

Imprégnation des agriculteurs par les pesticides

AUTEURS :

A. Paumier*, N. Sadeg**, F. Brousse**, P. Voide*

* Service de santé au travail, Mutualité sociale agricole, Picardie

** Laboratoire I-MITOX, Chambly

EN RÉSUMÉ

Afin d'évaluer la contamination aux pesticides (ou produits phytosanitaires) des travailleurs de l'agriculture, une enquête a été mise en place en Picardie, en utilisant le cheveu comme support d'analyse. Des travailleurs assurant les traitements phytosanitaires ont été comparés à des travailleurs des mêmes entreprises ne manipulant pas ces derniers et à des témoins n'ayant aucune activité agricole. Les résultats montrent d'une part que les travailleurs traitants sont relativement moins contaminés que les travailleurs non traitants et d'autre part, que les substances retrouvées dans les cheveux ne sont pas celles utilisées et identifiées lors de l'évaluation exhaustive du risque chimique de ces entreprises. Ces éléments devraient conduire à un changement de paradigme en matière de prévention individuelle mais surtout collective.

MOTS CLÉS

Risque chimique /
Produit chimique /
Pesticide /
Agriculture /
Évaluation
des risques /
Surveillance
biologique /
Biométrie

CONTEXTE

Malgré le plan Ecophyto lancé en 2009 et visant à faire évoluer les pratiques, la consommation de pesticides (également appelés produits phytosanitaires) en France n'a pas diminué. Le NODU (nombre de doses d'unités de pesticides utilisées en agriculture) a même légèrement augmenté en 2016 : +0,3 % à 94,2 contre 93,9 en 2015 et 85,2 en 2009.

Par ailleurs, de plus en plus de données scientifiques mettent en évidence l'impact négatif des pesticides sur la santé et leur rôle dans la survenue de maladies chroniques, cancers, troubles de la fonction endocrinienne et de la fertilité, maladies neurologiques [1 à 7].

Dans les conclusions de son expertise publiée en juillet 2016 [8], l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) recommande d'améliorer les connaissances sur les expositions aux pesticides des personnes travaillant dans l'agriculture. Elle estime aussi que la diminution du recours aux pesticides constitue un objectif en soi, visant à la réduction

de l'exposition à ces substances des personnes travaillant dans l'agriculture.

Dans ce cadre, le service de santé au travail de la Mutualité sociale agricole (MSA) de Picardie, en partenariat avec le laboratoire international I-MITOX, a mis en place l'étude EXPOPREV dont les objectifs étaient :

- d'évaluer l'imprégnation d'une population d'agriculteurs de Picardie par les produits chimiques et en premier lieu les pesticides ;
- d'étudier les mesures d'amélioration de la prévention visant à supprimer les risques ;
- d'étudier la pertinence d'une utilisation du cheveu en « routine » médicale comme un marqueur d'imprégnation chez les agriculteurs en médecine du travail agricole.

MÉTHODOLOGIE

POPULATION ÉTUDIÉE

Trois groupes ont été formés :

- les « traitants », titulaires du Certiphyto¹ et effectuant les traitements phytosanitaires ;
- les « non traitants », travaillant ou vivant sur l'exploitation,

1. Pour plus d'informations voir le site <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F31192>.

Imprégnation des agriculteurs par les pesticides

n'effectuant pas de traitements phytosanitaires et ne manipulant pas de pesticides ;

- les témoins n'ayant aucun lien avec une activité agricole quelconque.

Les traitants et les non traitants – tous volontaires – ont été recrutés dans les exploitations et entreprises relevant de la MSA de Picardie et qui avaient participé volontairement à l'évaluation de leur risque chimique en 2017, 2018 ou début 2019. Cette évaluation, faite en partenariat avec le SST et sur la base du logiciel SEIRICH, avait permis de connaître de façon quasi exhaustive la liste des produits chimiques (dont les phytosanitaires) utilisés et l'ensemble des substances chimiques (par l'analyse des fiches de données de sécurité).

La règle était d'inclure un sujet traitant et un sujet non traitant dans chaque entreprise. Elle a été respectée, sauf dans une exploitation avec 2 sujets traitants, pas de non traitant et, dans cette exploitation, seule la première série de prélèvement a été faite (refus pour les séries suivantes). Dans une autre exploitation, ont été inclus 2 sujets traitants et 3 non traitants, à la demande expresse de l'exploitant.

Le protocole prévoyait d'inclure seulement 10 témoins, pour confirmer l'intérêt de la matrice cheveu dans le cadre d'études d'imprégnation à diverses substances chimiques d'origine professionnelle et/ou environnementale. Mais au vu des résultats de la première série de prélèvements, puis de la seconde, il a été décidé de porter le nombre de témoins à 17, puis 30, dans le but de comparer traitants et non traitants à une population réellement non exposée. Certains témoins ont été recrutés dans des métropoles éloignées (Nice, Toulouse) ou moins éloignée (Paris) ; d'autres ont

été choisis en Picardie, dans le but d'estimer le « bruit de fond » d'une contamination agricole environnementale picarde. Le recrutement des témoins s'est fait sur la base du volontariat des connaissances des auteurs de l'étude.

L'âge et le sexe n'ont pas d'influence sur l'analyse du cheveu. Cependant les âges médians des témoins et des sujets sont superposables.

PRODUITS CHIMIQUES RECHERCHÉS

Deux types de produits chimiques ont été recherchés : les substances organiques et les éléments traces métalliques.

Les premières ont été recherchées par chromatographie liquide couplée à une spectrométrie de masse haute résolution. Les résultats sont semi quantitatifs. Par convention, pour cette étude, il a été choisi de considérer comme « substances à risque » (pour la santé) celles dont les concentrations étaient supérieures à 1 ng/mg de cheveu² (pouvant, de ce fait, refléter une utilisation importante de ces produits).

La recherche des éléments traces métalliques a été faite par analyseur plasma par induction couplé à une spectrométrie de masse (ICP-MS) permettant d'identifier 46 métaux. Les résultats quantitatifs sont comparés à des valeurs de référence [9, 10]. Le dosage est ici quantitatif et les concentrations capillaires sont corrélées avec celles du sang.

LES PRÉLÈVEMENTS ET LEUR CHRONOLOGIE

Les infirmiers du SST ont été formés pour effectuer les prélèvements qui consistent à couper, avec des ciseaux courbes, une mèche de cheveux de 3 cm de long (pour évaluer l'imprégnation des 3 derniers mois) à la racine des cheveux en région nucale.

2. Il s'agit d'un seuil pertinent lié à l'expertise du laboratoire de mesure et jamais publié.

3. Dans cette étude, ce terme recouvre uniquement les travailleurs traitants de la polyculture (dits cultivateurs), de l'arboriculture et de la viticulture.

Il s'agissait d'évaluer la contamination des sujets au cours de l'année et, pour les agriculteurs³, en tenant compte des activités agricoles. Quatre prélèvements de cheveux ont été effectués pour les agriculteurs, 3 pour les sujets non agriculteurs et 1 pour les témoins.

La première série (A) a été réalisée du 27 mai au 13 juin et, pour 4 prélèvements, entre le 28 juin et le 12 juillet 2019. Elle recouvre des périodes d'exposition de mars à mai pour les prélèvements les plus précoces, d'avril à juin pour les autres. Ces périodes correspondent, pour la majorité des cultures, à une utilisation maximale des pesticides : préparation des sols, traitement des semences, semis, pousse, floraison, maturation.

La deuxième série (B) a été réalisée du 11 juillet au 28 août 2019 et, pour 4 prélèvements, les 2 et 3 septembre 2019. Elle recouvre des périodes d'exposition de mi-avril à mi-août pour la plupart des sujets, de juin à fin août pour les autres. Elle correspond aux fins de certains semis, à l'élevage et aux récoltes.

La troisième série (C) a été réalisée du 16 octobre au 22 novembre 2019. Elle recouvre des périodes d'exposition du 15 août au 22 novembre. Elle correspond aux récoltes et suites des récoltes (pailles, entretien et préparation des sols).

La quatrième série (D) a été réalisée du 4 au 20 février 2020 pour les seuls agriculteurs, au vu des résultats des 3 premières séries, et dans le but de couvrir une « période blanche » pendant laquelle peu ou pas de traitements phytosanitaires sont réalisés. Elle couvre ainsi la période d'exposition des mois de décembre à fin janvier.

Chaque témoin a bénéficié d'un unique prélèvement, réalisé en deux séries :

- série 1, prélevée du 5 juin au 19 août 2019 ;
- série 2, prélevée du 24 février au 8 mars 2020.

La chronologie des prélèvements des témoins – sans activité agricole et n'habitant pas à proximité de champs cultivés – devrait être sans incidence sur l'étude. Cependant, la série 1, effectuée dans une période voisine de celle de la série A et comprenant 17 témoins, a été utilisée pour les comparaisons avec les agriculteurs de la série A.

ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel de statistiques XLSTAT. La plupart des échantillons étudiés dans cette étude suivent une loi Normale. Lorsque c'était nécessaire, la normalité a été testée avec le test de Shapiro-Wilk. Les comparaisons ont été faites avec le test t de Student pour un risque alpha à 0,05. Lorsque c'était nécessaire, le test non paramétrique de Mann-Whitney a été utilisé.

ASPECTS LÉGAUX

L'étude EXPOPREV a été enregistrée au ministère chargé de la Recherche sous le numéro 2019-A00417650.

Son protocole a fait l'objet d'un avis favorable du Comité de protection des personnes (CPP) de Toulouse Sud-Ouest Outremer 1 en date du 6 mai 2019 et d'une déclaration à la Commission nationale informatique et liberté (CNIL) de conformité à la méthodologie de référence MR-003 (récépissé en date du 15/04/2019).

Toutefois, ils ont été maintenus dans l'étude au vu des résultats du premier prélèvement.

Au total ont été inclus 30 traitants et 33 non traitants, ainsi que 30 témoins.

Les âges moyens des traitants (44,8 ans), non traitants (46,36 ans) et témoins (44,50 ans) sont superposables.

Les sujets traitants sont exclusivement des hommes. Les non traitants sont majoritairement des femmes (20 vs 13), celles-ci vivant sur l'exploitation sans y travailler « manuellement » : épouses, employées.

Chez les témoins, il y a autant d'hommes que de femmes.

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUES DES POPULATIONS ÉTUDIÉES

Sur les 45 entreprises et exploitations ayant fait leur évaluation du risque chimique en 2017, 2018 ou début 2019, 29 (soit 64,45 %) ont accepté de participer à l'étude. Le **tableau I** montre la répartition par secteur d'activité.

La répartition entre les départements picards (la Somme, l'Oise et l'Aisne) est assez homogène, sauf en ce qui concerne les viticulteurs, concentrés dans l'Aisne [11].

Les fabricants de surface, affiliés à la MSA, transforment des terres agricoles ou des surfaces autres (parkings, cours...) en terrains de sport. Volontaires pour l'évaluation de leur risque chimique, ils ont été inclus cependant avec réserve car n'utilisant pas de pesticides.

NOMBRE DE SUBSTANCES TROUVÉES DANS LES CHEVEUX

Chez les traitants et non traitants, le nombre de substances retrouvées varie selon les séries, en moyenne de 11,1 à 15,4 substances pour les 2 premières séries, et de 6,5 à 9,1 pour les deux dernières. Ce nombre a tendance à être plus élevé chez les non traitants, y compris sur l'ensemble des séries (12,0 vs 10,7). Cette différence est même significative pour la série C (**tableau II page suivante**). Chez les témoins, il est retrouvé en moyenne 6,9 substances par sujet, quantité

↓ **Tableau I**

➤ **RÉPARTITION PAR ACTIVITÉ DES EXPLOITATIONS ET ENTREPRISES AYANT PARTICIPÉ**

	Exploitations et travaux agricoles*	Coopératives agricoles	Travaux forestiers	Activités diverses**
Ayant fait leur évaluation du risque chimique	33	3	4	5
Incluses dans EXPOPREV	22	0	3	4

* Ces entreprises regroupent la viticulture, l'arboriculture, la polyculture et l'agroécologie ainsi que les exploitations de travaux agricoles (entreprises exploitant des parcelles pour le compte de tiers).

** Il s'agit des paysagistes et des fabricants de surface.

Imprégnation des agriculteurs par les pesticides

↓ Tableau II

➤ COMPARAISONS DU NOMBRE DE SUBSTANCES RETROUVÉES DANS LES CHEVEUX DES TRAITANTS, NON TRAITANTS ET TÉMOINS (en marron clair les différences significatives)

	Traitants			Non traitants			Témoins*		Test de Student		
	nombre de sujets prélevés	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre de sujets prélevés	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	traitants par rapport à non traitants	traitants par rapport à témoins	non traitants par rapport à témoins
Série A	29	419	14,5 (5,7)	31	477	15,4 (6,1)	206	6,9 (2,4)	0,539	< 0,0001	< 0,0001
Série B	29	323	11,1 (3,2)	29	331	11,4 (3,9)			0,769	< 0,0001	< 0,0001
Série C	29	187	6,5 (3,6)	28	255	9,1 (4,2)			0,013	0,600	0,014
Série D	21	198	9,43 (4,06)	20	192	9,6 (4,6)			0,900	0,007	0,008
Ensemble des séries	30		10,7 (2,7)	33		12,0 (3,6)			0,102	< 0,0001	< 0,0001

* C'est la série de 30 témoins qui est comparée à chaque série des traitants et non traitants et à l'ensemble des séries.

↓ Tableau III

➤ COMPARAISONS DU NOMBRE DE SUBSTANCES À RISQUE RETROUVÉES DANS LES CHEVEUX DES TRAITANTS, NON TRAITANTS ET TÉMOINS (en marron clair les différences significatives)

	Traitants			Non traitants			Témoins*		Test de Student		
	nombre de sujets prélevés	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre de sujets prélevés	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	traitants par rapport à non traitants	traitants par rapport à témoins	non traitants par rapport à témoins
Série A	29	51	1,8 (1,3)	31	51	1,7 (1,2)	38	1,3 (1,2)	0,858	0,141	0,174
Série B	29	64	2,20 (1,37)	29	65	2,1 (1,58)			0,775	0,007	0,026
Série C	29	23	0,80(1,0)	28	37	1,3 (1,5)			0,122	0,113	0,879
Série D	21	33	1,6 (1,2)	20	37	1,9 (1,1)			0,452	0,384	0,097
Ensemble des séries	30		1,6 (0,68)	33		1,7 (0,9)			0,583	0,174	0,142

* C'est la même série de témoins qui est comparée à chaque série des traitants et non traitants et à l'ensemble des séries.

significativement inférieure à celle des traitants et non traitants.

Les résultats vont dans le même sens pour les substances à risque (tableau III). En moyenne, il est retrouvé, sur l'ensemble des séries, 1,6 substances à risque par prélèvement chez les traitants, 1,7 chez les non traitants et 1,3 chez les témoins. Il n'y a pas de différence significative entre ces trois groupes sauf pour la série B pour laquelle les témoins ont significativement moins de substances à risque retrouvées dans les cheveux que les traitants ou non traitants.

Il est retrouvé en moyenne 1,1 (écart type 0,47) pesticides à risque chez les traitants, 0,89 (écart type 0,58) chez les non traitants et 0,4 (écart

type 0,67) chez les témoins. Ainsi, ces derniers sont significativement moins contaminés que les traitants ($p < 0,0001$) ou les non traitants ($p = 0,003$).

ÉTUDE DE LA POPULATION DES AGRICULTEURS EN POLY-CULTURE DITE « CONVENTIONNELLE »

Cette population, majoritaire et au cœur de la production agricole, est la plus représentée dans ce panel avec 14 exploitations, 15 traitants et 16 non traitants. Leur mode d'utilisation des traitements phytosanitaires est dit conventionnel, respectant les normes et recommandations des fabricants. Sont ainsi exclues les 2 exploitations dites « agroécologiques » [12].

Pour l'ensemble des substances (tableau IV), les non traitants ont tendance à avoir plus de substances que les traitants bien que ces différences ne soient pas significatives. En revanche, dans toutes les séries, les témoins ont significativement moins de substances que les traitants ou non traitants.

Pour la Série A, les comparaisons se font avec le 1^{er} panel de 17 témoins dont les prélèvements ont été réalisés à la même période que ceux des traitants et non traitants.

Pour les substances à risque (tableau V), les résultats montrent l'absence de différence significative entre traitants et non traitants pour toutes les séries. Seuls les traitants des séries A et B et les non traitants

↓ Tableau IV

➤ NOMBRE DE SUBSTANCES RETROUVÉES DANS LES CHEVEUX DES TRAITANTS ET DES NON TRAITANTS DANS LA POLYCLTURE CONVENTIONNELLE (*en marron clair les différences significatives*)

	Traitants			Non traitants			Témoins*		Test de Student		
	nombre de sujets prélevés	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre de sujets prélevés	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	traitants par rapport à non traitants	traitants par rapport à témoins	non traitants par rapport à témoins
Série A	14	177	12,6 (5,8)	14	201	14,4 (6,3)	102	6 (2,4)	0,46	< 0,00018	< 0,0001
Série B	15	173	11,5 (4,1)	15	172	11,5 (4,2)	206	6,9 (2,4)	0,965	< 0,0001	< 0,0001
Série C	15	110	7,33 (3,2)	15	145	9,77 (4,4)			0,212	0,588	< 0,008
Série D	13	127	9,8 (4,27)	12	117	9,8 (4,5)			0,991	0,010	0,007
Ensemble des séries	15		10,3 (2,2)	16		11,2 (2,6)			0,795	< 0,0002	< 0,0001

* Pour la Série A, on compare avec 17 témoins. Pour les autres séries, on compare avec l'ensemble des 30 témoins.

↓ Tableau V

➤ NOMBRE DE SUBSTANCES À RISQUE RETROUVÉES DANS LES CHEVEUX DES TRAITANTS ET DES NON TRAITANTS DANS LA POLYCLTURE CONVENTIONNELLE (*en marron clair les différences significatives*)

	Traitants			Non traitants			Témoins*		Test de Student		
	nombre de sujets prélevés	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre de sujets prélevés	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	traitants par rapport à non traitants	traitants par rapport à témoins	non traitants par rapport à témoins
Série A	14	25	1,8 (1,3)	14	19	1,4 (1,1)	11	0,65 (0,70)	0,4	0,011	0,065
Série B	15	35	2,3 (1,5)	15	33	2,20 (1,32)	38	1,3 (1,3)	0,907	0,013	0,024
Série C	15	15	1,0 (1,1)	15	24	1,6 (1,9)			0,292	0,479	0,478
Série D	13	24	1,9 (1,1)	12	23	1,9 (1,2)			0,876	0,148	0,124
Ensemble des séries	15		1,7 (0,62)	16		1,7 (0,95)	38	1,3 (1,2)	0,941	0,257	0,252

* Pour la Série A on compare avec 17 témoins. Pour les autres séries, on compare avec l'ensemble des 30 témoins.

de la série B ont significativement plus de substances à risque que les témoins. À noter que la comparaison des non traitants de la série A et des témoins n'est pas très loin du seuil de significativité.

Concernant le nombre de pesticides à risque, les traitants sont contaminés en moyenne avec 1,07 substance et les non traitants avec 0,91 substance ce qui est significativement supérieur à ce qui est retrouvé chez les témoins (respectivement $p = 0,001$ et $p = 0,018$).

ÉTUDE DE LA POPULATION DES ENTREPRISES DÉCLARANT UTILISER PEU DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Les entreprises paysagistes, les tenants de l'agroécologie et les

fabricants de surface ont en commun de déclarer utiliser peu de produits phytosanitaires. Cela concerne au total 6 entreprises, 6 traitants et 6 non traitants.

Là aussi, il est retrouvé dans les cheveux des traitants et non traitants significativement plus de substances que chez les témoins dans les séries A et B et pour l'ensemble des séries ([tableau VI page suivante](#)).

Chez les paysagistes, qui ont interdiction d'utiliser des produits phytosanitaires sur les espaces publics, le nombre de substances retrouvées dans les séries A et B va de 11 à 21 chez les traitants et de 10 à 16 chez les non traitants, ce qui est significativement supérieur aux témoins

($p = 0,020$). En revanche, le nombre de substances retrouvées dans la série C est faible chez les traitants et non traitants (de 3 à 16).

COMPARAISONS INTER-SÉRIES

Le nombre total de substances retrouvées ainsi que le nombre de substances différentes varient sensiblement d'une période de l'année à l'autre, et pour tous les sujets. Maximum lors de la série A – en période pré-récolte et de moissons –, ils diminuent fortement après les moissons avec la série B, puis en fin de saison avec la série C, et se stabilisent avec la série D qui couvre la période où la terre est peu travaillée, de décembre à février ([figure 1 page suivante](#)). Le nombre de substances

Tableau VI

> NOMBRE DE SUBSTANCES À RISQUE RETROUVÉES DANS LES CHEVEUX DES SUJETS TRAITANTS ET DES SUJETS NON TRAITANTS DES ENTREPRISES DÉCLARANT UTILISER PEU DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES (en marron clair les différences significatives)

	Traitants (n=6)		Non traitants (n=6)		Témoins*		Test de Student		
	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	nombre total de substances	moyenne par sujet (écart type)	traitants par rapport à non traitants	traitants par rapport à témoins	non traitants par rapport à témoins
Série A	104	17,3 (3,7)	109	18,2 (5,9)	102	6 (2,4)	0,775	< 0,0001	< 0,0001
Série B	61	10,2 (2,0)	67	11,2 (3,4)	206	6,9 (2,4)	0,595	0,004	0,001
Série C	29	4,8 (2,9)	50	8,3 (6,1)			0,233	0,076	0,316
Série D**	12	6	33	17					
Ensemble des séries		10,3 (1,7)		13,6 (3,7)			0,079	0,002	< 0,0001

* Pour la Série A, on compare avec 17 témoins. Pour les autres séries, on compare avec l'ensemble des 30 témoins.

** Pour cette série, n=2 pour les traitants et les non traitants.

retrouvées diminue aussi selon le même tempo chez les sujets des entreprises peu consommatrices (agroécologie, paysagistes, fabricants de surface).

La proportion de substances différentes retrouvées en commun chez les traitants et les non traitants varie également d'une série à l'autre : 60,9 % dans la série A, 57,7 % pour la série B, 40,5 % pour la série C et 35,8 % pour la série D (figure 1).

Concernant les substances à risque, la figure 2 montre une variation plus importante des proportions de substances différentes retrouvées en commun chez les traitants et les non traitants (60,5 % dans la série A, 62,2 % dans la série B, 22,7 % dans la série C et 45 % dans la série D).

Chez les témoins, il a été retrouvé 134 substances différentes sur le total des 206 substances et 19 substances à risque différentes sur les 38 substances à risque retrouvées dans les cheveux. Elles sont communes à 88 % avec les traitants et à 86 % avec les non traitants. Ce sont en grande majorité des pesticides (54 % des substances communes chez les traitants, 58 % chez les non traitants). En revanche, seulement 1 à 7 substances à risque, selon les séries, sont communes avec les traitants ou les non traitants.

Figure 1 : Nombre de substances totales et de molécules différentes identifiées par série chez les traitants et non traitants

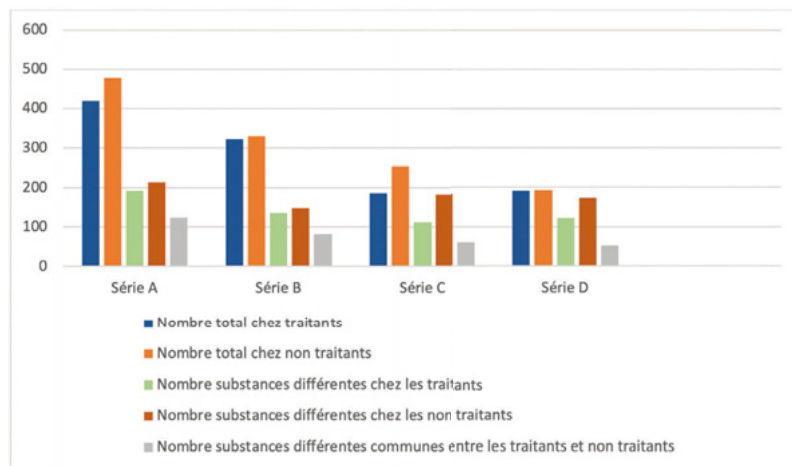
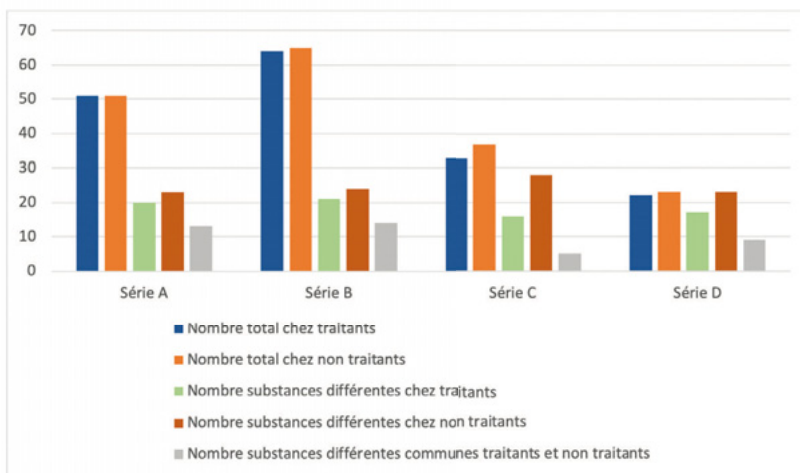


Figure 2 : Nombre de substances à risque totales et de molécules à risque différentes identifiées par série chez les traitants et non traitants



LES TYPES DE PRODUITS CHIMIQUES RETROUVÉS DANS LES CHEVEUX

Le **tableau VII** montre la répartition des substances retrouvées selon l'usage de ces dernières. Les familles de produits les plus fréquemment retrouvées, dans les 3 groupes, sont le groupe des insecticides, suivis des herbicides puis les fongicides pour les traitants et les produits de dégradation pour les non traitants et les témoins.

Pour les séries A, B et C, ce sont les insecticides qui sont le plus souvent retrouvés en commun chez les

traitants et les non traitants alors que dans la série D ce sont les herbicides et les substances chimiques diverses (**tableau VIII**).

SUBSTANCES DÉTECTÉES DANS LES CHEVEUX ET SUBSTANCES DÉCLARÉES UTILISÉES PAR LES ENTREPRISES ET EXPLOITATIONS

L'ensemble des 941 substances actives déclarées utilisées par les entreprises lors de leur évaluation du risque chimique, ont été rapprochées, *a posteriori*, des substances

trouvées dans les prélèvements de cheveux. Ce rapprochement a été fait entreprise par entreprise. Une substance utilisée est déclarée retrouvée à chaque fois qu'elle est présente dans un prélèvement de cheveu d'un sujet traitant ou non traitant de l'entreprise. Le nombre de substances retrouvées a ensuite été rapporté au nombre de substances utilisées.

L'analyse pratiquée pour l'ensemble du panel puis spécifiquement pour la « polyculture » montre que très peu des substances déclarées utilisées sont retrouvées dans les

↓ **Tableau VII**

> RÉPARTITION DES PRODUITS RETROUVÉS DANS LES CHEVEUX SELON LA CATÉGORIE D'USAGE DE CES PRODUITS

Type de substances	Traitants		Non traitants		Témoins	
	nombre total de substances retrouvées	pourcentage	nombre total de substances retrouvées	pourcentage	nombre total de substances retrouvées	pourcentage
Herbicides	215	19,2	267	21,3	46	22,3
Fongicides	134	12,0	120	9,6	24	11,7
Insecticides*	144	12,8	146	11,6	30	14,6
Insecticides divers**	173	15,5	210	16,7	31	15,1
Composés chimique de synthèse***	70	6,3	79	6,3	12	5,8
Produits de dégradation	121	10,8	146	11,6%	29	14,1
Additifs alimentaires	8	0,71	16	1,3	3	1,5
Intermédiaires de synthèse	55	4,9	83	6,6	17	8,3
Médicaments	84	7,5	86	6,9	11	5,3
Autre	115	10,3	102	8,1	3	15
Total	1 119	100	1 255	100	206	100

* Il s'agit des traitements contre les ravageurs des cultures. ** Il s'agit des avicides, rodenticides, molluscicides, miticides...

*** Comportent des polluants autres que pesticides, comme par exemple des phtalates.

↓ **Tableau VIII**

> PROPORTION DE MOLÉCULES DIFFÉRENTES RETROUVÉES EN COMMUN ENTRE TRAITANTS ET NON TRAITANTS SELON LA CLASSE D'UTILISATION (en pourcentage)

Substances trouvées	Série A	Série B	Série C	Série D
Insecticides	30,6	28,0	31,7	18,9
Herbicides	19,4	17,1	28,3	24,5
Fongicides	8,1	12,2	6,7	17,0
Substances chimiques diverses communes	25,0	24,4	20,0	24,5
Substances communes autres	16,9	18,3	13,3	15,1

Imprégnation des agriculteurs par les pesticides

cheveux (respectivement 4,15 % et 4,25 %).

ÉTUDE DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM)

Sur les 46 ETM recherchés, seul le fer et le manganèse ont été majoritairement retrouvés en quantité supérieure aux valeurs de référence pour certains prélèvements (tableau IX). Pour le manganèse, il a été retrouvé des valeurs 5 fois au-dessus de celles de référence.

Le fer et le manganèse sont des éléments traces essentiels (oligoéléments ou microéléments) pour lesquels les concentrations retrouvées ne sont pas préoccupantes.

DISCUSSION

CHOIX DE LA MATRICE

Les substances chimiques auxquelles chacun est exposé, dans le cadre privé ou professionnel, s'accumulent dans la structure protéique du cheveu lors de sa croissance. Ainsi, la recherche de toxiques dans cette matrice est possible et particulièrement intéressante. Par rapport à d'autres matrices biologiques classiquement utilisées en routine, comme le sang ou les

urines, les analyses chimiques réalisées dans le cheveu présentent comme principaux avantages de permettre la détection de substances sur une période pouvant s'étendre de quelques jours à plusieurs mois, et de pouvoir retracer l'historique des expositions [13 à 17]. Un centimètre de cheveu prélevé à la racine reflète la contamination du mois précédent. De plus, c'est un support facile d'accès (pour les personnes non chauves), qui ne nécessite pas de geste invasif et dont le prélèvement peut se répéter facilement sans atteinte à l'intégrité de la personne. Toutefois, il faut prendre en compte le fait que la quantité de kératine varie d'une personne à l'autre notamment du fait des processus de grisonnement ou de l'utilisation de produits capillaires (pour les coloration et décolorations) et que le réseau vasculaire du cuir chevelu varie aussi d'un individu à l'autre. Pour réduire ces biais, les résultats ont été rendus par rapport à un seuil empiriquement défini en fonction de l'expérience d'une part (voir & *Produits chimiques recherchés*, p. 36) et, d'autre part, les prélèvements ont été répétés chez les mêmes individus pour suivre l'évolution au cours d'une année de travail.

CONTAMINATION GÉNÉRALE

Les sujets de ce panel de travailleurs agricoles, incluant des activités agricoles variées et représentatives du monde agricole, sont deux fois plus imprégnés que les témoins par un nombre non négligeable de substances chimiques organiques qui sont majoritairement des pesticides (59,5 % pour les traitants et 59,2 % pour les non traitants). Contrairement à l'hypothèse du protocole, les non traitants qui ne manipulent pas de pesticides et n'effectuent pas les traitements phytosanitaires sont autant, voire plus, imprégnés que les traitants.

Ce qui est encore plus troublant est que les travailleurs utilisant moins, voire pas, de pesticides, comme les paysagistes, les tenants de l'agroécologie, et même les fabricants de surface, sont contaminés dans des proportions similaires.

Ceci pourrait s'expliquer par le fait que dans le panel choisi, les traitants se protègent particulièrement puisqu'ils travaillent dans des entreprises ou des exploitations volontaires, d'une part pour l'évaluation de leur risque chimique et, d'autre part, pour participer à cette étude nécessitant 3 ou 4 visites sur leur lieu de travail, pour 3 ou 4

↓ Tableau IX

> NOMBRE D'ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES TRACES (ETM) ET DE CEUX AU-DESSUS DES VALEURS DE RÉFÉRENCE (DONT LE FER) RETROUVÉS CHEZ LES TRAITANTS, LES NON TRAITANTS ET LES TÉMOINS

	Traitants			Non traitants			Témoins*	
	nombre de sujets prélevés	nombre total ETM (ETM à risque **/ dont fer)	moyenne par sujet (ETM à risque **/dont fer)	nombre de sujets prélevés	nombre total ETM (ETM à risque **/ dont fer)	moyenne par sujet (ETM à risque **/dont fer)	nombre total ETM (ETM à risque **/ dont fer)	moyenne par sujet (ETM à risque **/dont fer)
Série A	29	41 (13/7)	1,41 (0,24/0,24)	31	21 (12/10)	0,67 (0,38/0,32)	19 (10/5)	0,63 (0,33/0,16)
Série B	29	9 (8/7)	0,31 (0,28/0,24)	29	17 (5/5)	0,58 (0,17/0,17)		
Série C	29	18 (2/0)	0,62 (0,07/0)	28	7 (0/0)	0,2 (0/0)		
Série D	21	19 (0/0)	0,90 (0/0)	20	17 (1/1)	0,85 (0,05/0,5)		
Ensemble des séries	30	86 (23/14)		33	58 (18/16)			

* C'est la même série de 30 témoins qui est comparée à chaque série des traitants et non traitants et à l'ensemble des séries.

** ETM dont les valeurs sont au-dessus des valeurs de référence.

prélèvements de cheveux. Ils sont donc des exploitants « vertueux » qui utilisent les moyens de protection recommandés (équipements de protection individuelle – EPI). De plus, un traitant, seul à traiter dans une exploitation de 250 Ha, passe en moyenne 4 mois pleins par an dans son tracteur : la protection en cabine varie selon la norme à laquelle répond le véhicule, mais dans le panel présenté, les équipements sont *a priori* parmi les meilleurs [18] et donc les traitants sont protégés au moins pendant toute la durée des traitements.

En revanche, les non traitants ne sont pas équipés d'EPI, même lorsqu'ils travaillent dans les parcelles traitées et il n'y a aucune certitude sur le respect des délais de réentrée après traitement.

Toutefois, cette hypothèse ne suffit pas à expliquer la différence constatée dans les entreprises qui manipulent peu ou pas du tout de produits phytosanitaires.

La proportion de substances à risque (celles pour lesquelles les niveaux retrouvés sont supérieurs à 1 ng/mg de cheveux et pouvant de ce fait refléter un usage plus important en quantité) est à peu près la même chez les traitants et les non traitants et varie de 12 à 20 % selon les séries.

Pour l'ensemble du panel, c'est à la fin de l'hiver, au début du printemps (série A) et au moment des récoltes (série B) que sont constatées les contaminations les plus nombreuses, ce qui peut paraître logique puisque ce sont les périodes où les sols sont les plus travaillés et « remués » ; à la fin de l'hiver et au début du printemps pour la préparation et les semis, puis pendant la croissance, et ensuite lors des récoltes et moissons. La quantité de produits retrouvés diminue ensuite pour atteindre son niveau le plus

faible pendant l'hiver, époque à laquelle les produits sont peu utilisés et la terre « se repose ». C'est aussi la période pendant laquelle la contamination des traitants et non traitants est assez proche de celle des témoins. Concernant les substances à risque, la répartition dans l'année n'est pas tout à fait la même puisque le pic est retrouvé entre mi-avril et fin août (série B) c'est-à-dire lors de la fin de la maturation des cultures jusqu'à la fin des récoltes. Une imprégnation forte du cheveu reflète une exposition forte nécessitant à la fois un contact plus intense et une protection moindre. L'intensité de l'exposition est ainsi la variable déterminante. Le sujet témoin qui utilise un herbicide de terrasse en quantité abondante s'imprègne à un niveau à risque, de même que le non traitant qui ne se protège pas de son milieu ou le traitant qui manipule les produits et ne porte pas ses EPI.

VARIÉTÉ DES PRODUITS RETROUVÉS

Dans toutes les séries, il y a toujours plus de substances différentes retrouvées chez les non traitants que chez les traitants. La proportion de substances retrouvées en commun chez les traitants et les non traitants est similaire dans les deux premières séries, évoquant ainsi des expositions communes, à une période de l'année où les sols sont fortement remués et où les traitements sont les plus fréquents. En revanche, pour les deux dernières séries, cette proportion diminue nettement évoquant alors des expositions différentes entre traitants et non traitants. Le très petit nombre de substances à risque communes entre les témoins et les traitants-non traitants confirme que les témoins ne sont effectivement pas

exposés de façon forte aux mêmes substances.

Par ailleurs, dans les deux groupes traitants et non traitants, les classes d'utilisation les plus souvent retrouvées sont les insecticides et les herbicides, que par définition les non traitants ne doivent pas manipuler. Il est à noter que ce sont aussi les classes d'utilisation les plus souvent retrouvées chez les témoins. On peut donc faire l'hypothèse que les non traitants et les témoins sont exposés par leur environnement de travail (ou de vie pour les témoins) et non par les substances qu'ils manipulent.

Cette hypothèse est confirmée par le nombre important de substances communes « non à risque » entre témoins et sujets traitants et non traitants : les témoins s'imprègnent en partie à la même source que les agriculteurs, mais les fortes imprégnations sont liées aux expositions particulières de chacun.

Cette hypothèse est renforcée par le fait que ce ne sont pas les substances manipulées ou utilisées récemment qui sont retrouvées dans les cheveux des sujets qu'ils soient traitants ou non traitants. Certes il existe des biais à ce constat liés à certaines imprécisions des données des fabricants, des numéros CAS des substances, des possibles changements de produits par les agriculteurs d'une année sur l'autre, mais ils ne sauraient expliquer à eux seuls les résultats.

L'explication qui peut être avancée est que les travailleurs agricoles sont contaminés par les pesticides « circulant » dans leur milieu professionnel, et provenant des sols où ils se sont accumulés lors de décennies de traitements intensifs. Aujourd'hui, ils ressurgissent lors des travaux des champs, et contaminent alors les personnes présentes [19, 20]. Rostami et Juhasz

Imprégnation des agriculteurs par les pesticides

ont rapporté que les polluants organiques persistants (POP) sont des polluants environnementaux ubiquitaires persistant dans l'environnement et bioaccumulables posant un risque d'effets secondaires pour la santé humaine [21]. C'est ainsi que les ouvriers paysagistes picards, travaillant pour la plupart en milieu rural, sont exposés aussi bien que les ouvriers agricoles raccourcissant les betteraves ou les femmes des agriculteurs n'effectuant jamais les traitements phytosanitaires.

CONCLUSION

Cette étude, portant sur des travailleurs du monde agricole manipulant ou non les produits phytosanitaires, a pu être couplée à l'évaluation exhaustive du risque chimique de ces entreprises.

Elle met en évidence que les mesures de protection sont efficaces pour les personnes qui traitent et les protègent des produits qu'ils manipulent. Il convient donc de les maintenir et de les renforcer.

Les produits retrouvés dans les cheveux n'étant pas ceux manipulés, il peut raisonnablement être évoqué une contamination des personnels et/ou des personnes vivant dans les exploitations et entreprises probablement liée à la rémanence des produits dans les sols. Toutefois, il serait nécessaire de rechercher si les produits retrouvés dans les cheveux sont bien ceux retrouvés dans les sols.

Cette étude montre l'intérêt de ce biomarqueur qu'est le cheveu, révélant la contamination aux pesticides chez l'agriculteur et les personnels qui travaillent les sols. Son utilisation en tant qu'aide à la prévention devra être envisagée.

POINTS À RETENIR

- Les travailleurs de l'agriculture sont plus contaminés par les produits phytosanitaires que des témoins n'ayant aucune activité agricole.
- Les travailleurs de l'agriculture ne manipulant pas les produits phytosanitaires sont autant voire plus contaminés que ceux effectuant les traitements.
- Les moyens de protection individuelle utilisés par les travailleurs effectuant les traitements sont efficaces.
- Les principales classes d'utilisation retrouvées dans les cheveux sont les herbicides et les insecticides.
- Les produits retrouvés dans les cheveux ne sont pas ceux identifiés lors de l'évaluation exhaustive du risque chimique de ces entreprises.
- Le cheveu peut être utilisé comme un biomarqueur d'imprégnation par les produits phytosanitaires.

BIBLIOGRAPHIE

1 | ALAVANIA MCR, SAMANIC C, DOSEMECI M, LUBIN J ET AL. - Use of agricultural pesticides and prostate cancer risk in the Agricultural Health Study Cohort. *Am J Epidemiol.* 2003 ; 157 (9) : 800-14.

2 | BELLÉ R, LE BOUFFANT R, MORALES J, COSSON B ET AL. - L'embryon d'oursin, le point de surveillance de l'ADN endommagé de la division cellulaire et les mécanismes à l'origine de la cancérisation. *J Soc Biol.* 2007 ; 201 (3) : 317-27.

3 | MARC J, MULNER-LORILLON O, BELLÉ R - Glyphosate-based pesticides affect cell cycle regulation. *Biol Cell.* 2004 ; 96 (3) : 245-49.

4 | MARC J - Effets toxiques d'herbicides à base de glyphosate sur la régulation du cycle cellulaire et le développement précoce en utilisant l'embryon d'oursin. Thèse pour le grade de Docteur de l'université de Rennes 1 ; 2004 : 149 p.

5 | TUAL S, BOULANGER M - Actualisation des connaissances du certiphyto. Résultats de la Cohorte AGRICAN. INMA, 2018 (www.inma.fr/wp-content/uploads/2018/01/Actualisation_AGRICAN_13112017.pdf).

6 | CHUBILLEAU C, PUBERT M, COMTE J, GIRAUD J - Pesticides et santé. Étude écologique du lien

entre territoires et mortalité en Poitou-Charentes entre 2003 et 2007. Poitiers : ORS Poitou-Charentes ; 2011 : 222 p.

7 | PAUMIER A - Doublement de l'incidence du cancer broncho-pulmonaire chez les cultivateurs de pois fourrager : quels facteurs de risques ? Mémoire pour le diplôme de l'Institut national de médecine agricole n° 2015-03. Tours : INMA ; 2015 : 72 p.

8 | Expositions professionnelles aux pesticides en agriculture. Volume n° 1 : Volume central. Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective. ANSES, 2016 ([https://www.anses.fr/fr/content/publication-du-](https://www.anses.fr/fr/content/publication-du-rapport-sur-les-expositions-professionnelles-aux-pesticides-mieux-conna%C3%AAtre)

[rapport-sur-les-expositions-professionnelles-aux-pesticides-mieux-conna%C3%AAtre](https://www.anses.fr/fr/content/publication-du-rapport-sur-les-expositions-professionnelles-aux-pesticides-mieux-conna%C3%AAtre)).

9 | BROUSSE F, MALONGA G, YANG G, SADEG N - Assessment of Exposure to Organic and Inorganic Pollutants in Children's Hair. *Int J Public Health Res.* 2019 ; 7 (1) : 18-22.

10 | ARNAUD J, BEAUVAL N, BOST M, FOFOU-CALLIEREZ MB ET AL. - Intérêts d'inclure la détermination d'éléments inorganiques à la nomenclature des actes de biologie médicale. *Toxicol Anal Clin.* 2020 ; 32 (1) : 33-61.

11 | Les "grandes cultures" en Picardie. Suprématie du blé tendre. Agreste Picardie. *Feuill*

Liaison. 2013 ; 47 : 1-13.

12 | Qu'est-ce que l'agroécologie ? Transition agroécologique. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2013 (<https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-lagroecologie>).

13 | KERNALÉGUEN A, SAINT-MARCOUX F, EL BALKHI S, VORSPAN F ET AL. - Quand le cheveu unique révèle une habitude de consommation : imagerie des cocaïniques par désorption/ionisation laser assistée par matrice et comparaison avec la chromatographie liquide. *Toxicol Anal Clin*. 2020 ; 32 (2) : 97-105.

14 | SADEG N - Les matrices biologiques en toxicologie analytique. *Biologist Inf*. 2004 ; 4 : 33-36.

15 | SADEG N - Les matrices kératinisées. *Biologist Inf*. 2004 ; 5 : 30-32.

16 | BENCKO V - Use of human hair as a biomarker in the assessment of exposure to pollutants in occupational and environmental settings. *Toxicology*. 1995 ; 101 (1-2) : 29-39.

17 | COVACI A, TUTUDAKI M, TSATSAKIS AM, SCHEPENS P - Hair analysis: another approach for the assessment of human exposure to selected persistent organochlorine pollutants. *Chemosphere*. 2002 ; 46 (3) : 413-18.

18 | LESCAUDRON C - Cabines de protection sur les tracteurs et les pulvérisateurs : ce qu'il faut savoir. Le Blog Ecophyto Hauts-de-France. Ecophyto, 2017 (<https://blog-ecophytohautsdefrance.fr/cabines-de-protection-sur-les-tracteurs-et-les-pulverisateurs-ce-quil-faut-savoir/>).

19 | SILVA V, MOL HGJ, ZOMER P, TIENSTRA M ET AL. - Pesticide residues in European agricultural soils. A hidden reality unfolded. *Sci Total Environ*. 2019 ; 653 : 1532-45.

20 | Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP). Textes et annexes. Révisé en 2017. Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP). Organisation des Nations Unies, 2018 (<http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>).

21 | ROSTAMI I, JUHASZ A - Assessment of Persistent Organic Pollutant (POP) Bioavailability and Bioaccessibility for Human Health Exposure Assessment: A Critical Review. *Crit Rev Environ Sci Technol*. 2011 ; 41 (7) : 623-56.

20 | Convention de Stockholm