lavage et analyse de l'ensemble ou une section du poireau, des blettes et du cèleri (tige et feuilles),
- pour les pommes de terre : deux types de préparation ont pu être demandées en fonction des usages : soit un lavage et brossage soit un lavage puis épluchage avant analyses.

Les prélèvements de légumes ont été couplés à des prélèvements de sol du potager et le cas échéant d'eau d'arrosage.

2.4 Végétaux analysés

Au total, 1 415 échantillons de végétaux potagers appartenant à 12 catégories distinctes (incluant les champignons) regroupant 68 espèces végétales différentes ont été analysés. En complément, 176 échantillons issus de pâtures ont été prélevés (herbe de pâture, luzerne, maïs et grand épeautre).

Les 12 catégories végétales ont également été regroupées en fonction des besoins d'interprétation pour correspondre aux 5 catégories végétales proposées dans l'outil Modul'ERS (Ineris, 2017b, 2017a) de la manière suivante :

1. Légumes-fruit ;
2. Fruit rassemblant les fruits et les fruits du verger ;
3. Légumes-feuille regroupant les aromates, les légumes-feuilles, les légumes-tige, les légumes-fleur et les légumes secs ;
4. Les légumes-racines sont composés des légumes-racines et légumes-bulbe ;
5. Les tubercules.

Les champignons n'ont pas été regroupés avec une autre catégorie.

La nature des végétaux et le nombre d'échantillons associés sont détaillés dans le *Tableau 1*.

⁶ Guide sur l'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux, Ademe, 2007 (1^{ère} édition) et 2014 (2^{ème} édition)

⁷ Ineris, 2022, Guide pratique pour la préparation et l'analyse des végétaux consommés par l'Homme dans le contexte des sites et sols pollués, Verneuil-en-Halatte : Ineris-201081-2373869-v1.0, 03/05/2022.

Tableau 1 : Nature des végétaux récoltés et nombre d'échantillons associés

Catégories	Nombre d'échantillons	Catégories	Nombre d'échantillons
Légumes feuilles (11 espèces)	259	Tubercules (2 espèces)	146
Salade	91	Pomme de terre	145
Blette feuille	64	Topinambour	1
Poireau feuille	63	Légumes-bulbes (2 espèces)	62
Blette entière	17	Oignon	52
Choux	7	Echalote	10
Céleri feuille	5	Fruits (6 espèces)	36
Fane de carotte	4	Raisin	20
Epinard	3	Framboise	9
Roquette	3	Mûre	3
Céleri entier	1	Myrtille	2
Oseille	1	Fraise	1
Légumes tiges (4 espèces)	179	Groseille	1
Blette tige	66	Fruits arbres (12 espèces)	147
Poireau tige	62	Pomme	59
Poireau entier	45	Figue	25
Céleri tige	6	Prune	18
Légumes racines (6 espèces)	127	Pêche	17
Carotte	88	Poire	14
Betterave	31	Abricot	3
Navet	3	Olive	3
Radis rouge	3	Cerise	2
Radis noir	1	Châtaigne	2
Rave	1	Coing	2
Légumes sec (2 espèces)	2	Mirabelle	1
Fève	1	Noix	1
Haricot Blanc	1	Aromates (10 espèces)	43
Légumes fruits (11 espèces)	410	Thym	13
Tomate	149	Menthe	12
Courgette	138	Romarin	10
Aubergine	27	Persil	2
Potiron	25	Basilic	1
Haricot	23	Ciboulette	1
Poivron	23	Marjolaine	1
Concombre	11	Ortie	1
Courge	11	Sauge	1
Citrouille	1	Verveine	1
Cornichon	1	Pâtures (4 espèces)	176
Melon	1	Herbe	156
Légumes fleurs (1 espèce)	2	Luzerne	11
Brocoli	2	Maïs	8
Champignons (1 espèce)	2	Grand épeautre	1

Avant leur analyse, les végétaux sont préparés tels qu'ils sont consommés par les usagers avant cuisson. Ils sont généralement lavés à l'eau, sauf pour les fruits qui sont déclarés être mangé directement dans le jardin ou le verger (fraise, framboise, pomme...). Certains peuvent être épluchés. Quant aux graminées collectées sur les pâtures, elles ne subissent pas de lavage avant l'analyse chimique.

2.5 Eléments traces métalliques et métalloïdes analysés

Les Eléments Traces Métalliques et Métalloïdes (ETMM) analysés dans les échantillons considérés sont au nombre de 19 :

Argent (Ag)	Chrome total (Cr)	Plomb (Pb)
Aluminium (Al)	Cuivre (Cu)	Antimoine (Sb)
Arsenic (As)	Mercure (Hg) ;	Etain (Sn)
Baryum (Ba)	Lithium (Li)	Titane (Ti)
Cadmium (Cd)	Molybdène (Mo)	Thallium (Tl)
Cobalt (Co)	Nickel (Ni)	Tungstène (W)
		Zinc (Zn).

Les programmes analytiques étant spécifiques à chaque étude, les métaux n'ont pas été systématiquement analysés pour l'ensemble des échantillons.

2.6 Définition du facteur de bioconcentration (BCF)

Le facteur de bioconcentration correspond au transfert d'une substance d'un compartiment A vers un compartiment B. Pour les végétaux, par exemple, il exprime la capacité d'une substance à migrer du sol vers le végétal cultivé, et dans le cas présent vers les parties consommées par l'Homme. L'abréviation BCF (*bioconcentration factor*) sera employée dans le reste du document.

Ainsi, le BCF pour une substance et un végétal, paramètre adimensionnel, est considéré comme étant le rapport entre la concentration dans la partie végétale consommée et celle du sol. Les unités sont exprimées en mg/kg MS pour le sol et en mg/kg MS pour les végétaux tenant compte du taux de matière sèche du végétal (cf. *Équation 1*). La teneur en matière sèche est exprimée en pourcentage (ADEME & Ineris, 2017).

$$\text{BCF} = \frac{[\text{Concentration végétal}] \text{ en mg/kg MS}}{[\text{Concentration sol}] \text{ en mg/kg MS}}$$

Équation 1 : Facteur de bioconcentration

Pour les végétaux, il s'agit d'un **BCF global** considérant d'une part la voie d'absorption et/ou d'adsorption **à partir du sol (transfert racinaire) et de l'eau d'arrosage**, et d'autre part, la voie par dépôt de poussières sur les feuilles avec éventuelle diffusion via la cuticule⁸ pour les métaux non volatils, comme l'illustre la Figure 1 .

⁸ Cuticule : Membrane imperméable, souvent présente à la face supérieure des feuilles (larousse.fr)

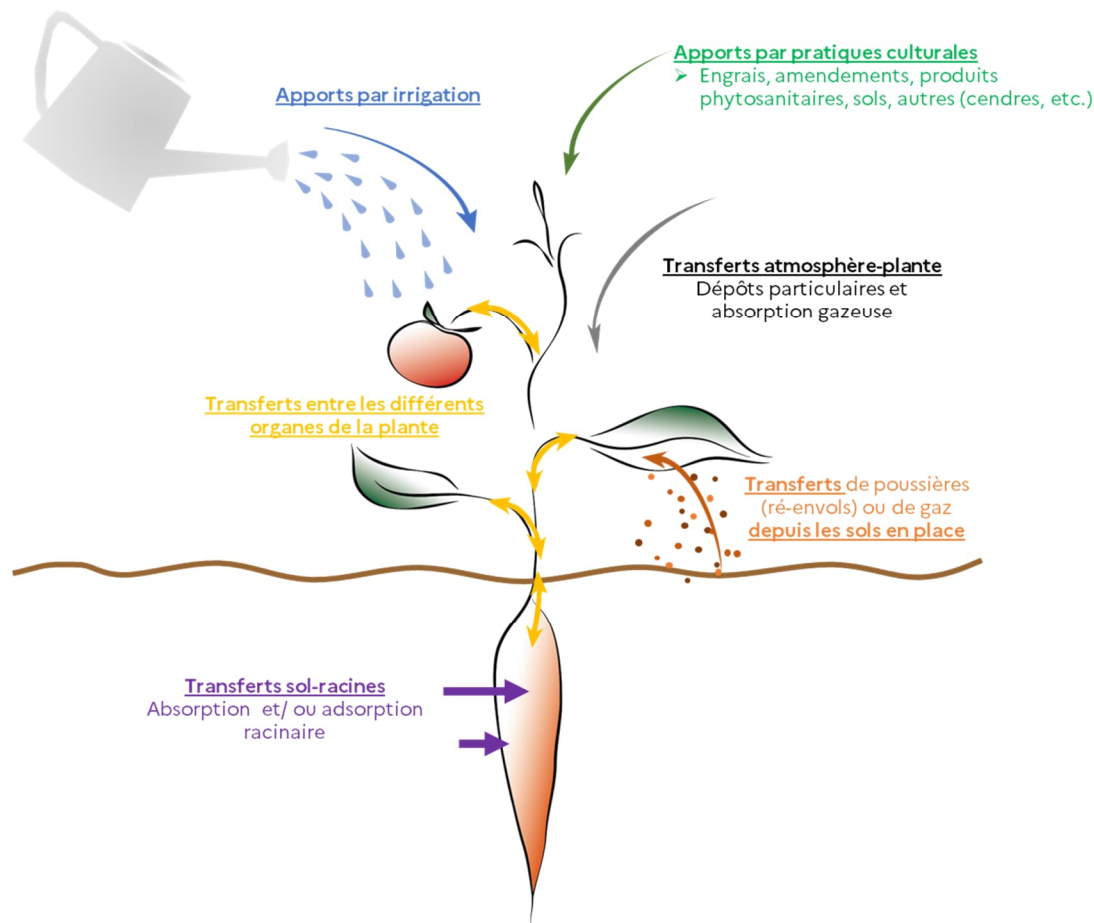


Figure 1 : Différentes voies de transfert des milieux environnementaux vers les végétaux consommés

Le **BCF global** calculé ici prend en compte les sources de pollution issues du sol ou de l'eau d'arrosage sans distinction. Aussi les éventuels apports provenant du milieu air sont considérés comme négligeables dans le calcul des BCF (aucune contribution de l'air n'ayant été considérée). L'Équation 2 donne la formule utilisée pour calculer le BCF à partir des concentrations en matière fraîche (MF) dans les végétaux potagers. La sélection des teneurs en matière sèche pour chaque espèce végétale utilisées pour le calcul de BCF est présentée en Annexe 5 ; elles proviennent soit d'une analyse faite au laboratoire sur le végétal prélevé, soit de la moyenne des analyses faites au laboratoire si disponible, soit de la littérature.

$$BCF = \frac{[\text{Concentration végétal}] \text{ en mg/kg MF} \times 100}{\text{Teneur en matière sèche du végétal} \times [\text{Concentration sol}] \text{ en mg/kg MS}}$$

Équation 2 : Facteur de bioconcentration à partir d'une concentration en matière fraîche (MF) dans les végétaux

En première approche, les BCF n'ont été calculé que pour les couples sol-végétaux pour lesquelles les concentrations sont supérieures aux limites de quantification dans les deux milieux (sol et végétaux). Ainsi, si la substance n'est quantifiée que dans un milieu (végétaux et sol) ou dans aucun des deux, la valeur du BCF n'est pas calculée. De plus, dans le jeu de données, un échantillon de sol peut être utilisé dans le calcul des BCF pour plusieurs végétaux. Cela est notamment le cas pour un potager pour lequel ont été prélevés plusieurs échantillons de végétaux et un seul échantillon de sol composite dont les parts unitaires sont prélevées à plusieurs endroits du potager.

A partir des données disponibles, il n'a pas été possible d'établir la contribution d'une eau contaminée par rapport à celle du sol quel que soit son niveau de contamination. Cela est d'autant plus conséquent pour les légumes-feuilles tels que les salades dont les parties aériennes peuvent être directement aspergées par l'eau contaminée. Citons l'exemple, issu de notre jeux de données, d'un jardin potager arrosé par une eau fortement contaminée en arsenic, avec une teneur dans les sols de 300 mg/kg,

l'arrêt de l'arrosage avait conduit à une diminution de 40% des teneurs en arsenic pour les oignons et les blancs de poireau. Rappelons aussi que le sol est un milieu intégrateur qui fixe les ETMM sur ses composants solides (matière organique, argile, etc.) même si leur origine provient de l'eau d'arrosage par exemple.

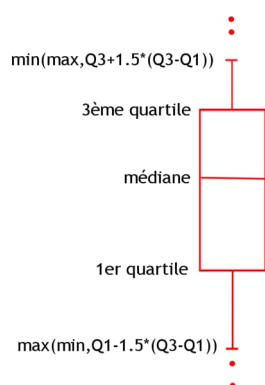
L'intégration de la qualité de l'eau d'arrosage montrerait probablement une surestimation des valeurs obtenues notamment pour les légumes-feuilles. En effet, il aurait fallu disposer de deux parcelles, l'une arrosée avec de l'eau impactée et l'autre arrosée avec une eau non impactée, pour évaluer la contribution de l'eau d'arrosage à la contamination des parties aériennes.

Par ailleurs, de nombreux paramètres influencent le transfert des métaux et métalloïdes du sol vers les plantes (Ineris, 2017b) :

- La spéciation du métal dans le sol ;
- La nature du sol (texture) ;
- Le pH, COT⁹, CEC¹⁰ ;
- Le niveau de concentration des ETMM dans le sol ;
- Les pratiques culturales ;
- Les espèces végétales et variétés considérées, etc.

2.7 Traitement statistique des données

Les graphiques de type « boîte à moustache » (boxplot) ont été réalisés à l'aide des logiciels R et RStudio © (RStudio, Inc., Version 1.1.463) et possèdent tous une échelle logarithmique afin d'améliorer la lisibilité des résultats. Les paramètres statistiques (moyenne, médiane, minimum, maximum, écart-type) ont été calculés à l'aide du même logiciel. Les boîtes à moustache ou boxplots, permettent de synthétiser graphiquement les données des distributions. L'interprétation est présentée en *Figure 2*.



Les bords du rectangle représentent le premier (P25) et le troisième (P75) quartiles.

Les extrémités des moustaches sont calculées en utilisant 1,5 fois la distance interquartile.

Le trait horizontal au centre du rectangle représente la médiane (P50).

Les points représentent les valeurs respectivement inférieures et supérieures aux extrémités basse et haute des moustaches.

Figure 2 : Interprétation d'un boxplot

Pour chaque substance, un coefficient de variation a été calculé. « *Le coefficient de variation (CV) est le rapport de l'écart-type à la moyenne. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Il est généralement exprimé en pourcentage* »¹¹. Il permet d'évaluer l'importance *relative* de la dispersion d'une distribution. Ce coefficient ne peut donc pas être calculé pour des sous-groupes de valeur ne possédant qu'un seul échantillon. L'*Équation 3* a été utilisée pour calculer le coefficient de variation.

$$CV = \frac{Ecart - type}{Moyenne} \times 100 \%$$

Équation 3 : Coefficient de variation

Le coefficient de variation donne une indication sur l'homogénéité de la série étudiée. Des données homogènes possèdent un coefficient inférieur à 15%.

⁹ COT : Carbone Organique Total

¹⁰ CEC : Capacité d'Echange Cationique

¹¹ Définition de l'INSEE : <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1366>

3 Pâtures

3.1 Concentrations en ETMM dans les sols de pâtures

La Figure 3 illustre la répartition des concentrations dans les sols potagers ainsi que la borne supérieure de la gamme de concentrations observée sur des sols « ordinaires » français (programme ASPITET¹², Annexe 1) pour chaque ETMM (segment rouge). Aucune gamme de teneurs de sols « ordinaires » n'est disponible pour 9 des 19 ETMM étudiés l'argent (Ag), l'aluminium (Al), le baryum (Ba), le lithium (Li), le molybdène (Mo), l'étain (Sn), le titane (Ti), le tungstène (W) et l'antimoine (Sb).

Les concentrations mesurées dans les sols des pâtures (valeurs moyennes symbolisée par des ronds noirs) sont supérieures aux valeurs pour des sols « ordinaires » pour de nombreux ETMM (As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn). Elles peuvent atteindre jusqu'à 100 fois la borne haute de la gamme de teneurs considérées comme « ordinaire » dans les sols. Cette observation n'est pas valable pour trois ETMM possédant une valeur dans ASPITET : le cobalt, le chrome et le nickel.

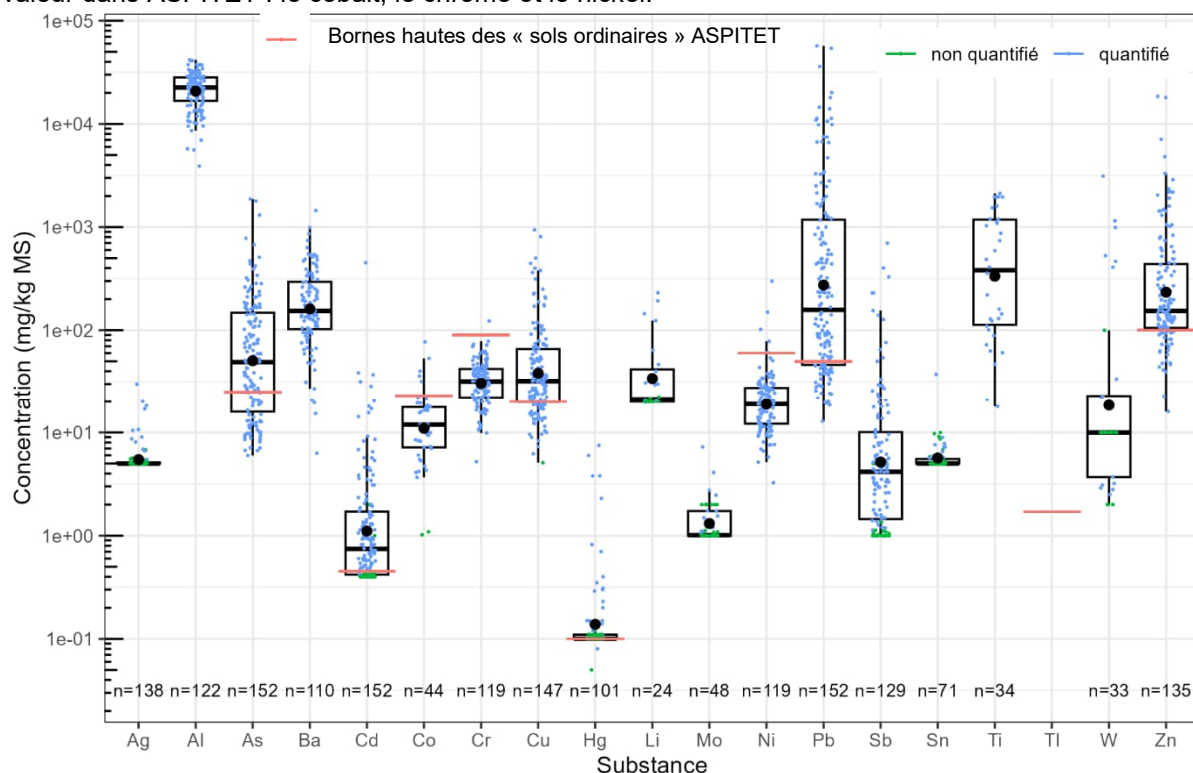


Figure 3 : Concentrations en ETMM dans les sols de pâtures

¹² Programme de l'Inra ayant permis de constituer un référentiel national pour comprendre la répartition des éléments traces dans les sols français agricoles et forestiers non urbains

3.2 Concentrations en ETMM dans les pâtures

Les paramètres statistiques des teneurs en ETMM dans les échantillons de pâtures sont synthétisés dans le Tableau 3. Pour les pâtures, majoritairement composées de graminées, les coefficients de variation les plus élevés concernent le plomb, cadmium, le zinc et l'antimoine, mettant en évidence une grande dispersion des données. La dispersion des valeurs est moindre pour les autres métaux notamment pour le mercure, le cobalt, le cuivre et l'argent.

La qualité des denrées destinées à l'alimentation des animaux est encadrée par la Directive Européenne 2002/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mai 2002 modifiée sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux. Les teneurs maximales admissibles sont régulièrement mises à jour, notamment en 2019 dans le règlement (UE) 2019/1869 de la commission du 7 novembre 2019 modifiant et rectifiant l'annexe I de la directive 2002/32/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les teneurs maximales pour certaines substances indésirables dans les aliments pour animaux.

Les concentrations en arsenic, cadmium, mercure et plomb dans les graminées ont été comparées aux valeurs réglementaires européennes fixées pour les denrées mises en circulation et utilisées pour l'alimentation animale (Tableau 2).

Pour les pâtures (herbes), les teneurs maximales sont données en mg/kg d'aliments pour animaux avec une teneur en humidité de 12%. Des calculs ont donc été nécessaires pour convertir les valeurs obtenues initialement avec une teneur en humidité de 75% (valeur moyenne observée pour les échantillons).

Tableau 2 : Conversion des teneurs maximales admissibles dans les produits destinés aux aliments pour animaux

Substances	Matrices	Teneur maximale en mg/kg (ppm) des aliments mis en circulation et utilisés sur le marché européen pour les animaux	
		Humidité à 12 %	Humidité à 75 %
As	Matières premières des aliments pour animaux	2	0,57
Cd	Matières premières des aliments pour animaux d'origine végétale	1	0,28
Hg	Matières premières des aliments pour animaux	0,1	0,03
Pb	Fourrages	30	8,52

Tableau 3 : Paramètres statistiques des concentrations **quantifiées** dans les pâtures

Substance	Nombre d'échantillons analysés (N)	Pourcentage d'échantillons quantifiés	Moyenne	Médiane	P25	P75	Min	Max	Ecart-type	CV (en %)	Gamme des limites de quantification
Ag	118	16%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,03	33%	0,05-5
Al	42	83%	146,4	15,0	7,6	165,0	2,0	1100,0	267,9	183%	0,5-0,5
As	176	53%	0,5	0,2	0,1	0,5	0,1	4,7	0,8	166%	0,05-0,1
Ba	52	85%	10,0	7,8	5,3	11,3	1,5	36,0	7,9	79%	0,2-0,2
Cd	176	93%	0,2	0,1	0,0	0,2	0,0	13,0	1,0	454%	0,005-0,01
Co	21	14%	0,5	0,6	0,4	0,7	0,2	0,7	0,3	53%	0,1-0,2
Cr	129	47%	1,4	0,6	0,4	1,6	0,2	9,6	2,0	137%	0,2-0,2
Cu	145	99%	2,0	1,9	1,6	2,3	0,6	5,4	0,7	35%	0,1-0,1
Hg	104	11%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	57%	0,005-0,01
Li	3	33%	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	-	-	0,5-0,5
Mo	22	95%	0,4	0,2	0,2	0,4	0,1	1,4	0,3	87%	0,1-0,1
Ni	105	81%	0,6	0,3	0,2	0,6	0,1	5,6	0,9	145%	0,1-1
Pb	176	86%	6,5	0,4	0,1	3,0	0,0	198	21,5	328%	0,02-0,05
Sb	126	33%	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	5,2	1,1	264%	0,05-0,2
Sn	15	7%	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	0,2-0,2
Ti	4	100%	5,7	4,7	1,0	9,4	0,6	13,0	6,0	104%	-
W	16	50%	10,0	4,2	2,9	14,0	0,4	33,0	11,9	119%	-
Zn	176	98%	30,6	11,0	7,9	20,0	0,8	1680	129,6	423%	0,1-0,2

Les concentrations en ETMM mesurées dans les pâtures sont illustrées en Figure 4. Les teneurs maximales admissibles pour les produits destinés à l'alimentation animale, présentés dans le *Tableau 2*, sont indiqués par des segments bleus sur la Figure 4. Quelques dépassements des valeurs réglementaires sont constatés pour l'arsenic, le cadmium et le plomb ; les valeurs médianes étant systématiquement inférieures aux teneurs maximales réglementaires. En revanche, aucun dépassement pour le mercure n'est observé. Le pourcentage des échantillons qui ont été quantifiés pour chaque ETMM sont également indiqués sur la Figure 4.

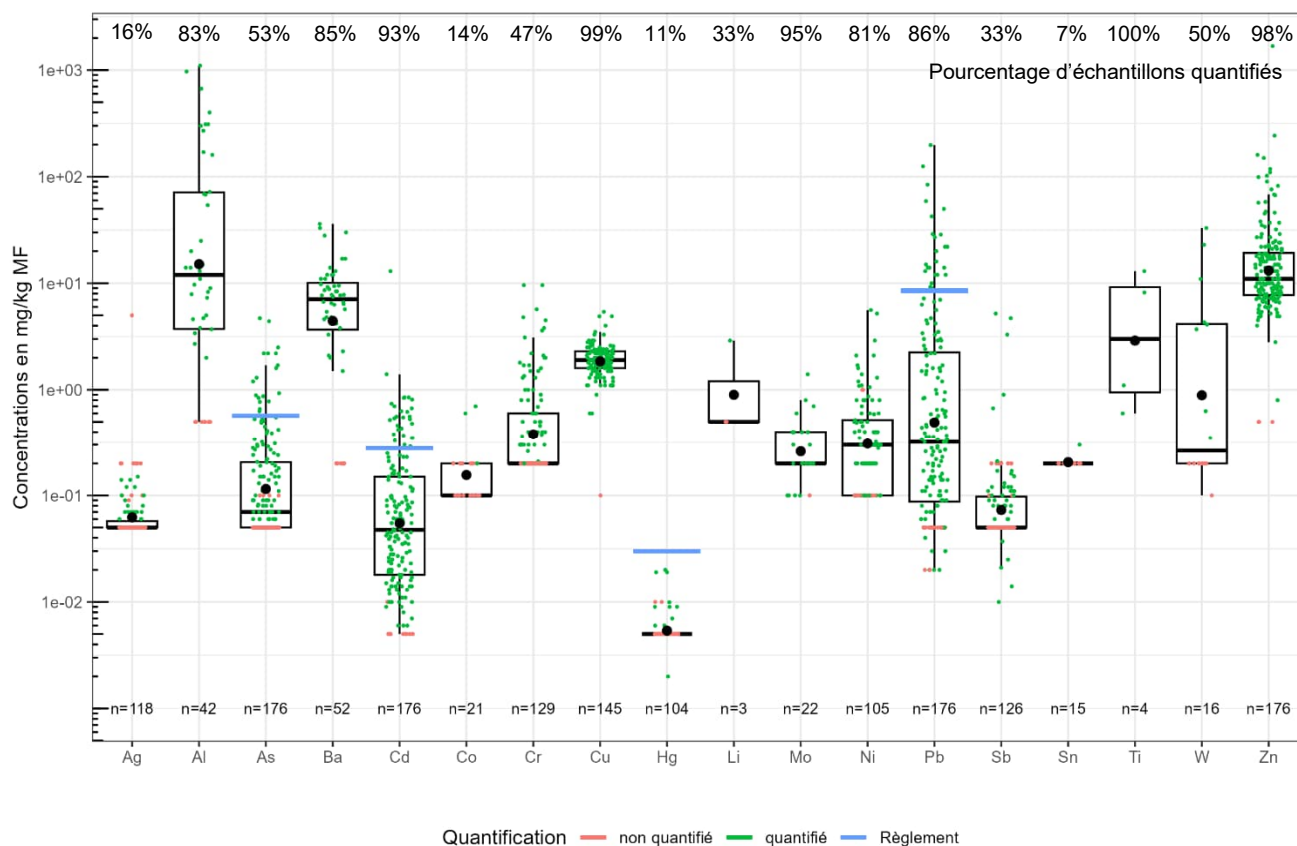


Figure 4 : Concentrations en ETMM dans les pâtures en mg/kg MF

3.3 Facteurs de bioconcentration des pâtures

Le Tableau 4 donne les résumés statistiques des BCF calculés pour l'ensemble des données collectées, à savoir 176 couples sol/pâturation. Pour rappel, l'ensemble des ETMM n'a pas été analysé sur l'ensemble des couples prélevés. En effet, en fonction des éléments, entre 1 et 86% des BCF ont pu être calculé sur l'ensemble des 176 couples sol-végétaux. Ces faibles pourcentages s'expliquent par le faible nombre d'analyses réalisées dans le sol et les végétaux pour certains éléments. L'argent, l'arsenic, le mercure et l'antimoine possèdent les pourcentages les plus importants pour lesquels une des matrices n'a pas été quantifiées alors que les deux matrices ont été analysées.

Le nombre de BCF calculé varie fortement en fonction des ETMM, ceux avec le plus de BCF calculés sont le zinc (n=152), le plomb (n=147), le cuivre (n=143) et le cadmium (n=118). A l'inverse, les ETMM avec moins de 10 BCF calculés sont l'argent (n=7), le cobalt (n=1), le mercure (n=8), le lithium (n=1), le molybdène (n=4), l'étain (n=1), le titane (n=4), et le tungstène (n=6). Par ailleurs, le thallium n'a pas été analysé sur les échantillons de végétaux de pâtures.

Les valeurs moyennes des BCF les plus élevées sont observées pour le molybdène (1,3, n=4), le baryum (0,54, n=44), le zinc (0,43, n=152) et le cadmium (0,37, n=118). Les médianes pour ces mêmes substances font également parties des valeurs de BCF les plus élevées.

Tableau 4 : Paramètres statistiques des BCF pour les pâtures

BCF	N (%) BCF calculé	N (%) Sol et Vx non analysés	N (%) Au moins une matrice (Sol ou Vx) non analysé	N (%) Les deux matrices ont été analysés mais une des 2 n'a pas été quantifié	Moy	SD	Min	P25	P50	P75	Max
Ag	7 (4%)	19 (11%)	39 (22%)	111 (63%)	0,05	0,03	0,011	0,03	0,03	0,06	0,1
Al	35 (20%)	35 (20%)	99 (56%)	7 (4%)	0,02	0,04	0,000	0,001	0,002	0,02	0,2
As	93 (53%)	-	4 (2%)	79 (45%)	0,02	0,02	0,001	0,004	0,01	0,03	0,1
Ba	44 (25%)	47 (27%)	77 (44%)	8 (5%)	0,54	0,90	0,038	0,15	0,28	0,53	4,9
Cd	118 (67%)	-	4 (2%)	54 (31%)	0,37	0,99	0,010	0,10	0,19	0,37	10,5
Co	1 (1%)	129 (73%)	26 (15%)	20 (11%)	0,06	-	0,059	0,06	0,06	0,06	0,1
Cr	46 (26%)	16 (9%)	55 (31%)	59 (34%)	0,22	0,29	0,013	0,04	0,09	0,34	1,4
Cu	143 (81%)	9 (5%)	22 (12%)	2 (1%)	0,30	0,26	0,008	0,11	0,25	0,39	1,6
Hg	8 (5%)	66 (38%)	13 (7%)	89 (51%)	0,06	0,07	0,003	0,01	0,02	0,08	0,2
Li	1 (1%)	152 (86%)	21 (12%)	2 (1%)	0,25	-	0,249	0,25	0,25	0,25	0,2
Mo	4 (2%)	125 (71%)	29 (16%)	18 (10%)	1,30	0,58	0,769	0,94	1,16	1,52	2,1
Ni	85 (48%)	37 (21%)	34 (19%)	20 (11%)	0,12	0,16	0,006	0,04	0,07	0,13	0,9
Pb	147 (84%)	-	4 (2%)	25 (14%)	0,03	0,08	0,0001	0,004	0,01	0,03	0,5
Sb	31 (18%)	27 (15%)	23 (13%)	95 (54%)	0,04	0,05	0,001	0,01	0,02	0,04	0,2
Sn	1 (1%)	101 (57%)	60 (34%)	14 (8%)	0,02	-	0,023	0,02	0,02	0,02	0,0
Ti	4 (2%)	124 (70%)	48 (27%)	-	0,08	0,09	0,001	0,002	0,06	0,14	0,2
TI	-	176 (100%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	6 (3%)	140 (80%)	20 (11%)	10 (6%)	0,22	0,23	0,014	0,04	0,17	0,31	0,6
Zn	152 (86%)	-	21 (12%)	3 (2%)	0,43	1,06	0,002	0,13	0,26	0,41	9,6

« - » : pas de calcul de BCF possible.

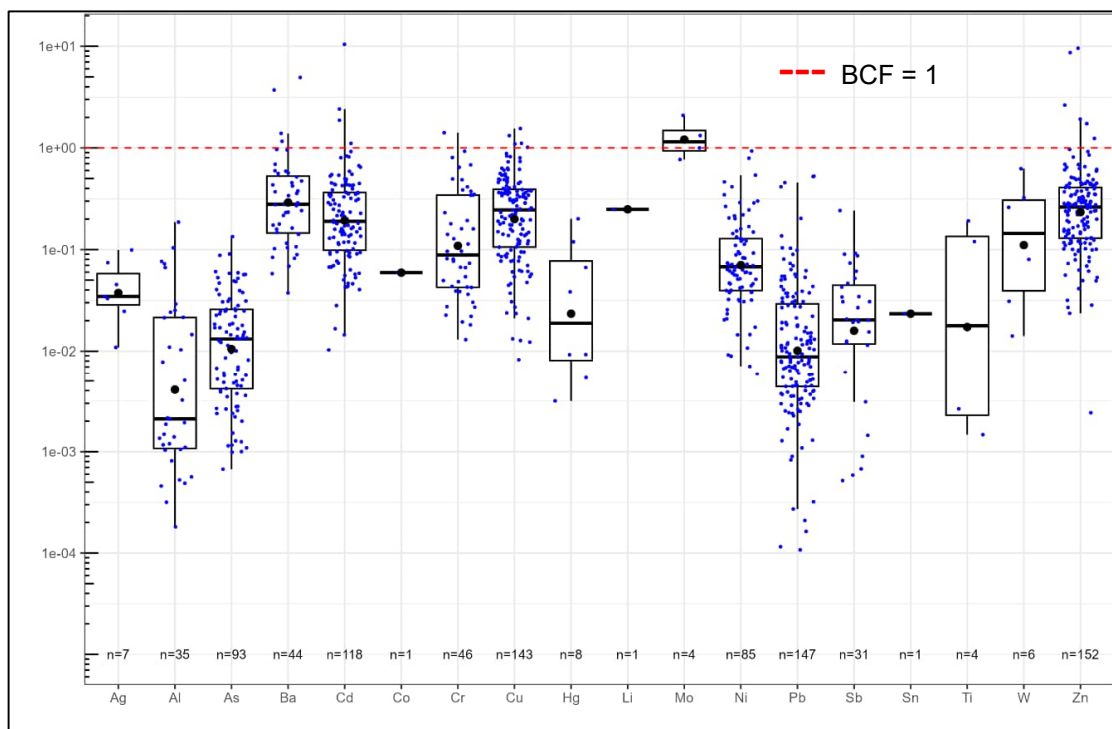


Figure 5 : Valeurs BCF pour les graminées en fonction des ETMM

Un BCF supérieur à 1 correspond à une concentration dans les végétaux (en matière sèche) supérieure à la concentration dans le sol. La Figure 5 montre que le baryum, le cadmium, le chrome, le cuivre, le molybdène et le zinc possèdent plusieurs valeurs supérieures à 1. Ces observations doivent cependant prendre en compte les éléments suivants : le chrome a été quantifié sur un nombre faible de couple sol/végétaux (26%), le molybdène a été rarement quantifié dans les sols tandis que le cuivre et le zinc sont essentiels aux fonctions vitales des plantes (Kabata-Pendias, 2011).

Pour les BCF, la dispersion entre les valeurs minimales et maximales sur plus de 2 ordres de grandeur est observée pour l'aluminium, l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, l'antimoine, le plomb, le titane et le zinc. Cela est à mettre en lien avec la biodisponibilité des métaux dans le sol mais aussi les éventuelles poussières de sol présentes sur les parties aériennes puisque celles-ci n'ont pas été lavées.

3.4 Comparaison aux valeurs réglementaires

Les paragraphes ci-dessous décrivent, substance par substance, les dépassements des valeurs réglementaires fixés pour l'arsenic, le cadmium et le plomb dans les produits destinés à l'alimentation animale.

Pour le cadmium, la Figure 6 illustre les dépassements des valeurs réglementaires fixés dans les pâtures en fonction de la gamme de concentration en cadmium mesurée dans les sols de culture. Les intervalles de concentrations en cadmium dans les sols ont été choisis pour suivre les valeurs repères du HCSP pour le cadmium, précisées en Annexe 3.

Sur 176 échantillons de pâtures, 28 présentent des dépassements aux valeurs réglementaires. Les premiers dépassements sont observés pour des concentrations en cadmium dans les sols avec des concentrations inférieures à 1 mg/kg MS, même si la proportion de dépassement reste faible (2%).

La gamme de concentration [1– 2] mg/kg dans les sols présente des dépassements pour 7% des échantillons analysés sur cette gamme. La proportion de dépassement augmente et atteint 27% lorsque les concentrations dans le sol sont comprises entre 2 et 5 mg/kg MS de cadmium. Malgré le faible nombre d'échantillons collectés et notamment sur des concentrations élevées dans les sols, il apparaît qu'au-delà de 5 mg/kg MS de cadmium dans les sols, plus de 75% des échantillons prélevés dépassent les valeurs réglementaires.

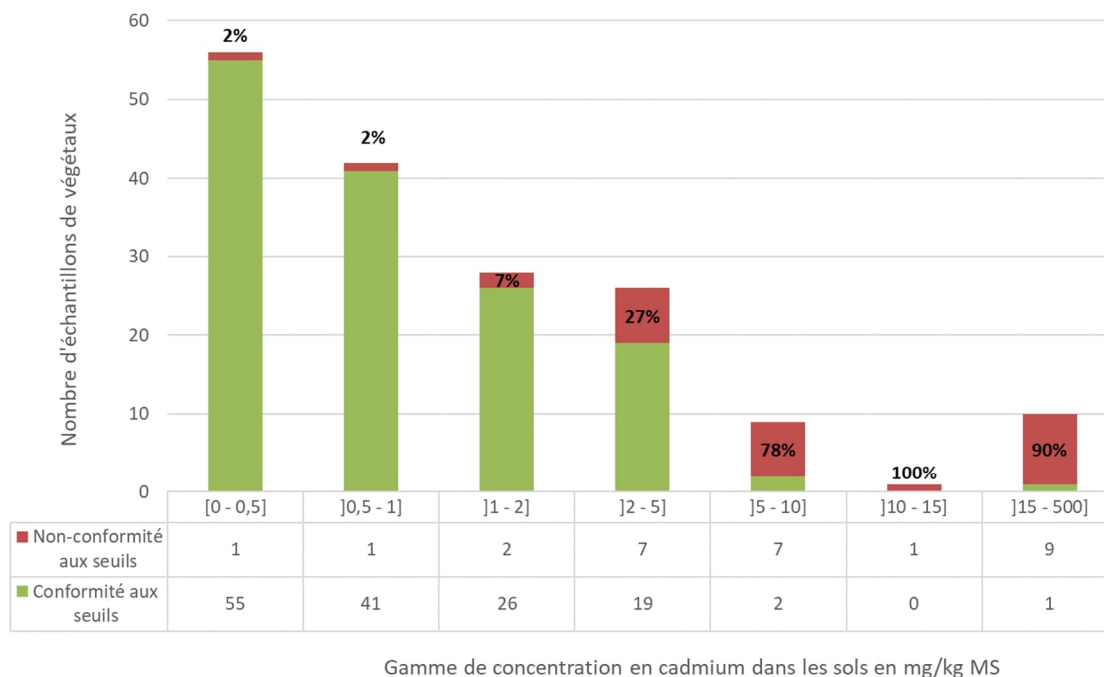


Figure 6 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium pour les pâtures

Pour le plomb, la comparaison aux valeurs réglementaires pour le fourrage a permis d'identifier 22 dépassements (Figure 7). Des dépassements des seuils réglementaires dans les végétaux sont constatés pour les échantillons prélevés sur des sols dont les teneurs sont supérieures à 600 mg/kg MS en plomb avec un pourcentage croissant de 22 à 64% de dépassements parmi les échantillons analysés.

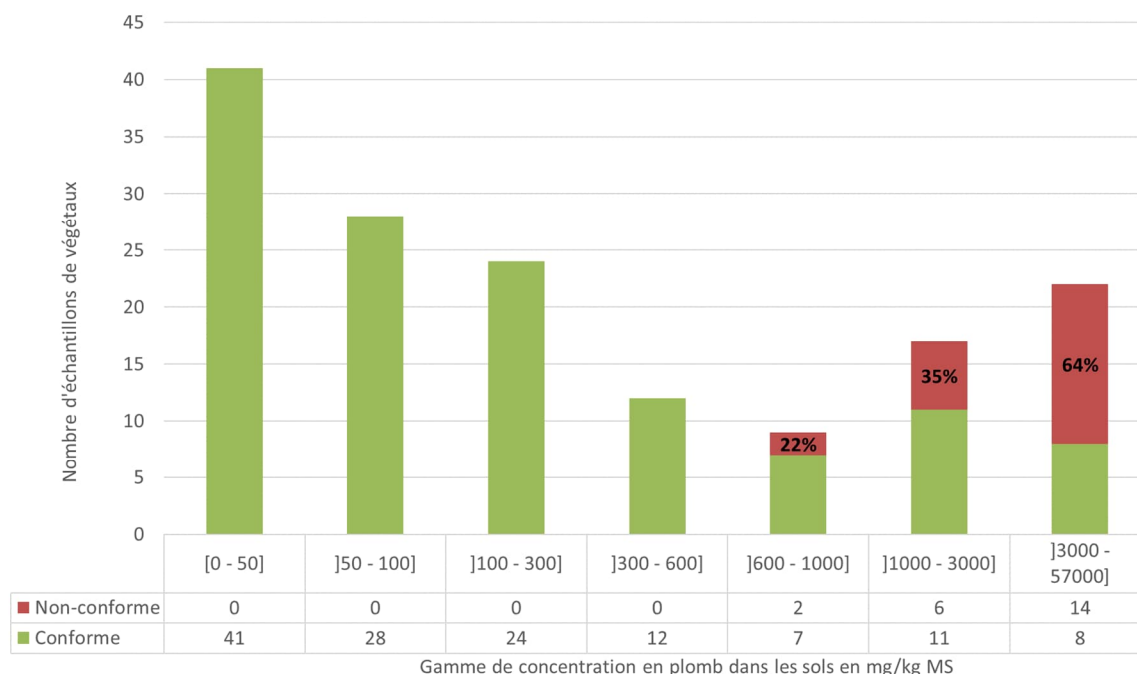


Figure 7 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du plomb pour les pâtures

Pour l'arsenic, la comparaison aux valeurs réglementaires pour les pâtures a permis de constater 21 dépassements dans les aliments pour animaux. Le premier dépassement est observé dès 27 mg/kg MS. Au-delà de 50 mg/kg MS d'arsenic dans les sols, le pourcentage de dépassement varie de 3% à 67%, à mesure que les teneurs dans les sols augmentent. Les valeurs non quantifiées dans les végétaux renvoient à des conformités.

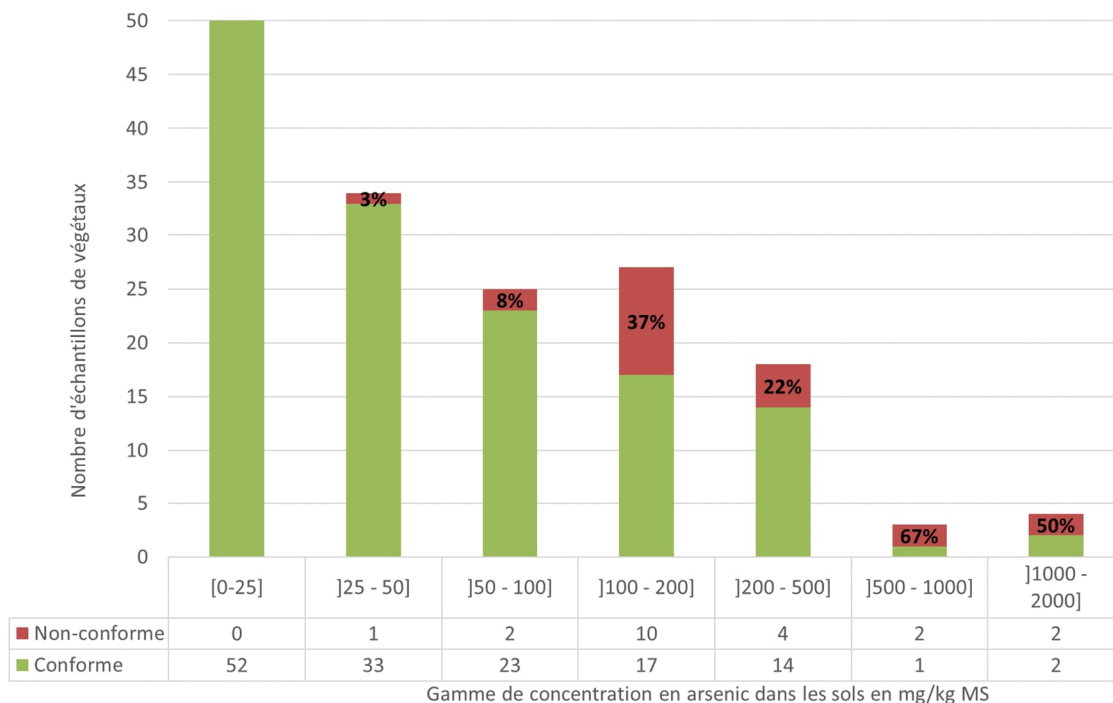


Figure 8 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires de l'arsenic pour les pâtures

4 Plantes potagères

4.1 Concentrations en ETMM dans les sols potagers

La Figure 9 illustre la répartition des concentrations dans les sols potagers ainsi que la borne supérieure de la gamme de concentrations observée sur des sols « ordinaires » français (programme ASPITET¹³, Annexe 1) pour chaque ETMM (segment rouge). Aucune gamme de teneurs de sols « ordinaires » n'est disponible pour 9 des 19 ETMM étudiés l'argent (Ag), l'aluminium (Al), le baryum (Ba), le lithium (Li), le molybdène (Mo), l'étain (Sn), le titane (Ti), le tungstène (W) et l'antimoine (Sb).

Les concentrations mesurées dans les sols des potagers (valeurs moyennes symbolisée par des ronds noirs) sont supérieures aux valeurs pour des sols « ordinaires » pour de nombreux ETMM (As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn). Elles peuvent atteindre jusqu'à 100 fois la borne haute de la gamme de teneurs considérées comme « ordinaire » dans les sols. Cette observation n'est pas valable pour trois ETMM possédant une valeur dans ASPITET : le cobalt, le chrome et le nickel.

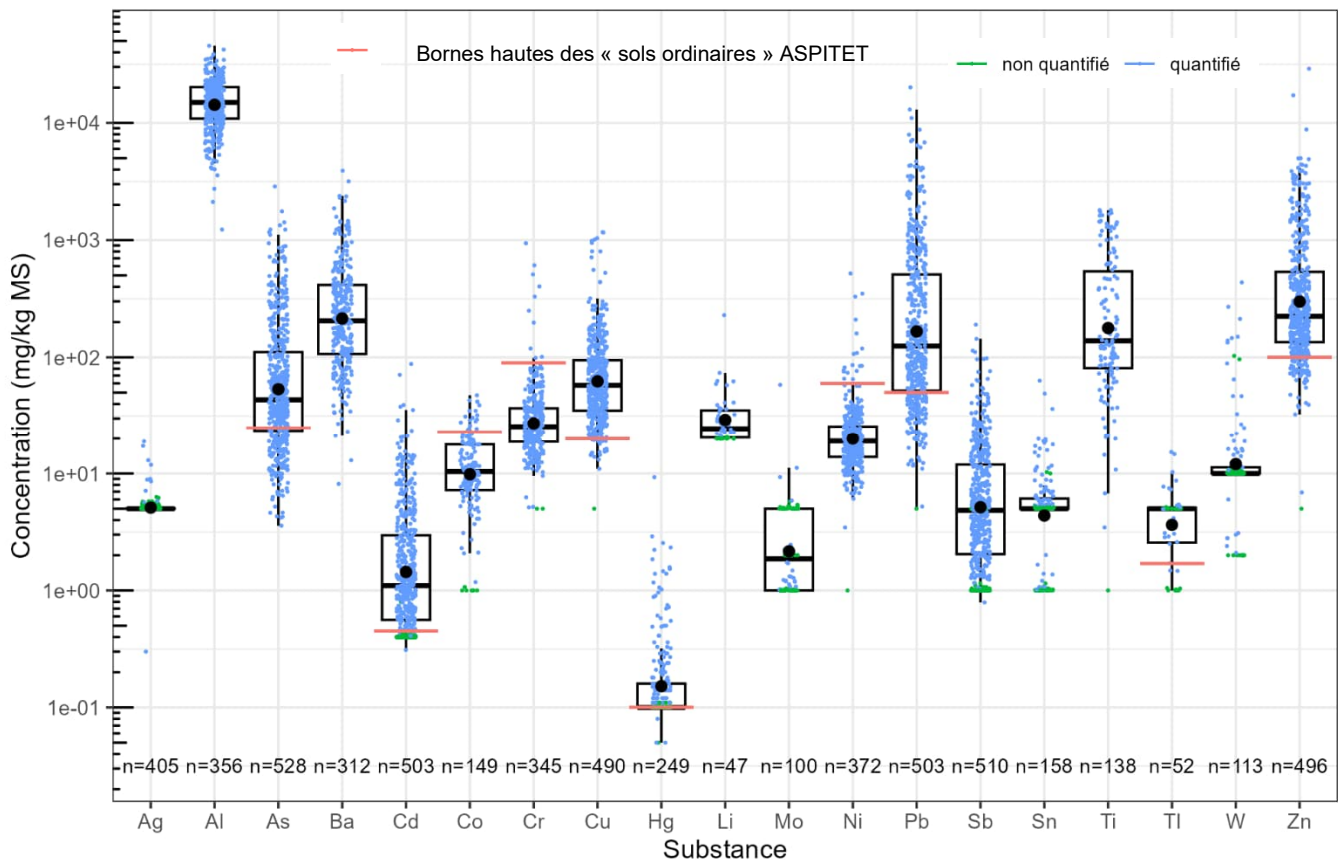


Figure 9 : Concentrations en ETMM dans les sols potagers

Les paramètres statistiques pour les échantillons de sols relatifs aux teneurs en ETMM sont rassemblés dans le *Tableau 5*. Les coefficients de variation (CV) pour l'ensemble des substances sont élevés indiquant une grande variabilité des concentrations dans les sols. L'aluminium est le seul ETMM pour lequel le coefficient de variation (CV) est inférieur à 50%. Le molybdène, le plomb et le zinc possèdent les CV les plus élevés ($CV \geq 200$) indiquant une très grande variabilité des données pour ces trois ETMM.

Les paramètres statistiques relatifs aux valeurs de pH et de carbone organique total (COT) (Annexe 2) permettent d'apprécier les variations des conditions de croissance des plantes sur chaque zone d'étude. Ce sont aussi deux paramètres susceptibles d'influencer fortement la mobilité des ETMM dans le sol et donc le transfert des ETMM du sol vers les plantes. Pour le pH, les valeurs mesurées dans les différentes études sont comprises entre 4,4 et 9,1 et globalement homogène avec une moyenne autour

¹³ Programme de l'Inra ayant permis de constituer un référentiel national pour comprendre la répartition des éléments traces dans les sols français agricoles et forestiers non urbains

de $7,5 \pm 0,9$. Pour le COT, les valeurs sont comprises entre 3 000 et 192 000 mg/kg MS avec des variations plus fortes et une moyenne de $4 \pm 2,5$.

La *Figure 10* illustre la comparaison entre les concentrations obtenues au sein des Environnements Locaux Témoins (ELT) et celles obtenues au sein des zones potentiellement impactées, uniquement pour les échantillons avec des concentrations supérieures aux limites de quantification. Des concentrations médianes dans les échantillons dont les concentrations sont supérieures aux valeurs médianes des échantillons dans les ELT sont observées en particulier pour l'arsenic, le cadmium, le mercure, le plomb, l'antimoine le thallium et le zinc. Cependant, ces valeurs sont des données nationales représentatives de zones géologiques très variés et pouvant également être sous influence d'autre source de pollution (autres émissions industrielles, pratiques culturelles spécifiques, etc.). Cela explique potentiellement expliquer que pour le lithium et le tungstène, substances avec un nombre faible d'analyses, les concentrations médianes globales au niveau des ELT sont supérieures aux concentrations médianes dans les zones potentiellement impactées.

Globalement, les valeurs observées dans les ELT sont comprises dans la gamme de valeurs des zones potentiellement impactés par les anciennes activités minières.

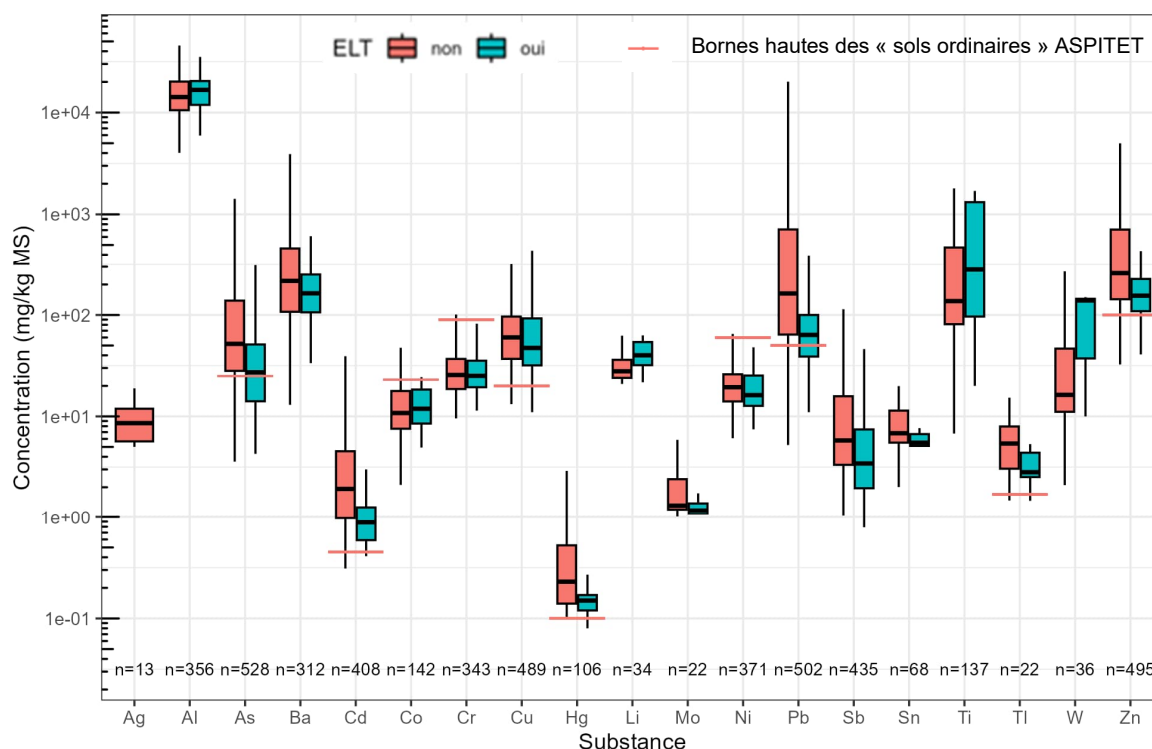


Figure 10 : Concentrations quantifiées en ETMM dans les sols potagers – Comparaison entre les ELT et les zones potentiellement impactées

Tableau 5 : Paramètres statistiques des données quantifiées pour les sols de potagers prélevés

Concentrations (en mg/kg MS ¹⁴)	Nombre d'échantillons analysés (N)	Pourcentage d'échantillons quantifiés	Moyenne	Médiane	P25	P75	Min	Max	Ecart- type	CV (en %)	Gamme des limites de quantification
pH	242	-	7,4	7,5	7	8	4,4	9,1	0,9	12	-
%MO¹⁵	162	-	4	3,4	2,3	5,1	0,3	19,2	2,5	62	-
Ag	405	3%	9	9	6	12	0	19	5	57	5-6,3
Al	356	100%	15961	14950	10875	20200	1230	45500	7254	45	-
As	528	100%	125	43	24	111	3,6	2870	240	192	-
Ba	312	100%	362	205	107	414	8,2	3910	467	129	-
Cd	503	81%	4	2	1	4	0,3	88	7	189	0.4-0.8
Co	149	95%	14	11	8	18	1,2	48	9	67	1-1.07
Cr	345	99%	39	26	19	37	5,1	940	72	186	5-5
Cu	490	100%	94	58	35	95	11	1170	138	146	5-5
Hg	249	43%	1	0	0	0	0,1	9	1	199	0,05-0,11
Li	47	72%	40	29	24	39	21	229	36	91	20-20,6
Mo	100	22%	5	1	1	2	1,0	58	12	245	1-5,76
Ni	372	100%	27	19	14	26	3,5	520	40	150	1-1
Pb	503	100%	617	126	53	511	5,2	20100	1583	257	5-5
Sb	510	85%	12	6	3	14	0,8	190	19	155	1-5
Sn	158	43%	10	6	5	11	1,0	63	10	105	1-10,3
Ti	138	99%	403	139	81	559	3,5	1800	499	124	1-1
Tl	52	42%	6	5	3	7	1,5	15	4	69	1-5.17
W	113	32%	58	18	11	51	2,1	436	91	159	2-103
Zn	496	100%	704	224	136	541	6,9	29000	1765	251	5-5

¹⁴ Matière sèche

¹⁵ %MO : matière organique exprimée en pourcentage

4.2 Concentrations en ETMM dans les végétaux potagers

La Figure 11 illustre la répartition des teneurs exprimées en matière fraîche (MF) dans les végétaux potagers pour chaque ETMM analysé par le biais d'une boîte à moustache.

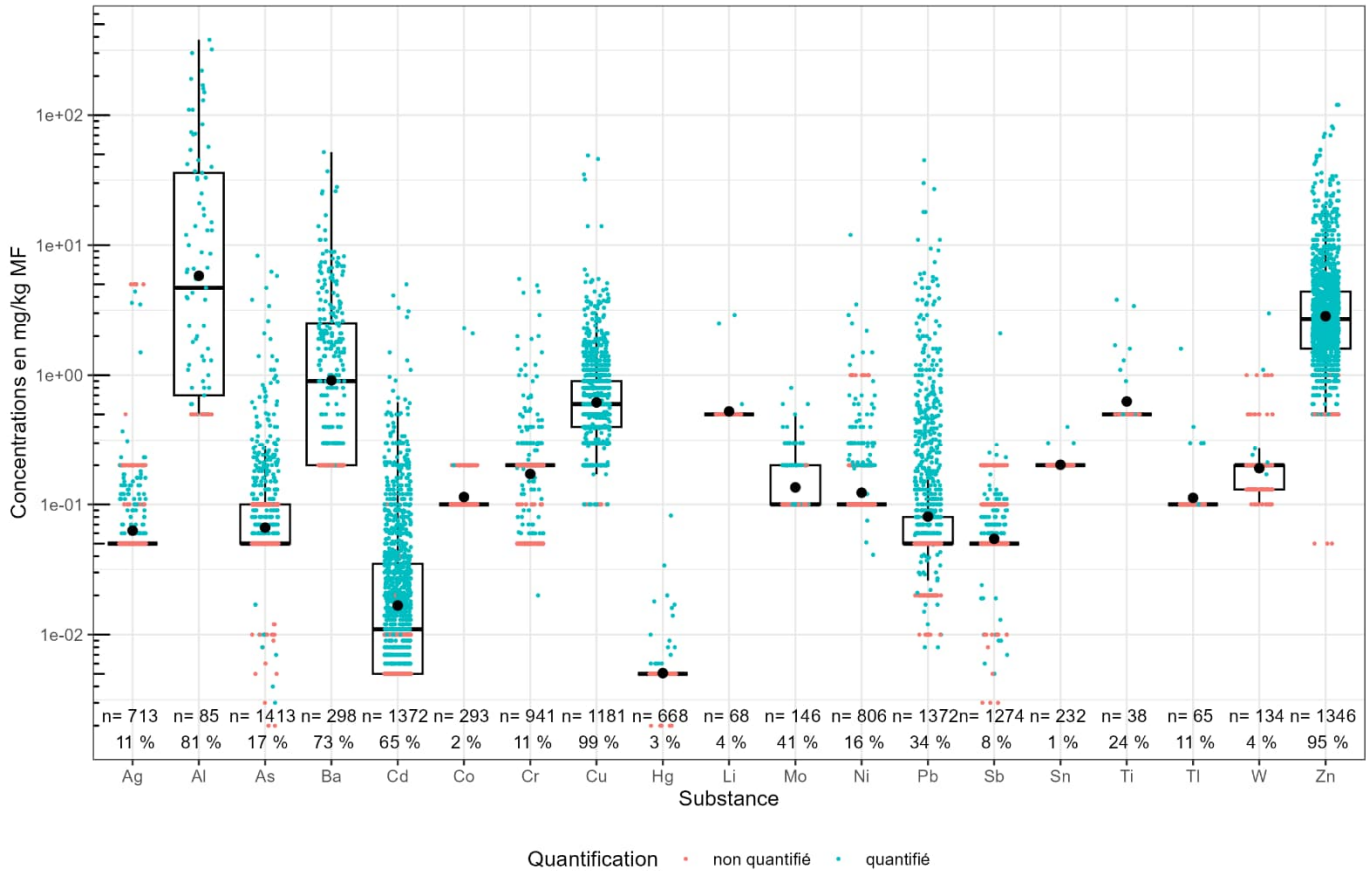


Figure 11 : Concentrations en ETMM dans les végétaux potagers en mg/kg MF

Les paramètres statistiques pour les échantillons de végétaux potagers prélevés sont rassemblés dans le *Tableau 6*. L'aluminium, le baryum et le zinc affichent les concentrations les plus élevées relativement aux autres ETMM (médiane > 1). Les ETMM les plus analysés ($n > 1\ 000$) sont l'arsenic, le cadmium, le plomb, le zinc, l'antimoine et le cuivre. L'arsenic, le baryum, le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc possèdent le plus grand nombre de valeurs quantifiées sur les végétaux ($n > 200$) avec respectivement 235, 217, 892, 1170, 462 et 1276 échantillons. Les substances avec des taux de quantification les plus élevés (>50%) sont le cuivre (99%), le zinc (95%), l'aluminium (81%), le baryum (73%) et le cadmium (65%). L'arsenic et le plomb ont des taux plus faibles avec respectivement 17% et 34% des analyses avec des résultats quantifiés.

L'application de bouillie bordelaise (sulfate de cuivre) a été couramment rapportée au cours de l'échantillonnage, notamment sur les tomates, ce qui peut expliquer les teneurs en cuivre mesurées dans les végétaux mais aussi potentiellement dans les sols. Pour rappel, certains ETMM, notamment le cuivre, le zinc et le nickel sont des oligo-éléments essentiels au développement des plantes (Kabata-Pendias, 2011).

Tableau 6 : Paramètres statistiques des concentrations **quantifiées** dans les végétaux potagers

Substance	Nombre d'échantillons analysés (N)	% d'échantillons quantifiés	Moyenne	Médiane	P25	P75	Min	Max	Ecart-type	CV (en %)	Gamme des limites de quantification
Ag	713	11%	0,28	0,11	0,08	0,16	0,05	4,4	0,73	264%	0,05-5
Al	85	81%	46	10	1,8	45	0,50	380	80	172%	0,5-0,5
As	1413	17%	0,38	0,14	0,08	0,26	0,003	8,3	0,92	243%	0,002-0,1
Ba	298	73%	3,5	1,7	0,60	3,7	0,20	52	5,9	170%	0,2-0,2
Cd	1372	65%	0,08	0,024	0,012	0,060	0,005	5,0	0,30	358%	0,005-0,1
Co	293	2%	1,0	0,20	0,10	2,1	0,10	2,3	1,1	118%	0,1-0,2
Cr	941	11%	0,57	0,30	0,13	0,49	0,020	5,5	1,0	168%	0,05-0,2
Cu	1181	99%	1,0	0,60	0,40	0,90	0,10	49	2,5	264%	0,1-0,1
Hg	668	3%	0,016	0,009	0,006	0,017	0,006	0,08	0,02	115%	0,002-0,005
Li	68	4%	2,0	2,5	1,6	2,7	0,60	2,9	1,2	61%	0,5-0,5
Mo	146	41%	0,22	0,20	0,10	0,23	0,10	0,80	0,14	61%	0,1-0,2
Ni	806	16%	0,45	0,20	0,10	0,30	0,04	12	1,1	254%	0,1-1
Pb	1372	34%	0,94	0,17	0,08	0,54	0,01	45	3,3	351%	0,01-0,05
Sb	1274	8%	0,10	0,07	0,060	0,10	0,005	2,1	0,21	208%	0,003-0,2
Sn	232	1%	0,33	0,30	0,30	0,35	0,30	0,4	0,06	17%	0,2-0,2
Ti	38	24%	1,6	1,3	0,90	1,7	0,50	3,8	1,2	72%	0,5-0,5
Tl	65	11%	0,44	0,30	0,20	0,35	0,10	1,6	0,52	118%	0,1-0,1
W	134	4%	0,83	0,26	0,22	0,89	0,17	3,0	1,1	134%	0,1-1
Zn	1346	95%	5,0	2,8	1,8	4,6	0,50	120	8,6	172%	0,05-1

4.3 Facteurs de bioconcentration des végétaux potagers

Pour les végétaux potagers, les paramètres statistiques et la répartition des BCF sont présentés respectivement dans le Tableau 7 et en Figure 12. Pour rappel, l'ensemble des ETMM n'a pas été analysé sur l'ensemble des couples prélevés. En effet, en fonction des éléments, entre 0,2 (Ag, Co, Li, Sn, Tl et W) et 90% (Zn) des BCF ont pu être calculé sur l'ensemble des 1 415 couples sol-végétaux. Ces faibles pourcentages s'expliquent par le faible nombre d'analyses réalisées dans le sol et les végétaux pour certains éléments. L'argent, l'arsenic, le chrome et l'antimoine possèdent les pourcentages le plus élevés pour lesquels une des matrices n'a pas été quantifiées alors que les deux matrices ont été analysées.

Les valeurs moyennes et médianes des BCF sont inférieures à 0,5 pour tous les composés, à l'exception du molybdène. Les valeurs maximales de BCF sont supérieures à 1 pour l'argent, l'arsenic, le baryum, le cadmium, le cobalt, le chrome, le cuivre, le mercure, le molybdène, le nickel, l'antimoine et le zinc.

Des valeurs de BCF supérieures à 10 sont également constatées dans un échantillon pour le cuivre (11,7) et dans 3 échantillons pour le cadmium (valeur maximale de 48,9).

Cependant, ces observations sont à nuancer car, pour de nombreux éléments, les concentrations dans les végétaux n'ont pas été quantifiées biaisant les gammes de valeur de BCF présentées dans le présent rapport.

Tableau 7 : Paramètres statistiques des BCF pour les végétaux potagers

BCF	N (%) BCF calculé	N (%) Sol et Vx non analysés	N (%) Au moins une matrice (Sol ou Vx) non analysé	N (%) Les deux matrices ont été analysés mais une des 2 n'a pas été quantifié	Moyenn e	SD	Min	P25	P50	P75	Max
Ag	3 (0%)	263 (19%)	439 (31%)	710 (50%)	0,42	0,56	0,06	0,1	0,13	0,59	1,1
Al	69 (5%)	479 (34%)	851 (60%)	16 (1%)	0,04	0,1	0,0001	0,001	0,01	0,04	0,7
As	235 (17%)	-	2 (0%)	1178 (83%)	0,05	0,25	0,0001	0,004	0,01	0,02	3,6
Ba	211 (15%)	590 (42%)	535 (38%)	79 (6%)	0,18	0,49	0,002	0,02	0,06	0,16	5,7
Cd	767 (54%)	40 (3%)	3 (0%)	605 (43%)	0,48	2,19	0,001	0,07	0,16	0,33	48,9
Co	5 (0%)	1002 (71%)	120 (8%)	288 (20%)	1,59	1,75	0,05	0,09	0,24	3,03	4,5
Cr	101 (7%)	335 (24%)	275 (19%)	704 (50%)	0,23	0,55	0,01	0,04	0,08	0,20	4,7
Cu	1169 (83%)	71 (5%)	163 (12%)	12 (1%)	0,17	0,4	0,002	0,05	0,1	0,19	11,6
Hg	8 (1%)	649 (46%)	209 (15%)	549 (39%)	0,36	0,74	0,01	0,02	0,06	0,25	2,2
Li	2 (0%)	1261 (89%)	90 (6%)	62 (4%)	0,28	0,13	0,19	0,24	0,28	0,32	0,4
Mo	22 (2%)	1085 (77%)	187 (13%)	121 (9%)	2,22	1,94	0,2	0,9	1,7	2,91	7,2
Ni	128 (9%)	394 (28%)	215 (15%)	678 (48%)	0,24	0,81	0,01	0,03	0,07	0,17	8,1
Pb	462 (33%)	40 (3%)	3 (0%)	910 (64%)	0,02	0,06	0,0001	0,002	0,01	0,02	0,8
Sb	59 (4%)	38 (3%)	104 (7%)	1214 (86%)	0,2	0,27	0,003	0,02	0,09	0,30	1,2
Sn	3 (0%)	908 (64%)	275 (19%)	229 (16%)	0,15	0,1	0,08	0,1	0,11	0,19	0,3
Ti	9 (1%)	1019 (72%)	358 (25%)	29 (2%)	0,01	0,01	0,003	0,01	0,01	0,01	0,0
Tl	2 (0%)	1315 (93%)	35 (2%)	63 (4%)	0,33	0,28	0,13	0,23	0,33	0,43	0,5
W	5 (0%)	1038 (73%)	243 (17%)	129 (9%)	0,09	0,06	0,01	0,07	0,09	0,11	0,2
Zn	1275 (90%)	64 (5%)	5 (0%)	71 (5%)	0,23	0,37	0,0008	0,06	0,13	0,25	6,1

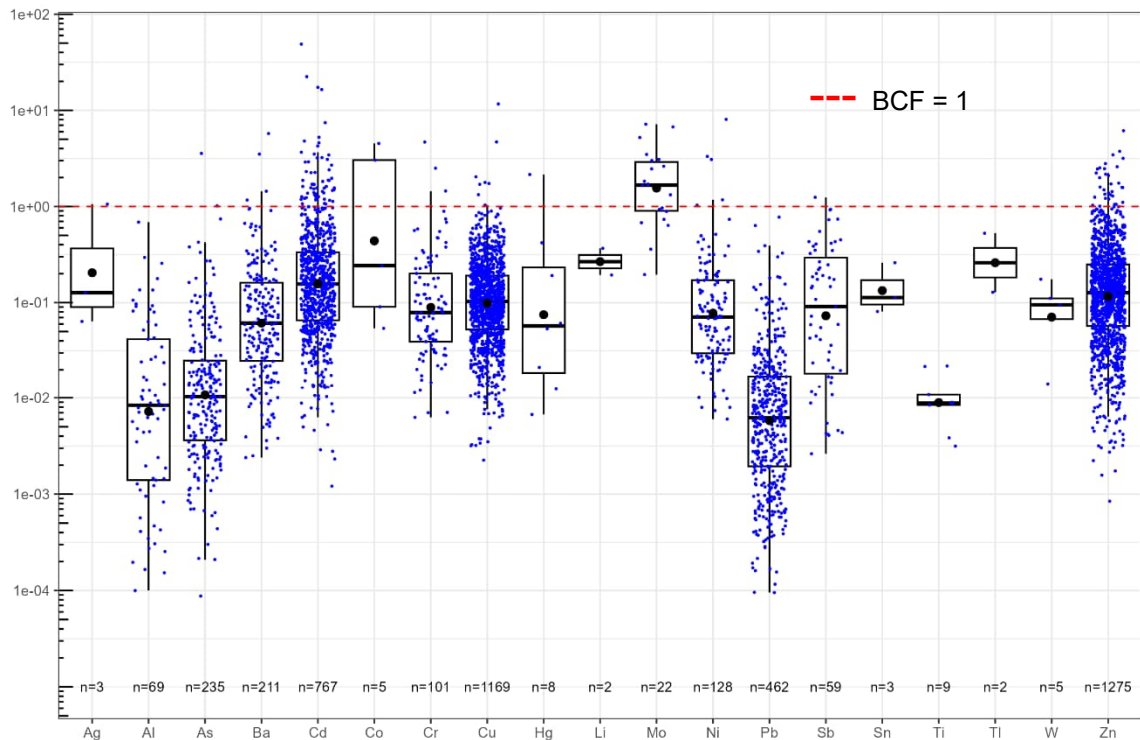


Figure 12 : Valeurs BCF pour les végétaux potagers en fonction des ETMM.

Les « boîtes à moustache » pour chaque catégorie de végétaux ont été réalisées et compilées en Annexe 6. Ces figures permettent de dégager les observations suivantes :

- Pour le cadmium, des BCF supérieurs à 1 pour plusieurs échantillons de légumes-feuilles, légumes-tiges, légumes-racines, légumes-fruits et champignons ;
- Pour le zinc, des BCF supérieurs à 1 pour des échantillons de légumes-feuilles, légumes-tiges, légumes-racines, légumes-fruits, les aromates et les tubercules ;
- Pour le cuivre et le nickel, des BCF supérieurs à 1 pour des échantillons de légumes-feuilles, d'aromates et de légumes-fruits ;
- L'aluminium, le plomb et l'arsenic ont les valeurs de BCF les plus faibles pour l'ensemble des espèces végétales. L'arsenic possède cependant 2 échantillons de légumes-feuilles pour lesquels les BCF sont supérieurs à 1 ;
- Les légumes-bulbes, légumes-fleur et les fruits (issues ou non d'un arbre) n'ont aucune valeur de BCF dépassant 1 ;
- Pour rappel, la valeur BCF pour le titane est à considérer avec prudence en raison de la minéralisation partielle dans le sol – les valeurs BCF seraient, par conséquent, surestimées.

Les gammes de valeurs de BCF calculées pour chaque ETMM pour les végétaux potagers et leur fréquence¹⁶ exprimée sous forme de pourcentage sont présentées en Figure 13. Le nombre d'échantillons sur lequel s'appuient les valeurs de BCF pour chaque substance est indiqué par la valeur du nombre « n ».

¹⁶ Nombre des BCF calculés, par gamme de valeur et par substance, sur le nombre total de BCF calculés par substance

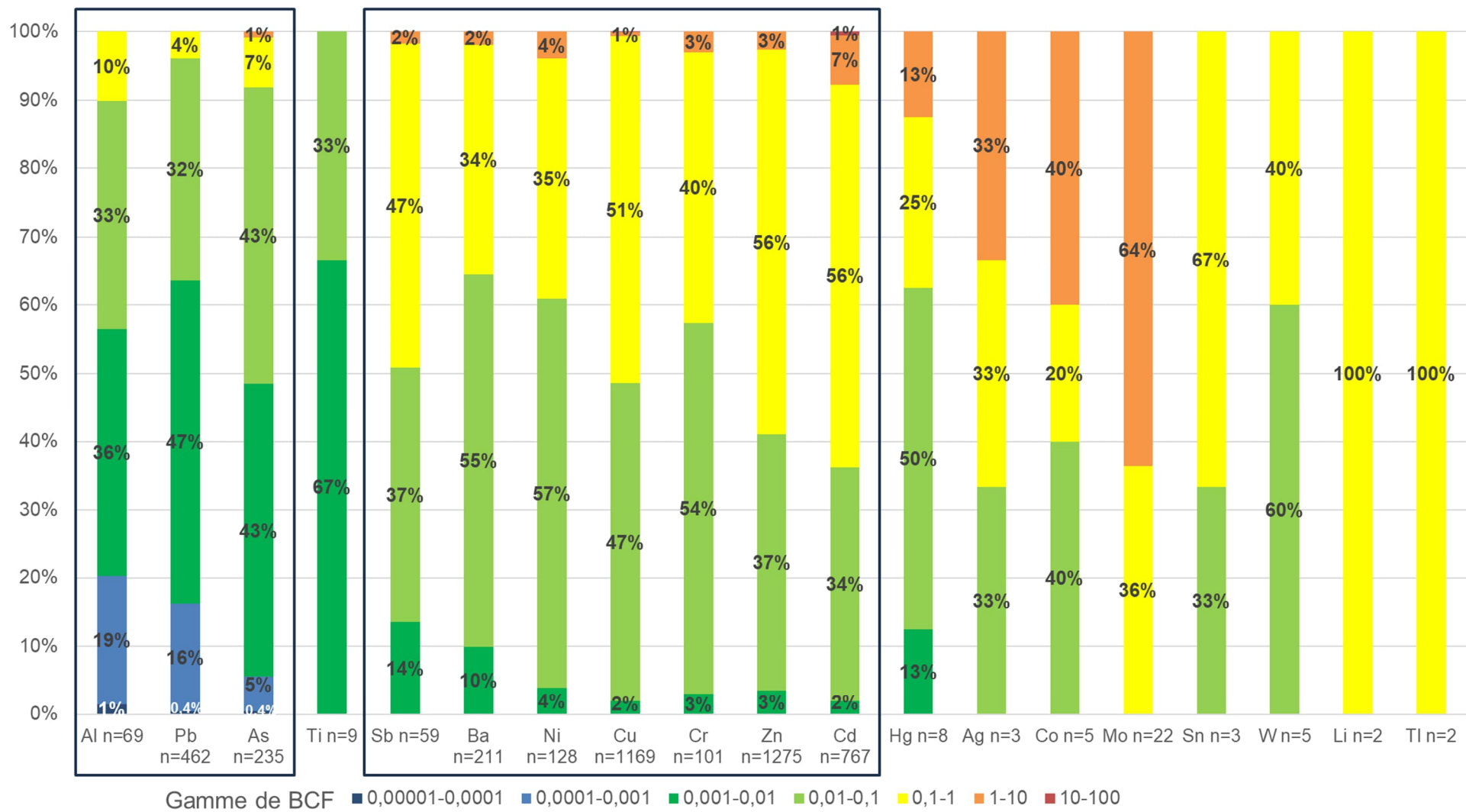


Figure 13 : Fréquence des gammes de BCF par métaux

La *Figure 13* permet de dégager plusieurs tendances concernant certains ETMM. En effet, il est possible de les regrouper les ETMM selon de grandes tendances de leur BCF tous végétaux potagers confondus comme indiqué dans le *Tableau 8* **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 8 : Groupement d'ETMM en fonction de leur BCF pour les végétaux potagers

Substances (n : nombre de valeurs calculées)	Tendances observées sur les gammes de BCF
Al (n=69) Pb (n=462) As (n=235)	Majorités de BCF faibles à très faibles ($0,001 < BCF < 0,1$) ; Ces 3 ETMM possèdent des BCF très faibles, inférieurs à 0,0001, et même plus ponctuellement inférieurs à 0,00001.
Sb (n=59) Ba (n=211) Ni (n=128) Cu (n=1169) Cr (n=101) Zn (n=1275) Cd (n=767)	Majorités de BCF faibles à modérées ($0,01 < BCF < 1$) ; Ces ETMM présentent ponctuellement des BCF supérieurs à 1 voire même à 10 (48,8 pour le cadmium). Ces BCF élevés ne représentent pas plus de 10% de l'ensemble des données. Le cadmium possède la plus grande proportion (7%) de BCF compris entre 1 et 10 pour ce groupe ; Les BCF faibles (entre 0,001 et 0,01) représente moins de 15% des données.
Ti (n=9)* Sn (n=3) Hg (n=8) Ag (n=3) Co (n=5) Mo (n=22) Li (n=2) Tl (n=2) W (n=5)	ETMM avec $n < 30$; Le faible nombre de valeurs de BCF nécessite de la prudence dans l'interprétation des résultats : aucune conclusion n'est émise.

* Pour Ti, les BCF sont certainement surestimées en raison d'une analyse des sols réalisée avec un acide de type eau régale et non avec de l'acide fluorhydrique – la valeur dans les sols serait de ce fait sous-estimée.

4.4 Comparaison aux valeurs réglementaires dans les végétaux potagers

Des textes réglementaires européens encadrent les concentrations maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires dans le cadre de leur commercialisation sur le marché européen. Ces valeurs peuvent être utilisées, de manière indicative pour apprécier la qualité des végétaux auto-produits, à défaut de valeurs adaptées au contexte des jardins potagers. En effet, à ce jour, aucun règlement n'encadre la qualité des végétaux auto-produits.

Deux règlements donnent des teneurs maximales dans les denrées alimentaires pour la consommation humaine commercialisées sur le marché européen :

- Règlement (UE) 2023/915 de la commission du 25 avril 2023 concernant les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et abrogeant le règlement (CE) no 1881/2006 ;
- Règlement (UE) 2024/1987 de la commission du 30 juillet 2024 modifiant le règlement (UE) 2023/915 en ce qui concerne les teneurs maximales en nickel de certaines denrées alimentaires.

Pour les végétaux consommés par l'Homme, les teneurs maximales admissibles sont fixées par catégorie de végétaux. Cependant, certaines catégories de végétaux ne sont pas spécifiées dans les règlements (notamment légumes-tiges et fines herbes pour le plomb, légumes-bulbes...). Des propositions sont faites et des hypothèses retenues afin d'attribuer à chaque catégorie de végétaux la valeur maximale admissible la plus pertinente. Les valeurs retenues dans le cadre du présent rapport sont présentées dans l'Annexe 4.

4.4.1 Comparaison des concentrations dans les végétaux aux valeurs réglementaires pour le cadmium

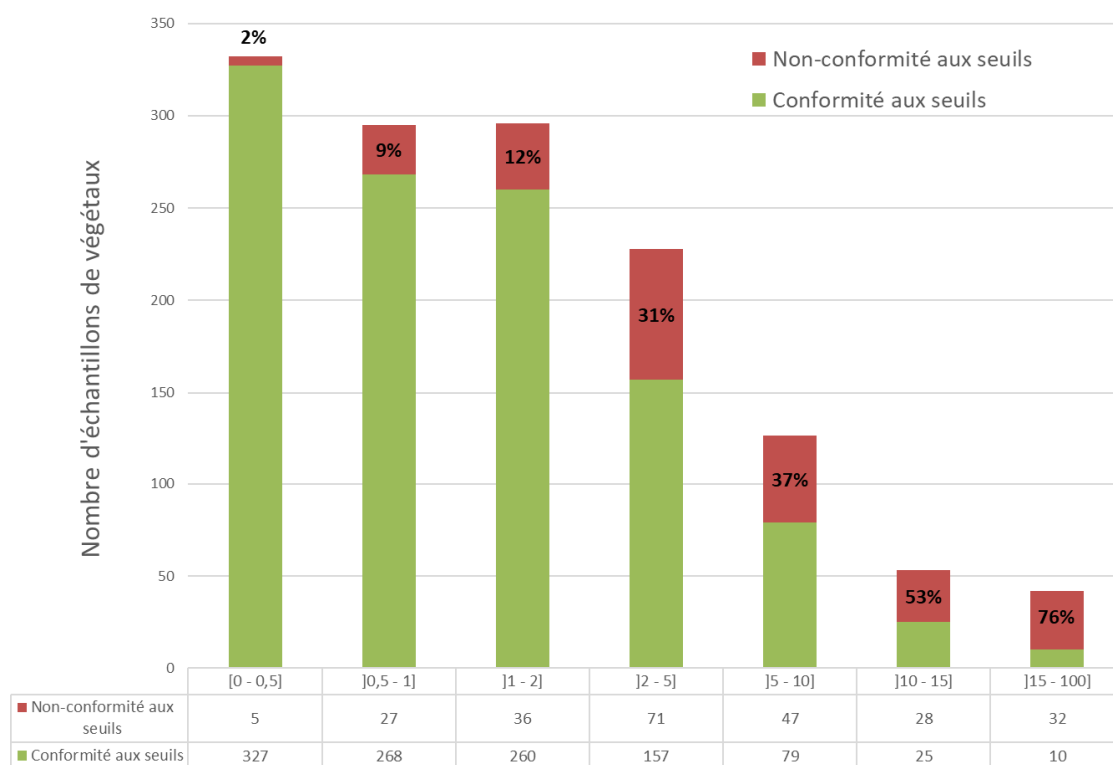
La forte mobilité du cadmium dans les sols et son transfert aux plantes est reconnu et a été très étudié dans la littérature, et notamment dans le cas de sites pollués. Le cadmium est considéré comme un des ETMM les plus écotoxiques avec des effets néfastes sur de nombreux processus biologiques chez les humains, les animaux et les plantes. La solubilité du cadmium est liée à l'acidité du sol. Des études suggèrent que le cadmium peut être transporté dans les plantes sous forme de complexes métallo-organiques. Le cadmium est connu pour s'accumuler dans les racines des plantes (Kabata-Pendias, 2011).

4.4.1.1 Cadmium : Tendance générale

La *Figure 14* présente le nombre d'échantillons de végétaux potagers ainsi que le pourcentage des échantillons conformes et non-conformes aux valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols.

Les gammes de concentrations dans les sols pour le cadmium (comprises entre 0,3 et 87,8 mg/kg MS) ont été découpées en fonction des seuils de vigilance et d'action rapide proposées par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) en 2022 (Annexe 3). La gamme [0 – 0,5] contient également les échantillons de sol pour lesquels les concentrations mesurées étaient inférieures à la limite de quantification du laboratoire.

Pour les végétaux, les teneurs des 1 372 échantillons analysés ont pu être compilées et comparées aux valeurs réglementaires fixées pour le cadmium, comprises entre 0,02 et 0,2 mg/kg MF selon la catégorie (cf. Annexe 4). Cette comparaison a fait ressortir 246 dépassements.



Gamme de concentration en cadmium dans les sols en mg/kg MS

Figure 14 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium pour les contaminants dans les denrées alimentaires en fonction de la concentration dans le sol (mg/kg)

La *Figure 14* montre que 93% (1277 sur 1372) des échantillons de végétaux ont été prélevés sur des sols ayant une teneur en cadmium inférieure à 10 mg/kg MS, valeur d'action rapide retenue pour la population générale.

Le taux d'échantillons de végétaux supérieurs aux valeurs réglementaires augmente avec la teneur en cadmium dans les sols. Le pourcentage de dépassement est faible (<10%) pour les sols dont la concentration est inférieure à 0,5 et 1 mg/kg MS, seuils de vigilance définis pour les scénarios de culture potagère avec 100% ou 50% d'autoconsommation, respectivement.

Le pourcentage d'échantillons non-conformes passe ainsi de 9% à 37 % pour les intervalles]0,5 – 10] puis atteint la valeur maximale de 76% pour des concentrations comprises entre 15 et 100 mg/kg MS.

A des teneurs en cadmium inférieures à 2 mg/kg MS, des dépassements des valeurs réglementaires peuvent être ponctuellement observés. Ainsi, le pourcentage de dépassement des valeurs réglementaires est compris entre 2 et 12% pour les sols dont les teneurs en cadmium sont inférieures à 2 mg/kg MS, valeur d'action rapide pour les enfants de moins de 7 ans, avec une autoconsommation de 100% de végétaux.

4.4.1.2 Cadmium : Détails par catégories et espèces végétales

La Figure 15 détaille la répartition par catégorie végétale (les 5 catégories utilisées dans Modul'ERS) des échantillons analysés pour le cadmium, en fonction des concentrations mesurées dans les sols. Les données conformes sont représentées par des barres pleines dans l'histogramme, tandis que les données non conformes sont illustrées par des barres hachurées.

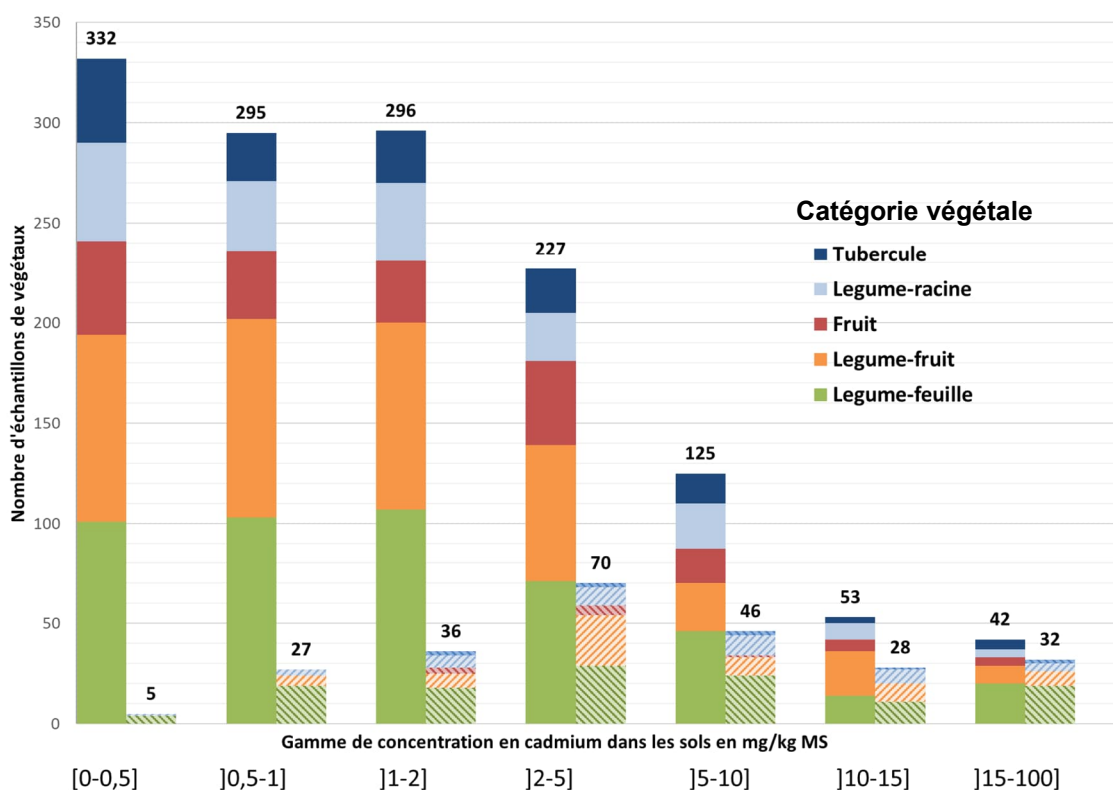


Figure 15 : Répartition des dépassements des valeurs réglementaires du cadmium selon les catégories végétales en fonction des concentrations dans les sols

L'augmentation de la concentration en cadmium dans le sol se traduit par une augmentation du pourcentage de non-conformité, notamment pour les légumes-feuilles et dans une moindre mesure les légumes-racines. Le pourcentage de non-conformité des fruits reste faible (entre 0 et 12%) pour l'ensemble des gammes de teneurs dans les sols. Le taux de non-conformité des légumes-fruit dépasse 50% (78%) uniquement dans la gamme]15-100]. Les fruits possèdent des taux de dépassement faible quelque soit la concentration. Pour les tubercules, le taux de non-conformité augmente légèrement avec les concentrations dans les sols pour atteindre 40% au-delà de 15 mg/kg MS.

La *Figure 16*, ci-dessous, illustre le taux de dépassement par espèce végétale pour celles concernées par des dépassements de la valeur réglementaire pour le cadmium. Les données présentées ne prennent en compte que les espèces végétales dont le nombre total d'échantillons est supérieur ou égal à 5 (choix arbitraire) et pour lesquels un taux de dépassement a été calculé.

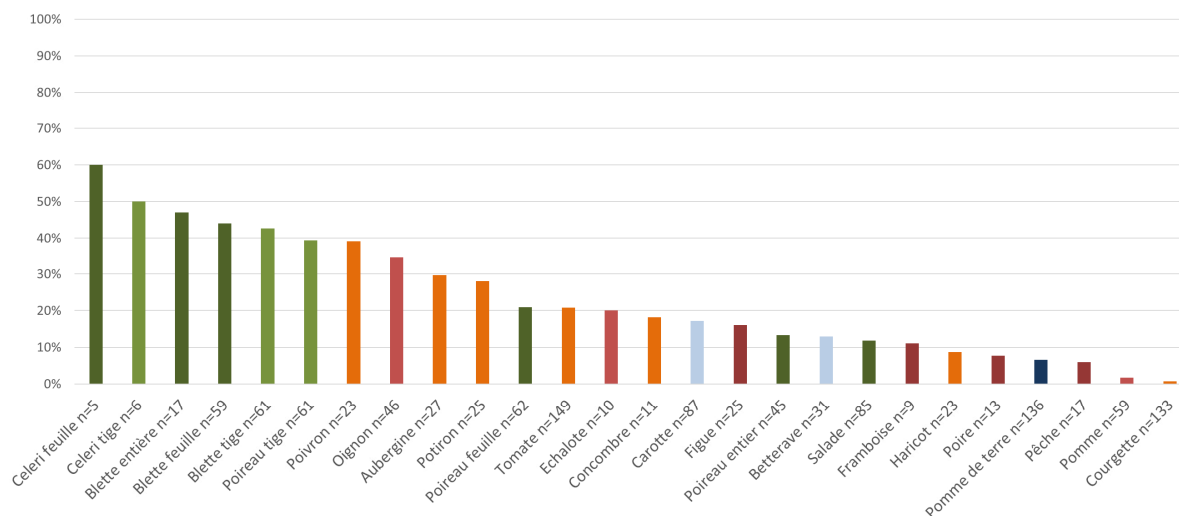


Figure 16 : Pourcentage d'échantillons qui dépassent les valeurs réglementaires par espèce végétale pour le cadmium

Les facteurs de dépassement maximums ont été observés en particulier pour le céleri feuille et tige (60 % et 50% de dépassement sur l'ensemble des analyses pour ce végétal). Suivis par les blettes avec plus de 40 % de dépassement, que cela soit au niveau du végétal dans son intégralité, ou bien dans les tiges et feuilles.

Pour le cadmium, les taux de dépassement des valeurs réglementaires les plus élevés sont observés pour : le céleri (tiges et feuilles), les blettes, les poireaux ou encore les poivrons.

4.4.2 Comparaison des concentrations dans les végétaux aux valeurs réglementaires pour le plomb

Le plomb est le moins mobile des ETMM et s'associe avec la matière organique du sol. Un pH élevé dans le sol peut entraîner la précipitation du plomb sous forme d'hydroxydes, de phosphates ou de carbonates ainsi que la formation de complexe stable entre la matière organique du sol et le plomb. Le plomb est également un élément toxique pour les plantes (Kabata-Pendias, 2011).

4.4.2.1 Plomb : Tendances générales

La *Figure 17* présente le nombre d'échantillons de végétaux potagers ainsi que le pourcentage des échantillons conformes et non-conformes aux valeurs réglementaires pour le plomb en fonction des concentrations dans les sols.

Les gammes de concentrations dans les sols pour le plomb (comprises entre 5 et 20 100 mg/kg MS, médiane à 121 mg/kg MS) ont été découpées en fonction des niveaux de vigilance (100 mg/kg MS) et d'intervention rapide (300 mg/kg MS) proposées par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) en 2014 (Annexe 3) pour deux des 7 gammes. La gamme [0 – 50[contient également les échantillons de sol pour lesquels les concentrations mesurées étaient inférieures à la limite de quantification du laboratoire.

Les concentrations en plomb des 1 372 végétaux potagers ont été comparées aux valeurs réglementaires dans les denrées alimentaires destinées à la commercialisation (Règlement (UE) 2023/915) fixées pour le plomb, comprises entre 0,05 et 0,3 mg/kg MF (cf. Annexe 4). Cette comparaison a fait ressortir 255 dépassements.

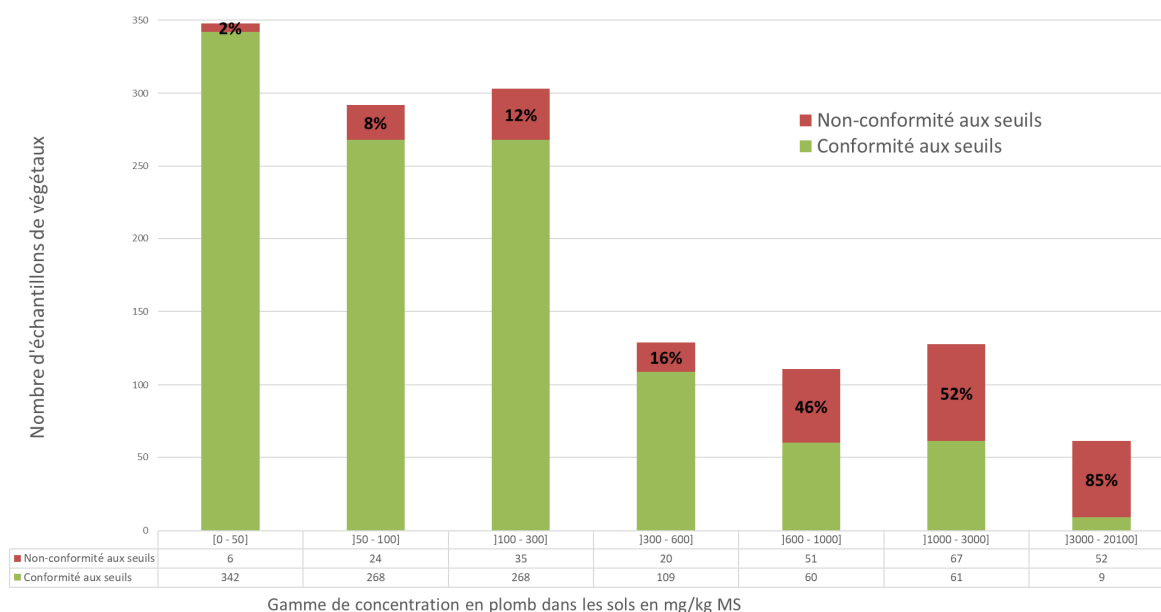


Figure 17 : Taux de dépassement des valeurs règlementaires pour le plomb pour les contaminants dans les denrées alimentaires

La Figure 17 montre que 58 % (645 sur 1 372) des échantillons de végétaux ont été prélevés sur des sols ayant une teneur en plomb comprise entre 50 et 600 mg/kg MS.

Le taux d'échantillons de végétaux non-conformes aux valeurs règlementaires augmente avec la teneur en plomb dans les sols. Le pourcentage de dépassement est faible (2%) pour les sols dont la concentration est inférieure à 50 mg/kg MS qui correspond à la borne supérieure de la gamme des valeurs des sols « ordinaires » en plomb données par ASPITET (Annexe 1). Les quatre échantillons dépassant les valeurs règlementaires sur ce premier intervalle sont des échantillons de blette, de thym et de menthe. Les herbes aromatiques sont en effet connues pour avoir une tendance à accumuler les métaux (Ademe & Ineris, 2014).

Le pourcentage d'échantillons non-conformes est constant entre 50 et 300 mg/kg MS, compris entre 8% et 12%. Ce pourcentage augmente avec la concentration dans le sol pour les gammes supérieures qui sont plus étendues (16 à 85% au-delà de 300 mg/kg MS).

- **Quelques dépassements des seuils règlementaires sont observés pour des teneurs en plomb dans les sols inférieures à la valeur maximale observée dans les sols « ordinaires » (soit 50 mg/kg MS en plomb) ;**
- **Le pourcentage de dépassement des valeurs règlementaires est compris entre 2 et 8% pour des teneurs dans les sols inférieures à 100 mg/kg MS de plomb.**

4.4.2.2 Plomb : Détails par catégories et espèces végétales

La Figure 18 détaille la répartition par catégorie végétale des dépassements des valeurs règlementaires, en fonction des concentrations en plomb mesurées dans les sols. Les données conformes sont représentées par des barres pleines dans l'histogramme, tandis que les données non conformes sont illustrées par des barres hachurées. Par ailleurs, la plus grande proportion de dépassement chez les végétaux concerne les légumes feuilles, et dans une moindre mesure, les légumes fruits et racines.

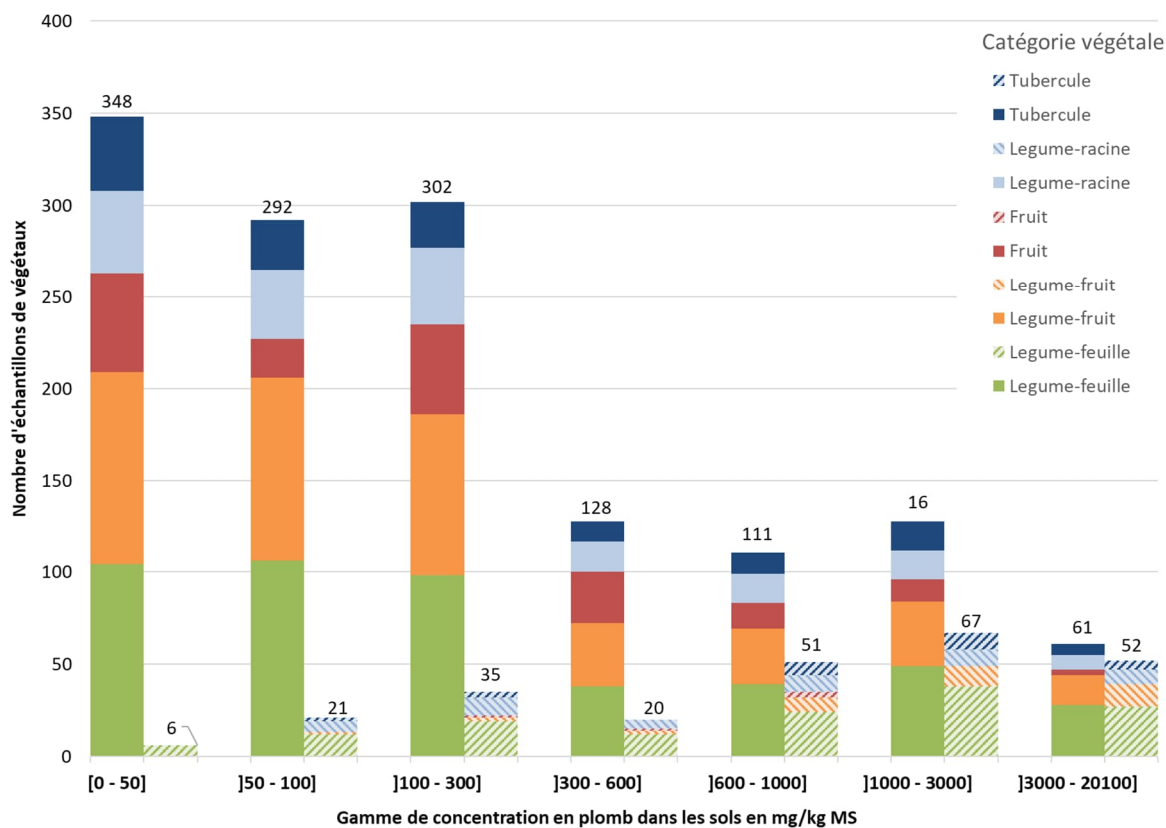


Figure 18 : Répartition des dépassements des valeurs réglementaires du plomb selon les espèces végétales en fonction des concentrations dans les sols

L'augmentation de la concentration en plomb dans le sol se traduit par une augmentation du pourcentage de non-conformité pour l'ensemble des catégories végétales à l'exception des fruits et des légumes-fruits. Ainsi, le pourcentage de non-conformité des fruits reste faible (entre 0 et 21%) pour l'ensemble des gammes de teneurs dans les sols. Le taux de non-conformité des légumes fruit dépasse 50% (75%) uniquement dans la gamme]3000-20 100].

La Figure 19, ci-dessous, illustre le taux de dépassement par espèce végétale pour celles concernées par des dépassements de la valeur réglementaire pour le plomb. Les données présentées ne prennent en compte que les espèces végétales dont le nombre total d'échantillons est supérieur ou égal à 5 (choix arbitraire) et pour lesquels un taux de dépassement a été calculé.

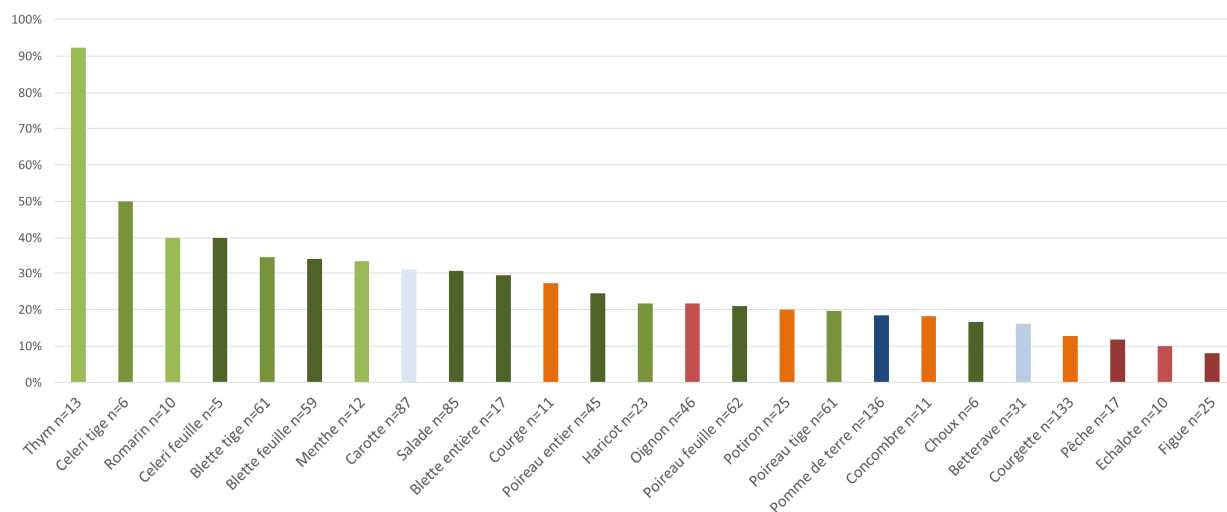


Figure 19 : Pourcentage de dépassement des valeurs réglementaires par espèces végétales pour le plomb

Les taux les plus élevés de non-conformité des valeurs réglementaires pour le plomb sont notamment mis en évidence pour le thym (90%) et le céleri tige (50 %). On observe également que les taux les plus importants appartiennent à la famille des légumes feuilles et des aromates (couleur verte).

Pour le plomb, les taux de dépassement des valeurs réglementaires les plus élevés sont observés pour : le thym, le céleri tige/feuille et le romarin.

4.4.3 Comparaison des concentrations dans les végétaux aux valeurs réglementaires pour le nickel

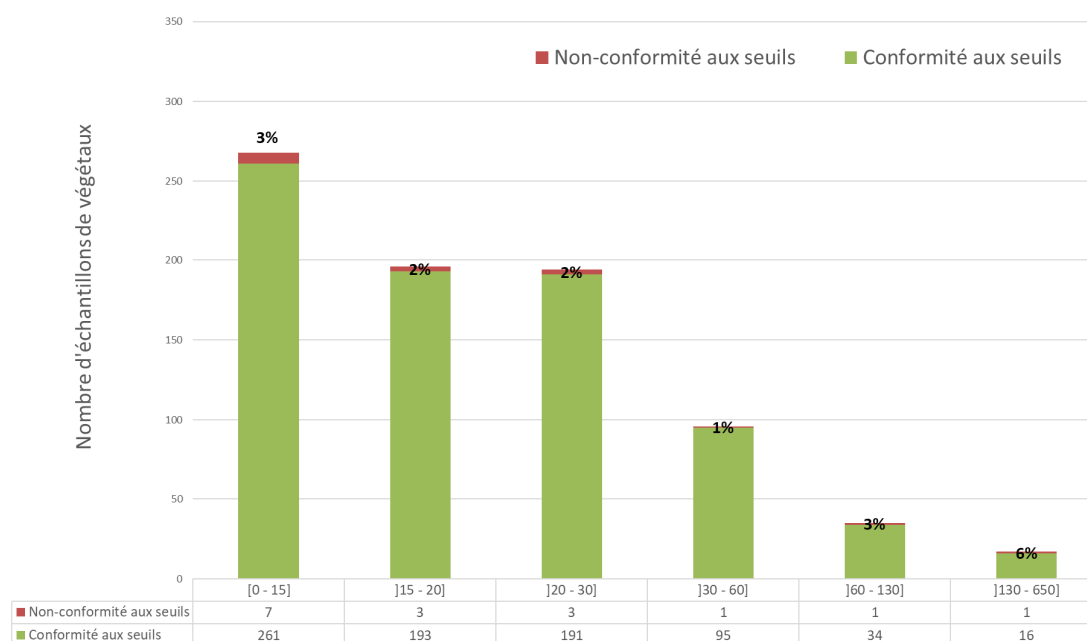
Le nickel est modérément mobile dans le sol et se retrouve principalement dans la fraction résiduelle du sol. Plusieurs propriétés du sol, notamment la fraction argileuse, la matière organique et le pH, contrôlent le comportement du nickel et en particulier la phytodisponibilité. Le type de plante et les facteurs pédologiques conditionnent les transferts du sol vers les plantes, le pH est le facteur ayant le plus d'influence (Kabata-Pendias, 2011).

4.4.3.1 Nickel : Tendances générales

Les concentrations en nickel dans les sols sont comprises entre 3 et 520 mg/kg MS, 2 ordres de grandeur séparent la valeur minimale de la valeur maximale avec une médiane de 18,8 mg/kg MS.

Les concentrations en nickel des 806 analyses réalisées sur les végétaux potagers ont été comparées aux valeurs réglementaires dans les denrées alimentaires (Règlement (UE) 2024/1987). Il ressort de cette comparaison 16 dépassements.

La *Figure 20* montre la répartition des échantillons de végétaux en fonction des teneurs en nickel dans les sols ainsi que le pourcentage des échantillons conformes et non-conformes aux valeurs réglementaires pour le nickel, comprises entre 0,4 et 10 mg/kg MF en fonction des espèces végétales.



Gamme de concentration en nickel dans les sols en mg/kg MS

Figure 20 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du nickel pour les contaminants dans les denrées alimentaires

Ce graphique montre que 80% (645 sur 806) des échantillons de végétaux ont été prélevés sur des sols ayant une concentration en nickel comprise entre 0 et 30 mg/kg MS. Le taux d'échantillons de végétaux non-conformes aux seuils est très faible sur tous les intervalles, avec des taux de dépassements compris entre 1 et 6 %. L'augmentation de la concentration en nickel dans le sol ne semble pas entraîner d'augmentation du pourcentage de non-conformité dans les végétaux.

- On observe peu de dépassement dans les échantillons de végétaux prélevés à des concentrations en nickel comprises entre 3,5 et 520 mg/kg MS dans le sol ;
- Les taux de dépassements sont compris entre 1 et 6% quelle que soit la teneur en nickel dans les sols.

4.4.3.2 Nickel : Détails par espèce végétale

Les dépassements des valeurs réglementaires en nickel sont observés pour les légumes-feuilles et les légumes-fruits. Le nickel possède moins de valeurs réglementaires que le plomb et le cadmium. La Figure 21 illustre le taux de dépassement global de chaque végétal pour lequel des dépassements ont été observés. Les espèces végétales pour lesquelles le nombre total d'échantillons est inférieur à 5 (choix arbitraire) n'ont pas été prises en compte. Le nombre total d'échantillons analysés est inscrit sous le nom de chaque espèce végétale.

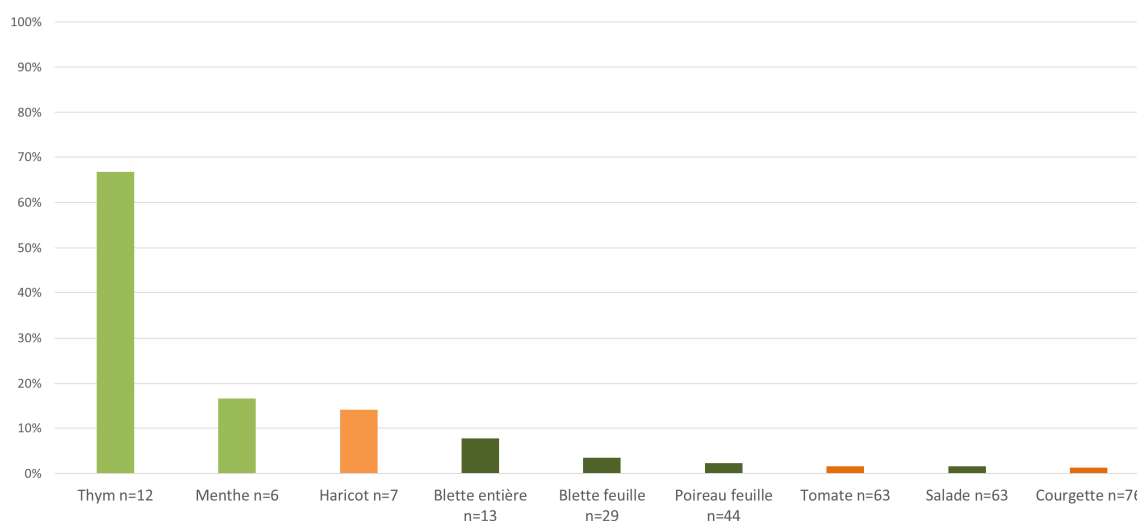


Figure 21 : Pourcentage de dépassement des valeurs réglementaires par espèces végétales pour le nickel

Les taux les plus élevés de non-conformité des valeurs réglementaires pour le nickel sont observés pour les aromates, notamment le thym (65%), la menthe, les légumes-feuilles et les légumes-fruits.

Étant donné le nombre limité de couples d'échantillons disponibles et quantifiés, l'analyse de conformité pour le nickel dans les poireaux et les blettes n'a pas été approfondie. En effet, les deux couples de feuilles et tiges de blettes, ainsi que les quatre couples de feuilles et tiges de poireaux, ne sont pas suffisants pour établir les droites de régression pour le nickel.

4.4.4 Cas particuliers des légumes-tiges

4.4.4.1 Plomb

Dans le cadre de certaines études IEM, le « blanc » des blettes et des poireaux a été séparé du « vert » et ces deux parties ont fait l'objet d'une analyse chimique. Les analyses ont donc parfois consisté à analyser le cadmium de manière distincte sur la tige et les feuilles. Ce chapitre s'intéresse au transfert entre la tige et les feuilles.

4.4.4.1.1 Poireau

La *Figure 22*, *Figure 23* et *Figure 24* indiquent la proportion d'échantillons conformes et non-conformes aux valeurs réglementaires respectivement pour les tiges (c'est-à-dire la portion blanche) du poireau, les feuilles et le poireau entier en fonction des gammes de concentrations en plomb dans les sols.

Les premiers dépassements des valeurs réglementaires sont constatés dès l'intervalle]50 – 100] mg/kg MS pour les feuilles de poireau et le poireau entier, avec des proportions de dépassement respectivement de 7 et 6%. La proportion d'échantillons non-conformes augmentent avec la concentration dans les sols pour atteindre 100% à partir de 3 000 mg/kg MS pour les tiges et les feuilles tandis que pour le poireau entier, seul 1 échantillon sur 9 est conforme au-delà de 300 mg/kg MS.

Au vu des données, le taux de dépassement entre les tiges et les feuilles semble avoir la même tendance. Le poireau entier semble avoir un comportement différent mais cela peut aussi être dû au faible nombre d'échantillon analysé sur des sols avec des teneurs supérieures à 300 mg/kg MS (9 échantillons contre 23 pour les tiges et feuilles).

La droite de régression donnée en *Figure 25* possède un coefficient directeur de 7,8 avec une corrélation moyenne ($R^2 = 0,6$) ce qui indique que les feuilles de poireaux possèdent, a priori, des concentrations en plomb sept fois supérieures à celles dans les tiges pour une même concentration dans le sol. Un total de 19 échantillons a été conservés pour l'analyse, un échantillon a été considéré comme aberrant et a été éliminé de l'analyse. La relation mise en évidence ici est cependant très influencée par les points extrêmes et le faible nombre d'échantillon.

- **Les poireaux ne présentent aucun dépassement des valeurs réglementaires pour des teneurs en plomb dans les sols inférieurs à la fourchette haute de la gamme des sols « ordinaires » (soit 50 mg/kg MS en plomb) ;**
- **Pour les feuilles de poireaux, les concentrations dépassent les teneurs maximales admissibles en plomb dans les denrées alimentaires pour des teneurs en plomb dans les sols supérieurs à 50 mg/kg MS ;**
- **Pour les tiges de poireaux, les dépassements des teneurs maximales admissibles en plomb dans les denrées alimentaires sont observés à partir de teneurs dans les sols supérieures à 100 mg/kg MS ;**
- **Les feuilles de poireaux accumulent environ 7-8 fois plus de plomb que les tiges.**

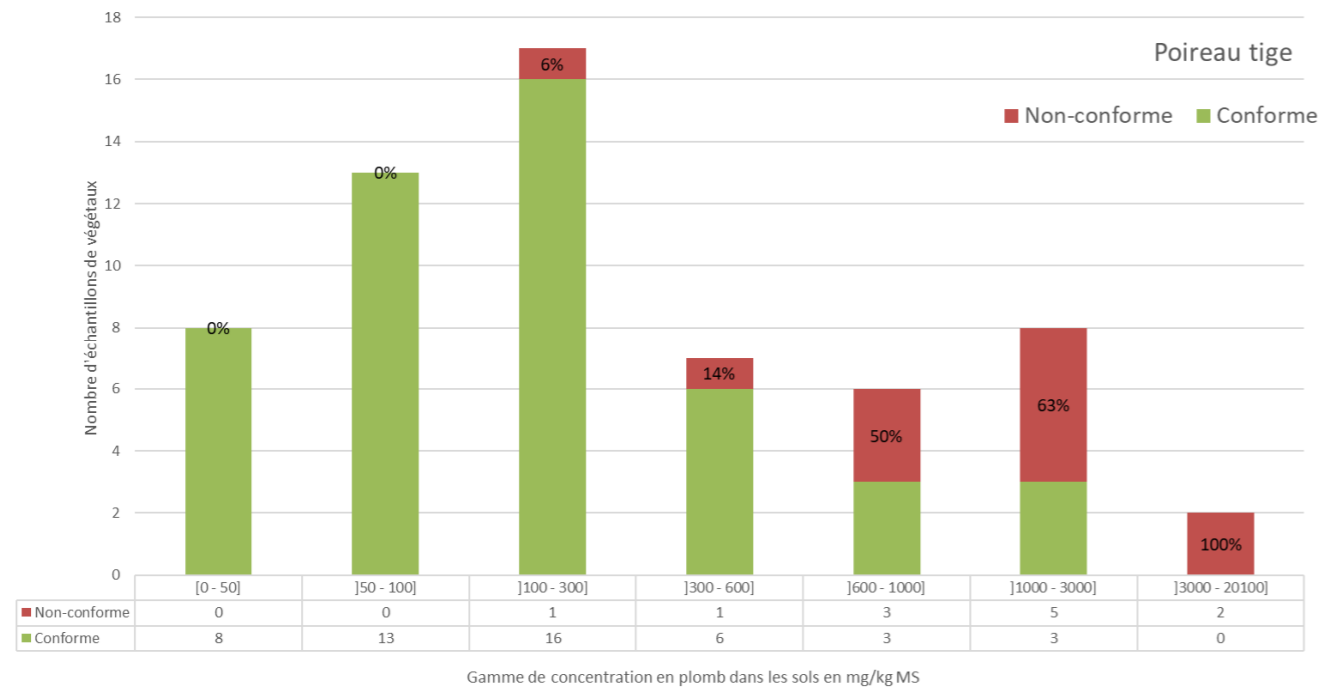


Figure 22 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du plomb en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les tiges de poireaux

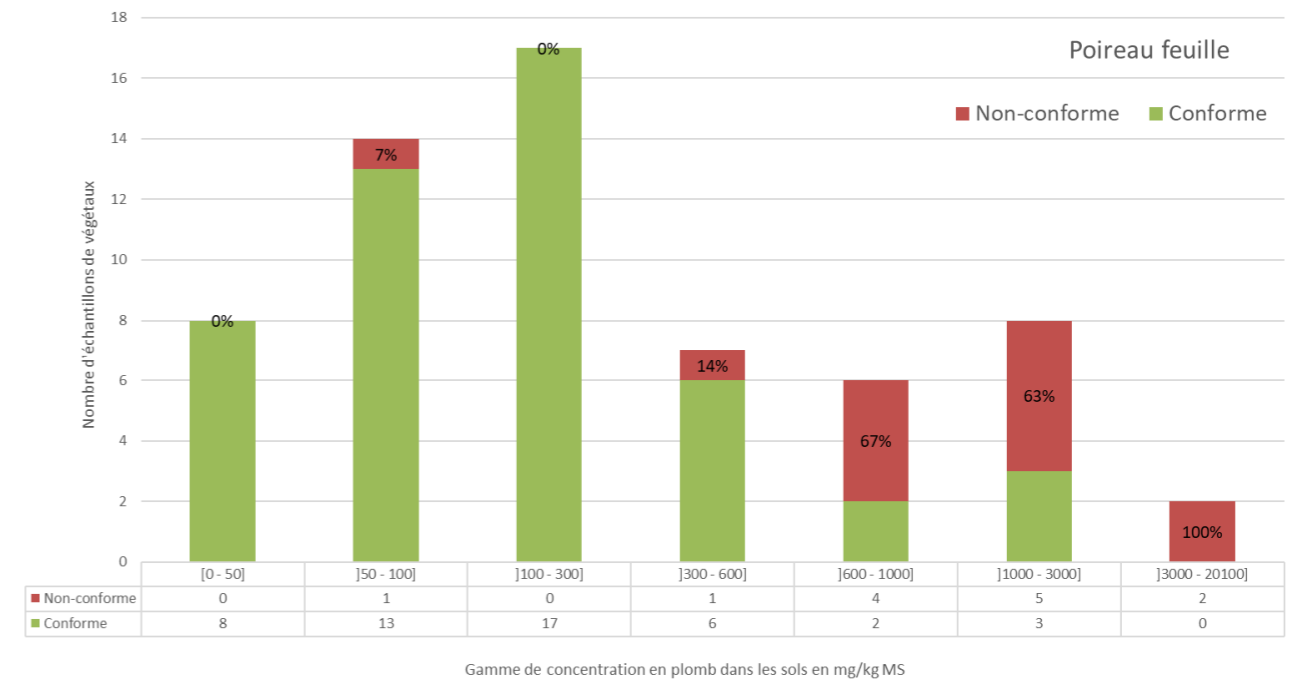


Figure 23 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les feuilles de poireaux

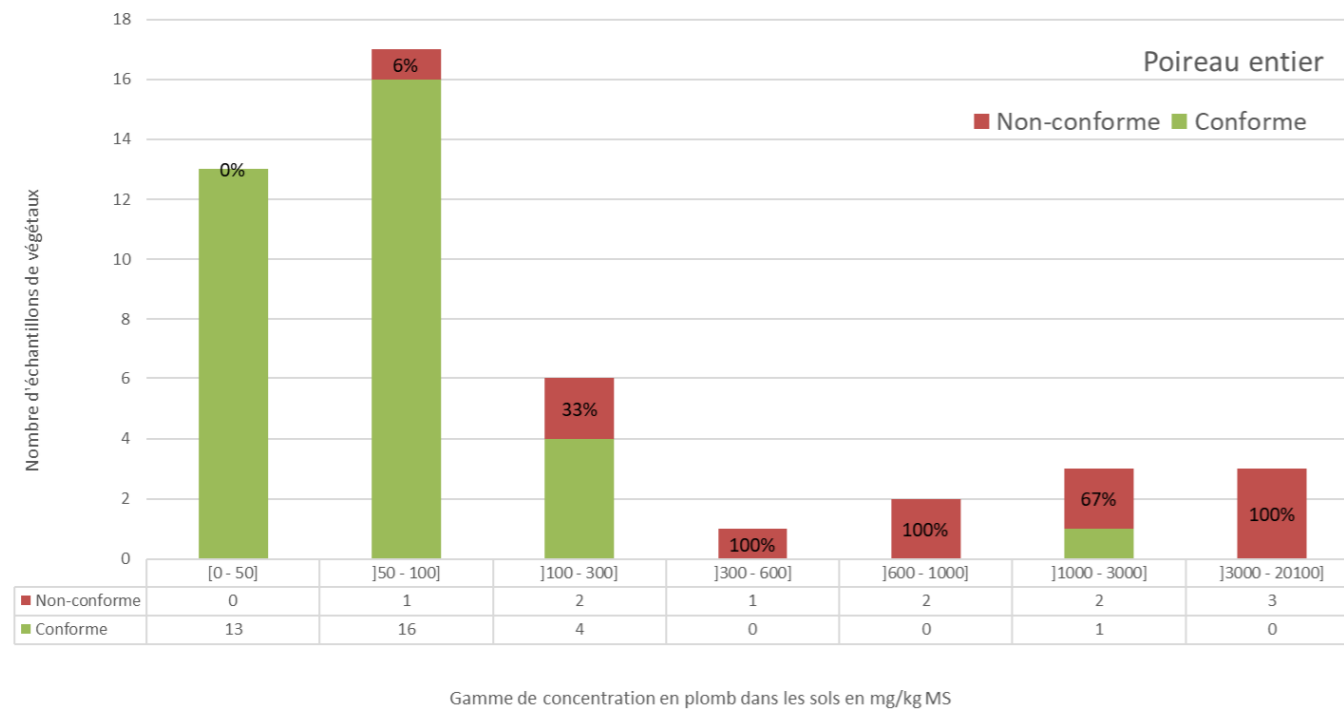


Figure 24 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les poireaux entiers

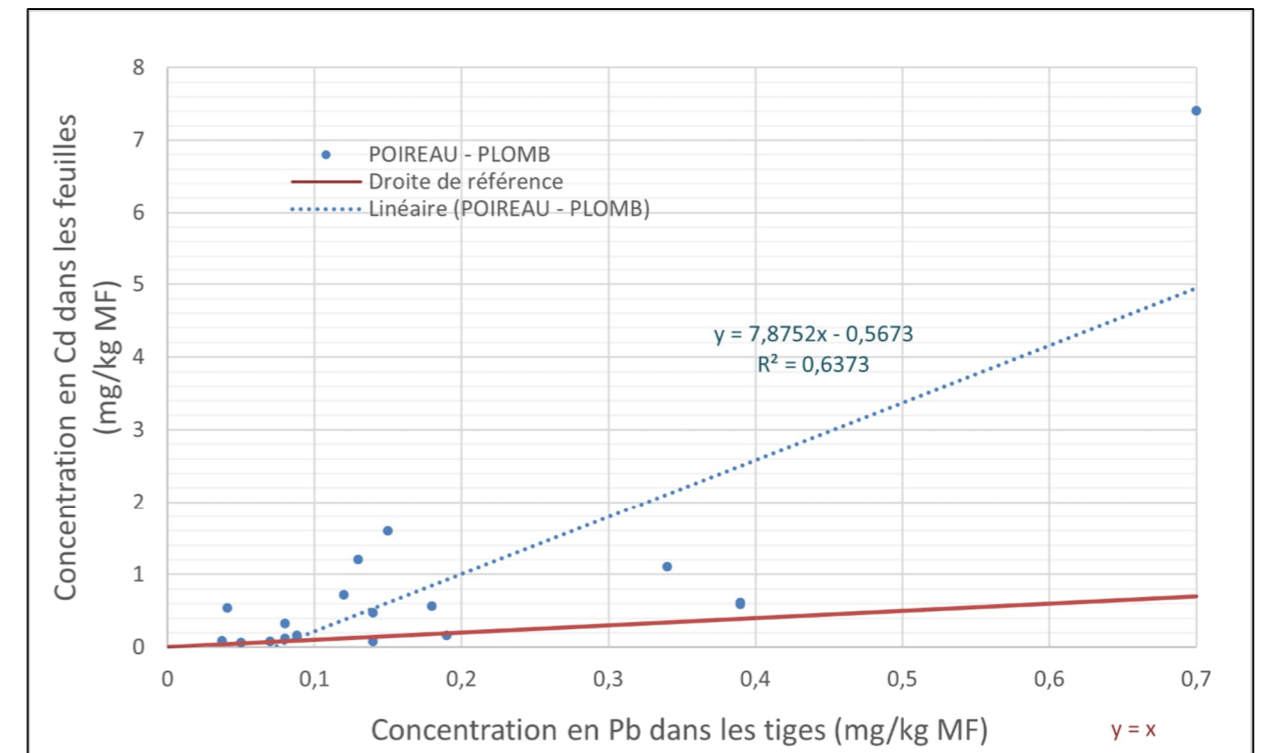


Figure 25 : Concentrations en plomb dans les tiges de poireaux en fonction des concentrations dans les feuilles de poireaux

4.4.4.1.2 Blette

La Figure 26, Figure 27 et Figure 28 présentent la proportion d'échantillons de végétaux dont la concentration en plomb est supérieure aux valeurs réglementaires en fonction des concentrations dans les sols.

Le premier dépassement de la valeur réglementaire est observé pour une teneur en plomb appartenant à l'intervalle de concentration de]0-50] mg/kg MS, avec un pourcentage de dépassement de 8%.

Les premiers dépassements de la valeur réglementaire sont constatés soit dès la première gamme de teneurs en plomb pour les blettes tige, à partir de 50 mg/kg MS pour la blette entière puis à partir de 100 mg/kg MS pour les feuilles de blettes, avec des proportions comprises entre 8% et 33% en fonction de la partie du végétal considéré. La proportion d'échantillons non-conformes augmentent progressivement quel que soit la partie du végétal considérée (tige, feuille ou blette entière).

Une non-conformité supérieure à 50% des échantillons est constaté à partir de 300 mg/kg MS dans les sols quel que soit la partie du végétal considérée. Ces conclusions sont faites considérant des valeurs réglementaires plus faible pour les blettes tiges et blettes entières (0,03 mg/kg MF en Cd) que pour les blettes feuilles (0,2 mg/kg MF en Cd).

Au vu des données, le taux de dépassement entre les tiges et les feuilles semble avoir la même tendance. Le poireau entier semble avoir un comportement différent mais cela peut aussi être dû au faible nombre d'échantillon analysé sur des sols avec des teneurs supérieures à 300 mg/kg MS (4 échantillons contre 21 pour les tiges et feuilles).

La droite de régression donnée en Figure 29 possède un coefficient directeur de 2,6 avec une corrélation moyenne ($R^2 = 0,56$) ce qui indique que les feuilles de blettes ont des concentrations en cadmium environ trois fois plus élevées que les tiges, pour une concentration identique en cadmium dans le sol. Cette observation tend à montrer une accumulation préférentielle du cadmium dans les feuilles par rapport aux tiges. Un total de 27 échantillons a été conservés pour l'analyse sans écarter de valeurs.

- **Les tiges de blettes présentent des dépassements des teneurs maximales admissibles en plomb dans les denrées alimentaires pour des concentrations dans les sols inférieures à la fourchette haute de la gamme dans les sols « ordinaires » (soit 50 mg/kg MS en plomb). Cependant, ce dépassement concerne un unique échantillon de tige sur les 13 échantillons de végétaux prélevés sur cette gamme de teneurs ;**
- **Pour les feuilles de blettes, les concentrations dans les végétaux dépassent les teneurs maximales admissibles sont constatées pour des teneurs en plomb dans les sols supérieurs à 100 mg/kg MS ;**
- **Les feuilles de blettes affichent des concentrations en plomb 2 à 3 fois plus élevées que les tiges, le plomb s'accumule préférentiellement dans les feuilles par rapport aux tiges.**

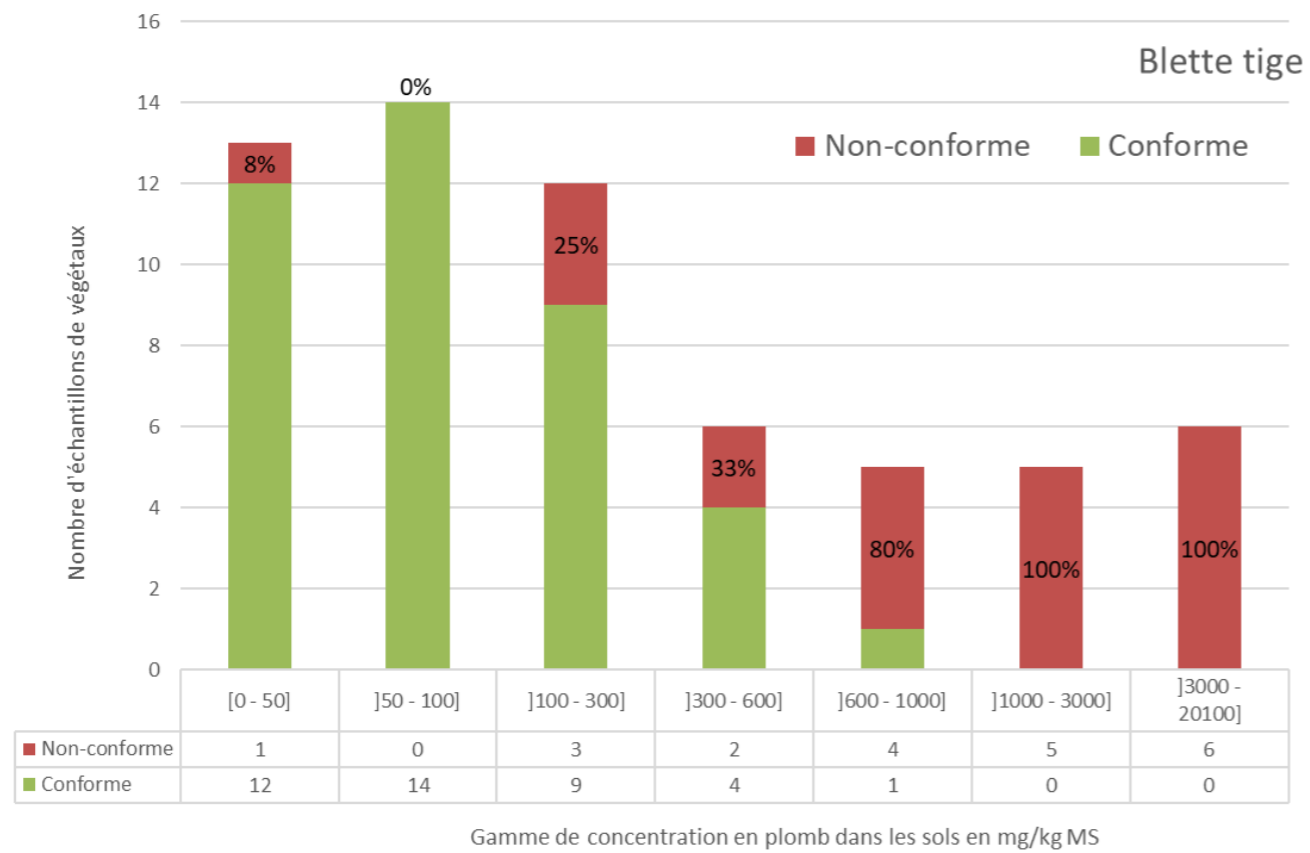


Figure 26 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les tiges de blettes

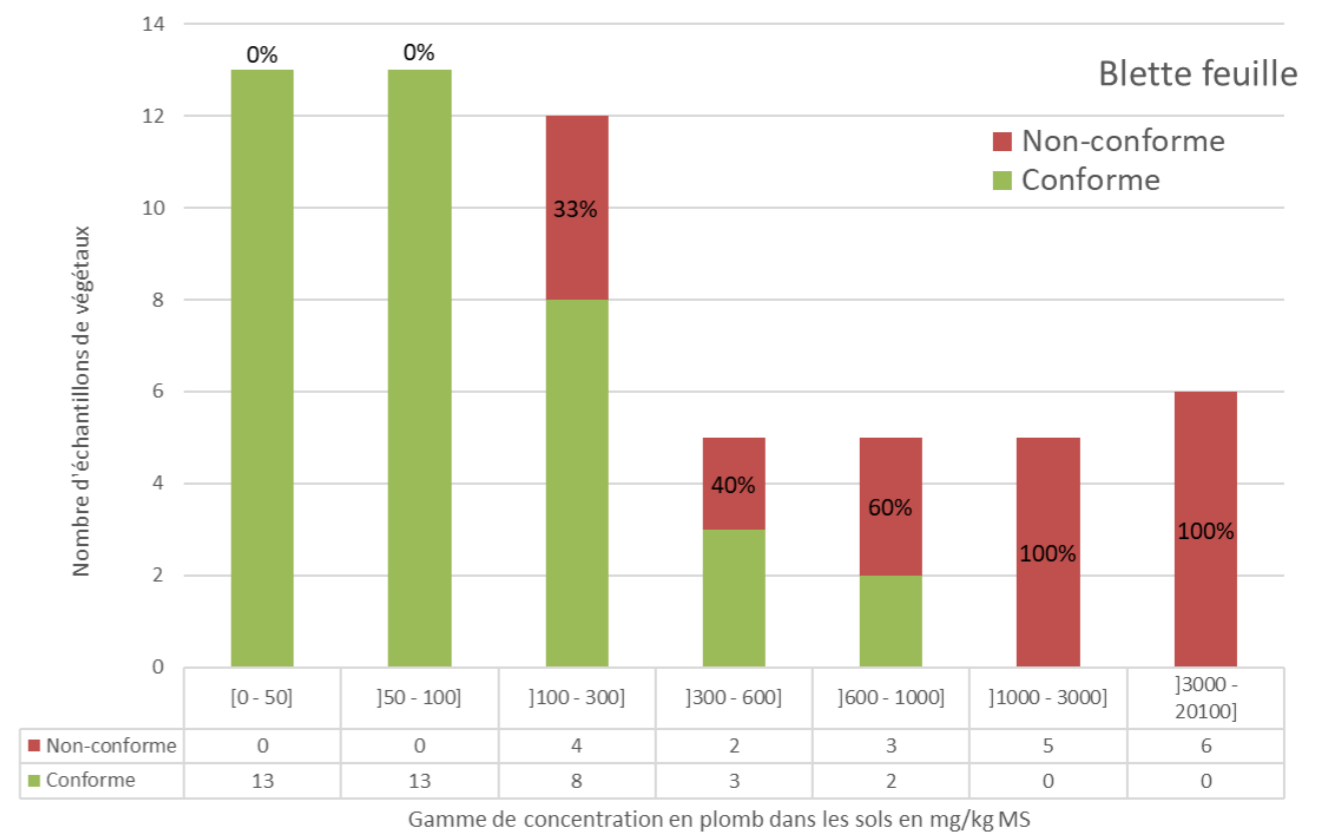


Figure 27 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les feuilles de blettes

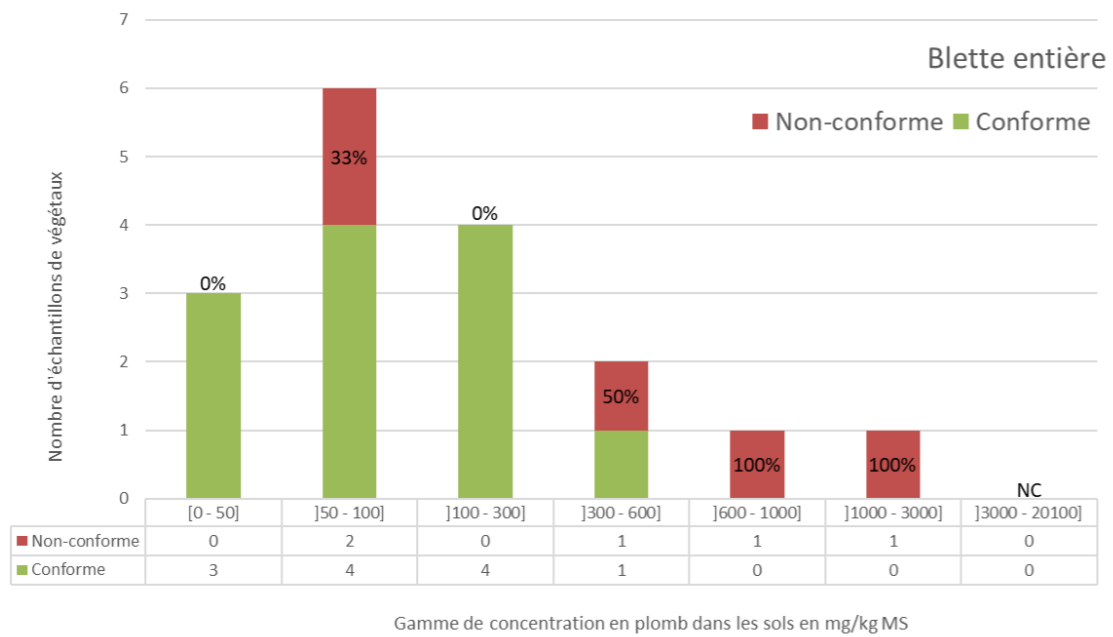


Figure 28 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires des denrées alimentaires en fonction des concentrations dans les sols en Pb pour les blettes entières

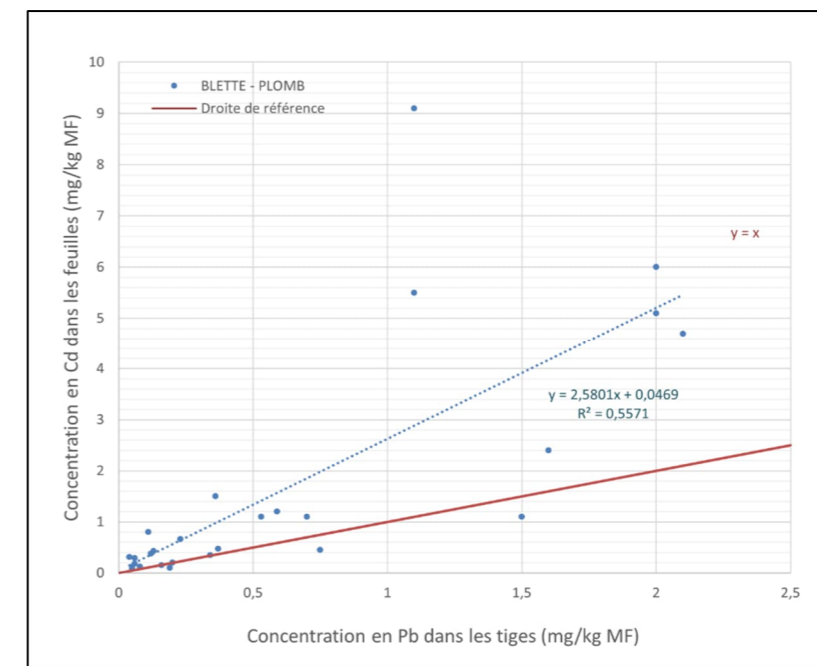


Figure 29 : Concentrations en plomb dans les tiges de blettes en fonction des concentrations dans les feuilles de blettes

4.4.4.2 Cadmium

Dans le cadre de certaines études IEM, le « blanc » des blettes et des poireaux a été séparé du « vert » et ces deux parties ont fait l'objet d'une analyse chimique. Les analyses ont donc parfois consisté à analyser le cadmium de manière distincte sur la tige et les feuilles. Ce chapitre s'intéresse au transfert entre la tige et les feuilles.

4.4.4.2.1 Poireau

Le poireau est une plante vivace d'une taille comprise entre 40 et 50 cm. Les figures suivantes (Figure 30, Figure 31 et Figure 32) indiquent la proportion d'échantillons conformes et non-conformes aux valeurs réglementaires du cadmium respectivement pour les tiges du poireau, les feuilles et le poireau entier en fonction des gammes de concentrations dans les sols.

Les premiers dépassements de la valeur réglementaire sont constatés à partir de l'intervalle]0,5 – 1] mg/kg MS de cadmium dans le sol, avec des proportions comprises entre 12% et 31% en fonction de la partie du végétal considéré. La proportion d'échantillons non-conformes augmentent rapidement pour le poireau tige pour atteindre 100% à partir de 5 mg/kg MS. Le pourcentage de dépassement reste modéré (compris entre 6% et 33%) pour le poireau entier et le poireau feuille entre 0,5 et 10 mg/kg MS. Le seuil de 100% de dépassement est atteint pour toutes les formes analysées à partir de 10 mg/kg MS dans le sol pour cette espèce végétale.

Au vu des données, le taux de dépassements est plus important pour les tiges (c'est-à-dire les blancs de poireaux) que pour les feuilles ou le poireau entier. Cela confirme les observations faites sur la *Figure 16* où presque 39 % des échantillons de tiges de poireau dépassaient la valeur réglementaire contre 21 % pour les feuilles de poireau. Ces différences s'expliquent, en partie, par un seuil réglementaire plus faible pour les poireaux tiges et poireaux entiers (0,04 mg/kg MF en Cd) que pour les poireaux feuilles (0,1 mg/kg MF en Cd).

La droite de régression donnée en Figure 33 possède un coefficient directeur proche de 1 (0,98) avec une bonne corrélation ($R^2 = 0,9$) ce qui indique que les feuilles de poireaux possèdent des concentrations en cadmium quasiment identiques à celles dans les tiges pour une même concentration dans le sol. Un total de 47 échantillons a été conservés pour l'analyse, un échantillon a été considéré comme aberrant et a été éliminé de l'analyse.

La relation mise en évidence ici est cependant très influencée par les deux points extrêmes. En les éliminant, la relation tend à montrer que les tiges ont tendance à avoir des concentrations supérieures aux feuilles ($a=0,7$ et $R^2 = 0,86$).

- **Les poireaux ne présentent aucun dépassement des valeurs réglementaires pour des teneurs en cadmium dans les sols inférieures à 0,5 mg/kg MS ;**
- **Pour les tiges de poireaux, les dépassements des teneurs maximales admissibles en cadmium dans les denrées alimentaires sont observés en proportions plus importantes par rapport aux feuilles ou au poireau entier. Ces dépassements s'expliquent, en partie, par des valeurs réglementaires plus faibles pour les tiges par rapport aux feuilles (0,04 mg/kg pour les tiges contre 0,1 mg/kg pour les feuilles) ;**
- **L'accumulation du cadmium du sol vers les poireaux se fait, au vu des données exploitées, de manière identique entre les feuilles et les tiges (coefficient directeur de la droite de régression proche de 1).**

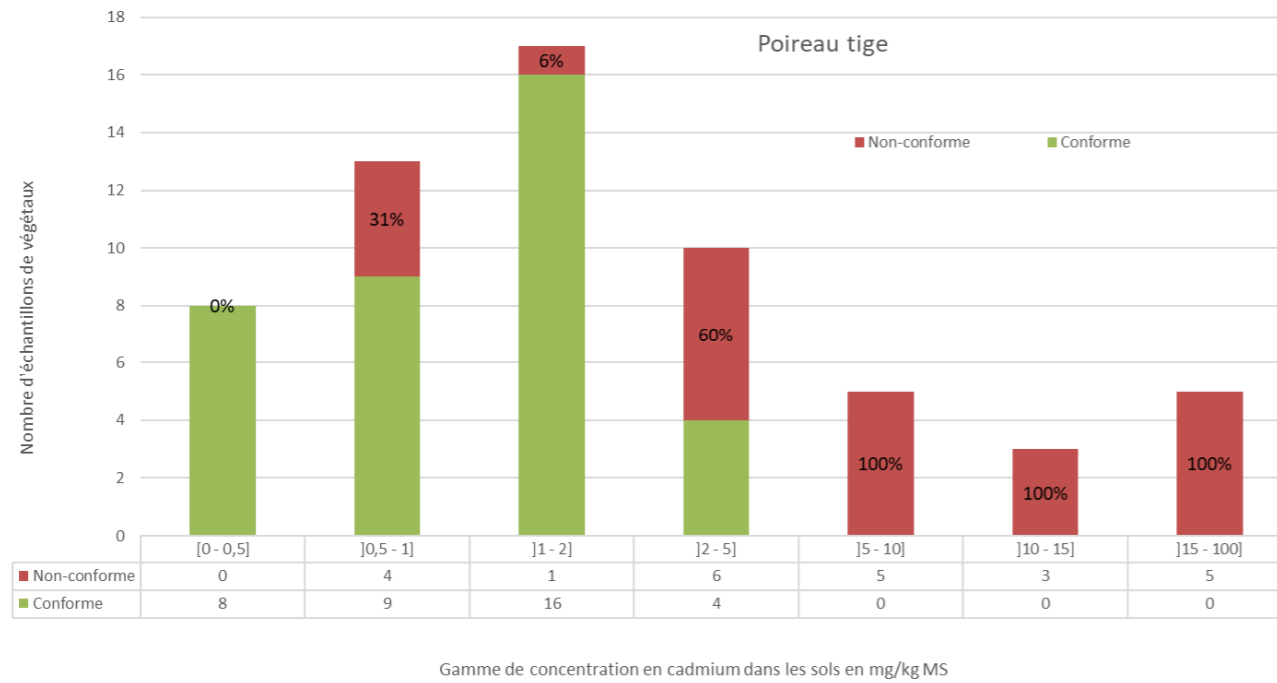


Figure 30 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les tiges de poireaux

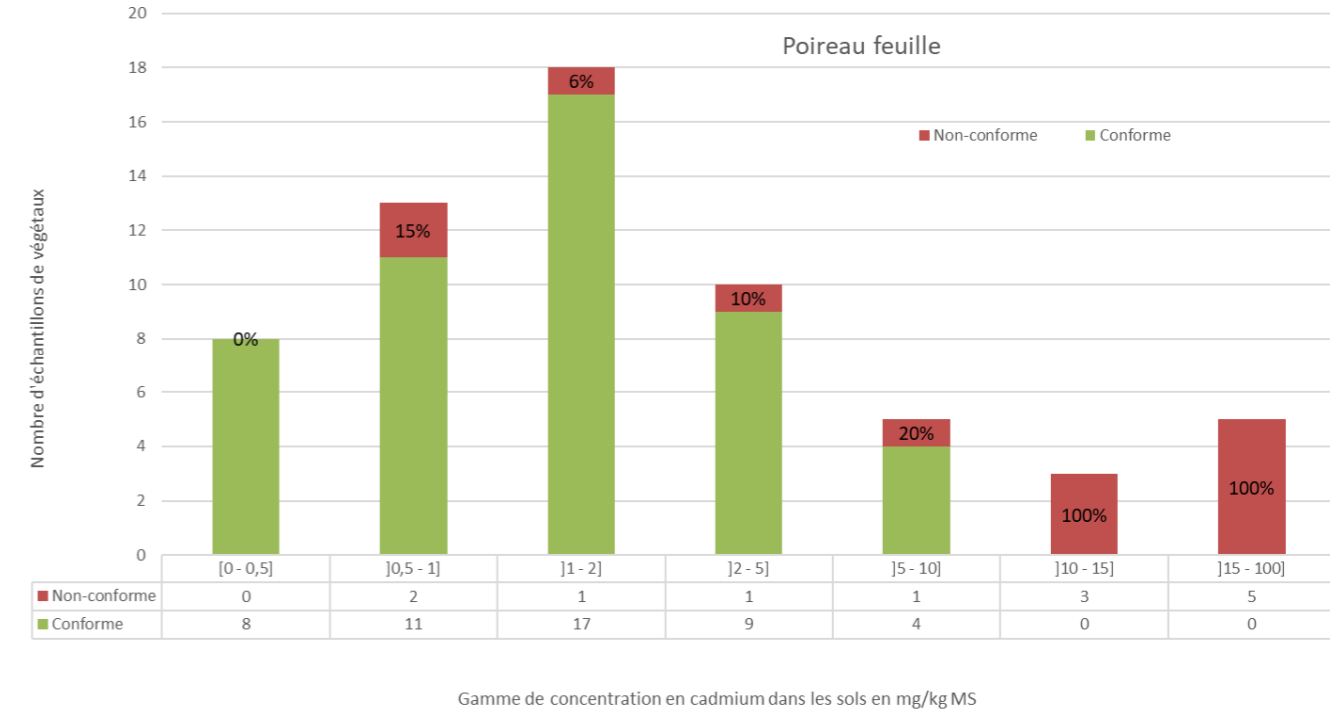


Figure 31 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les feuilles de poireaux

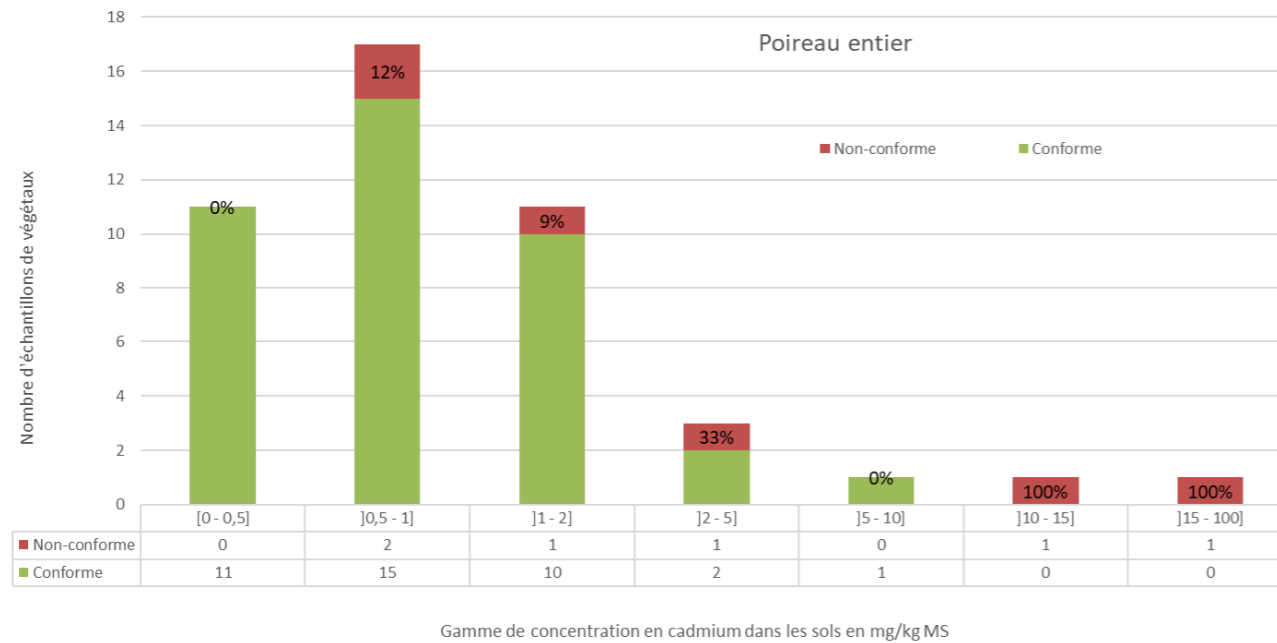


Figure 32 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les poireaux entiers

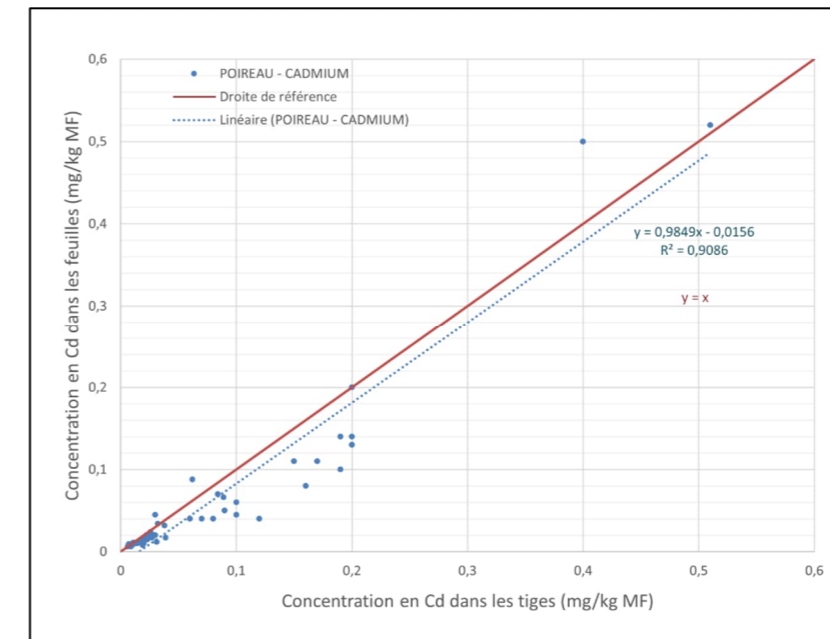


Figure 33 : Concentrations en cadmium dans les tiges de poireaux en fonction des concentrations dans les feuilles de poireaux

4.4.4.2.2 Blette

La blette est une plante annuelle ou bisannuelle pouvant atteindre 1 m de haut. Lors de l'échantillonnage, les blettes ont parfois été divisées en deux parties, chacune faisant l'objet d'une analyse : la tige (ou côte) et les feuilles.

Les Figure 34, Figure 35 et Figure 36 présentent la proportion d'échantillons de végétaux dont la concentration en cadmium est supérieure aux valeurs réglementaires en fonction des concentrations dans les sols.

Les premiers dépassements de la valeur réglementaire sont constatés quel que soit la concentration en cadmium dans le sol, avec des proportions comprises entre 8% et 100% en fonction de la partie du végétal considéré. La proportion d'échantillons non-conformes augmentent progressivement quel que soit la partie du végétal considérée (tige, feuille ou blette entière).

Le pourcentage de dépassement reste modéré (compris entre 8% et 29%) pour les tiges et les feuilles entre 0,5 et 2 mg/kg MS. Une non-conformité supérieure à 50% des échantillons est constaté à partir de 2 mg/kg MS pour les tiges et feuilles et à partir de 1 mg/kg MS dans les sols pour la blette entière. Le faible nombre d'échantillon de blette entière rend l'interprétation de l'histogramme Figure 36 moins robuste. La proportion d'échantillons non-conformes atteint 100% pour les tiges et les blettes entière à partir de 10 mg/kg MS dans le sol et à partir de 5 mg/kg MS pour les feuilles. Ces conclusions sont faites considérant des valeurs réglementaires plus faible pour les blettes tiges et blettes entières (0,03 mg/kg MF en Cd) que pour les blettes feuilles (0,2 mg/kg MF en Cd).

Au vu des données, le taux de dépassements sont très proches entre les feuilles et les tiges. Cela confirme les observations faites sur la Figure 16 où 44% des échantillons de feuilles de blettes dépassaient la valeur réglementaire contre 43% pour les tiges de blette. La proportion totale de dépassement reste la plus importante pour les blettes entières avec 47%.

La droite de régression donnée en Figure 37 possède un coefficient directeur de 3,3 avec une bonne corrélation ($R^2 = 0,98$) ce qui indique que les feuilles de blettes ont des concentrations en cadmium environ trois fois plus élevées que les tiges, pour une concentration identique en cadmium dans le sol. Cette observation tend à montrer une accumulation préférentielle du cadmium dans les feuilles par rapport aux tiges. Un total de 50 échantillons a été conservés pour l'analyse sans écarter de valeurs.

Comme pour les poireaux, la relation mise en évidence est cependant influencée par deux points extrêmes. Cependant, même en les écartant, la relation reste similaire ($a=2,7$ et $R^2 = 0,86$).

- **Les concentrations dépassent les valeurs réglementaires dès la première gamme de valeur dans les sols (0-0,5 mg/kg) ;**
- **L'accumulation de cadmium du sol vers les blettes se fait préférentiellement dans les feuilles par rapport aux tiges (facteur 3 environ).**

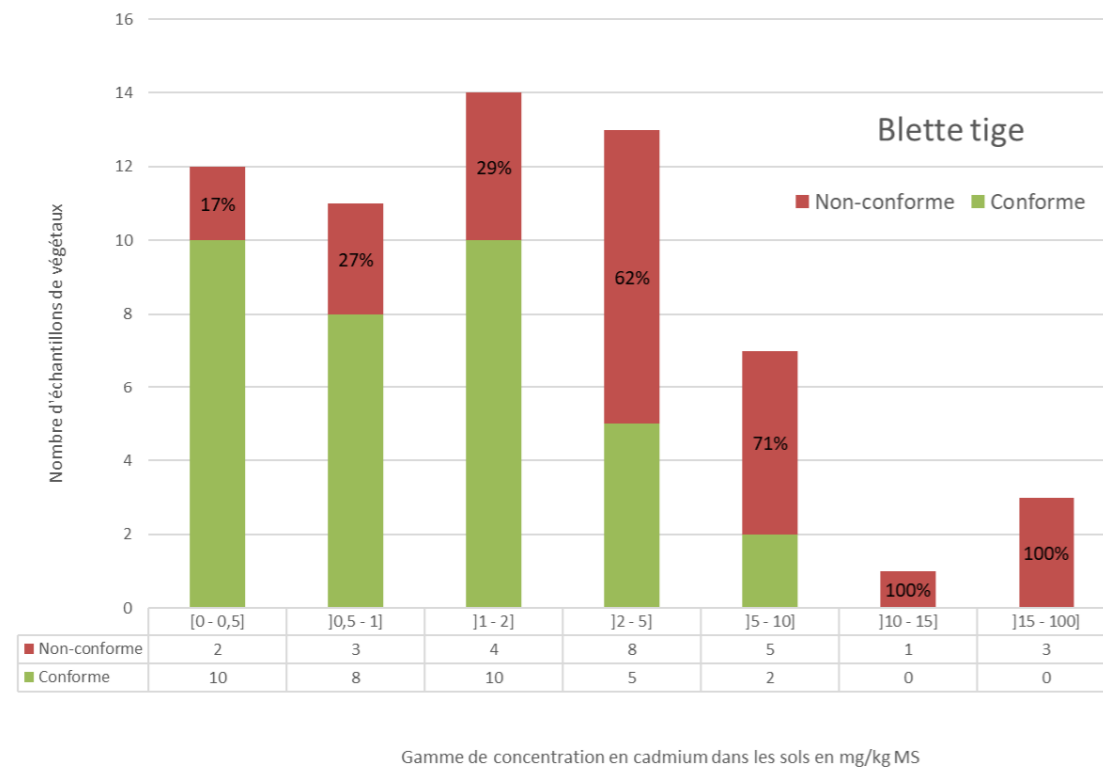


Figure 34 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les tiges de blettes

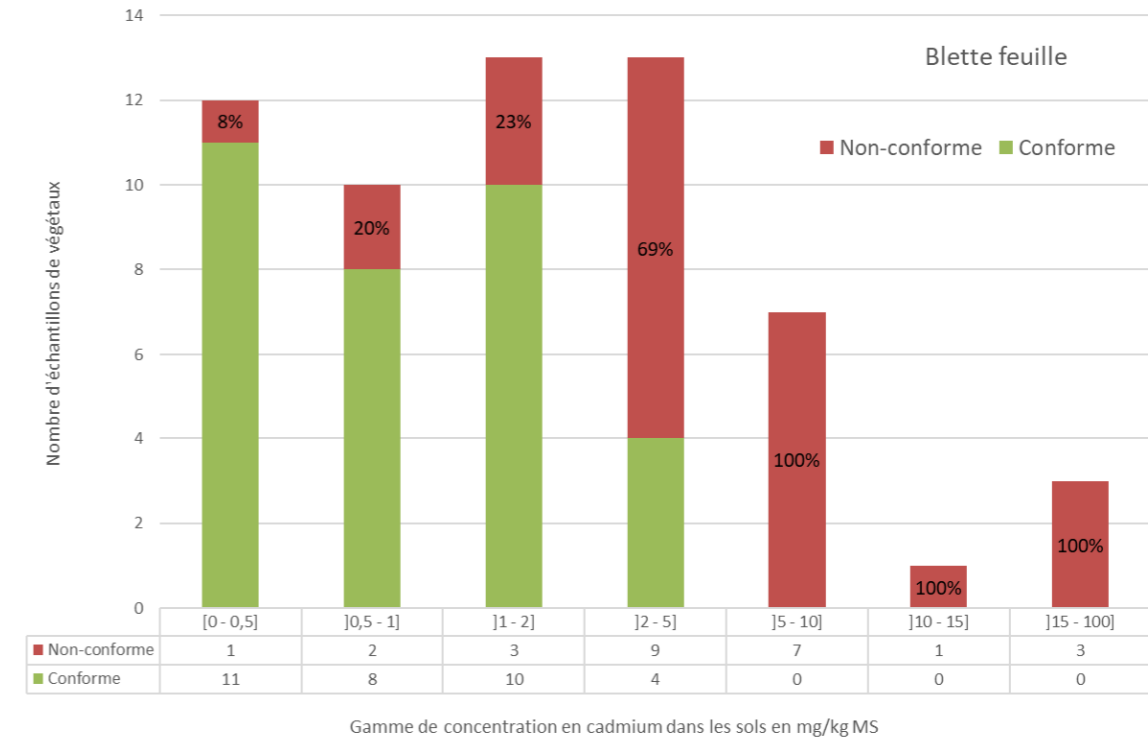


Figure 35 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les feuilles de blettes

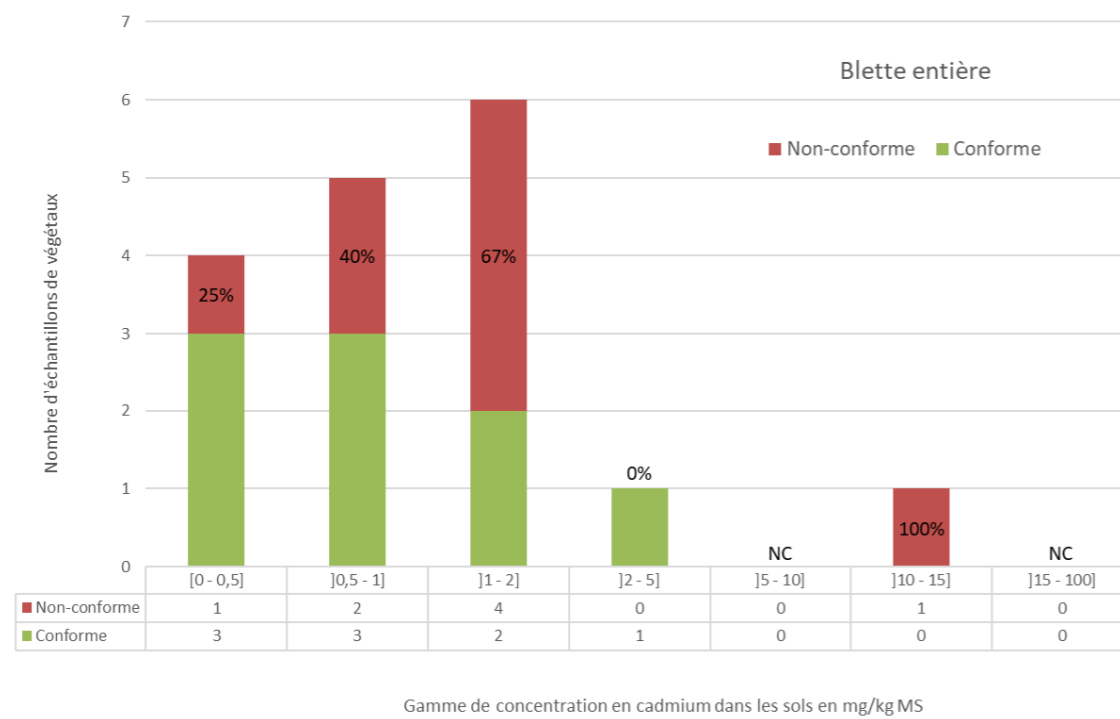


Figure 36 : Taux de dépassement des valeurs réglementaires du cadmium en fonction des concentrations dans les sols pour les blettes entières

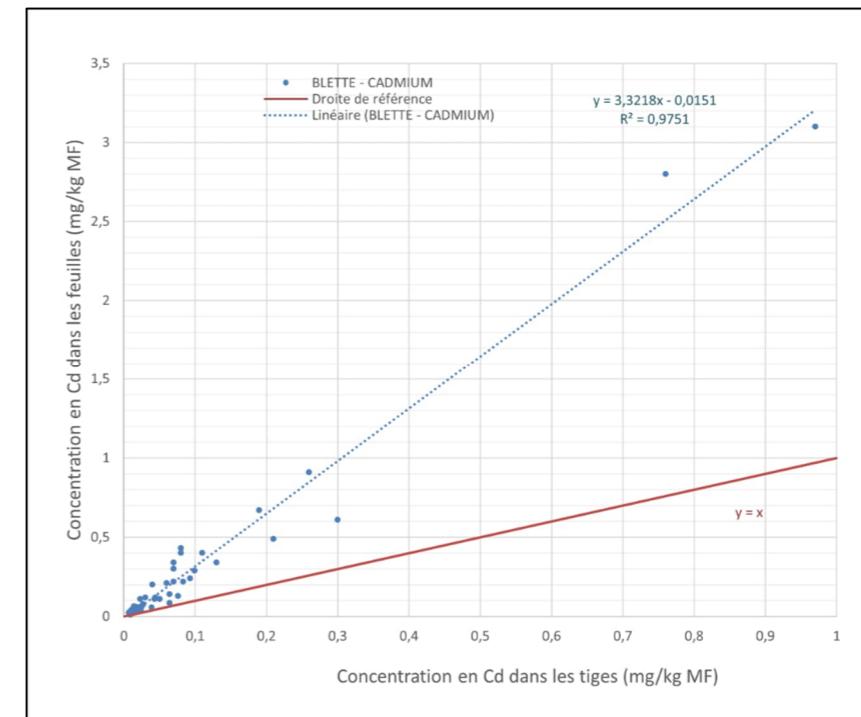


Figure 37 : Concentrations en cadmium dans les tiges des blettes en fonction des concentrations dans les feuilles de blettes

4.4.4.3 Conclusion

Le Tableau 9 donne, pour le cadmium et le plomb, les ratios des concentrations et des teneurs maximales admissibles dans les poireaux et les blettes.

Pour le poireau, l'accumulation préférentielle du plomb se fait dans les feuilles par rapport aux tiges tandis que l'accumulation semble similaire entre les feuilles et les tiges pour le cadmium.

Pour la blette, l'accumulation préférentielle du plomb et du cadmium se fait dans les feuilles par rapport aux tiges.

Tableau 9 : Ratio des concentrations et des teneurs maximales admissibles

		Ratio des concentrations [Feuilles] / [Tiges]	Ratio des teneurs maximales admissibles [Feuilles] / [Tiges]
Cd	Poireau (n=47)	0,98	2,5
	Blette (n=50)	3,3	
Pb	Poireau (n=19)	7,9	6,6
	Blette (n=27)	2,6	

Pour les poireaux, les dépassements des valeurs règlementaires en cadmium dans les tiges ne s'accompagnent pas systématiquement de dépassement dans les feuilles, ce qui permettrait la consommation des feuilles. Or ce ne serait pas le cas pour le plomb impliquant qu'aucune partie de la plante (ni blanc, ni vert) ne serait alors considérée comme « consommable ».

Pour les blettes, dès lors qu'il y a dépassement dans les tiges, les feuilles seraient susceptibles de présenter des concentrations en plomb et cadmium supérieures aux valeurs règlementaires. Aucune partie de la plante (ni côte, ni vert) ne serait alors considérée comme « consommable ».

5 Comparaison des facteurs de bioconcentration à la littérature existante

Les valeurs de BCF issues de la présente étude ont été mises en perspective avec les valeurs de BCF établies dans le rapport « Coefficients de transfert des éléments traces métalliques vers les plantes » (Ineris, 2017b) dont le périmètre était le suivant :

- Les sources d'information utilisées comprenaient principalement la base de données BAPPET¹⁷ ainsi qu'un ouvrage de Tremel-Schaub et al (2005) ;
- Tous les échantillons de végétaux retenus ont été lavés afin d'écartier la part de contamination liée au dépôt de particules à partir de l'atmosphère et au dépôt indirect de particules de sol remises en suspension ;
- Les ETMM étudiés concernaient l'arsenic, le cadmium, le chrome, le mercure, le nickel, le plomb et le sélénium ;
- Les catégories de végétaux, utilisées dans Modul'ERS, sont :
 - Légumes fruits ;
 - Fruits ;
 - Légumes feuilles ;
 - Légumes racines ;
 - Tubercule ;
 - Fourrage (que nous avons assimilé à la catégorie « graminées » dans l'étude) ;
 - Céréales.
- Pour l'arsenic et le chrome, le fourrage a été assimilé à des légumes-feuilles par manque de données spécifiques.
- Les données spécifiques aux fruits dans les sources de données consultées étant rares, voire inexistantes, les données relatives aux fruits et aux légumes-fruits ont été regroupées et les valeurs retenues utilisées dans les deux modules correspondant du logiciel MODUL'ERS.

La comparaison des valeurs issues des études IEM exploitées (référéncées « Ineris 2024 ») avec les valeurs issues du rapport de l'Ineris de 2017 sur les coefficients de transfert¹⁸ est présentée dans le *Tableau 10*. Les ratios 2024/2017 des moyennes et des médianes ont été calculés pour mettre en évidence les écarts pour les 5 métaux communs entre les deux jeux de données.

¹⁷ BAPPET : Base de données des teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères

¹⁸ INERIS. (2017). *Coefficients de transfert des éléments traces métalliques vers les plantes, utilisés pour l'évaluation de l'exposition Application dans le logiciel MODUL'ERS.*

Tableau 10 : Comparaison des valeurs de BCF obtenues dans les études IEM (Ineris 2024 – Contexte Minier) avec celles compilées dans MODUL'ERS (Ineris, 2017b)

Substance	Catégories végétales	N (2017)	N (2024)	Moyenne de la distribution (2017)	Moyenne (2024)	Ratio Moyenne 2024/2017	Médiane (2017)	Médiane (2024)	Ratio médiane 2024/2017
As	Legume-feuille	27	152	0,09	0,07	0,7	0,02	0,02	0,7
As	Legume-fruit	39	11	0,3	0,07	0,2	0,01	0,005	0,3
As	Fruits	39	8	0,3	0,001	0,003	0,01	0,001	0,07
As	Legume-racine	11	36	0,01	0,02	2,0	0,005	0,006	1,2
As	Tubercule	11	25	0,002	0,006	3,9	0,001	0,003	2,6
As	Pature	27	93	-	0,02	-	-	0,01	-
Cd	Legume-feuille	86	341	2,40	0,776	0,3	1,6	0,2	0,15
Cd	Legume-fruit	50	172	0,52	0,313	0,6	0,2	0,1	0,6
Cd	Fruits	50	40	0,52	0,084	0,16	0,2	0,03	0,14
Cd	Legume-racine	36	124	0,90	0,296	0,3	0,640	0,166	0,3
Cd	Tubercule	11	88	0,41	0,110	0,3	0,3	0,06	0,19
Cd	Pature	29	118	-	0,4	-	-	0,2	-
Cr	Legume-feuille	11	78	2,30	0,3	0,12	0,03	0,10	3,7
Cr	Legume-fruit	14	6	0,93	0,09	0,10	0,05	0,06	1,1
Cr	Fruits	14	7	0,93	0,07	0,07	0,05	0,07	1,3
Cr	Legume-racine	24	6	0,18	0,06	0,3	0,02	0,04	2,0
Cr	Tubercule	21	4	0,020	0,1	7	0,010	0,04	4,1
Cr	Pature	11	46	-	0,2	-	-	0,09	-
Ni	Legume-feuille	25	75	0,05	0,3	7	0,03	0,09	3,3
Ni	Legume-fruit	20	17	0,3	0,4	1,10	0,1	0,1	0,8
Ni	Fruits	20	18	0,3	0,04	0,12	0,1	0,03	0,3
Ni	Legume-racine	32	9	0,2	0,1	0,6	0,06	0,10	1,6
Ni	Tubercule	11	9	0,1	0,03	0,3	0,04	0,03	0,7
Ni	Pature	29	85	0,010	0,1	12	0,005	0,07	15
Pb	Legume-feuille	67	280	0,11	0,03	0,2	0,02	0,009	0,4
Pb	Legume-fruit	47	39	0,31	0,010	0,03	0,03	0,002	0,07
Pb	Fruits	47	9	0,31	0,03	0,09	0,03	0,003	0,11
Pb	Legume-racine	32	80	0,15	0,02	0,13	0,034	0,007	0,19
Pb	Tubercule	21	53	0,035	0,002	0,07	0,010	0,001	0,11
Pb	Pature	19	147	0,009	0,03	4	0,009	0,009	1

Légende	
Transferts (Valeur de BCF)	Ecart (Ratio 2017/2024)
0,001 - 0,001	0 - 0,2
0,001 - 0,01	0,2 - 1
0,01 - 0,1	1 - 5
1 - 10	5 - 10



Figure 38 : Diagramme en radar avec échelle logarithmique des médianes des BCF calculés en contexte minier en 2024 et BCF établis par l'Ineris en 2017 sur la base de données de la littérature

La *Figure 38* permet d'identifier que les valeurs de médianes des BCF obtenues dans la présente étude sont inférieures aux valeurs du rapport Ineris 2017 pour 10 des 27 couples Substance/Végétaux. Les ratios de médiane sont compris entre 0,07 et 15.

Ainsi, sur l'ensemble des 27 couples Substance/Végétaux, les médianes entre les deux jeux de données **sont du même ordre de grandeur (ratio compris entre 0,2 et 5) pour la majorité des données soit 18 couples.**

Huit couples Substance/Végétaux (soit environ 30% de l'ensemble) possèdent un ratio des médianes inférieur à 0,2, dont 2 affichant un ratio inférieur à 0,1. Ils sont identifiés dans le *Tableau 11*. De plus, seul un couple Substance/Végétaux possèdent un ratio des médianes supérieur à 5 (ratio de 15 pour le couple Nickel/Pâtüre).

Tableau 11: Couple Substances/Végétaux possédant des ratios de médiane inférieurs à 0,2 entre le jeu de données issus des études IEM et celui du rapport Ineris, 2017b

Couple substance/Famille de végétaux	Ratio des médianes < 0,2	Relation entre les deux jeux de données
Arsenic/Fruits	0,07	Ineris (2017) > Ineris après mine (2024)
Cadmium/Fruits	0,14	Ineris (2017) > Ineris après mine (2024)
Cadmium/Tubercules	0,15	Ineris (2017) > Ineris après mine (2024)
Cadmium/Légume-feuille	0,19	Ineris (2017) > Ineris après mine (2024)
Plomb/Fruits	0,11	Ineris (2017) > Ineris après mine (2024)
Plomb/Légume-fruit	0,07	Ineris (2017) > Ineris après mine (2024)
Plomb/Légume-racine	0,19	Ineris (2017) > Ineris après mine (2024)
Plomb/Tubercules	0,11	Ineris (2017) > Ineris après mine (2024)

Les valeurs médianes obtenues dans la présente étude sont similaires à celle de la littérature pour environ 70% des différents couples calculés. Pour les 8 couples identifiés dans le *Tableau 11*, pour les fruits et légumes-fruits, la combinaison de ces deux groupes en 2017 pourrait expliquer certaines différences. Par ailleurs, pour l'arsenic, le plomb et le cadmium, les concentrations plus élevées que les valeurs habituellement retrouvés dans les sols du fait du contexte minier pourrait aboutir à une sous-estimation des BCF pour des concentrations plus faibles. A ce stade, il n'est pas possible de faire davantage de comparaison entre les deux jeux de données.

Les différences constatées étaient attendues considérant que les objectifs et le contexte de ces deux études sont différents. Les conclusions émises dans ce paragraphe doivent être validées avec un plus grand nombre d'échantillons. En effet, par exemple, les couples Chrome/Fruit, Chrome/Tubercule, Chrome/Légume-racine et Chrome/Légume-fruit possèdent moins de 10 échantillons chacun, respectivement 7, 4, 6 et 6.

6 Valeur BCF par ETMM et espèces végétales

Dans le cadre de la présente étude, plusieurs informations relatives aux ETMM analysés ont été regroupées dans des fiches comprenant :

- Les catégories de végétaux potagers et le nombre d'échantillons associés ;
- Les gammes de concentrations dans les sols ;
- Les données statistiques des BCF calculés (minimum, maximum, moyenne, médiane et coefficient de variation) pour chaque catégorie de végétaux.

Des tableaux rassemblant ces données pour chacune des 19 substances étudiées sont présentées en Annexe 7. Rappelons que pour le titane, les valeurs BCF calculées sont certainement surestimées en raison d'une minéralisation partielle des sols.

Pour chaque espèces végétales possédant plus d'un échantillon, un coefficient de variation a été calculé soit pour 318 couples substance/végétaux. Seulement 3% des BCF pour un couple substance/végétaux possèdent un coefficient de variation inférieur à 15%, ils correspondent aux BCF calculé pour des couples ne possédant que 2 ou 3 échantillons, et des échantillons prélevés sur le même site ou zone géographique.

Un cinquième des coefficients de variation est inférieur à 50%. Cependant, la majorité (60%) est inférieure à 100% et seuls 4% sont supérieurs à 200%. Le rapport Ineris (2017) rappelle que l'étendue des valeurs de BCF des métaux pour chaque catégorie de végétaux est souvent importante.

Pour l'argent, le cobalt, le lithium, l'étain et le thallium, le manque de données n'a pas permis de calculer de coefficient de variation pour les végétaux potagers.

Le *Tableau 12* reprend les valeurs maximales des coefficients de variation des BCF calculés pour chaque substance disposant de valeurs.

Tableau 12 : Maximum des coefficients de variation des BCF en fonction des métaux et végétaux potagers

ETMM	Espèce végétale	Coefficient de variation des BCF	Nombre d'échantillons
Al	Blette entière	185%	5
As	Salade	276%	37
Ba	Tomate	259%	9
Cd	Poireau feuille	558%	51
Cr	Salade	179%	13
Cu	Poireau feuille	293%	58
Hg	Thym	130%	4
Mo	Tomate	97%	2
Ni	Poireau feuille	256%	7
Pb	Courgette	183%	17
Sb	Poireau tige	136%	3
Ti	Carotte	57%	2
Zn	Poivron	288%	19

En conclusion, l'ensemble des coefficients de variations calculés montre que les valeurs de BCF moyen pour une même espèce végétale sont très dispersées avec des écarts types pouvant être deux fois supérieures à la moyenne. Cette dispersion peut s'expliquer par des contextes hétérogènes (géologie, environnement, variété cultivée...).

7 Conclusions

Les données collectées au cours des études d'Interprétation de l'Etat des Milieux ont permis de disposer d'un jeu de données de 1 591 échantillons de végétaux regroupés en 72 espèces végétales et 13 catégories de végétaux (légumes-feuilles, légumes-fleurs, légumes-fruits, fruits, fruits du verger, tubercules, légumes-racines, légumes-tiges, légumes secs, légumes-bulbes, aromates, champignons et pâtures) pour 19 Eléments Traces Métalliques et Métalloïdes (ETMM).

À partir de ce jeu de données recueillies sur le terrain en conditions réelles, l'objectif était d'établir les concentrations en ETMM dans les parties consommées des végétaux et de les comparer aux valeurs réglementaires en fonction des concentrations mesurées dans les sols, mais aussi de calculer des facteurs de bioconcentration (BCF) en contexte d'après mine pour déterminer la mobilité des ETMM et la capacité des plantes à les accumuler.

A l'issue du traitement de ces données, plusieurs observations peuvent être formulées sur les données disponibles :

- Dans les sols, les teneurs en ETMM sont très dispersées, ce qui permet de disposer d'une large gamme de concentrations ;
- Pour les pâtures, les taux de dépassements des valeurs règlementaires pour l'arsenic, le cadmium et le plomb sont corrélés à l'augmentation de la concentration en ETMM dans les sols ;
- Pour les végétaux potagers, l'analyse des concentrations par rapport aux valeurs règlementaires européennes fixées pour le plomb, le cadmium et le nickel dans le cadre de la **commercialisation** de denrées alimentaires sur le marché européen a permis de tirer les conclusions suivantes :
 - Pour le cadmium et le plomb, le taux de dépassement augmente avec la concentration en ETMM dans les sols, à quelques exceptions près ;
 - Pour le cadmium, à des teneurs inférieures à 2 mg/kg MS (valeur d'action rapide pour les enfants de moins de 7 ans, avec une autoconsommation de 100% de végétaux), des dépassements des valeurs règlementaires peuvent être ponctuellement observés ;
 - Pour le plomb, un très faible nombre de dépassements ont été mis en évidence dans la gamme des sols « ordinaires » (0-50 mg/kg) et uniquement pour 3 espèces végétales : blette, thym, et menthe ;
 - Pour le nickel, le taux de dépassement des valeurs règlementaires reste faible sur les gammes de concentration retrouvée dans les sols.

Pour rappel, les végétaux prélevés étant auto-produits, la comparaison aux valeurs règlementaires fixées pour les denrées alimentaires commercialisées reste indicative. En effet, à ce jour, aucun règlement n'encadre la qualité des végétaux auto-produits.

L'accumulation préférentielle du cadmium et du plomb a été spécifiquement étudiée pour le poireau et la blette en distinguant l'accumulation dans les tiges et dans les feuilles. Pour la blette, les concentrations en plomb et cadmium dans les feuilles sont supérieures à celles des tiges. Il en est de même pour le plomb dans les poireaux. Le cadmium, quant à lui, se répartit de manière similaire entre les tiges et les feuilles de poireau.

L'analyse des facteurs de bioconcentration (BCF) estimés pour les végétaux potagers a permis d'identifier les substances et les végétaux pour lesquels le transfert des ETMM entre le sol et les parties comestibles des végétaux est élevé. Ainsi pour le cadmium, le cuivre et le zinc, les BCF calculés sont les plus élevés alors que le transfert de l'arsenic et du plomb semble plus faible. Cependant, les données peuvent être très hétérogènes au sein du même famille ou peu robuste en cas d'un faible nombre d'échantillon. Les gammes de valeurs proposées sont indicatives et donnent des éléments sur le transfert dans le contexte particulier de l'après mine.

La comparaison des valeurs médianes des BCF des 5 catégories végétales (retenues pour l'évaluation de l'exposition) présentées dans ce rapport (Ineris, données à 2024) et ceux proposés par l'Ineris en 2017 montre des ordres de grandeur similaires pour 70% des couples substance-végétaux, et ce malgré les contextes différents (après mine ou non) et le nombre de données disponibles. Bien que les valeurs médianes semblent concordées entre les deux jeux de données, il est important de noter que les BCF obtenus restent très étendus pour un même couple «substance/végétaux» et difficilement prédictibles pour chaque ETMM. Ces écarts s'expliquent par la diversité des conditions de croissance des plantes ainsi que les propriétés des sols qui sont des paramètres pouvant influencer le transfert des ETMM du sol vers les végétaux. Il n'a pas été possible d'identifier les raisons exactes des écarts observés mais

quelques hypothèses ont été formulées (contextes différents entre les deux bases de données, manque de données pour certains couples, valeurs communes fruits et légumes-fruits pour les données de 2017, etc.).

Les tendances et observations mises en évidence dans le cadre des présents travaux sont riches d'enseignement et permettent d'éclairer des valeurs obtenues dans d'autres contextes, tout en maintenant une analyse critique sur le jeu de données mis à disposition. Ainsi, il n'est pas recommandé à ce stade d'utiliser ces valeurs dans des Evaluations de Risques Sanitaires (ERS) au vu des limites identifiées.

Il est nécessaire de poursuivre ces travaux afin de renforcer la connaissance sur les transferts dans les végétaux potagers en intégrant de nouveaux échantillons, d'identifier les paramètres influençant ces transferts (pH, MO, etc.) et de proposer des facteurs de bioconcentration robustes dont le domaine d'application sera précisé.

8 Perspectives

Une poursuite de ces travaux est prévue en intégrant les dernières analyses des prélèvements de sol et de végétaux réalisés par l'Ineris dans le cadre des études menées selon la démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) depuis fin 2024 et qui n'ont pas encore pu être traités dans le présent rapport.

Par ailleurs, une exploration de la nouvelle version de la base BAPPET disponible depuis 2024 pourra permettre de confronter les résultats en contexte minier avec un jeu de données issu de la littérature actualisé et rassemblant divers contextes, et ainsi d'approfondir les connaissances sur les facteurs de transfert. Plusieurs méthodes de gestion des valeurs inférieures aux limites de quantification pourront également être testées afin d'évaluer l'influence de ces valeurs manquantes sur les résultats.

Ces futurs travaux pourront concerner :

- L'exploration d'une relation des facteurs de bioconcentration en fonction des niveaux de concentration dans les sols ;
- La relation des facteurs de bioconcentration avec des paramètres du sol tels que le pH et la matière organique mais quand cela est possible de la contribution du fond lorsque les informations sont disponibles.

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la mission d'appui de l'Ineris au GIP Géoderis.

9 Références bibliographiques

- Ademe, & Ineris. (2014). *Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux*. https://ssp-infoterre.brgm.fr/sites/default/files/documents/2025-03/guide_echantillonnage-plantes-potageres-avril-2014.pdf
- HCSP. (2014). *Expositions au plomb : détermination de nouveaux objectifs de gestion. Rapport*.
- HCSP. (2022a). *Définition de valeurs repères pour des contaminants des sols pollués - L'arsenic*.
- HCSP. (2022b). *Définition de valeurs repères pour des contaminants des sols pollués - Le cadmium*.
- HCSP. (2022c). *Définition de valeurs repères pour des contaminants des sols pollués - Le mercure*.
- Ineris. (2017a). *Coefficients de transfert des éléments traces métalliques vers les plantes, utilisés pour l'évaluation de l'exposition - Application dans le logiciel MODUL'ERS (DRC-17-163615-01452A)*. <https://www.ineris.fr/fr/coefficients-transfert-elements-traces-metalliques-vers-plantes-utilises-evaluation-exposition>
- Ineris. (2017b). *Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS*.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants - Fourth Edition (Fourth Ed)*.

10 Annexes

- Annexe 1 : Teneurs totales en élément traces dans les sols – Gamme de valeurs « ordinaires » et d'anomalies naturelles – Tableau ASPITET
- Annexe 2 : Paramètres statistiques concernant le pH et le Carbone Organique Total (COT) dans les sols pour chaque zone d'étude
- Annexe 3 : Synthèse des seuils de vigilance et d'action rapide dans les sols
- Annexe 4 : Règlements européens portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires
- Annexe 5 : Teneurs en matière sèche utilisées pour le calcul des valeurs BCF
- Annexe 6 : BCF par catégorie de végétaux (boxplot)
- Annexe 7 : Fiches substances

***Annexe 1 : Teneurs totales en élément traces dans les sols –
Gamme de valeurs « ordinaires » et d’anomalies naturelles –
Tableau ASPITET***

Les gammes de valeurs présentées ci-dessous mg/kg. Les numéros entre parenthèses renvoient à des types de sols effectivement analysés, succinctement décrits et localisés ci-dessous.

Métaux et Métalloïde	Gamme de valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires" de toutes granulométries	Gamme de valeurs observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées	Gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles
As	1,0 à 25,0	30 à 60 (1)	60 à 284 (1)
Cd	0,05 à 0,45	0,70 à 2,0 (1)(2)(3)(4)	2,0 à 46,3 (1)(2)(4)
Cr	10 à 90	90 à 150 (1)(2)(3)(4)(5)	150 à 3180 (1)(2)(3)(4)(5)(8)(9)
Co	2 à 23	23 à 90 (1)(2)(3)(4)(8)	105 à 148 (1)
Cu	2 à 20	20 à 62 (1)(4)(5)(8)	65 à 160 (8)
Hg	0,02 à 0,10	0,15 à 2,3	
Ni	2 à 60	60 à 130 (1)(3)(4)(5)	130 à 2076 (1)(4)(5)(8)(9)
Pb	9 à 50	60 à 90 (1)(2)(3)(4)	100 à 10180 (1)(3)
Se	0,10 à 0,70	0,8 à 2,0 (6)	2,0 à 4,5 (7)
Tl	0,10 à 1,7	2,5 à 4,4 (1)	7,0 à 55,0 (1)
Zn	10 à 100	100 à 250 (1)(2)	250 à 11426 (1)(3)

(1) zones de "métallotectes" à fortes minéralisations (à plomb, zinc, barytine, fluor, pyrite, antimoine) au contact entre bassins sédimentaires et massifs cristallins. Notamment roches liasiques et sols associés de la bordure nord et nord-est du Morvan (Yonne, Côte d'Or).

(2) sols argileux développés sur certains calcaires durs du Jurassique moyen et supérieur (Bourgogne, Jura).

(3) paléosols ferrallitiques du Poitou ("terres rouges").

(4) sols développés dans des "argiles à chailles" (Nièvre, Yonne, Indre).

(5) sols limono-sableux du Pays de Gex (Ain) et du Plateau Suisse.

(6) "bornais" de la région de Poitiers (horizons profonds argileux).

(7) sols tropicaux de Guadeloupe.

(8) sols d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre).

(9) matériaux d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre).

***Annexe 2 : Paramètres statistiques concernant le pH et le
Carbone Organique Total (COT) dans les sols pour chaque zone
d'étude***

pH	Nombre échantillon	Min	Max	Q25	Médiane	Q75	Moyenne	Ecart-type
1	10	6,2	7,9	7,1	7,3	7,7	7,3	0,5
2	3	5,5	8,1	6,0	6,4	7,3	6,7	1,3
3	11	4,4	7,3	6,0	6,1	6,3	6,1	0,7
4	6	8,0	8,4	8,1	8,2	8,4	8,2	0,2
5	9	6,0	7,9	7,0	7,4	7,5	7,2	0,6
6	15	6,4	7,7	6,8	7,0	7,2	7,0	0,4
7	6	4,8	6,9	5,1	5,6	5,8	5,6	0,8
8	6	6,5	7,0	6,5	6,7	6,9	6,7	0,2
9	8	4,2	8,2	7,1	7,3	7,4	7,0	1,2
10	15	4,8	8,2	7,1	7,4	7,8	7,2	1,0
11	7	4,1	7,5	5,1	5,9	6,5	5,8	1,1
12	2	6,0	7,2	6,3	6,6	6,9	6,6	0,8
13	3	6,9	9,0	7,3	7,6	8,3	7,8	1,1
14	11	5,5	8,6	6,5	6,9	7,7	6,9	0,9
15	16	7,4	8,4	7,7	7,8	8,0	7,8	0,3
16	11	7,1	8,9	7,9	7,9	8,6	8,2	0,5
17	6	8,4	9,1	8,6	8,7	8,8	8,7	0,2
18	21	7,2	8,6	7,6	7,9	8,2	7,9	0,4
19	37	5,8	8,3	6,8	7,4	7,7	7,2	0,8
20	12	7,7	8,5	7,9	8,2	8,4	8,1	0,3
21	17	6,3	9,0	7,4	7,8	8,4	7,8	0,8
22	6	4,7	8,1	6,7	7,9	8,0	7,1	1,4

MO en COT en mg/kg	Nb	Min	Max	Q25	Médiane	Q75	Moyenne	Ecart- type
1	4	35 100	61 500	45 300	50 850	55 125	49 575	11 019
2	2	18 200	21 600	19 050	19 900	20 750	19 900	2 404
3	4	13 800	47 100	15 825	16 750	24 525	23 600	15 730
4	6	18 000	83 700	22 275	32 600	63 250	43 200	27 884
5	9	21 400	41 600	25 100	32 600	35 300	31 156	6 997
6	15	42 600	86 000	48 700	57 700	67 300	59 100	12 988
7	10	12 000	35 000	16 250	23 000	28 250	22 600	7 691
8	6	28 000	89 000	46 500	72 000	78 750	63 333	24 271
9	8	6 800	56 000	16 250	24 000	35 500	27 225	16 474
10	16	30 000	93 100	38 300	43 400	80 075	55 144	22 847
11	7	4 700	140 000	2 350	16 000	31 000	31 814	49 607
12	2	41 000	42 000	41 250	41 500	41 750	41 500	707
13	3	23 000	33 000	28 000	33 000	33 000	29 667	5 774
14	6	22 700	53 600	26 400	33 300	79 000	35 383	11 801
15	16	22 900	122 000	38 450	50 100	58 550	55 856	28 720
16	-	-	-	-	-	-	-	-
17	6	19 600	75 100	21 300	24 350	31 450	32 917	21 247
18	-	-	-	-	-	-	-	-
19	37	2 790	192 000	21 500	24 400	30 200	31 592	30 096
20	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-

***Annexe 3 : Synthèse des seuils de vigilance et d'action rapide
dans les sols***

	Seuil de vigilance (en mg/kg MS)		Seuil d'action rapide (en mg/kg MS)	Source
As	25		70	(HCSP, 2022a)
Pb	100		300	(HCSP, 2014)
Cd	En absence de culture potagère	15	-	(HCSP, 2022b)
	En présence du culture potagère	1	5 Pour les enfants de moins de 7 ans	
			10 Pour le reste de la population	
	0,5 en cas d'autoconsommation de végétaux issus de la production locale de 100%	2 en cas d'autoconsommation de végétaux issus de la production locale de 100% pour les enfants de moins de 7 ans		
Hg ¹⁹	1		5	(HCSP, 2022c)
	0,5 en cas d'autoconsommation de végétaux issus de la production locale de 100%		3 en cas d'autoconsommation de végétaux issus de la production locale de 100%	

¹⁹ Mercure total mais basée sur les résultats des calculs pour le méthylmercure (tableau XXIII en annexe). Valeurs plus élevées pour le mercure inorganique (cf. Tableau XXIII)

***Annexe 4 : Règlements européens portant fixation de teneurs
maximales pour certains contaminants dans les denrées
alimentaires***

Catégorie	Végétal	Valeurs pour le Cadmium du Règlement (UE) 2023/915	Catégories végétales pour le Cadmium du Règlement (UE) 2023/915	Valeurs pour le Plomb du Règlement (UE) 2023/915 2	Catégories végétales pour le Plomb du Règlement (UE) 2023/9153	Valeurs pour le Nickel du Règlement (UE) 2024/1987	Catégories végétales pour le Nickel du Règlement (UE) 2024/1987
Aromate	Basilic	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Ciboulette	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Marjolaine	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Ortie	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Sauge	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Verveine	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Persil	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Romarin	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Menthe	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Aromate	Thym	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3,1,6 Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Champignon	Champignon	0,05	3.2.9.1 "Champignons de couche autres que Pleurote en huître (Pleurotus ostreatus), Lentin du chêne (shiitake) (Lentinula edodes) et champignons sauvages"	0,3	3.1.9.1 "Champignons de couche suivants : champignon de Paris (Agaricus bisporus), pleurote en huître (Pleurotus ostreatus), lentin du chêne (shiitake) (Lentinula edodes)"	NA	/
Fruit	Fraise	0,03	3.2.1.3 "Baies et petits fruits, à l'exclusion des framboises"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit	Framboise	0,04	3.2.1.4 "Framboises"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit	Groseille	0,03	3.2.1.3 "Baies et petits fruits, à l'exclusion des framboises"	0,2	3.1.1.1 " airelles, groseilles, baies de sureau et arbouses"	NA	/
Fruit	Mûre	0,03	3.2.1.3 "Baies et petits fruits, à l'exclusion des framboises"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit	Myrtille	0,03	3.2.1.3 "Baies et petits fruits, à l'exclusion des framboises"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit	Raisin	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Abricot	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Cerise	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Châtaigne	0,2	3.2.1.5.1 "Fruits à coque, à l'exclusion des pignons"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	10	3.6.1.2 "Châtaignes, pignons, noix communes, noix du Brésil et noix de cajou"
Fruit Arbre	Coing	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Figue	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Mirabelle	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Noix	0,2	3.2.1.5.1 "Fruits à coque, à l'exclusion des pignons"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	10	3.6.1.2 "Châtaignes, pignons, noix communes, noix du Brésil et noix de cajou"
Fruit Arbre	Olive	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/

Catégorie	Végétal	Valeurs pour le Cadmium du Règlement (UE) 2023/915	Catégories végétales pour le Cadmium du Règlement (UE) 2023/915	Valeurs pour le Plomb du Règlement (UE) 2023/915 2	Catégories végétales pour le Plomb du Règlement (UE) 2023/9153	Valeurs pour le Nickel du Règlement (UE) 2024/1987	Catégories végétales pour le Nickel du Règlement (UE) 2024/1987
Fruit Arbre	Pêche	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Poire	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Pomme	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Fruit Arbre	Prune	0,02	3.2.1.2 " Agrumes, fruits à pépins, fruits à noyau, olives de table, kiwis, bananes, mangues, papayes et ananas"	0,1	3.1.1.2 "Fruits autres que les airelles, les groseilles, les baies de sureau et les arbouses"	NA	/
Légume-bulbe	Echalote	0,03	3.2.3.1 "Légumes-bulbes, à l'exclusion des aulx"	0,1	3.1.3 "Légumes-bulbes"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Legume-bulbe	Oignon	0,03	3.2.3.1 "Légumes-bulbes, à l'exclusion des aulx"	0,1	3.1.3 "Légumes-bulbes"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Legume-feuille	Blette entière	0,03	/	0,1	3.1.8 "Légumes-tiges"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Blette feuille	0,1	3.2.6.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.6 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Cèleri entier	0,1	3.2.6.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.8 "Légumes-tiges"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Cèleri feuille	0,1	3.2.6.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.6 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Choux	0,1	3.2.5.2 "Choux feuilles"	0,3	3.1.5.2 "Choux feuilles"	0,5	3.6.4 "Légumes du genre Brassica"
Legume-feuille	Epinard	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.6 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Fane de carotte	0,1	3.2.6.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.6 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Oseille	0,2	3.2.6.2 "Épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.6 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Poireau feuille	0,1	3.2.6.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.6 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Roquette	0,1	3.2.6.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.6 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-feuille	Salade	0,1	3.2.6.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des épinards et feuilles similaires, plants de moutarde et herbes fraîches"	0,3	3.1.6 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des herbes fraîches et des fleurs comestibles"	0,5	3.6.5.1 "Légumes-feuilles, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.5.2"
Legume-fleur	Brocoli	0,04	3.2.5.1 "Légumes du genre Brassica, autre que les choux feuilles"	0,1	3.1.5.1 "Légumes du genre Brassica, autres que les choux feuilles"	0,5	3.6.4 "Légumes du genre Brassica"
Legume-fruit	Melon	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	NA	/
Legume-fruit	Aubergine	0,03	3.2.4.2 "Aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-fruit	Citrouille	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-fruit	Concombre	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-fruit	Cornichon	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-fruit	Courge	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-fruit	Courgette	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-fruit	Haricot	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-fruit	Poivron	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-fruit	Potiron	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"

Catégorie	Végétal	Valeurs pour le Cadmium du Règlement (UE) 2023/915	Catégories végétales pour le Cadmium du Règlement (UE) 2023/915	Valeurs pour le Plomb du Règlement (UE) 2023/915 2	Catégories végétales pour le Plomb du Règlement (UE) 2023/9153	Valeurs pour le Nickel du Règlement (UE) 2024/1987	Catégories végétales pour le Nickel du Règlement (UE) 2024/1987
Legume-fruit	Tomate	0,02	3.2.4.1 "Légumes-fruits, à l'exclusion des aubergines"	0,05	3.1.4.1 "Légumes-fruits, à l'exception du maïs doux"	0,4	3.6.3 "Légumes-fruits"
Legume-racine	Betterave	0,06	3.2.2.2 "Betteraves"	0,1	3.1.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des salsifis, gingembre et curcuma"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Legume-racine	Carotte	0,1	3.2.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des betteraves, des céleris-raves, des raiforts, panais, salsifis, radis, racines et tubercules tropicaux, persil à grosse racine, navets"	0,1	3.1.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des salsifis, gingembre et curcuma"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Legume-racine	Navet	0,05	3.2.2.6 " Racines et tubercules tropicaux, persil à grosse racine, navets"	0,1	3.1.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des salsifis, gingembre et curcuma"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Legume-racine	Radis noir	0,02	3.2.2.5 "Radis"	0,1	3.1.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des salsifis, gingembre et curcuma"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Legume-racine	Radis rouge	0,02	3.2.2.5 "Radis"	0,1	3.1.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des salsifis, gingembre et curcuma"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Legume-racine	Rave	0,15	3.2.2.3 "Céleris-raves"	0,1	3.1.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des salsifis, gingembre et curcuma"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Legume-sec	Fève	0,02	3.2.7 "Légumineuses potagères"	0,1	3.1.7 "Légumineuses potagères"	1	3.6.6.1 "Légumineuses potagères, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.6.2"
Legume-sec	Haricot Blanc	0,02	3.2.7 "Légumineuses potagères"	0,1	3.1.7 "Légumineuses potagères"	1	3.6.6.1 "Légumineuses potagères, à l'exclusion des produits énumérés au point 3.6.6.2"
Legume-tige	Blette tige	0,03	3.2.8.1 " Légumes-tiges, autres que céleris et poireaux"	0,1	3.1.8 "Légumes-tiges"	0,4	3.6.7 "Légumes-tiges"
Legume-tige	Cèleri tige	0,1	3.2.8.2 "Légumes-tiges- Céleris"	0,1	3.1.8 "Légumes-tiges"	0,4	3.6.7 "Légumes-tiges"
Legume-tige	Poireau entier	0,04	3.2.8.3 "Légumes-tiges - Poireaux"	0,1	3.1.8 "Légumes-tiges"	0,4	3.6.7 "Légumes-tiges"
Legume-tige	Poireau tige	0,04	3.2.8.3 "Légumes-tiges - Poireaux"	0,1	3.1.8 "Légumes-tiges"	0,4	3.6.7 "Légumes-tiges"
Tubercule	Pomme de terre	0,1	3.2.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des betteraves, des céleris-raves, des raiforts, panais, salsifis, radis, racines et tubercules tropicaux, persil à grosse racine, navets"	0,1	3.1.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des salsifis, gingembre et curcuma"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"
Tubercule	Topinambour	0,1	3.2.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des betteraves, des céleris-raves, des raiforts, panais, salsifis, radis, racines et tubercules tropicaux, persil à grosse racine, navets"	0,1	3.1.2.1 "Légumes-racines et légumes-tubercules, à l'exclusion des salsifis, gingembre et curcuma"	0,9	3.6.2 "Légumes-racines, légumes-tubercules et légumes-bulbes"

Annexe 5 : Teneurs en matière sèche utilisées pour le calcul des valeurs BCF

Teneurs en matière sèche

La teneur en matière sèche dans chaque espèce végétale est nécessaire au calcul du BCF. L'origine de la donnée provient de différentes sources en fonction des espèces végétales, en utilisant l'ordre de priorité suivant :

1. Valeur mesurée par le laboratoire pour l'échantillon concerné,
2. Valeur moyenne des mesures faites au laboratoire pour l'espèce en l'absence de donnée sur l'échantillon spécifique ;
3. Valeur disponible sur de bases de données en ligne Ciqua²⁰;
4. Valeur donnée dans les guides associés au logiciel Modul'ERS;
5. Valeur issue de la littérature, d'articles, ou, à défaut, d'autres espèces similaires.

Nature	Nombre d'échantillons	Taux d'humidité (en %)	Source de la donnée
Légumes feuille (11 catégories, n=259)			
Salade	91	95,8	Ciqua
Blette feuille	64	90	Moyenne mesures de laboratoire
Poireau feuille	63	90,7	Moyenne mesures de laboratoire
Blette entière	17	95,4	Ciqua
Choux	7	91	Moyenne mesures de laboratoire
Cèleri feuille	5	93,4	Ciqua
Fane de carotte	4	93	Modul'ers
Epinard	3	91,6	Ciqua
Roquette	3	91,7	Ciqua
Cèleri entier	1	93,4	Ciqua
Oseille	1	93	Ciqua
Légume tige (4 catégories, n=179)			
Blette tige	66	93	Moyenne mesures de laboratoire
Poireau tige	62	87,7	Moyenne mesures de laboratoire
Poireau entier	45	88,3	Moyenne mesures de laboratoire
Cèleri tige	6	93,4	Ciqua
Légumes racine (6 catégories, n=127)			
Carotte	88	89,9	Moyenne mesures de laboratoire
Betterave	31	86,7	Ciqua
Radis rouge	3	95,5	Ciqua
Navet	3	91,9	Ciqua
Radis noir	1	91,4	Ciqua
Rave	1	88,8	Ciqua
Légumes fleur (1 catégorie, n=2)			
Brocoli	2	88,9	Ciqua
Légumes secs (2 catégories, n=2)			
Fève	1	76,8	Ciqua
Haricot blanc	1	66,9	Ciqua
Légumes fruit (11 catégories, n=410)			
Courgette	138	95	Moyenne mesures de laboratoire
Tomate	149	94,1	Ciqua
Courge	11	92,3	Ciqua
Haricot	23	90,9	Ciqua
Potiron	25	91,9	Moyenne mesures de laboratoire
Aubergine	27	92,9	Ciqua
Poivron	23	92,1	Ciqua
Concombre	11	96,3	Ciqua
Citrouille	1	94	Moyenne mesures de laboratoire
Melon	1	84,2	Ciqua
Cornichon	1	96	Moyenne mesures de laboratoire

²⁰ <https://ciqua.anses.fr/>

Nature	Nombre d'échantillons	Taux d'humidité (en %)	Source de la donnée
Tubercules (2 catégories, n=146)			
Pomme de terre	145	79,2	Moyenne mesures de laboratoire
Topinambour	1	80,1	Ciqua
Bulbes (2 catégories, n=62)			
Oignon	52	89,6	Ciqua
Echalote	10	82,3	Ciqua
Fruits (6 catégories, n=36)			
Raisin	20	80,5	Ciqua
Framboise	9	86,8	Ciqua
Mûre	3	86,9	Ciqua
Myrtille	2	84,2	Ciqua
Fraise	1	90,3	Ciqua
Groseille	1	86,5	Moyenne mesures de laboratoire
Fruits de l'arbre (18 catégories, n=147)			
Pomme	59	86,7	Ciqua
Figue	25	80,2	Ciqua
Prune	18	87	Ciqua
Pêche	17	88,6	Ciqua
Poire	14	83,5	Ciqua
Abricot	3	87,1	Ciqua
Olive	3	74,6	Ciqua
Cerise	2	85,7	Ciqua
Châtaigne	2	59,2	Moyenne mesures de laboratoire
Coing	2	82,6	Moyenne mesures de laboratoire
Mirabelle	1	82	Moyenne mesures de laboratoire
Noix	1	25	Autres (Moyenne valeurs noix fraîche et noix sèche)
Aromates (10 catégories, n=43)			
Thym	13	65,1	Ciqua
Menthe	12	82,1	Ciqua
Romarin	10	67,8	Ciqua
Persil	2	87	Moyenne mesures de laboratoire
Ortie	1	87,5	Autres (Articles scientifiques ²¹)
Marjolaine	1	87	Autres (moyenne menthe, ortie, basilic)
Ciboulette	1	90,6	Ciqua
Sauge	1	69,1	Moyenne mesures de laboratoire
Basilic	1	91,7	Ciqua
Verveine	1	87	Autres (Moyenne menthe, ortie, basilic)
Champignons (1 catégories, n=2)			
Champignon	2	92,5	Moyenne mesures de laboratoire
Autres (4 catégories, n=176)			
Herbe	156	75	Moyenne mesures de laboratoire
Luzerne	11	82	Modul'ers
Maïs	8	46,7	Mesures du laboratoire pour chaque échantillon compris entre 36,1% et 73,8%)
Grand épeautre	1	11	Ciqua

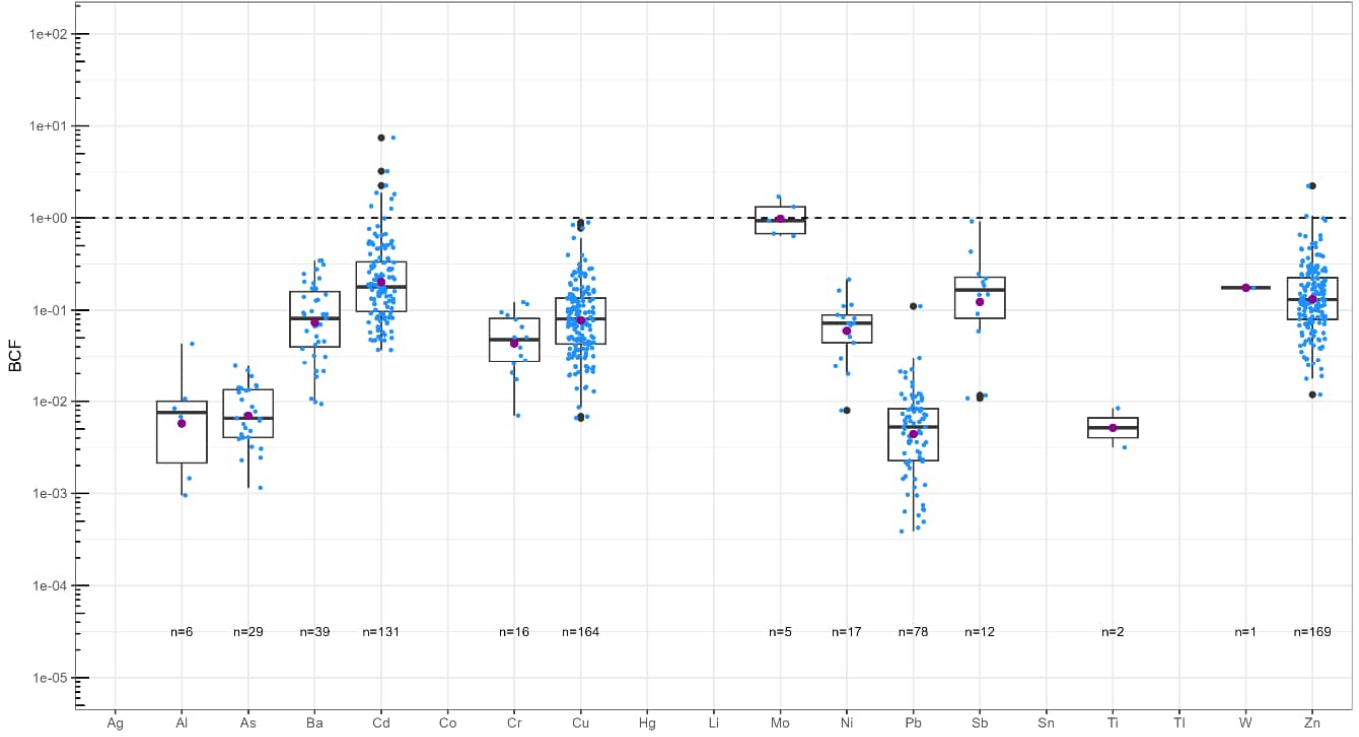
²¹ Articles utilisés pour faire une moyenne:

Adhikari BM, Bajracharya A, Shrestha AK. Comparison of nutritional properties of Stinging nettle (*Urtica dioica*) flour with wheat and barley flours. *Food Sci Nutr.* 2015 Aug 7;4(1):119-24. doi: 10.1002/fsn3.259. PMID: 26788318; PMCID: PMC4708629.

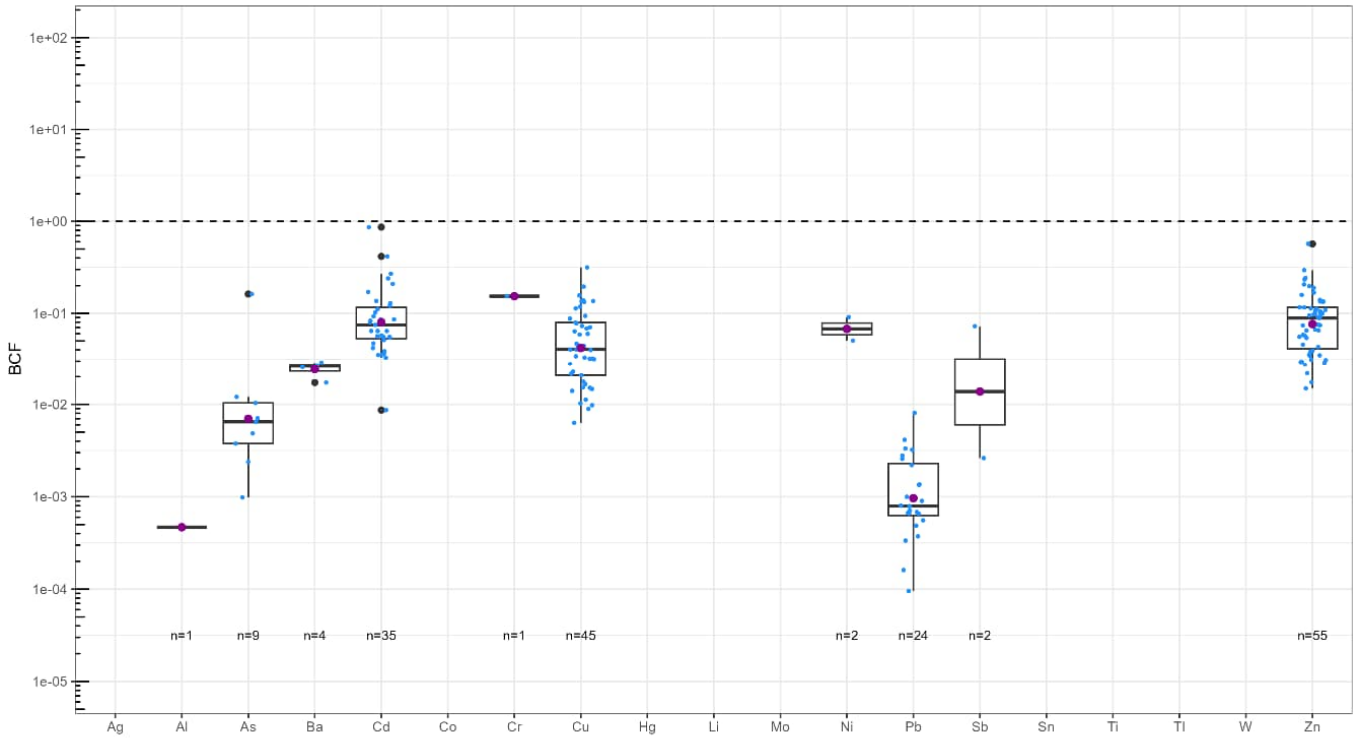
Tigist T. Shonte, K.G. Duodu, Henriette L. de Kock, Effect of drying methods on chemical composition and antioxidant activity of underutilized stinging nettle leaves, *Heliyon*, Volume 6, Issue 5, 2020, e03938, ISSN 2405-8440,

Annexe 6 : BCF par catégorie de végétaux (boxplot)

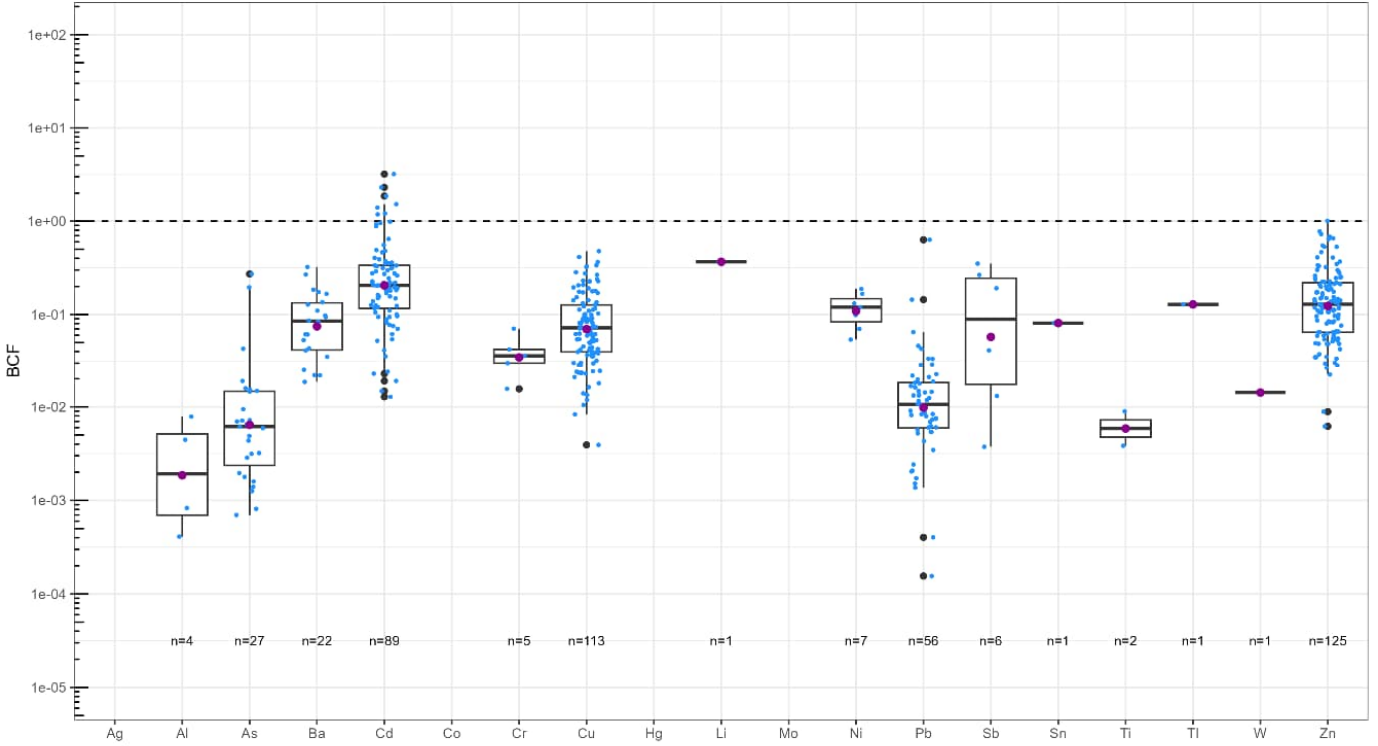
Legume-tige



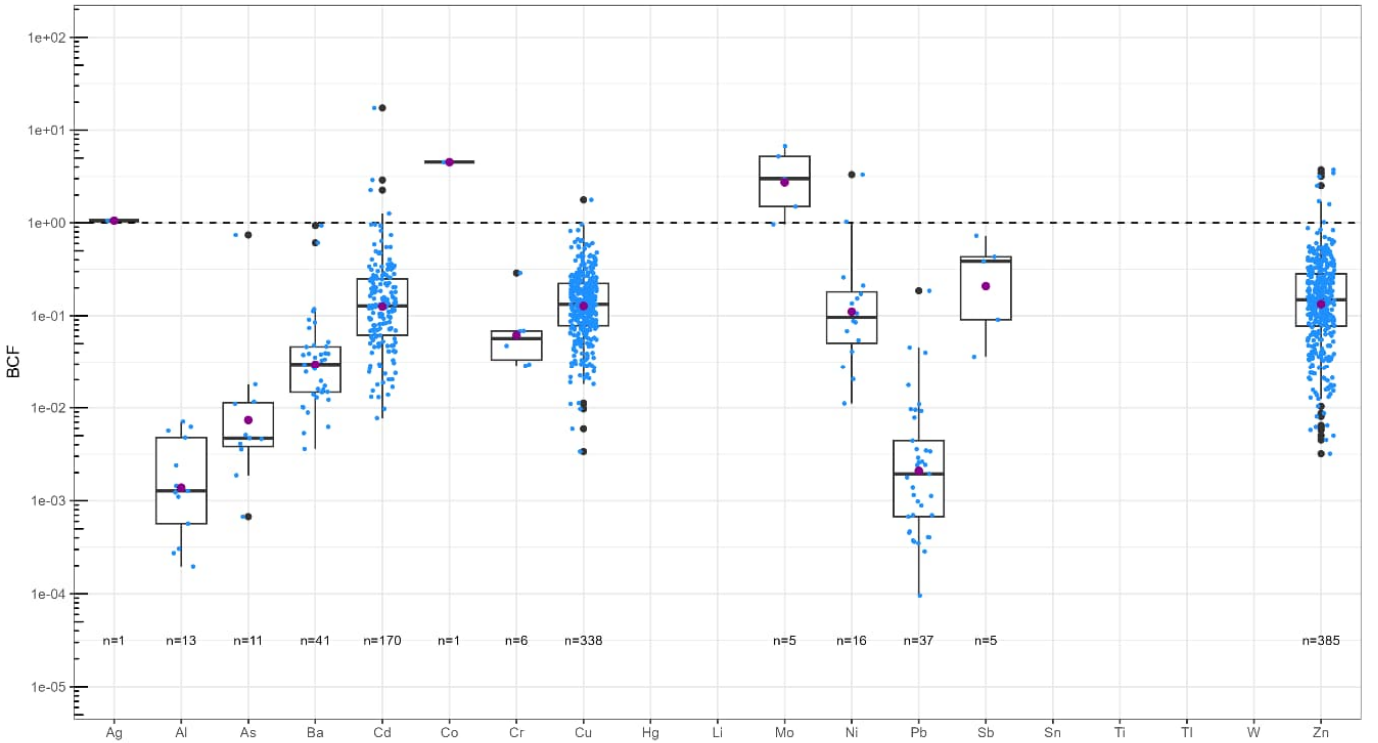
Legume-bulbe



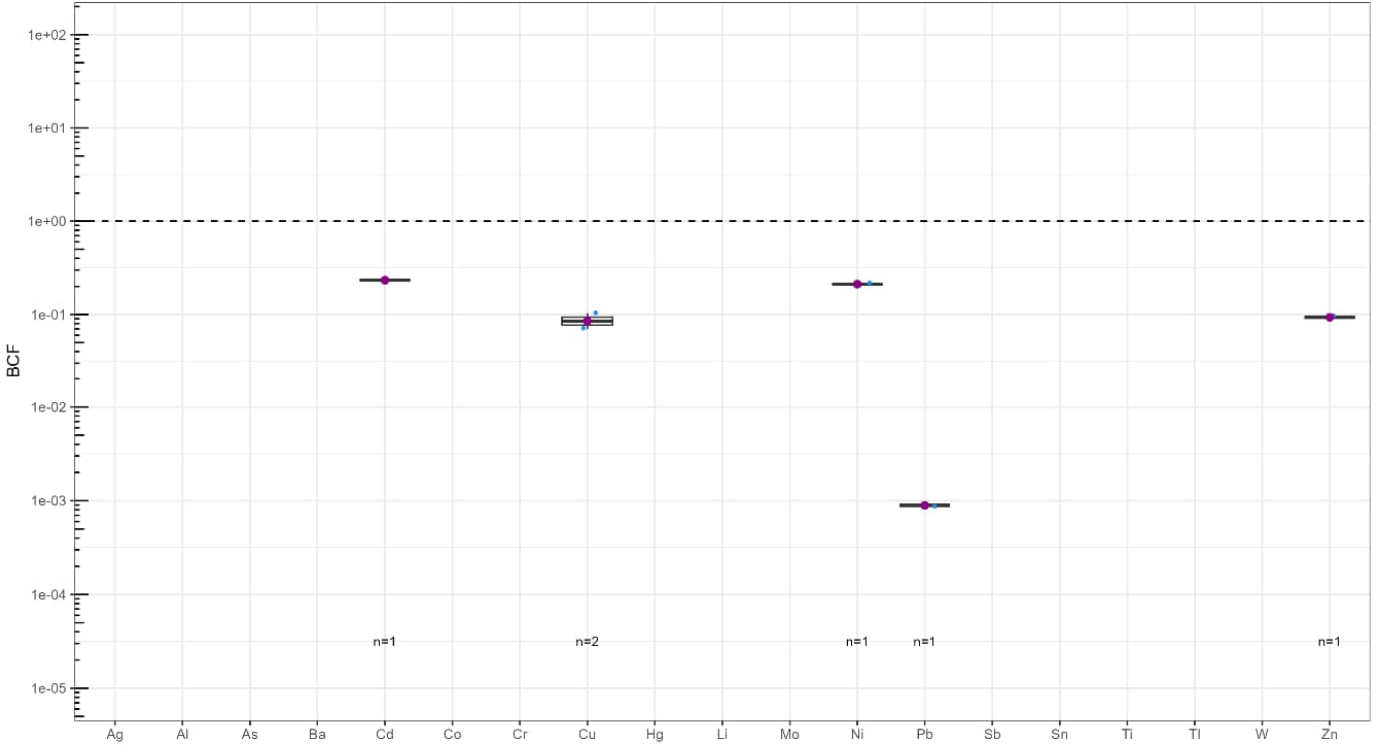
Legume-racine



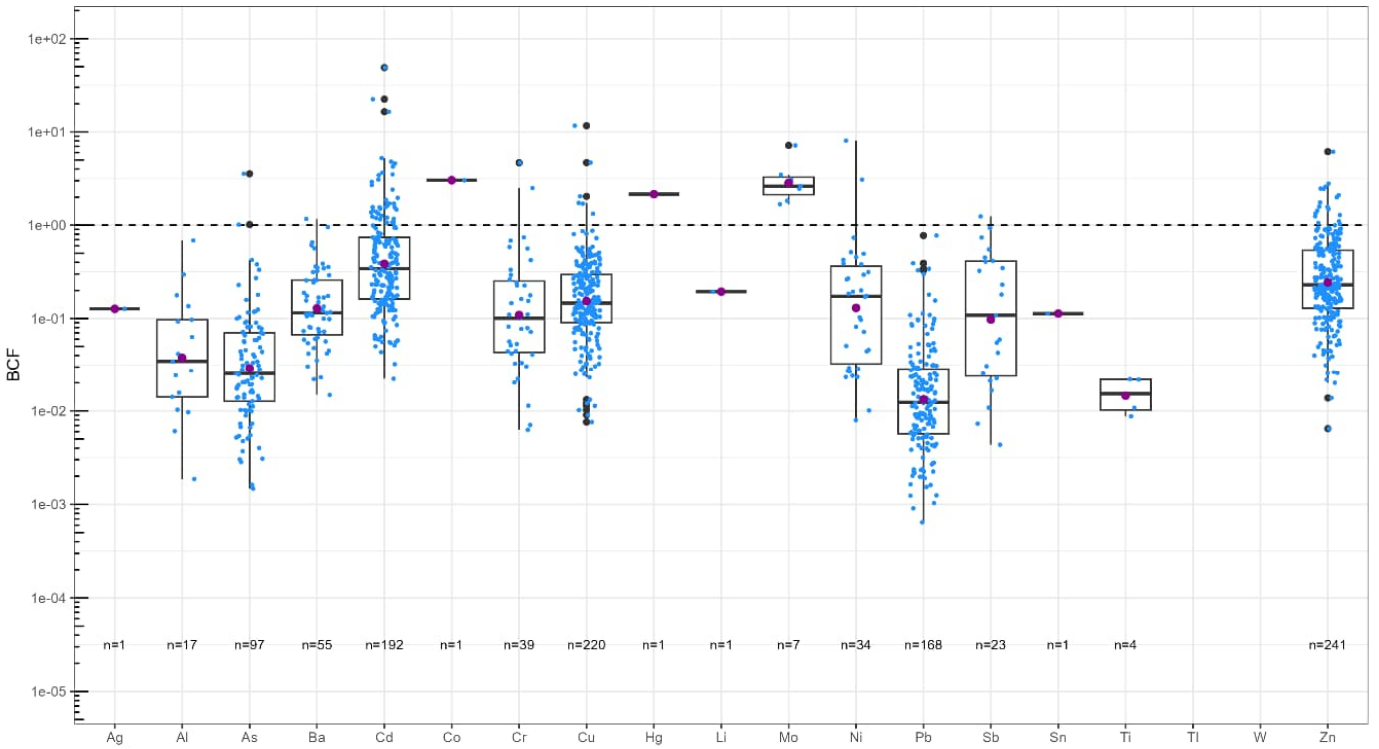
Legume-fruit

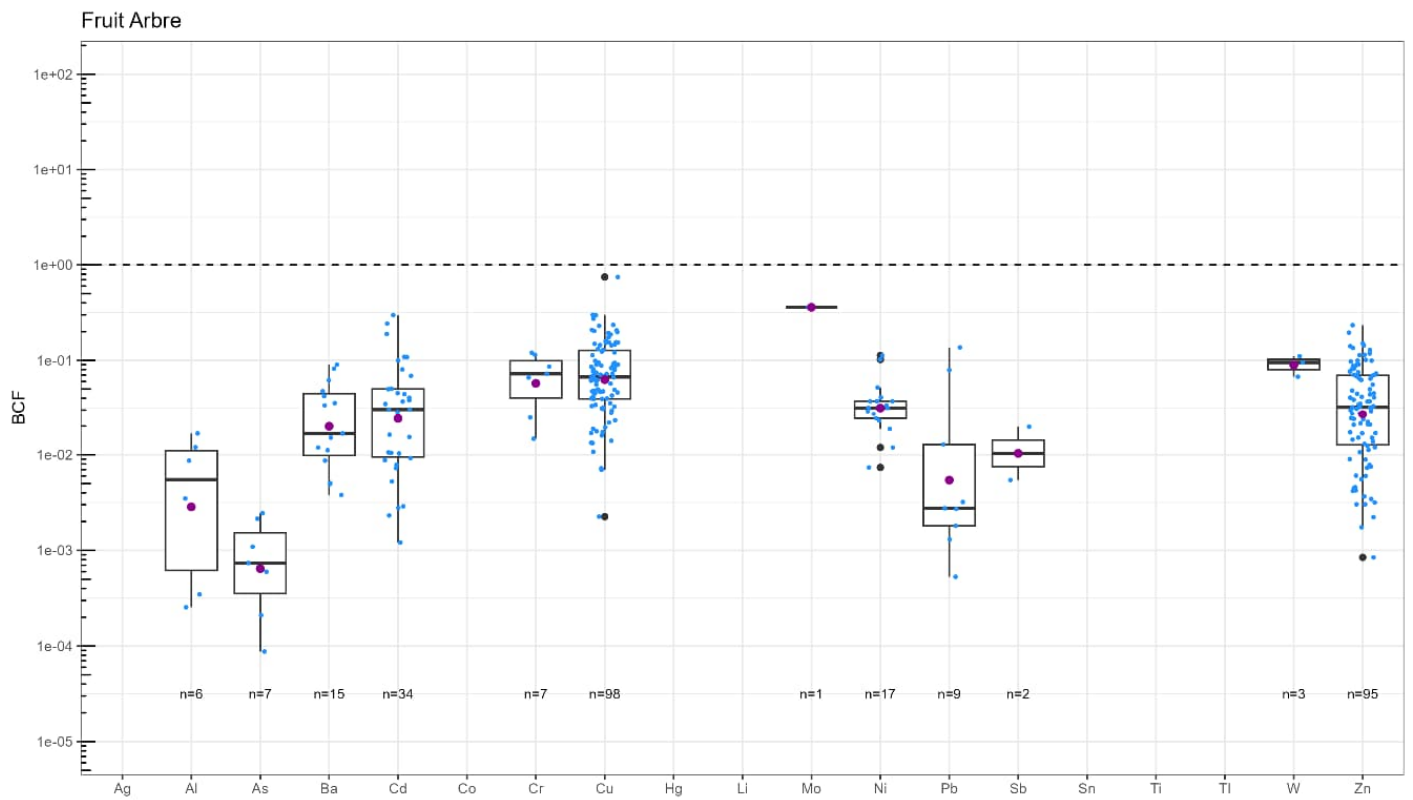
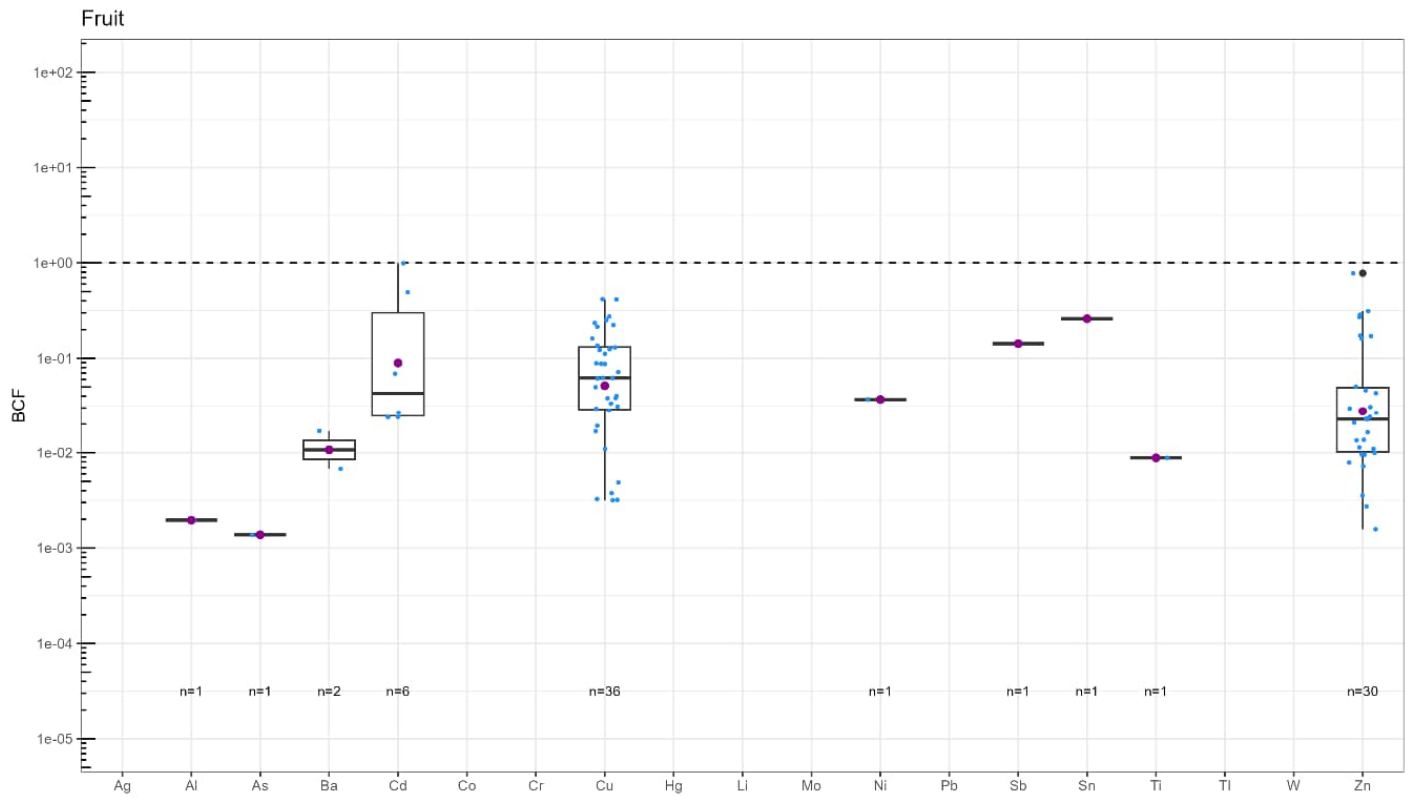


Legume-fleur

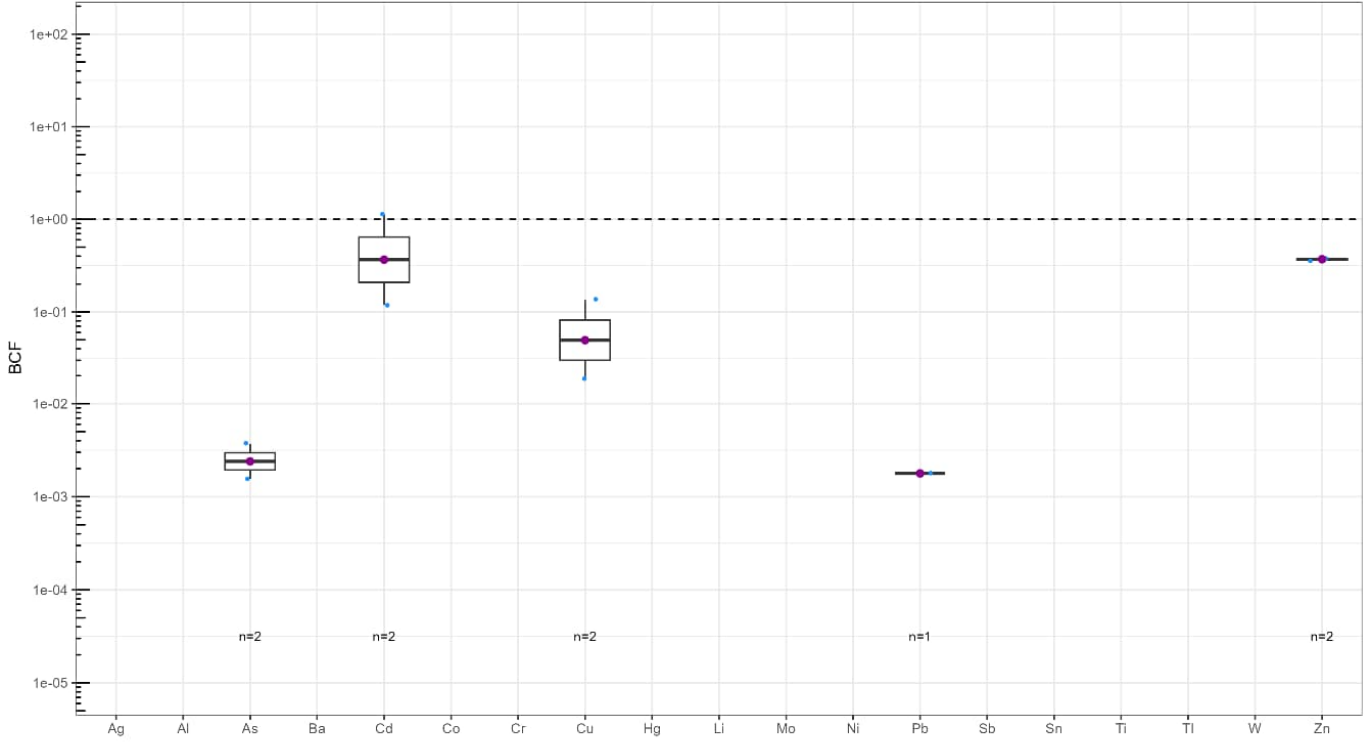


Legume-feuille

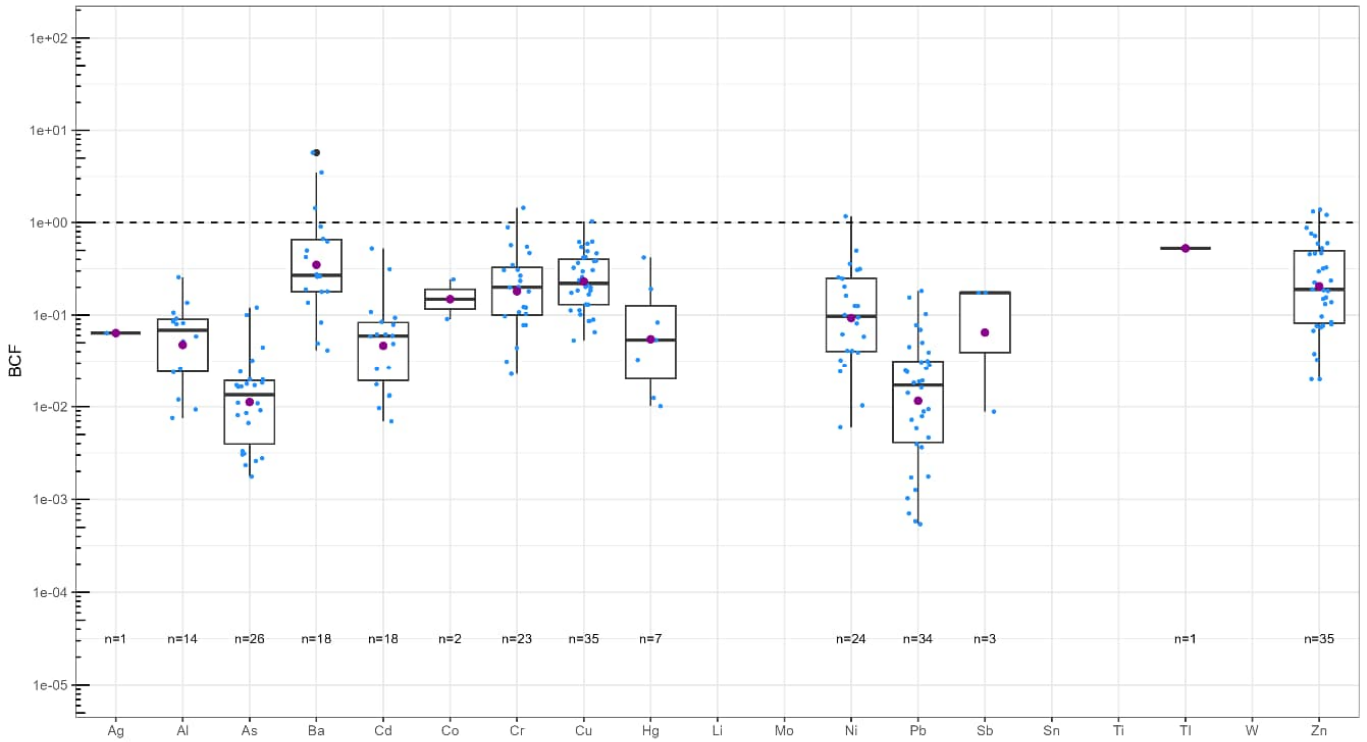




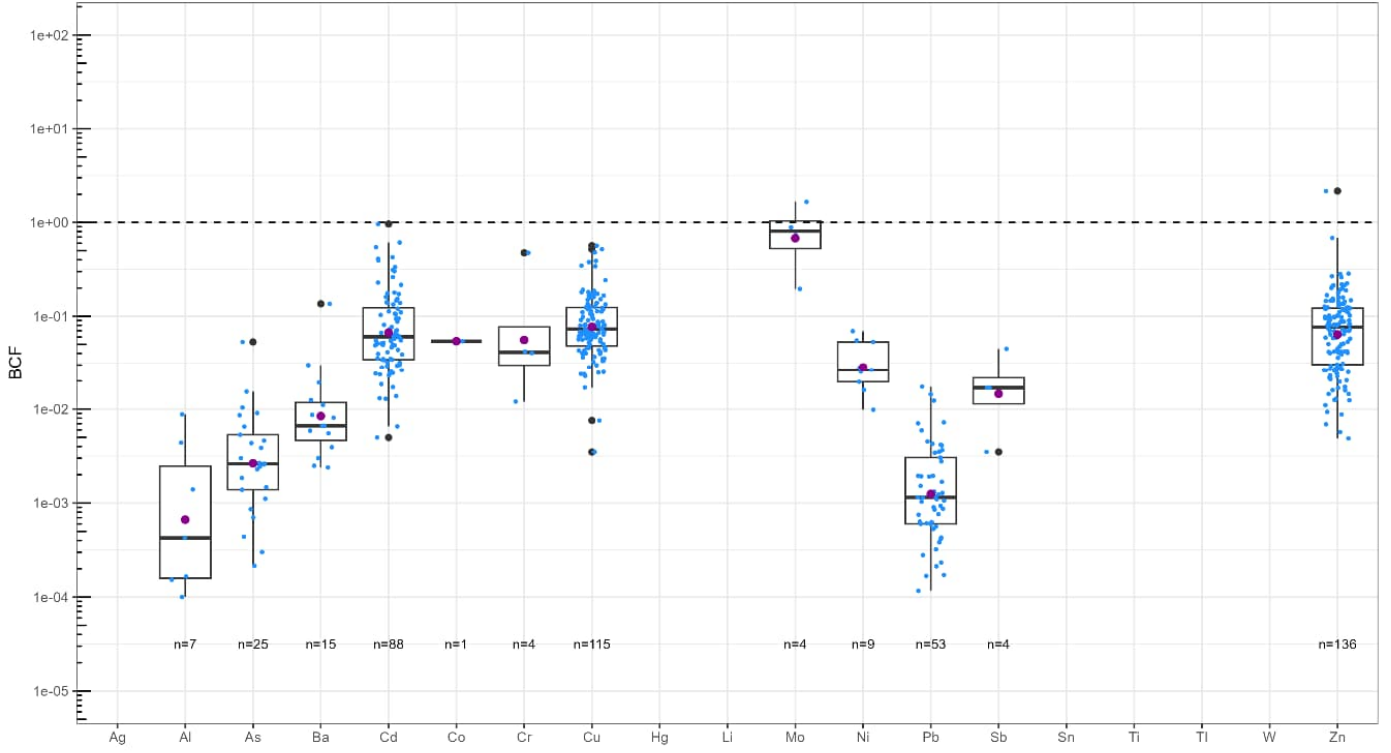
Champignon



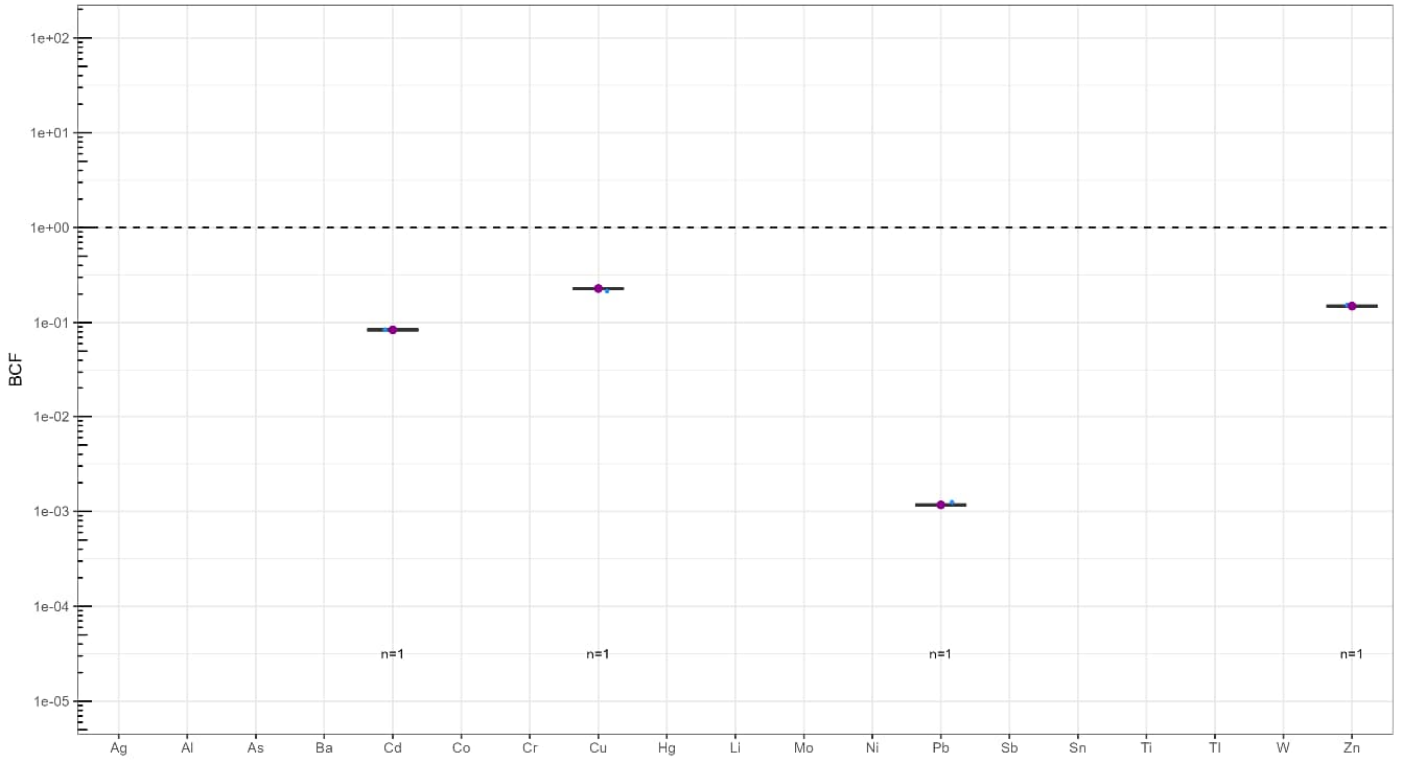
Aromate



Tubercule



Legume-sec



Annexe 7 : Fiches substances

Argent (Ag)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Légume fruit	Courgette	1	1E+00	1E+00	1E+00	1E+00	-	6	6	-
Légume feuile	Salade	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	17	17	-
	Thym	1	6E-02	6E-02	6E-02	6E-02	-	9	9	-
Patûres	Herbe	7	1E-02	3E-02	5E-02	1E-01	3E-02	6	20	67%
Aluminium (Al)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Fruit	Figue	2	1E-02	1E-02	1E-02	2E-02	3E-03	2740	4530	23%
	Mûre	1	2E-03	2E-03	2E-03	2E-03	-	5060	5060	-
	Pomme	3	3E-04	3E-04	3E-03	9E-03	5E-03	7620	28200	156%
	Pêche	1	3E-03	3E-03	3E-03	3E-03	-	4530	4530	-
Légume feuile	Blette entière	5	1E-02	3E-02	2E-01	7E-01	3E-01	5060	28300	185%
	Blette feuile	4	2E-03	8E-03	8E-03	1E-02	5E-03	12700	34500	65%
	Blette tige	5	1E-03	7E-03	6E-03	1E-02	4E-03	12700	34500	76%
	Menthe	4	3E-02	7E-02	7E-02	1E-01	5E-02	5060	16200	64%
	Oseille	1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	11000	11000	-
	Poireau entier	1	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	-	14100	14100	-
	Romarin	4	8E-03	1E-02	3E-02	1E-01	5E-02	1230	11000	143%
	Roquette	2	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	3E-02	5060	16200	24%
	Salade	5	2E-02	9E-02	1E-01	3E-01	1E-01	12700	34500	85%
	Thym	6	2E-02	8E-02	1E-01	3E-01	8E-02	1230	13300	82%
Légume fruit	Aubergine	1	2E-03	2E-03	2E-03	2E-03	-	14100	14100	-
	Courge	2	6E-03	6E-03	6E-03	7E-03	1E-03	6960	14200	16%
	Courgette	5	3E-04	1E-03	1E-03	1E-03	5E-04	16600	45500	52%
	Potiron	1	3E-04	3E-04	3E-04	3E-04	-	27100	27100	-
	Tomate	4	2E-04	3E-03	3E-03	6E-03	3E-03	12700	45500	94%
Légume racine	Betterave	1	4E-04	4E-04	4E-04	4E-04	-	11000	11000	-
	Carotte	3	8E-04	4E-03	4E-03	8E-03	4E-03	12700	34500	80%
	Oignon	1	5E-04	5E-04	5E-04	5E-04	-	45500	45500	-
Tubercule	Pomme de terre	7	1E-04	4E-04	2E-03	9E-03	3E-03	6550	45500	149%
Patûres	Herbe	34	3E-04	2E-03	2E-02	2E-01	4E-02	10900	41700	189%
	Mais	1	2E-04	2E-04	2E-04	2E-04	-	32600	32600	-

Moyenne des BCF	
	< 0,01
	]0,01-0,1]
	]0,1-1]
	≥ 1

Coefficient de variation	
	variable non calculé (N=1)
	≤ 15%
	]15% - 100%]
	]100% - 200%]
	> 200%

Arsenic (As)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Champignon	Champignon	2	2E-03	3E-03	3E-03	4E-03	2E-03	651	1110	57%
Fruit	Châtaigne	2	9E-05	1E-03	1E-03	2E-03	2E-03	10	280	132%
	Figue	1	6E-04	6E-04	6E-04	6E-04	-	411	411	-
	Framboise	1	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	-	275	275	-
	Pomme	1	2E-04	2E-04	2E-04	2E-04	-	2870	2870	-
	Pêche	3	6E-04	1E-03	1E-03	1E-03	2E-03	8E-04	409	1760	62%
Légume feuille	Blette entière	2	2E-02	9E-02	9E-02	2E-01	9E-02	57	85	104%
	Blette feuille	28	4E-03	1E-02	2E-02	8E-02	2E-02	21	324	92%
	Blette tige	6	4E-03	6E-03	7E-03	1E-02	2E-03	129	270	33%
	Celeri feuille	3	3E-02	7E-02	6E-02	7E-02	2E-02	19	233	38%
	Celeri tige	3	4E-03	7E-03	1E-02	2E-02	1E-02	149	1110	91%
	Choux	1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	39	39	-
	Epinard	2	3E-03	3E-03	3E-03	3E-03	7E-05	43	44	3%
	Fane de carotte	4	1E-02	2E-02	4E-02	9E-02	4E-02	32	216	94%
	Menthe	6	9E-03	2E-02	3E-02	1E-01	4E-02	16	152	126%
	Persil	1	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	-	47	47	-
	Poireau entier	14	3E-03	1E-02	1E-02	2E-02	6E-03	25	889	52%
	Poireau feuille	19	1E-03	1E-02	2E-02	2E-01	4E-02	17	940	163%
	Poireau tige	6	1E-03	3E-03	5E-03	1E-02	5E-03	200	940	102%
	Romarin	5	1E-03	3E-03	3E-03	7E-03	2E-03	37	264	64%
	Roquette	2	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	1E-03	34	85	4%
	Salade	37	6E-03	7E-02	2E-01	4E+00	6E-01	10	1110	276%
	Sauge	1	3E-03	3E-03	3E-03	3E-03	-	237	237	-
	Thym	12	2E-03	2E-02	2E-02	1E-01	3E-02	9	496	125%
	Verveine	1	8E-03	8E-03	8E-03	8E-03	-	349	349	-
	Légume fruit	Aubergine	1	3E-03	3E-03	3E-03	3E-03	-	214	214
Concombre		4	5E-03	8E-03	1E-02	2E-02	6E-03	136	460	64%
Courgette		2	4E-03	4E-03	4E-03	4E-03	4E-04	336	342	10%
Tomate		4	7E-04	6E-03	2E-01	7E-01	4E-01	32	1760	195%
Betterave		6	8E-04	4E-03	4E-03	6E-03	2E-03	58	1110	57%
Légume racine	Carotte	18	7E-04	7E-03	1E-02	4E-02	1E-02	44	1420	102%
	Echalote	2	1E-03	4E-03	4E-03	7E-03	4E-03	460	878	107%
	Oignon	7	2E-03	6E-03	3E-02	2E-01	6E-02	65	878	204%
	Radis noir	1	2E-03	2E-03	2E-03	2E-03	-	37	37	-
	Radis rouge	2	2E-01	2E-01	2E-01	3E-01	5E-02	33	57	23%
	Pomme de terre	25	2E-04	3E-03	6E-03	5E-02	1E-02	15	2870	179%
Patûres	Grand épeautre	1	5E-03	5E-03	5E-03	5E-03	-	27	27	-
	Herbe	90	7E-04	1E-02	2E-02	9E-02	2E-02	13	1870	104%
	Luzerne	2	1E-02	7E-02	7E-02	1E-01	9E-02	27	27	118%

Légende

Moyenne des BCF	
	< 0,01
	]0,01-0,1]
	]0,1-1]
	≥ 1

Coefficient de variation	
	variable non calculé (N=1)
	≤ 15%
	]15% - 100%]
	]100% - 200%]
	> 200%

Baryum (Ba)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Fruit	Coing	2	4E-03	8E-03	8E-03	1E-02	6E-03	313	420	73%
	Figue	3	3E-02	4E-02	5E-02	9E-02	3E-02	101	270	60%
	Poire	2	4E-02	6E-02	6E-02	8E-02	3E-02	144	457	45%
	Pomme	6	5E-03	1E-02	2E-02	5E-02	2E-02	135	471	94%
	Prune	1	6E-02	6E-02	6E-02	6E-02	-	199	199	-
	Pêche	1	9E-03	9E-03	9E-03	9E-03	-	303	303	-
	Raisin	2	7E-03	1E-02	1E-02	2E-02	7E-03	303	303	61%
Légume feuille	Blette entière	13	5E-02	3E-01	4E-01	1E+00	3E-01	30	715	80%
	Blette feuille	6	1E-02	9E-02	8E-02	1E-01	5E-02	163	646	62%
	Blette tige	7	3E-02	1E-01	1E-01	2E-01	8E-02	104	646	57%
	Marjolaine	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	1140	1140	-
	Menthe	4	3E-01	3E-01	4E-01	7E-01	2E-01	30	92	46%
	Oseille	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	206	206	-
	Poireau entier	19	9E-03	6E-02	1E-01	3E-01	1E-01	104	718	107%
	Poireau feuille	14	2E-02	1E-01	1E-01	3E-01	8E-02	71	1190	62%
	Poireau tige	13	2E-02	9E-02	1E-01	3E-01	9E-02	71	961	79%
	Romarin	6	4E-02	1E-01	2E-01	9E-01	3E-01	13	457	144%
	Roquette	2	3E-01	4E-01	4E-01	6E-01	2E-01	30	71	39%
	Salade	19	4E-02	7E-02	1E-01	4E-01	1E-01	63	1270	84%
	Thym	7	2E-01	6E-01	2E+00	6E+00	2E+00	13	418	120%
Légume fruit	Aubergine	2	1E-02	3E-02	3E-02	4E-02	2E-02	143	765	64%
	Concombre	1	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	-	765	765	-
	Courgette	16	6E-03	3E-02	3E-02	7E-02	2E-02	135	893	60%
	Haricot	4	4E-02	1E-01	2E-01	6E-01	3E-01	143	252	127%
	Poivron	1	5E-02	5E-02	5E-02	5E-02	-	110	110	-
	Potiron	8	4E-03	3E-02	4E-02	1E-01	4E-02	194	646	94%
	Tomate	9	5E-03	1E-02	1E-01	9E-01	3E-01	114	955	259%
Légume racine	Betterave	3	2E-02	5E-02	7E-02	1E-01	5E-02	206	619	80%
	Carotte	19	2E-02	9E-02	1E-01	3E-01	8E-02	112	1420	79%
	Echalote	2	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	1E-03	63	67	4%
	Oignon	2	2E-02	2E-02	2E-02	3E-02	8E-03	67	457	36%
Tubercule	Pomme de terre	15	2E-03	7E-03	2E-02	1E-01	3E-02	71	1190	192%
Patûres	Herbe	44	4E-02	3E-01	5E-01	5E+00	9E-01	6	989	167%

Légende

Moyenne des BCF	
	< 0,01
	]0,01-0,1]
	]0,1-1]
	≥ 1

Coefficient de variation	
	variable non calculé (N=1)
	≤ 15%
	]15% - 100%]
	]100% - 200%]
	> 200%

Cadmium (Cd)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Champignon	Champignon	2	1E-01	6E-01	6E-01	1E+00	7E-01	2,0	8,7	114%
Fruit	Abricot	1	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	-	9,0	9,0	-
	Châtaigne	2	1E-03	9E-02	9E-02	2E-01	1E-01	0,5	71,0	140%
	Coing	1	8E-02	8E-02	8E-02	8E-02	-	0,6	0,6	-
	Figue	16	3E-03	3E-02	3E-02	1E-01	3E-02	0,7	29,0	89%
	Fraise	1	1E+00	1E+00	1E+00	1E+00	-	2,2	2,2	-
	Framboise	4	2E-02	5E-02	2E-01	5E-01	2E-01	0,6	2,3	150%
	Mûre	1	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	-	3,7	3,7	-
	Olive	2	2E-03	3E-03	3E-03	3E-03	4E-04	8,2	13,6	16%
	Poire	6	8E-03	3E-02	7E-02	2E-01	9E-02	0,7	13,9	132%
	Pomme	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	1,0	1,0	-
	Pêche	5	3E-02	4E-02	5E-02	1E-01	3E-02	1,3	3,1	59%
Légume feuille	Blette entière	14	2E-01	8E-01	2E+00	2E+01	4E+00	0,4	14,4	192%
	Blette feuille	48	9E-02	4E-01	7E-01	5E+00	8E-01	0,4	21,1	109%
	Blette tige	47	5E-02	3E-01	4E-01	3E+00	5E-01	0,4	21,1	128%
	Celeri entier	1	4E-01	4E-01	4E-01	4E-01	-	5,2	5,2	-
	Celeri feuille	5	4E-02	7E-01	1E+00	3E+00	1E+00	1,0	19,0	121%
	Celeri tige	6	5E-02	3E-01	2E+00	7E+00	3E+00	1,0	19,0	170%
	Choux	2	1E-01	2E-01	2E-01	2E-01	4E-02	4,2	8,2	29%
	Ciboulette	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	1,3	1,3	-
	Epinard	2	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	5E-02	6,9	8,8	17%
	Fane de carotte	2	4E-01	5E-01	5E-01	7E-01	2E-01	0,5	1,3	41%
	Marjolaine	1	6E-02	6E-02	6E-02	6E-02	-	4,4	4,4	-
	Menthe	3	2E-02	2E-02	4E-02	8E-02	3E-02	0,6	3,5	83%
	Oseille	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	1,0	1,0	-
	Persil	1	5E-01	5E-01	5E-01	5E-01	-	4,5	4,5	-
	Poireau entier	26	4E-02	1E-01	2E-01	7E-01	2E-01	0,4	21,1	90%
	Poireau feuille	51	3E-02	1E-01	1E+00	5E+01	7E+00	0,4	87,8	558%
	Poireau tige	52	5E-02	2E-01	3E-01	2E+00	4E-01	0,4	87,8	144%
	Romarin	3	6E-03	1E-02	2E-02	4E-02	2E-02	6,8	12,8	87%
	Roquette	2	3E-01	5E-01	5E-01	7E-01	3E-01	0,6	7,3	54%
	Salade	64	2E-02	5E-01	1E+00	2E+01	3E+00	0,4	16,7	241%
Thym	8	5E-03	6E-02	5E-02	9E-02	3E-02	0,6	12,8	65%	
Verveine	1	5E-02	5E-02	5E-02	5E-02	-	2,1	2,1	-	
Légume fruit	Aubergine	20	7E-02	2E-01	3E-01	1E+00	2E-01	0,6	39,2	81%
	Brocoli	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	1,0	1,0	-
	Citrouille	1	9E-01	9E-01	9E-01	9E-01	-	0,9	0,9	-
	Concombre	2	2E-02	2E-01	2E-01	3E-01	2E-01	8,4	39,2	124%
	Courge	3	6E-02	9E-02	8E-02	9E-02	2E-02	2,4	6,9	22%
	Courgette	17	8E-03	5E-02	7E-02	3E-01	6E-02	1,1	20,7	97%
	Haricot	3	6E-02	7E-02	8E-01	2E+00	1E+00	2,0	7,3	159%
	Haricot Blanc	1	8E-02	8E-02	8E-02	8E-02	-	2,4	2,4	-
	Poivron	17	2E-02	1E-01	2E-01	5E-01	1E-01	0,5	35,5	79%
	Potiron	14	1E-02	8E-02	2E-01	1E+00	3E-01	0,4	11,4	131%
	Tomate	93	1E-02	1E-01	4E-01	2E+01	2E+00	0,4	39,2	454%
Légume racine	Betterave	24	1E-02	1E-01	3E-01	3E+00	7E-01	0,5	13,6	204%
	Carotte	59	2E-02	2E-01	4E-01	2E+00	5E-01	0,4	14,6	115%
	Echalote	6	4E-02	9E-02	8E-02	1E-01	2E-02	0,5	5,0	30%
	Navet	2	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	5E-04	4,9	13,0	0%
	Oignon	29	9E-03	6E-02	1E-01	9E-01	2E-01	0,5	23,5	129%
	Radis noir	1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	8,2	8,2	-
	Radis rouge	3	5E-02	3E-01	3E-01	6E-01	3E-01	3,3	8,2	80%
Tubercule	Pomme de terre	87	5E-03	6E-02	1E-01	1E+00	2E-01	0,4	23,5	135%
	Topinambour	1	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	-	7,3	7,3	-
Patûres	Grand épeautre	1	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	-	3,9	3,9	-
	Herbe	104	1E-02	2E-01	4E-01	1E+01	1E+00	0,4	452,0	260%
	Luzerne	10	6E-02	1E-01	2E-01	3E-01	6E-02	0,6	3,9	38%
	Maïs	3	2E-02	3E-02	3E-02	4E-02	1E-02	0,4	1,3	42%

Légende

Moyenne des BCF	
	< 0,01
	]0,01-0,1]
	]0,1-1]
	≥ 1

Coefficient de variation	
	variable non calculé (N=1)
	≤ 15%
	]15% - 100%]
	]100% - 200%]
	> 200%

Cobalt (Co)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Légume feuille	Menthe	1	9,04E-02	9,04E-02	9,04E-02	9,04E-02	-	6,18	6,18	-
	Poireau feuille	1	3,03E+00	3,03E+00	3,03E+00	3,03E+00	-	8,15	8,15	-
	Thym	1	2,43E-01	2,43E-01	2,43E-01	2,43E-01	-	1,18	1,18	-
Légume fruit	Tomate	1	4,52E+00	4,52E+00	4,52E+00	4,52E+00	-	7,87	7,87	-
Tubercule	Pomme de terre	1	5,40E-02	5,40E-02	5,40E-02	5,40E-02	-	17,8	17,8	-
Patûres	Herbe	1	5,93E-02	5,93E-02	5,93E-02	5,93E-02	-	15,9	15,9	-

Chrome (Cr)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV	
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max		
Fruit	Châtaigne	1	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	-	45	45	-	
	Figue	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	13	13	-	
	Poire	1	7E-02	7E-02	7E-02	7E-02	-	28	28	-	
	Pomme	3	7E-02	9E-02	9E-02	9E-02	1E-01	2E-02	19	35	26%
	Pêche	1	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	-	119	119	-
Légume feuille	Blette entière	1	6E-01	6E-01	6E-01	6E-01	-	17	17	-	
	Blette feuille	4	3E-02	1E-01	8E-02	1E-01	4E-02	27	61	44%	
	Blette tige	1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	36	36	-	
	Celeri feuille	1	6E-02	6E-02	6E-02	6E-02	-	23	23	-	
	Menthe	6	1E-01	2E-01	4E-01	4E-01	1E+00	5E-01	11	28	141%
	Oseille	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	21	21	-	
	Poireau entier	6	4E-02	8E-02	8E-02	1E-01	3E-02	20	65	40%	
	Poireau feuille	17	7E-03	4E-02	1E-01	7E-01	2E-01	11	57	166%	
	Poireau tige	9	7E-03	3E-02	4E-02	1E-01	3E-02	11	38	80%	
	Romarin	5	3E-02	1E-01	2E-01	3E-01	1E-01	6	21	80%	
	Roquette	2	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	17	28	9%	
	Salade	13	6E-03	2E-01	8E-01	5E+00	1E+00	17	48	179%	
	Thym	12	2E-02	3E-01	3E-01	9E-01	3E-01	5	40	88%	
	Légume fruit	Aubergine	2	3E-02	4E-02	4E-02	5E-02	1E-02	36	54	35%
Courge		1	7E-02	7E-02	7E-02	7E-02	-	19	19	-	
Courgette		1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	54	54	-	
Tomate		2	7E-02	2E-01	2E-01	3E-01	2E-01	15	24	87%	
Légume racine	Carotte	4	3E-02	4E-02	4E-02	7E-02	2E-02	17	42	40%	
	Navet	1	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	-	37	37	-	
	Oignon	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	19	19	-	
Tubercule	Pomme de terre	4	1E-02	4E-02	1E-01	5E-01	2E-01	11	35	156%	
Patûres	Grand épeautre	1	8E-02	8E-02	8E-02	8E-02	-	21	21	-	
	Herbe	43	1E-02	1E-01	2E-01	1E+00	3E-01	11	123	131%	
	Luzerne	2	8E-02	2E-01	2E-01	3E-01	2E-01	21	21	88%	

Moyenne des BCF	
	< 0,01
	]0,01-0,1]
	]0,1-1]
	≥ 1

Coefficient de variation	
	variable non calculé (N=1)
	≤ 15%
	]15% - 100%]
	]100% - 200%]
	> 200%

Cuivre (Cu)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Champignon	Champignon	2	2E-02	8E-02	8E-02	1E-01	8E-02	129	1170	108%
Fruit	Abricot	2	4E-02	6E-02	6E-02	8E-02	3E-02	84	109	45%
	Châtaigne	2	3E-02	2E-01	2E-01	3E-01	2E-01	31	260	115%
	Coing	2	4E-02	9E-02	9E-02	1E-01	8E-02	42	120	87%
	Figue	22	7E-03	1E-01	1E-01	3E-01	7E-02	13	154	62%
	Fraise	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	25	25	-
	Framboise	9	3E-03	2E-02	8E-02	4E-01	1E-01	22	1160	170%
	Groseille	1	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	-	137	137	-
	Melon	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	33	33	-
	Mirabelle	1	9E-02	9E-02	9E-02	9E-02	-	33	33	-
	Myrtille	2	1E-01	2E-01	2E-01	2E-01	7E-02	21	40	44%
	Mûre	3	6E-02	2E-01	1E-01	2E-01	8E-02	35	257	53%
	Olive	3	9E-02	1E-01	1E-01	2E-01	4E-02	43	114	32%
	Poire	7	2E-02	7E-02	1E-01	3E-01	1E-01	37	154	93%
	Pomme	39	2E-03	5E-02	7E-02	7E-01	1E-01	16	557	166%
	Prune	9	4E-02	9E-02	1E-01	2E-01	6E-02	29	124	54%
Pêche	11	1E-02	5E-02	6E-02	2E-01	4E-02	36	438	71%	
Raisin	20	4E-03	7E-02	8E-02	3E-01	7E-02	29	1040	85%	
Légume feuille	Blette entière	17	3E-02	4E-01	7E-01	2E+00	7E-01	16	803	100%
	Blette feuille	56	1E-02	2E-01	2E-01	6E-01	1E-01	14	802	65%
	Blette tige	58	7E-03	1E-01	1E-01	4E-01	9E-02	14	802	74%
	Celeri feuille	5	8E-02	1E-01	1E-01	3E-01	8E-02	50	82	55%
	Celeri tige	6	2E-02	4E-02	2E-01	8E-01	3E-01	50	129	186%
	Choux	5	3E-02	6E-02	1E-01	3E-01	1E-01	11	182	116%
	Ciboulette	1	4E-01	4E-01	4E-01	4E-01	-	20	20	-
	Epinard	3	3E-02	4E-02	5E-02	7E-02	2E-02	189	208	38%
	Fane de carotte	4	8E-02	3E-01	3E+00	1E+01	6E+00	35	142	186%
	Marjolaine	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	45	45	-
	Menthe	6	9E-02	3E-01	3E-01	6E-01	2E-01	22	257	64%
	Ortie	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	50	50	-
	Oseille	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	27	27	-
	Persil	2	9E-02	1E-01	1E-01	1E-01	3E-02	77	80	29%
	Poireau entier	43	1E-02	7E-02	1E-01	9E-01	1E-01	25	439	125%
	Poireau feuille	58	8E-03	9E-02	2E-01	5E+00	6E-01	11	714	293%
	Poireau tige	57	7E-03	7E-02	1E-01	8E-01	1E-01	11	714	121%
	Romarin	10	3E-02	2E-01	2E-01	4E-01	1E-01	21	163	62%
	Roquette	3	5E-02	1E-01	2E-01	5E-01	2E-01	22	257	106%
	Salade	68	2E-02	2E-01	2E-01	9E-01	2E-01	11	318	75%
Thym	13	9E-02	2E-01	4E-01	1E+00	3E-01	15	218	78%	
Verveine	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	140	140	-	
Légume fruit	Aubergine	21	3E-02	1E-01	2E-01	6E-01	1E-01	22	257	88%
	Brocoli	2	7E-02	9E-02	9E-02	1E-01	2E-02	35	52	28%
	Citrouille	1	4E-01	4E-01	4E-01	4E-01	-	47	47	-
	Concombre	9	7E-02	1E-01	1E-01	3E-01	6E-02	31	85	39%
	Cornichon	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	52	52	-
	Courge	10	3E-02	1E-01	2E-01	6E-01	2E-01	23	152	93%
	Courgette	115	7E-03	1E-01	2E-01	8E-01	2E-01	14	1010	89%
	Haricot	23	2E-02	1E-01	2E-01	6E-01	1E-01	28	439	78%
	Haricot Blanc	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	29	29	-
	Poivron	22	3E-02	1E-01	2E-01	5E-01	1E-01	15	438	67%
	Potiron	18	2E-02	1E-01	1E-01	3E-01	8E-02	22	209	62%
	Tomate	117	3E-03	1E-01	2E-01	2E+00	2E-01	15	1010	107%
Légume racine	Betterave	23	2E-02	1E-01	2E-01	5E-01	1E-01	27	198	68%
	Carotte	84	4E-03	6E-02	9E-02	4E-01	9E-02	11	1010	94%
	Echalote	10	1E-02	6E-02	8E-02	2E-01	5E-02	25	275	70%
	Navet	3	4E-02	5E-02	7E-02	1E-01	3E-02	45	170	50%
	Oignon	35	6E-03	4E-02	6E-02	3E-01	6E-02	15	275	104%
	Radis noir	1	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	-	196	196	-
	Radis rouge	1	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	-	196	196	-
Rave	1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	31	31	-	
Tubercule	Pomme de terre	114	3E-03	8E-02	1E-01	6E-01	1E-01	11	318	93%
	Topinambour	1	5E-02	5E-02	5E-02	5E-02	-	208	208	-
Patûres	Herbe	132	8E-03	3E-01	3E-01	2E+00	3E-01	6	940	85%
	Luzerne	3	8E-01	8E-01	9E-01	1E+00	1E-01	10	12	12%
	Maïs	8	5E-02	8E-02	1E-01	2E-01	4E-02	13	56	45%

Moyenne des BCF	
	< 0,01
	]0,01-0,1]
	]0,1-1]
	≥ 1

Coefficient de variation	
	variable non calculé (N=1)
	≤ 15%
	]15% - 100%]
	]100% - 200%]
	> 200%

Mercure (Hg)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV	
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max		
Légume feuille	Persil	1	4E-01	4E-01	4E-01	4E-01	-	0,1	0,1	-	
	Poireau feuille	1	2E+00	2E+00	2E+00	2E+00	-	0,1	0,1	-	
	Romarin	2	2E-02	4E-02	4E-02	4E-02	3E-02	0,3	1,5	69%	
	Thym	4	7E-03	3E-02	7E-02	7E-02	2E-01	9E-02	0,2	2,6	130%
Patûres	Herbe	8	3E-03	2E-02	6E-02	2E-01	7E-02	0,3	7,5	125%	
Lithium (Li)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV	
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max		
Légume feuille	Salade	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	74	74	-	
Légume racine	Betterave	1	4E-01	4E-01	4E-01	4E-01	-	59	59	-	
Patûres	Herbe	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	47	47	-	
Légende											
Molybdène (Mo)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV	
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max		
Fruit	Coing	1	4E-01	4E-01	4E-01	4E-01	-	1,5	1,5	-	
Légume feuille	Blette feuille	1	3E+00	3E+00	3E+00	3E+00	-	1,0	1,0	-	
	Poireau entier	1	2E+00	2E+00	2E+00	2E+00	-	1,0	1,0	-	
	Poireau feuille	5	2E+00	3E+00	3E+00	3E+00	2E+00	1,2	1,7	64%	
	Poireau tige	4	6E-01	8E-01	9E-01	9E-01	1E+00	3E-01	1,2	1,7	35%
Légume fruit	Salade	1	2E+00	2E+00	2E+00	2E+00	-	1,5	1,5	-	
	Courgette	1	7E+00	7E+00	7E+00	7E+00	-	1,2	1,2	-	
	Potiron	2	2E+00	2E+00	2E+00	2E+00	1E+00	1,0	1,5	47%	
Tubercule	Pomme de terre	2	1E+00	3E+00	3E+00	3E+00	3E+00	1,0	1,5	97%	
	Patûres	Herbe	4	2E-01	8E-01	9E-01	2E+00	6E-01	1,1	2,5	69%
Patûres	Herbe	4	8E-01	1E+00	1E+00	2E+00	6E-01	1,0	2,5	45%	
Légende											
Nickel (Ni)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV	
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max		
Fruit	Châtaigne	2	2E-02	3E-02	3E-02	3E-02	7E-03	48	57	24%	
	Coing	2	7E-03	1E-02	1E-02	1E-02	2E-02	57	84	61%	
	Figue	7	3E-02	3E-02	5E-02	5E-02	1E-01	9	37	63%	
	Mûre	1	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	-	21	21	-
	Poire	1	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	-	210	210	-
	Pomme	2	3E-02	6E-02	6E-02	6E-02	1E-01	5E-02	22	28	82%
	Pêche	3	3E-02	3E-02	4E-02	4E-02	5E-02	1E-02	28	34	33%
Légume feuille	Blette entière	3	2E-02	3E-01	3E-01	4E-01	2E-01	21	85	82%	
	Blette feuille	10	1E-02	6E-02	9E-02	3E-01	9E-02	10	330	103%	
	Blette tige	3	5E-02	1E-01	1E-01	2E-01	6E-02	13	28	52%	
	Menthe	5	6E-02	1E-01	3E-01	1E+00	5E-01	14	27	145%	
	Oseille	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	16	16	-	
	Poireau entier	9	2E-02	7E-02	7E-02	1E-01	3E-02	21	76	44%	
	Poireau feuille	7	8E-03	3E-02	1E+00	8E+00	3E+00	14	330	256%	
	Poireau tige	5	8E-03	4E-02	8E-02	2E-01	8E-02	13	330	107%	
	Romarin	8	6E-03	3E-02	7E-02	4E-01	1E-01	3	85	161%	
	Roquette	2	2E-01	2E-01	2E-01	3E-01	7E-02	18	21	30%	
	Salade	11	4E-02	4E-01	6E-01	3E+00	8E-01	12	52	138%	
Thym	11	4E-02	2E-01	2E-01	5E-01	1E-01	3	44	77%		
Légume fruit	Brocoli	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	16	16	-	
	Citrouille	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	18	18	-	
	Courgette	4	5E-02	8E-02	1E-01	2E-01	5E-02	23	160	55%	
	Haricot	3	3E-02	2E-01	4E-01	1E+00	5E-01	7	40	126%	
	Poivron	2	1E-02	2E-02	2E-02	2E-02	7E-03	210	330	42%	
	Potiron	4	4E-02	1E-01	1E-01	2E-01	5E-02	18	38	45%	
Légume racine	Tomate	2	8E-02	2E+00	2E+00	3E+00	2E+00	18	18	134%	
	Betterave	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	16	16	-	
	Carotte	6	5E-02	1E-01	1E-01	2E-01	5E-02	15	37	46%	
Tubercule	Oignon	2	5E-02	7E-02	7E-02	9E-02	3E-02	11	19	40%	
	Pomme de terre	9	1E-02	3E-02	3E-02	7E-02	2E-02	17	39	61%	
Patûres	Herbe	80	1E-02	7E-02	1E-01	9E-01	2E-01	9	299	125%	
	Mais	5	6E-03	9E-03	9E-03	1E-02	3E-03	20	27	36%	
Légende											
Moyenne des BCF		< 0,01									
		]0,01-0,1]								
		]0,1-1]								
		≥ 1									
Coefficient de variation		-									
		variable non calculé (N=1)									
		≤ 15%									
		]15% - 100%]								
		]100% - 200%]								
		> 200%									

Plomb (Pb)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Champignon	Champignon	1	2E-03	2E-03	2E-03	2E-03	-	524	524	-
Fruit	Abricot	1	2E-03	2E-03	2E-03	2E-03	-	988	988	-
	Châtaigne	1	3E-03	3E-03	3E-03	3E-03	-	37	37	-
	Figue	2	8E-02	1E-01	1E-01	1E-01	4E-02	211	339	38%
	Mirabelle	1	5E-04	5E-04	5E-04	5E-04	-	210	210	-
	Pomme	2	3E-03	8E-03	8E-03	1E-02	7E-03	32	90,4	91%
	Pêche	2	1E-03	2E-03	2E-03	2E-03	3E-03	848	876	60%
Légume feuillu	Blette entière	11	4E-03	2E-02	3E-02	2E-01	5E-02	58,1	1210	162%
	Blette feuille	41	6E-04	9E-03	1E-02	5E-02	1E-02	29	8760	91%
	Blette tige	30	9E-04	6E-03	1E-02	1E-01	2E-02	29	8760	177%
	Celeri entier	1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	144	144	-
	Celeri feuille	3	2E-03	2E-02	2E-02	5E-02	2E-02	1200	6980	91%
	Celeri tige	4	7E-04	8E-03	9E-03	2E-02	9E-03	1200	6980	96%
	Choux	3	7E-03	1E-02	1E-02	2E-02	5E-03	55	349	41%
	Ciboulette	1	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	-	672	672	-
	Epinard	3	1E-03	2E-03	2E-03	4E-03	2E-03	171	808	64%
	Fane de carotte	2	8E-03	6E-02	6E-02	1E-01	7E-02	31,5	170	121%
	Marjolaine	1	5E-03	5E-03	5E-03	5E-03	-	1310	1310	-
	Menthe	8	3E-03	3E-02	6E-02	2E-01	7E-02	11,7	905	121%
	Oseille	1	6E-03	6E-03	6E-03	6E-03	-	141	141	-
	Persil	2	3E-02	5E-02	5E-02	7E-02	3E-02	29	240	59%
	Poireau entier	22	6E-04	7E-03	8E-03	3E-02	7E-03	30,3	4350	84%
	Poireau feuille	45	1E-03	7E-03	1E-02	1E-01	2E-02	23,1	6980	145%
	Poireau tige	22	4E-04	2E-03	3E-03	8E-03	3E-03	55	6980	85%
	Romarin	7	7E-04	5E-03	8E-03	2E-02	9E-03	32,8	11000	111%
	Roquette	3	9E-03	3E-02	3E-02	5E-02	2E-02	36,8	171	65%
	Salade	55	9E-04	3E-02	7E-02	8E-01	1E-01	22	8760	175%
Sauge	1	6E-04	6E-04	6E-04	6E-04	-	2890	2890	-	
Thym	13	5E-04	2E-02	3E-02	1E-01	3E-02	30	20100	98%	
Verveine	1	8E-04	8E-04	8E-04	8E-04	-	1920	1920	-	
Légume fruit	Brocoli	1	9E-04	9E-04	9E-04	9E-04	-	250	250	-
	Concombre	2	2E-03	2E-02	2E-02	5E-02	3E-02	59,6	2580	131%
	Courge	3	7E-04	9E-04	2E-03	4E-03	2E-03	649	4310	94%
	Courgette	17	3E-04	1E-03	4E-03	3E-02	8E-03	243	8760	183%
	Haricot	5	3E-04	3E-03	5E-03	1E-02	5E-03	171	3460	90%
	Haricot Blanc	1	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	-	155	155	-
	Poivron	2	1E-04	9E-03	9E-03	2E-02	1E-02	36	7930	140%
	Potiron	5	4E-04	1E-03	1E-03	2E-03	8E-04	767	7930	70%
Tomate	3	3E-03	1E-02	7E-02	2E-01	1E-01	767	858	157%	
Légume racine	Betterave	6	2E-04	1E-02	1E-02	3E-02	1E-02	96	3540	104%
	Carotte	45	1E-03	1E-02	1E-02	6E-02	1E-02	12,9	6980	90%
	Echalote	3	2E-04	3E-04	4E-04	8E-04	3E-04	423	4220	77%
	Navet	1	7E-03	7E-03	7E-03	7E-03	-	1170	1170	-
	Oignon	21	1E-04	9E-04	2E-03	8E-03	2E-03	243	6980	103%
	Radis noir	1	6E-04	6E-04	6E-04	6E-04	-	866	866	-
	Radis rouge	3	1E-02	1E-01	3E-01	6E-01	3E-01	144	866	124%
Tubercule	Pomme de terre	52	1E-04	1E-03	2E-03	2E-02	4E-03	27,3	7170	161%
	Topinambour	1	7E-03	7E-03	7E-03	7E-03	-	171	171	-
Patûres	Grand épeautre	1	8E-04	8E-04	8E-04	8E-04	-	149	149	-
	Herbe	130	9E-04	1E-02	4E-02	5E-01	9E-02	12,9	57000	234%
	Luzerne	10	2E-03	3E-03	8E-03	4E-02	1E-02	149	1590	138%
	Mais	6	1E-04	2E-04	2E-04	3E-04	9E-05	315	7450	43%

Légende	
Moyenne des BCF	Coefficient de variation
< 0,01	variable non calculé (N=1)
]0,01-0,1]	≤ 15%
]0,1-1]	]15% - 100%]
≥ 1	]100% - 200%]
	> 200%

Antimoine (Sb)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Fruit	Abricot	1	5E-03	5E-03	5E-03	5E-03	-	114	114	-
	Framboise	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	5	5	-
	Pomme	1	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	-	111	111	-
Légume feuille	Blette entière	1	4E-01	4E-01	4E-01	4E-01	-	3	3	-
	Blette feuille	7	4E-03	5E-02	1E-01	3E-01	1E-01	3	42	126%
	Blette tige	3	2E-01	2E-01	3E-01	4E-01	1E-01	2	8	42%
	Celeri feuille	1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	42	42	-
	Celeri tige	1	9E-02	9E-02	9E-02	9E-02	-	13	13	-
	Epinard	2	4E-03	4E-03	4E-03	5E-03	4E-04	13	15	8%
	Menthe	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	2	2	-
	Poireau entier	5	1E-02	1E-01	1E-01	2E-01	9E-02	2	40	70%
	Poireau feuille	3	3E-02	6E-01	4E-01	7E-01	4E-01	2	42	83%
	Poireau tige	3	1E-02	1E-01	4E-01	9E-01	5E-01	1	42	136%
	Salade	10	1E-02	3E-01	4E-01	1E+00	4E-01	1	111	111%
Légume fruit	Thym	2	9E-03	9E-02	9E-02	2E-01	1E-01	4	29	128%
	Courgette	3	8E-02	4E-01	3E-01	4E-01	2E-01	2	5	65%
	Potiron	1	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	-	45	45	-
Légume racine	Tomate	1	7E-01	7E-01	7E-01	7E-01	-	3	3	-
	Betterave	1	4E-03	4E-03	4E-03	4E-03	-	26	26	-
	Carotte	3	1E-02	4E-02	8E-02	2E-01	1E-01	3	17	117%
	Oignon	2	3E-03	4E-02	4E-02	7E-02	5E-02	13	22	132%
Tubercule	Pomme de terre	4	4E-03	2E-02	2E-02	4E-02	2E-02	5	26	86%
Patûres	Herbe	31	5E-04	2E-02	4E-02	2E-01	5E-02	1	699	129%
Etain (Sn)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Fruit	Framboise	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	9	9	-
Légume feuille	Salade	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	63	63	-
Légume racine	Carotte	1	8E-02	8E-02	8E-02	8E-02	-	49	49	-
Patûres	Herbe	1	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	-	37	37	-
Titane (Ti)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Fruit	Framboise	1	9E-03	9E-03	9E-03	9E-03	-	1460	1460	-
Légume feuille	Blette feuille	3	9E-03	1E-02	1E-02	2E-02	7E-03	1290	1620	50%
	Blette tige	1	8E-03	8E-03	8E-03	8E-03	-	1620	1620	-
	Poireau feuille	1	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	-	1620	1620	-
Légume racine	Poireau tige	1	3E-03	3E-03	3E-03	3E-03	-	1290	1290	-
Légume racine	Carotte	2	4E-03	6E-03	6E-03	9E-03	4E-03	1290	1620	57%
Végétaux de patûres	Herbe	4	1E-03	6E-02	8E-02	2E-01	9E-02	340	2120	118%
Thallium (Tl)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Légume feuille	Thym	1	5E-01	5E-01	5E-01	5E-01	-	9	9	-
Légume racine	Carotte	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	8	8	-
Tungstène (W)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max	
Fruit	Pomme	1	7E-02	7E-02	7E-02	7E-02	-	19	19	-
	Pêche	2	9E-02	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	21	22	11%
Légume feuille	Poireau entier	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	146	146	-
Légume racine	Carotte	1	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	-	146	146	-
Patûres	Herbe	6	1E-02	2E-01	2E-01	6E-01	2E-01	3	3120	105%
Légende										
Moyenne des BCF					Coefficient de variation					
< 0,01					variable non calculé (N=1)					
]0,01-0,1]					≤ 15%					
]0,1-1]					]15% - 100%]					
≥ 1					]100% - 200%]					
					> 200%					

Zinc (Zn)		BCF						Gamme sol mg/kg MS		CV	
Catégorie	Espèce	N	Min	Médiane	Moyenne	Max	Ecart-type	Min	Max		
Champignon	Champignon	2	4E-03	4E-01	4E-01	4E-01	4E-01	2E-02	234	454	4%
Fruit	Abricot	3	4E-03	9E-03	1E-02	2E-02	1E-02	1E-02	1370	4390	83%
	Châtaigne	2	8E-04	8E-02	8E-02	2E-01	1E-01	1E-01	140	29000	140%
	Coing	2	6E-02	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	6E-02	96	174	54%
	Figue	23	3E-03	3E-02	5E-02	2E-01	5E-02	5E-02	90	2390	108%
	Fraise	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	161	161	-
	Framboise	7	2E-02	5E-02	2E-01	8E-01	3E-01	3E-01	41	858	143%
	Groseille	1	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	2E-02	-	960	960	-
	Melon	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	109	109	-
	Myrtille	2	2E-01	2E-01	2E-01	3E-01	1E-01	1E-01	39	55	45%
	Mûre	3	3E-02	4E-02	1E-01	3E-01	1E-01	1E-01	77	805	123%
	Noix	1	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	-	1760	1760	-
	Olive	3	4E-03	8E-03	4E-02	1E-01	6E-02	6E-02	137	3870	151%
	Poire	10	3E-03	3E-02	5E-02	2E-01	7E-02	7E-02	75	3600	128%
	Pomme	16	2E-03	3E-02	3E-02	1E-01	3E-02	3E-02	61	3020	94%
	Prune	18	2E-03	6E-02	5E-02	1E-01	4E-02	4E-02	71	4310	88%
Pêche	17	1E-02	6E-02	6E-02	1E-01	3E-02	3E-02	87	987	56%	
Raisin	16	2E-03	1E-02	1E+00	3E-02	8E-03	8E-03	109	3580	63%	
Légume feuille	Blette entière	17	2E-01	9E-01	1E+00	6E+00	1E+00	77	1650	117%	
	Blette feuille	58	4E-02	3E-01	4E-01	2E+00	3E-01	60	3730	84%	
	Blette tige	57	2E-02	1E-01	2E-01	2E+00	3E-01	60	3730	144%	
	Celeri entier	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	672	672	-	
	Celeri feuille	5	1E-02	2E-01	4E-01	9E-01	4E-01	207	3900	103%	
	Celeri tige	6	3E-02	8E-02	2E-01	1E+00	4E-01	207	3900	159%	
	Choux	6	5E-02	2E-01	3E-01	1E+00	4E-01	63	858	119%	
	Ciboulette	1	3E-01	3E-01	3E-01	3E-01	-	179	179	-	
	Epinard	3	4E-02	2E-01	2E-01	4E-01	2E-01	824	2350	94%	
	Fane de carotte	4	2E-01	3E-01	4E-01	7E-01	3E-01	106	205	68%	
	Marjolaine	1	8E-02	8E-02	8E-02	8E-02	-	1360	1360	-	
	Menthe	6	1E-01	5E-01	5E-01	9E-01	3E-01	70	557	59%	
	Ortie	1	7E-02	7E-02	7E-02	7E-02	-	229	229	-	
	Oseille	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	392	392	-	
	Persil	2	5E-01	5E-01	5E-01	6E-01	9E-02	79	432	18%	
	Poireau entier	45	3E-02	1E-01	2E-01	1E+00	2E-01	48	2170	95%	
	Poireau feuille	62	2E-02	1E-01	2E-01	3E+00	4E-01	63	17200	193%	
	Poireau tige	61	1E-02	1E-01	2E-01	9E-01	2E-01	63	17200	96%	
	Romarin	9	2E-02	2E-01	2E-01	6E-01	2E-01	37	1430	102%	
	Roquette	3	1E-01	7E-01	6E-01	1E+00	5E-01	70	824	75%	
Salade	81	6E-03	3E-01	4E-01	3E+00	5E-01	41	3300	116%		
Sauge	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	443	443	-		
Thym	13	1E-02	2E-01	5E-01	1E+00	5E-01	33	2460	109%		
Verveine	1	7E-02	7E-02	7E-02	7E-02	-	531	531	-		
Légume fruit	Aubergine	25	6E-03	9E-02	1E-01	5E-01	1E-01	63	8790	110%	
	Brocoli	1	9E-02	9E-02	9E-02	9E-02	-	696	696	-	
	Citrouille	1	5E-01	5E-01	5E-01	5E-01	-	170	170	-	
	Concombre	11	1E-02	2E-01	2E-01	4E-01	1E-01	77	4990	60%	
	Courge	10	9E-03	2E-01	2E-01	6E-01	2E-01	110	1490	89%	
	Courgette	127	1E-02	2E-01	3E-01	2E+00	3E-01	41	4420	95%	
	Haricot	23	4E-02	3E-01	4E-01	3E+00	5E-01	41	862	119%	
	Haricot Blanc	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	223	223	-	
	Poivron	19	1E-02	9E-02	3E-01	4E+00	8E-01	100	1650	288%	
	Potiron	24	2E-02	2E-01	2E-01	6E-01	2E-01	63	1870	75%	
Tomate	144	3E-03	1E-01	2E-01	3E+00	4E-01	7	8790	211%		
Légume racine	Betterave	30	6E-03	1E-01	2E-01	1E+00	2E-01	41	4140	101%	
	Carotte	87	2E-02	1E-01	2E-01	8E-01	1E-01	41	4900	88%	
	Echalote	10	3E-02	8E-02	9E-02	2E-01	7E-02	66	946	75%	
	Navet	3	6E-02	6E-02	6E-02	6E-02	3E-03	229	2710	5%	
	Oignon	45	1E-02	9E-02	1E-01	6E-01	9E-02	60	4980	90%	
	Radis noir	1	4E-02	4E-02	4E-02	4E-02	-	2380	2380	-	
	Radis rouge	3	6E-02	4E-01	4E-01	7E-01	3E-01	507	2380	85%	
Rave	1	2E-01	2E-01	2E-01	2E-01	-	81	81	-		
Tubercule	Pomme de terre	135	5E-03	8E-02	1E-01	2E+00	2E-01	7	4980	185%	
	Topinambour	1	3E-02	3E-02	3E-02	3E-02	-	824	824	-	
Patûres	Grand épeautre	1	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	-	807	807	-	
	Herbe	133	2E-03	3E-01	5E-01	1E+01	1E+00	16	18500	240%	
	Luzerne	10	7E-02	1E-01	2E-01	4E-01	2E-01	91	807	77%	
	Maïs	8	8E-02	2E-01	2E-01	3E-01	8E-02	64	434	44%	

Légende

Moyenne des BCF	
	< 0,01
	]0,01-0,1]
	]0,1-1]
	≥ 1

Coefficient de variation	
	variable non calculé (N=1)
	≤ 15%
	]15% - 100%]
	]100% - 200%]
	> 200%

