



**BIOMONITORING HUMAIN « TÉMOIN » A BRESSOUX ET
COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS DU BIOMONITORING
SANISOL**

RAPPORT N° 967/2020

8 septembre 2020

A. Jacques

P. Maggi

I. Ruthy

J. Petit

Attachés,
Cellule Environnement et
Santé,
Direction des Risques
Chroniques.

S. Remy

Responsable,
Cellule Environnement et
Santé,
Direction des Risques
Chroniques.

TABLE DES MATIÈRES

1	CONTEXTE.....	5
2	FINANCEMENT ET PARTENARIAT	6
3	OBJECTIFS	6
4	PROTOCOLE D'ÉTUDE ET MÉTHODES	7
4.1	Type d'étude	7
4.2	Biomarqueurs	7
4.3	Population et zone d'étude	7
4.3.1	Echantillonnage	7
4.3.2	Les critères d'inclusion et d'exclusion	8
4.3.3	Zone d'étude	8
4.4	Recrutement des participants	9
4.4.1	Période de recrutement.....	9
4.4.2	Mode de recrutement.....	9
4.4.3	Phase opératoire (juillet-septembre 2019).....	10
4.5	Demande de consentement	10
4.6	Collecte des données individuelles via questionnaire	10
4.7	Comité d'éthique.....	11
4.8	Collecte des échantillons	11
4.9	Confidentialité des données.....	11
4.10	Dosages.....	11
4.10.1	Mesure de la créatinine	11
4.10.2	Mesure de la cotinine	12
4.10.3	Mesure des teneurs en métaux.....	12
4.10.3.1	Analyses totales (As, Pb, Cd, Cu, Zn, Mo) dans le sang et /ou l'urine	12
4.10.3.2	Spéciation de l'arsenic dans l'urine	13
4.11	Traitement des données préalable aux analyses statistiques.....	13
4.11.1	Traitement des données du questionnaire	13
4.11.2	Mise en conformité des données d'imprégnation (nettoyage).....	13
4.11.2.1	Limites de quantification.....	13
4.11.2.2	Limites de détection	13
4.11.2.3	Ajustement à la créatinine	14
4.12	Analyses statistiques	14
4.12.1	Analyses statistiques des données d'imprégnation du BMH Témoin.....	14
4.12.1.1	Statistiques descriptives.....	14

4.12.1.2	Comparaison aux valeurs limites d'exposition.....	14
4.12.1.3	Comparaison d'échantillons indépendants.....	15
4.12.1.4	Corrélation.....	15
4.12.2	Comparaison des données d'imprégnation du BMH témoin aux valeurs de référence et aux données d'imprégnation des BMH SANISOL.....	15
4.13	Restitution aux participants	15
4.14	Données sol	16
4.14.1	Prélèvement.....	16
4.14.2	Dosage	16
4.14.3	Traitement	16
5	CARACTÉRISATION DE L'ÉCHANTILLON	17
6	RÉSULTATS : PREMIÈRE PARTIE.....	22
6.1	Statistiques descriptives et comparaison aux valeurs limites d'exposition	22
6.1.1	Cadmium	23
6.1.2	Plomb	25
6.1.3	Arsenic spécié (Asi + MMA + DMA).....	27
6.1.4	Cuivre	29
6.1.5	Molybdène	30
6.1.6	Zinc	31
6.2	Multiplicité de dépassement et corrélation entre biomarqueurs	32
6.3	Analyses des réponses au questionnaire.....	34
6.4	Comparaison avec les données des sols	36
7	RÉSULTATS : DEUXIÈME PARTIE	37
7.1	Comparaison du biomonitoring témoin aux deux précédents biomonitoring (BMH SANISOL 1 et BMH contrôle)	37
7.1.1	Caractérisation des échantillons.....	37
7.1.2	Comparaison des statistiques descriptives	40
7.1.2.1	Cadmium	41
7.1.2.2	Plomb.....	42
7.1.2.3	Arsenic spécié.....	43
7.1.2.4	Cuivre.....	44
7.1.2.5	Molybdène	45
7.1.2.6	Zinc	46
7.1.3	Comparaison aux valeurs limites d'exposition	47
7.2	Comparaison des trois biomonitorings aux valeurs populationnelles	48
7.2.1	Cadmium	49
7.2.2	Plomb	51

7.2.3	Arsenic spécié	53
7.2.4	Cuivre	54
7.2.5	Molybdène	55
7.2.6	Zinc	56
8	DISCUSSION	57
9	CONCLUSION	63
10	PERSPECTIVES.....	64
	ANNEXE A - INVITATION À PARTICIPER AU BMH TÉMOIN	68
	ANNEXE B - CONSENTEMENT	70
	ANNEXE C - QUESTIONNAIRE.....	74
	ANNEXE D - STATISTIQUES DESCRIPTIVES	78

1 CONTEXTE

Le biomonitoring Témoin s'inscrit dans le cadre des investigations menées à Bressoux sur l'exposition de la population bénéficiaire du Coin de Terre de Bressoux (CTB) aux métaux présents dans le sol des potagers du CTB (projet SANISOL).

Pour rappel, le biomonitoring SANISOL 1 réalisé en été 2018 auprès de 93 bénéficiaires du Coin de Terre (88 adultes et 5 enfants) avait mis en évidence des imprégnations élevées de la population à certains métaux et un risque d'atteinte rénale qui ne pouvait être exclu. L'analyse statistique réalisée en confrontant les données individuelles des participants collectées via un questionnaire à celles des imprégnations avait montré des associations statistiquement significatives entre les plombémies et les cadmiuries mesurées dans la population d'étude et des facteurs confondants classiques comme le sexe et le tabagisme, mais également avec différentes variables en lien ou pas avec le CTB comme la fréquentation du CTB, la consommation de certaines catégories de légumes produites sur le CTB, la consommation d'eau du robinet (Maggi et al., 2019).

Suite à ces résultats, différentes mesures de prévention des risques ont été décidées par les autorités qui ont également chargé l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP) de réaliser un biomonitoring Contrôle et un biomonitoring Témoin.

Le biomonitoring Contrôle a eu lieu en mars 2019. Il avait pour objectif de confirmer les concentrations en métaux dans le sang et l'urine réalisées en 2018 auprès des 88 participants adultes et de vérifier si les imprégnations étaient différentes en période hivernale. Sur les 88 participants adultes au premier biomonitoring, 55 ont participé au biomonitoring Contrôle. Les comparaisons des résultats d'imprégnation pour ce sous-groupe de 55 personnes entre les campagnes d'été 2018 et d'hiver 2019 montrent une diminution importante des imprégnations pour le cadmium (urinaire et sanguin), le plomb urinaire et le cuivre urinaire et nettement plus faible pour le plomb sanguin, le molybdène urinaire et le zinc urinaire. Cette réduction générale des imprégnations en hiver, pose à nouveau l'hypothèse du rôle de la fréquentation du CTB et de la consommation des denrées qui y sont produites en été sur l'imprégnation en métaux des bénéficiaires (Maggi et al., 2019).

Le présent rapport concerne les résultats du biomonitoring Témoin conduit en été 2019. Ce biomonitoring avait pour objectif de déterminer si la population qui habite Bressoux mais qui ne bénéficie aucunement du CTB est moins imprégnée que la population de Bressoux qui en bénéficie. Une campagne de biomonitoring a donc été organisée avec l'objectif d'inclure des résidents de la commune de Bressoux n'ayant aucun lien avec le CTB, ni en termes de fréquentation ni en termes de consommation de fruits et légumes qui y sont produits.

2 FINANCEMENT ET PARTENARIAT

Le biomonitoring Témoin de Bressoux (BMH-TB) a été financé dans le cadre du budget alloué à l'ISSEP par le Gouvernement Wallon pour la réalisation d'un biomonitoring Wallon. Dans sa tâche, l'ISSEP s'est adjoint les services et l'expertise de deux laboratoires d'analyse à travers une convention :

1. Le laboratoire de Toxicologie clinique, médico-légale, de l'environnement et en entreprise & Unité GLP-AEPT, appartenant au **CHU de Liège** et dirigé par le Professeure Corinne Charlier. Ce laboratoire avait pour mission d'analyser **le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) dans le sang ainsi que le Pb, le Cd, le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le molybdène (Mo), la créatinine et la cotinine dans l'urine** ;
2. L'unité Eléments-traces appartenant à **Sciensano** et dirigée par le Docteur Ann Ruttens. Ce laboratoire avait pour mission d'analyser les différentes **formes (spéciation) d'arsenic dans l'urine**.

3 OBJECTIFS

L'objectif du biomonitoring témoin est de :

1. Déterminer quelles sont les concentrations biologiques en métaux (plomb, cadmium, arsenic, molybdène, cuivre et zinc) et les risques pour la santé dans la population de Bressoux n'ayant aucun lien avec le CTB.
2. Déterminer dans quelle mesure les imprégnations de la population de Bressoux qui bénéficie du CTB se différencient des imprégnations de la population qui n'a aucun lien avec le CTB.
3. Contribuer à déterminer si le fait de fréquenter ou de consommer des denrées du CTB a un impact sur l'exposition aux métaux des bénéficiaires.

La première partie de ce rapport présente les résultats du biomonitoring Témoin et une comparaison aux valeurs limite biologiques d'exposition (objectif 1). La deuxième partie présente et discute la comparaison des résultats du biomonitoring Témoin avec les données des biomonitorings SANISOL 1 et Contrôle (objectifs 2 et 3).

4 PROTOCOLE D'ÉTUDE ET MÉTHODES

4.1 TYPE D'ÉTUDE

Il s'agit d'une étude transversale en population générale d'exposition biologique.

4.2 BIOMARQUEURS

Les biomarqueurs étudiés au cours de ce travail sont les métaux et les métalloïdes qui ont été analysés dans le sang et l'urine des participants lors des précédents biomonitorings du projet SANISOL 1 :

- Le plomb dans le sang (exprimé en µg/L)
- Le plomb dans l'urine (exprimé en µg/L)
- Le cadmium dans le sang (exprimé en µg/L)
- Le cadmium dans l'urine (exprimé en µg/L)
- L'arsenic spécié (Asi+MMA+DMA) dans l'urine (exprimé en µg/L)
- Le cuivre dans l'urine (exprimé en µg/L)
- Le molybdène dans l'urine (exprimé en µg/L)
- Le zinc dans l'urine (exprimé en µg/L)
- La cotinine dans l'urine (exprimée en µg/L)
- La créatinine dans l'urine (exprimée en g/L)

4.3 POPULATION ET ZONE D'ÉTUDE

4.3.1 ECHANTILLONNAGE

La population d'étude est la population de Bressoux qui ne fréquente pas le CTB et ne consomme pas des produits qui en sont issus.

La population de Bressoux compte 12.473 personnes (source avril 2019 Ville de Liège – corroborée par des données extraites le 31 décembre 2015¹). En théorie, la taille de l'échantillon à atteindre pour une marge d'erreur de 5% et un niveau de confiance de 95% est de 373 participants. Toutefois, compte tenu de la durée de l'étude (9 mois pour réaliser l'ensemble de l'étude, de la conception à l'obtention de résultats) et du budget à disposition (10% du montant total dédié au biomonitoring de référence soit l'équivalent de 100.000 €, frais d'analyse compris) la taille de l'échantillon s'est limitée à **100 participants**.

Avec un échantillon de cette taille pour une population qui compte 12.473 personnes, la marge d'erreur pour un niveau de confiance de 95% est de 10%, soit l'écart possible entre l'échantillon et la population de laquelle elle est prélevée pour les réponses au questionnaire ou les données d'imprégnation. Comme pour l'étude SANISOL 1, l'interprétation des données se fera avec une certaine prudence, qu'il s'agisse des comparaisons d'imprégnation entre le groupe « contrôle » et le

¹ Ville de Liège. Tableau de bord de la population liégeoise. Liège; 2015.

groupe « témoin » ou lors de la recherche d'éléments du questionnaire, à titre de déterminants, pouvant expliquer les concentrations biologiques que nous retrouvons.

4.3.2 LES CRITÈRES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION

Pour participer à l'étude, il était nécessaire d'habiter la localité de Bressoux. De plus :

- Il fallait être âgé d'au moins 18 ans. L'objectif était de n'inclure que des adultes qui comptaient pour près de 95% de l'effectif du biomonitoring de SANISOL 1.
- Il ne pouvait y avoir aucun lien avec le lieu-dit du Coin de terre de Bressoux, ni en termes de fréquentation ni en termes de consommation de fruits et légumes qui y sont produits. Les riverains dont les maisons ou appartements bordent le Coin de terre ont ainsi été exclus.
- Il était indispensable d'être disponible aux dates, et durant la plage horaire fixée, planifiées pour le recrutement et la collecte des échantillons (voir chapitre 4.4).
- Le recrutement d'un seul membre par ménage a été favorisé, mais n'était pas un critère d'exclusion pour correspondre au plus aux critères appliqués dans SANISOL 1 et dans le cadre duquel plusieurs membres d'une même famille ont participé au biomonitoring.

4.3.3 ZONE D'ÉTUDE

Selon un rapport de l'ISSeP de 2018 (Maggi et al. 2018), 80% des bénéficiaires du Coin de terre de résident à Bressoux (Figure 1). En l'absence d'indices actuels incriminant le CTB comme cause principale de l'imprégnation élevée voire très élevée du groupe expérimental (usagers du CTB), et ne sachant circonscrire les limites des sols pollués, la recherche d'un groupe témoin partageant la même zone géographique que le groupe expérimental semble pertinente. La zone d'étude reste donc celle de Bressoux.



FIGURE 1 : ZONE D'ÉTUDE REPRÉSENTANT (À GAUCHE) LA LOCALISATION DES BÉNÉFICIAIRES DU CTB ET (À DROITE) L'ÉTENDUE GÉOGRAPHIQUE DE LA LOCALITÉ DE BRESSOUX. LE RECTANGLE ROUGE REPRÉSENTE LE CTB.

4.4 RECRUTEMENT DES PARTICIPANTS

4.4.1 PÉRIODE DE RECRUTEMENT

Le recrutement des participants a eu lieu pendant les mois de juillet et d'août 2019. Afin de comparer avec les données issues du biomonitoring SANISOL 1, il était primordial de réaliser les prélèvements durant la même période.

Il est important de rappeler que les imprégnations en métaux étaient plus élevées chez les participants au biomonitoring SANISOL 1, qui a eu lieu en été 2018, que chez les participants au biomonitoring de Contrôle, réalisé en hiver de la même année. Une des causes évoquées était la saisonnalité : possibilité de jardiner et consommation de denrées impactées par la saison.

4.4.2 MODE DE RECRUTEMENT

Un recrutement sur base volontaire a été organisé avec l'aide des services communaux de la ville de Liège. D'avril à juin 2019, plusieurs canaux de communication avec la population de Bressoux ont permis d'entrer en contact :

- Le premier est la distribution d'un courrier « toute-boîte » présentant le contexte et la finalité de l'étude (voir Annexe A). Les personnes étaient invitées à participer à l'étude en prenant contact avec l'ISSeP afin de fixer un rendez-vous pour l'une des 4 séances prédéterminées : le 10 juillet, le 17 juillet, le 31 juillet et le 7 août 2019. Pour respecter les critères d'inclusion, ce courrier n'a cependant pas été remis aux riverains qui bordent le CTB.
- Un courrier a également été envoyé aux médecins des localités de Bressoux et limitrophes. Ceux-ci étaient sollicités afin d'exercer un rôle de relais auprès de leur patientèle. Il s'agissait par ailleurs d'une forme de continuité du projet, eux qui avaient été informés des résultats des deux biomonitoring organisés en 2018 (SANISOL 1 et Contrôle).



FIGURE 2 : HABITATIONS BORDANT LE CTB ET NON CONCERNÉES PAR LA DISTRIBUTION TOUTE BOÎTE DE L'INVITATION À PARTICIPER

4.4.3 PHASE OPÉRATOIRE (JUILLET-SEPTEMBRE 2019)

Nous avons privilégié des séances collectives réparties sur les mois de juillet et août. L'expérience passée nous a montré qu'il était réalisable de recruter entre 30 et 40 personnes par jour, comprenant les formalités administratives, la collecte des échantillons de sang et d'urine et l'administration du questionnaire. Quatre journées complètes de recrutement ont donc été planifiées : 10, 17, 31 juillet et 7 août.

Pour éviter de se déplacer au domicile de chaque participant, il était nécessaire d'avoir un lieu fixe, si possible proche de la zone d'étude. Nous avons eu recours à un local appartenant au « Club des pensionnés » situé à proximité de la maison de quartier, au centre de Bressoux. Nous avons pu dès lors centraliser les collectes d'échantillons.

Le jour du rendez-vous, l'ISSeP était accompagné d'un infirmier pour effectuer les prises de sang. La collecte des différents échantillons et documents ont eu lieu au même moment.

4.5 DEMANDE DE CONSENTEMENT

Un accord écrit de participation au biomonitoring a été demandé à chaque personne incluse dans l'étude avant toute investigation (prélèvement des échantillons et questionnaire) (voir Annexe B). Les volontaires ont apposé leur signature sur le document de consentement dans lequel ils devaient également spécifier par quel intermédiaire ils souhaitaient être prévenus de leurs résultats d'analyse : leur médecin de famille ou l'ISSeP².

Bien qu'au sein de la population d'étude les communautés de langue turque et arabe soient présentes en nombre important, les documents susmentionnés n'ont pas été traduits. En effet, pour le groupe expérimental, les différents documents (administratifs et questionnaires) avaient été traduits, mais aucun des participants étrangers ou d'origine étrangère n'a souhaité les utiliser, ceux-ci privilégiant les documents en français.

4.6 COLLECTE DES DONNÉES INDIVIDUELLES VIA QUESTIONNAIRE

Un questionnaire destiné à collecter les données individuelles des participants a été établi. Il comporte 39 questions fermées voire semi-fermées (voir Annexe C). Les questions ont pour objet d'établir l'exposition des participants à d'éventuelles sources de contamination en métaux, et ont ainsi, une vocation d'interprétation des résultats d'analyse des biomarqueurs.

L'administration du questionnaire a été effectuée par voie informatique lors du rendez-vous durant lequel les échantillons d'urine et de sang étaient collectés. Le questionnaire était destiné à tous les participants de l'étude et était administré en présence d'un agent de l'ISSeP pour veiller à la bonne compréhension des questions.

Le délai moyen de remplissage était de 15 minutes. Le questionnaire a volontairement été élaboré de façon à être court, compte tenu de la méthode de recrutement basée sur des séances collectives et

² Une troisième option était proposée aux volontaires, celle de ne pas recevoir les résultats d'analyses. Aucun participant n'a coché cette option.

envisageant le « tout en un » (formalités administratives, collecte des échantillons et administration du questionnaire).

4.7 COMITÉ D'ÉTHIQUE

Le protocole d'étude, les documents d'information des participants et le formulaire de consentement ont été soumis au comité d'éthique hospitalo-facultaire du CHU de Liège. En date du 4 juin 2019, ce comité a donné son accord pour la réalisation de l'étude de biomonitoring. L'Institut Scientifique de Service Publique a par ailleurs contracté une assurance en responsabilité civile pour la couverture de dommages éventuels liés à l'expérimentation.

4.8 COLLECTE DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons d'urine sont collectés dans des flacons à vis de 120 ml en PET aussitôt conditionnés entre 2 et 8°C dans un réfrigérateur portable, puis en chambre froide au laboratoire. Dès réception, des aliquotes sont prélevés pour la mesure de la créatinine, des métaux et de la cotinine (conservés entre 4 et 6°C).

Les échantillons sanguins sont collectés par un(e) infirmier(ère) dans un tube hépariné de 6 ml (bouchon vert), puis stockés dans un frigo jusqu'à la réception par le laboratoire de toxicologie du CHU de Liège.

4.9 CONFIDENTIALITÉ DES DONNÉES

Les responsables du projet ont pu garantir la confidentialité des données grâce à une pseudonymisation, en attribuant un code unique et aléatoire composé de chiffres et de lettres à chaque participant. Ce code a été utilisé pour les questionnaires et pour les échantillons prélevés que les laboratoires partenaires ont analysés. Seuls les responsables du projet ont connaissance et accès aux informations d'identification, indispensables pour assurer la restitution des résultats. Ces informations confidentielles et sensibles ont été enregistrées dans un fichier *Excel*, accessible via une clé de protection (le code permettant de déverrouiller la clé est entreposé à un endroit différent du fichier sensible), et sauvegardée dans un dossier sûr du réseau de l'ISSeP. Le DPO (Data Protection Officer), la personne responsable du RGPD à l'ISSeP, a également accès à la localisation du fichier et de la clé de protection pour éviter d'éventuelles pertes de données en cas de départ du ou des responsables de l'étude.

4.10 DOSAGES

4.10.1 MESURE DE LA CRÉATININE

Le dosage de la créatinine dans l'urine permet de tenir compte de la diurèse et corriger l'effet de la dilution pour ajuster les concentrations en métaux dans l'urine.

La mesure de la créatinine urinaire par le laboratoire de toxicologie du CHU de Liège, pour laquelle il est accrédité, est réalisée prioritairement, toujours moins d'une semaine après le prélèvement. L'analyse repose sur un test colorimétrique cinétique fondé sur la méthode de Jaffé, par spectrophotométrie sur un Autoanalyseur COBAS 8000. La mesure de la vitesse de formation d'un

complexe jaune orangé produit par la réaction entre l'acide picrique et la créatinine (en milieu alcalin), proportionnelle à la concentration en créatinine dans l'échantillon, est mesurée en suivant la variation de l'absorbance en fonction du temps après addition des réactifs. Le dosage de la créatinine urinaire par le CHU de Liège est réalisée avec une limite de quantification de 0.1 g/L et une exactitude de 5.7% dans un intervalle de mesure de 0.13 à 4.255 g/L. Les valeurs de référence pour la créatinine obtenues par le CHU de Liège sont comprises entre 0.09 et 2 g/L et 0.03 et 1.81 g/L, chez la femme et l'homme respectivement. Ces gammes sont comprises entre celle fixée par l'OMS de 0.3 et 3 g/L.

4.10.2 MESURE DE LA COTININE

La cotinine est un produit de dégradation de la nicotine par le foie. Il permet donc de déterminer l'exposition au tabagisme (dans sa voie active ou passive) qui représente un facteur d'exposition au Cd mais aussi à plusieurs métaux tels que le Pb et l'As.

La détermination de la cotinine urinaire par le laboratoire de toxicologie du CHU est réalisée par UPLC-QTOF (Eksigent ultraLC100 et Triple TOF 4600 AB SCIEX), avec extraction au préalable par un mélange de solvants organiques (éther diéthylique, dichlorométhane, n-hexane et alcool n-amyle) en milieu basique (carbonate de sodium). Le dosage de la cotinine est réalisée à partir d'une limite de quantification courante de 21.7 µg/L et jusqu'à 3000 µg/L (domaine de linéarité de la calibration) avec des exactitudes et reproductibilités inférieures à 15%.

4.10.3 MESURE DES TENEURS EN MÉTAUX

4.10.3.1 ANALYSES TOTALES (AS, PB, CD, CU, ZN, MO) DANS LE SANG ET /OU L'URINE

Le dosage des biomarqueurs urinaires et sanguins de métaux, réalisé par le laboratoire de toxicologie du CHU de Liège, accrédité pour ces méthodes, est exécutée au moyen d'un ICP-MS 7700x Agilent équipé d'une cellule de collision ORS et système d'injection ISIS (Integrated Sample Introduction System).

Les échantillons urinaires et sanguins (aliquote de 400-500 µl) sont préalablement dilués dans une solution d'acide nitrique 0.5%, contenant, pour les échantillons sanguins, 0.1% de butanol et 0.2% de triton afin de réduire les effets matrice. Les interférences spectrales sont réduites au moyen de la cellule de collision et la dérive instrumentale et les effets de matrices sont corrigés au moyen d'un mélange de standard internes (Sc, Ge, Rh, Ir). La droite de calibration est réalisée par la méthode des ajouts dosés multiples. La répétabilité et l'exactitude de la méthode est vérifiée au moyen de matériaux de référence certifiés (« seronorm whole blood » II et III et QMEQAS pour le sang et Lymphocheck II (BIORAD) et Seronorm Trace Elements Urine II (Lucron Bioproduct), analysés régulièrement lors de l'analyse des échantillons. Le CHU de Liège participe aussi à un contrôle qualité externe belge et québécois (25 échantillons par an). La validation des méthodes développées par le laboratoire du CHU de Liège est telle qu'elles permettent de mesurer des teneurs en métaux avec un biais et un CV (précision intermédiaire) inférieurs à 20% pour les concentrations proches de la limite de quantification et inférieurs à 15% pour les concentrations comprises dans l'intervalle de dosage.

4.10.3.2 SPÉCIATION DE L'ARSENIC DANS L'URINE

La mesure de la spéciation de l'arsenic (As(III), As(V), MMA et DMA et AB) est réalisée par couplage HPLC-ICP-MS (Varian 820) au moyen d'une colonne de type Hamilton PRP-X-100 (Reno, Nevada, USA). Six standards externes préparés de manière journalière à partir des solutions mères sont utilisés pour la droite de calibration. Les échantillons sont analysés en séquences comportant un matériel de référence certifié (G-EQUAS, #60) pour vérifier l'exactitude et une solution standard pour corriger la dérive instrumentale (normalisation externe). L'aire sous les pics des différentes espèces d'As du chromatogramme est déterminée de manière automatique par le logiciel utilisé pour le traitement des signaux. Les limites de quantification sont de 0.8 µg/L pour AsIII et AB et de 0.5 µg/L pour AsV, DMA et MMA. Tandis que les limites de détection sont de 0.15 µg/L pour l'AsIII, DMA et MMA et de 0.25 µg/L pour l'AsV. Toutes les dilutions sont réalisées au moyen d'eau Milli-Q et d'acides de qualité suprapure. Les répétabilité interne et externe du protocole valent respectivement 7% et 14% (mesure faites sur des solutions de 5 ppb).

4.11 TRAITEMENT DES DONNÉES PRÉALABLE AUX ANALYSES STATISTIQUES

Il existe deux types de données : les données d'imprégnation et les données issues du questionnaire.

4.11.1 TRAITEMENT DES DONNÉES DU QUESTIONNAIRE

Les réponses des participants ont été analysées avant de les confronter aux données d'imprégnations. Suite à cette analyse, certaines réponses aberrantes (notamment deux dates de naissance) ou manquantes ont été repérées. Les participants concernés ont été recontactés par téléphone et leurs réponses ont été modifiées ou complétées.

4.11.2 MISE EN CONFORMITÉ DES DONNÉES D'IMPRÉGNATION (NETTOYAGE)

La base de données des imprégnations se présente avec, en ligne, les participants, au nombre de 100 et, en colonne, les résultats d'analyse pour chaque biomarqueur.

4.11.2.1 LIMITES DE QUANTIFICATION

Dans un premier temps, la base de données a été parcourue pour détecter, par biomarqueur, les valeurs sous la limite de quantification. Pour les valeurs inférieures à la LoQ, elles ont été remplacées par la LoQ/2 de façon à obtenir des valeurs continues pour l'ensemble des participants.

NB : le remplacement des valeurs < LoQ par la LoQ/2 a été réalisé en raison du faible pourcentage de valeurs sous la limite de quantification (inférieur à 30% des données pour l'ensemble des biomarqueurs).

4.11.2.2 LIMITES DE DÉTECTION

Les valeurs inférieures à la limite de détection, rencontrées dans la mesure de la spéciation de l'arsenic, ont été remplacées par 0. Pour un participant, les mesures des espèces Asi, MMA et DMA étaient toutes inférieures à la LoD. Nous avons choisi de remplacer la valeur d'As spécié (Asi+MMA+DMA) correspondante par la somme des LoD des trois espèces/2, soit 0.35 µg/L.

4.11.2.3 AJUSTEMENT À LA CRÉATININE

Dans un deuxième temps, la présence de valeurs de créatinine en dehors des valeurs de référence, c'est-à-dire inférieures à 0.3 g/L ou supérieures à 3.0 g/L, a été vérifiée (Bader et al., 2016 ; WHO 1996). Sur les 100 valeurs de créatinine, 13 étaient sous le seuil de 0.3 g/L. Aucune n'était plus élevée que le seuil de 3.0 g/L.

Les valeurs urinaires (hormis la cotinine) pour chaque biomarqueur ont ensuite été ajustées à la créatinine lorsque celle-ci était comprise dans les valeurs de référence. 87 valeurs ont donc pu être ajustées en µg/g.cr.

4.12 ANALYSES STATISTIQUES

4.12.1 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES D'IMPRÉGNATION DU BMH TÉMOIN

4.12.1.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES

Les **données du questionnaire** sont exprimées sous forme de moyenne et d'écart-type pour les variables continues et de nombre (N) et de fréquence (%) pour les variables qualitatives (catégorisées).

Les **données d'imprégnations** sont, quant à elles, libellées, métal par métal, dans un tableau de la manière suivante : Cd et Pb sanguin en µg/L, Cd, Pb, As_{spéc}, Cu, Mo et Zn urinaire en µg/L et en µg/g.cr. Pour chaque biomarqueur, la moyenne arithmétique, géométrique et les percentiles (P10, P25, P50, P75, P90 et P95) sont renseignés. Certains P95 n'ont pas pu être calculés en raison d'un effectif insuffisant.

Pour tenir compte de l'influence importante de facteurs confondants sur l'imprégnation de certains biomarqueurs, les résultats d'analyse ont été déclinés en sous-catégories (âge, genre, consommation de poisson, comportement tabagique). Un ajustement a ensuite été opéré pour le plomb, le cadmium et l'arsenic pour la comparaison des données d'imprégnation individuelles aux valeurs limites d'exposition biologique. Cet ajustement consiste à exclure de l'analyse statistique les valeurs du plomb et du cadmium sanguin et urinaire chez les individus présentant une concentration en cotinine dans l'urine >50 µg/L ainsi que les valeurs de l'arsenic spécié des individus ayant déclaré avoir consommé du poisson dans les jours précédents le prélèvement.

4.12.1.2 COMPARAISON AUX VALEURS LIMITES D'EXPOSITION

Les imprégnations en métaux des participants au biomonitoring Témoin ont été comparées aux valeurs limites d'exposition. Les valeurs limites retenues dans cette étude ont été élaborées sur base d'une revue de la littérature complétée par l'avis d'experts toxicologues (Maggi et al., 2019).

Nous avons privilégié un système inspiré du programme HBM4EU, qui distingue, au **niveau européen, des valeurs limites selon 3 niveaux de « gravité »** (Ewers et al., 1999 ; Santonen et al., 2017) :

- **Niveau I, valeur de référence** : elle correspond à la concentration d'une substance dans le sang ou l'urine en-dessous de laquelle et selon l'état actuelle des connaissances, il n'y a pas

de risque identifié pour la santé. Cette situation qualifiée de référence ne nécessite donc pas une intervention ou une action particulière en matière de santé.

- **Niveau II, situation d'alerte ou de vigilance** : elle fait référence à une concentration qui se situe entre la **valeur de référence** et la **valeur d'intervention** d'une substance dans le sang ou l'urine. La situation de vigilance correspond à une gamme de valeurs dans laquelle, selon l'état actuel des connaissances, les effets néfastes sur la santé ne sont pas établis ou qui ne se situent pas dans la tranche supérieure (> P90, P95) de la population). Néanmoins, elles sont suffisamment élevées pour y porter attention. Il est donc conseillé de répéter la mesure du biomarqueur et, si la concentration se confirme, de suivre des recommandations dans le but de diminuer l'exposition.
- **Niveau III, valeur d'intervention** : elle est déterminée par la concentration d'une substance dans le sang ou l'urine à partir de laquelle, selon l'état actuel des connaissances, il existe un risque d'effet négatif sur la santé. Il est nécessaire de répéter la mesure du métal dans le sang ou l'urine et de suivre des recommandations visant la réduction de l'exposition au(x) polluant(x) ciblé(s).

4.12.1.3 COMPARAISON D'ÉCHANTILLONS INDÉPENDANTS

Afin de déterminer les tests statistiques à employer dans le cadre de ce travail, les conditions de normalité ont été investiguées pour les données d'imprégnations, de nature quantitatives continues, à l'aide du Quantile-Quantile plot et du test de Shapiro-Wilk. Aucune variable d'imprégnation ne se distribuait selon une courbe gaussienne.

Le test non paramétrique de comparaison d'échantillons non appariés (U de Mann-Withney) a donc été réalisé pour identifier les associations statistiques entre les variables qualitatives à 2 modalités (k=2) et les différents biomarqueurs. Le test de Kruskal-Wallis a, lui, été utilisé pour les variables qualitatives à plus de 2 modalités (k>2). Les résultats sont considérés comme significatifs au niveau d'incertitude de 5% ($p < 0.05$).

4.12.1.4 CORRÉLATION

En raison d'une distribution non Normale des variables d'imprégnation, l'analyse des corrélations a été effectuée sur base du calcul des coefficients de corrélation de Spearman.

4.12.2 COMPARAISON DES DONNÉES D'IMPRÉGNATION DU BMH TÉMOIN AUX VALEURS DE RÉFÉRENCE ET AUX DONNÉES D'IMPRÉGNATION DES BMH SANISOL

Les résultats d'imprégnation du BMH-TB ont été comparés (1) aux valeurs issues des biomonitorings dédiés au Coin de terre de Bressoux (BMH SANISOL 1 et BMH Contrôle), (2) aux valeurs limites d'exposition (voir chapitre 4.12.1.2) et enfin (3) à des valeurs populationnelles.

Les comparaisons multiples ont été réalisées sous la forme de graphiques (bâtonnets).

4.13 RESTITUTION AUX PARTICIPANTS

Le retour aux participants sera effectué par voie postale, soit envoyé directement à l'adresse du participant, soit par l'intermédiaire d'un médecin traitant : celui-ci sera averti par l'ISSEP de la participation au projet de son patient et les résultats des analyses réalisées dans ce cadre lui seront

envoyés. Le médecin pourra alors prendre contact avec son patient. En parallèle, un courrier signalera au participant que ses résultats d'analyse ont été communiqués à son médecin traitant. Une séance d'information publique est prévue. Néanmoins, prenant en considération l'effectif de la population d'étude (N = 12.473), il sera sans doute nécessaire de limiter la séance aux participants du biomonitoring.

4.14 DONNÉES SOL

Des prélèvements de sol ont été effectués dans 45 jardins et/ou potager privés de participants au biomonitoring Témoin.

4.14.1 PRÉLÈVEMENT

Chaque échantillon de sol, qu'il provienne de la partie enherbée et/ou du potager, a été prélevé à l'aide d'une tarière manuelle ou d'une pelle et en une seule prise ponctuelle.

Dans la majorité des cas, c'est un échantillon représentatif de l'horizon de surface qui a été prélevé en chacune des localisations sélectionnées. Cet échantillon a été obtenu en écartant l'humus qui le surmonte et dans le cas d'un prélèvement en pelouse, en s'éloignant des murs de bâtiment et des chemins de passage.

Le protocole qui a été suivi implique une prise entre 0 et 20 cm-n/s pour l'échantillon de sol représentatif de l'horizon de surface et une prise au-delà des 50 cm-n/s pour l'échantillon de sol représentatif d'un horizon de sol profond.

Le prétraitement de l'échantillon de sol collecté a été pris en charge par l'UCLouvain. Il consiste en un séchage à l'air libre à 23°C suivi par une destruction des agrégats (à l'aide de bouteilles en verre ou d'un pilon en agate³) et enfin d'un tamisage à 2 mm par un tamis en nylon.

4.14.2 DOSAGE

Le laboratoire provincial Ernest Malvoz a pris en charge les analyses de sol.

L'étape de minéralisation pour les métaux correspond au dérivé de ISO 12914, soit : 6 ml HCl et 2 ml HNO₃ auxquels sont ajoutés 0,5 g de sol suivi d'une mise à volume dans 50 ml (+ sonde de température 175 °C). Le dosage des métaux est déterminé par ICP-MS.

4.14.3 TRAITEMENT

Pour le molybdène, certaines valeurs étaient inférieures à la limite de détection (2.1 mg/kg). Ces valeurs ont été remplacées par la limite de détection multipliée par 0.7, soit 1.47 mg/kg.

³ Ces ustensiles ne contaminent pas l'échantillon en éléments traces métalliques.

5 CARACTÉRISATION DE L'ÉCHANTILLON

La campagne de prélèvement s'est étendue du 10 juillet au 7 août 2019 sous la forme de 4 dates de prélèvement (voir chapitre 4.4). Elle a permis de récolter 100 échantillons de sang et d'urine chez 100 volontaires adultes habitant Bressoux mais ne fréquentant pas le potager communautaire « Le Coin de Terre » de Bressoux.

Des analyses ont été réalisées sur les échantillons sanguins afin de déterminer la concentration en cadmium et en plomb, et sur les prélèvements urinaires afin de déterminer la concentration en cadmium, plomb, arsenic spécié, cuivre, molybdène et zinc.

Les mesures de la concentration sanguine urinaire de la cotinine chez les participants ont permis de différencier les fumeurs actifs et passifs (cotinine > 50 µg/L), des non-fumeurs (cotinine < 50 µg/L) (Zielinska et al., 2007). Les réponses du questionnaire ont permis d'établir le sexe, l'âge, la consommation de poisson dans les jours précédents le prélèvement, le niveau d'étude et l'origine des participants.

Parmi ces 100 adultes, on dénombre :

- 32 hommes âgés en moyenne de 55.0 ans et 68 femmes âgées en moyenne de 53.3 ans. L'âge moyen pour l'ensemble des participants est de 53.8 ans. Le participant le plus jeune a 18 ans et le plus âgé a 80 ans.
- 14 fumeurs et 86 non-fumeurs (selon la concentration urinaire en cotinine). La question du tabagisme figurait également dans le questionnaire. Les 54 personnes qui se sont déclarées « non-fumeur » via le questionnaire ont une concentration urinaire en cotinine inférieure à 50 µg/L. Cependant, parmi les 19 « anciens fumeurs », deux personnes présentent une concentration urinaire en cotinine supérieure à 50 µg/L. A contrario, 12 « fumeurs passifs » sur 13 et 3 « fumeurs » sur 14 ont une concentration urinaire en cotinine inférieure au seuil de 50 µg/L.
- 57 personnes qui ont consommé du poisson dans les 7 jours précédents le prélèvement, 40 qui n'en ont pas consommé et 3 personnes dont la consommation de poisson est inconnue.
- 3 personnes sans diplôme, 9 diplômés de l'enseignement primaire, 42 diplômés de l'enseignement secondaire et 46 diplômés de l'enseignement supérieur ou universitaire.
- 74 personnes d'origine belge, 6 personnes d'origine marocaine, 3 personnes d'origine congolaise, 3 personnes d'origine allemande, 3 personnes d'origine turque et 11 personnes originaires d'autres pays.

Le tableau ci-dessous (Tableau 1) récapitule les réponses au questionnaire des 100 participants. La fréquence est renseignée pour les variables binaires ou catégorielles, la moyenne et l'écart-type pour les variables continues. Trois questions étaient adressées aux femmes uniquement (à la fin du Tableau 1).

Sept questions ou sous-questions ouvertes ne sont pas résumées dans le tableau en raison d'une grande variabilité dans les réponses des participants. Ces questions portent sur ville naissance, la profession, le nombre de plombage, le type de complément alimentaire utilisé (autre que vitamines A, B, C, D, E, fer, zinc, calcium) ainsi que le nombre d'années écoulées depuis que les participants ont un piercing, un tatouage et, pour les femmes, de l'ostéoporose. La sous-question concernant la

présence d'une maladie rénale chronique (en cas de suivi pour maladie rénale) n'est pas non plus représentée dans le tableau en raison du faible nombre de personnes concernées. En effet, parmi les trois personnes souffrant de maladie rénale, une seule est atteinte de maladie rénale chronique.

Dans le questionnaire, il était demandé uniquement aux employés à temps plein et à temps partiel et aux personnes en incapacité de travail de spécifier leur profession. Nous disposons ainsi d'informations supplémentaires au sujet de la profession pour 42 personnes sur les 44 personnes concernées par ces statuts professionnels.

Nous observons que les statuts professionnels les plus représentés sont les retraités (32%), les employés à temps plein (25%) et à temps partiel (11%). 10% des participants sont des (anciens) ouvriers dans le secteur de la métallurgie, du bâtiment, de l'ébénisterie ou de la mécanique.

68 % ont des plombages, 28% des objets métalliques dans le corps, 30% des piercings et 10% des tatouages. 18% se rongent les ongles. 40% ont réalisés une permanente ou une coloration l'année précédente et 8% utilisent des remèdes ou des cosmétiques traditionnels.

L'hypertension artérielle (33%) et le diabète (24%) sont les pathologies les plus fréquentes. Les compléments en vitamine D (50%), B (27%) et en calcium (22%) sont les plus consommés par les participants.

75% vivent dans une maison et 25% dans un appartement, 64% ont un jardin privé. Un tiers des jardins privés sont pourvus d'un potager. Les participants habitent Bressoux depuis 22 ans en moyenne. 40% des habitations déclarent avoir des canalisations en plomb. 34% ont réalisés des travaux de rénovation (décapage ou ponçage) récents dans leur habitation (7% sur le lieu de travail). Les peintures de l'habitation sont en bon état chez 88% des participants. 8% vivent ou fréquentent un lieu à proximité d'un site industriel.

Du point de vue de l'alimentation, 25% des participants consomment des fruits ou des légumes issus de leur potager ou d'un autre potager situé à Bressoux (hors CTB). Le supermarché demeure la source essentielle de fruits et légumes pour 78% des individus. Durant la semaine précédant le jour de prélèvement, 55% avaient consommé du riz et 12% des abats. 66% consomment de l'eau en bouteille et 93% de l'eau du robinet. Parmi ces derniers, 67% utilisent l'eau du robinet pour la boisson et pour les préparations (cuisson des pâtes, thé, soupe) et 33% uniquement pour les préparations. 14% utilisent de la vaisselle artisanale étrangère et seulement 1% des récipients en étain ou en cristal pour conserver leurs aliments.

Enfin, parmi les participants de sexe féminin, 3% sont enceintes, 1% allaitent et 12% souffrent d'ostéoporose. L'âge moyen des femmes souffrant d'ostéoporose est de 67 ans.

Paramètres	N	Fréquence (%)	M ± SD
Sexe	100		
	Femme	68	68
	Homme	32	32
Age			53,8 ± 14,9
Pays d'origine	100		
	Belgique	74	74
	Maroc	6	6
	Congo	3	3
	Allemagne	3	3
	Turquie	3	3
	Autres	11	11
Statut professionnel	100		
	Employé temps plein	25	25
	Employé temps partiel	11	11
	Indépendant temps plein	1	1
	Indépendant temps partiel	3	3
	Etudiant	5	5
	Retraité	32	32
	En incapacité de travail	8	8
	Père/Mère au foyer	4	4
	Autre	11	11
Niveau de diplôme	100		
	Aucun	3	3
	Primaire	9	9
	Secondaire	42	42
	Supérieur	46	46
Ouvrier ou ancien ouvrier	100		
	Non	90	90
	Oui en métallurgie	5	5
	Oui dans le bâtiment, en ébénisterie ou en mécanique	5	5
Tabagisme	100		
	Ancien fumeur	19	19
	Fumeur	14	14
	Fumeur passif	13	13
	Non fumeur	54	54
Nombre d'années de résidence à Bressoux			22,1 ± 17,6
Alimentation			
Consommation de poisson/crustacés dans les 7 jours précédents	97		
	Non	40	41
	Oui	57	59
Consommation d'abats dans les 7 jours précédents	99		
	Non	87	88
	Oui	12	12
Consommation de riz dans les 7 jours précédents	98		
	Non	44	45
	Oui	54	55
Consommation de fruits/légumes issus d'un potager de Bressoux	100		
	Non	75	75
	Oui	25	25
Source essentielle des fruits/légumes consommés	100		
	Supermarché	78	78
	Potager	2	2
	Supermarché et potager	20	20
Eau			
Consommation d'eau en bouteille	100		
	Non	34	34
	Oui	66	66
Consommation d'eau du robinet	100		
	Non	7	7
	Oui	93	93
Utilisation de l'eau du robinet	93		
	Uniquement pour les préparations (café, soupe, cuisson des pâtes...)	31	33
	Boisson et préparations	62	67

Habitat et jardin			
Type d'habitation	100		
	Maison	75	75
	Appartement	25	25
Jardin privé	100		
	Non	36	36
	Oui	64	64
Potager	64		
	Non	43	67
	Oui	21	33
Travaux de rénovation (décapage, ponçage) récents au domicile	100		
	Non	66	66
	Oui	34	34
Canalisations en plomb	58		
	Non	35	60
	Oui	23	40
Peinture du domicile en bon état	94		
	Non	11	12
	Oui	83	88
Divers			
Plombage dans la bouche	100		
	Non	32	32
	Oui	68	68
Se ronge les ongles	100		
	Non	82	82
	Oui	18	18
Piercing(s)	100		
	Non	70	70
	Oui	30	30
Tatouage(s)	100		
	Non	90	90
	Oui	10	10
Objets métalliques dans le corps (couronnes dentaires, broches,...)	100		
	Non	72	72
	Oui	28	28
Port de bijoux métalliques	100		
	Jamais	33	33
	Parfois	12	12
	Toujours	55	55
Coloration des cheveux durant 12 derniers mois	100		
	Non	60	60
	Oui	40	40
Fréquentation d'un lieu à proximité d'un site industriel	93		
	Non	86	92
	Oui	7	8
Travaux de rénovation récents sur le lieu de travail	100		
	Non	93	93
	Oui	7	7
Utilisation de remèdes/cosmétiques traditionnels	97		
	Non	89	92
	Oui	8	8
Utilisation de récipients en étain/cristal pour conserver les aliments	96		
	Non	95	99
	Oui	1	1
Utilisation de vaisselle artisanale étrangère	98		
	Non	84	86
	Oui	14	14
Santé			
Diabète	100		
	Non	76	76
	Oui	24	24
Hypertension artérielle	100		
	Non	67	67
	Oui	33	33

Maladie osseuse	100		
	Non	92	92
	Oui	8	8
Maladie rénale	100		
	Non	97	97
	Oui	3	3
Maladie hépatique	100		
	Non	98	98
	Oui	2	2
Intoxication antérieure au plomb	78		
	Non	78	100
	Oui	0	0
Complément alimentaire			
Supplémentation en vitamine A	96		
	Non	88	92
	Oui	8	8
Supplémentation en vitamine B	97		
	Non	71	73
	Oui	26	27
Supplémentation en vitamine C	97		
	Non	79	81
	Oui	18	19
Supplémentation en vitamine D	98		
	Non	49	50
	Oui	49	50
Supplémentation en vitamine E	94		
	Non	86	91
	Oui	8	9
Supplémentation en fer	95		
	Non	82	86
	Oui	13	14
Supplémentation en zinc	93		
	Non	88	95
	Oui	5	5
Supplémentation en calcium	96		
	Non	75	78
	Oui	21	22
Autre complément alimentaire	94		
	Non	75	80
	Oui	19	20
Femme			
Femme enceinte	68		
	Non	66	97
	Oui	2	3
Femme qui allaite ou a allaité durant les 12 derniers mois	68		
	Non	67	99
	Oui	1	1
Femme souffrant d'ostéoporose	58		
	Non	51	88
	Oui	7	12

TABLEAU 1 : RÉSULTATS DESCRIPTIFS DES RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE.

6 RÉSULTATS : PREMIÈRE PARTIE

6.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES ET COMPARAISON AUX VALEURS LIMITES D'EXPOSITION

Un tableau reprenant les statistiques descriptives de tous les biomarqueurs selon le tabagisme, la consommation récente de poisson, le sexe et l'âge des participants est disponible en annexe (Annexe D). Ces facteurs sont connus pour influencer les imprégnations en métaux, en particulier le sexe, l'âge et le tabac pour le cadmium et le plomb (Schoeters et al., 2017), la consommation récente de poisson pour l'arsenic spécié (Fréry et al., 2011).

Le test U de Mann Whitney a été appliqué pour vérifier les associations statistiques entre ces facteurs (tabagisme, consommation de poisson, sexe) et les imprégnations des participants. Ensuite, la corrélation entre l'âge et les imprégnations a été testée au moyen du calcul des coefficients de Spearman.

- **Tabagisme** : La différence d'imprégnation entre fumeurs (F) et non-fumeurs (NF) est hautement significative pour le cadmium sanguin (P50 F=0.98µg/L vs NF=0.40µg/L ; $p<0.001$) et urinaire, exprimé en µg/L (P50 F=0.80µg/L vs NF=0.32µg/L ; $p<0.001$) et en µg/g.cr (P50 F=0.59µg/g.cr vs NF=0.28µg/g.cr ; $p<0.001$), significative pour le plomb sanguin (P50 F=24.15µg/L vs NF=19.25µg/L ; $p=0.027$) mais pas pour le plomb urinaire, ni pour les autres biomarqueurs.
- **Consommation de poisson** : La différence d'imprégnation entre les personnes qui ont consommé du poisson (P) et celles qui n'en ont pas consommé (NP) est hautement significative pour l'arsenic spécié urinaire, exprimé en µg/g.cr (P50 P=6.53µg/g.cr vs NP=3.54µg/g.cr ; $p<0.001$) et en µg/L (P50 P=9.55µg/L vs NP=3.05µg/L), significative pour le plomb urinaire exprimé en µg/L uniquement (P50 P=1.40µg/L vs NP=0.80µg/L ; $p=0.021$) mais pas pour le plomb sanguin, ni pour les autres métaux.
- **Sexe** : La différence d'imprégnation entre les hommes (H) et les femmes (F) est significative pour le cadmium sanguin (P50 H=0.38µg/L vs F=0.47µg/L ; $p=0.031$), pour le cadmium urinaire exprimé en µg/g.cr (P50 H=0.23µg/g.cr vs F=0.36µg/g.cr ; $p=0.038$) mais pas en µg/L, pour l'arsenic spécié urinaire exprimé en µg/L (P50 H=9.05µg/L vs F=4.60µg/L) et pour le cuivre urinaire en µg/g.cr (P50 H=6.17µg/g.cr vs F=7.77µg/g.cr ; $p=0.021$) mais pas pour les autres biomarqueurs.
- **Age** : Il existe une corrélation significative, voire hautement significative, entre l'âge et le cadmium sanguin ($r_s=0.224$; p) et urinaire exprimé en µg/L ($r_s=0.217$) et en µg/g.cr ($r_s=0.406$). L'âge est également corrélé, de façon hautement significative au plomb sanguin ($r_s=0.289$) et urinaire en µg/g.cr ($r_s=0.367$). Une corrélation significative est aussi observée entre l'âge et le cuivre urinaire exprimé en µg/g.cr ($r_s=0.201$). Enfin, l'âge est corrélé significativement avec le zinc urinaire exprimé en µg/L ($r_s=0.240$) et, de manière hautement significative, en µg/g.cr ($r_s=0.384$).

Suite à ces explorations et pour tenir compte de l'impact important du tabagisme sur l'imprégnation en Cd et en Pb et de la consommation récente de poisson sur l'imprégnation en $As_{spéc}$, un ajustement sera réalisé, pour la suite de ce travail, sur les données d'imprégnation (voir chapitre 4.12.1.1).

6.1.1 CADMIUM

Le cadmium est un métal présent en faible quantité dans l'air, l'eau et le sol. La source principale d'exposition au cadmium est le tabagisme mais l'absorption d'aliments contaminés comme les légumes, les fruits de mer et les abats peut également être une source de contamination. Le cadmium est fréquemment utilisé dans les batteries et les peintures. Des concentrations plus élevées dans le sol et l'eau sont généralement observées aux abords des zones industrielles.

Les effets principaux du cadmium sont une atteinte rénale (néphropathie pouvant évoluer vers l'insuffisance rénale) et une atteinte osseuse pouvant conduire à une ostéomalacie et une ostéoporose. Le cadmium est également cancérigène (groupe 1 IARC).

Le cadmium peut être mesuré dans l'urine et dans le sang ; alors que la concentration sanguine reflète l'exposition récente au cadmium (environ trois mois), la concentration urinaire est davantage utile, en cas d'exposition importante ou professionnelle, pour mesurer l'exposition à long terme. En cas d'exposition faible, la concentration en cadmium urinaire est surtout influencée par des facteurs physiologiques (âge, rythme circadien) et de stress (tabagisme) qui affectent l'excrétion rénale du cadmium.

Les valeurs limites d'exposition au Cd sanguin et urinaire, les statistiques descriptives ainsi que l'analyse des dépassements du biomonitoring Témoin sont présentées ci-après.

Les valeurs limites (voir chapitre 4.12.1.2) retenues dans cette étude, pour le cadmium et les autres biomarqueurs, ont été choisies sur base d'une revue de la littérature complétée par l'avis d'experts toxicologues (Maggi et al., 2019).

La valeur de référence pour le Cd sanguin est issue du rapport sur les métaux lourds et oligo-éléments dans le sang rédigé par l'Institut scientifique de Santé publique (Hutse et al., 2005) et correspond à la moyenne géométrique de la population urbaine belge. La valeur d'intervention est la valeur préconisée par Bismuth et al. et le seuil adopté par le laboratoire de Toxicologie du CHU de Liège.

Les valeurs limites d'exposition pour le Cd urinaire sont les valeurs HBM fixées par la Commission allemande sur le Biomonitoring Humain (HBM-I = 1 µg/L pour la valeur de référence et HBM-II = 4 µg/L pour la valeur d'intervention). La valeur HBM-I est définie comme la concentration de biomarqueur en dessous de laquelle les données scientifiques du moment permettent d'estimer qu'il n'y a pas de risque d'impact sur la santé, tandis que la valeur HBM-II est définie comme la concentration au-dessus de laquelle, on peut estimer en fonction des connaissances scientifiques du moment qu'il existe un risque pour la santé chez les individus de la population générale.

	Matrice	Situation normale	Situation de vigilance	Situation d'intervention
Cd	Sang	< 0,4 µg/L ¹	0,4-1,5 µg/L	≥ 1,5 µg/L ²
	Urine	< 1µg/L ³	1-4 µg/L	≥ 4 µg/L ³

¹Hutse et al., 2005

²Bismuth et al., 2000

³Valeur HBM définie par le German Environment agency (2017)

TABEAU 2 : VALEURS LIMITES D'EXPOSITION AU CADMIUM SANGUIN ET URINAIRE.

La valeur de référence détermine la limite entre la situation normale (concentrations en cadmium inférieures à la VR) et la situation de vigilance (concentrations égales ou supérieures à la VR). Lorsque les concentrations atteignent la valeur d'intervention, il s'agit alors, non plus d'une situation de vigilance, mais d'une situation d'intervention avec un risque délétère accru sur la santé. Des mesures doivent alors être mises en œuvre pour réduire l'exposition.

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Cd sang (µg/L)	Total	100	0,58	0,49	0,27	0,35	0,44	0,63	1,01	1,56
	Non fumeur	86	0,47	0,43	0,27	0,34	0,40	0,56	0,69	0,90
	Fumeur	14	1,27	1,07	0,50	0,59	0,98	1,79	2,63	
Cd urine (µg/L)	Total	100	0,44	0,32	0,06	0,19	0,39	0,60	0,93	1,11
	Non fumeur	86	0,38	0,28	0,06	0,18	0,32	0,50	0,68	1,02
	Fumeur	14	0,84	0,73	0,25	0,72	0,80	0,99	1,51	
Cd urine (µg/g.cr)	Total	87	0,42	0,33	0,15	0,19	0,32	0,50	0,80	1,22
	Non fumeur	73	0,35	0,29	0,14	0,17	0,28	0,47	0,64	0,84
	Fumeur	14	0,77	0,63	0,26	0,46	0,59	1,10	1,72	

TABLEAU 3 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU CADMIUM SANGUIN ET URINAIRE.

CADMIUM	Sang	Urine	
	µg/L	µg/L	µg/g.cr
Valeur de référence (VR)	0,4	1	1
Valeur d'intervention (VI)	1,5	4	2
N ≥ VR	58	8	5
% ≥ VR	58	8	6
N ≥ VI	6	0	0
% ≥ VI	6	0	0
N total	100	100	87
N ajusté ≥ VR	44	5	1
% ajusté ≥ VR	51	6	1
N ajusté ≥ VI	0	0	0
% ajusté ≥ VI	0	0	0
N ajusté total	86	86	73

TABLEAU 4 : NOMBRES ET FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION POUR LES IMPRÉGNATIONS AU Cd AJUSTÉES À LA CRÉATININE (N ET % DANS LE TABLEAU) ET POUR LES IMPRÉGNATIONS AU Cd AJUSTÉES À LA CRÉATININE ET AU TABAGISME (N ET % AJUSTÉ DANS LE TABLEAU).

En plus des valeurs limites d'exposition au cadmium urinaire évoquées en µg/L, le Tableau 4 comporte les valeurs limites de cadmiurie (concentration de cadmium dans l'urine) en µg/g.cr (1 µg/g.cr pour la situation de vigilance et 2 µg/g.cr pour la situation d'intervention) fréquemment rencontrées dans les études de cas de populations exposées à des sols contaminés en cadmium (Durand et al., 2011).

L'analyse des dépassements porte sur les valeurs ajustées à la créatinine (N et % dans le tableau) et sur les valeurs ajustées à la créatinine ainsi qu'au tabagisme (N et % ajusté dans le tableau). Ce tableau comprend, à la fois, le nombre de participants dont l'imprégnation est supérieure ou égale aux valeurs de référence et d'intervention et les fréquences de dépassement (rapport entre ce nombre et l'effectif total en %).

Le taux de cadmium sanguin de 58 participants est supérieur à la valeur de référence établie. Parmi ceux-ci, 52 sont en situation de vigilance et 6 en situation d'intervention. Ces six participants sont des

fumeurs, en effet, aucun participant non-fumeur (voir les valeurs ajustées du tableau) ne dépasse la valeur d'intervention. Chez les fumeurs, les apports quotidiens en cadmium varient de 1 à 6 µg/jour pour une consommation de 20 cigarettes par jour. Les fumeurs vivant en zone polluée sont susceptibles de présenter des charges corporelles deux fois plus grandes que celles des non-fumeurs non exposés (Heyman et al. 2008). Le tabagisme influence donc particulièrement la cadmiémie (concentration de cadmium dans le sang). En ce sens, le laboratoire de toxicologie du CHU de Liège a fixé la valeur d'intervention à 3 µg/L et l'Institut de recherche expérimentale et clinique de l'UCLouvain à 5 µg/L pour les fumeurs. Dans notre échantillon Témoin, la concentration en cadmium sanguin la plus élevée est de 3.03µg/L.

Chez ces six participants, la cadmiurie est normale pour 4 participants mais se situe en situation de vigilance pour les deux participants restants. La concentration dans le sang et dans l'urine des autres métaux est normale excepté pour deux personnes : une avec une plombémie (concentration de plomb dans le sang) en situation de vigilance et une autre avec une concentration urinaire en zinc supérieure à la valeur d'intervention.

Une des 6 personnes possédant une cadmiémie supérieure à la valeur d'intervention est suivie pour maladie osseuse et aucune pour maladie rénale. Chez les trois personnes souffrant de maladie rénale, la première possède une cadmiémie et une cadmiurie en situation de vigilance, la deuxième une cadmiémie en situation de vigilance uniquement et la troisième des concentrations en cadmium urinaire et sanguin qui se situent sous la valeur de référence.

Huit personnes présentent une cadmiurie (µg/L) qui dépasse la valeur de référence dont trois fumeurs. Aucun dépassement de la valeur d'intervention n'est par ailleurs observé.

6.1.2 PLOMB

Le plomb est un métal et un contaminant toxique fréquent dans l'environnement (eau, air et sol). La voie d'absorption principale du plomb est la voie orale (alimentation et eau contaminée par le circuit de distribution) mais le plomb peut également être absorbé par inhalation ou voie cutanée. Tout comme le cadmium, le plomb s'accumule dans notre organisme tout au long de notre vie. Autrefois largement utilisé dans les réseaux de canalisation, sa principale utilisation actuelle réside dans la fabrication de batterie.

Les principaux organes cibles du plomb sont le système nerveux central, cardiovasculaire, les reins et la moelle osseuse. Les enfants en bas âge sont les plus vulnérables à une intoxication au plomb en raison de leur activité main-bouche, de leur coefficient d'absorption digestive élevé et de leur système nerveux en développement.

Le plomb est typiquement dosé dans le sang. La plomburie (concentration de plomb dans l'urine), moins pertinente pour mesurer la charge corporelle en plomb, est tout de même renseignée dans ce travail.

Les valeurs limites d'exposition au Pb sanguin et urinaire, les statistiques descriptives ainsi que l'analyse des dépassements du biomonitoring Témoin sont présentées ci-après.

Les valeurs limites d'exposition retenues pour la plombémie (chez les adultes) sont des seuils préconisés par le Haut Conseil de la Santé Publique (France). Bien que des effets toxiques soient

possibles à des concentrations inférieures à la valeur d'intervention (100 µg/L), cette dernière est utilisée en terme de gestion afin de déclencher des actions destinées à réduire l'exposition au Pb, en France notamment.

La valeur de référence pour la plomburie correspond à la valeur médiane de la population adulte belge (Hoet et al., 2013) tandis que la valeur d'intervention, qui est par ailleurs le seuil adopté par l'Institut de recherche expérimentale et clinique de l'UCLouvain, correspond au percentile 97.5 de la population adulte belge (Hoet et al., 2013).

	Matrice	Situation normale	Situation de vigilance	Situation d'intervention
Pb	Sang	< 50 µg/L	50-100 µg/L ¹	≥ 100 µg/L
	Urine	< 1,8 µg/g.cr ²	1,8-3 µg/g.cr	≥ 3 µg/g.cr ³

¹Seuil préconisé par le Haut Conseil de la Santé Publique (France)

²Hoet et al., 2013 (P50)

³Hoet et al., 2013 (P97,5)

TABLEAU 5 : VALEURS LIMITES D'EXPOSITION AU PLOMB SANGUIN ET URINAIRE.

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Pb sang (µg/L)	Total	100	25,03	19,26	9,62	12,03	19,85	26,08	39,57	56,39
	Non fumeur	86	24,79	18,49	9,34	11,67	19,25	25,28	39,39	59,13
	Fumeur	14	26,51	24,73	14,60	18,35	24,15	32,50	47,55	
Pb urine (µg/L)	Total	100	1,47	0,99	0,19	0,60	1,10	1,70	2,60	2,99
	Non fumeur	86	1,47	0,95	0,19	0,50	1,00	1,70	2,60	2,96
	Fumeur	14	1,48	1,25	0,45	0,80	1,55	1,83	2,75	
Pb urine (µg/g.cr)	Total	87	1,35	0,97	0,29	0,60	1,08	1,58	2,34	4,13
	Non fumeur	73	1,38	0,95	0,27	0,57	1,04	1,58	2,82	4,29
	Fumeur	14	1,20	1,07	0,45	0,74	1,32	1,58	1,73	

TABLEAU 6 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU PLOMB SANGUIN ET URINAIRE.

PLOMB	Sang µg/L	Urine µg/g.cr
Valeur de référence (VR)	50	1,8
Valeur d'intervention (VI)	100	3
N ≥ VR	6	13
% ≥ VR	6	15
N ≥ VI	2	6
% ≥ VI	2	7
N total	100	87
N ajusté ≥ VR	5	13
% ajusté ≥ VR	6	18
N ajusté ≥ VI	2	6
% ajusté ≥ VI	2	8
N ajusté total	86	73

TABLEAU 7 : NOMBRES ET FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION POUR LES IMPRÉGNATIONS AU Pb AJUSTÉES À LA CRÉATININE (N ET % DANS LE TABLEAU) ET POUR LES IMPRÉGNATIONS AU Pb AJUSTÉES À LA CRÉATININE ET AU TABAGISME (N ET % AJUSTÉ DANS LE TABLEAU).

L'analyse des dépassements porte sur les valeurs ajustées à la créatinine (N et % dans le tableau) et sur les valeurs ajustées à la créatinine ainsi qu'au tabagisme (N et % ajusté dans le tableau).

Deux participants présentent une plombémie supérieure à la limite d'intervention : une femme d'une trentaine d'années et un homme d'une soixantaine d'années. Ces deux personnes ne fument pas. Nous avons consulté les questionnaires pour déterminer si ces personnes présentent des facteurs de risque. La première exerce (ou a exercé) la profession d'ouvrier dans le bâtiment, l'ébénisterie ou la mécanique et possède des canalisations en plomb. Son jardin est pourvu d'un potager et elle consomme des légumes issus de celui-ci ou d'un autre potager de Bressoux. La deuxième ignore si ses canalisations sont en plomb et si les peintures de son domicile sont en bon état. Ces deux personnes boivent de l'eau du robinet, ont effectué des travaux de rénovation récemment à leur domicile et utilisent de la vaisselle traditionnelle. Elles ne sont pas suivies pour hypertension artérielle ou maladie rénale, deux conséquences possibles du saturnisme (intoxication au plomb).

La plomburie des deux participants dépasse également la valeur d'intervention (un des deux participants présente une créatinurie anormale). Les autres biomarqueurs de ces deux personnes se situent dans la norme excepté pour la cadmiémie de l'une des deux qui dépasse la valeur de référence (comme 58% des participants).

6.1.3 ARSENIC SPÉCIÉ (Asi + MMA + DMA)

L'arsenic est un métalloïde présent en faible quantité dans l'eau, l'air et le sol. Une concentration plus importante en arsenic est fréquemment observée dans les sols industriels ou agricoles (pesticides à base d'arsenic). Il entre dans la composition d'alliages, conservateurs du bois ou insecticides. L'arsenic est absorbé principalement par voie orale et par inhalation. L'eau de boisson contenant de l'arsenic représente le plus grand danger en terme de santé publique. Le poisson et le riz sont des aliments fréquemment chargés en arsenic.

L'arsenic se décline sous différentes formes chimiques ou espèces. L'arsenic spécié est la somme de trois espèces d'arsenic : l'arsenic inorganique (Asi) et deux dérivés méthylés organiques, l'acide monométhylarsinique (MMA) et diméthylarsinique (DMA).

La recherche scientifique a montré que les effets toxiques de l'arsenic ne sont pas déterminés par la concentration totale de l'élément mais qu'ils dépendent des espèces présentes. L'arsenic inorganique est le plus toxique. La spéciation permet de se libérer de l'interférence liée à des composés organo-arséniés non toxiques tels que l'arsénobétaïne, que l'on retrouve en grande quantité dans le poisson et les fruits de mer et, par conséquent, dans l'organisme après en avoir consommé.

Une exposition prolongée à l'arsenic peut causer des cancers de la peau, du poumon, de la vessie ainsi que des maladies dermatologiques, des effets sur le développement, une neurotoxicité, du diabète et des atteintes pulmonaires et cardiovasculaires.

Les valeurs limites d'exposition à l'As_{spéc} urinaire, les statistiques descriptives ainsi que l'analyse des dépassements du biomonitoring Témoin sont présentées ci-après.

La valeur de référence de 10 µg/g.cr est préconisée comme valeur protectrice par les études populationnelles françaises (Saoudi et al., 2012 ; Hays et al., 2010) et correspond approximativement

au percentile 95 de la population française déterminée par ces études (8.9 et 8.3 $\mu\text{g/g.cr}$ respectivement). Il s'agit de la valeur limite retenue par l'UCLouvain.

La valeur d'intervention choisie est celle utilisée dans l'étude de Durand et al. Elle correspond au percentile 95 de la population allemande (Becker et al., 2003). Le laboratoire de toxicologie du CHU de Liège a, d'autre part, revu sa valeur d'intervention en passant de 10 à 15 $\mu\text{g/g.cr}$.

	Matrice	Situation normale	Situation de vigilance	Situation d'intervention
As_{spécié}	Urine	< 10 $\mu\text{g/g.cr}^1$	10-15 $\mu\text{g/g.cr}$	$\geq 15 \mu\text{g/g.cr}^2$

¹Saoudi et al., 2012 et Hays et al., 2010

²Durand et al., 2011

TABEAU 8 : VALEURS LIMITES D'EXPOSITION À L'ARSENIC SPÉCIÉ URINAIRE.

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
As_{spec urine} ($\mu\text{g/L}$)	Total	100	10,78	6,12	1,67	2,65	6,48	10,95	22,77	42,93
	Pas de poisson	40	4,43	3,35	1,41	1,98	3,05	6,08	9,76	13,27
	Poisson	57	15,31	9,33	2,29	5,10	9,55	15,43	42,59	62,76
As_{spec urine} ($\mu\text{g/g.cr}$)	Total	87	9,43	6,25	2,51	3,75	5,65	8,61	22,42	36,24
	Pas de poisson	33	4,43	3,83	1,76	2,55	3,54	6,09	7,88	9,70
	Poisson	51	12,80	8,55	3,76	5,23	6,53	12,94	32,98	59,24

TABEAU 9 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'ARSENIC SPÉCIÉ URINAIRE.

ARSENIC SPECIE	Urine $\mu\text{g/g.cr}$
Valeur de référence (VR)	10
Valeur d'intervention (VI)	15
N \geq VR	18
% \geq VR	21
N \geq VI	11
% \geq VI	13
N total	87
N ajusté \geq VR	1
% ajusté \geq VR	3
N ajusté \geq VI	0
% ajusté \geq VI	0
N ajusté total	33

TABEAU 10 : NOMBRES ET FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION POUR LES IMPRÉGNATIONS À L'AS_{SPEC} AJUSTÉES À LA CRÉATININE (N ET % DANS LE TABLEAU) ET POUR LES IMPRÉGNATIONS À L'AS_{SPEC} AJUSTÉES À LA CRÉATININE ET À LA CONSOMMATION DE POISSON (N ET % AJUSTÉ DANS LE TABLEAU).

L'analyse des dépassements porte sur les valeurs ajustées à la créatinine (N et % dans le tableau) et sur les valeurs ajustées à la créatinine ainsi qu'à la consommation récente de poisson (N et % ajusté dans le tableau).

Les 11 personnes dont la concentration urinaire en $As_{spéc}$ dépasse la valeur d'intervention sont des personnes qui ont consommé du poisson la semaine précédant le prélèvement. Le nombre de personne dépassant la valeur de référence, quant à lui, chute drastiquement lorsqu'on s'intéresse aux personnes n'ayant pas consommé de poisson récemment.

6.1.4 CUIVRE

Naturellement présent dans le sol, le cuivre est un métal très employé dans différents secteurs tels que l'électricité, l'électronique, les télécommunications, la construction et les transports.

C'est un oligo-élément indispensable au bon fonctionnement de notre organisme : il est nécessaire à l'action de nombreuses enzymes, à la formation de l'hémoglobine, intervient dans la fonction immunitaire et a un rôle anti-oxydant. Les aliments riches en cuivre sont les abats, les fruits de mer et les fruits à coque.

Un excès de cuivre peut provoquer des troubles hépatiques même si les effets toxiques du cuivre sont très rares.

Les valeurs limites d'exposition au Cu urinaire, les statistiques descriptives ainsi que l'analyse des dépassements du biomonitoring Témoin sont présentées ci-après.

En raison du faible risque d'intoxication, il ne nous a pas paru nécessaire de fixer une situation de vigilance pour le cuivre urinaire. Nous avons attribué comme valeur d'intervention, la valeur la plus élevée entre celles utilisées par le CHU de Liège (50 $\mu\text{g/g.cr}$) et l'UCLouvain (14 $\mu\text{g/g.cr}$), soit 50 $\mu\text{g/g.cr}$.

	Matrice	Situation normale	Situation de vigilance	Situation d'intervention
Cu	Urine	< 50 $\mu\text{g/g.cr}$	-	$\geq 50 \mu\text{g/g.cr}^1$

¹Seuil adopté par le CHU de Liège

TABLEAU 11 : VALEURS LIMITES D'EXPOSITION AU CUIVRE URINAIRE.

	N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Cu urine ($\mu\text{g/L}$)	100	10,12	7,37	2,78	4,95	8,07	12,71	18,07	23,92
Cu urine ($\mu\text{g/g.cr}$)	87	10,52	7,85	4,50	5,57	7,22	9,63	13,31	23,97

TABLEAU 12 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU CUIVRE URINAIRE.

CUIVRE	Urine µg/g.cr
Valeur d'intervention (VI)	50
N ≥ VI	2
% ≥ VI	2
N total	87

TABEAU 13 : NOMBRES ET FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION POUR LES IMPRÉGNATIONS AU CU.

Deux participants démontrent une imprégnation en cuivre supérieure à la valeur d'intervention fixée. Il s'agit de deux personnes retraitées et non-fumeur : une femme de 70 ans et un homme de 72 ans, ancien ouvrier en métallurgie.

6.1.5 MOLYBDÈNE

Le molybdène est un métal utilisé principalement dans la fabrication d'alliages de haute résistance.

Tout comme le cuivre, le molybdène est un oligo-élément essentiel. Il intervient dans le métabolisme des acides aminés et des purines. Les aliments riches en molybdène sont les abats, les légumes secs et les fruits à coque.

Une exposition chronique à des taux élevés de molybdène entraînerait une augmentation de la concentration sanguine en acide urique et des symptômes s'apparentant à la goutte.

Les valeurs limites d'exposition au Mo urinaire, les statistiques descriptives ainsi que l'analyse des dépassements du biomonitoring Témoin sont présentées ci-après.

En raison du faible risque d'intoxication, il ne nous a pas paru nécessaire de fixer une situation de vigilance pour le molybdène urinaire. Nous avons attribué comme valeur d'intervention, la valeur la plus élevée entre celles utilisées par le CHU de Liège (80 µg/g.cr) et l'UCLouvain (100 µg/g.cr), soit 100 µg/g.cr. Cette valeur correspond, par ailleurs, au percentile 97.5 de la population adulte belge (Hoet et al., 2013).

	Matrice	Situation normale	Situation de vigilance	Situation d'intervention
Mo	Urine	< 100 µg/g.cr	-	≥ 100 µg/g.cr ¹

¹Hoet et al., 2013 (P97,5)

TABEAU 14 : VALEURS LIMITES D'EXPOSITION AU MOLYBDÈNE URINAIRE.

	N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Mo urine (µg/L)	100	40,23	28,96	7,54	17,78	33,10	57,03	72,97	87,85
Mo urine (µg/g.cr)	87	36,76	31,06	15,07	21,30	30,54	45,36	61,67	86,48

TABEAU 15 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU MOLYBDÈNE URINAIRE.

MOLYBDENE	Urine µg/g.cr
Valeur d'intervention (VI)	100
N ≥ VI	3
% ≥ VI	3
N total	87

TABEAU 16 : NOMBRES ET FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION POUR LES IMPRÉGNATIONS AU Mo.

Trois personnes de la campagne Témoin ont une concentration en molybdène urinaire supérieure à la valeur d'intervention établie. Il s'agit de deux hommes de 57 et 55 ans et d'une femme de 79 ans. Ces trois personnes ont des statuts professionnels différents (employé, retraité et autre). L'une des trois est un fumeur.

6.1.6 ZINC

Le zinc est un métal naturellement présent dans l'eau, l'air et le sol. Il est utilisé principalement pour la galvanisation du fer et de l'acier et la fabrication d'alliages dans les secteurs de l'automobile, la construction et les équipements industriels notamment. Les retombées atmosphériques et rejets riches en zinc peuvent contaminer les sols à proximité d'industries.

Oligo-élément indispensable, il a de nombreux rôles : en plus d'une action anti-oxydante, le zinc est essentiel au métabolisme des protéines et les lipides, il contribue à la bonne santé de la peau et des cheveux et est très important pour la croissance et les défenses immunitaires. Les aliments les plus riches en zinc sont les fruits de mer, les abats, les viandes et les fromages.

Beaucoup moins fréquente que le déficit en zinc, la consommation excessive de zinc induit une diminution du taux sanguin de bon cholestérol et empêche l'absorption du cuivre.

Les valeurs limites d'exposition au Zn urinaire, les statistiques descriptives ainsi que l'analyse des dépassements du biomonitoring Témoin sont présentées ci-après.

En raison du faible risque d'intoxication, il ne nous a pas paru nécessaire de fixer une situation de vigilance pour le zinc urinaire. Nous avons attribué comme valeur d'intervention, la valeur la plus élevée entre celles utilisées par le CHU de Liège (500 µg/g.cr) et l'UCLouvain (770 µg/g.cr), soit 770 µg/g.cr. Cette valeur correspond, par ailleurs, au percentile 97.5 de la population adulte belge (Hoet et al, 2013).

	Matrice	Situation normale	Situation de vigilance	Situation d'intervention
Zn	Urine	< 770 µg/g.cr	-	≥ 770 µg/g.cr ¹

¹Hoet et al., 2013 (P97,5)

TABEAU 17 : VALEURS LIMITES D'EXPOSITION AU ZINC URINAIRE.

	N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Zn urine (µg/L)	100	401,51	273,16	60,70	173,25	325,00	503,25	832,90	1165,80
Zn urine (µg/g.cr)	87	340,69	280,27	132,67	196,15	275,00	437,35	581,58	883,23

TABLEAU 18 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU ZINC URINAIRE.

ZINC	Urine µg/g.cr
Valeur d'intervention (VI)	770
N ≥ VI	6
% ≥ VI	7
N total	87

TABLEAU 19 : NOMBRES ET FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION POUR LES IMPRÉGNATIONS AU ZN.

Six personnes présentent un taux de zinc supérieur à la limite d'intervention : quatre hommes et deux femmes. Ces personnes ont entre 59 et 79 ans et des statuts professionnels différents (4 retraités, un employé à temps partiel et un père au foyer). Deux d'entre eux sont des anciens ouvriers en métallurgie et l'une d'entre eux seulement prend une supplémentation en zinc.

6.2 MULTIPLICITÉ DE DÉPASSEMENT ET CORRÉLATION ENTRE BIOMARQUEURS

Afin d'observer la multiplicité individuelle des dépassements, nous avons réalisé la Figure 3 qui représente le pourcentage d'individus dépassant simultanément plusieurs valeurs de référence ou d'intervention pour les imprégnations brutes et ajustées. Cette figure permet d'attirer l'attention sur le problème de « poly-imprégnation » des individus et du risque accru pour la santé qui y est associé.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la plombémie est un meilleur biomarqueur de l'intoxication au plomb que la plomburie. Cette dernière n'a donc pas été prise en compte dans l'analyse des dépassements multiples. De même, les valeurs limites d'exposition pour le cadmium dans l'urine exprimées en µg/g.cr, rencontrées lors d'études de populations exposées, n'ont pas été retenues pour cette analyse.

Seulement 32% des participants ne présentent aucun dépassement des valeurs de référence sur les quatre dépassements possibles (CdS, CdU (µg/L), PbS, As_{spéc}U). 44% présentent un dépassement, 17% deux, 5% trois et 2% quatre dépassements de la valeur de référence. Aucun participant ne possède cinq imprégnations en métaux ou plus supérieures à la valeur de référence. Après ajustement à la consommation de poisson pour l'As_{spéc} et au tabagisme pour le Cd et le Pb, le pourcentage de personnes en dépassement multiple diminue significativement puisque 39%, 10%, 1% et 1% dépassent respectivement 1, 2, 3 et 4 valeurs de référence sur quatre.

75% des participants ne présentent aucun dépassement des valeurs d'intervention. 20% présentent un dépassement de la valeur d'intervention sur les sept dépassements possibles (CdS, CdU (µg/L), PbS, As_{spéc}U, CuU, MoU et ZnU) et 5% deux dépassements. Aucun dépassement multiple de la valeur d'intervention de trois biomarqueurs ou plus n'est constaté. Après ajustement, les chiffres de

dépassement diminuent à 9% et 2% pour le dépassement de, respectivement, 1 et 2 valeurs d'intervention sur sept.

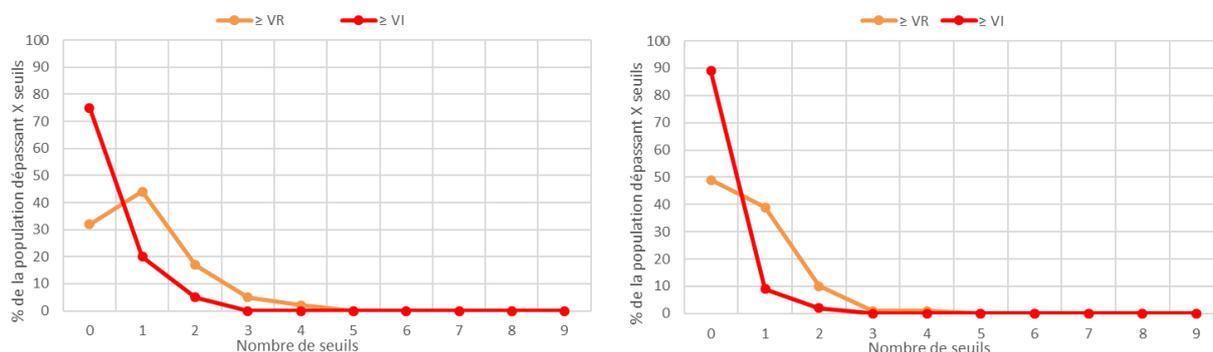


FIGURE 3 : POURCENTAGE DE LA POPULATION DÉPASSANT SIMULTANÉMENT X VALEURS DE RÉFÉRENCE (EN ORANGE) OU D'INTERVENTION (EN ROUGE) POUR LES IMPRÉGNATIONS AJUSTÉES À LA CRÉATININE (À GAUCHE) ET AJUSTÉES À LA CRÉATININE AINSI QU'À LA CONSOMMATION RÉCENTE DE POISSON POUR L'AS_{SPEC} ET AU TABAGISME POUR LE CD ET LE PB (À DROITE).

Nous avons également testé la corrélation entre les différents biomarqueurs. Le Tableau 20 ci-dessous indique les coefficients de Spearman.

En toute logique, le cadmium sanguin est corrélé significativement (en rouge) avec le cadmium urinaire, de même que le plomb sanguin avec le plomb urinaire. Les autres corrélations significatives concernent, par ordre de puissance décroissante, le plomb urinaire avec l'arsenic spécié ($r_s=0.432$), le cuivre urinaire et le cadmium sanguin ($r_s=0.331$), le cuivre et le zinc urinaire ($r_s=0.317$), le plomb urinaire et le cuivre urinaire ($r_s=0.275$), l'arsenic spécié et le plomb sanguin ($r_s=0.274$), le cadmium sanguin et le plomb urinaire ($r=0.256$) et enfin, le cadmium sanguin et le plomb sanguin ($r_s =0.198$).

	CdS (µg/L)	CdU (µg/L)	PbS (µg/L)	PbU (µg/g.cr)	As _{spéc} U (µg/g.cr)	CuU (µg/g.cr)	MoU (µg/g.cr)	ZnU (µg/g.cr)
CdS (µg/L)	1,000	0,334	0,198	0,256	0,044	0,331	-0,047	0,156
CdU (µg/L)		1,000	0,119	0,057	-0,023	0,113	0,034	0,155
PbS (µg/L)			1,000	0,543	0,274	-0,072	0,136	-0,030
PbU (µg/g.cr)				1,000	0,432	0,275	0,107	0,146
As _{spéc} U (µg/g.cr)					1,000	-0,021	-0,093	-0,007
CuU (µg/g.cr)						1,000	0,026	0,317
MoU (µg/g.cr)							1,000	0,140
ZnU (µg/g.cr)								1,000

TABEAU 20 : COEFFICIENTS DE SPEARMAN DES CORRÉLATIONS ENTRE BIOMARQUEURS. LES CORRÉLATIONS SIGNIFICATIVES SONT INDIQUÉES EN ROUGE.

6.3 ANALYSES DES RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE

Ce chapitre consiste à analyser les concentrations mesurées chez les participants en fonction des réponses au questionnaire.

Nous nous sommes, en premier, demandés si le fait d’avoir un jardin, un potager ou de consommer des fruits ou des légumes issus de son potager privé ou d’un autre potager situé à Bressoux (hors Coin de Terre) avait un impact sur les imprégnations des participants.

Les tableaux 21, 22 et 23 comparent les statistiques descriptives en fonction de la présence d’un jardin (Tableau 21), d’un potager (Tableau 22) et de la consommation de fruits et de légumes du potager (Tableau 23).

Il semblerait que, ni la présence d’un jardin, ni la présence d’un potager, ni la consommation de fruits et de légumes d’un potager de Bressoux n’influencent significativement l’imprégnation des participants (pas de p-valeur <0.05). Des p-valeurs de, respectivement, 0.079 et 0.068, qui reflètent toutefois déjà une tendance statistique sont tout de même observées pour la concentration en arsenic spécié urinaire (Tableau 21) et la cadmiémie (Tableau 22). Nous pouvons ainsi avancer que la concentration urinaire en arsenic spécié est plus élevée chez les personnes qui ont un jardin mais la cadmiémie est plus élevée chez les personnes qui n’ont pas de potager.

Aucune question du questionnaire ne portait sur la fréquence et l’importance de la consommation de produits issus du potager mais, d’après les interactions que nous avons pu avoir avec les participants, leur consommation semble très occasionnelle. Il est important de noter qu’une consommation plus importante et plus fréquente pourrait avoir d’avantage d’impact sur les imprégnations.

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	p-value
Cd sang (µg/L)	Jardin	64	0,53	0,47	0,27	0,34	0,44	0,58	0,94	1,54	0,272
	Pas de jardin	36	0,66	0,53	0,27	0,36	0,42	0,69	1,43	2,34	
Cd urine (µg/L)	Jardin	64	0,42	0,33	0,13	0,22	0,40	0,56	0,77	1,04	0,997
	Pas de jardin	36	0,48	0,31	0,06	0,10	0,35	0,78	1,05	1,48	
Pb sang (µg/L)	Jardin	64	27,78	19,99	9,30	12,18	19,85	26,45	42,10	65,38	0,633
	Pas de jardin	36	20,15	18,02	9,74	11,06	19,60	24,60	33,49	41,28	
Pb urine (µg/g.cr)	Jardin	56	1,50	1,04	0,28	0,60	1,15	1,62	2,89	4,34	0,249
	Pas de jardin	31	1,08	0,86	0,26	0,49	1,02	1,35	1,74	3,27	
As_{spec} urine (µg/g.cr)	Jardin	56	10,19	6,99	2,96	4,34	6,06	9,53	23,71	39,62	0,079
	Pas de jardin	31	8,06	5,10	1,72	2,56	4,92	6,89	15,92	42,43	
Cu urine (µg/g.cr)	Jardin	56	10,78	8,06	4,34	6,11	7,39	10,39	13,93	22,54	0,151
	Pas de jardin	31	10,04	7,48	4,71	5,34	6,54	8,24	10,32	50,66	
Mo urine (µg/g.cr)	Jardin	56	36,79	30,30	14,47	20,33	28,90	40,35	74,18	108,09	0,312
	Pas de jardin	31	36,69	32,49	18,05	18,91	34,88	50,00	59,89	71,25	
Zn urine (µg/g.cr)	Jardin	56	366,57	306,21	153,44	200,35	279,86	439,34	824,64	910,67	0,325
	Pas de jardin	31	293,94	238,86	68,89	149,52	271,25	393,04	524,15	604,62	

TABLEAU 21 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES EN FONCTION DE LA PRÉSENCE D’UN JARDIN.

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	p-value
Cd sang (µg/L)	Potager	21	0,43	0,40	0,26	0,33	0,37	0,46	0,76	0,85	0,068
	Pas de potager	79	0,62	0,51	0,27	0,36	0,44	0,66	1,39	1,70	
Cd urine (µg/L)	Potager	21	0,50	0,37	0,06	0,25	0,45	0,70	1,16	1,41	0,341
	Pas de potager	79	0,43	0,31	0,06	0,19	0,32	0,58	0,94	1,11	
Pb sang (µg/L)	Potager	21	30,64	21,49	8,04	10,85	20,60	31,60	53,56	178,01	0,419
	Pas de potager	79	23,54	18,70	9,80	12,10	19,20	24,60	39,30	52,50	
Pb urine (µg/g.cr)	Potager	19	1,98	1,30	0,52	0,74	1,04	2,15	4,29		0,210
	Pas de potager	68	1,18	0,89	0,24	0,58	1,09	1,50	1,95	3,42	
As_{spec} urine (µg/g.cr)	Potager	19	8,87	6,90	2,98	3,44	7,05	10,06	22,49		0,383
	Pas de potager	68	9,59	6,08	2,36	3,77	5,58	8,04	17,33	45,67	
Cu urine (µg/g.cr)	Potager	19	8,08	7,12	3,43	5,46	7,09	9,38	11,17		0,600
	Pas de potager	68	11,20	8,07	4,68	5,85	7,29	9,92	13,92	23,79	
Mo urine (µg/g.cr)	Potager	19	38,67	31,95	16,75	23,83	28,94	40,33	73,27		0,837
	Pas de potager	68	36,22	30,82	14,73	20,33	31,47	45,75	60,88	85,63	
Zn urine (µg/g.cr)	Potager	19	334,81	291,75	95,71	206,71	340,16	431,96	522,58		0,666
	Pas de potager	68	342,33	277,15	133,91	191,92	268,16	437,71	680,40	891,85	

TABEAU 22 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES EN FONCTION DE LA PRÉSENCE D'UN POTAGER.

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	p-value
Cd sang (µg/L)	Consomme	25	0,44	0,41	0,26	0,33	0,39	0,53	0,68	0,81	0,116
	Ne consomme pas	75	0,62	0,51	0,27	0,36	0,44	0,66	1,43	1,77	
Cd urine (µg/L)	Consomme	25	0,46	0,33	0,06	0,21	0,40	0,63	1,17	1,38	0,936
	Ne consomme pas	75	0,44	0,32	0,06	0,19	0,38	0,58	0,87	1,04	
Pb sang (µg/L)	Consomme	25	29,51	20,24	7,26	10,85	20,30	31,60	60,76	154,15	0,774
	Ne consomme pas	75	23,54	18,94	9,98	12,40	19,70	24,70	36,36	44,58	
Pb urine (µg/g.cr)	Consomme	22	1,86	1,13	0,26	0,70	1,00	2,16	4,21	11,00	0,513
	Ne consomme pas	65	1,18	0,92	0,28	0,59	1,13	1,54	1,90	3,57	
As_{spec} urine (µg/g.cr)	Consomme	22	7,36	5,81	2,46	3,37	5,29	8,41	19,01	25,95	0,755
	Ne consomme pas	65	10,13	6,40	2,49	3,78	5,71	8,85	22,81	47,94	
Cu urine (µg/g.cr)	Consomme	22	9,74	8,11	3,49	5,54	7,41	9,94	24,32	26,29	0,711
	Ne consomme pas	65	10,78	7,76	4,62	5,68	7,22	9,72	11,63	13,95	
Mo urine (µg/g.cr)	Consomme	22	41,72	33,56	17,33	20,87	28,22	47,01	97,40	154,85	0,876
	Ne consomme pas	65	35,08	30,26	14,41	20,70	31,07	40,82	57,81	76,26	
Zn urine (µg/g.cr)	Consomme	22	339,70	292,27	139,25	204,20	307,58	417,92	710,56	875,86	0,899
	Ne consomme pas	65	341,03	276,33	121,42	192,28	271,25	438,91	604,62	888,59	

TABEAU 23 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES EN FONCTION DE LA CONSOMMATION DE FRUITS/LÉGUMES DU POTAGER PRIVÉ OU D'UN POTAGER DE BRESSOUX.

Ensuite, nous nous sommes intéressés à la question qui portait sur le nombre d'années de résidence à Bressoux. Le Tableau 24 illustre l'absence de corrélation significative entre ce paramètre et les imprégnations en métaux des participants.

	CdS (µg/L)	CdU (µg/L)	PbS (µg/L)	PbU (µg/g.cr)	As _{spec} U (µg/g.cr)	CuU (µg/g.cr)	MoU (µg/g.cr)	ZnU (µg/g.cr)
Nbre d'années de résidence à Bressoux	0,061	0,089	-0,092	0,117	-0,060	0,204	0,002	0,199

TABEAU 24 : COEFFICIENTS DE SPEARMAN DES CORRÉLATIONS ENTRE LE NOMBRE D'ANNÉES DE RÉSIDENCE À BRESSOUX ET LES IMPRÉGNATIONS EN MÉTAUX.

6.4 COMPARAISON AVEC LES DONNÉES DES SOLS

Parmi les participants au biomonitoring témoin, certaines personnes se sont portées volontaires pour qu'un prélèvement du sol de leur jardin (et le cas échéant de leur potager) soit réalisé. Ainsi, le sol de 45 jardins a été analysé et comparé aux résultats des analyses de sang et d'urine des participants, non ajustés à la créatinine. Plusieurs participants étant domiciliés à la même adresse (famille de participants), cette comparaison a pu s'effectuer sur 52 personnes.

Les concentrations mesurées dans les sols des jardins montrent une grande variabilité (plus de variabilité qu'au CTB) qui pourrait masquer l'impact de la présence d'un jardin, d'un potager ou de la consommation de fruits/légumes sur les imprégnations en métaux.

	Cd	Pb	As	Cu	Mo	Zn
Jardins privés population Témoin (N=45)						
Moyenne	4,1	714	36	182	3,0	1489
Médiane	3,8	450	29	160	2,6	1200
P90	7,0	1080	52	292	5,1	2440
Maximum	11,0	8500	200	650	7,6	5800
Coin de Terre de Bressoux (N=248)						
Moyenne	4,7	510	32	214	2,8	1409
Médiane	4,8	500	31	214	2,7	1422
P90	5,6	664	41	269	3,3	1739
Maximum	6,2	961	47	392	5,9	2178

TABLEAU 25 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES TENEURS EN MÉTAUX (EN MG/KG) MESURÉES DANS LES SOLS DES JARDINS PRIVÉS DE LA POPULATION TÉMOIN ET AU CTB (MAGGI ET AL., 2019).

La corrélation entre les données sol et le dosage sanguin et urinaire des biomarqueurs a été testée chez toutes les personnes qui possèdent un jardin et, parmi ces personnes, chez celles qui possèdent un potager et qui consomment des denrées de leur potager. Le tableau 26 indique les coefficients de corrélation de Spearman pour les deux groupes évoqués : à gauche, les personnes qui possèdent un jardin (N=52), à droite les personnes qui possèdent un potager et qui mangent des fruits ou des légumes cultivés dans leur potager (N=17).

Dans les deux groupes, aucune corrélation n'est significative. Les concentrations en métaux mesurées dans les sols ne sont pas corrélées avec les concentrations retrouvées dans les matrices biologiques des participants, qu'ils consomment ou non des produits de leur potager.

N=52		Matrice humaine							
		CdS (µg/L)	CdU (µg/L)	PbS (µg/L)	PbU (µg/g.cr)	ASpécU (µg/g.cr)	CuU (µg/g.cr)	MoU (µg/g.cr)	ZnU (µg/g.cr)
Sol	Cd	-0,073	0,220						
	Pb			0,078	0,031				
	As					0,185			
	Cu						0,065		
	Mo							-0,219	
	Zn								0,029

N=17		Matrice humaine							
		CdS (µg/L)	CdU (µg/L)	PbS (µg/L)	PbU (µg/g.cr)	ASpécU (µg/g.cr)	CuU (µg/g.cr)	MoU (µg/g.cr)	ZnU (µg/g.cr)
Sol	Cd	-0,098	-0,368						
	Pb			-0,317	-0,220				
	As					-0,369			
	Cu						-0,078		
	Mo							-0,067	
	Zn								0,268

TABLEAU 26 : COEFFICIENTS DE SPEARMAN DES CORRÉLATIONS ENTRE LES CONCENTRATIONS DU SOL ET LES IMPRÉGNATIONS EN MÉTAUX POUR TOUTES LES PERSONNES VOLONTAIRES (N=52) À GAUCHE ET POUR LES PERSONNES QUI POSSÈDENT UN POTAGER ET CONSOMMENT DES FRUITS OU DES LÉGUMES DU POTAGER (N=17) À DROITE.

7 RÉSULTATS : DEUXIÈME PARTIE

7.1 COMPARAISON DU BIOMONITORING TÉMOIN AUX DEUX PRÉCÉDENTS BIOMONITORING (BMH SANISOL 1 ET BMH CONTRÔLE)

7.1.1 CARACTÉRISATION DES ÉCHANTILLONS

Le tableau ci-dessous permet la comparaison des 3 campagnes de prélèvements réalisées à Bressoux, chez les usagers du potager communautaire Le Coin de Terre (BMH SANISOL 1 réalisée en été 2018 sur 88 usagers et BMH Contrôle réalisée en hiver 2019 sur 55 de ces 88 usagers) et chez les personnes qui ne fréquentent pas ce potager (BMH Témoin en été 2019).

Les cases vides de la colonne correspondant à la première campagne de prélèvement correspondent à des questions posées lors des campagnes « Contrôle » et « Témoin » mais pas (ou pas identiquement) lors de campagne SANISOL 1 et atteste de l'évolution du questionnaire au cours des trois campagnes. Etant donné que les participants à la deuxième campagne (campagne « Contrôle ») sont des volontaires ayant déjà participé à la première campagne, certaines questions n'ont pas été posées une seconde fois à ces personnes. Les cases marquées d'un astérisque rouge dans le tableau identifient ces questions dont la réponse a été évaluée sur base du questionnaire de la première campagne.

L'échantillon SANISOL 1 comprend 15 fumeurs (17%) tandis que l'échantillon contrôle en comprend 7 (13%) et l'échantillon témoin 14 (14%). Le statut tabagique des participants a été déterminé par la mesure de la concentration de cotinine dans l'urine pour la première et la troisième campagne de prélèvements (BMH SANISOL 1 et BMH Témoin) et par la réponse des participants au questionnaire pour la deuxième campagne de prélèvements (BMH Contrôle). Une comparaison entre les réponses au questionnaire pour la deuxième campagne et les taux de cotinine mesurés lors de la première campagne a été effectuée et n'est pas concordante pour 3 individus.

Paramètres	BMH SANISOL			BMH CTL			BMH Témoin		
	N	%	M ± SD	N	%	M ± SD	N	%	M ± SD
Sexe	86			55			100		
Femme	47	55		33	60		68	68	
Homme	39	45		22	40		32	32	
Age			59,6 ± 14,4			58,5 ± 13,9			53,8 ± 14,9
Pays d'origine	86			55			100		
Belgique	34	40		24	44		74	74	
Maroc	17	20		11	20		6	6	
Italie	16	19		10	18		1	1	
Autre	19	22		10	18		19	19	
Niveau de diplôme	86			55			100		
Aucun	20	23		11	20		3	3	
Primaire	15	17		8	15		9	9	
Secondaire	27	31		17	31		42	42	
Supérieur	24	28		19	35		46	46	
Ouvrier ou ancien ouvrier				55			100		
Non				41	75		90	90	
Oui en métallurgie				4	7		5	5	
Oui dans le bâtiment, en ébénisterie ou en mécanique				10	18		5	5	

Tabagisme				55			100	
	Ancien fumeur			10	18		19	19
	Fumeur			6	11		14	14
	Fumeur passif			1	2		13	13
	Non fumeur			38	69		54	54
Nombre d'années de résidence à Bressoux				21,7 ± 15,2			22,5 ± 14,6*	22,1 ± 17,6
Alimentation								
Consommation de poisson dans les 7 jours précédents				83			51	97
	Non	31	37				20	39
	Oui	52	63				31	61
Consommation d'abats dans les 7 jours précédents				80			51	99
	Non	70	88				45	88
	Oui	10	13				6	12
Consommation de riz dans les 7 jours précédents				78			53	98
	Non	37	47				29	55
	Oui	41	53				24	45
Consommation de fruits/légumes issus d'un potager de Bressoux (BMH Témoin) ou du CTB (BMH Sanisol et Contrôle)				86			55	100
	Non	5	6				32	58
	Oui	81	94				23	42
Eau								
Consommation d'eau en bouteille							55	100
	Non						18	33
	Oui						37	67
Consommation d'eau du robinet							55	100
	Non						6	11
	Oui						49	89
Utilisation de l'eau du robinet							49	93
	Uniquement pour les préparations						14	29
	Boisson et préparations						35	71
								31
								67
Habitat et jardin								
Type d'habitation				86			54	100
	Maison	65	76				42	78
	Appartement	21	24				12	22
Jardin privé				86			54	100
	Non	37	43				18	33
	Oui	49	57				36	67
Potager				49			36	64
	Non	28	57				20	56
	Oui	21	43				16	44
Travaux de rénovation récents au domicile							55	100
	Non						53	96
	Oui						2	4
Canalisations en plomb				67			42	58
	Non	55	82				34	81
	Oui	12	18				8	19
Peinture du domicile en bon état				84			52	94
	Non	10	12				9	17
	Oui	74	88				43	83
Divers								
Plombage dans la bouche				86			54	100
	Non	33	38				23	42
	Oui	53	62				31	58
Se ronge les ongles				86			55	100
	Non	72	84				49	89
	Oui	14	16				6	11
Coloration des cheveux durant 12 derniers mois				84			55	100
	Non	54	64				36	65
	Oui	30	36				19	35
Fréquentation d'un lieu à proximité d'un site industriel				84			52	93
	Non	78	93				49	94
	Oui	6	7				3	6
Travaux de rénovation récents sur le lieu de travail							55	100
	Non						51	93
	Oui						4	7
Utilisation de remèdes/cosmétiques traditionnels				83			54	97
	Non	69	83				46	85
	Oui	14	17				8	15
								89
								92
								8
								8

Utilisation de récipients en étain/cristal		84		53		96	
	Non	79	94	49	92	95	99
	Oui	5	6	4	8	1	1
Utilisation de vaisselle artisanale étrangère		83		54		98	
	Non	66	80	43	80	84	86
	Oui	17	20	11	20	14	14
Santé							
Diabète		86		55		100	
	Non	70	81	48	87	76	76
	Oui	16	19	7	13	24	24
Hypertension artérielle		86		55		100	
	Non	58	67	43	78	67	67
	Oui	28	33	12	22	33	33
Maladie osseuse		86		55		100	
	Non	78	91	53	96	92	92
	Oui	8	9	2	4	8	8
Maladie rénale		86		55		100	
	Non	81	94	54	98	97	97
	Oui	5	6	1	2	3	3
Maladie hépatique		86		55		100	
	Non	86	100	55	100	98	98
	Oui	0	0	0	0	2	2
Intoxication antérieure au plomb		67		40		78	
	Non	67	100	40	100	78	100
	Oui	0	0	0	0	0	0
Femme enceinte		45		33		68	
	Non	45	100	33	100	66	97
	Oui	0	0	0	0	2	3
Femme qui allaite ou a allaité durant les 12 derniers mois		44		33		68	
	Non	44	100	33	100	67	99
	Oui	0	0	0	0	1	1
Femme souffrant d'ostéoporose		47		33		58	
	Non	44	94	31	94	51	88
	Oui	3	6	2	6	7	12

* déterminé sur base des réponses au questionnaire de la première campagne (BMH Sanisol 1)

TABLEAU 27 : COMPARAISON DES QUESTIONNAIRES DES TROIS CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENT.

En comparaison avec les 2 campagnes précédentes, nous pouvons observer que la proportion de femme est plus importante (68% vs 55% vs 60%), l'âge moyen est légèrement inférieur (54 ans vs 60 ans vs 59 ans) dans la population Témoin (vs SANISOL 1 vs Contrôle).

L'âge est un paramètre important pour comparer les imprégnations entre les 3 campagnes. En effet, comme nous en avons déjà parlé dans ce travail, certains polluants tels que le plomb et le cadmium sont des toxiques cumulatifs c'est-à-dire que leurs concentrations dans les matrices biologiques augmentent avec l'âge. En raison d'une moyenne d'âge moins élevée, la cadmiurie, qui mesure l'exposition au cadmium à long terme, et la plombémie, en particulier, devraient être légèrement plus basses dans la population Témoin que dans les populations SANISOL 1 et Contrôle. Par ailleurs, la concentration en cadmium étant plus élevée chez les femmes que chez les hommes dans la population générale, la proportion plus élevée de femme dans la population Témoin est un facteur qu'il faudra également prendre en compte pour analyser les résultats.

Le niveau d'étude est plus élevé (88% ont un diplôme de l'enseignement secondaire au minimum vs 59% vs 66%) chez les non-usagers du CTB (vs SANISOL 1 vs Contrôle). Le pourcentage d'ouvrier ou d'ancien ouvrier potentiellement exposé professionnellement est de 10% dans la population Témoin vs 25% au niveau de la population Contrôle. Le pourcentage d'ouvrier dans la population SANISOL 1 est de 19% mais la question était différente lors de la première campagne et ne permettait pas de

différencier le secteur d'activité de l'ouvrier (c'est pourquoi elle ne figure pas dans le tableau 27). La proportion d'ouvriers est donc beaucoup plus importante au CTB que dans la population témoin.

La proportion de personnes d'origine étrangère est plus faible chez les participants au BMH Témoin (26%) vs SANISOL 1 (61%) et Contrôle (56%). L'utilisation de remèdes ou cosmétiques traditionnels (8% vs 17% vs 15%), des récipients en étain ou en cristal (1% vs 6% vs 8%), de la vaisselle étrangère (14% vs 20% vs 20%) est également moins importante dans la population Témoin (vs SANISOL 1 vs Contrôle).

En revanche, il y a 2 fois plus de participants au BMH Témoin que de participants à SANISOL 1 et Contrôle qui déclarent avoir encore d'anciennes canalisations en plomb (40% vs 18 vs 19%) et 8 fois plus qui déclarent avoir réalisés des travaux de rénovation dans leur habitation vs Contrôle (34% vs 4%).

Au niveau du statut tabagique, du mode de consommation d'eau (robinet ou bouteille), du nombre d'années de résidence à Bressoux, du type d'habitat (maison vs appartement) et de la possession d'un jardin, les populations des trois campagnes sont très comparables. Il en va de même pour la consommation de poisson, de riz et d'abats durant les 7 jours qui précèdent l'échantillonnage ou encore la coloration des cheveux ou le fait de fréquenter un site industriel.

Par contre, les non usagers du CTB sont moins nombreux à disposer d'un potager privé vs SANISOL 1 vs contrôle (33% vs 43% vs 44%).

La question concernant la consommation de fruits et de légumes issus du potager privé ou d'un potager de Bressoux de la campagne Témoin a été mise en parallèle des questions sur la consommation de fruits et de légumes issus du Coin de Terre de Bressoux au moment des campagnes SANISOL 1 et Contrôle. Nous pouvons constater que la population de SANISOL 1 (94%), et dans une moindre mesure la population contrôle (42%), sont des populations composées de beaucoup plus de personnes qui consomment des fruits et des légumes du potager que la population témoin (25%). Quant à la fréquence de consommation de ceux-ci, elle peut uniquement être estimée sur base des différentes interactions (contacts téléphoniques ou lors des séances d'information et de prélèvement) que nous avons pu avoir avec les participants des trois campagnes. La consommation de fruits et de légumes du potager des usagers du CTB (SANISOL 1 et Contrôle) est largement plus intensive que pour les non-usagers (Témoin).

7.1.2 COMPARAISON DES STATISTIQUES DESCRIPTIVES

Dans ce chapitre, nous allons comparer les imprégnations en métaux des participants entre les différentes campagnes : SANISOL 1, Contrôle (échantillon de 55 volontaires ayant participé à SANISOL 1) et Témoin.

Remarque : Les imprégnations médianes, en été 2018, pour les 55 personnes uniquement (Maggi et al., 2019) vs l'ensemble des 88 participants (Tableaux 28 à 33 ci-dessous) sont très similaires : 0.75µg/L pour le Cd sanguin (vs 0.75µg/L) et 1.20µg/L pour le Cd urinaire (vs 1.23µg/L), 23.3µg/L pour le Pb sanguin (vs 23.1µg/L) et 1.75µg/L pour le Pb urinaire (vs 1.76µg/g.cr), 7.55µg/g.cr pour l'As_{spéc} (vs 7.17µg/g.cr), 8.29µg/g.cr pour le Cu (vs 7.84µg/g.cr), 39.7µg/g.cr pour le Mo (vs 35.6 µg/g.cr) et 295µg/g.cr pour le Zn (vs 306 µg/g.cr).

7.1.2.1 CADMIUM

Le tableau et les histogrammes ci-dessous montrent que les niveaux d'imprégnation en Cd sanguin et urinaire de la population SANISOL 1 sont supérieurs à ceux de la population contrôle, eux-mêmes supérieurs aux niveaux de la population Témoin. La différence d'imprégnation est plus marquée pour le Cd urinaire que pour le Cd sanguin.

La cadmiémie médiane est de respectivement 0.75µg/L, 0.55µg/L et 0.44µg/L et la cadmiurie médiane de respectivement 1.23µg/L, 0.64µg/L et 0.39µg/L pour les populations SANISOL 1, Contrôle et Témoin. En d'autres termes, par rapport à la population SANISOL 1, la population Témoin a une concentration médiane en Cd sanguin près de deux fois plus basse (0.44µg/L vs 0.75µg/L) et une concentration en Cd urinaire plus de trois fois plus basse (0.39µg/L vs 1.23µg/L).

Les différences sont encore plus importantes lorsqu'on s'intéresse aux participants non-fumeurs avec toujours une cadmiémie médiane près de deux fois plus basse (0.40µg/L vs 0.73µg/L) mais une cadmiurie médiane, cette fois, quatre fois plus basse (0.32µg/L vs 1.29µg/L) pour la population Témoin vs SANISOL 1.

Les P95, c'est-à-dire les valeurs telles que 95% des valeurs mesurées sont inférieures, tout comme les médianes, autant pour le Cd sanguin que le Cd urinaire, montrent des niveaux d'imprégnation plus élevés lors de la première campagne que lors de la deuxième et de la troisième campagne.

La différence d'imprégnation est hautement significative pour le Cd sanguin ($p < 0.001$) et urinaire ($p < 0.001$), entre la campagne SANISOL 1 et la campagne Témoin, et significative pour le Cd sanguin ($p = 0.022$) et urinaire ($p < 0.001$), entre la campagne Contrôle et la campagne Témoin.

			N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Cd sang (µg/L)	BMH Sanisol 1 (été 2018)	Total	81	0,90	0,76	0,33	0,53	0,75	1,00	1,77	2,07
		Non fumeur	68	0,83	0,70	0,33	0,51	0,73	0,92	1,50	1,83
	BMH Contrôle (hiver 2019)	Total	51	0,79	0,60	0,28	0,40	0,55	0,86	1,54	1,61
		Non fumeur	45	0,74	0,56	0,27	0,38	0,51	0,75	1,46	1,61
	BMH Témoin (été 2019)	Total	100	0,58	0,49	0,27	0,35	0,44	0,63	1,01	1,56
		Non fumeur	86	0,47	0,43	0,27	0,34	0,40	0,56	0,69	0,90
Cd urine (µg/L)	BMH Sanisol 1 (été 2018)	Total	88	1,20	1,00	0,42	0,63	1,23	1,57	2,08	2,43
		Non fumeur	73	1,26	1,05	0,45	0,68	1,29	1,59	2,12	2,49
	BMH Contrôle (hiver 2019)	Total	55	0,90	0,74	0,33	0,50	0,64	1,13	1,97	2,11
		Non fumeur	48	0,93	0,77	0,38	0,51	0,68	1,31	1,97	2,17
	BMH Témoin (été 2019)	Total	100	0,44	0,32	0,06	0,19	0,39	0,60	0,93	1,11
		Non fumeur	86	0,38	0,28	0,06	0,18	0,32	0,50	0,68	1,02

TABLEAU 28 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU CADMIUM SANGUIN ET URINAIRE (µg/L) DES 3 CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENTS.

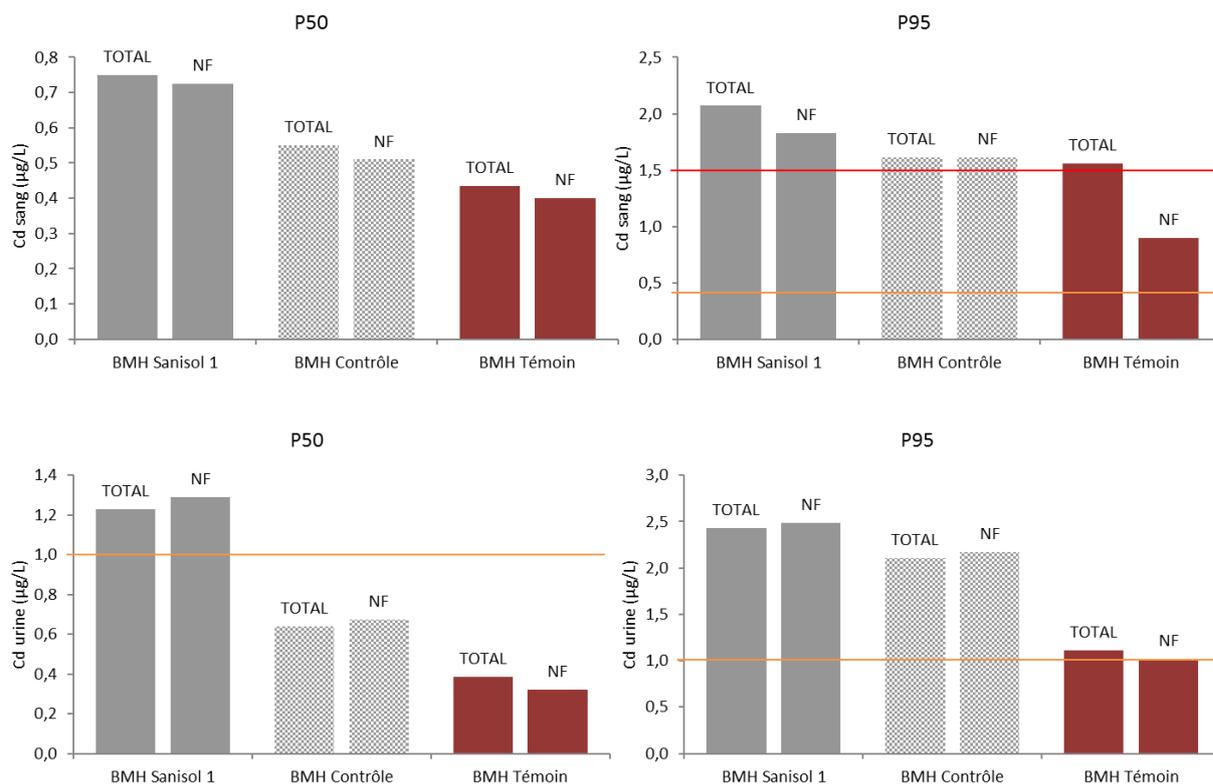


FIGURE 4 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 (À GAUCHE) ET 95 (À DROITE) DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING, POUR LE CADMIUM SANGUIN SUR LE DESSUS DE LA FIGURE ET URINAIRE (µg/L) SUR LE DESSOUS DE LA FIGURE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS (TOTAL) ET POUR LES NON-FUMEURS UNIQUEMENT (NF). LES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION (VALEUR DE RÉFÉRENCE EN ORANGE ET VALEUR D'INTERVENTION EN ROUGE) SONT REPRÉSENTÉES À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.1.2.2 PLOMB

A l'instar du Cd, l'imprégnation médiane en Pb sanguin et urinaire est plus faible pour la population du biomonitoring Témoin que pour SANISOL 1 et Contrôle. La réduction est plus importante pour le Pb urinaire que pour le Pb sanguin.

La plombémie médiane est de respectivement 23.10µg/L, 21.40µg/L et 19.95µg/L pour SANISOL 1, Contrôle et Témoin tandis que la plomburie médiane est de respectivement 1.76µg/g.cr, 1.43µg/g.cr et 1.08µg/g.cr pour SANISOL 1, Contrôle et Témoin.

Des tendances équivalentes, voire plus importantes pour la plomburie, sont observées chez les non-fumeurs.

Comme l'illustre la Figure 5, les P95, contrairement aux médianes, ne diminuent pas de la même manière au fil des campagnes. Le profil de répartition des P95 entre les campagnes est différent pour le Pb urinaire et sanguin.

La différence d'imprégnation est significative pour le Pb sanguin ($p=0.007$) et urinaire ($p<0.001$) entre la campagne SANISOL 1 et la campagne Témoin, tandis qu'elle est seulement significative pour le Pb urinaire ($p=0.002$) entre la campagne Contrôle et la campagne Témoin (Pb sanguin : $p=0.271$).

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	
Pb sang (µg/L)	BMH Sanisol 1 (été 2018)	Total	81	28,67	24,09	10,30	16,15	23,10	36,55	52,00	64,59
		Non fumeur	68	28,25	23,42	10,00	15,33	22,75	36,83	49,90	68,31
	BMH Contrôle (hiver 2019)	Total	51	24,23	20,41	7,86	15,30	21,40	28,50	40,26	55,56
		Non fumeur	45	23,04	19,28	7,76	14,55	20,80	28,40	35,22	53,25
	BMH Témoin (été 2019)	Total	100	25,03	19,26	9,62	12,03	19,85	26,08	39,57	56,39
		Non fumeur	86	24,79	18,49	9,34	11,67	19,25	25,28	39,39	59,13
Pb urine (µg/g.cr)	BMH Sanisol 1 (été 2018)	Total	80	1,99	1,75	0,96	1,21	1,76	2,40	3,21	3,89
		Non fumeur	68	2,02	1,76	0,94	1,22	1,79	2,42	3,31	3,97
	BMH Contrôle (hiver 2019)	Total	51	1,81	1,48	0,67	1,02	1,43	2,08	3,62	5,54
		Non fumeur	45	1,75	1,42	0,63	0,99	1,31	1,83	2,96	5,94
	BMH Témoin (été 2019)	Total	87	1,35	0,97	0,29	0,60	1,08	1,58	2,34	4,13
		Non fumeur	73	1,38	0,95	0,27	0,57	1,04	1,58	2,82	4,29

TABLEAU 29 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU PLOMB SANGUIN ET URINAIRE (µg/g.cr) DES 3 CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENTS POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS ET POUR LES NON-FUMEURS.

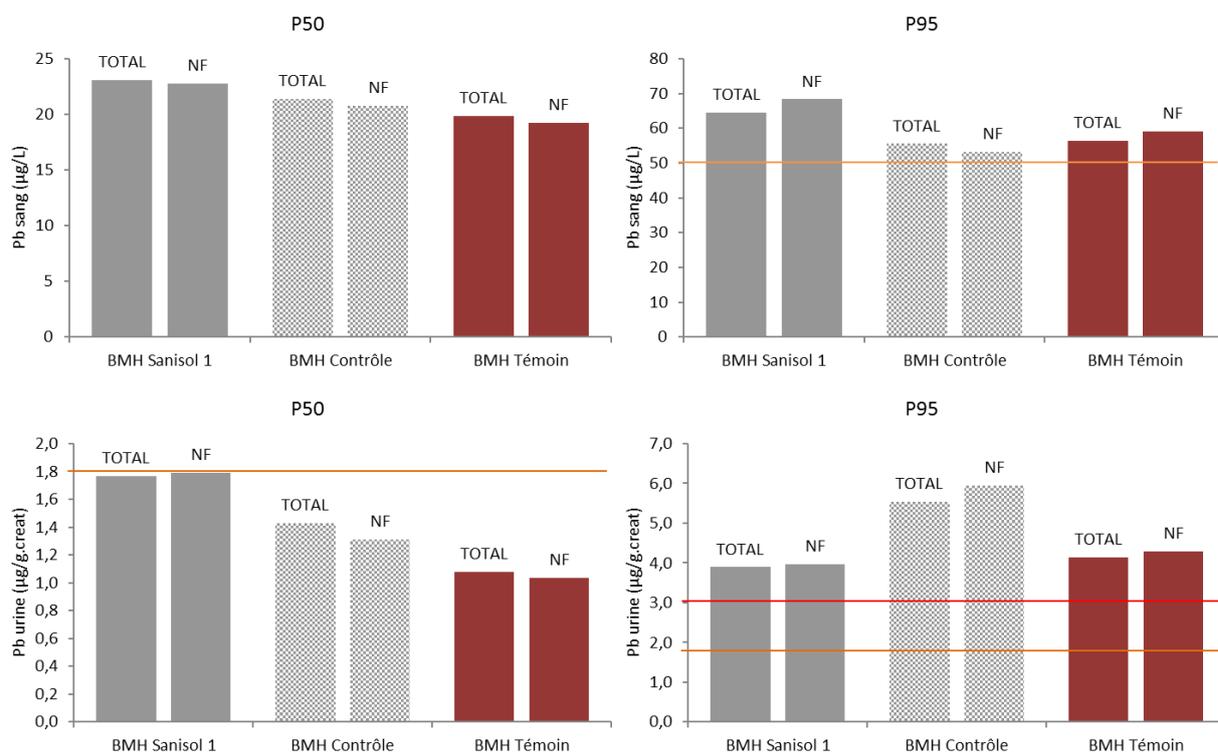


FIGURE 5 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 (À GAUCHE) ET 95 (À DROITE) DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING, POUR LE PLOMB SANGUIN SUR LE DESSUS DE LA FIGURE ET URINAIRE (µg/g.cr) SUR LE DESSOUS DE LA FIGURE, POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS (TOTAL) ET POUR LES NON-FUMEURS UNIQUEMENT (NF). LES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION (VALEUR DE RÉFÉRENCE EN ORANGE ET VALEUR D'INTERVENTION EN ROUGE) SONT REPRÉSENTÉES À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.1.2.3 ARSENIC SPÉCIÉ

Lorsqu'on s'intéresse aux imprégnations médianes en $As_{spéc}$ chez les personnes qui n'ont pas consommé de poisson, on observe tout comme pour le Cd et le Pb, une diminution entre la première et la deuxième campagne auprès des usagers du CTB ($6.18\mu\text{g/g.cr} > 4.63\mu\text{g/g.cr}$) et une concentration encore inférieure lors de la campagne Témoin ($3.54\mu\text{g/g.cr}$).

L'imprégnation médiane en $As_{spéc}$ de la population totale (consommateur de poisson ou non) Témoin ($5.65\mu\text{g/g.cr}$) est inférieure à l'imprégnation de la population totale SANISOL 1 ($7.17\mu\text{g/g.cr}$) mais légèrement supérieure à l'imprégnation de la population totale Contrôle ($5.35\mu\text{g/g.cr}$).

Le P95 du groupe Témoin ($9.70\mu\text{g/g.cr}$) est, tout comme la médiane, inférieur au groupe SANISOL 1 ($16.59\mu\text{g/g.cr}$) pour les non-consommateurs de poisson. Par contre, le P95 est respectivement plus élevé dans le groupe Témoin vs Contrôle, lui-même légèrement plus élevé que dans le groupe SANISOL 1.

La différence d'imprégnation est significative pour l' $As_{spéc}$ urinaire entre la campagne SANISOL 1 et la campagne Témoin ($p=0.008$) mais n'est pas significative entre la campagne Contrôle et la campagne Témoin ($p=0.484$).

			N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
$As_{spéc}$ urinaire ($\mu\text{g/g.cr}$)	BMH Sanisol 1 (été 2018)	Total	80	9,43	7,74	4,02	5,39	7,17	10,51	15,65	19,65
		Pas de poisson	27	7,28	6,42	3,21	4,20	6,18	8,49	13,75	16,59
	BMH Contrôle (hiver 2019)	Total	51	6,95	5,58	2,42	3,92	5,35	6,86	12,05	22,35
		Pas de poisson	19	4,63	4,23	2,08	2,99	4,63	5,77	7,28	
	BMH Témoin (été 2019)	Total	87	9,43	6,25	2,51	3,75	5,65	8,61	22,42	36,24
		Pas de poisson	33	4,43	3,83	1,76	2,55	3,54	6,09	7,88	9,70

TABLEAU 30 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'ARSENIC SPÉCIFIÉ URINAIRE ($\mu\text{g/g.cr}$) DES 3 CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENTS.

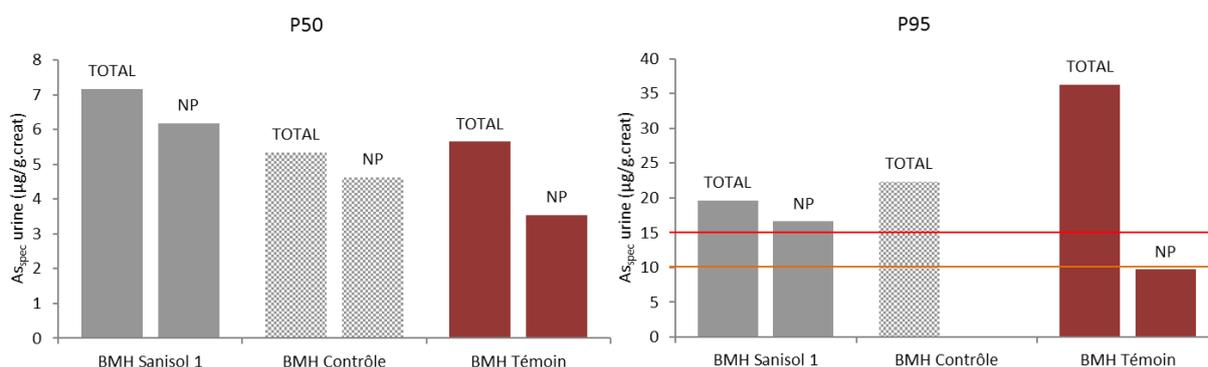


FIGURE 6 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 (À GAUCHE) ET 95 (À DROITE) DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING POUR L'ARSENIC SPÉCIFIÉ URINAIRE ($\mu\text{g/g.cr}$), POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS (TOTAL) ET POUR LES PERSONNES QUI N'ONT PAS CONSOMMÉ DE POISSON UNIQUEMENT (NP). LES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION (VALEUR DE RÉFÉRENCE EN ORANGE ET VALEUR D'INTERVENTION EN ROUGE) SONT REPRÉSENTÉES À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.1.2.4 CUIVRE

La campagne SANISOL 1 montre l'imprégnation médiane en Cu la plus élevée ($7.84\mu\text{g/g.cr}$), suivie de près par la campagne Témoin ($7.22\mu\text{g/g.cr}$) et enfin, avec une imprégnation 2 fois plus faible, la campagne Contrôle ($3.52\mu\text{g/g.cr}$). Les P95 se répartissent suivant le même profil que les médianes.

Ces résultats suggèrent que la saison impacte l'imprégnation en Cu (campagnes SANISOL 1 et Témoin en été vs Contrôle en hiver). Une modification de la diète, des occupations, des comportements, de la présence en extérieur sont autant de facteurs qui peuvent différer en hiver et en été.

La différence d'imprégnation entre la campagne SANISOL 1 et la campagne Témoin n'est pas significative pour le Cu urinaire ($p=0.341$). Cette différence est, par contre, hautement significative ($p<0.001$) entre les BMH Contrôle et Témoin.

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Cu urine ($\mu\text{g/g.cr}$)	BMH Sanisol 1 (été 2018)	80	22,07	8,45	4,14	5,67	7,84	11,12	17,21	24,50
	BMH Contrôle (hiver 2019)	51	4,04	3,22	1,17	1,98	3,52	4,97	8,80	10,07
	BMH Témoin (été 2019)	87	10,52	7,85	4,50	5,57	7,22	9,63	13,31	23,97

TABLEAU 31 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU CUIVRE URINAIRE ($\mu\text{G/G.CR}$) DES 3 CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENTS.

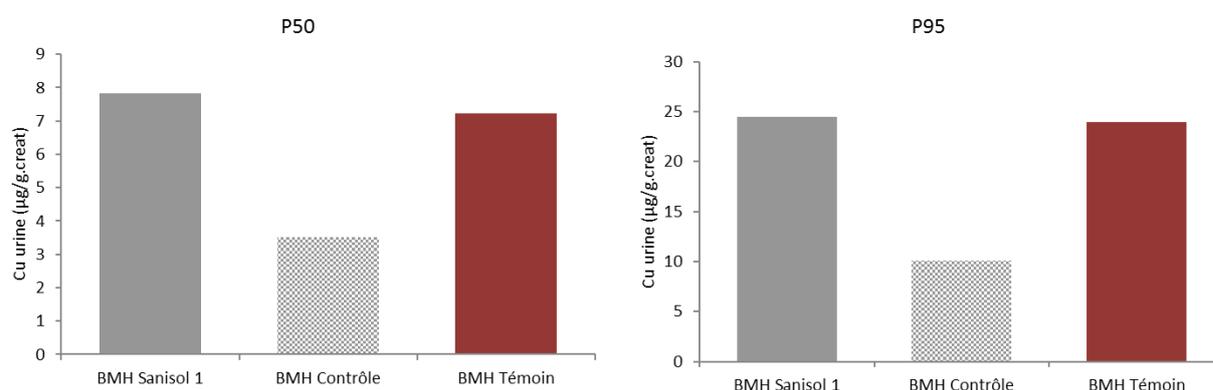


FIGURE 7 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 (À GAUCHE) ET 95 (À DROITE) DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING POUR LE CUIVRE URINAIRE ($\mu\text{G/G.CR}$). LA VALEUR D'INTERVENTION POUR LE CUIVRE URINAIRE EST DE $50\mu\text{G/G.CR}$.

7.1.2.5 MOLYBDÈNE

La concentration médiane en molybdène urinaire la plus élevée est observée dans le groupe Contrôle ($36.00\mu\text{g/g.cr}$). Elle est inférieure dans le groupe SANISOL 1 ($35.62\mu\text{g/g.cr}$) et enfin, atteint sa valeur la plus basse ($30.54\mu\text{g/g.cr}$) dans le groupe Témoin.

Le P95 est également le plus élevé dans le groupe Contrôle ($102.17\mu\text{g/g.cr}$), mais ensuite, contrairement aux médianes, le P95 du groupe Témoin ($86.48\mu\text{g/g.cr}$) dépasse celui de SANISOL 1 ($80.26\mu\text{g/g.cr}$).

Contrairement au Cu, il ne semble pas y avoir de différences saisonnières d'exposition au Mo.

La différence d'imprégnation n'est pas significative pour le Mo urinaire, ni entre la campagne SANISOL 1 et la campagne Témoin ($p=0.148$), ni entre la campagne Contrôle et la campagne Témoin ($p=0.418$).

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Mo urine (µg/g.cr)	BMH Sanisol 1 (été 2018)	80	39,83	33,92	16,84	23,26	35,62	53,60	71,90	80,26
	BMH Contrôle (hiver 2019)	51	40,52	33,43	15,90	19,29	36,00	50,77	73,42	102,17
	BMH Témoin (été 2019)	87	36,76	31,06	15,07	21,30	30,54	45,36	61,67	86,48

TABLEAU 32 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU MOLYBDÈNE URINAIRE (µG/G.CR) DES 3 CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENTS.

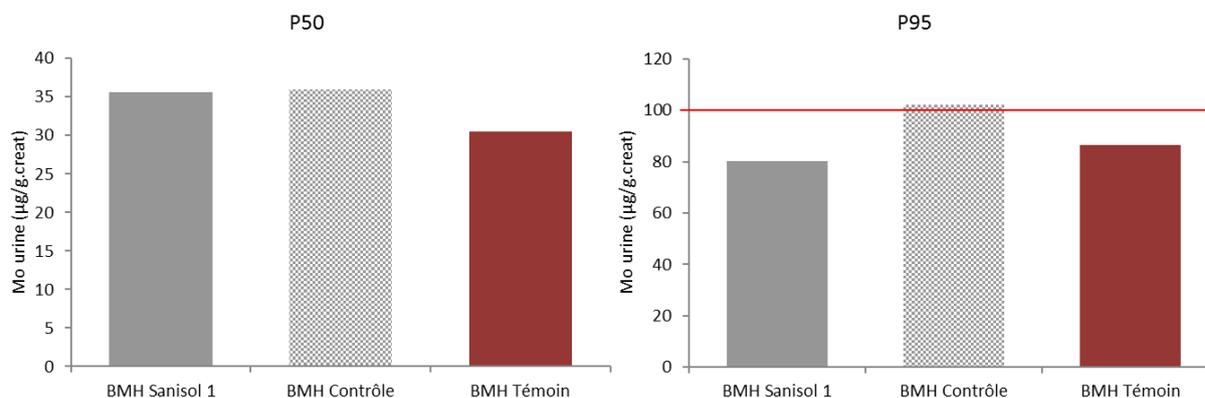


FIGURE 8 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 (À GAUCHE) ET 95 (À DROITE) DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING POUR LE MOLYBDÈNE URINAIRE (µG/G.CR). LA VALEUR D'INTERVENTION (ROUGE) EST REPRÉSENTÉE À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.1.2.6 ZINC

Au regard des médianes, l'imprégnation en Zn est la plus élevée dans la campagne SANISOL 1 (305.80µg/g.cr), suivie par la campagne Contrôle (285µg/g.cr) puis, avec l'imprégnation en Zn la plus basse, la campagne Témoin (275.00µg/g.cr).

Le P95 de l'imprégnation en Zn le plus élevé est observé dans le groupe Contrôle (916.46µg/g.cr), suivi du groupe Témoin (883.23µg/g.cr) et, enfin, du groupe SANISOL 1 (881.41µg/g.cr).

Tout comme pour le Mo, les concentrations urinaires en Zn ne semblent pas être influencées par la saison.

La différence d'imprégnation n'est pas significative pour le Mo urinaire, ni entre la campagne SANISOL 1 et la campagne Témoin ($p=0.366$), ni entre la campagne Contrôle et la campagne Témoin ($p=0.680$).

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95
Zn urine (µg/g.cr)	BMH Sanisol 1 (été 2018)	80	380,28	303,96	105,93	176,84	305,80	529,68	757,25	881,41
	BMH Contrôle (hiver 2019)	51	367,33	305,60	147,38	191,03	285,71	419,64	776,59	916,46
	BMH Témoin (été 2019)	87	340,69	280,27	132,67	196,15	275,00	437,35	581,58	883,23

TABLEAU 33 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU ZINC URINAIRE (µG/G.CR) DES 3 CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENTS.

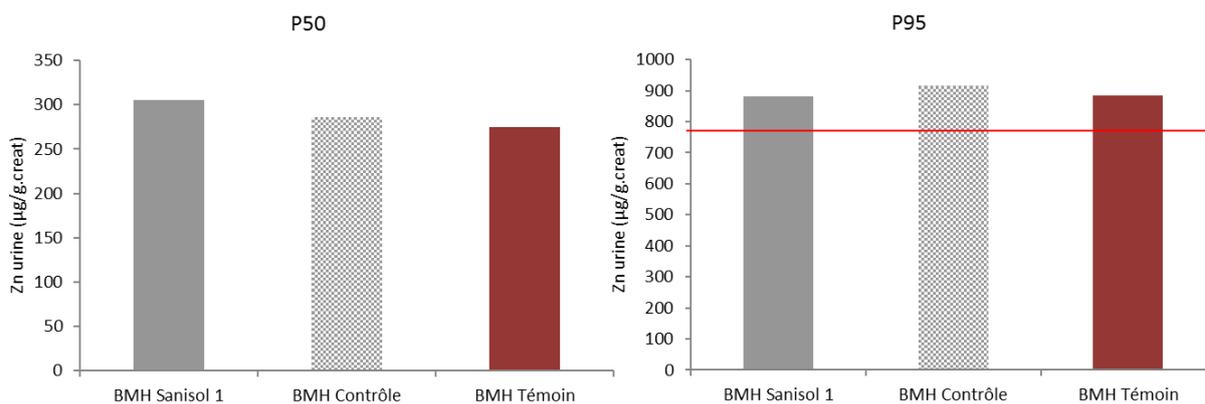


FIGURE 9 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 (À GAUCHE) ET 95 (À DROITE) DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING POUR LE ZINC URINAIRE (µG/G.CR). LA VALEUR D'INTERVENTION (ROUGE) EST REPRÉSENTÉE À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.1.3 COMPARAISON AUX VALEURS LIMITES D'EXPOSITION

Lorsqu'on compare les dépassements de la valeur de référence et de la valeur d'intervention pour les trois échantillons illustrés dans le Tableau 34, on constate une tendance globale à la baisse de SANISOL 1 au Contrôle puis au Témoin, que ce soit pour les valeurs ajustées à la créatinine uniquement (N et %) ou pour les valeurs ajustées à la créatinine, à la consommation de poisson pour l'As_{spéc} et au tabagisme pour le Cd et le Pb (N et % ajusté).

Pour le Cd sanguin, le pourcentage de participants dont l'imprégnation est supérieure à la valeur de référence (intervention) est de 84% (15%) pour SANISOL 1, de 76% (12%) pour le Contrôle et enfin de 58% (6%) pour le Témoin. Pour le Cd urinaire (µg/L), les pourcentages de personnes en situation de vigilance sont de 55% pour SANISOL 1, 35% pour le Contrôle et seulement 8% pour le Témoin, soit une différence d'un facteur 6.9 entre SANISOL 1 et Témoin. L'ajustement au tabac accentue encore légèrement l'écart entre les pourcentages de dépassement des valeurs de référence de SANISOL 1 et du Témoin.

Pour le Pb sanguin, le pourcentage de participants qui dépassent la valeur de référence est de 10% pour SANISOL 1 et de 6% pour les campagnes Contrôle et Témoin. Le pourcentage en situation d'intervention est identique pour les trois campagnes (2%). Pour le Pb urinaire, les pourcentages de dépassement sont de respectivement 49%, 27% et 15% pour SANISOL 1, Contrôle et Témoin pour la valeur de référence et de 15%, 10% et 7% pour la valeur d'intervention. Les résultats sont similaires en termes de pourcentage de dépassements pour les non-fumeurs uniquement.

Pour l'As_{spéc}, le pourcentage de dépassement de la valeur de référence est, comme pour le Cd et le Pb, le plus élevé dans la population SANISOL 1 (28%) mais il est, par contre, moins élevé dans la population Contrôle (16%) que dans la population Témoin (21%). 13% des personnes sont en situation d'intervention pour SANISOL 1 et le Témoin et 8% pour le Contrôle. Après ajustement à la consommation de poisson, la campagne SANISOL 1 montre des taux de dépassement plus faibles pour la valeur de référence (19%) et d'intervention (4%). Aucun participant de la campagne Contrôle ne dépasse les valeurs limites d'exposition. 2% des participants de la campagne Témoin sont en situation de vigilance. Il est important de noter que les non-consommateurs de poisson sont

relativement peu nombreux (respectivement 27, 19 et 33 personnes pour SANISOL 1, Contrôle et Témoin).

Le pourcentage de personnes en situation d'intervention est de respectivement 3%, 0% et 2% pour le Cu, 0%, 4% et 3% pour le Mo et 9%, 10% et 7% pour le Zn pour les campagnes SANISOL 1, Contrôle et Témoin.

	Cadmium			Plomb		Arsenic spé	Cuivre	Molybdène	Zinc
	sang (µg/L)	urine (µg/L)	urine (µg/g.cr)	sang (µg/L)	urine (µg/g.cr)	urine (µg/g.cr)	urine (µg/g.cr)	urine (µg/g.cr)	urine (µg/g.cr)
Valeur de référence (VR)	0,4	1	1	50	1,8	10	NA	NA	NA
Valeur d'intervention (VI)	1,5	4	2	100	3	15	50	100	770
BMH Sanisol 1 (été 2018)									
% (N) ≥ VR	84 (68)	55 (48)	45 (36)	10 (8)	49 (39)	28 (22)	NA	NA	NA
% (N) ≥ VI	15 (12)	0 (0)	5 (4)	2 (2)	15 (12)	13 (10)	3 (2)	0 (0)	9 (7)
N total	81	88	80	81	80	80	80	80	80
BMH Contrôle (hiver 2019)									
% (N) ≥ VR	76 (39)	35 (19)	29 (15)	6 (3)	27 (14)	16 (8)	NA	NA	NA
% (N) ≥ VI	12 (6)	0 (0)	6 (3)	2 (1)	10 (5)	8 (4)	0 (0)	4 (2)	10 (5)
N total	51	55	51	51	51	51	51	51	51
BMH Témoin (été 2019)									
% (N) ≥ VR	58 (58)	8 (8)	6 (5)	6 (6)	15 (13)	21 (18)	NA	NA	NA
% (N) ≥ VI	6 (6)	0 (0)	0 (0)	2 (2)	7 (6)	13 (11)	2 (2)	3 (3)	7 (6)
N total	100	100	87	100	87	87	87	87	87
BMH Sanisol 1 (été 2018)									
% (N) ajusté ≥ VR	82 (56)	58 (42)	50 (34)	9 (6)	50 (34)	19 (5)	NA	NA	NA
% (N) ajusté ≥ VI	10 (7)	0 (0)	6 (4)	3 (2)	16 (11)	4 (1)	3 (2)	0 (0)	9 (7)
N total	68	73	68	68	68	27	80	80	80
BMH Contrôle (hiver 2019)									
% (N) ajusté ≥ VR	73 (33)	35 (17)	29 (13)	4 (2)	24 (11)	0 (0)	NA	NA	NA
% (N) ajusté ≥ VI	9 (4)	0 (0)	7 (3)	2 (1)	9 (4)	0 (0)	0 (0)	4 (2)	10 (5)
N total	45	48	45	45	45	19	51	51	51
BMH Témoin (été 2019)									
% (N) ajusté ≥ VR	51 (44)	6 (5)	1 (1)	6 (5)	18 (13)	3 (1)	NA	NA	NA
% (N) ajusté ≥ VI	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (2)	8 (6)	0 (0)	2 (2)	3 (3)	7 (6)
N total	86	86	73	86	73	33	87	87	87

TABEAU 34 : NOMBRES ET FRÉQUENCES DE DÉPASSEMENT DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION (VALEURS DE RÉFÉRENCE ET D'INTERVENTION) POUR LES IMPRÉGNATIONS AJUSTÉES À LA CRÉATININE (N ET % DANS LE TABLEAU) ET LES IMPRÉGNATIONS AJUSTÉES À LA CRÉATININE AINSI QU'À LA CONSOMMATION RÉCENTE DE POISSON POUR L'As_{spéc} ET AU TABAGISME POUR LE Cd ET LE Pb (N ET % AJUSTÉ DANS LE TABLEAU) POUR LES 3 CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENT.

7.2 COMPARAISON DES TROIS BIOMONITORINGS AUX VALEURS POPULATIONNELLES

Sept références bibliographiques (Hutse et al., 2005 ; Nisse et al., 2017 ; Wilhelm et al., 2004 ; Haines et al., 2017 ; Pirard et al., 2018 ; Fréry et al., 2011 ; Hoet et al., 2013) ont été sélectionnées en raison de la localisation de l'étude (Belgique et pays limitrophes de préférence) ou de la qualité et du nombre important de participants à l'étude. Les valeurs populationnelles issues de ces références sont établies à partir de centaines voire de milliers d'individus qui ne sont pas particulièrement exposés en métaux et représentent des indices d'exposition en métaux de population générale régionaux ou nationaux.

7.2.1 CADMIUM

Deux tableaux reprenant, pour les BMH SANISOL 1, Contrôle et Témoin et différentes études populationnelles, les statistiques descriptives du Cd sanguin (Tableau 35) et du Cd urinaire (Tableau 36) ainsi que des informations générales sur les études (localisation, sexe et âge des participants) sont disponibles ci-après.

Cd sang (µg/L)	BMH SANISOL 1 (été 2018)	BMH Contrôle (hiver 2019)	BMH Témoin (été 2019)	Hutse et al. (2005)	Nisse et al. (2017)	Wilhelm et al. (2004)	Haines et al. (2017)
Localisation	Liège	Liège	Liège	Belgique	Nord de la France	Allemagne	Canada
Sexe (%)	47♂ - 53♀	40♂ - 60♀	32♂ - 68♀		49♂ - 51♀	50♂ - 50♀	
Age	27-89 ans	27-84 ans	18-80 ans	18-65 ans	20-59 ans	18-69 ans	6-79 ans
N	81	51	100	1284	1992	4645	5319
AM	0,90	0,79	0,58	0,59	0,56		
GM	0,76	0,60	0,49		0,39		0,34
P10	0,33	0,28	0,27		0,17		
P25	0,53	0,40	0,35		0,24		0,14
P50	0,75	0,55	0,44	0,40	0,37	0,38	0,27
P75	1,00	0,86	0,63		0,67		0,62
P90	1,77	1,54	1,01		1,21		
P95	2,07	1,61	1,56		1,67	2,34	

TABLEAU 35 : INFORMATIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU Cd DANS LE SANG POUR LES TROIS CAMPAGNES DE BIOMONITORING RÉALISÉES À BRESSOUX ET QUATRE ÉTUDES RÉALISÉES EN POPULATION GÉNÉRALE.

Cd urine	BMH SANISOL 1 (été 2018)		BMH Contrôle (hiver 2019)		BMH Témoin (été 2019)		Pirard et al. (2018)	Nisse et al. (2017)		Fréry et al. (2011)	Hoet et al. (2013)	Wilhelm et al. (2004)	Haines et al. (2017)			
Localisation	Liège		Liège		Liège		Liège	Nord de la France		France	Belgique	Allemagne	Canada			
Sexe (%)	47♂ - 53♀		40♂ - 60♀		32♂ - 68♀		50♂ - 50♀	49♂ - 51♀		38♂ - 62♀	46♂ - 54♀					
Age	27-89 ans		27-84 ans		18-80 ans		18-76 ans	20-59 ans		18-74 ans	18-80 ans	18-69 ans	6-79 ans			
Unité	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L			
N	88	80	55	51	100	87	252		1910		1930		4740	5491		
AM	1,20	1,10	0,90	0,98	0,44	0,42			0,53	0,45						
GM	1,00	0,93	0,74	0,74	0,32	0,33			0,37	0,33	0,32	0,29	0,23	0,23	0,34	
P10	0,42	0,50	0,33	0,32	0,06	0,15			0,14	0,13	0,13	0,13				
P25	0,63	0,59	0,50	0,46	0,19	0,19	< 0,5	< 0,5	0,26	0,21	0,21	0,18			0,16	
P50	1,23	0,92	0,64	0,74	0,39	0,32	< 0,5	< 0,5	0,42	0,36	0,32	0,29	0,28	0,24	0,22	0,37
P75	1,57	1,37	1,13	1,11	0,60	0,50	0,64	0,89	0,68	0,57	0,51	0,45			0,67	
P90	2,08	1,77	1,97	1,68	0,93	0,80			1,01	0,87	0,76	0,68				
P95	2,43	2,04	2,11	3,56	1,11	1,22			1,33	1,10	0,95	0,91	1,06	0,83	0,96	

TABLEAU 36 : INFORMATIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU Cd DANS L'URINE POUR LES TROIS CAMPAGNES DE BIOMONITORING RÉALISÉES À BRESSOUX ET QUATRE ÉTUDES RÉALISÉES EN POPULATION GÉNÉRALE.

La cadmiémie médiane est plus élevée à Bressoux que dans les quatre populations générales (Belgique, Nord de la France, Allemagne et Canada), en particulier pour les usagers du CTB.

L'imprégnation médiane en Cd sanguin lors de la campagne SANISOL 1 (0.75µg/L) est près de trois fois supérieure à l'imprégnation médiane la plus basse observée au Canada (0.27µg/L) et près de deux fois supérieure à l'imprégnation médiane belge (0.40µg/L). La cadmiémie médiane du BMH Témoin (0.44µg/L) est très proche de la valeur belge (0.40µg/L).

Au niveau du Cd urinaire, l'imprégnation médiane et les P95 sont largement supérieurs chez les usagers du CTB (SANISOL 1 et Contrôle) que dans les populations générales étudiées (Nord de la France, France, Belgique, Allemagne et Canada). La cadmiurie médiane de SANISOL 1 (1.23µg/L) est près de six fois supérieure à la concentration observée en Allemagne (0.22µg/L), plus de quatre fois supérieure à l'imprégnation médiane belge (0.28µg/L) et dépasse le P95 belge (1.06µg/L), français (0.95µg/L) et allemand (0.96µg/L). L'imprégnation médiane des habitants de Bressoux qui ne bénéficient pas du CTB (0.39µg/L), quant à elle, est similaire aux imprégnations retrouvées en population générale.

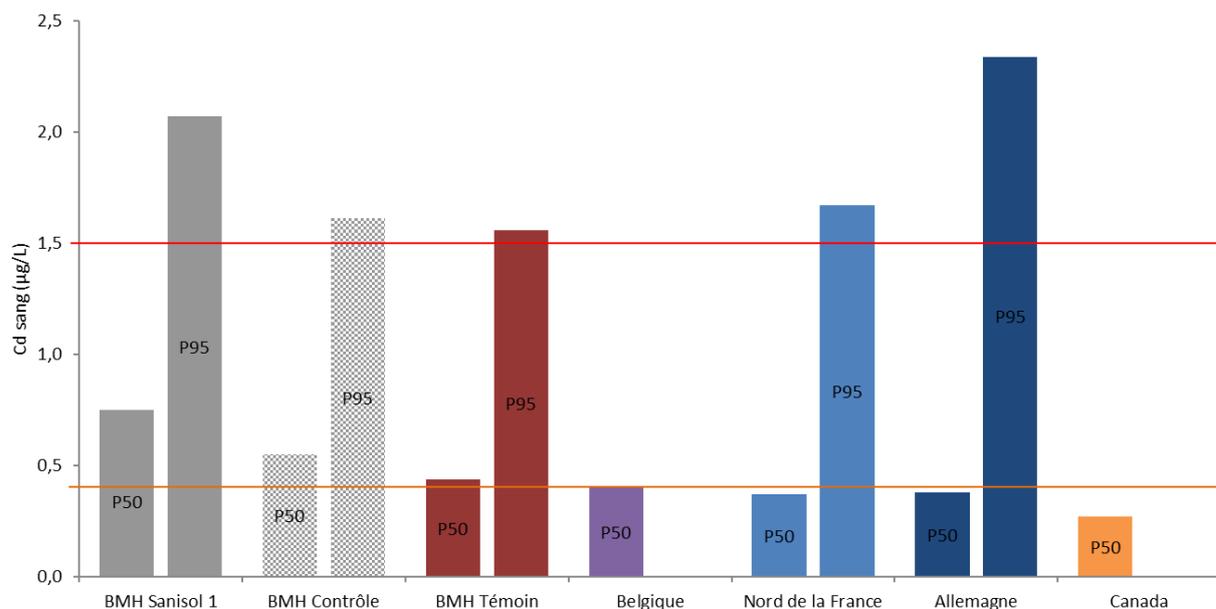


FIGURE 10 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 ET 95 DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING ET DE 4 ÉTUDES POPULATIONNELLES POUR LE Cd SANGUIN (µg/L). LES VALEURS DE RÉFÉRENCE (ORANGE) ET D'INTERVENTION (ROUGE) SONT REPRÉSENTÉES À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

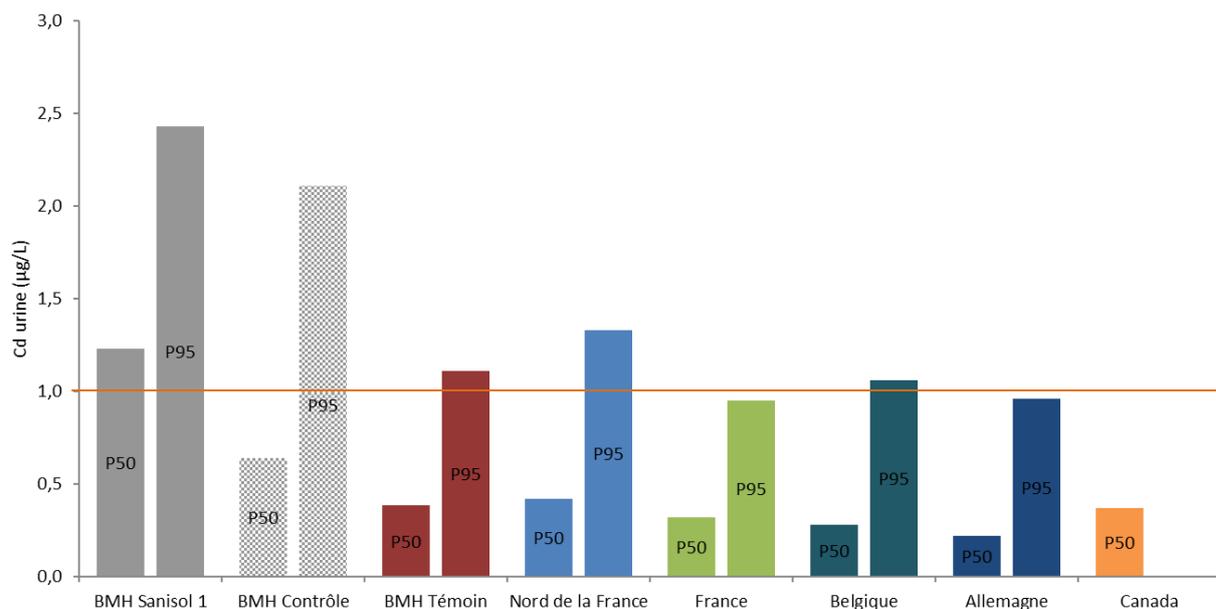


FIGURE 11 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 ET 95 DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING ET DE 5 ÉTUDES POPULATIONNELLES POUR LE Cd URINAIRE (µg/L). LA VALEUR DE RÉFÉRENCE (ORANGE) EST REPRÉSENTÉE À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.2.2 PLOMB

Deux tableaux reprenant, pour les BMH SANISOL 1, Contrôle et Témoin et différentes études populationnelles, les statistiques descriptives du Pb sanguin (Tableau 37) et du Pb urinaire (Tableau 38) ainsi que des informations générales sur les études (localisation, sexe et âge des participants) sont disponibles ci-après.

Pb sang (µg/L)	BMH SANISOL 1 (été 2018)	BMH Contrôle (hiver 2019)	BMHTémoin (été 2019)	Hutse et al. (2005)	Fréry et al. (2011)	Nisse et al. (2017)	Wilhelm et al. (2004)	Haines et al. (2017)
Localisation	Liège	Liège	Liège	Belgique	France	Nord de la France	Allemagne	Canada
Sexe (%)	47♂ - 53♀	40♂ - 60♀	32♂ - 68♀		36♂ - 64♀	49♂ - 51♀	50♂ - 50♀	
Age	27-89 ans	27-84 ans	18-80 ans	18-65 ans	18-74 ans	20-59 ans	18-69 ans	6-79 ans
N	81	51	100	1284	1949	1992	4646	5319
AM	28,67	24,23	25,03	31,18		22,80		
GM	24,09	20,41	19,26		25,70	18,80	30,70	13,00
P10	10,30	7,86	9,62		12,00	8,86		
P25	16,15	15,30	12,03		17,00	12,40		8,60
P50	23,10	21,40	19,85	24,00	25,00	18,40	31,00	12,00
P75	36,55	28,50	26,08		39,00	28,20		20,00
P90	52,00	40,26	39,57		58,00	39,20		
P95	64,59	55,56	56,39		73,00	49,30	71,00	

TABLEAU 37 : INFORMATIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU Pb DANS LE SANG POUR LES TROIS CAMPAGNES DE BIOMONITORING RÉALISÉES À BRESSOUX ET CINQ ÉTUDES RÉALISÉES EN POPULATION GÉNÉRALE.

Pb urine	BMH SANISOL 1 (été 2018)		BMH Contrôle (hiver 2019)		BMHTémoin (été 2019)		Nisse et al. (2017)		Hoet et al. (2013)		Haines et al. (2017)
Localisation	Liège		Liège		Liège		Nord de la France		Belgique		Canada
Sexe (%)	47♂ - 53♀		40♂ - 60♀		32♂ - 68♀		49♂ - 51♀		46♂ - 54♀		
Age	27-89 ans		27-84 ans		18-80 ans		20-59 ans		18-80 ans		6-79 ans
Unité	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L
N	88	80	55	51	100	87	1910		1001		5492
AM	2,14	1,99	1,67	1,81	1,47	1,35	1,50	1,24			
GM	1,84	1,75	1,44	1,48	0,99	0,97	1,03	0,91	0,74	0,73	0,48
P10	0,94	0,96	0,80	0,67	0,19	0,29	0,40	0,40			
P25	1,42	1,21	1,00	1,02	0,60	0,60	0,69	0,59			0,28
P50	1,90	1,76	1,30	1,43	1,10	1,08	1,11	0,92	0,87	1,78	0,52
P75	2,31	2,40	2,10	2,08	1,70	1,58	1,79	1,47			0,91
P90	3,41	3,21	3,10	3,62	2,60	2,34	2,81	2,17			
P95	5,60	3,89	3,54	5,54	2,99	4,13	3,76	2,79	2,81	2,20	

TABLEAU 38 : INFORMATIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU Pb DANS L'URINE POUR LES TROIS CAMPAGNES DE BIOMONITORING RÉALISÉES À BRESSOUX ET TROIS ÉTUDES RÉALISÉES EN POPULATION GÉNÉRALE.

L'interdiction de l'essence au plomb (fin des années 90) combinée à d'autres mesures telles que le contrôle des émissions industrielles, l'interdiction des peintures au plomb, le remplacement des canalisations en Pb et l'insaturation de normes dans l'alimentation et dans l'eau ont permis de réduire l'imprégnation de la population générale en plomb.

Les plombémies médianes observée à Bressoux sont plus faibles que les plombémies allemande (1998), belge (2005) et française (2006-2007) mais plus élevées que les plombémies observées dans le nord de la France (2008-2010) et au Canada (2007-2009). La plombémie médiane de la population

Témoin (19.85µg/L) est légèrement supérieure à la plombémie médiane du nord de la France (18.40µg/L).

Les plomburies médianes de Bressoux sont plus élevées à Bressoux qu'au nord de la France (0.92µg/g.cr) mais sont, par contre, moins élevées qu'en Belgique (1.78µg/g.cr) (2010-2011).

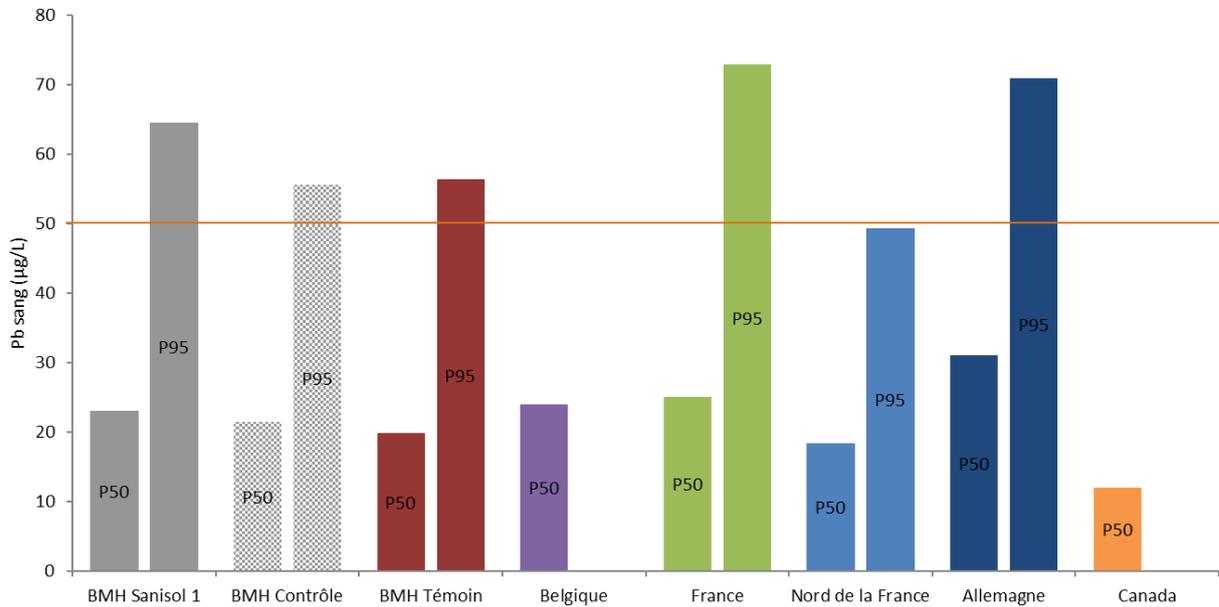


FIGURE 12 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 ET 95 DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING ET DE 5 ÉTUDES POPULATIONNELLES POUR LE Pb SANGUIN. LA VALEUR DE RÉFÉRENCE (ORANGE) EST REPRÉSENTÉE À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

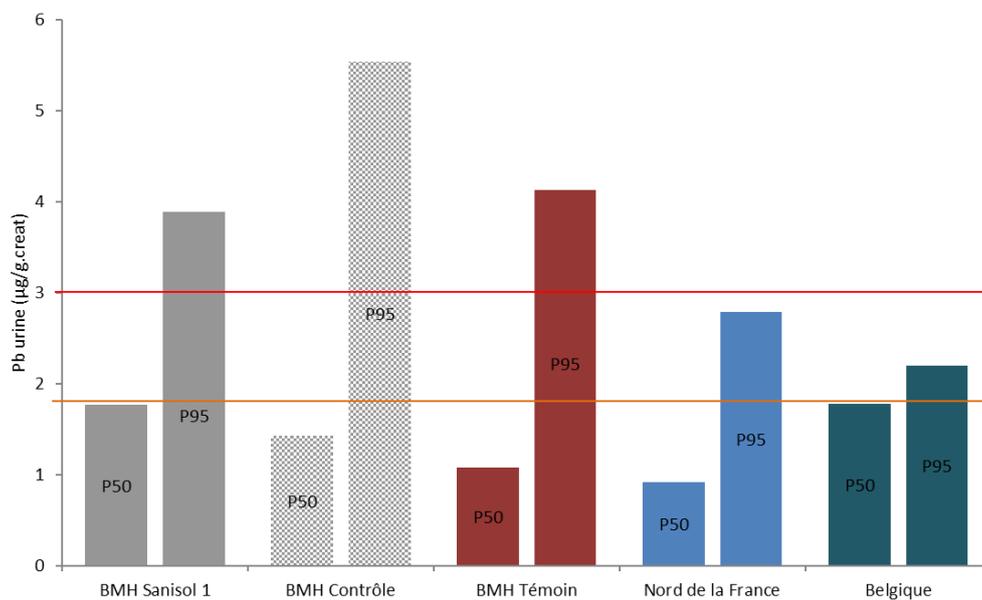


FIGURE 13 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 ET 95 DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING ET DE 2 ÉTUDES POPULATIONNELLES POUR LE Pb URINAIRE (µG/G.CR). LES VALEURS DE RÉFÉRENCE (ORANGE) ET D'INTERVENTION (ROUGE) SONT REPRÉSENTÉES À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.2.3 ARSENIC SPÉCIFIÉ

Un tableau reprenant, pour les BMH SANISOL 1, Contrôle et Témoin et une étude en population générale, les statistiques descriptives de l'As_{spéc}, pour l'ensemble des participants ou seulement ceux qui n'ont pas consommé de poisson, ainsi que des informations générales sur les études (localisation, sexe et âge des participants) est disponible ci-après.

As _{spéc} urine	BMH SANISOL 1 (été 2018)			BMH Contrôle (hiver 2019)			BMH Témoin (été 2019)			Fréry et al. (2011)		
Localisation	Liège			Liège			Liège			France		
Sexe (%)	47♂ - 53♀			40♂ - 60♀			32♂ - 68♀			37♂ - 63♀		
Age	27-89 ans			27-84 ans			18-80 ans			18-74 ans		
Gble	TOTAL		Sans poisson	TOTAL		Sans poisson	TOTAL		Sans poisson	TOTAL		Sans poisson
Unité	µg/L	µg/g.cr	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/g.cr
N	88	80	27	55	51	19	100	87	33	1500		218
AM	10,52	9,43	7,28	6,85	6,95	4,63	10,78	9,43	4,43			
GM	8,00	7,74	6,42	5,41	5,58	4,23	6,12	6,25	3,83	3,75	3,34	2,66
P10	2,74	4,02	3,21	2,45	2,42	2,08	1,67	2,51	1,76	1,52	1,44	1,00
P25	5,60	5,39	4,20	3,45	3,92	2,99	2,65	3,75	2,55	2,54	2,28	1,35
P50	8,48	7,17	6,18	5,40	5,35	4,63	6,48	5,65	3,54	4,03	3,53	2,40
P75	12,51	10,51	8,49	7,75	6,86	5,77	10,95	8,61	6,09	6,26	5,07	3,47
P90	18,59	15,65	13,75	12,52	12,05	7,28	22,77	22,42	7,88	9,03	7,63	4,37
P95	28,39	19,65	16,59	16,44	22,35		42,93	36,24	9,70	10,68	8,90	5,38

TABEAU 39 : INFORMATIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'As_{spéc} POUR LES TROIS CAMPAGNES DE BIOMONITORING RÉALISÉES À BRESSOUX ET UNE ÉTUDE EN POPULATION GÉNÉRALE.

L'imprégnation médiane en As_{spéc} ainsi que les P95 sont plus élevés à Bressoux qu'en France qu'on s'intéresse aux non-consommateurs de poisson ou à l'ensemble des participants. L'imprégnation médiane dans la population SANISOL 1 (7.17µg/g.cr) est plus de deux fois supérieure à l'imprégnation médiane française (3.53µg/g.cr). L'ajustement à la consommation de poisson impacte les imprégnations en As_{spéc} des Français et des habitants de Bressoux, plus particulièrement de la population Témoin.

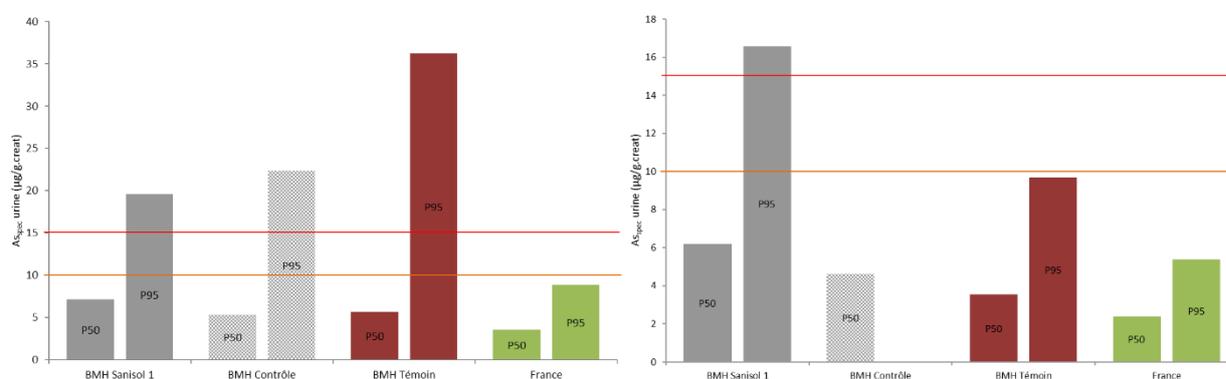


FIGURE 14 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 ET 95 DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING ET D'UNE ÉTUDE POPULATIONNELLE POUR L'As_{spéc} SANS AJUSTEMENT À LA CONSOMMATION DE POISSON (À GAUCHE) ET AVEC AJUSTEMENT (À DROITE). LES VALEURS DE RÉFÉRENCE (ORANGE) ET D'INTERVENTION (ROUGE) SONT REPRÉSENTÉES À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.2.4 CUIVRE

Un tableau reprenant, pour les BMH SANISOL 1, Contrôle et Témoin et une étude en population générale belge, les statistiques descriptives du Cu ainsi que des informations générales sur les études (localisation, sexe et âge des participants) est disponible ci-après.

Cu urine	BMH SANISOL 1 (été 2018)		BMH Contrôle (hiver 2019)		BMH Témoin (été 2019)		Hoet et al. (2013)	
	Localisation	Liège	Liège	Liège	Belgique			
Sexe (%)	47♂ - 53♀	40♂ - 60♀	32♂ - 68♀	46♂ - 54♀				
Age	27-89 ans	27-84 ans	18-80 ans	18-80 ans				
Unité	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr
N	88	80	55	51	100	87	1001	
AM	26,92	22,07	4,56	4,04	10,12	10,52		
GM	8,33	8,45	2,94	3,22	7,37	7,85	6,94	6,94
P10	3,61	4,14	0,83	1,17	2,78	4,50		
P25	5,78	5,67	0,83	1,98	4,95	5,57		
P50	8,68	7,84	4,31	3,52	8,07	7,22	8,18	6,99
P75	12,34	11,12	6,06	4,97	12,71	9,63		
P90	17,78	17,21	10,42	8,80	18,07	13,31		
P95	29,60	24,50	13,60	10,07	23,92	23,97	19,60	11,80

TABLEAU 40 : INFORMATIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU CU POUR LES TROIS CAMPAGNES DE BIOMONITORING RÉALISÉES À BRESSOUX ET UNE ÉTUDE EN POPULATION GÉNÉRALE BELGE.

Comme l'illustre la Figure 15 ci-dessous, l'imprégnation médiane en Cu urinaire est similaire dans la population SANISOL 1 ($7.84\mu\text{g/g.cr}$), Témoin ($7.22\mu\text{g/g.cr}$) et dans la population belge ($6.99\mu\text{g/g.cr}$). Elle est environ deux fois plus basse dans la population Contrôle ($3.52\mu\text{g/g.cr}$). Cette observation nous avait déjà conduit à émettre une hypothèse de saisonnalité des imprégnations en Cu. A titre de comparaison, la période de recrutement de l'étude belge réalisée par Hoet et al. s'est étendue de juillet 2010 à octobre 2011.

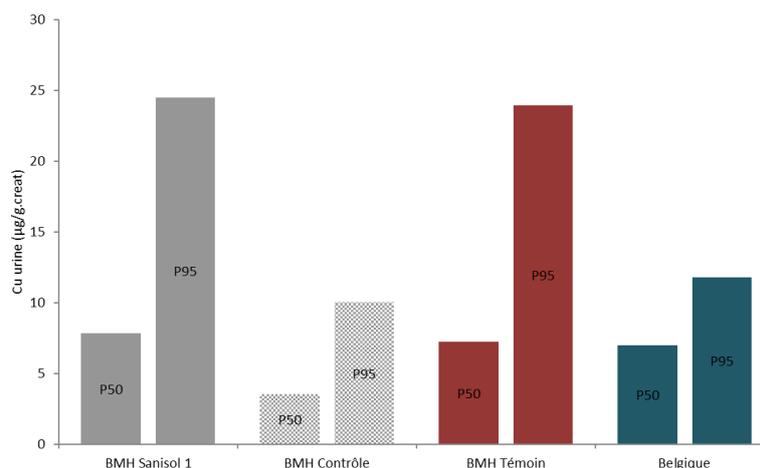


FIGURE 15 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 ET 95 DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING ET D'UNE ÉTUDE POPULATIONNELLE BELGE POUR LE CU. LA VALEUR D'INTERVENTION POUR LE CU URINAIRE EST DE $50\mu\text{g/g.cr}$.

7.2.5 MOLYBDÈNE

Un tableau reprenant, pour les BMH SANISOL 1, Contrôle et Témoin et une étude en population générale belge, les statistiques descriptives du Mo ainsi que des informations générales sur les études (localisation, sexe et âge des participants) est disponible ci-après.

Mo urine	BMH SANISOL 1 (été 2018)		BMH Contrôle (hiver 2019)		BMH Témoin (été 2019)		Hoet et al. (2013)	
Localisation	Liège		Liège		Liège		Belgique	
Sexe (%)	47♂ - 53♀		40♂ - 60♀		32♂ - 68♀		46♂ - 54♀	
Age	27-89 ans		27-84 ans		18-80 ans		18-80 ans	
Unité	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr
N	88	80	55	51	100	87	1001	
AM	45,27	39,83	39,93	40,52	40,23	36,76		
GM	32,57	33,92	29,08	33,43	28,96	31,06	23,00	23,20
P10	7,68	16,84	8,76	15,90	7,54	15,07		
P25	23,20	23,26	19,30	19,29	17,78	21,30		
P50	40,85	35,62	32,70	36,00	33,10	30,54	31,30	29,80
P75	60,35	53,60	49,30	50,77	57,03	45,36		
P90	90,45	71,90	89,06	73,42	72,97	61,67		
P95	108,26	80,26	109,36	102,17	87,85	86,48	116,00	76,90

TABLEAU 41 : INFORMATIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU Mo POUR LES TROIS CAMPAGNES DE BIOMONITORING RÉALISÉES À BRESSOUX ET UNE ÉTUDE EN POPULATION GÉNÉRALE BELGE.

La concentration urinaire médiane dans la population Témoin ($30,54\mu\text{g/g.cr}$) est proche de la valeur observée dans la population belge ($29,80\mu\text{g/g.cr}$) mais légèrement moins élevée que chez les usagers du CTB.

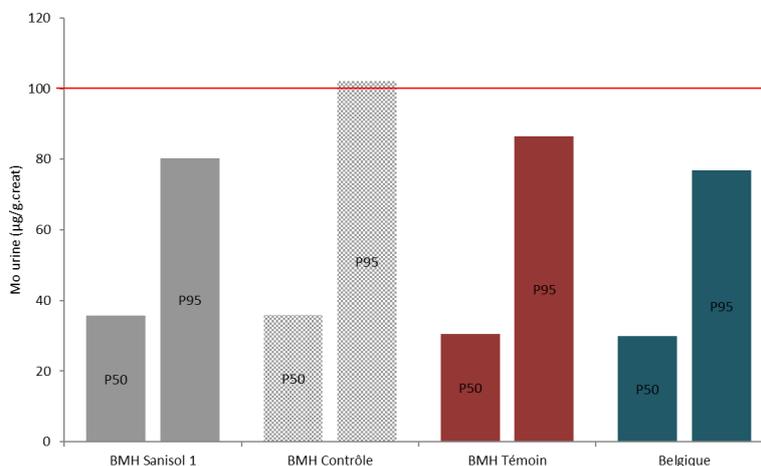


FIGURE 16 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 ET 95 DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING ET D'UNE ÉTUDE POPULATIONNELLE BELGE POUR LE Mo. LA VALEUR D'INTERVENTION EST REPRÉSENTÉE À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

7.2.6 ZINC

Un tableau reprenant, pour les BMH SANISOL 1, Contrôle et Témoin et une étude en population générale belge, les statistiques descriptives du Zn ainsi que des informations générales sur les études (localisation, sexe et âge des participants) est disponible ci-après.

Zn urine	BMH SANISOL 1 (été 2018)		BMH Contrôle (hiver 2019)		BMH Témoin (été 2019)		Hoet et al. (2013)	
Localisation	Liège		Liège		Liège		Belgique	
Sexe (%)	47♂ - 53♀		40♂ - 60♀		32♂ - 68♀		46♂ - 54♀	
Age	27-89 ans		27-84 ans		18-80 ans		18-80 ans	
Unité	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr	µg/L	µg/g.cr
N	88	80	55	51	100	87	1001	
AM	452,29	380,28	339,70	367,33	401,51	340,69		
GM	294,36	303,96	263,16	305,60	273,16	280,27	227,00	229,00
P10	55,90	105,93	94,00	147,38	60,70	132,67		
P25	169,25	176,84	177,00	191,03	173,25	196,15		
P50	345,50	305,80	281,00	285,71	325,00	275,00	256,00	246,00
P75	670,00	529,68	444,00	419,64	503,25	437,35		
P90	958,50	757,25	675,80	776,59	832,90	581,58		
P95	1116,00	881,41	758,20	916,46	1165,80	883,23	1048,00	625,00

TABLEAU 42 : INFORMATIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU ZN POUR LES TROIS CAMPAGNES DE BIOMONITORING RÉALISÉES À BRESSOUX ET UNE ÉTUDE EN POPULATION GÉNÉRALE BELGE.

L'imprégnation médiane en Zn à Bressoux est supérieure à la médiane belge (246µg/g.cr). Les habitants de Bressoux sont toutefois plus imprégnés lorsqu'il fréquente le CTB, c'est-à-dire lors des campagnes SANISOL 1 (P50 305.80µg/g.cr) et Contrôle (P50 285.71µg/g.cr) que lorsqu'il ne le fréquente pas (P50 275.00µg/g.cr).

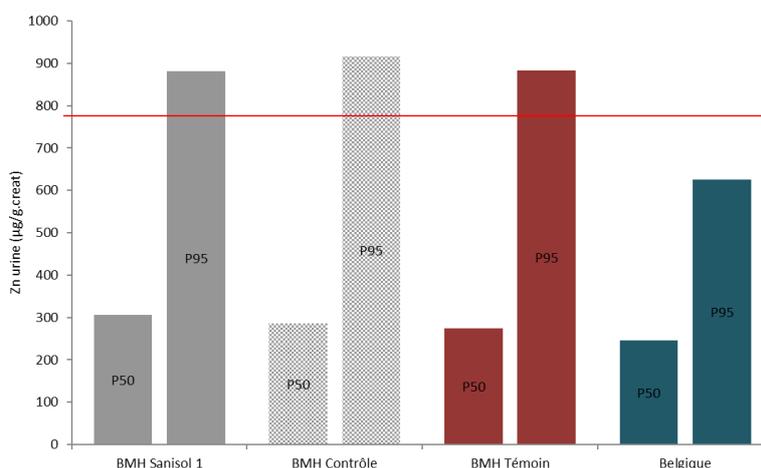


FIGURE 17 : HISTOGRAMMES REPRÉSENTANT LES PERCENTILES 50 ET 95 DES 3 CAMPAGNES DE BIOMONITORING ET D'UNE ÉTUDE POPULATIONNELLE BELGE POUR LE ZN. LA VALEUR D'INTERVENTION EST REPRÉSENTÉE À TITRE INDICATIF SUR LA FIGURE.

8 DISCUSSION

Ce rapport présente les résultats d'imprégnation du biomonitoring Témoin réalisé à Bressoux durant l'été 2019 et une comparaison avec les données d'imprégnation obtenues auprès d'un échantillon de population bénéficiaires du potager Collectif du Coin de Terre réalisé durant l'été 2018 (= biomonitoring SANISOL 1), puis en mars 2019 (= biomonitoring Contrôle). Il fournit des éléments de réponse par rapport deux premiers objectifs assignés au biomonitoring Témoin ainsi que des pistes de réflexion pour aborder les recherches visées par le 3^e objectif.

Le **premier objectif** du biomonitoring Témoin était de mesurer les imprégnations en arsenic, cadmium, cuivre, molybdène, plomb et zinc d'un échantillon d'habitants de Bressoux n'ayant aucun lien avec le CTB et d'analyser les risques pour la santé sur base de valeurs limites d'exposition.

Les niveaux d'imprégnations médians et les percentiles 95 en cadmium et plomb mesurés dans le sang de la population Témoin de Bressoux sont respectivement de 0,44 et 1,56 µg/L pour le cadmium et de 19,85 et 56,39 µg/L pour le plomb. Dans l'urine, les médianes et les percentiles 95 des biomarqueurs analysés étaient de 0,39 et 1,11 µg/L (0,32 et 1,22 µg/g.cr) pour le cadmium, de 1,1 et 2,99 µg/L (1,08 et 4,13 µg/g.cr) pour le plomb, 6,48 et 42,93 µg/L (5,65 et 36,24 g/g.cr) pour l'arsenic spécié, de 8,07 et 23,92 µg/L (1,7,22 et 23,97 µg/g.cr) pour le cuivre, de 33,1 et 87,85 µg/L (30,54 et 86,48 µg/g.cr) pour le molybdène et de 325 et 1165,8 µg/L (275 et 883,23 µg/g.cr) pour le zinc.

Les imprégnations médianes en métaux de la population Témoin sont comparables aux imprégnations médianes retrouvées dans les études en population générale, à l'exception de l'arsenic spécié qui est 1.6 fois plus élevé pour la population témoin en comparaison à la médiane française. De plus, les imprégnations mesurées dans la population témoin sont associées aux mêmes variables explicatives classiquement mises en évidence dans les biomonitorings nationaux, en Europe et ailleurs dans le Monde. En l'occurrence, nos résultats montrent que les imprégnations de la population Témoin sont influencées par le tabagisme (CdS, CdU, PbS), le sexe (CdS, CuU), la consommation récente de poisson (As_{spéc}U) et l'âge des participants (CdS, CdU, PbS, PbU, CuU, ZnU).

En termes de dépassement des valeurs limites d'exposition fixées dans le cadre de cette étude, il convient d'analyser prioritairement les biomarqueurs les plus pertinents d'un point de vue sanitaire que sont le plomb sanguin, le cadmium urinaire et l'arsenic spécié urinaire. Pour le cadmium urinaire, aucun individu ne dépasse la valeur d'intervention⁴ (4 µg/L) et 8 individus se situent en plage de vigilance⁵ (≥ 1 et < 4 µg/L). Pour le plomb sanguin, 2 participants dépassent la valeur d'intervention (100 µg/L) et 4 se situent en plage de vigilance

⁴ La valeur d'intervention correspond à la concentration d'une substance dans le sang ou l'urine à partir de laquelle, selon l'état actuel des connaissances, il existe un risque d'effet négatif sur la santé. Il est nécessaire de suivre des recommandations visant la réduction de l'exposition.

⁵ La plage de vigilance correspond à une gamme de valeurs dans laquelle, selon l'état actuel des connaissances, les effets néfastes sur la santé ne sont pas établis ou qui se situent en deçà de percentiles élevés constatés en population générale (> P90, P95). Elles sont suffisamment élevées pour y porter attention et pour suivre des recommandations dans le but de diminuer l'exposition.

(≥ 50 et < 100 $\mu\text{g/L}$). Pour l'arsenic spécié, 11 individus présentent une valeur égale ou supérieure à la valeur d'intervention (≥ 15 $\mu\text{g/g.cr}$) et 7 se situent en plage de vigilance (≥ 10 et < 15 $\mu\text{g/g.cr}$). Tous les individus de la population témoin (sauf un), présentant un dépassement en arsenic, ont déclaré avoir consommé du poisson la semaine précédant le prélèvement.

Concernant les 3 oligoéléments (cuivre, molybdène et zinc) mesurés dans l'urine, le nombre d'individus présentant un dépassement de la valeur d'intervention est de respectivement 2, 3 et 7. Toutes les participants concernés par un dépassement en cuivre, molybdène et zinc ont plus de 55 ans.

Le **deuxième objectif** du biomonitoring Témoin était de comparer les imprégnations mesurées dans la population Témoin aux résultats des biomonitoring réalisés auprès des bénéficiaires du CTB lors des campagnes SANISOL 1 et Contrôle.

Les imprégnations médianes en métaux de la population Témoin sont systématiquement inférieures à celles de la population de SANISOL 1, avec un rapport variant d'un facteur 3 pour le Cd urinaire (3,2) à un facteur proche de 1 pour le Pb sanguin (1,2) et l'As urinaire (1,3). La différence d'imprégnation entre les deux campagnes est par ailleurs statistiquement significative pour le cadmium urinaire, le plomb sanguin et l'arsenic spécié urinaire. Concernant les trois oligoéléments (Cu, Mo, Zn), les concentrations médianes urinaires sont toujours moins élevée dans la population Témoin, d'un facteur de l'ordre de 1.1 à 1.2 (diminution non significative).

Vis-à-vis du sous-groupe du BMH-contrôle, l'imprégnation médiane en cadmium urinaire est 2.1 fois moins élevée au niveau de la population Témoin alors qu'elle est 2.1 fois plus élevée pour le cuivre. La différence d'imprégnation entre les deux campagnes est statistiquement significative pour le cadmium urinaire et le cuivre urinaire. Pour les autres métaux, les imprégnations varient peu (d'un facteur de 1,0 à 1,2) et les différences ne sont pas statistiquement significatives.

En comparaison aux valeurs ad hoc issues des biomonitoring réalisés pour des populations générales, on peut se rendre compte que :

- Les imprégnations en Cd urinaire sont particulièrement élevées pour la population du CTB
- Les imprégnations en arsenic spécié urinaire semblent problématiques à Bressoux (pour la population SANISOL 1 et, dans une moindre mesure, pour les populations Contrôle et Témoin).
- Les imprégnations en Pb sanguin mesurées lors des trois campagnes à Bressoux se situent plutôt dans la gamme haute des plombémies qui devraient être actuellement mesurées dans une population générale adulte (Petit et al., 2019).

En outre, le risque d'atteinte rénale est à craindre pour la population qui fréquente le potager communautaire vu les effets potentialisateurs de ce dernier sur la néphrotoxicité du

cadmium sur le long terme lors d'une exposition conjointe avec l'arsenic (Nordberg et al., 2005).

Toutefois, des différences entre les populations Témoin et bénéficiaire du CTB obligent à nuancer ces interprétations.

La population bénéficiaire du CTB est plus multiculturelle, plus masculine, moins diplômée, plus « ouvrière » et un peu plus âgée que la population Témoin (non bénéficiaire du CTB). Il est difficile de dire si ces différences reflètent des différences réelles entre les populations étudiées ou si elles ont été influencées par le type de recrutement qui a été réalisé sur base volontaire mais pas de la même manière (sensibilisation et courrier direct vers tous les affiliés du CTB pour les premiers et toute boîte d'invitation pour les Témoins). Toujours est-il que ces différences sociales expliquent probablement une partie des différences d'imprégnation observées. L'âge, par exemple, pourrait à lui seul expliquer des niveaux de concentration un peu plus élevés de certains paramètres comme la plombémie, la cadmiurie, le cuivre ou le zinc urinaire. La profession, le niveau d'étude et/ou de manière plus générale le statut socioéconomique sont régulièrement associés comme des facteurs de risque de surexposition au cadmium (Fréry 2011, ORS Paca 2001). Dans Sanisol 1, en corolaire du pays d'origine, l'utilisation de cosmétiques ou de vaisselle traditionnelle étaient associés positivement à certain biomarqueurs (cuivre, cadmium, plomb).

Néanmoins, il est important de souligner que les échantillons de population Témoin et SANISOL 1, n'étaient pas fondamentalement différents pour ce qui concerne les facteurs d'influence prépondérants classiques relatifs aux deux métaux les plus incriminés, le cadmium et l'arsenic (le tabac pour le cadmium et la consommation de poisson les jours précédents le prélèvement pour l'arsenic)⁶.

Enfin le **troisième objectif** du biomonitoring Témoin était de contribuer à déterminer l'impact de la fréquentation et de la consommation de denrées du CTB sur les imprégnations en métaux des bénéficiaires.

Des résultats exploratoires présentés dans ce rapport fournissent des pistes de réflexion à approfondir pour une méta-analyse de l'ensemble des données collectées à Bressoux lors des différentes campagnes de biomonitoring et d'investigations environnementales.

Des analyses de sol dans 45 jardins de participants Témoin indiquent que les concentrations en métaux mesurées dans les jardins de Bressoux ne sont pas fondamentalement différentes des concentrations retrouvées dans le sol du CTB. En outre, les analyse statistiques préliminaires réalisées en vue d'objectiver un impact du sol sur les imprégnations des participants Témoin n'ont pas pu mettre en évidence une corrélation significative entre les imprégnations et i) la concentration en métaux dans les sols des jardins, ii) le fait de posséder

⁶ Les deux échantillons de populations étaient également comparables pour ce qui concerne le mode de consommation d'eau (robinet ou bouteille), le nombre d'années de résidence à Bressoux, le type d'habitat (maison vs appartement), la possession d'un jardin (en avoir un vs ne pas en avoir un), la consommation de poisson, de riz et d'abats durant les 7 jours qui ont précédés l'échantillonnage, la coloration des cheveux ou le fait de fréquenter un site industriel.

un jardin ou un potager ou encore iii) de consommer des fruits et des légumes cultivés dans un potager de Bressoux (hors CTB). Ces résultats doivent toutefois être considérés avec la plus grande prudence étant donné le faible effectif sur lesquels ils se basent.

Plus que les concentrations dans les sols, il est raisonnable de considérer que le renforcement de l'exposition propre aux bénéficiaires puisse être, au moins en partie, responsable des imprégnations plus élevées. La plupart fréquentent assidûment le CTB (55% au minimum 2 jours par semaine et 16% au minimum 5 jours par semaine), 79% y jardinent et 94% consomment des fruits et des légumes qui en sont issus. En comparaison, 25% seulement des participants au biomonitoring Témoin consomment des fruits et des légumes du potager et cette consommation semble très occasionnelle d'après nos échanges avec eux. L'exposition directe (par ingestion de particules de sol, principalement) et indirecte (consommation des légumes produits, principalement) aux métaux du sol serait donc plus intense au niveau de la population bénéficiaire du CTB en comparaison à la population Témoin.

Le différentiel d'imprégnation important (3.2 fois) pour le cadmium urinaire chez les bénéficiaires du CTB par rapport au Témoin (contre au plus 1.3 fois plus pour les autres métaux) peut s'expliquer, du moins en partie, par une biodisponibilité⁷ plus grande du cadmium présent dans le sol pour les légumes et pour l'homme ainsi qu'une bioaccessibilité gastrique⁸ également plus élevée pour le cadmium en comparaison aux autres métaux (Pereira et al. 2012). L'imprégnation plus élevée en As en comparaison à la population générale peut être, quant à elle, cohérente avec une bioaccessibilité potentiellement plus grande de l'As, en lien avec la présence de phosphate de Pb (e.g. Cui et al., 2010) observé dans le sol de Bressoux, mais ceci devrait être confirmé ultérieurement par des mesures via le protocole de référence établi pour ce paramètre d'exposition (BARGE).

Rappelons également que le cadmium urinaire et le plomb sanguin sont des biomarqueurs d'exposition sur le long terme. Ils reflètent une charge corporelle qui diminuera plus lentement que les indicateurs qui reflètent une exposition à court terme (les jours avant) comme l'arsenic, par exemple. L'impact des différentes phases de recommandations de prévention formulées par les autorités publiques en 2017 puis 2019 par exemple sera plus lent sur la cadmiurie et la plombémie. En l'occurrence, la plus faible diminution observée pour le Pb sanguin entre le BMH-Sanisol-1 et le sous-groupe du BMH contrôle peut s'expliquer par le fait que la fréquentation du site et la consommation des légumes, bien qu'elles soient aussi des variables explicatives du modèle de régression linéaire, ont, dans ce

⁷ Le cadmium, l'arsenic spécié et le plomb présents dans le sol seraient plus biodisponibles pour les légumes et les fruits produits sur le site et pour l'homme. Le potentiel de mobilité des métaux du sol étudié dans Pollusol 2 au moyen d'extractions séquentielles a montré que, comparé aux autres métaux, les fractions indisponibles sont relativement faibles pour le cadmium et le plomb. Cette étude indique que le cadmium est le métal qui apparaît le plus mobilisable et donc le plus susceptible de transfert sol-plante et sol-homme.

⁸ La bioaccessibilité au stade intestinal est similaire, de l'ordre de 20-30% pour le cadmium, le plomb, l'arsenic spécié et le cuivre et de 10-15% pour le zinc. Par contre, le cadmium a une forte bioaccessibilité gastrique, évaluée à 80%, contre 45-55% pour le plomb et le zinc et 20-30% pour l'arsenic spécié et le cuivre (Pereira et al., 2012). La bioaccessibilité est par ailleurs fonction de la nature et de la composition du sol.

modèle, une pondération faible sur l'imprégnation en comparaison à l'âge (reflétant le « bruit de fond corporel » lié au stock osseux).

Enfin, il faut rappeler que l'imprégnation en cadmium de la population bénéficiaire du CTB de SANISOL 1 s'était montrée imprévue à de nombreux égards⁹. Une distribution bimodale des cadmiuries avait été observées, sous tendant l'hypothèse de deux populations distinctes, une plus imprégnée et une moins imprégnée, d'âge et de statut tabagique identique (tant on sait que ces deux variables sont des déterminants majeurs de la cadmiurie), se différenciant surtout par le genre. Etant donné la problématique du cadmium pour la population bénéficiaire du CTB, l'analyse des déterminants de ces deux sous populations devrait être approfondie.

La présence d'un certain nombre de biais qui doivent être pris en compte pour nuancer les résultats des biomonitorings réalisés à Bressoux.

Le biais de population a déjà été abordé précédemment.

Le biais d'information lié aux réponses parfois imprécises collectées via le questionnaire limite l'analyse de certains paramètres. Par exemple, lors de la campagne SANISOL 1 il n'a pas été possible de discriminer efficacement l'exposition professionnelle, la durée de résidence et les quantités de légumes produits/et ou consommés. Lors des campagnes suivantes, l'évolution du questionnaire dans le but de l'améliorer a compliqué la comparaison des populations entre elles (un exemple important est la question du statut d'ouvrier qui n'est pas formulée de la même manière dans la première campagne et qui ne permet pas de différencier les secteurs d'activités des ouvriers). Couplés à des effectifs réduits, les biais d'information réduisent la puissance de certaines analyses (la recherche de corrélation entre les imprégnations et les teneurs dans le sol pour les personnes qui ont un potager et qui consomment des fruits et des légumes cultivés dans leur potager, par exemple, s'effectue sur un échantillon de seulement 17 personnes).

Le biais relatif aux conditions météorologiques différentes d'une année à l'autre. Les campagnes SANISOL 1 et Témoin ont eu lieu toutes les deux en été, mais à une année d'intervalle. Il n'est pas impossible que l'exposition aux métaux présents dans le sol ait été plus importante durant la saison particulièrement chaude et sèche de l'été 2018.

Le biais relatif aux vagues successives de recommandations émises à Bressoux depuis l'été 2017 pour limiter l'exposition des bénéficiaires du CTB et de la population du quartier. Le respect des mesures de précaution pourrait avoir influencé les imprégnations des bénéficiaires du CTB en 2018 comme celui des populations Contrôle et Témoin en 2019. L'impact des résultats d'analyse des sols et des légumes du CTB et des campagnes de biomonitoring réalisés sur place dépasse la sphère des usagers du CTB. Les habitants de Bressoux qui ne fréquentent pas le CTB ont été sensibilisés au problème de contamination

⁹ i) aucune différence significative des imprégnations n'avait pu être constatée entre fumeurs et non-fumeurs, ii) aucune association statistique probante n'avait pu être établie entre l'imprégnation en Cd des participants et la fréquentation du site et/ou la consommation des légumes produits, iii) la cadmiurie mesurée chez les usagers du CTB dépassait systématiquement les valeurs de cadmiurie mesurées dans 14 études de la littérature.

des sols à Bressoux et certains nous ont avoué délaisser leur potager et ne plus (ou moins) manger des fruits et légumes qu'ils ont cultivés.

Enfin, nous avons vu que les imprégnations en métaux peuvent montrer des variations saisonnières. Or les études populationnelles sont réalisées sur plusieurs saisons parfois plusieurs années. Nous pouvons donc imaginer que la comparaison d'une imprégnation saisonnière telle que mesurée en été pour la population témoin, puisse ne pas refléter les imprégnations mesurées dans des études telles que des biomonitoring nationaux dans lesquelles le recrutement couvre souvent une à deux années. Cela constitue une autre limite de ce travail.

9 CONCLUSION

Les imprégnations en cadmium, cuivre, molybdène, plomb et zinc de la population Témoin de Bressoux sont comparables aux imprégnations retrouvées dans des études en population générale excepté pour l'arsenic spécié qui est plus élevé.

En été, les imprégnations médianes en métaux de la population Témoin sont plus basses que celles de la population bénéficiaire du Coin de Terre.

Les différentes campagnes de biomonitoring menées actuellement à Bressoux convergent vers l'hypothèse que les concentrations en métaux dans le sol du CTB conjugués à des caractéristiques populationnelles et à un comportement favorisant un contact direct ou indirect plus intense aux métaux dans le sol conduisent à une imprégnation plus importante de la population bénéficiaire du CTB.

Certaines mesures de prévention et notamment l'abandon de la culture en pleine terre au profit du maraichage hors sol avec un apport de terres saines, devraient réduire le risque encouru par les usagers.

10 PERSPECTIVES

Les analyses statistiques des réponses aux questionnaires de la campagne Témoin doivent encore nous fournir leur enseignement. De même une analyse élargie aux données environnementales collectées depuis deux ans à Bressoux doit nous permettre de mieux comprendre l'influence du CTB ou d'autres paramètres sur les niveaux d'imprégnations constatés à Bressoux.

Les trois campagnes de biomonitorings ont généré un lot important de données biologiques et issues des questionnaires administrés aux participants. Les campagnes, l'une succédant à l'autre, et le protocole d'analyse n'ont pas été envisagés comme un tout mais plutôt de manière isolée. Des comparaisons ont été réalisées, essentiellement en ce qui concerne les données d'imprégnations. Il serait intéressant d'entreprendre une méta-analyse qui regroupe cette fois et dans la mesure des possibilités statistiques, non seulement les données d'imprégnations mais aussi les données des questionnaires.

En ce qui concerne les biomonitorings ciblant le CTB (SANISOL 1 et Contrôle), les données relatives à l'arsenic spécié ont dû être corrigées en raison d'une contamination en AsV de certains échantillons d'urine par leur aliquotage dans des tubes en verre. Pour autant, les analyses statistiques univariées et multivariées réalisées dans ce cadre et figurant dans les rapports *ad hoc* n'ont pas pu être reconduites, faute de temps. Il est donc nécessaire de vérifier si la correction des valeurs d'arsenic ne change pas les conclusions, plutôt mitigées, qui ont découlées de l'analyse des anciennes valeurs. Ceci est d'autant plus important que la contamination des sols en As à Bressoux n'est pas particulièrement très élevée en regard des normes ou des teneurs représentatives des sols wallons, et, quand bien même, comme partout en Wallonie, elles posent théoriquement (au sens du modèle d'évaluation des risques sanitaires retenu dans le CWBP) des risques sanitaires à l'échelle du territoire entier. La réinterprétation de ces données uniques est l'une des clés qui amènera la Wallonie vers une gestion plus durable de la problématique sanitaire causée par l'As dans les sols. Cette réanalyse devrait prendre en compte de nouvelles mesures de la bioaccessibilité.

Nous avons déjà évoqué à plusieurs reprises dans ce travail certaines faiblesses du questionnaire. Un travail d'investigation peut s'envisager, pour les participants des biomonitorings, par le biais d'entretiens téléphoniques standardisés qui auraient pour objectifs de préciser certaines caractéristiques socio-économiques, des comportements alimentaires ou encore de vie qui ont échappés au questionnaire et qui pourraient renforcer l'interprétation actuelle des résultats.

BIBLIOGRAPHIE

Bader M, Ochsmann E, Drexler H, Hartwig A. (2016). Addendum to Creatinine as Reference Parameter for the Concentration of Substances in Urine [BAT Value Documentation, 2011], in: *The MAK-Collection for Occupational Health and Safety*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 266–268. <https://doi.org/10.1002/3527600418.bbgeneral05e1715>

Becker K, Schulz C, Kaus S, Seiwert M, Seifert B (2003). German environmental survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in the urine of the German population. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206. Retrieved from <http://www.urbanfischer.de/journals/intjhyg>

Bismuth C, Baud F, Conso S, Dally S, Frejaville J-P, Garnier R, Jaeger A. (2000). *Toxicologie Clinique (5ème édition)*. Médecine Sciences Publications.

Cui Y, Du X, Weng L, Van Riemsdijk WH. (2010). Assessment of in situ immobilization of lead (Pb) and arsenic (As) in contaminated soils with phosphate and iron : solubility and bioaccessibility. *Water, Air, Soil Pollution*, 213 (1), 95-104.

Durand C, Sauthier N, Schwoebel V. *Évaluation de l'exposition à des sols pollués au plomb, au cadmium et à l'arsenic en Aveyron. Étude Cassiopée (cadmium et arsenic dans les sols : impact observé sur une population exposée)*. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 186 p.

Fréry N, Saoudi A, Garnier R, Zeghnoun A, Falq G. *Exposition de La Population Française Aux Substances Chimiques de l'environnement*. Saint-Maurice; 2011. http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=6864. Accessed November 6, 2018.

Haines DA, Saravanabhavan G, Werry K, Khoury C. An overview of human biomonitoring of environmental chemicals in the Canadian Health Measures Survey: 2007–2019. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2):13-28. doi:10.1016/J.IJHEH.2016.08.002

Haut Conseil de la Santé Publique. (2014). *Expositions au plomb : détermination de nouveaux objectifs de gestion. Avis et Rapports*. Paris. 99pp.

Hays SM, Aylwar LL, Gagné M, Nong A, Krishnan K. (2010). Biomonitoring Equivalents for inorganic arsenic. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 58(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.YRTPH.2010.06.002>

Heyman C, Haeghebaert S, Farvacques C, Kalache N. *Pertinence d'un dépistage Du Saturnisme et de Mesures de l'imprégnation de La Population En Cadmium Sur Le Secteur de Mortagne-Du-Nord*; 2008. http://opac.ins.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=3436. Accessed May 4, 2018.

Hoet P, Jacquerye C, Deumer G, Lison D, Haufroid V. Reference values and upper reference limits for 26 trace elements in the urine of adults living in Belgium. *Clin Chem Lab Med*. 2013;51(4):839-849. doi:10.1515/cclm-2012-0688

Hutse V, Claeys F, Mertens K. *Surveillance Épidémiologique de La Population Belge - Métaux Lourds et Oligo-Éléments Dans Le Sang*. Bruxelles; 2005. doi:D/2006/2505/37

Maggi P, Petit J, Remy S. *Biomonitoring ciblé pour les usagers du Coin de Terre de Bressoux : rapport final*. Rapport N°00447/2019, ISSeP, 106p.

Maggi P, Remy S. *Biomonitoring de contrôle ciblé pour les usagers du Coin de Terre de Bressoux*. Rapport N°02398/2019, ISSeP, 39p.

Maggi P, Petit J, Rosoloharimahefa M, Remy S. *Biomonitoring ciblé pour les usagers des coins de Terre de Bressoux (CTB): pertinence et méthodologie*. Rapport N°04630/2018, ISSeP, 43p.

Nisse C, Tagne-Fotso R, Howsam M, Richeval C, Labat L, Leroyer A. *Blood and urinary levels of metals and metalloids in the general adult population of Northern France: The IMEPOGE study, 2008–2010*. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2):341-363. doi:10.1016/J.IJHEH.2016.09.020

Nordberg GF, Jin T, Hong F, Zhang A, Buchet JP, Bernard A. *Biomarkers of cadmium and arsenic interactions*. *Tox Appl Pharmacol*. 2005;206(2):191-197. doi:10.1016/j.taap.2004.11.028.

ORS PACA. *Evaluation Des Conséquences Sanitaires et Environnementales de La population d'origine Industrielle Au Cadmium Autour Du Site TLM Dans Le 15^e Arrondissement de Marseille ; 2001*. http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=7411. Accessed January 15, 2019.

Pereira B, Titeux H, Schneider A, Sonnet P. *Rapport Final du Projet Pollusol 2 Partie « sols » (UCL-ELI)*. Décembre 2012.

Petit J, Crèvecoeur S, Remy S. *Le plomb dans les sols : propositions de normes sanitaires soutenables exploitant les modèles toxicocinétiques probabilistes*. Rapport N°2940/2019, ISSeP, 104p.

Pirard C, Compere S, Firquet K, Charlier C. (2018). *The current environmental levels of endocrine disruptors (mercury, cadmium, organochlorine pesticides and PCBs) in a Belgian adult population and their predictors of exposure*. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(2), 211–222.

Santonen T. *Human Biomonitoring in Risk Assessment: Analysis of the Current Practice and 1 St Examples on the Use of HBM in Risk Assessments of HBM4EU Priority Chemicals Deliverable Report D 5.1 WP 5-Translation of the Results into the Policy; 2017*. <https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2018/09/Deliverable-5.1-Human-biomonitoring-in-risk-assessment-analysis-of-the-current-practice-and-1st-examples-on-the-use-of-HBM-in-risk-assessments-of-HBM4EU-prio.pdf>.

Saoudi A, Zeghnoun A, Bidondo M-L, Garnier R, Cirimele V, Persoons R, Fréry N. (2012). *Urinary arsenic levels in the French adult population: The French National Nutrition and Health Study, 2006–2007*. *Science of the Total Environment* 433, 206–215

Schoeters G, Govarts E, Bruckers L, Den Hond E, Nelen V, De Henauw S, Sioen I, Nawrot TS, Plusquin M, Vriens A, Covaci A, Loots I, Morrens B, Coertjens D, Van Larebeke N, De Craemer N, Croes K, Lambrechts N, Colles A, Baeyens W. (2017). *Three cycles of human biomonitoring in Flanders – Time*

trends observed in the Flemish Environment and Health Study, International Journal of Hygiene and Environmental Health, 220 (2), Part A,36-45

Wilhelm M, Ewers U, Schulz C. Revised and new reference values for some trace elements in blood and urine for human biomonitoring in environmental medicine. Int J Hyg Environ Health. 2004;207(1):69-73. doi:10.1078/1438-4639-00260

World Health Organization, 1996. Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace. Geneva.

Zielińska-Danch W, Wardas W, Sobczak A, Szotysek-Bołdys I. (2007). Estimation of urinary cotinine cut-off points distinguishing non-smokers, passive and active smokers, Biomarkers, 12:5, 484-496, DOI: [10.1080/13547500701421341](https://doi.org/10.1080/13547500701421341)

Annexe A - INVITATION À PARTICIPER AU BMH TÉMOIN

BIOMONITORING À DESTINATION DES HABITANTS DE BRESSOUX

Invitation à participer

Madame, Monsieur,

En tant qu'habitant du quartier de Bressoux, une occasion **unique** et **gratuite** vous est offerte de participer à un programme de biomonitoring. Ce projet de biomonitoring vise à connaître les concentrations de certains métaux (plomb, cadmium, arsenic) présents dans le corps suite à une exposition de longue durée (chronique) ou momentanée.

Quelques informations clés...

Si vous souhaitez participer, vous devez remplir les conditions suivantes :

1. Résider à Bressoux depuis au moins 2 ans ;
2. **Ne pas fréquenter le lieudit du Coin de terre de Bressoux ;**
3. **Ne pas consommer de fruits et/ou de légumes du lieudit du Coin de terre de Bressoux ;**
4. Etre disponible en journée à l'une des 4 dates citées ci-après et pouvoir se rendre au point de rendez-vous : rue Général de Gaulle 65, 4020 Liège (Club des pensionnés de Bressoux);
 - a. **10/07/2019**
 - b. **17/07/2019**
 - c. **31/07/2019**
 - d. **07/08/2019**
5. Etre âgé d'au moins 18 ans.

Si vous êtes plusieurs à résider dans une même habitation, une seule personne par ménage est autorisée à participer.

Cette campagne est entièrement gratuite. Il est simplement nécessaire que vous vous engagiez à nous donner un échantillon d'urine, un échantillon de sang et à répondre à un questionnaire. Vous recevrez les résultats directement par courrier ou via votre médecin, selon votre choix.

Si vous êtes intéressé, nous vous invitons **à contacter l'ISSeP**, par mail ou par téléphone, via les contacts ci-dessous pour convenir d'un rendez-vous en juillet ou en août.

! Attention, seuls les 100 premiers volontaires seront retenus !

Merci de nous contacter pour une prise de rendez-vous :

biomonitoring@issep.be

Patrick Maggi : 04/229.82.10

Ingrid Ruthy : 04/229.82.80

Suzanne Remy : 04/229.82.99

Cellule communication : 04/229.83.49

ISSeP, Cellule Environnement-Santé, 200 Rue du Chéra, 4000 Liège

Enfin, nous vous informons que les médecins de Bressoux sont informés de ce projet et pourront vous orienter sur un suivi éventuel.

Nous vous remercions de votre participation éventuelle et vous prions de croire, Madame, Monsieur, à l'expression de nos meilleurs sentiments.

P. Maggi

Chargé de projet
Cellule environnement santé

I. Ruthy

Chargée de projet
Cellule environnement santé

S. Remy

Coordinatrice du projet
Responsable de la cellule environnement santé

Annexe B - CONSENTEMENT

Formulaire de consentement du participant au biomonitoring témoin sur le traitement des données à caractère personnel

Chers volontaires,

L'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP) a été chargé par le Service public de Wallonie de réaliser une campagne de biomonitoring à destination des habitants de la localité de Bressoux.

L'objectif est de déterminer les concentrations de certains métaux (plomb, cadmium, arsenic, cuivre, zinc, molybdène) chez les adultes qui habitent le quartier depuis au moins 2 ans et qui ne fréquentent pas le Coin de terre de Bressoux (CTB), ni ne consomment des fruits et légumes qui y sont produits.

Peut-être le savez-vous, l'an dernier, des riverains qui côtoient le jardin communautaire de Bressoux (CTB) ont participé à un projet de ce type. 93 d'entre eux avaient donné un échantillon de sang et d'urine et l'analyse de ces échantillons avait révélé des concentrations élevées notamment en plomb, en cadmium et en arsenic. La Région Wallonne, par l'intermédiaire de l'ISSeP, souhaite donc comparer les résultats de ce groupe de riverains attachés au Coin de terre avec un groupe issu de la même localité mais qui n'a aucun lien avec le Coin de terre. C'est pour cette raison, dans la mesure où vous correspondez aux critères de sélection, que nous vous proposons de participer à ce biomonitoring appelé « biomonitoring témoin ».

A cette fin, une campagne de prélèvement pour l'analyse des métaux dans le sang et l'urine est organisée par l'ISSeP durant les mois de juillet et août 2019.

Qui est concerné par cette étude ?

Uniquement des adultes, hommes et femmes, résidant à Bressoux depuis au moins 2 ans, ne fréquentant pas le CTB et ne consommant pas les fruits et légumes qui y sont produits.

! Une seule personne par ménage est autorisée à participer !

Qu'implique votre participation ?

La participation de chaque personne à l'étude implique :

- **de nous procurer un échantillon d'urine, le jour convenu;**
- **de nous permettre de prélever un échantillon de sang;**
- de répondre, avec notre aide, à un questionnaire ;
- de donner votre accord pour que les résultats des analyses et les données du questionnaire soient exploités pour l'étude en toute confidentialité. Les échantillons et résultats seront codés afin d'assurer l'anonymisation des prélèvements et des analyses.

Comment se déroule cette participation ?

Après avoir donné votre accord de participation, nous vous demanderons de récolter un échantillon de vos urines dans un récipient qui vous sera donné et une prise de sang sera réalisée. Nous vous demandons également de remplir un questionnaire destiné à recueillir des informations sur votre alimentation, votre habitat et votre santé générale, notamment.

Lorsque l'ensemble des échantillons auront été analysés en laboratoire, les résultats individuels vous seront communiqués, éventuellement par l'intermédiaire de votre médecin traitant dont vous nous aurez laissé les coordonnées dans le **formulaire de consentement**.

La participation va-t-elle entraîner des frais ?

Cela ne vous coûte rien ! Nous n'avons besoin que de votre temps et de votre volonté à participer, à consentir aux prélèvements et répondre à un questionnaire.

La participation à la présente étude est entièrement volontaire. Vous avez le droit de vous en retirer à tout moment sans devoir justifier votre décision. Vous pourrez à tout moment faire d'éventuelles corrections à vos données personnelles. Nous nous engageons à rendre anonymes les résultats d'analyses et les informations collectées.

Y a-t-il des risques à participer à l'étude ?

Certains participants peuvent ressentir une gêne mineure lors de la collecte d'échantillon de sang. Tous les prélèvements seront effectués par des professionnels de la santé qualifiés et spécialement formés. Les participants de l'étude seront couverts par une assurance pour tout événement indésirable relatif à leur participation, sans frais à leur charge.

Le risque résultant de cette expérimentation est couvert conformément à l'article 29 de la loi belge du 7 mai 2004 relative aux expérimentations sur la personne humaine qui impose au promoteur d'assumer, même sans faute, la responsabilité du dommage causé au participant ou à ses ayants droit, dommage lié de manière directe ou indirecte à l'expérimentation. Le promoteur a contracté une assurance couvrant cette responsabilité.

Dans le cas peu probable où vous voudriez porter plainte au sujet de l'étude, vous pouvez le faire en contactant le DPO (Data Protection Officer, responsable du RGPD à l'ISSEP), Michel Jacobs, dpo@issep.be, qui n'a pas de lien formel avec l'étude et qui agit en tant que surveillant indépendant de cette étude.

Et après l'étude ?

L'étude terminée, les prélèvements d'urine et de sang seront conservés par l'ISSEP et le laboratoire dans une banque de données pour une durée de 20 ans. Les analyses proprement dites et leurs résultats seront également conservés par l'ISSEP en toute sécurité pour une durée de 20 ans.

Aucun résultat individuel ne sera communiqué à des tiers sans le consentement explicite de la personne concernée par le résultat.

La présente étude a été examinée et approuvée par le Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire Universitaire de Liège. Cet avis du Comité d'éthique ne doit pas être considéré comme une incitation à participer à l'étude.

Quels sont vos droits ?

- Vous avez le droit de donner ou de retirer votre consentement pour le traitement vos données.
- Vous avez le droit de retirer votre consentement à tout moment sans aucune justification
- Vous avez le droit de demander quelles informations vous concernant sont enregistrées par le responsable de traitement dans le cadre de l'étude et de demander des corrections si certaines informations sont erronées.
- Vous avez le droit de demander l'effacement des données vous concernant.
- Vous avez le droit d'être informé sur les finalités pour lesquelles vos données seront traitées et sur les personnes qui auront accès à vos données.
- Vous avez le droit de recevoir toutes les informations vous concernant enregistrées sous un format portable et lisible.

Qui est le responsable de traitement de vos données ?

Institut Scientifique de service public (ISSeP)

Rue du chéra 200

4000 Liège

Il a le devoir de s'assurer que vos données sont traitées en toute sécurité et de vous avertir si la sécurité de vos données n'est pas respectée.

Pour de plus amples informations avant, pendant ou après l'étude, vous pouvez nous contacter :

Patrick Maggi, Ingrid Ruthy, Suzanne Remy

ISSeP, Cellule Environnement-Santé, 200 Rue du Chéra, 4000 Liège

Tél. 04/229.82.99 ou 04/229.82.10 ou 04/229.82.80 ou 04/229.83.49

Email : biomonitoring@issep.be

Consentement éclairé destiné aux volontaires

Promoteur : Suzanne Remy (Cellule environnement-santé – Institut Scientifique de Service Public)

Investigateurs :

ISSeP - Cellule Environnement Santé : Ingrid Ruthy (tél : 04/229.82.80)

ISSeP - Cellule Environnement Santé : Patrick Maggi (tél : 04/229.82.10)

Nom et prénom du (de la) volontaire :

Le document d'information aux volontaires et un exemplaire du consentement éclairé m'ont été remis ; je les ai lus et compris. Nous avons éventuellement discuté des questions en rapport avec l'étude et j'ai obtenu réponse à ces questions. J'ai disposé de suffisamment de temps pour décider de ma participation à l'étude.

- En cochant cette case, je donne mon accord pour participer à cette campagne de biomonitoring témoin en tant que volontaire.

J'ai été informé(e) que je peux retirer mon consentement à participer à l'étude à tout moment sans avoir à justifier ma décision et sans que cela ne me porte préjudice.

Veillez cocher **une des deux options ci-dessous**. Si aucune des deux options n'est cochée, nous considérons que vous ne souhaitez pas être informé de vos résultats individuels.

- En tant que volontaire, je prends la décision d'être informé par l'ISSeP des résultats des prélèvements sanguins et urinaires qui me sont propres.
- En tant que volontaire, je prends la décision d'être informé par mon médecin traitant des résultats des prélèvements sanguins et urinaires qui me sont propres. Je communique dès lors les coordonnées de mon médecin : Dr
Rue ; Numéro..... ; Code postal..... ; Ville.....

Signature du volontaire adulte

Date

Annexe C - QUESTIONNAIRE

Questions générales

1. Date d'entretien :/...../2019

2. Code participant :

3. Sexe : Femme Homme

4. Date de naissance :/...../.....

5. Lieu de naissance : Ville : ; Pays :

6. Quelle est votre statut professionnel ?

1. Employé à temps-plein Profession :	<input type="checkbox"/>	6. Retraité, pré-retraité	<input type="checkbox"/>
2. Employé à temps-partiel Profession :	<input type="checkbox"/>	7. En incapacité de travail Profession :	<input type="checkbox"/>
3. Indépendant à temps-plein	<input type="checkbox"/>	8. Mère/père au foyer	<input type="checkbox"/>
4. Indépendant à temps-partiel	<input type="checkbox"/>	9. Autre statut Spécifiez :	<input type="checkbox"/>
5. Etudiant, en formation continue, expérience professionnelle non rémunérée	<input type="checkbox"/>	10. Je ne sais pas	<input type="checkbox"/>

7. Quel est le niveau de diplôme le plus élevé que vous ayez obtenu ?

- Aucun diplôme
 Enseignement primaire
 Enseignement secondaire
 Enseignement supérieur ou universitaire

8. Êtes-vous ou étiez-vous ouvrier ? On parle d'activité actuelle ou de la dernière activité pour les pensionnés, prépensionnés, chômeurs et chercheurs d'emploi.

- Non
 Oui, en métallurgie
 Oui, dans le bâtiment (chauffagiste, plombier...), en ébénisterie ou en mécanique

Votre santé

Santé générale

9. Avez-vous un ou plusieurs "plombage(s)" au niveau des dents ?

- Non Oui, combien ? :

10. Vous rongez-vous les ongles ? Oui Non

11. Consultez-vous régulièrement le médecin ou prenez-vous régulièrement des médicaments ?

- a. Pour soigner un diabète ?..... Oui Non
b. Pour soigner une hypertension artérielle ?..... Oui Non
c. Pour soigner une maladie des os ?..... Oui Non

d. Pour soigner une maladie des reins ?..... Oui Non

Si oui pour une maladie des reins, pour soigner une insuffisance rénale chronique ? Oui Non

12. Souffrez-vous d'une maladie du foie ? Oui Non

13. Consommez-vous des compléments alimentaires ?

a. Vitamine A ? Oui Non Je ne sais pas

b. Vitamine B ? Oui Non Je ne sais pas

c. Vitamine C ? Oui Non Je ne sais pas

d. Vitamine D ? Oui Non Je ne sais pas

e. Vitamine E ? Oui Non Je ne sais pas

f. Fer ? Oui Non Je ne sais pas

g. Zinc ? Oui Non Je ne sais pas

h. Calcium ? Oui Non Je ne sais pas

i. Autre ? Oui, spécifiez Non Je ne sais pas

14. Avez-vous un ou plusieurs piercing(s) ? Non Oui, depuis combien d'année :.....

15. Avez-vous un ou plusieurs tatouage(s) ? Non Oui, depuis combien d'année :.....

16. Avez-vous des broches, plaques, prothèses ou autres objets métalliques dans votre corps (couronnes dentaires, balle, etc.) ? Oui Non Je ne sais pas

17. A quelle fréquence portez-vous des bijoux métalliques (bagues, boucles d'oreilles, colliers, etc.) ?

1. Jamais/rarement	2. Parfois (quelques fois par mois)	3. Toujours (presque quotidiennement)	4. Je ne sais pas
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabac

18. Êtes-vous confronté au tabac ?

Non

Ancien fumeur de plus de 2 ans

Oui, tabagisme passif

Oui, je fume

! Spécifique aux femmes (ne répondez pas si vous êtes de sexe masculin) !

19. Êtes-vous enceinte ? Oui Non

20. Allaitiez-vous ou avez-vous allaité cette dernière année ? Oui Non

21. Souffrez-vous d'ostéoporose ?

Je ne sais pas Non Oui, depuis combien d'années ?

Votre habitat

22. Quel type de logement occupez-vous ?

Maison

Appartement

23. Possédez-vous un jardin privé

Non

Oui

- Si oui, y a-t-il un potager ?

Non

Oui

24. Depuis quelle année résidez-vous à Bressoux ?

25. Avez-vous été exposé(e) à des travaux de rénovation (décapage ou ponçage) au domicile durant les 2 dernières années ?

- Oui
 Non

26. Avez-vous été exposé(e) à des travaux de rénovation (décapage ou ponçage) sur le lieu de travail durant les 2 dernières années ?

- Oui
 Non

Les sources d'exposition aux polluants

	Oui	Non	Je ne sais pas
27. Avez-vous des canalisations anciennes en plomb ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Avez-vous été intoxiqué antérieurement au plomb (ex : dans la petite enfance) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. Durant les 12 derniers mois, avez-vous coloré vos cheveux ou avez-vous réalisé une permanente ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30. Habitez-vous ou fréquentez-vous régulièrement un lieu proche d'un site industriel (usine, garage, imprimerie) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Utilisez-vous des remèdes ou cosmétiques traditionnels (azarcon, khôl, surma...) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32. Les peintures sont-elles en bon état dans le logement ou les parties communes ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33. Conservez-vous des aliments/boissons dans des récipients en étain ou en cristal ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34. Utilisez-vous de la vaisselle artisanale provenant d'un pays étranger (plat à tagine, théière...) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Votre alimentation et la préparation des aliments

35. Dans les 7 jours précédant votre prélèvement, avez-vous mangé

- du poisson, des crustacés ou des fruits de mer ? Non Oui Je ne sais pas

- des abats (foie, rognons)? Non Oui Je ne sais pas

- du riz ? Non Oui Je ne sais pas

36. Consommez-vous des fruits ou des légumes qui proviennent d'un potager situé à Bressoux ?

- Non
 Oui

37. Vous consommez des fruits et/ou des légumes...

- Qui proviennent essentiellement de supermarché(s)
 Qui proviennent essentiellement de potager(s) (le vôtre ou celui d'autres personnes)
 Qui proviennent autant de supermarché(s) que de potager(s)

38. Consommez-vous de l'eau en bouteille ?

- Oui

Non

39. Consommez-vous de l'eau du robinet ?

Oui, comme boisson et autre (préparation de thé, café, etc.)

Oui, uniquement pour la préparation de thé, café, soupe, ou la cuisson de pâtes, riz, etc.

Non

Nous vous remercions pour votre collaboration

Annexe D - STATISTIQUES DESCRIPTIVES

		N	Moy arith	Moy geom	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	p-valeur
Cd sang (µg/L)	Total	100	0,58	0,49	0,27	0,35	0,44	0,63	1,01	1,56	
	Non fumeur	86	0,47	0,43	0,27	0,34	0,40	0,56	0,69	0,90	<0,001
	Fumeur	14	1,27	1,07	0,50	0,59	0,98	1,79	2,63		
	Homme	32	0,48	0,42	0,24	0,31	0,38	0,50	0,92	1,56	0,031
	Femme	68	0,62	0,52	0,27	0,37	0,47	0,68	1,09	1,83	
	Poisson	57	0,55	0,47	0,27	0,36	0,43	0,60	0,90	1,74	0,479
	Pas de poisson	40	0,64	0,52	0,26	0,34	0,46	0,68	1,47	1,56	
	De 18 à 35 ans	15	0,46	0,43	0,23	0,32	0,40	0,62	0,73		
	De 36 à 50 ans	26	0,42	0,39	0,24	0,27	0,39	0,49	0,73	0,87	
De 51 à 65 ans	33	0,65	0,53	0,31	0,36	0,44	0,64	1,54	1,81		
De 66 à 80 ans	26	0,71	0,58	0,33	0,36	0,54	0,76	1,41	2,75		
Cd urine (µg/L)	Total	100	0,44	0,32	0,06	0,19	0,39	0,60	0,93	1,11	
	Non fumeur	86	0,38	0,28	0,06	0,18	0,32	0,50	0,68	1,02	<0,001
	Fumeur	14	0,84	0,73	0,25	0,72	0,80	0,99	1,51		
	Homme	32	0,44	0,37	0,14	0,27	0,37	0,58	0,90	0,97	0,462
	Femme	68	0,44	0,31	0,06	0,17	0,39	0,62	1,03	1,35	
	Poisson	57	0,44	0,33	0,06	0,20	0,39	0,58	0,81	1,04	0,977
	Pas de poisson	40	0,46	0,33	0,06	0,20	0,38	0,63	1,09	1,41	
	De 18 à 35 ans	15	0,34	0,24	0,06	0,12	0,28	0,45	0,85		
	De 36 à 50 ans	26	0,35	0,28	0,06	0,18	0,28	0,49	0,70	0,80	
De 51 à 65 ans	33	0,47	0,36	0,06	0,24	0,42	0,69	0,90	1,16		
De 66 à 80 ans	26	0,56	0,40	0,12	0,20	0,46	0,78	1,44	1,52		
Cd urine (µg/g.cr)	Total	87	0,42	0,33	0,15	0,19	0,32	0,50	0,80	1,22	
	Non fumeur	73	0,35	0,29	0,14	0,17	0,28	0,47	0,64	0,84	<0,001
	Fumeur	14	0,77	0,63	0,26	0,46	0,59	1,10	1,72		
	Homme	31	0,34	0,27	0,14	0,15	0,23	0,52	0,61	1,01	0,038
	Femme	56	0,46	0,37	0,16	0,23	0,36	0,50	0,89	1,38	
	Poisson	51	0,38	0,30	0,14	0,16	0,32	0,48	0,67	1,15	0,072
	Pas de poisson	33	0,49	0,39	0,18	0,24	0,36	0,59	0,92	1,62	
	De 18 à 35 ans	13	0,27	0,23	0,09	0,14	0,23	0,38	0,54		
	De 36 à 50 ans	24	0,29	0,25	0,14	0,17	0,20	0,35	0,48	0,88	
De 51 à 65 ans	28	0,42	0,37	0,15	0,26	0,42	0,52	0,70	0,85		
De 66 à 80 ans	22	0,65	0,49	0,15	0,24	0,53	0,83	1,53	1,89		
Pb sang (µg/L)	Total	100	25,03	19,26	9,62	12,03	19,85	26,08	39,57	56,39	
	Non fumeur	86	24,79	18,49	9,34	11,67	19,25	25,28	39,39	59,13	0,027
	Fumeur	14	26,51	24,73	14,60	18,35	24,15	32,50	47,55		
	Homme	32	27,08	21,13	10,22	13,48	21,95	29,88	37,83	92,76	0,175
	Femme	68	24,07	18,43	9,18	11,73	19,25	24,53	41,70	58,74	
	Poisson	57	24,40	19,38	9,36	13,15	20,30	26,15	34,86	39,90	0,580
	Pas de poisson	40	26,30	19,12	9,87	11,40	16,85	29,18	56,19	66,67	
	De 18 à 35 ans	15	30,75	16,26	5,90	9,20	13,70	25,20	117,38		
	De 36 à 50 ans	26	16,73	15,00	8,05	10,55	14,05	22,05	28,88	36,78	
De 51 à 65 ans	33	29,43	23,44	12,22	15,80	20,60	30,05	51,00	99,80		
De 66 à 80 ans	26	24,46	21,24	10,50	11,95	21,95	31,25	44,87	61,92		
Pb urine (µg/L)	Total	100	1,47	0,99	0,19	0,60	1,10	1,70	2,60	2,99	
	Non fumeur	86	1,47	0,95	0,19	0,50	1,00	1,70	2,60	2,96	0,155
	Fumeur	14	1,48	1,25	0,45	0,80	1,55	1,83	2,75		
	Homme	32	2,03	1,08	0,19	0,63	1,45	1,98	2,67	10,42	0,382
	Femme	68	1,21	0,95	0,38	0,60	1,05	1,68	2,51	2,96	
	Poisson	57	1,39	1,08	0,19	0,75	1,40	1,95	2,60	2,73	0,021
	Pas de poisson	40	1,59	0,85	0,21	0,50	0,80	1,38	2,80	3,85	
	De 18 à 35 ans	15	0,98	0,64	0,19	0,19	1,00	1,30	2,76		
	De 36 à 50 ans	26	1,12	0,90	0,47	0,50	0,95	1,40	2,53	2,92	
De 51 à 65 ans	33	2,10	1,31	0,48	0,85	1,50	1,95	2,62	9,30		
De 66 à 80 ans	26	1,30	0,97	0,19	0,65	1,05	1,80	2,76	3,55		

Pb urine (µg/g.cr)	Total	87	1,35	0,97	0,29	0,60	1,08	1,58	2,34	4,13	
	Non fumeur	73	1,38	0,95	0,27	0,57	1,04	1,58	2,82	4,29	0,389
	Fumeur	14	1,20	1,07	0,45	0,74	1,32	1,58	1,73		
	Homme	31	1,33	0,81	0,22	0,36	1,04	1,49	2,10	6,52	0,151
	Femme	56	1,36	1,07	0,44	0,65	1,12	1,70	2,93	4,29	
	Poisson	51	1,22	1,00	0,32	0,63	1,19	1,58	1,91	2,81	0,213
	Pas de poisson	33	1,52	0,89	0,22	0,50	0,82	1,41	4,29	6,91	
	De 18 à 35 ans	13	0,67	0,52	0,14	0,32	0,57	0,99	1,49		
	De 36 à 50 ans	24	1,00	0,77	0,25	0,42	0,87	1,28	2,30	3,05	
	De 51 à 65 ans	28	1,81	1,33	0,62	0,82	1,21	1,76	4,29	8,60	
De 66 à 80 ans	22	1,55	1,19	0,28	0,83	1,37	1,84	3,57	4,56		
As_{spec} urine (µg/L)	Total	100	10,78	6,12	1,67	2,65	6,48	10,95	22,77	42,93	
	Non fumeur	86	10,86	6,04	1,61	2,60	6,35	11,75	19,59	43,89	0,878
	Fumeur	14	10,30	6,64	1,80	3,06	7,13	10,40	36,40		
	Homme	32	11,89	8,47	1,88	6,44	9,05	15,19	26,94	35,23	0,004
	Femme	68	10,26	5,25	1,64	2,34	4,60	9,83	17,43	53,67	
	Poisson	57	15,31	9,33	2,29	5,10	9,55	15,43	42,59	62,76	<0,001
	Pas de poisson	40	4,43	3,35	1,41	1,98	3,05	6,08	9,76	13,27	
	De 18 à 35 ans	15	8,91	5,91	1,94	2,65	4,95	10,05	26,54		
	De 36 à 50 ans	26	11,94	6,03	1,77	2,41	5,35	10,16	23,09	92,30	
	De 51 à 65 ans	33	11,99	6,29	1,05	2,60	8,15	13,80	29,04	63,39	
De 66 à 80 ans	26	9,18	6,12	1,93	2,61	6,80	13,25	20,00	37,89		
As_{spec} urine (µg/g.cr)	Total	87	9,43	6,25	2,51	3,75	5,65	8,61	22,42	36,24	
	Non fumeur	73	9,70	6,35	2,59	4,00	5,65	8,85	20,11	41,89	0,619
	Fumeur	14	8,03	5,72	2,07	2,80	5,36	9,30	24,53		
	Homme	31	8,82	6,63	1,98	4,53	6,53	10,59	21,26	29,78	0,208
	Femme	56	9,77	6,04	2,50	3,41	5,31	7,32	22,73	55,02	
	Poisson	51	12,80	8,55	3,76	5,23	6,53	12,94	32,98	59,24	<0,001
	Pas de poisson	33	4,43	3,83	1,76	2,55	3,54	6,09	7,88	9,70	
	De 18 à 35 ans	13	6,75	5,49	2,48	3,29	5,23	7,51	18,17		
	De 36 à 50 ans	24	8,28	5,37	2,23	3,29	5,07	6,51	14,48	57,37	
	De 51 à 65 ans	28	11,57	7,44	2,56	4,61	6,74	9,94	29,17	61,78	
De 66 à 80 ans	22	9,55	6,36	1,73	3,38	6,12	10,63	31,19	36,93		
Cu urine (µg/L)	Total	100	10,12	7,37	2,78	4,95	8,07	12,71	18,07	23,92	
	Non fumeur	86	10,13	7,14	2,68	4,27	8,02	12,58	18,72	24,72	0,412
	Fumeur	14	10,11	8,98	4,49	5,83	9,79	13,12	19,92		
	Homme	32	12,78	9,44	4,93	5,96	9,99	13,26	23,06	46,07	0,059
	Femme	68	8,87	6,56	2,52	3,96	7,57	10,92	17,63	23,23	
	Poisson	57	11,44	8,04	2,76	5,13	8,86	14,16	22,42	25,20	0,245
	Pas de poisson	40	8,48	6,59	2,63	4,24	7,53	10,44	17,17	24,78	
	De 18 à 35 ans	15	8,20	6,04	0,83	5,23	7,18	10,54	18,23		
	De 36 à 50 ans	26	9,97	7,80	2,39	4,73	9,14	13,46	19,39	22,63	
	De 51 à 65 ans	33	8,55	6,46	1,68	4,00	7,17	10,97	16,56	23,41	
De 66 à 80 ans	26	13,38	9,24	3,05	5,48	8,47	12,93	29,04	66,99		
Cu urine (µg/g.cr)	Total	87	10,52	7,85	4,50	5,57	7,22	9,63	13,31	23,97	
	Non fumeur	73	10,96	7,87	4,48	5,53	7,01	9,51	13,95	25,70	0,221
	Fumeur	14	8,19	7,73	3,77	7,21	8,29	10,05	11,12		
	Homme	31	11,48	7,21	4,00	4,79	6,17	8,54	13,53	70,62	0,021
	Femme	56	9,98	8,23	5,07	6,35	7,77	9,96	13,39	22,38	
	Poisson	51	11,87	7,88	4,26	5,46	7,07	9,56	13,76	50,66	0,478
	Pas de poisson	33	8,77	7,94	4,80	6,55	7,47	9,90	14,98	23,23	
	De 18 à 35 ans	13	6,84	6,72	4,98	5,73	6,77	7,94	8,79		
	De 36 à 50 ans	24	7,98	7,28	4,33	6,19	7,08	8,13	12,49	22,51	
	De 51 à 65 ans	28	7,49	6,93	3,57	5,44	7,37	9,88	11,23	12,54	
De 66 à 80 ans	22	19,32	10,94	4,71	5,96	9,72	14,80	69,94	129,64		

Mo urine (µg/L)	Total	100	40,23	28,96	7,54	17,78	33,10	57,03	72,97	87,85	
	Non fumeur	86	38,56	27,53	6,63	15,90	33,10	56,80	74,39	86,98	0,288
	Fumeur	14	50,46	39,51	15,95	24,05	39,00	67,63	127,45		
	Homme	32	53,72	39,46	11,36	21,73	51,25	68,78	114,50	153,11	0,010
	Femme	68	33,88	25,03	5,97	16,50	29,10	46,10	68,63	75,46	
	Poisson	57	43,22	30,56	9,64	17,50	30,40	61,30	81,36	135,56	0,682
	Pas de poisson	40	35,53	26,59	5,07	18,35	33,65	48,95	69,01	77,12	
	De 18 à 35 ans	15	45,39	31,16	5,88	14,20	40,90	70,40	107,60		
	De 36 à 50 ans	26	36,88	28,40	6,33	19,70	36,35	54,25	68,57	83,21	
	De 51 à 65 ans	33	42,94	30,21	8,64	19,80	32,50	57,40	79,92	150,58	
De 66 à 80 ans	26	37,14	26,82	9,01	12,28	25,25	63,95	69,98	107,74		
Mo urine (µg/g.cr)	Total	87	36,76	31,06	15,07	21,30	30,54	45,36	61,67	86,48	
	Non fumeur	73	35,70	30,53	14,95	19,78	30,11	45,58	59,70	81,39	0,686
	Fumeur	14	42,29	34,01	14,92	21,85	33,76	42,03	115,57		
	Homme	31	37,76	30,46	14,24	19,28	30,11	40,80	69,44	131,31	0,723
	Femme	56	36,20	31,41	15,04	21,55	30,75	45,55	62,46	78,85	
	Poisson	51	35,34	28,91	13,26	19,28	30,11	40,42	59,33	89,82	0,218
	Pas de poisson	33	39,17	34,42	18,58	24,85	31,87	51,43	71,15	97,60	
	De 18 à 35 ans	13	35,40	30,96	14,61	17,62	34,85	49,76	69,72		
	De 36 à 50 ans	24	31,26	27,43	11,37	20,17	26,98	44,21	55,89	58,41	
	De 51 à 65 ans	28	40,64	33,72	17,64	24,69	32,14	40,40	94,94	139,27	
De 66 à 80 ans	22	38,62	32,12	16,01	20,98	29,31	51,29	75,40	103,03		
Zn urine (µg/L)	Total	100	401,51	273,16	60,70	173,25	325,00	503,25	832,90	1165,80	
	Non fumeur	86	390,30	257,78	56,10	153,50	323,00	514,75	878,20	1146,60	0,279
	Fumeur	14	470,36	389,91	216,00	270,50	336,50	510,50	1214,50		
	Homme	32	497,56	371,16	104,00	248,25	362,50	675,00	1183,70	1458,45	
	Femme	68	356,31	236,46	53,50	152,50	306,50	469,00	661,60	1041,85	0,354
	Poisson	57	454,08	305,38	53,00	212,00	318,00	605,50	1100,20	1341,70	
	Pas de poisson	40	338,64	236,96	60,70	152,50	335,50	468,50	666,40	783,20	
	De 18 à 35 ans	15	295,10	159,97	28,20	49,00	227,00	351,00	944,80		
	De 36 à 50 ans	26	368,75	239,47	45,60	140,25	328,50	455,50	978,90	1108,10	
	De 51 à 65 ans	33	455,67	320,75	85,80	166,00	328,00	503,00	1216,60	1780,90	
De 66 à 80 ans	26	426,92	346,03	123,10	223,50	380,50	616,00	740,10	1048,95		
Zn urine (µg/g.cr)	Total	87	340,69	280,27	132,67	196,15	275,00	437,35	581,58	883,23	
	Non fumeur	73	329,93	270,75	127,71	194,58	275,00	422,60	516,93	879,11	0,321
	Fumeur	14	396,81	335,65	147,52	198,32	316,08	564,49	817,38		
	Homme	31	348,58	275,31	120,10	193,00	255,06	437,83	860,61	1008,78	0,607
	Femme	56	336,32	283,06	144,65	198,14	315,00	436,00	537,21	762,60	
	Poisson	51	348,27	285,26	129,28	197,39	271,25	479,63	552,44	937,75	0,960
	Pas de poisson	33	337,03	277,80	125,73	191,48	340,16	415,20	713,71	828,76	
	De 18 à 35 ans	13	226,14	184,16	48,21	130,04	196,15	319,63	463,57		
	De 36 à 50 ans	24	274,08	238,49	135,77	189,72	228,41	373,10	460,42	512,69	
	De 51 à 65 ans	28	344,91	292,82	117,07	200,63	339,48	431,32	544,18	954,00	
De 66 à 80 ans	22	475,68	405,17	187,09	252,78	407,83	690,39	884,60	1136,59		

Corrélation entre l'âge et les imprégnations (coefficients de Spearman) :

	CdS (µg/L)	CdU (µg/L)	CdU (µg/g.cr)	PbS (µg/L)	PbU (µg/L)	PbU (µg/g.cr)	AspécU (µg/L)	AspécU (µg/g.cr)	CuU (µg/L)	CuU (µg/g.cr)	MoU (µg/L)	MoU (µg/g.cr)	ZnU (µg/L)	ZnU (µg/g.cr)
Age	0,224	0,217	0,406*	0,289*	0,189	0,367*	0,077	0,175	0,090	0,201	-0,071	0,028	0,240	0,384*

Corrélations significatives au niveau 0.05 en rouge.

Corrélations significatives au niveau 0.01 en rouge et marquées d'un astérisque.