

Les abeilles et produits de la ruche comme indicateurs de la contamination en métaux lourds dans le district de Monthey



Image n° 1 : Rucher à Monthey
Source : Mabel Hutchinson

Brevet fédéral d'Apicultrice

Mabel Hutchinson

Février 2025

monita.h@hotmail.com

Remerciements

Je remercie toutes les personnes citées à continuation pour leur contribution au bon développement de cette recherche :

Tout d'abord à ma mentor, Dr Armelle Vallat, chimiste à la plateforme Neuchâteloise de chimie analytique de l'Université de Neuchâtel, qui m'a conseillé et guidé pendant ces deux ans de recherche, ainsi que pour son inestimable gestion des analyses de laboratoire.

Au Dr Olivier Vallat, Business Manager Electronics chez Prayon Switzerland S.A. à Bex, qui m'a soutenu et donné la possibilité de réaliser ce travail.

À la SAM, Société d'Apiculture de Monthey et leurs membres : M. Nicolas Senn, M. Guy Rouiller, M. Stephan Richard, M. Remy Clerc, M. Fabian Hyrt, M. Yves Pascal Schaub, Mme. Marie-Paule Deléglise et M. Jean Petit-Matile, pour leur précieuse collaboration et la mise à disposition de leurs ruchers.

À Mme Huguette Carron, pour ses conseils et la mise à disposition des trappes à pollen.

À M. Antonio Gómez Pajuelo, biologiste et chercheur à l'Ecole d'Apiculture de Castellon de la Plana, Espagne, pour tous ses sages conseils.

Table des matières

Table des matières	2
Abstract.....	4
Résumé	4
1.- Introduction	5
2.- Sources de contamination pour les abeilles	6
2.1 Environnement	6
2.2 Agriculture.....	7
2.3 Pratique apicole	7
3.- Métaux lourds	7
4.- Aire d'étude.....	8
5.- Matériel et méthode	10
5.1 Matériel d'échantillonnage.....	10
5.2 Echantillonnage.....	11
5.2.1 Echantillonnage préliminaire 2022	11
5.2.2 Echantillonnage 2023	11
5.3 Préparation des échantillons.....	12
5.4 Méthode d'analyses.....	12
5.4.1 Instrument ICP-OES.....	12
5.4.2 Limites de détection et de quantification	13
6.- Résultats	14
6.1 Résultats préliminaires 2022.....	14
6.2 Résultats 2023.....	15
6.2.1 Abeilles :	15
6.2.2 Propolis :	16
6.2.3 Cire	16
6.2.4 Pollen :	19
6.2.5 Miel :	20
7.- Discussions	20
7.1 Essais préliminaires 2022	20
7.2 Essais 2023	21
7.2.1 Abeilles	21
7.2.2 Propolis.....	22
7.2.3 Cire	22
7.2.4 Pollen.....	23

7.2.5 Miel	23
8.- Conclusions.....	25
9.- Annexes	27
10.- Références	31

Abstract

The present study aimed to the quantification of metals (cadmium, cobalt, chromium, copper, iron, nickel, zinc, lithium, lead, mercury and arsenic) contained in *Apis mellifera* whole bees, honey, propolis, pollen and beeswax collected from Monthey region (Switzerland) close to the industries of chemical sites. For all samples, the concentrations of lithium, arsenic, cadmium and mercury were below to their limit of detection. In whole bees, chromium was detected in all apiaries except for the control apiaries and the furthest from the chemical sites. Copper, nickel, chrome, iron, zinc and lead are quantified in bees and propolis. Copper, nickel, cobalt, chromium, iron and zinc are found in pollen. An accumulation of the following elements, copper, iron and zinc, has also been observed in the beeswax, as well as the presence of chromium and nickel in the old beeswax. The copper, nickel, iron and zinc were in very low level in the honey samples, so they are suitable for human consumption.

Résumé

Cette étude quantifie les niveaux de cadmium, cobalt, chrome, cuivre, fer, nickel, zinc, lithium, plomb, mercure et arsénique contenus dans l'abeille *Apis mellifera* et dans les produits de la ruche de la région montheysanne, en Suisse, près des sites chimiques. Les résultats montrent des valeurs inférieures aux limites de détection pour le lithium, l'arsénique, le cadmium et le mercure. Le chrome provenant des abeilles est détecté dans tous les ruchers, à l'exception des ruchers témoins ainsi que du plus éloigné des sites chimiques. Cet élément est également présent dans certains échantillons de propolis, de même que dans l'ensemble des échantillons de pollen. Le cobalt est présent dans quelques échantillons de pollen mais dans aucun rucher témoin. Le cuivre, nickel, chrome, fer, zinc et plomb sont quantifiés dans les abeilles et la propolis. Le cuivre, nickel, cobalt, chrome, fer et zinc sont présents dans le pollen. Une accumulation de cuivre, de fer et de zinc a par ailleurs été observée dans la cire de même que la présence de chrome et nickel dans la cire d'aspect ancien. Dans le miel analysé la concentration en cuivre, nickel fer et zinc étant infime, il est apte à la consommation humaine.

1.- Introduction

Les abeilles, *Apis mellifera*, ainsi que les produits de la ruche, sont utilisés comme bioindicateurs de la qualité environnementale, un nombre considérable de travaux ayant été publiés, par exemple, pour déterminer la présence de radioactivité (*Fresquez et al., 1997 ; Tonelli et al., 1990*), des pesticides (*Decourtye, 2000*), ou des métaux lourds (*Van der Steen et al., 2016 ; Roman et al., 2011*). Les abeilles, ont été choisies pour leurs densités de population, leurs accessibilités et leurs sensibilités aux polluants (*Giglio et al., 2017. Liste non exhaustive*).

Lorsque des éléments, toxiques ou non, se retrouvent dans les sols et les eaux, ils sont absorbés par les végétaux à travers leurs racines et s'accumulent dans les tissus de ces derniers. Dès lors, les herbivores et les pollinisateurs se retrouvent exposés à ces contaminations (*Goroya et al., 2021 ; Richter et al., 2024*).

Les butineuses transportent du nectar, du miellat, du pollen, de l'eau, des résines et des exsudats jusqu'à la ruche. Donc, si ces produits contiennent des métaux lourds ou d'autres polluants, même en faibles quantités, ceux-ci sont acheminés à la colonie. (*Montiel et al., 2020 ; Warnier, 2016*).

Avec une activité industrielle en augmentation, ces éléments toxiques sont davantage présents dans l'atmosphère et se retrouvent irrémédiablement dans les sols, les cours d'eau et, *in fine*, dans la chaîne alimentaire (*Di Fiore et al., 2022*).

L'Université de Neuchâtel, avec la collaboration de l'entreprise Prayon située à Bex, met à disposition ses laboratoires et son savoir-faire pour réaliser des analyses chimiques de métaux lourds dans divers échantillons issus du secteur apicole. Les analyses ont été effectuées à l'Université de Neuchâtel sous la direction de la Dr Armelle Vallat. Les mesures analytiques ont été réalisées avec un ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy), une technique d'analyse utilisée pour mesurer la concentration d'éléments métalliques dans des domaines d'application tels que l'environnement, l'agroalimentaire, l'industrie ou encore les produits pharmaceutiques (*Douvrin C. et al., 2023*).

L'objectif de cette étude est d'analyser la présence de métaux lourds dans des échantillons d'abeilles, de pollen, de propolis, de cire et de miel provenant de différents ruchers se situant dans les environs du site chimique de Monthey et de l'ancienne raffinerie de pétrole de Collombey. Aussi, deux ruchers témoins en montagne, éloignés des sources de pollutions industrielles, ont été choisis afin de comparer les résultats.

2.- Sources de contamination pour les abeilles

Dans l'apiculture, les sources de contamination peuvent venir de l'environnement, de l'agriculture ou des pratiques apicoles. (Bogdanov et al., 2001). L'image n°2 résume les diverses sources de polluants pour les abeilles.

2.1 Environnement

Selon leur origine géologique, les éléments-traces métalliques sont naturellement présents dans les sols. Une augmentation de ces métaux s'explique par l'érosion et l'altération des minéraux de la roche. Leur concentration peut alors s'accroître dans les sols, les eaux superficielles et les nappes phréatiques, rendant ainsi certains sols stériles et inadéquats pour la production agricole. Les éruptions volcaniques sont également une source de contamination naturelle dans certaines régions (Jost-Tse, 2018).

La pollution en métaux lourds s'accroît dans le quotidien des êtres vivants du fait de la croissance de la population mondiale. En effet, celle-ci contribue directement à l'expansion de l'urbanisation, l'augmentation des activités industrielles ou minières, l'intensification des pratiques agricoles modernes, l'utilisation grandissante des transports aérien, routier ou ferroviaire, à la surconsommation de produits électroniques difficilement recyclables ou encore au mauvais traitement des eaux usagées (Jost-Tse, 2018 ; ONU, 2024).



Image n°2 : Sources de contamination pour les abeilles
Source : Bogdanov (Bogdanov et al., 2001)

En Suisse, la présence de métaux lourds dans les sols et les cours d'eau est clairement identifiée et son origine est en étroite relation avec l'industrie chimique. À titre d'exemple, les eaux du Rhône ont été polluées à hauteur de Viège et de Monthey par du mercure pendant des décennies. À Monthey, en certains endroits de l'ancienne décharge communale située près de l'étang des Mangettes, les valeurs en mercure dans la couche superficielle du sol dépassent amplement les normes établies (maximum

2mg/kg de mercure dans les places de jeux (*Fedlex, 2012*)), tel qu'indiqué dans l'annexe n°1 (*Roby et Zwahlen, 2018 ; Ferrari, 2022*).

Selon l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le plomb est la principale source de pollution dans les installations consacrées au tir. Cette contamination est plus importante que la totalité de celles issues de la circulation, de l'industrie et de l'artisanat réunis. L'assainissement est indispensable afin d'éviter que cet élément entre en contact avec le sol et les eaux (*OFEV, 2020*).

Dans le pays, une autre source de contamination anthropique des sols provient du sable des fonderies utilisé jadis comme fertilisant pour sa composition riche en phosphore mais également en substances toxiques. De même, des polluants comme le plomb et le mercure se sont accumulés dans les sols des villes à travers l'utilisation des cendres issues du bois de chauffage (*Poldervaart, 2020*). En effet, il existe un risque de pollution aux dioxines ou aux métaux lourds lors de l'incinération des déchets de bois si les installations ne sont pas en règle (*OFEV, 2019*).

2.2 Agriculture

L'agriculture actuelle nous confronte à une utilisation croissante de produits phytosanitaires potentiellement nocifs pour les abeilles et les autres pollinisateurs. Le déclin des populations d'abeilles serait ainsi le résultat de divers facteurs tel que les maladies, l'appauvrissement en ressources alimentaires, la présence d'insectes nuisibles ou bien l'exposition aux pesticides (*Xie et al., 2013*).

Par ailleurs, 75% des échantillons de miel (issus du monde entier) ayant été analysés à l'Université de Neuchâtel présentent une contamination par un ou plusieurs pesticides couramment utilisés. Cependant, les quantités trouvées sont toutes inférieures aux teneurs maximales autorisées pour la consommation humaine (*Mitchell et al., 2017*).

2.3 Pratique apicole

Des contaminations issues des pratiques apicoles peuvent se retrouver dans les abeilles et donc dans les produits finaux. Les acaricides utilisés dans la lutte contre le varroa sont liposolubles et s'accumulent dans la cire (coumaphos, fluméthrine, amitraze ou bromopropylate), et d'autres sont hydrosolubles, comme l'acide oxalique, et peuvent se retrouver dans le miel (*Kast, 2023*).

Aussi, certaines peintures utilisées dans la protection du bois de ruches peuvent contenir des fongicides ou des insecticides, ce qui, à terme, peut conduire à une contamination du miel (*Bogdanov et al., 2001*).

3.- Métaux lourds

La majorité des métaux lourds sont des éléments chimiques possédant un poids spécifique élevé (égal ou supérieur à 5g/cm³) tels que le plomb, le mercure, le chrome, l'arsenic ou le nickel (*Jost-Tse, 2018*). Le terme *ETM* (éléments-traces métalliques) tend à remplacer celle de *métaux lourds* pour mieux agrouper ces éléments.

Si les ETM sont pour la plupart toxiques, certains d'entre eux ne le sont que s'ils dépassent un certain seuil (*Pourret, 2018*).

Parmi ces ETM, les oligo-éléments comme le fer, le zinc, le cuivre ou le chrome sont nécessaires à l'être humain, aux animaux et aux végétaux. De ce fait, des carences ainsi que des surdoses sont causes d'anomalies (*Jost-Tse, 2018; Berger, 2012*). A titre d'exemple, une étude (*Monchanin et al., 2021*) démontre que le plomb absorbé par les abeilles, même en faibles quantités, a des effets néfastes conduisant à la formation de têtes plus petites pouvant réduire leurs fonctions cognitives et diminuant ainsi l'apprentissage olfactif. L'annexe n°2 montre les effets de concentrations chroniques de plomb dans les abeilles.

Cependant, les métaux lourds sont aujourd'hui largement présents dans l'environnement ainsi que dans plusieurs pans de l'activité humaine. La législation suisse donne les teneurs maximales en métaux lourds pouvant être présentes dans les produits d'utilisation fréquente tels que les textiles, le bois, les peintures, les équipements électroniques ou encore certains produits utilisés dans la chaîne alimentaire (*OFEV, 2022*).

4.- Aire d'étude

Cette étude a été réalisée dans les communes de Monthey, de Collombey et de Bex pendant les périodes apicoles 2022 et 2023, dans des colonies sédentaires.

Le tableau n°1 indique l'emplacement des différents ruchers visités :

n° Rucher	Latitude, longitude
1	46.25885, 6.95792
2	46.25064, 6.97409
3	46.27614, 6.92630
4	46.25165, 6.95375
5	46.24910, 7.01738
6	46.25353, 6.99750
7	46.23933, 6.91026
8	46.24530, 6.85014
9	46.14715, 6.54446

Tableau n°1 : emplacements des ruchers

L'image n°3 rapporte l'emplacement des deux ruchers témoins situés en montagne, à une altitude d'environ 1330m.

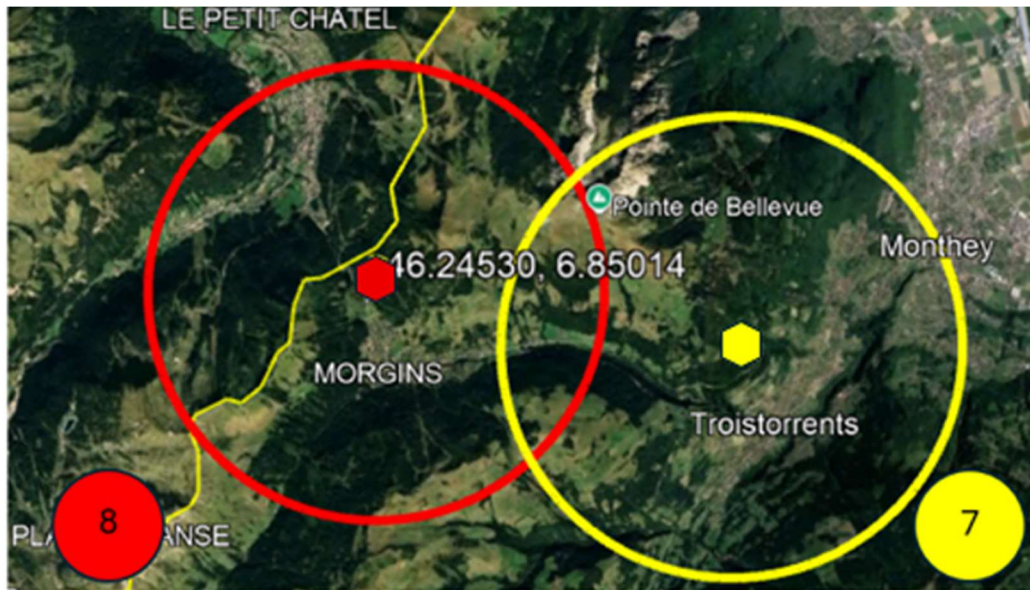


Image n°3 : Zone d'échantillonnage en altitude, année 2023
Source : Mabel Hutchinson

L'image n°4 montre les zones d'étude en plaine (altitude env. 430m) de l'année 2023, proches du site chimique de Monthey, ainsi qu'un rucher situé près de l'ancienne raffinerie de pétrole de Collombey et deux autres situés dans la commune de Bex. Chaque couleur correspond à un rucher différent. La grandeur des cercles représente une zone de butinage de 3km autour du rucher.

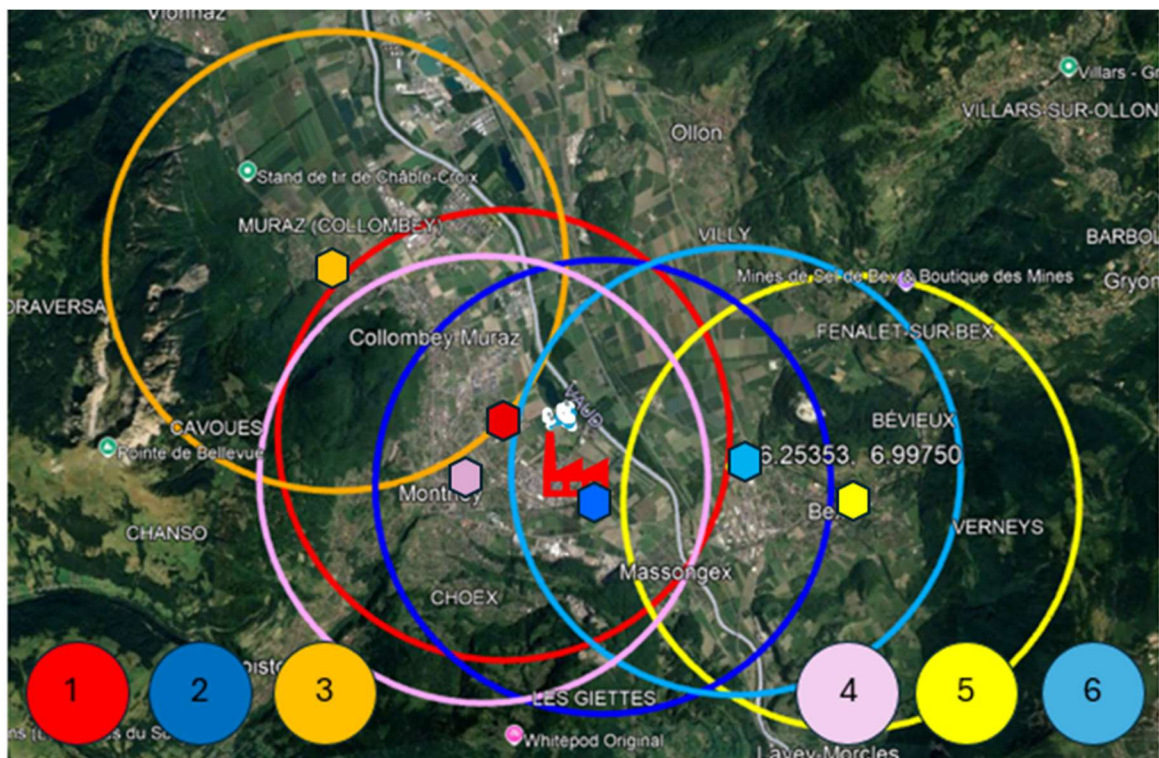


Image n°4 : Zone d'échantillonnage en plaine, année 2023
Source : Mabel Hutchinson

5.- Matériel et méthode

5.1 Matériel d'échantillonnage

L'échantillonnage s'est effectué durant deux saisons apicoles avec la collaboration des apiculteurs locaux et de la SAM (Société d'Apiculture de Monthey). Des colonies fortes ont été choisis au hasard. Les prélèvements ont été réalisés comme suit :

- Abeilles :

Durant la saison 2022, une trentaine d'abeilles ont été récoltées à l'intérieur du corps de ruche sans distinction entre les métiers de celles-ci (nourrices, nettoyeuses, butineuses, etc.).

Lors de la saison apicole 2023, une trentaine de butineuses ont été aspirées lors de leur retour à la colonie à l'aide d'un aspirateur avec accumulateur, le filtre interne ayant été préalablement protégé avec un filtre en nylon pour éviter tout contact du premier avec les abeilles (image n°5).

Une fois collectés, les échantillons (années 2022 et 2023), ont été transportés dans des flacons fermés jusqu'au laboratoire pour être congelés à -18°C pour conservation (*Giglio et al., 2017*). Un triage fut réalisé pour écarter la présence d'éventuels faux bourdons.



Image n°5 : Aspirateur pour la récolte d'abeilles
Source : (*Landi, 2024*)

- Miel :

Collecté avec une spatule en téflon directement à partir de la ruche pour l'obtention d'environ 10 g de miel mûr par colonie (*Roman et al., 2011*). Les échantillons ont été gardés dans des pots en verre à 20°C et à l'abri de la lumière.

- Propolis et cire :

La surface interne de la colonie a été grattée manuellement avec une spatule en téflon pour l'obtention de 5 g de propolis et de 5 g de cire (*Formicki et al., 2013*). Les échantillons ont été gardés dans des flacons à 20°C et à l'abri de la lumière.

- Pollen :

Environ 7 jours après l'échantillonnage des abeilles, de la cire, de la propolis et du miel, des trappes à pollen standards ont été installées dans les colonies. Celles-ci sont restées ouvertes pendant 48 heures afin que les abeilles s'accoutument à la nouvelle configuration de la ruche. La récolte s'est réalisée vingt-quatre heures après que les peignes des trappes furent installés. Les échantillons ont été gardés dans des flacons à

-18°C pour conservation (Carron, 2022). Des images des récoltes de pollen se trouvent dans l'annexe n°6.

5.2 Echantillonnage

5.2.1 Echantillonnage préliminaire 2022

Une étude préliminaire a été effectuée durant la saison apicole 2022, mais seuls les ruchers numéro 1, 2, 3, 5, 6 et 9 ont été visités. Le tableau n°2 indique les dates de prélèvement des échantillons d'abeilles, de cire, de propolis et de miel.

n° Rucher	Date d'échantillons : Abeilles, cires, propolis et miel
1	30.09.2022
2	24.08.2022
3	06.08.2022
5	30.07.2022
6	20.09.2022
9	09.07.2022

Tableau n°2 : échantillonnage 2022

5.2.2 Echantillonnage 2023

Les rucher n°4 a été rajouté en plaine, ainsi que les n°7et 8 situés en montagne. Le rucher n°9 n'a pas pu être échantillonné car les colonies n'y étaient pas assez fortes. Le tableau n°3 indique les dates de prélèvement des échantillons d'abeilles, de cire, de propolis, de miel et de pollen. La récolte de pollen a été annexée à l'étude.

n° Rucher	Date d'échantillons : Abeilles, cires, propolis et miel	Date d'échantillons : Pollen
1	02.06.2023	07.06.2023
2	03.06.2023	11.06.2023
3	06.06.2023	14.06.2023
4	07.06.2023	22.06.2023
5	09.06.2023	27.06.2023
6	11.06.2023	16.07.2023
7	14.06.2023	20.07.2023
8	14.06.2023	24.07.2023

Tableau n°3 : échantillonnage 2023

5.3 Préparation des échantillons

Les abeilles ont été préalablement séchées à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant avant d'être broyées au mortier afin d'homogénéiser l'échantillon.

Une quantité connue de matériel (abeilles broyées 20-70 mg, miel 350-750 mg, propolis 100-130 mg, cire 100-130 mg et pollen 400-600 mg) a été introduite dans un réacteur en téflon avec 2.5 ml d'acide nitrique HNO₃ (Rotipuran Supra 69%, ROTH, Germany) et 2.5 ml de peroxyde d'hydrogène H₂O₂ (analytical reagent grade, Fisher Scientific, UK) pour être minéralisée par micro-onde (Titan MPS, PerkinElmer, Waltham, MA).

La digestion s'est faite en deux étapes : une première étape consiste à chauffer le réacteur jusqu'à 175°C en 25 minutes, puis une seconde étape en maintenant cette température pendant 10 minutes.

Les échantillons minéralisés ont été transférés dans des tubes Falcon PP de 15 ml puis placés au frigo à 5°C jusqu'à l'analyse par ICP-OES. Un blanc de minéralisation a été préparé avec la même procédure mais sans ajout de matériel.

Un standard interne, l'yttrium Y, a été ajouté aux échantillons, aux standards et aux blancs avant l'analyse par ICP-OES. Le standard interne est une solution d'yttrium (Atomic spectroscopy standard, PerkinElmer Pure, 2% HNO₃, 1000 ppm) avec une concentration de 1 mg/l, préparé dans l'eau MilliQ – 2% HNO₃ (w/w).

5.4 Méthode d'analyses

5.4.1 Instrument ICP-OES

Les métaux ont été analysés sur un AVIO 550 max muni d'un échantillonneur automatique S23 (PerkinElmer, Waltham, MA). L'instrument a été opéré en mode axial dans les conditions suivantes :

- RF power 1450 W
- Nébuliseur, chambre cyclonique, débit de 0.7 ml/min, azote (qualité 5.0)
- Plasma, débit de 8 ml/min, argon (qualité 5.0)
- Gaz auxiliaire, débit de 0.2 ml/min, air comprimé sec.

L'échantillon a été injecté dans le plasma avec un débit de 1.30 ml/min. Entre chaque échantillon, un rinçage du système a été effectué avec une solution eau MilliQ (18Ω) – 2% HNO₃ (w/w) (HNO₃ 65%, Suprapur®, Merck KgaA, Germany) pendant 60 secondes.

Les mesures sont des tri-réplicats, avec les longueurs d'ondes suivantes, tableau n°4 :

Elément	Symbole	Longueur d'onde (nm)
Cuivre	Cu	327.393
Nickel	Ni	231.604
Cobalt	Co	228.616
Lithium	Li	670.784
Arsenic	As	188.979
Chrome	Cr	267.716
Fer	Fe	238.204
Cadmium	Cd	228.802
Zinc	Zn	206.200
Plomb	Pb	220.353
Mercure	Hg	253.652
Yttrium	Y	371.029

Tableau n°4 : longueurs d'onde de différents éléments analysés

Les solutions de calibration, de 0 à 1 mg/Kg, sont préparées dans l'eau MilliQ – 2% HNO₃ (w/w) à partir du standard PlasmaCAL-SCP33MS (référence 140-130-321), SCP Science (Courtaboeuf, France) et du standard PerkinElmer Pure (référence N9300235).

5.4.2 Limites de détection et de quantification

Les limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) pour chaque élément ont été définies comme suit :

- $LOD = [(conc\ STD - conc\ blanc) / (moyenne\ du\ nbre\ cps\ STD - moyenne\ du\ nbre\ cps\ blanc)] \times (3 \times SD\ blanc)$
- $LOQ = LOD \times (10/3)$

Où : *conc STD* est la concentration du standard, *conc blanc* est la concentration de l'élément dans le blanc, *SD* est la déviation standard et *cps* est le nombre de coups par seconde.

Les LOD et LOQ ont été calculées à deux concentrations différentes, à 0.1 et 1 mg/Kg (tableau n°5).

Elément	Concentration 0.1 mg/Kg		Concentration 1 mg/kg	
	LOD (mg/Kg)	LOQ (mg/Kg)	LOD (mg/Kg)	LOQ (mg/Kg)
Cu	0.001	0.002	0.001	0.002
Ni	0.003	0.009	0.003	0.008
Co	0.001	0.003	0.001	0.003
Li	0.001	0.001	0.001	0.001
As	0.021	0.069	0.017	0.057
Cr	0.001	0.002	0.001	0.002
Fe	0.001	0.003	0.001	0.003
Cd	0.001	0.004	0.001	0.004
Zn	0.001	0.004	0.001	0.004
Pb	0.007	0.022	0.006	0.020
Hg	0.005	0.017	0.006	0.020

Tableau n°5 : limites de détection et quantification

Les courbes d'étalonnage pour tous les éléments analysés sont linéaires. Celles pour l'As, Hg et Pb se trouvent dans les annexes n°3, 4 et 5.

6.- Résultats

6.1 Résultats préliminaires 2022

Les échantillons récoltés l'année 2022 ont été utilisés pour des essais préliminaires pour la préparation et la mise en place des méthodes. Seul un échantillonnage d'abeilles, de cire d'aspect nouveau, de propolis et de miel a été réalisé.

Les éléments analysés sont : Cu, Ni, Co, Li, As, Cr, Fe, Cd, Zn, Pb et Hg. Les valeurs pour le Li, As, Cd et Hg dans tous les échantillons sont inférieures aux LOD.

La valeur de Co dans l'échantillon de propolis du rucher n°1 est de 1.021mg/Kg. Dans le reste des échantillons, les résultats sont inférieurs aux LOD (0.001mg/Kg) et ne sont donc pas présents dans le tableau correspondant (tableau n°6).

Le Pb a été détecté dans l'échantillon d'abeilles du rucher n°1 (=0.657mg/Kg), et de propolis des ruchers n°2 (0,665 mg/Kg) et 3 (1,059mg/Kg). Dans le reste des échantillons d'abeilles, de cire, de propolis et du miel, les valeurs sont inférieures aux LOD (0.007mg/Kg).

	Rucher	Date d'échantillon	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Abeilles	1	13.09.2022	16,745	0,328	<LOD	98,766	58,821
	2	24.08.2022	13,608	0,439	<LOD	77,486	73,874
	3	06.08.2022	23,347	<LOD	<LOD	145,744	89,144
	5	30.07.2022	11,898	<LOD	<LOD	93,278	68,531
	6	20.09.2022	13,371	<LOD	<LOD	68,492	54,303
	9	09.07.2022	13,496	<LOD	<LOD	98,565	54,395
Propolis	1	13.09.2022	1,753	<LOD	0,511	100,445	116,899
	2	24.08.2022	3,379	0,689	0,927	268,467	21,015
	3	06.08.2022	2,339	<LOD	0,879	147,860	53,196
	5	30.07.2022	3,344	0,383	2,224	123,242	85,670
	6	20.09.2022	2,421	0,598	2,123	146,322	81,628
	9	09.07.2022	2,052	0,678	1,048	393,590	362,158
Cire	1	13.09.2022	0,539	<LOD	<LOD	16,447	4,134
	2	24.08.2022	0,358	<LOD	<LOD	16,309	8,244
	3	06.08.2022	1,056	<LOD	<LOD	16,031	2,784
	5	30.07.2022	0,471	<LOD	<LOD	17,889	8,166
	6	20.09.2022	0,588	<LOD	<LOD	16,667	5,008
	9	09.07.2022	0,479	<LOD	<LOD	34,291	2,737
Miel	1	13.09.2022	0,058	<LOD	<LOD	2,123	0,198
	2	24.08.2022	0,194	<LOD	<LOD	1,156	0,568
	3	06.08.2022	0,189	<LOD	<LOD	0,903	0,507
	5	30.07.2022	0,280	0,046	<LOD	0,694	0,307

	6	20.09.2022	0,065	<LOD	<LOD	0,309	0,812
	9	09.07.2022	0,463	0,268	<LOD	0,983	0,365

Tableau n°6 : analyses saison apicole 2022

6.2 Résultats 2023

L'année 2023, trois échantillons d'abeilles, de cire d'aspect nouveau, de cire d'aspect ancien, de propolis, de miel et de pollen ont été collectés.

Les éléments analysés sont : Cu, Ni, Co, Li, As, Cr, Fe, Cd, Zn, Pb et Hg.

6.2.1 Abeilles :

Les résultats des analyses pour le Co, Li, As, Cd, Pb et Hg sont inférieurs aux LOD. Ces éléments ne sont donc pas présents dans le tableau ci-dessous.

Echantillon	Rucher	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
A 1.1	1	30,676	0,840	0,515	240,014	132,728
A 1.2		35,737	1,006	0,537	230,499	138,573
A 1.3		30,704	0,937	<LOD	225,549	130,134
A 2.1	2	34,489	1,327	<LOD	234,292	128,728
A 2.2		32,999	1,036	0,789	266,661	124,256
A 2.3		32,799	1,450	0,608	238,172	121,222
A 3.1	3	34,004	1,387	<LOD	194,151	99,691
A 3.2		34,979	0,441	0,568	214,744	99,739
A 3.3		34,297	0,109	<LOD	225,604	112,558
A 4.1	4	41,751	2,936	0,965	284,718	178,077
A 4.2		35,576	2,911	1,212	267,477	162,487
A 4.3		41,845	5,432	1,338	291,995	185,807
A 5.1	5	39,834	1,351	<LOD	226,994	170,592
A 5.2		38,384	2,399	<LOD	231,998	157,088
A 5.3		38,765	2,546	<LOD	254,762	184,614
A 6.1	6	37,615	3,660	1,239	289,193	158,211
A 6.2		45,109	1,702	<LOD	354,324	185,210
A 6.3		45,038	2,350	<LOD	341,378	216,784
A 7.1	7	38,622	2,202	<LOD	288,518	206,038
A 7.2		44,902	1,983	<LOD	282,451	198,008
A 7.3		40,873	2,146	<LOD	287,972	282,119
A 8.1	8	39,960	2,059	<LOD	300,525	191,843
A 8.2		48,793	2,052	<LOD	360,044	249,125
A 8.3		53,201	3,092	<LOD	342,317	251,263

Tableau n°7 : abeilles

6.2.2 Propolis :

Les résultats pour le Co, Li, As, Cd, Pb et Hg sont inférieurs aux LOD dans tous les échantillons et ne sont pas présents dans le tableau ci-dessous.

Echantillon	Rucher	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
PR 1.1	1	0,411	<LOD	<LOD	18,026	10,838
PR 1.2		0,936	0,270	<LOD	38,091	10,712
PR 1.3		0,969	<LOD	<LOD	45,517	59,131
PR 2.1	2	1,286	<LOD	<LOD	93,989	48,044
PR 2.2		2,515	1,423	0,864	419,223	139,579
PR 2.3		2,632	0,615	0,793	509,186	217,548
PR 3.1	3	3,028	0,616	<LOD	269,323	257,815
PR 3.2		1,430	0,361	<LOD	93,428	12,285
PR 3.3		1,650	0,631	0,559	154,370	18,763
PR 4.1	4	2,005	0,474	<LOD	73,846	30,530
PR 4.2		1,702	0,379	0,876	135,996	84,421
PR 4.3		1,983	0,450	0,571	132,025	100,400
PR 5.1	5	5,922	0,769	1,874	349,546	173,074
PR 5.2		5,151	0,917	1,637	363,892	187,880
PR 5.3		2,365	0,232	0,986	189,028	53,538
PR 6.1	6	0,771	<LOD	<LOD	16,557	6,652
PR 6.2		1,593	<LOD	<LOD	44,434	11,547
PR 6.3		0,970	<LOD	<LOD	34,653	12,113
PR 7.1	7	1,673	0,531	1,550	360,441	273,901
PR 7.2		1,371	<LOD	0,830	184,537	350,694
PR 7.3		2,005	0,861	2,595	207,073	255,095
PR 8.1	8	3,286	0,838	2,860	115,686	181,277
PR 8.2		2,290	1,056	2,321	111,224	153,805
PR 8.3		2,017	1,125	2,000	162,750	260,424

Tableau n°8 : propolis

6.2.3 Cire

Pour la saison apicole 2023, les cires analysées se répartissent ainsi : un échantillon de cire suisse conditionnée en France et trois autres provenant de fournisseurs locaux, la cire de l'année (aspect nouveau, coloration plus claire) et la cire des saisons précédentes (aspect ancien, coloration foncée).

- Cire des fournisseurs :

Seuls le Fe et Zn ont été détectés, les autres éléments sont inférieurs aux LOD et ne sont donc pas présents dans le tableau suivant.

Echantillon	Fournisseur	Lieux	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
SF1	Suisse	Suisse-France	1,303	0,315
SF2			3,159	0,972
SF3			1,627	0,962
B1	Barman	1890 Vérolliez	2,640	1,243
B2			1,609	1,300
B3			2,419	1,081
M1	Bienen & Meier	1880 Bex	1,889	0,318
M2			1,320	0,007
M3			1,495	0,238
R1	Rhitner	1870 Monthey	2,108	0,654
R2			2,317	0,380
R3			2,147	0,327

Tableau n°9 : cire fournisseurs locaux

- Cire d'aspect nouveau :

Seuls le Cu, Fe et Zn ont été détectés, les autres éléments sont inférieurs aux LOD et ne sont donc pas présents dans le tableau ci-dessous.

Echantillon	Rucher	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
C 1.1	1	0,771	25,021	6,714
C 1.2		<LOD	13,677	3,342
C 1.3		<LOD	10,791	3,552
C 2.1	2	0,502	22,363	8,391
C 2.2		<LOD	22,106	14,038
C 2.3		<LOD	14,347	7,740
C 3.1	3	0,422	6,984	2,260
C 3.2		0,617	10,416	2,796
C 3.3		0,682	14,877	4,105
C 4.1	4	1,309	19,389	4,673
C 4.2		0,500	21,370	3,006
C 4.3		<LOD	12,051	8,433
C 5.1	5	<LOD	12,655	3,652
C 5.2		<LOD	5,569	2,059
C 5.3		0,434	6,197	2,358
C 6.1	6	0,490	10,704	3,767
C 6.2		0,300	4,097	2,347
C 6.3		0,326	8,224	4,008
C 7.1	7	<LOD	5,990	2,718
C 7.2		*	*	*
C 7.3		*	*	*

C 8.1	8	0,370	5,023	8.059
C 8.2		0,361	4,463	6,678
C 8.3		<LOD	3,694	3,649

Tableau n°10 : cire aspect nouveau

* Pourriture dans les pots : les analyses n'ont pas été réalisées.

- Cire d'aspect ancien :

Les résultats des analyses pour le Co, Li, As, Cd, Pb et Hg sont inférieurs aux LOD et ne sont donc pas présents dans le tableau suivant.

Echantillon	Rucher	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
CO 1.1	1	0,686	<LOD	<LOD	11,445	5,320
CO 1.2		1,317	<LOD	<LOD	34,390	10,827
CO 1.3		2,876	<LOD	<LOD	63,077	17,964
CO 2.1	2	1,505	<LOD	<LOD	50,268	49,553
CO 2.2		0,905	<LOD	<LOD	36,858	30,177
CO 2.3		2,721	<LOD	<LOD	47,985	53,232
CO 3.1	3	0,359	<LOD	<LOD	19.306	12.279
CO 3.2		7,668	0,418	<LOD	22,620	45,867
CO 3.3		2,871	<LOD	<LOD	23,873	13,113
CO 4.1	4	6.230	2.235	0.287	66,643	42.870
CO 4.2		3,124	<LOD	0,272	62,578	19,705
CO 4.3		7,239	<LOD	0,436	71.907	53,029
CO 5.1	5	0,478	<LOD	<LOD	24,297	9,758
CO 5.2		0,660	<LOD	<LOD	21,306	11,094
CO 5.3		0,485	<LOD	<LOD	19,099	9,608
CO 6.1	6	*	*	*	*	*
CO 6.2		*	*	*	*	*
CO 6.3		*	*	*	*	*
CO 7.1	7	2,226	<LOD	<LOD	58,650	65,570
CO 7.2		4,098	0,578	<LOD	39,438	47,985
CO 7.3		1,575	<LOD	<LOD	39,477	42,781
CO 8.1	8	12,820	3,148	0,529	37,591	118,546
CO 8.2		5,549	1,038	<LOD	24,683	66,820
CO 8.3		9,169	2,139	<LOD	29,536	83,041

Tableau n°11 : cire aspect ancien

* Pourriture dans les pots, les analyses n'ont pas été réalisées.

Les résultats de l'échantillon CO8.1 n'ont pas pu être confirmés cars il avait pourri.

6.2.4 Pollen :

Les valeurs d'As, Li, Cd, Pb et Hg sont inférieures aux LOD et ne sont pas présentes dans le tableau ci-dessous.

Echantillon	Rucher	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
P1.1	1	8,481	1,028	0,155	0,706	78,058	35,929
P1.2		9,099	0,710	<LOD	0,575	64,714	33,799
P1.3		10,349	0,757	<LOD	0,252	70,171	39,629
P2.1	2	10,138	1,532	<LOD	0,501	56,300	54,691
P2.2		9,531	1,380	<LOD	0,459	53,833	43,877
P2.3		11,860	1,543	<LOD	0,535	60,350	52,582
P3.1	3	7,521	3,133	0,092	0,468	146,599	49,624
P3.2		2,699	1,000	<LOD	0,112	49,966	17,569
P3.3		7,822	3,295	0,114	0,459	153,818	50,948
P4.1	4	8,290	0,769	<LOD	0,378	38,727	51,336
P4.2		9,474	0,978	<LOD	0,520	72,652	51,655
P4.3		8,079	0,796	<LOD	0,409	55,707	47,437
P5.1	5	7,785	6,631	0,369	0,364	158,235	59,251
P5.2		8,372	5,430	0,301	0,432	158,902	60,260
P5.3		9,122	5,989	0,374	0,760	159,566	65,938
P6.1	6	4,904	0,226	<LOD	0,503	35,311	56,732
P6.2		3,917	0,346	<LOD	0,433	33,269	44,215
P6.3		5,946	0,851	<LOD	0,477	48,146	44,113
P7.1	7	10,136	1,364	<LOD	0,481	51,195	54,007
P7.2		10,984	1,547	<LOD	0,497	50,265	57,890
P7.3		11,405	1,766	<LOD	0,582	66,621	49,865
P8.1	8	8,366	1,815	<LOD	0,426	65,440	36,875
P8.2		8,530	1,953	<LOD	0,440	73,259	37,380
P8.3		9,380	2,267	<LOD	0,429	73,724	38,164

Tableau n°12 : pollen

6.2.5 Miel :

Les résultats des analyses pour le Co, Li, As, Cr, Cd, Pb et Hg sont inférieurs aux LOD, ces éléments ne sont donc pas présents dans le tableau suivant.

Echantillon	Rucher	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
M1.1	1	0,226	<LOD	0,656	0,565
M1.2		0,456	<LOD	1,080	0,822
M1.3		0,205	<LOD	0,572	0,515
M2.1	2	0,635	0,129	1,557	1,211
M2.2		0,583	0,132	1,659	1,198
M2.3		0,739	0,187	1,815	1,442
M3.1	3	0,686	0,138	1,449	1,135
M3.2		0,767	0,176	1,549	1,046
M3.3		0,739	0,212	2,215	1,126
M4.1	4	0,757	0,252	1,443	1,209
M4.2		0,726	0,206	1,428	1,126
M4.3		0,763	0,158	1,603	1,199
M5.1	5	1,489	0,208	1,872	1,680
M5.2		1,578	0,175	1,528	1,602
M5.3		1,613	0,149	1,769	1,635
M6.1	6	0,157	<LOD	0,390	0,375
M6.2		0,409	<LOD	0,500	0,640
M6.3		0,282	<LOD	0,832	0,433
M7.1	7	0,432	<LOD	0,441	0,686
M7.2		0,413	<LOD	0,327	0,611
M7.3		0,460	0,107	0,410	0,591
M8.1	8	0,210	<LOD	0,253	0,406
M8.2		0,226	<LOD	0,347	0,598
M8.3		0,218	<LOD	0,256	0,421

Tableau n°13 : miel

7.- Discussions

7.1 Essais préliminaires 2022

Comme décrit dans le point 6.1, les échantillons de l'année 2022 ont été utilisés pour des essais préliminaires pour la préparation et la mise en place des méthodes.

Les résultats des analyses des abeilles montrent des valeurs plus basses pratiquement pour tous les éléments en comparaison de celles de 2023. Cette différence est probablement due au fait que les abeilles ont été récoltées à l'intérieur du corps

de ruche (voir point 6.1) : ainsi, certaines d'entre elles n'avaient jamais été exposées à l'environnement extérieur.

Le Li, As, Cd, et Hg n'ont été détectés dans aucun échantillon. Le Pb a été quantifié dans un échantillon d'abeille, et dans deux de propolis. Le Co est présent dans un échantillon de propolis.

Le Ni est présent dans les abeilles des ruchers n°1 et 2, dans la propolis des ruchers n°2, 5, 6 et 9 ainsi que dans deux échantillons de miel.

Le Cr est présent dans tous les échantillons de propolis mais est inférieur à la LOD (0.001mg/Kg) dans les abeilles, la cire et le miel.

Le tableau suivant résume l'ordre de pollution de différents éléments détectés l'année 2022 :

Elément	Ordre de grandeur de la contamination
Cu	Abeilles > propolis > cire > miel
Ni	Propolis > abeilles
Cr	Propolis
Fe	Propolis > abeilles > cire > miel
Zn	Propolis > abeilles > cire > miel
Pb	Propolis ≥ abeilles

Tableau n° 14 : Ordre de grandeur de la contamination

7.2 Essais 2023

Le Li, As, Cd, Pb et Hg n'ont été détectés dans aucun échantillon.

7.2.1 Abeilles

Les éléments quantifiés sont le Cu, Ni, Cr, Fe et Zn.

Les valeurs de Cu fluctuent entre 30,676 et 53,201mg/Kg et celles de Ni entre 0,109 et 5,432 mg/Kg.

La présence de Cr n'a été détectée ni dans les ruchers n° 7 et 8, situés en montagne, ni dans le n°5, le plus éloigné du site chimique de Monthey. Dans les autres ruchers situés en plaine, les valeurs du Cr oscillent entre 0,515 et 1,338 mg/Kg.

Le Fe varie entre 194,151 et 360,044 mg/Kg. Les valeurs pour le Zn oscillent entre 99,691 et 282.119 mg/Kg, les résultats les plus élevés pour cet élément se trouvent dans les échantillons des ruchers témoins situés dans les zones de pâturage. En effet, des recherches montrent une concentration plus élevée dans les sols des prairies et des pâturages (*Reusser, 2023*).

7.2.2 Propolis

Les éléments quantifiés sont le Cu, Ni, Cr, Fe et Zn.

Les valeurs pour le Cu varient entre 0.411 et 5.922 mg/Kg et celles de Ni entre 0.232 et 1.423 mg/Kg. Les résultats de Ni dans le rucher n°6 sont inférieurs à la LOD (0.003 mg/Kg).

Dans les ruchers n°1 et 6, les résultats des analyses de Cr sont inférieurs à la LOD (0.001 pmg/Kg). Les valeurs des autres ruchers oscillent entre 0,559 et 2.860 mg/Kg.

Les résultats du Fe peuvent varier au sein d'un même rucher : par exemple, dans le n°1, la valeur la plus basse est de 18,026 mg/Kg et la plus élevée de 45,517 mg/Kg. Dans le n°2, les valeurs fluctuent entre 93,989 et 509,186 mg/Kg. Il n'est pas possible d'affirmer où se trouvent les valeurs plus élevées : dans la zone d'étude ou dans les ruchers témoins.

Les résultats des analyses pour le Zn montrent également certaines variations, les valeurs allant de 6.652 à 350.694 mg/Kg. Les résultats trouvés en altitude sont plus élevés.

Les apiculteurs sollicités n'utilisent pas de grilles afin de récolter la propolis. Comme signalé dans le point 6.1, les échantillons ont été pris en grattant la surface supérieure du corps de la ruche avec une spatule en téflon. Si cette opération n'a pas été faite correctement, cela peut justifier les écarts dans les résultats. En effet, selon une étude, il est possible qu'une contamination d'échantillons soit due à l'abrasion des parties métalliques des ruches (*Conti et Botrè, 2001*).

7.2.3 Cire

Cire des fournisseurs :

Seuls le Fe et Zn ont été quantifiés.

Les résultats pour le Fe varient entre 1,303 et 3,159 mg/Kg et pour le Zn entre 0,007 et 1,300 mg/Kg.

Cire d'aspect nouveau :

Les éléments quantifiés sont le Cu, Fe et Zn.

Dans certains échantillons le Cu est inférieur à la LOD (0.001 mg/Kg), sinon les valeurs fluctuent entre 0.300 et 1,309 mg/Kg.

Le Fe varie entre 3,694 et 25,021 mg/Kg. Les valeurs du Zn se trouvent entre 2,059 et 14.038 mg/Kg.

Les résultats ne montrent pas de grandes différences entre les échantillons de plaine et de montagne.

Concernant les échantillons C7.2 et C7.3 du rucher n°7, les analyses n'ont pas pu avoir lieu pour cause de pourriture dans les pots.

Cire d'aspect ancien :

Les éléments quantifiés sont le Cu, Ni, Cr, Fe et Zn.

Les résultats de Cu varient entre 0,359 et 12.820 mg/Kg.

Le Ni est présent dans les échantillons CO3.2 et CO4.1 ainsi que dans le CO7.2 et dans les trois échantillons du rucher n°8. Les valeurs se trouvent entre 0,418 et 3,148 mg/Kg.

Le Cr se trouve dans les ruchers n°4 et dans l'échantillon CO8.1, avec de valeurs entre 0.272 et 0.529 mg/Kg. Dans les autres ruchers, cet élément est inférieur à la LOD (0.001mg/Kg).

Le Fe varie entre 11.445 et 71.907 mg/Kg et le Zn entre 5.320 et 118,546 mg/Kg (cette valeur n'a pas pu être confirmée). Pour ce dernier élément, les résultats sont davantage élevés en montagne.

Concernant les échantillons du rucher n°6, les analyses n'ont pu avoir lieu car il y avait de la pourriture dans les pots.

En général, les cadres n'avaient pas de marquage de l'année d'introduction dans la ruche. La cire a donc été récoltée selon son aspect, plus vieux et foncé.

Une augmentation de Cu, Fe et Zn est évidente dans la cire plus ancienne. Il existe une corrélation entre l'âge de cadres de cire et l'accumulation de métaux (*Taha et al., 2010*).

7.2.4 Pollen

Les éléments détectés sont le Cu, Ni, Co, Cr, Fe et Zn.

Les valeurs de Cu dans les échantillons de pollen varient entre 2,699 et 11,860 mg/Kg. Pour le Ni, elles se trouvent entre 0,226 et 6,631 mg/Kg.

Le Co a été quantifié dans les ruchers n°1, 3 et 5. Les valeurs y varient entre 0.092 et 0,374 mg/Kg. Dans les autres échantillons, le cobalt est inférieur à la LOD (0.001mg/Kg).

Le Cr est présent dans tous les échantillons. Les résultats oscillent entre 0,112 et 0,760 mg/Kg.

La valeur la plus basse pour le Fe est de 33,269 mg/Kg et la plus élevée est de 159,566 mg/Kg. Pour le Zn les valeurs varient entre 17,569 et 65,938 mg/Kg.

Au rucher n°5, le plus éloigné du site chimique de Monthey, les résultats de Ni et Co, Fe et Zn sont les plus hauts.

7.2.5 Miel

Seuls le Cu, Ni, Fe et Zn ont été quantifié.

Le Cu se trouve dans des concentrations qui varient de 0,157 à 1,613 mg/Kg.

Le Ni fluctue entre 0,107 et 0.252 mg/Kg. Aux ruchers n°1, 6 et 8, les résultats sont inférieurs à la LOD (0.003 mg/Kg).

Le Fe oscille entre 0,253 et 2,215 mg/Kg et le Zn entre 0,375 et 1,680mg/Kg.

Les métaux se trouvent naturellement dans le miel. Indépendamment de leurs compositions, ils auront des concentrations différentes : par exemple, un miel plus foncé contient davantage de métaux qu'un miel clair. Ce phénomène semble être en étroite relation à la nature des plantes visitées par les abeilles et à la composition des sols (*Van der Steen et al., 2016*).

Selon les normes internationales, le miel doit être exempt de métaux lourds dont les concentrations pourraient être nuisibles pour l'être humain (*Codex Alimentarius, 1981*). Depuis 2016, l'Union européenne a défini la teneur maximale pour le plomb uniquement, celle-ci ne devant pas dépasser 0,1 mg/kg. (*ITSAP, 2018*).

L'apport journalier maximal recommandé est de 10 mg/jour pour le Zn, de 1 mg/jour pour le Cu et de 0.196 mg/jour pour le Ni pour une personne de 70Kg (*Warnier, 2016*).

Le tableau n°15 permet de comparer les teneurs en éléments-traces habituellement trouvées dans le miel (*Morse et al., 1980*) à celles mises en évidence au cours de cette étude. Le tableau n°16 met en parallèle les résultats de diverses études (*Dias, 2018*). Ces deux tableaux confirment les faibles concentrations en métaux lourds dans la zone d'étude et permettent donc d'affirmer que les miels analysés sont propres à la consommation humaine.

Elément	mg/Kg *	mg /Kg **
Fe	0.3 - 40	0.253 - 2.215
Zn	0.5 - 20	0.375 - 1.635
Cu	0.2 – 6.0	0.157 - 1.613
Ni	0.3 - 1.3	0.107 - 0.252
Co	0.01- 0.5	<0.001
Cr	0.1 - 0.3	<0.001
Pb	<0.02 - 0.8	<0.007
Cd	<0.005 - 0.15	<0.001

Tableau n° 15 : Teneurs en métaux lourds trouvés dans le miel

* Teneurs des éléments dans le miel (*Morse et al., 1980*).

** Résultats obtenu lors de cette recherche

Auteur, date	Pays	Concentrations mg/Kg					
		Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	Co
Ru et al., 2013	Chine	-	0.046	1.329	0.0339	0.001	-
Frías et al., 2017	Espagne	3,37	1,28	2,83	0.0373	0.004	-
Fernández-Torres et al.,2005	Espagne	-	0,531-2,117	1,332-7,825	-	-	-
Rashed et Soltan, 2004	Egypte	202	1,7	-	-	12,25	-
Przybytowski et Wilezyska, 2001	Pologne	-	-	7,76	0,048	0,015	-
Yilmaz et Yavuz, 1999	Turquie	6,6	1,8	2,7	-	-	1.0
Dias et al., 2018	Espagne	1,95	0,59	1,91	0.04	82,5	0,003

Tableau n°16 : métaux lourds dans le miel, travaux réalisés par différents auteurs (*Dias et al., 2018*).

Comme les valeurs des différents éléments détectés dans les abeilles sont plus élevées que celles trouvées dans le miel, il apparaît que les abeilles possèdent une barrière biologique leur permettant de filtrer les métaux toxiques (Dzulan et al., 2018). Ainsi, le miel ne constituerait pas une matrice adaptée pour ce type d'étude. Les meilleures matrices pour le monitoring de métaux lourds seraient donc les abeilles, la propolis, la cire et le pollen (Conti et Botrè, 2001).

Le tableau suivant résume l'ordre de pollution de différents éléments détectés l'année 2023 :

Elément	Ordre de grandeur de la contamination
Cu	Abeilles > pollen > propolis > cire (aspect ancien > aspect nouveau) > miel
Ni	Abeilles > pollen > propolis > cire aspect ancien > miel
Co	Pollen
Cr	Pollen > propolis ≥ abeilles > cire aspect ancien
Fe	Abeilles > propolis > pollen > cire (aspect ancien > aspect nouveau > fournisseurs) > miel
Zn	Abeilles > propolis > pollen > cire (aspect ancien > aspect nouveau > fournisseurs) > miel

Tableau n°17 : Ordre de grandeur de la contamination

8.- Conclusions

Aucune contamination en arsénique, cadmium, lithium ni mercure n'a été détectée dans les abeilles, la propolis, les différents types de cire, le pollen ou le miel. En 2022, la présence de plomb a été détectée dans les abeilles d'une colonie.

Dans les abeilles, la présence de chrome a été relevée dans tous les ruchers à l'exception des ruchers témoins en montagne et de celui le plus éloigné du site chimique de Monthey.

Dans la propolis, le chrome est présent indistinctement de ruchers, inclus dans les témoins. Les résultats de la propolis révèlent une probable contamination due au raclage.

Dans la cire acquise chez les différents fournisseurs régionaux ainsi que dans l'échantillon suisse conditionné à l'étranger, seulement le fer et le zinc ont été détectés, mais en faibles quantités.

Une augmentation en cuivre, fer et zinc est observée dans certains échantillons de la nouvelle cire lorsque celle-ci est comparée à la cire des fournisseurs. Une accumulation de ces trois métaux est également constatée dans la vieille cire.

Le chrome se trouve présent dans tous les échantillons de pollen. Le cobalt a uniquement été détecté dans certains échantillons de pollen et dans un de propolis.

Les abeilles, la propolis, la cire et le pollen sont d'excellentes matrices pour ce type d'étude, contrairement au miel.

Les analyses du miel montrent que les concentrations en métaux lourds sont largement en dessous des autres études, et sont conformes aux normes européennes sur les denrées alimentaires.

Ce type d'étude fournit des information sur la pollution environnementale et permet, à travers les abeilles, de déceler les divers contaminants auxquels la population est exposée. Aussi, cela offre la possibilité aux apiculteurs d'avoir une meilleure connaissance de l'état de santé de leur cheptel.

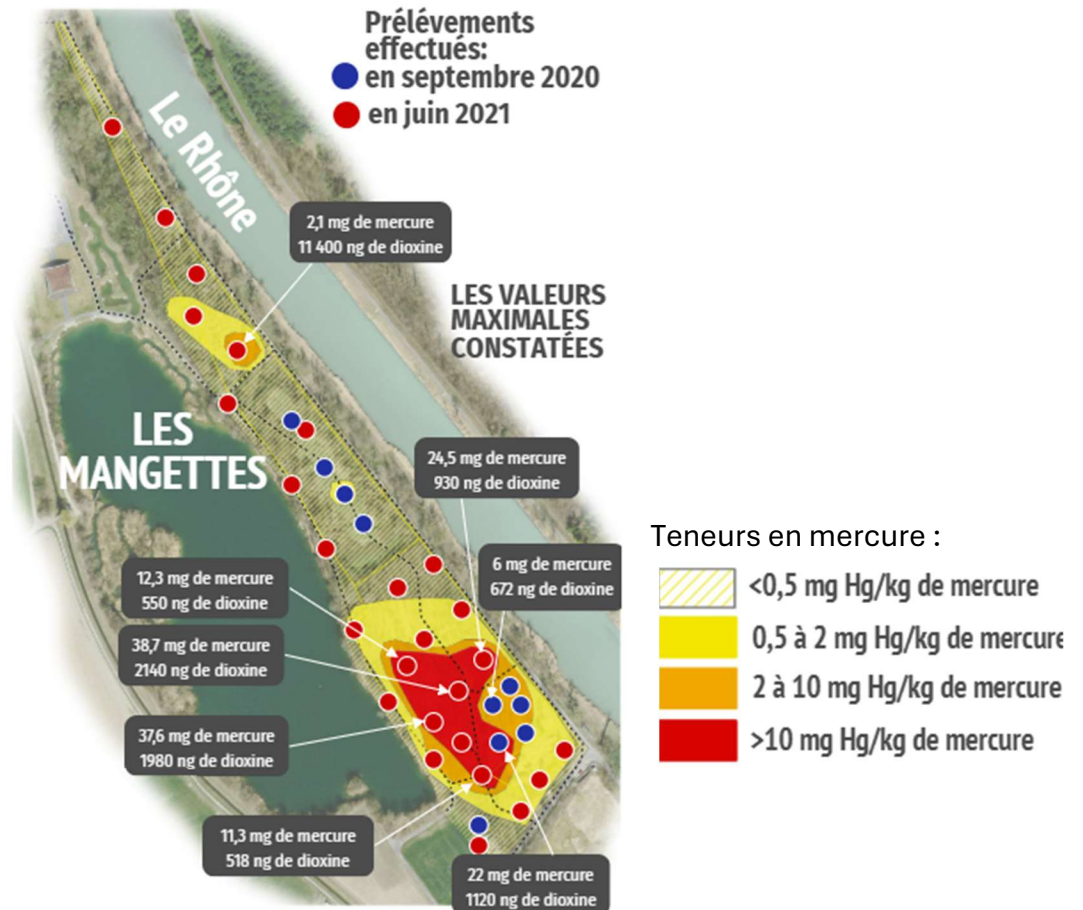
Enfin, notons que les pollinisateurs ne sont pas affectés par les concentrations en mercure détectées dans les environs de la zone d'étude.

Dans une étude future, des améliorations seraient nécessaires pour un meilleur suivi :

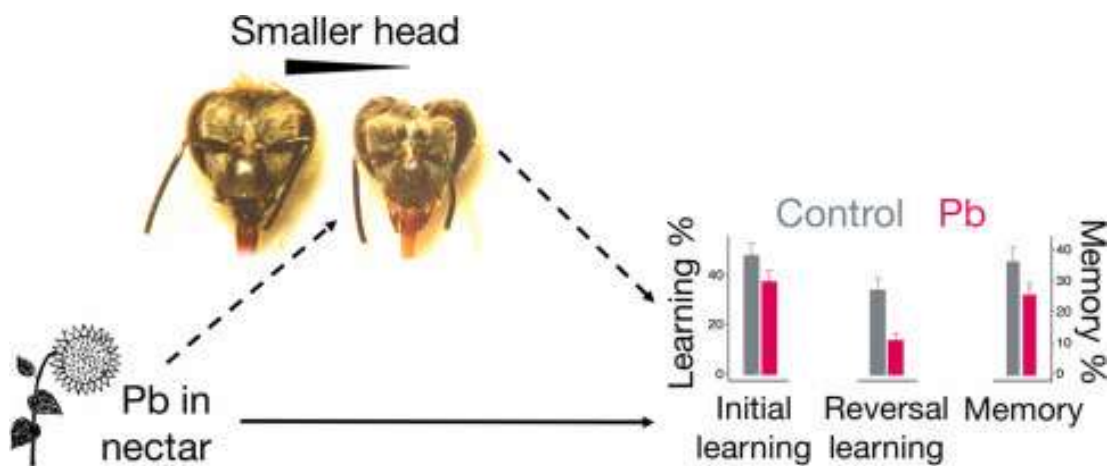
- Réaliser l'étude sur plusieurs saisons apicoles afin d'avoir davantage de données,
- Réaliser au minimum deux monitoring par année, un au début du printemps et le second en été car certains éléments se trouvent en quantités différentes dépendamment de la saison (*Roman, 2011*),
- Effectuer une recherche plus approfondie de la cire à travers plusieurs saisons, marquer l'année de la mise en place des chaque nouveau cadre serait une avantage pour pouvoir suivre l'évolution des contaminants,
- L'usage de grilles à propolis en plastique serait indispensable pour éviter une possible pollution due au raclage.

9.- Annexes

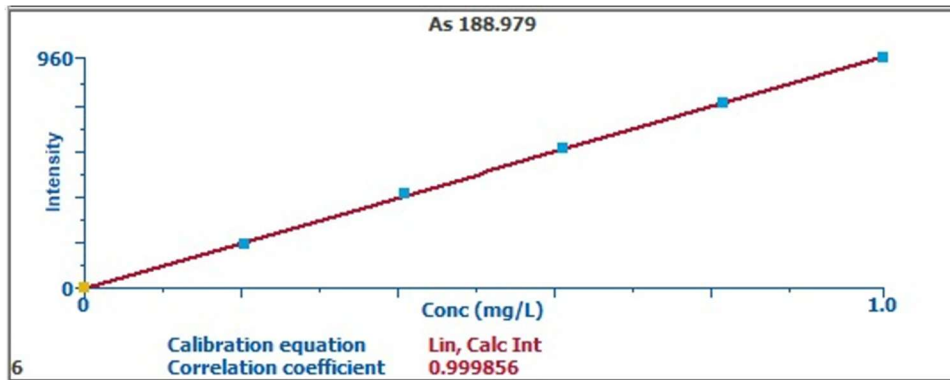
9.1 Annexe n°1, image n°6 : teneurs en mercure et en dioxines au secteur des Mangettes à Monthey. Source : Ferrari (Ferrari, 2022).



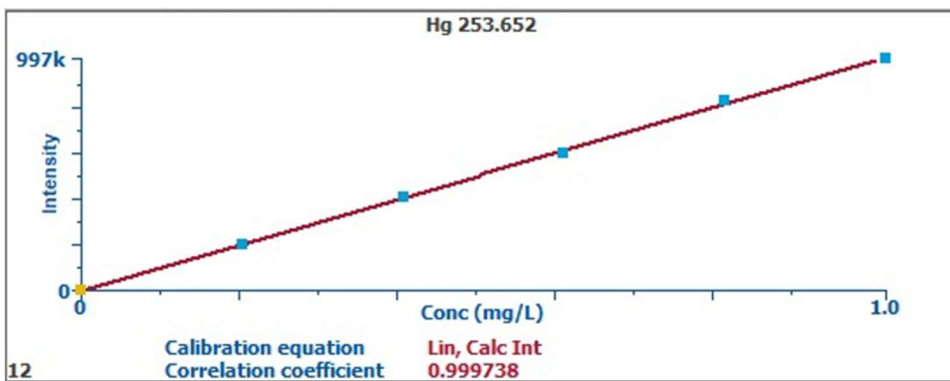
9.2 Annexe n°2, image n°7 : Effets de concentrations chroniques de plomb dans les abeilles. Source : Monchanin (Monchanin et al., 2021)



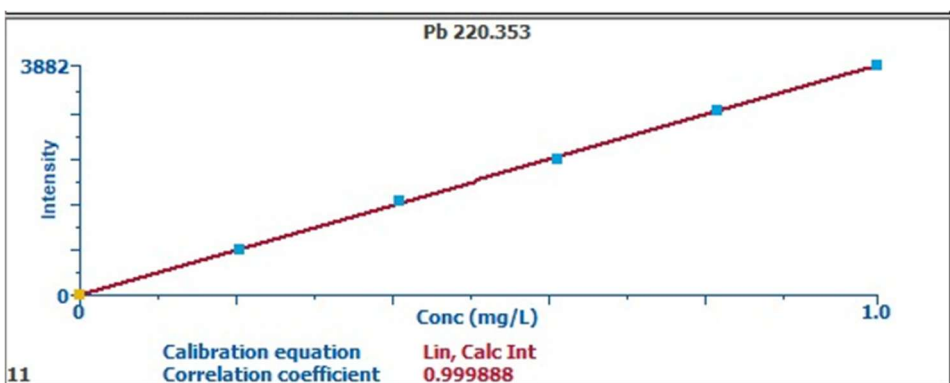
9.3 Annexe n°3 : Courbe de calibration pour l'As



9.4 Annexe n°4 : Courbe de calibration pour le Hg



9.5 Annexe n°5 : Courbe de calibration pour le Pb



9.6 Annexe n°6, images n°8 -11 : Récolte de pollen dans différents ruchers.

Source : Mabel Hutchinson.



9.7 Annexe n°7, images n°12-16 : différents ruchers étudiés. Source : Mabel Hutchinson.



Image n° 12 : Rucher n°1



Image n°13 : Rucher n°2



Image n°14 : Rucher n°7



Image n°15 : Rucher n°8



Image n°16 : Rucher n°6

10.- Références

Berger, M.M. (2012). *Oligoéléments en Suisse et en Europe*. Revue Médicale Suisse, (10), 2078-2084.

Bogdanov, S., Imdorf, A., Charrière, J-D., Fluri, P. et Kilchenmann, V. (2001). *Qualité des produits apicoles et sources de contamination*. Centre suisse de recherches apicoles. Liebefeld, CH-3003 Berne.

Carron, H. (2022). *Trappes à Pollen*. Brevet Fédéral d'Apiculture, Module 2. Châteauneuf, Valais, Suisse 22.11.2022.

Codex Alimentarius (1981) Normes Alimentaires Internationales. Normes pour le miel Référence CXS12-1981. 5.- Contaminants (5.1) : 4, dernière modification 2022.

Conti, M.E. et Botrè, F. (2001). *Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination*. Environmental Monitoring and Assessment, 69(3), 267-282.

Decourtye, A., Le Metayer, M., Renou, M., et Pham-Delègue, M.H. (2000). *Effets de doses sublétals de pesticides sur le comportement de l'abeille domestique apis mellifera l*. Actes Coll. Insectes Sociaux, 13 : 105-113.

Díaz, S., Paz, S., Rubio, C., Gutiérrez,AJ., González-Weller,D., Revert, C., Bentabol, A. et Hardisson, A. (2018). *Toxic Metals and Trace Elements in Artisanal Honeys from the Canary Islands*. Biological Trace Element Research, 1902 (2).

Di Fiore, C., Nuzzo, A., Torino, V., De Cristofaro, A., Notardonato, I., Pasarella, S., Di Giorgi, S. et Avino, P. (2022). *Honeybees as Bioindicators of Heavy Metal Pollution in Urban and Rural Areas in the South of Italy*. Journal Atmosphere 2022, 13(4), 624.

Douvris, C., Vaughan, T., Bussan, D., Bartzas, G. et Thomas, R. (2023). *How ICP-OES changed the face of trace element analysis*. Review of the global application landscape. Science of the Total Environment. 905.

Dzuga, M., Wesotowska, M., Zagula, G., Kaczmarek, M., Czernicka, M. et Puchalski, C. (2018). *Honeybees (Apis mellifera) as a biological barrier for contamination of honey by environmental toxic metals*. Environmental Monitoring and Assessment, 190(2), 101.

Fedlex, la plateforme de publication du droit fédéral (2012). *Ordonnance relative à la taxe pour l'assainissement des sites contaminés (OTAS), RO 2008 4771*.

Fernández-Torres, R., Pérez-Bernal, JL., Bello-López, MA., Callejón-Mochón, M., Jiménez-Sánchez, JC. et Guiraúm-Pérez, A. (2005). *Mineral content and botanical origin of Spanish honeys*. Talanta, 65(2), 686–691.

Ferrari, P. (2022). *Pollution à Monthey : de fortes teneurs en mercure et dioxines sur la majorité du secteur des Mangettes*. Le Nouvelliste Journal digital, 10 mars 2022.

Fresquez, P.R., Armstrong, D.R. et Pratt, L.H. (1997). *Radionuclides in bees and honey within and around los alamos national laboratory*. Journal of Environmental Science and Health 32 (5), 1309-1323.

Frías, I., Rubio, C., González-Iglesias, T., Gutiérrez, A.J., González-Weller, D. et Hardisson, A. (2007). *Metals in fresh honeys from Tenerife Island, Spain*. Bull Environ Contam Toxicol, 80(1),30–33.

Formicki, G., Gren, A., Stawarz, R. Zysk, B. and Gal, A. (2013). *Using honeybee as bioindicator of chemicals in Campanian agroecosystems (South Italy)*. Polish Journal of Environmental Studies, 22(1), 99- 106.

Giglio, A., Ammendola, A., Battistella, S., Naccarato, A., Pallavicini, A., Simeon, E., Tagarelli, A. et Giulianini, P.G. (2017). *Apis mellifera lingustica, Spinola 1806 as bioindicator for detecting environmental contamination: a preliminary study of heavy metal pollution in Trieste, Italy*. Environmental Science and Pollution Research, 24(1), 659-665.

Goroya, K.G., Abadi, G. et Asresahegn, Y.A. (2021). *Determination of heavy and trace metals in honey using inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) in Southeastern zone of Tigray region, northern Ethiopia*. The Journal of Pure and Applied Chemistry Research. 10(2), 113-122.

Hladun, K.R., Kaftanoglu, O., Parker, D.R, Tran, K.D. et Trumble, J.T. (2013). *Effects of selenium on development, survival, and accumulation in the honeybee (Apis mellifera L.)*. Environmental Toxicology and Chemistry. 32(11), 2584-2592.

ITSAP, Institut technique et scientifique de l'apiculture et de la pollinisation, France (2018). *Guide de bonnes pratiques apicoles. Connaître la réglementation sur les limites de résidus dans les produits de la ruche*. Fiche C3,1-4.

Johnson, R., Ellis, M. et Mullin, C. (2010). *Pesticides and honeybee toxicity*. Apidologie. 41(3), 312-331.

Jost-Tse, Y.Ch., et Jost, J-P. (2018). *Les Plantes hyperaccumulatrices de métaux lourds*. Editions Connaissances et Savoir. 93200 Saint-Denis ,France.

Kast, C. (2023). *30 ans de surveillance de la cire en Suisse*. Revue Suisse d'Apiculture, (8), 327-334.

Landi, Magasin. (2024). *Aspirateur balai accu, Prima Vista. Numéro d'article 71522*.

Mitchell, E.A.D., Mulhauser, B., Mulot, M., Mutabazi, A., Glauser, G. et Aebi, A. (2017). *A worldwide survey of neonicotinoids in honey*. Science,358 (10),109-111.

Monchanin, C., Blanc-Brude, A., Drujont, E., Negahi ,MM., Pasquaretta, C., Silvestre, J., Baqué, D., Elger, A., Barron, AB., Devaud, JM. et Lihoreau, M. (2021). *Chronic exposure to trace lead impairs honey bee learning*. Écotoxicologie et sécurité environnementale, 212 , (4),112008.

Montiel, J., Marmolejo, Y., Castellanos-Sturemark, I., Perez, F., Prieto-Garcie, F., Gaytan-Oyarzun, J-C. et Fonseca, M. (2020). *Niveles de cadmio, cromo et plomo en*

abejas (Apis mellifera) y sus productos en Hidalgo, Mexique. Revista Iberoamericana de ciencias, 7 (1),57-68.

Morse, R. et Lisk, D.J. (1980). *Elemental analysis of honeys from several nations*. American Bee Journal, n° 7, p. 522-523.

Poldervaart, P. (2020). *Pollution aux métaux lourds : Du plomb dans les jardins et sur les places de jeux*. OFEV, Office fédéral de l'environnement, Confédération Suisse.

Przybytowski, P. et Wilczynska, A. (2001). *Honey as an environmental marker*. Food Chemistry, 74 (3), 289–229.

OFEV, Office fédéral de l'environnement (2019). Confédération Suisse. *Déchets de bois*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/guide-des-dechets-a-z/dechets-de-bois.html>

OFEV, Office fédéral de l'environnement (2020). Confédération Suisse. *Installations de tir*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sites-contaminees/traitement-des-sites-contaminees/installations-de-tir.html>

OFEV, Office fédéral de l'environnement, (2022). Confédération Suisse. *Législation suisse sur les produits chimiques, Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques. Liste des interdictions*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/produits-chimiques/info-specialistes/interdictions-et-restrictions.html>

ONU, Organisations des Nations Unis. (2024). *Les « e-déchets » augmentent cinq fois plus vite que leur recyclage*. ONU info, climat et environnement, 25 mars 2024 <https://news.un.org/fr/story/2024/03/1144341>.

Pourret, O. (2018). *On the Necessity of Banning the Term “Heavy Metal” from the Scientific Literature*. *Sustainability*,10, (8), 2879.

Rashed, MN. et Soltan, ME. (2004). *Major and trace elements in different types of Egyptian mono-floral and non-floral bee honeys*. Journal of Food Composition and Analysis, 17 (6),725–735.

Reusser, J., Siegenthaler, M., Winkel, L., Wachter, D., Kretzschmar, D. et Meuli, R. (2023). *Distribution de 20 éléments chimiques dans la couche supérieure des sols ; Atlas géochimique des sols de Suisse ; Confédération suisse, Agroscope*. 54 ;118-122.

Richter, A., Rüdiger, M., Schumacher, D.M. et Kürbis, C. (2024). *ICP-OES analysis of lithium in honey, royal jelly, bee bread, propolis, and bees following microwave-assisted sample preparation*. Journal of Consumer Protection and Food Safety. 19(7), 455-460.

Robyr, J. et Zwahlen, F. (2018). *Face à la pollution, les entreprises du site chimique de Monthey n'ont pas eu le choix : assainir ou mourir*. Le Nouvelliste, Journal digital, 19 sept. 2018.

Roman, A., Madras, M.B. et Popiela, P.E. (2011). *Comparative study of selected toxic elements in propolis and honey*. Journal of Apicultural Science, 55(2), 97-106.

- Ru, Q-M., Feng, Q. et He, J-Z. (2012). *Risk assessment of heavy metals in honey consumed in Zhejiang province, southeastern China*. Food and Chemical Toxicology, 53(12),256–262.
- Taha, E.A., Manosur, H.M. et Shower, M.B. (2010). *The relationship between comb age and the amounts of mineral elements in honey and wax*. Journal of Apicultural Research, 49(2), 202-207.
- Tonelli, D., Gattavecchia, E., Ghini, S., Porrini, C., Celli, G., Mercuri, A.M. (1990). *Honey bees and their products as indicators of environmental radioactive pollution*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 141 (2), 427-436.
- Van der Steen, J.J.M., Cornelissen, B., Blacquiere, T., Pijnenburg, J.E.M.L. et Severijnen, M. (2016). *Think regionally, act locally: metals in honeybee workers in the Netherlands (surveillance study 2008)*. Environmental Monitoring and Assessment, 188(8), 463-471.
- Warnier, M. (2016). *Des métaux dans les miels wallons*. Abeilles et Cie173(4), 26-29.
- Xie, Z., Qiu, J. and Chen, X. (2013). *Decline of nest site availability and nest density of underground bees along a distance gradient from human settlements*. Entomological Science, 16(2), 170-178.
- Yilmaz, H. et Yavuz, O. (1999). *Content of some trace metals in honey from south-eastern Anatolia*. Food Chem 65(6),475–476.