

SANTÉ
ENVIRONNEMENT
TRAVAIL

DÉCEMBRE 2023

MÉTHODE

MATPHYTO, DES MATRICES
CULTURES-EXPOSITIONS
AUX PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES.
PRINCIPES ET MÉTHODOLOGIE

Résumé

Matphyto, des matrices cultures-expositions aux produits phytopharmaceutiques. Principes et méthodologie

Les produits phytopharmaceutiques (PPP) sont utilisés depuis des décennies en agriculture et représentent un grand nombre de substances actives (>1 000) réparties dans de nombreuses spécialités commerciales (>10 000). La mise à disposition de ces produits a considérablement varié au cours du temps : découverte de nouvelles molécules, interdiction de certaines, évolution des usages et de la réglementation, etc. Si les effets aigus sur la santé de ces substances sont relativement bien connus, leurs effets chroniques font encore l'objet de nombreuses recherches. Ces pathologies multifactorielles surviennent de manière différée et la mise en évidence des liens entre pesticides et pathologies nécessite une évaluation des expositions la plus juste et la plus fine possible. C'est encore aujourd'hui l'une des difficultés majeures rencontrées dans les études épidémiologiques. Or, il n'existe pas, en France, de recueil systématique et exhaustif de l'usage rétrospectif des pesticides en fonction des cultures agricoles, des périodes historiques et des régions. Pour pallier ce manque, et dans le cadre d'un programme de travail avec l'Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance transport travail environnement (Umrestte)/Lyon1, Santé publique France a mis en place une méthode pour la réalisation de matrices cultures-expositions (MCE) aux produits phytosanitaires : le projet Matphyto.

Ce rapport détaille les principes et la méthode utilisés pour la réalisation des MCE Matphyto. Les MCE décrivent, en fonction des cultures agricoles, l'exposition rétrospective aux grands groupes de PPP (herbicides, insecticides, fongicides...), déclinés par familles chimiques et substances actives. Les MCE sont régionalisées, reflétant ainsi les variations d'usage des PPP en fonction des zones géographiques. Trois indicateurs sont proposés pour caractériser les expositions : une probabilité, une fréquence et une intensité d'exposition.

Les données exhaustives et rétrospectives permettant la réalisation de ces MCE sont rares. Une recherche bibliographique, notamment au sein de la littérature grise, est réalisée par une équipe projet expérimentée composée d'agronomes, d'épidémiologistes et de statisticiens. Des consultations professionnelles des filières sont également mises en place. Ces consultations permettent de pallier le manque de données ou les difficultés d'interprétation. Elles consistent à confronter les résultats colligés dans la bibliographie avec des personnes ayant une connaissance approfondie des pratiques agricoles.

Les MCE répondent à un fort besoin général de données sur l'exposition aux PPP, qu'il s'agisse des agences sanitaires, des ministères, de la médecine du travail, de la recherche (Inserm, etc.), des associations ou du grand public. Matphyto est actuellement spécifiquement adapté pour améliorer la connaissance des expositions passées aux pesticides des travailleurs agricoles. Il couvre l'ensemble du territoire français métropolitain et certains départements ultramarins.

MOTS-CLÉS : ÉVALUATION DES EXPOSITIONS, PESTICIDES, EXPOSITION PROFESSIONNELLE, AGRICULTURE, MATRICES CULTURES EXPOSITIONS

Citation suggérée : Spinosi J, Chaperon L, Perrin L, Lunghi M, Touzri K, Fillol C. Matphyto, des matrices cultures-expositions aux produits phytopharmaceutiques. Principes et méthodologie. Saint-Maurice : Santé publique France, 2023. 32 p. Disponible à partir de l'URL : <https://www.santepubliquefrance.fr>

ISSN : 2647-4816 - ISBN-NET : 979-10-289-0883-6 - RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE - DÉPÔT LÉGAL : NOVEMBRE 2023

Abstract

Matphyto, crop-exposure matrices to plant protection products. Principles and methodology

Plant production products (PPP) have been used in agriculture for decades and represent a large number of active substances (>1,000) found in numerous commercial specialties (>10,000). The availability of these products has significantly varied over time: new molecules discoveries, prohibition of certain substances, changes in use and regulations, and so on. While the acute health effects of these substances are relatively well-known, their chronic effects are still the subject of extensive research. These multifactorial pathologies occur with a time lag, and establishing the links between pesticides and diseases requires the most accurate and precise assessment of exposures possible. This remains one of the major challenges encountered in epidemiological studies. However, in France, there is currently no systematic and comprehensive record of retrospective pesticide use based on agricultural crops, historical periods, and regions. To address this gap, Santé publique France, in collaboration with the Epidemiological Research and Surveillance Unit in Transport, Occupation, and Environment (Umrestte)/Lyon1, has developed a method for producing crop-exposure matrices (CEM) for plant protection products: the Matphyto project.

This report provides details on the principles and method used to produce the Matphyto CEMs. Based on agricultural crops, CEMs describe the retrospective exposure to main groups of PPPs (herbicides, insecticides, fungicides, etc.), categorized by chemical families and active substances. The CEMs are regionalized, thereby reflecting variations in PPP use according to geographical areas. Three indicators are proposed to characterize the exposures: probability, frequency, and intensity of exposure.

Due to the rarity of comprehensive and retrospective data required to create these CEMs, a thorough literature search is conducted, including the examination of grey literature, by an experienced project team consisting of agronomists, epidemiologists, and statisticians. Professional consultations with relevant agricultural organisms are also conducted. These consultations help address data gaps or interpretation challenges. They involve comparing the findings gathered from the literature with individuals who possess in-depth knowledge of agricultural practices.

The CEMs meet a strong general need for data on exposure to PPPs, whether it is from health agencies, ministries, occupational medicine, research institutions (such as Inserm), associations, or the general public. Matphyto is currently specifically adapted to improve knowledge of past pesticide exposures among agricultural workers. It covers the whole of metropolitan French territory as well as certain overseas departments.

KEY WORDS: EXPOSURE ASSESSMENT, PESTICIDES, OCCUPATIONNAL EXPOSURE, AGRICULTURE, CROP-EXPOSURE MATRIX

Auteurs

Johan Spinosi¹
Laura Chaperon¹
Laetitia Perrin¹
Mathias Lunghi¹
Katia Touzri²
Clémence Fillol¹

¹ Direction Santé Environnement Travail (Dset), Santé publique France

² Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, UGE, Ifsttar, Umrestte, UMR T_9405, Lyon

Coordination du projet

Johan Spinosi
Santé publique France

Relecteurs

Ohri Yamada³
³ Anses, phytopharmacovigilance

Ce projet a bénéficié d'un financement de l'Office français de la biodiversité (OFB) dans le cadre du plan Écophyto.



Abréviations

Acta	Association de coordination technique agricole
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
BNVD	Banque nationale des ventes de produits phytopharmaceutiques par les distributeurs agréés
Coset-MSA	Cohorte pour la surveillance épidémiologique en lien avec le travail (auprès des affiliés de la Mutualité sociale agricole)
Cosmap	Commission supérieure des maladies professionnelles en agriculture
DROM	Départements et régions d'outre-mer
Ifsttar	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
MEE	Matrice emplois-expositions
MCE	Matrice cultures-expositions
OFB	Office français de la biodiversité
PAC	Politique agricole commune
PPP	Produit phytopharmaceutique <i>ou</i> phytosanitaire
PPV	Phytopharmacovigilance
SA	Substance active
SIG	Système d'information géographique
SSP	Service de la statistique et de la prospective (Secrétariat général du ministère de l'agriculture)
Umrestte	Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance transport travail environnement

Sommaire

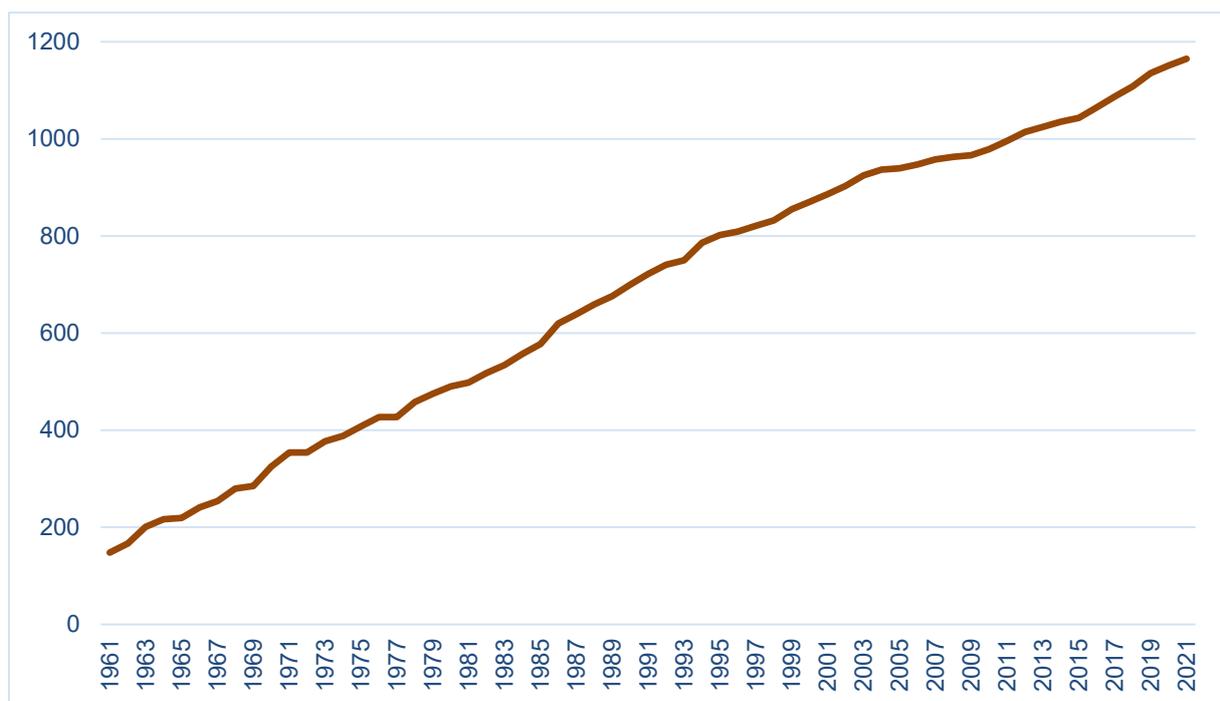
1. INTRODUCTION	7
2. MÉTHODE	9
2.1 Structure des matrices culture exposition	9
2.1.1 Cultures agricoles	9
2.1.2 Nuisances évaluées	9
2.1.3 Historisation des pratiques	10
2.1.4 Régionalisation.....	10
2.1.5 Indicateurs de l'évaluation de l'exposition.....	11
2.2 Étapes d'élaboration.....	13
2.2.1 Recherche bibliographique.....	13
2.2.2 Consultations professionnelles des filières.....	15
2.3 Quelques particularités sur le calcul des indicateurs	16
2.3.1 Probabilité	16
2.3.2 Fréquence.....	18
2.3.3 Intensité	19
3. LIMITES	21
4. FORCES	23
5. APPLICATIONS	24
5.1 Surveillance des expositions	24
5.2 Études des liens avec la santé	24
5.3 Articulation avec la prévention et la médecine du travail	25
6. CONCLUSION	27
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	29
RÉFÉRENCES	30

1. INTRODUCTION

Les produits phytopharmaceutiques (PPP) sont définis, au sens du règlement européen CE n° 1107/2009 (1), comme les substances actives (SA) ou préparations contenant une ou plusieurs SA destinées à protéger les végétaux (ou leurs produits) contre les nuisibles (insectes, acariens, champignons, ...) et les végétaux indésirables, à réguler leur croissance et à assurer leur conservation. Ils sont utilisés depuis des décennies en agriculture et représentent un grand nombre de SA (>1 000) réparties dans de nombreux produits commerciaux (>10 000).

La mise à disposition de ces SA a considérablement varié au cours du temps (Figure 1) : découverte de nouvelles molécules, interdiction de certaines, évolution des usages et de la réglementation... Par ailleurs, l'usage des PPP est très dépendant des cultures agricoles qui se distinguent notamment par le type de SA utilisées, le nombre de traitements réalisés ou encore le matériel d'épandage disponible. Enfin, leur large utilisation en agriculture a conduit à leur diffusion dans tous les milieux de l'environnement : air, eau, sol, chaîne alimentaire.

Figure 1 : Nombre cumulé de substances actives phytopharmaceutiques autorisées en France entre 1961 et 2021



Source : [base Cipa – Matphyto](#) (2) et index phytosanitaire Acta

Si les effets aigus sur la santé de ces substances actives sont relativement bien connus, leurs effets chroniques font encore l'objet de nombreuses recherches. Selon les multiples études épidémiologiques, principalement conduites en milieu professionnel compte tenu des niveaux élevés d'exposition de ces populations pour lesquelles les effets non intentionnels attendus sont donc les plus importants, ces produits sont susceptibles d'engendrer des effets graves : cancers, maladies neurodégénératives, troubles de la fertilité, troubles respiratoires, perturbation endocrinienne (3,4). Cependant, ces pathologies multifactorielles surviennent de manière différée et la mise en évidence des liens entre pesticides et pathologies nécessite une évaluation des expositions la plus juste et la plus fine possible. C'est une des difficultés majeures auxquelles sont confrontées les études épidémiologiques.

Pour réaliser des évaluations rétrospectives de ces expositions chez les travailleurs agricoles, comme généralement pour toute population professionnelle, il est courant d'interroger les personnes exposées par l'intermédiaire d'auto-questionnaires ou d'interviews. Cependant, ces méthodes sont soumises au biais de rappel. Il existe en effet un biais de mémorisation : il est difficile pour un chef d'exploitation (ou pour un salarié agricole) de recenser l'ensemble des substances actives qu'il a pu utiliser au cours d'une carrière professionnelle entière. Pourtant, la connaissance des expositions passées est nécessaire car elle est un élément-clé pour les programmes de surveillance, pour estimer l'exposition vie entière dans l'étude des liens avec des pathologies à long temps de latence, ou encore pour sensibiliser les médecins à un suivi post-professionnel ciblé. Elle permet de mettre en place des actions de préventions primaires avant le déclenchement d'une pathologie et de guider l'action publique dans ses décisions de gestion des risques. Elle permet aussi de mieux évaluer les expositions dans les études épidémiologiques.

En France, cette évaluation des expositions pose des difficultés car il n'existe pas de recueil historique et exhaustif des utilisations professionnelles agricoles individuelles des PPP. Plusieurs réglementations imposent l'enregistrement des pratiques agricoles mais dans un temps limité (5). Par exemple, dans le cadre de la conditionnalité de la Politique agricole commune (PAC), il est obligatoire de tenir un registre phytopharmaceutique pour les productions végétales destinées à la consommation humaine ou animale et d'y enregistrer les conditions d'utilisation des PPP (usage, dose, délai avant récolte, précautions d'emploi particulières, etc.). Le support de ce registre est laissé au libre choix de l'utilisateur : informatisé ou papier. Le registre est conservé pendant une durée de cinq ans suivant l'année de prise en compte de l'enregistrement de la dernière information. Il est mis à disposition seulement en cas de contrôle réglementaire. En l'absence de centralisation de ces données (de manière exhaustive ou à partir d'un échantillon représentatif d'exploitations), il est impossible de bénéficier de cette potentielle source riche en information aussi bien en métropole que dans les départements et régions d'outre-mer (DROM).

En dehors de ces registres généralement inaccessibles, il existe l'index Acta (Association de coordination technique agricole). Depuis 1961, cette association recense les SA phytopharmaceutiques homologuées selon les cultures agricoles en France dans un ouvrage annuel (6). La compilation de ces ouvrages (base Cipa) permet de connaître annuellement les substances utilisables sur les cultures (7). Mais elle ne propose pas de hiérarchisation de l'usage de ces substances : aucune information n'est disponible sur la réalité des usages par les agriculteurs, seule la disponibilité de ces substances actives sur le marché est indiquée.

Pour pallier ce manque, des outils épidémiologiques ont été mis en place sous forme de matrices cultures-expositions (MCE). Plusieurs MCE internationales sont mises en place dès les années 1990 (8–10). Toutefois, chaque initiative détermine des objectifs différents à ces outils. Ainsi les PPP pris en compte, le périmètre géographique choisi, les périodes considérées ainsi que les types d'indicateurs calculés vont différer d'une MCE à l'autre. C'est pourquoi Santé publique France a mis en place, dans le cadre d'un programme de travail avec l'Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance transport travail environnement (Umrestte)/Lyon1, une méthode pour la réalisation de MCE aux PPP répondant spécifiquement à ses besoins : le projet Matphyto.

Matphyto a pour objectif de développer des MCE pour chacune des principales cultures agricoles françaises. Il décrit en fonction de la culture, l'utilisation depuis les années 60 des grands groupes de PPP (herbicides, insecticides, fongicides...), déclinés par familles chimiques (phytohormones de synthèse, organophosphorés...) et SA spécifiques. Matphyto a débuté pour améliorer la connaissance des expositions aux PPP des travailleurs agricoles, il couvre l'ensemble du territoire français métropolitain et certains départements ultramarins.

Ce rapport décrit la méthode de réalisation des MCE, leurs caractéristiques, leurs limites et leurs forces ainsi que quelques exemples d'applications dans les domaines de la surveillance, des études épidémiologiques et de la prévention.

2. MÉTHODE

2.1 Structure des matrices culture exposition

2.1.1 Cultures agricoles

En épidémiologie des risques professionnels, il est commun d'utiliser des outils permettant de caractériser les expositions à différentes nuisances sous forme de matrice emplois-expositions (MEE) (11). Ces outils sont des bases de données permettant, à partir d'un intitulé d'emploi et d'une période historique déterminée, de fournir des indicateurs d'exposition.

L'exposition aux PPP en milieu agricole est très spécifique. D'une part, il existe un très grand nombre de SA différentes (>1 000) (2) et, d'autre part, les usages de ces dernières sont liés au type de culture (12). Ainsi, un viticulteur ne sera pas exposé aux mêmes produits ni aux mêmes intensités qu'un céréalier. De même, les polyculteurs (cultivateurs non spécialisés) peuvent regrouper des exploitations très hétérogènes au sein desquelles les cultures agricoles peuvent être très variées. Afin de mieux décrire les expositions au sein de ces exploitations, la prise en compte des différentes cultures agricoles est nécessaire. C'est donc la culture agricole, plutôt que l'emploi, qui est le critère pertinent pour décrire finement les expositions dans le domaine agricole.

De ces constats est apparue la nécessité de construire des matrices adaptées sous forme de MCE (8). Il s'agit d'un outil permettant de fournir une série d'indicateurs d'exposition spécifiques aux différentes SA phytopharmaceutiques à partir de l'intitulé des cultures agricoles.

Les MCE sont donc généralement réalisées pour chaque culture (i.e. vigne) ou groupe de cultures (i.e. céréales à paille).

Il est toutefois possible, pour certaines SA particulières, de réaliser des MCE spécifiques. Celles-ci prendront donc en compte l'ensemble des cultures agricoles concernées par la SA. C'est le cas, par exemple, d'une MCE spécifique aux pesticides arsenicaux qui s'intéresse à l'utilisation de ces substances sur trois cultures agricoles (13).

2.1.2 Nuisances évaluées

Les MCE prennent en compte les PPP tels que définis par le règlement européen CE n° 1107/2009 (1). Elles prennent en compte différents groupes de PPP dont *a minima* les herbicides, les fongicides et les insecticides. Il existe d'autres groupes de PPP dont l'importance est généralement moindre, mais qui, pour certaines cultures, peuvent nécessiter une étude spécifique et indispensable. Ces autres groupes sont, par exemple, les molluscicides (pour la betterave), les acaricides (généralement regroupés avec les insecticides), les rodenticides (pour la canne à sucre), les substances de croissance (parfois regroupées avec les herbicides), les nématicides (pour le maïs), etc. Chaque MCE réalisée précisera exactement les groupes pris en compte ou non. La prise en compte de ces groupes dépend d'une part de l'importance de ces derniers dans les pratiques agricoles (les groupes utilisés marginalement ne sont généralement pas étudiés), et d'autre part de la possibilité de disposer de données suffisamment robustes pour calculer des indicateurs fiables.

Au sein de chaque groupe de PPP, les MCE détaillent les principales familles chimiques qui les composent. De même, au sein de chaque famille chimique sont détaillées la ou les SA la

composant lorsque les données le permettent. Ces dernières ne peuvent être décrites lorsqu'elles évoluent trop rapidement au sein d'une famille chimique et/ou lorsqu'elles sont trop nombreuses et se substituent les unes aux autres (i.e. pyréthriinoïdes de synthèse, strobilurines et triazoles).

L'usage des PPP est décrit pour chaque groupe, chaque famille chimique et chaque substance active : les données sont donc agrégées en fonction des SA et non pas des produits commerciaux (qui pour certains sont composés de plusieurs SA et familles chimiques différentes). Seules sont prises en considération les SA des PPP. Les solvants et autres substances complémentaires ne font pas partie de la description des expositions des MCE. De même, les adjuvants ne sont pas pris en compte à moins qu'ils aient eux-mêmes une action phytosanitaire.

Enfin, certains types de traitement peuvent être parfois difficiles à étudier. Ainsi, si les traitements effectués sur les parties aériennes des plantes sont pris en compte, d'autres traitements comme les traitements de sol, les traitements de semences ou les traitements post-récolte ne seront pris en compte que si les données disponibles sont suffisantes et fiables. C'est le cas, par exemple, de la MCE mais qui n'étudie pas les traitements de semence. La qualité des données disponibles variant selon les cultures, chaque MCE précise donc le périmètre des traitements qui ont pu être pris en compte et indique, le cas échéant, les types de traitements écartés de l'étude.

2.1.3 Historisation des pratiques

L'utilisation des PPP a fortement varié au cours du temps (2) : évolution du nombre moyen de traitements, homologation ou retrait de nouvelles SA, évolution de la réglementation (modification des doses ou des modalités de traitement, donc des usages), etc. Ces évolutions constantes doivent être prises en compte dans les MCE.

Du fait de l'absence de données annuelles et exhaustives sur les usages de PPP par culture, il n'est pas envisageable de calculer des indicateurs d'exposition évoluant chaque année (sauf pour de rares cas où l'information serait disponible). C'est pourquoi les MCE sont découpées en périodes historiques pluriannuelles (de l'ordre de 5 à 10 ans) dans lesquelles les pratiques phytosanitaires sont considérées comme homogènes. Le passage entre deux périodes entraîne donc une évolution artificiellement brusque des indicateurs. Par ailleurs, chaque PPP connaît des évolutions différentes dans le temps : les périodes qui sont prises en compte dans les MCE peuvent donc être différentes pour chaque famille ou groupe de PPP.

Enfin, s'il peut être utile de remonter de manière importante dans le temps afin de décrire des expositions passées, l'investissement humain nécessaire et l'absence de données fiables ne permettent généralement pas de remonter au-delà des années 60 au mieux. De plus, toutes les MCE ne commencent pas en 1960 : l'absence de données fiables repoussant de plusieurs années le début de certaines.

2.1.4 Régionalisation

Les spécificités locales : climats, sols, type d'exploitations, etc. interfèrent avec les pratiques agricoles et notamment avec l'usage des PPP (14). Afin de prendre en compte ces différences, les MCE sont régionalisées. Ce découpage géographique permet de décrire des usages homogènes au sein d'une même région déterminée. Toutefois, l'absence de données suffisamment précises et complètes ne permet généralement pas de procéder à un découpage géographique fin. Celui-ci sera dépendant des cultures étudiées. Ce découpage est en principe supérieur au département.

2.1.5 Indicateurs de l'évaluation de l'exposition

Les MCE donnent des indicateurs d'exposition pour les groupes, les familles chimiques et les SA. Ces indicateurs sont au nombre de trois : la probabilité, la fréquence et l'intensité.

Tous les indicateurs cités ont été évalués de façon globale. Il s'agit d'indicateurs « moyennés » dans lesquels sont prises en compte les variations parfois importantes pouvant intervenir en fonction de la technicité des exploitations, du matériel utilisé ou bien encore des différences dans les recommandations (avec des doses d'utilisation variables).

Probabilité d'exposition

La probabilité d'exposition correspond à la proportion annuelle des unités de production (les exploitations) ayant eu recours aux PPP considérés, au cours d'une période historique et dans une zone déterminée. Seules les utilisations jugées significatives sont conservées dans la MCE (arbitrairement supérieures à 5 %).

La probabilité est indiquée pour les groupes, les familles chimiques et les SA. Les probabilités données sont des probabilités annuelles, mais elles sont constantes dans une même période historique. Elle reflète la probabilité annuelle moyenne au cours de cette période. Les variations annuelles, si elles existent, ont été lissées dans la période déterminée. Cependant, les périodes historiques sont définies comme des périodes où les expositions aux différents PPP sont homogènes. Les variations de ces probabilités d'une année sur l'autre sont donc relativement modérées. Enfin, la prise en compte des expositions chroniques se fait en étudiant des périodes longues de plusieurs années, et donc s'accommode aisément d'indicateurs moyennés sur des périodes pluriannuelles.

Les MCE indiquent généralement deux probabilités, qui sont liées. L'une concerne la probabilité parmi l'ensemble des exploitations agricoles possédant la culture étudiée, l'autre concerne la probabilité parmi les exploitations possédant la culture et utilisant le groupe de PPP. Ainsi, la probabilité d'exposition à une SA insecticide sur vigne sera indiquée d'une part pour l'ensemble des exploitations viticoles (probabilité « toute exploitation ») et d'autre part parmi l'ensemble des exploitations viticoles utilisant des insecticides (probabilité « parmi les exploitations qui utilisent le groupe ») :

Probabilité « toute exploitation »

Cette probabilité est indiquée pour l'ensemble des exploitations concernées par la culture de la MCE. Par exemple, une probabilité de 10 % indiquée pour la famille chimique des organochlorés (pour une période et une zone géographique déterminées) signifie que 10 % des exploitations ont utilisé chaque année, au cours de la période, des organochlorés pour traiter cette culture. Inversement, 90 % d'entre elles n'en ont pas utilisé. Ces données sont applicables à l'ensemble des exploitations agricoles possédant la culture concernée.

Probabilité « parmi les exploitations qui utilisent le groupe »

Cette 2^e probabilité permet d'utiliser une probabilité plus appropriée si la connaissance de l'utilisation ou non du groupe (i.e. insecticides) est recueillie, par exemple dans une étude épidémiologique. C'est le cas lorsqu'un questionnaire a permis de recueillir des informations sur les types de traitements effectués par l'exploitation : s'il est généralement impossible de recueillir l'ensemble des SA utilisées dans une exploitation par cet outil, en revanche, il est plus aisé et de manière assez fiable, de savoir si des traitements au niveau des groupes sont réalisés (i.e. herbicides, fongicides, insecticides).

Dans l'exemple précédent, la probabilité d'exposition aux organochlorés (insecticides) est de 10 % parmi l'ensemble des exploitations. Il s'agit de la probabilité « toute exploitation ». Si, d'après un questionnaire ou toute autre source, il est validé que l'exploitation a utilisé des insecticides, alors il est possible d'attribuer une probabilité d'exposition aux organochlorés recalculée d'après la probabilité d'exposition au groupe des insecticides indiquée dans la MCE. Par exemple (Figure 2 ; Tableau 1), si la probabilité d'exposition aux insecticides est de 40 % (ce qui signifie que 40 % des exploitations ont traité avec des insecticides et que 60 % n'ont pas traité avec des insecticides), alors la probabilité d'exposition aux organochlorés sachant que l'exploitation a utilisé des insecticides sera de $10\%/40\% = 25\%$ (vs 10 % si l'information n'est pas disponible et que la probabilité « toute exploitation » est retenue par défaut). Cette distinction entre les probabilités « toute exploitation » et « parmi les exploitations qui utilisent le groupe » permet d'affiner de manière importante les expositions, à la condition de posséder cette information (via un questionnaire par exemple).

Figure 2 : Exemple de probabilités d'exposition pour l'ensemble des exploitations vs celles qui ont traité avec des insecticides

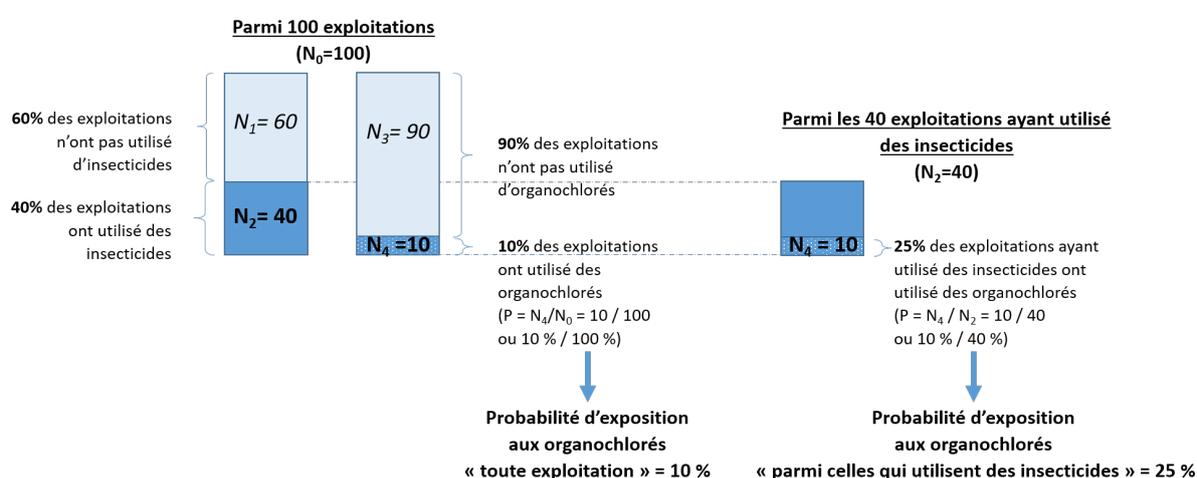


Tableau 1 : Exemple de probabilités d'exposition pour l'ensemble des exploitations vs celles qui ont traité avec des insecticides

Probabilité	Toute exploitation	Parmi celles qui utilisent des insecticides
Insecticides	40 %	100 %
Organochlorés	10 %	25 %

Fréquence d'exposition

La fréquence d'exposition est un indicateur permettant de caractériser le nombre moyen de traitements effectués chaque année pour les groupes, familles chimiques et SA. Comme pour la probabilité, la fréquence est une donnée moyenne qui lisse un ensemble de pratiques individuelles potentiellement hétérogènes. De même, les variations annuelles, si elles existent, ont été lissées dans la période historique déterminée.

Il s'agit bien d'évaluer le nombre moyen de traitements effectués sur les parcelles et non pas le nombre de traitements effectués par un individu : la fréquence est appliquée aux surfaces agricoles. Ainsi, une fréquence de 1 signifie que les parcelles de la culture concernée reçoivent, en moyenne et annuellement, 1 traitement du groupe, de la famille chimique ou de

la SA considérés. L'utilisateur peut cependant épandre ce produit sur plusieurs heures, ou plusieurs jours, en fonction de la surface à traiter, du matériel à disposition, etc. Il n'est pas possible d'étudier l'ensemble de ces déterminants et de les prendre en compte dans ces MCE. Ces hétérogénéités individuelles ne peuvent être étudiées qu'à partir de données recueillies auprès des sujets concernés.

Intensité d'exposition

L'intensité d'exposition indique une quantité moyenne de produits appliquée à l'hectare à chaque traitement (cf. fréquence d'exposition). Elle est donnée en grammes par hectare, sauf indications contraires. Cette information permet d'évaluer les quantités de PPP utilisées par les exploitations. Elle est indiquée pour les familles chimiques et les SA, mais pas pour les groupes car ces derniers sont composés de SA très hétérogènes en termes de grammage appliqué à l'hectare et cette donnée n'aurait pas beaucoup de sens. C'est le cas aussi, par exemple, pour certaines familles chimiques dont les SA sont parfois utilisées avec des grammages trop hétérogènes (par exemple de l'ordre de quelques dizaines de grammes vs plusieurs centaines de grammes voire quelques kilogrammes). Par ailleurs, cette intensité n'est pas toujours simple à déterminer avec précision. Si les intensités homologuées sont facilement accessibles (base ePhy (15), index phytosanitaire Acta (16), documents d'instituts techniques agricoles (17)), en revanche, les usages réels sont parfois difficiles à documenter. Les données les concernant sont inaccessibles. Par conséquent, l'intensité n'est pas toujours précisée dans les MCE.

Une intensité de 1 500 signifie qu'un hectare de culture reçoit, en moyenne, 1 500 grammes de SA à chaque traitement, les quantités utilisées pouvant aller, par exemple, de 750 grammes à 2 000 grammes selon les exploitations. Si la fréquence correspondante est de 2, alors un hectare de culture reçoit, en moyenne dans l'année, 2 fois 1 500 grammes de cette SA (soit un total annuel de 3 000 grammes).

2.2 Étapes d'élaboration

Il convient, pour la réalisation des MCE, de mettre en place une équipe projet expérimentée composée d'agronomes, d'épidémiologistes et de statisticiens.

2.2.1 Recherche bibliographique

La réalisation d'une MCE commence par une recherche bibliographique à dominante technique et d'entretiens avec des personnes-ressources connaissant bien les pratiques agricoles, afin de recueillir les premières informations sur les itinéraires techniques habituellement menés sur la culture considérée. Cette première étape permet de :

- Comprendre le raisonnement lors de l'élaboration d'un plan de traitement dans une exploitation (traitements préventifs/curatifs, ravageurs principaux/marginaux, utilisation des traitements alternatifs, rôle du précédent cultural, etc.) ;
- Comprendre les interactions avec les spécificités pédoclimatiques (relations sols/adventices, climat/pression des ravageurs, etc.) ;
- Comprendre l'influence des facteurs socio-économiques (recherche du rendement optimum/moindre coût, équipements, habitudes, etc.) ;
- Esquisser un découpage chronologique (grandes périodes liées à l'interdiction/homologation de SA majeures, évolutions variétales, nouvelles techniques, etc.) et un découpage régional.

Ce travail préparatoire permet, à partir de sources d'informations variées, d'avoir une connaissance plus fine des pratiques agricoles et d'élaborer une liste chronologique de SA potentiellement utilisées. Il s'agit d'obtenir un support efficace pour l'élaboration des MCE. Les sources d'information sont variées, hétérogènes, parfois difficilement accessibles (archives papiers non référencées, confidentielles, mal stockées, etc.). Elles sont issues des divers organismes agricoles ou para-agricoles qui travaillent sur la culture ou le groupe de cultures concernés : instituts techniques agricoles, chambres d'agriculture, coopératives, groupements d'agriculteurs, organismes de recherche, organismes de formation, ministère de l'agriculture (services régionaux, services statistiques), etc. Il peut s'agir de documents institutionnels, de rapports de stage, de préconisations de traitement (par exemple les ex-avertissements agricoles), de plans de surveillance/contrôle, de fiches techniques, d'enquêtes, de recensements, de données de ventes, de déclaration des douanes, de base de données d'agriculteurs adhérents à certains réseaux, etc. Il peut s'agir aussi de revues spécialisées dans lesquelles des informations sont égrenées sur les nouveaux produits commerciaux, leur efficacité et leur pénétration du marché, sur les nouvelles variétés résistantes à certaines maladies, sur le développement de nouvelles techniques d'épandage ou de préconisations de traitement, parfois sur des bilans phytosanitaires annuels, etc. C'est une étape très chronophage car il faut repérer les sources qui ne sont pas toutes indexées dans des bases bibliographiques, en obtenir l'accès et repérer toute information potentiellement utile. Les données concrètes d'usage des PPP sont rares et il est souvent nécessaire de recueillir des données indirectes comme l'évolution de la pression des ravageurs, les SA disponibles à défaut de celles réellement utilisées, les recommandations, etc. et de compiler l'ensemble. Ces données sont souvent parcellaires (un type de culture, une période déterminée, un certain type d'indicateur, une zone géographique limitée...) et difficilement utilisables (données anciennes non informatisées, recherche et mise à disposition des archives compliquées...).

Ce travail préparatoire, réalisé par des agronomes ou spécialistes du domaine, permet la constitution d'une ébauche de MCE contenant les informations essentielles : liste des produits utilisables en fonction des années, itinéraire technique type (nombre de passages, logique de raisonnement mis en œuvre...).

Par ailleurs, pour les périodes historiques plus récentes, les données issues des enquêtes sur les pratiques culturales d'Agreste, le Service de la statistique et de la prospective (SSP) du Secrétariat général du ministère de l'agriculture (18), peuvent être utilisées. Les informations recueillies sont très utiles pour la réalisation des MCE car les enquêtes rapportent l'ensemble des pratiques culturales réalisées sur un échantillon de parcelles agricoles d'une culture donnée. Elles détaillent, entre autres, les usages des PPP et sont donc une des rares sources de données quantitatives disponibles. Selon la culture enquêtée, les régions ou départements concernés varient : ceux contribuant faiblement à la surface nationale en sont exclus. Ainsi, seules les régions dans lesquelles les surfaces cultivées sont importantes sont enquêtées. Pourtant, même dans les régions où les surfaces sont plus faibles, le nombre de professionnels agricoles concernés par ces cultures peut être conséquent. Ces enquêtes ne répondent donc pas entièrement aux besoins initiaux du projet, à savoir la caractérisation des expositions de l'ensemble des travailleurs de l'agriculture. De plus, elles sont réalisées de manière périodique (période de 3 à 8 ans) et l'année de l'étude peut ne pas être représentative de la période : par exemple si l'année de l'enquête est particulièrement pluvieuse, l'usage des fongicides sera probablement augmenté mais cela peut ne pas être représentatif des années antérieures ou postérieures. Toutes les cultures ne sont pas étudiées et le recul historique est parfois faible (1986 pour certaines grandes cultures, mais 2012 pour l'arboriculture ou 2013 pour les légumes). Enfin, les données de 1986 ne sont pas disponibles informatiquement, seules celles à partir de 1994 le sont. Malgré ces limites, ces enquêtes sont d'une très grande utilité pour l'élaboration des MCE.

2.2.2 Consultations professionnelles des filières

Les données recueillies dans la bibliographie ne permettent pas toujours de statuer sur les expositions à l'ensemble des SA, périodes, régions et indicateurs. L'ensemble des données recueillies et analysées dans la première phase de construction des MCE permet la réalisation d'un document de travail qui est ensuite suivi d'une confrontation auprès des professionnels des filières pour affiner, consolider et compléter la MCE. Cette consultation permet de pallier le manque de données ou les difficultés d'interprétation. Elle consiste à confronter les résultats colligés dans la bibliographie avec des personnes ayant une connaissance approfondie des pratiques agricoles. Ces personnes ont été recensées lors de la réalisation de la phase bibliographique. Il peut s'agir de signataires d'articles ou de rapports, de sommités du milieu (personnes ayant réalisé toute leur carrière dans une fonction d'agronomes spécialistes de la culture et ayant vécu les changements structurels de l'agriculture et de ses pratiques), de personnes conseillées auprès des divers interlocuteurs rencontrés, d'agriculteurs, etc. Ces spécialistes ont toutefois rarement connaissance de l'ensemble des pratiques et sont souvent plutôt spécialisés : par groupe (herbicides, insecticides ou fongicides), par type de culture (pomme de terre de conservation vs pomme de terre primeur), par région ou par période (fonction de leur activité professionnelle). Pour les périodes les plus anciennes, il s'agit souvent de personnes qui ne sont plus en activité professionnelle.

Le travail demandé pour la préparation des échanges sur les MCE nécessite un investissement non négligeable de la part des professionnels interrogés (apport de connaissances au cours d'entretiens ou de réunions, préparation de bases de données, mise à disposition des archives, etc.) et par conséquent de leurs organismes de rattachement au regard de leurs ressources humaines limitées (instituts techniques agricoles, chambres d'agriculture, etc.). Si l'implication de ces professionnels a toujours été réalisée gracieusement, les impératifs de performance économique de ces organismes n'incitent pas ces derniers à y consacrer un temps important. En définitive, les personnes pouvant participer à ces consultations sont généralement peu nombreuses et leur nombre varie selon les MCE élaborées (en fonction du nombre d'organismes de la filière, de leur implication dans la démarche, etc.).

Lors des entretiens, le périmètre exact d'étude est précisé. Les documents de synthèse sont présentés et discutés. Des questionnaires peuvent être proposés soit en cours d'entretien soit en amont ou en aval de ceux-ci. Ils permettent de recueillir des informations globales ou plus spécifiques afin de préparer les réunions (en priorisant les points majeurs à discuter), de les animer ou bien encore de prolonger les consultations de manière plus personnalisée entre deux réunions. Ces confrontations permettent d'échanger sur les données les plus complètes mais aussi sur les parties peu renseignées : il peut s'agir d'une période, d'une zone, d'un type de traitement, etc. Ces échanges permettent de combler certains manques, de donner de nouvelles pistes de recherche de documents ou d'autres sources. Il est possible lors de cette seconde phase d'acter le manque de données sur certains points et l'impossibilité d'y répondre (par manque de sources ou de temps) et de confirmer l'arrêt des recherches. Le cas échéant, les MCE ne détailleront donc pas certaines pratiques et l'indiqueront clairement.

Lors de ces échanges, il n'est pas envisageable de recueillir des informations extrêmement précises sur l'ensemble des groupes, familles chimiques ou SA : tous les indicateurs ne peuvent être déterminés directement. En revanche, des informations extrêmement utiles peuvent être recueillies notamment par le biais d'informations indirectes comme les usages relatifs entre les produits (rarement utilisés, moyennement utilisés, très souvent utilisés) ou d'explications permettant une meilleure compréhension et une meilleure interprétation de certaines informations recueillies (par exemple des produits régulièrement mis en avant dans la bibliographie parce qu'ils étaient très efficaces et résolvaient une problématique phytosanitaire notable, mais qui étaient finalement peu utilisés car un seul traitement suffisait

pour plusieurs années, ou bien le produit était très onéreux, etc.). C'est la confrontation entre l'ensemble des données recueillies (homologation des produits, itinéraires techniques, bases de données, pressions des ravageurs, pratiques habituelles, avis des professionnels, etc.) qui permet d'ajuster les données des MCE et d'aboutir à une base de données fixe.

Une fois le consensus obtenu sur les différents paramètres (produits retenus, valeurs des indicateurs, découpage chronologique, ...), la MCE peut être mise en forme (Figure 3). Cependant, l'intégralité des données ne peut être prise en compte. Il s'agit donc de trouver le meilleur compromis concernant le niveau de détail de l'ensemble des paramètres qui sont fonction des cultures et des données recueillies : un niveau de précision trop fin est impossible à rendre dans une MCE et de toute façon difficilement applicable à un niveau épidémiologique. À l'inverse, un niveau de précision trop faible masque certaines pratiques ayant une incidence sur les expositions à certains produits.

Figure 3 : Exemple de structure d'une matrice culture exposition (culture du maïs)

			Substance active A	Substance active B	Substance active ...
	Zone A	Période 1	P,F,I	P,F,I	...
	Zone A	Période 2	P,F,I	P,F,I	...
	Zone ...	Période

P= probabilité, F = fréquence, I = Intensité

2.3 Quelques particularités sur le calcul des indicateurs

Cette partie présente quelques subtilités et complexités sur le mode de calcul des indicateurs, à partir d'exemples concrets et de difficultés rencontrées pour l'obtention des indicateurs.

2.3.1 Probabilité

Une moyenne de pratiques hétérogènes :

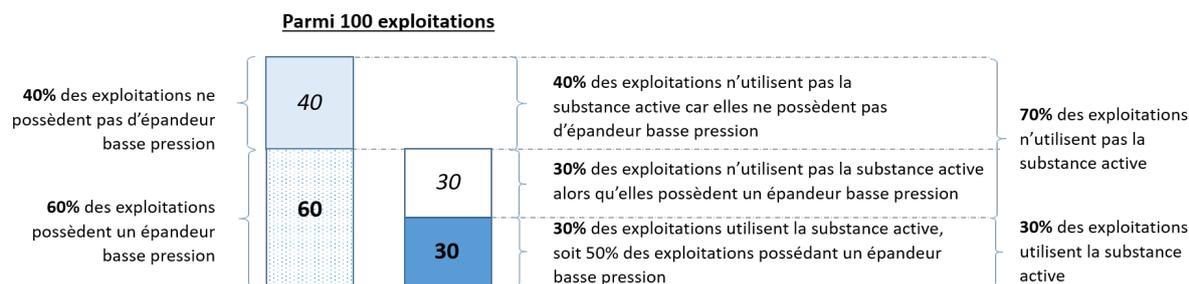
Les probabilités indiquées dans les MCE sont des moyennes de pratiques parfois hétérogènes.

Exemple 1 (Figure 4) :

L'utilisation d'une SA peut être liée à la possession d'un type particulier de pulvérisateur (par exemple un pulvérisateur basse pression). Seuls les possesseurs de tels appareils sont susceptibles d'utiliser le produit. Si 60 % des exploitations sont équipées et si la moitié de celles-ci a utilisé la SA, alors la probabilité correspondante dans la MCE sera de 30 % (60 % x 50 %). La MCE indique donc que 30 % des exploitations ont utilisé le produit chaque année. Dans le détail :

- 40 % n'ont pas utilisé le produit car elles n'étaient pas équipées d'un pulvérisateur basse pression ;
- 30 % n'ont pas utilisé le produit bien qu'elles étaient équipées d'un pulvérisateur basse pression ;
- 30 % ont utilisé le produit et étaient équipées d'un pulvérisateur basse pression.

Figure 4 : Illustration du calcul de probabilité moyenne à partir de pratiques agricoles hétérogènes



Exemple 2 :

L'utilisation d'une même SA peut être, selon les exploitations, annuelle, bisannuelle ou trisannuelle. Si :

- un tiers des exploitations ont utilisé la SA chaque année ;
- un autre tiers tous les deux ans ;
- le dernier tiers tous les trois ans.

Alors la probabilité moyenne indiquée dans la MCE sera de :

$$0,33 + 0,33/2 + 0,33/3 \text{ soit } 0,33 + 0,17 + 0,08 = 0,58 \text{ (58 \%)}.$$

La MCE indique que 58 % des exploitations ont utilisé la SA chaque année moyennant le fait que certaines l'ont fait tous les ans, d'autres un an sur deux, et enfin d'autres un an sur trois.

Non-prise en compte des probabilités marginales < 5 % :

Certaines SA ou familles chimiques sont utilisées marginalement. Ces produits ont été recensés comme étant sur le marché pour avoir une efficacité sur certains ravageurs ou mauvaises herbes, mais les données bibliographiques et les consultations n'ont pas permis de les retenir comme étant des produits habituellement utilisés. La problématique est de pouvoir déterminer si ces produits sont utilisés de manière relativement faible mais non nulle et donc de conserver l'information dans la MCE, ou bien alors de déterminer que ces SA n'ont pas été utilisées de manière suffisante pour être retenues. L'absence de données probantes ou de validation par les consultations des professionnels des filières peuvent être liée à la faiblesse d'utilisation de cette SA ou famille chimique mais cela ne signifie pas obligatoirement que son utilisation est nulle. Arbitrairement, une SA ou une famille chimique qui est utilisée par moins de 5 % des exploitations n'est pas retenue.

Différence entre indicateurs professionnels et environnementaux :

Les MCE ont été initialement réalisées dans le but de caractériser les expositions aux PPP des professionnels de l'agriculture. Ainsi les indicateurs disponibles permettent d'estimer la part des professionnels agricoles exposés. En revanche, elles ne permettent pas directement d'estimer les expositions environnementales. Pour ces dernières, il est nécessaire de caractériser la présence des cultures agricoles sur le périmètre d'étude.

Exemple :

Si la MCE indique une probabilité de 100 %, cela signifie que 100 % des professionnels de l'agriculture sont exposés à la substance considérée. En revanche, cela ne signifie pas que 100 % de la population générale est exposée à cette substance. Cela dépend de la répartition de la culture concernée sur le territoire ainsi que de la répartition de cette population dans ce même territoire. Des hypothèses devront être posées sur la

zone géographique à prendre en considération : canton, périmètre autour des habitations (19), etc. Les individus à l'intérieur des périmètres déterminés, et dans lesquels la culture a été recensée, seront alors considérés comme exposés à 100 %. Les individus à l'extérieur de ces périmètres seront considérés comme non exposés.

2.3.2 Fréquence

Une moyenne de pratiques hétérogènes :

Tout comme la probabilité, la fréquence indiquée dans les MCE est une moyenne de pratiques individuelles parfois hétérogènes. Le calcul de la fréquence prend en compte ces disparités.

Exemple :

Si dans une zone géographique et une année donnée :

- un tiers des exploitations traitent 1 fois les parcelles de la culture considérée ;
- un autre tiers 2 fois ;
- le dernier tiers 3 fois.

Alors la fréquence moyenne est calculée au prorata de la manière suivante :

$$0,33 \times 1 + 0,33 \times 2 + 0,33 \times 3 = 2.$$

Cette fréquence 2 sera indiquée dans la MCE. Cela signifie qu'en moyenne une exploitation traite 2 fois ses parcelles (ce chiffre variant, dans cet exemple, de 1 à 3 fois selon les exploitations).

Proportion des parcelles traitées :

Par définition, lorsque l'ensemble des parcelles de la culture considérée sont traitées 1 fois par une exploitation, la fréquence attribuée à cette exploitation est de 1.

Si une exploitation traite 1 fois ses parcelles dans l'année mais sur une partie seulement de la surface concernée, par exemple 50 % des surfaces, alors la fréquence attribuée est de 0,5.

Si une exploitation traite 2 fois ses parcelles dans l'année mais sur une partie seulement de la surface concernée, par exemple 50 % des surfaces à chaque fois, alors la fréquence attribuée est de $0,5 \times 2 = 1$.

Dans le cadre du désherbage des bords de parcelles, ou du traitement par tâches dans les parcelles (traitements localisés sur certaines parties de la parcelle), il convient d'estimer la part des surfaces réellement traitées pour déterminer la fréquence correspondante. Généralement, et sauf données contraires, ces types de traitements sont considérés comme prenant en compte 10 % des surfaces des parcelles. La fréquence correspondante sera donc de 0,1. Dans le cas où ces traitements se répètent dans l'année ils sont augmentés d'autant : 0,2 pour 2 traitements, 0,3 pour trois traitements.

L'ensemble de ces valeurs sont ensuite moyennées en estimant la proportion d'exploitations réalisant chacun ces types de traitements.

Exemple (Figure 5) :

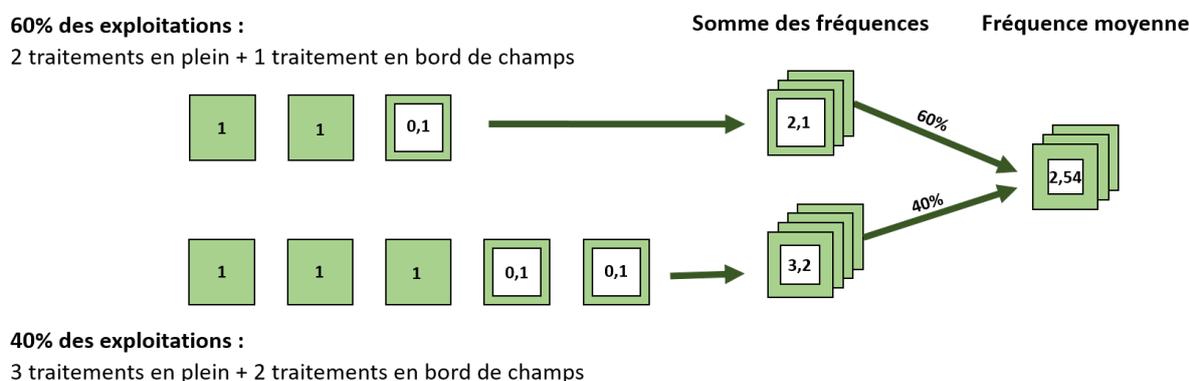
Soit :

- 60 % des exploitations réalisant 2 traitements en plein (toute la surface de la culture) et 1 traitement en bord de champs ;
- 40 % réalisant 3 traitements en plein et 2 traitements en bord de champs.

Au total, 60 % des exploitations réalisent 2,1 traitements et 40 % réalisent 3,2 traitements. Soit une fréquence moyenne de $0,6 \times 2,1 + 0,4 \times 3,2 = 2,54$.

La fréquence indiquée dans la MCE sera de 2,54.

Figure 5 : Illustration du calcul de fréquence moyenne à partir de pratiques agricoles hétérogènes



2.3.3 Intensité

Une moyenne de pratiques hétérogènes :

L'intensité est une valeur moyenne de pratiques parfois hétérogènes. D'une part, 2 exploitations peuvent utiliser des doses d'emploi différentes de SA pour un même type de traitement avec le même produit commercial : certaines pratiques autorisent l'utilisation de demi-doses par exemple. Il convient dans ce cas de déterminer la proportion d'exploitations utilisant des doses pleines et des demi-doses.

D'autre part, une SA peut être utilisée à partir de produits commerciaux ne contenant que cette SA et donc avec une intensité élevée (maximum) ou bien à partir de produits commerciaux contenant plusieurs SA et généralement avec une intensité plus faible (par exemple une demi-dose dans le cas de produits commerciaux contenant 2 SA, un tiers de doses avec 3 SA, etc.). Pour prendre en compte ces usages seuls ou en mélanges et donc ces intensités variables, il convient d'estimer la part des exploitations et la part des traitements concernés. Les calculs sont ensuite réalisés au prorata de ces usages.

Il est fréquent que les données pour réaliser ces calculs soient absentes.

Prise en compte des recommandations et des usages réels :

L'intensité est une donnée généralement difficile à caractériser : les usages concrets sur le terrain sont peu connus rétrospectivement. Les données fiables concernent les quantités homologuées pour les différents usages : celles-ci vont dépendre de la cible, du type de culture, etc. Les données d'homologation, qui sont des doses maximales autorisées, sont relativement simples à obtenir. En revanche, il est plus complexe de déterminer dans quelles mesures les usages réels se rapprochent de ces doses homologuées. L'obtention de ces données auprès des professionnels des filières n'est pas non plus facile à réaliser. S'ils peuvent déterminer dans quelle mesure les exploitations utilisent tel ou tel produit pour lutter contre tel ou tel ravageur, en revanche il leur est difficile de déterminer avec précision les quantités réellement utilisées. Généralement, les quantités préconisées (par les fabricants, les instituts techniques, etc.) sont plutôt respectées, et ceci pour différentes raisons :

- Les produits sont efficaces à ces doses ;
- Le coût de ces produits n'est pas anodin dans le budget d'une exploitation (limitant les surdosages inutiles ou les sous-dosages inefficaces) ;
- Des contrôles sont possibles ;
- Etc.

Il n'est cependant pas interdit de penser que des usages en excès ont pu avoir lieu, voire des usages en deçà des recommandations. Il est possible parfois de caractériser des usages en demi-doses mais cela reste rare. Par défaut, et lorsqu'il est possible de les estimer, les données présentées dans une MCE seront les données homologuées. Elles sont ajustées en fonction de la qualité des données recueillies permettant de les pondérer.

3. LIMITES

La méthode consistant à compiler les données issues de la bibliographie dite grise est très chronophage car elles sont :

- Dispersées au sein de nombreux organismes ;
- Très hétérogènes en termes de qualité et de quantité en fonction des périodes historiques et des zones géographiques ;
- Pas forcément représentatives car issues d'un groupe particulier d'exploitations (appartenance à un groupement, une coopérative, etc.) ;
- Parfois difficiles d'accès car mal stockées, confidentielles ou sur des supports informatiques désuets ;
- Etc.

En l'absence de recueil centralisé des données sur les usages rétrospectifs des PPP, cette méthode reste indispensable pour les années anciennes.

Si la méthode globale est la même pour chaque MCE, en revanche il est nécessaire de l'adapter à la ou aux cultures étudiées. En effet, les données sont plus ou moins nombreuses et accessibles selon les filières : conservation ou non des archives suite aux déménagements/fusions/acquisitions, implication variable des acteurs, etc.

Les personnes-ressources capables d'apporter une vision globale des pratiques anciennes sont de plus en plus rares. Le *turnover* est maintenant plus fréquent et il est plus difficile de trouver des individus ayant plusieurs dizaines d'années de carrières dans le domaine. Les MCE sont donc validées par un groupe limité de professionnels des filières.

Si les MCE s'efforcent de prendre en compte les spécificités régionales, il n'est cependant pas possible, du fait de l'absence de données exhaustives, de descendre à un niveau très fin. Si les données plus récentes comme la Banque nationale des ventes de produits phytopharmaceutiques par les distributeurs agréés (BNVD) ou bien les enquêtes sur les pratiques culturelles du ministère chargé de l'agriculture sont disponibles, elles ne peuvent être utilisées pour les données anciennes et ne sont pas toujours adaptées à la réalisation des MCE.

Les indicateurs de la MCE sont spécifiques à chaque SA prise individuellement. Or, lorsqu'une culture est traitée, elle peut l'être par plusieurs SA de manière concomitante. La MCE ne donne pas d'information sur les mélanges. Il n'est donc pas possible de connaître précisément les mélanges de SA auxquels sont exposés les individus à l'instant t.

Les indicateurs proposés ne sont pas des indicateurs d'exposition directe. Toutefois, ils permettent de s'approcher au mieux de l'exposition potentielle des individus travaillant sur les exploitations. Les probabilités d'usage des PPP dans les exploitations renseignées par la MCE sont considérées comme une approximation des prévalences d'exposition aux PPP des personnes travaillant au sein de ces exploitations. Ainsi, si les MCE permettent de connaître de manière fine les utilisations sur les exploitations, la connaissance des expositions auprès des individus travaillant dans les exploitations est extrapolée. Par exemple, si 20 % des exploitations utilisent un PPP, il est possible d'estimer que 20 % des effectifs des travailleurs agricoles sont exposés de manière directe ou indirecte aux PPP. En effet, les expositions aux PPP ne sont pas spécifiquement limitées aux personnes qui épandent les PPP sur l'exploitation. Les expositions peuvent concerner aussi les personnes travaillant dans les champs après traitement (ou à proximité) ou lors des récoltes (20).

Les indicateurs (probabilité, fréquence et intensité) sont annuels mais sont moyennés au sein de périodes historiques de plusieurs années. Les indicateurs sont donc les mêmes pour

chaque année de la période. Les variations d'une année sur l'autre au sein des périodes ne sont donc pas apparentes.

La fréquence est appliquée aux surfaces agricoles. Elle ne détermine pas directement le nombre de passages effectués par les individus, le nombre d'heures d'épandage, le nombre de remplissages de la cuve du pulvérisateur, etc. Ces éléments dépendent du matériel utilisé et de l'organisation du travail.

L'information disponible dans les MCE ne permet pas de savoir dans quelle proportion les exploitations ayant traité une année traiteront également l'année suivante. De même, elles ne permettent pas de déterminer dans quelle proportion les exploitations traitant une culture une année traitent une autre culture la même année avec un même PPP. Il convient, lors de l'utilisation des MCE, de poser des hypothèses concernant les relations existantes entre le traitement deux années consécutives d'un même PPP sur une même culture, ou le traitement de deux cultures différentes avec un même PPP une même année. Des hypothèses de travail ont été proposées concernant les cultures de céréales à paille et de maïs dans le cadre de l'utilisation des MCE Matphyto avec les données de la cohorte Coset MSA – Cohorte pour la surveillance épidémiologique en lien avec le travail (21). Ces hypothèses ont fait l'objet d'une publication (22).

L'utilisation des MCE est principalement destinée à des groupes d'individus, dans une visée épidémiologique. En effet, les MCE ne permettent pas de tenir compte de la variabilité des expositions à l'intérieur d'un groupe d'individus : les données sont moyennées. Une évaluation individuelle et isolée n'aurait pas véritablement de sens sauf si elle est suivie d'une expertise. Les MCE peuvent ainsi servir de canevas d'aide à l'expertise individuelle par exemple pour un dossier de reconnaissance en maladie professionnelle.

4. FORCES

Les MCE sont des outils épidémiologiques et de surveillance qui retracent de manière la plus complète possible l'utilisation des PPP.

Elles sont obtenues par la mise en place d'une équipe projet expérimentée, l'analyse de la bibliographie et le consensus de professionnels des filières.

Les MCE permettent de décrire les expositions à l'ensemble des groupes, familles chimiques et SA phytopharmaceutiques réellement utilisées sur les cultures agricoles pour l'ensemble du territoire français. Elles pallient ainsi le manque de recueil historique sur les utilisations des PPP en France.

Décrire les expositions aux PPP chez un travailleur de l'agriculture ayant débuté sa carrière il y a plusieurs dizaines d'années est complexe car il ne détient généralement pas de registre listant l'ensemble de ces produits. Cette lacune concerne aussi bien les chefs d'exploitation que les salariés agricoles. Les MCE pallient cette difficulté car elles ne nécessitent que le recueil relativement simple de l'histoire professionnelle et des cultures présentes sur les exploitations, ce qu'un individu est généralement plus apte à décrire. Elles peuvent donc être utilisées dans des études à grande échelle, là où l'expertise individuelle de chaque dossier par un groupe d'experts est longue, coûteuse et parfois même infaisable.

Contrairement à d'autres matrices limitées à des variables binaires de type exposés/non exposés, les MCE Matphyto proposent des indicateurs avec des variables quantitatives. Elles permettent de décrire plus précisément les expositions et d'améliorer les analyses épidémiologiques.

Les indicateurs fournis par la MCE, combinés à des données de population issues par exemple du recensement agricole (qui recense tous les dix ans l'ensemble des exploitations agricoles en France et les personnes y travaillant) ou d'études épidémiologiques, permettent d'évaluer les expositions professionnelles aux PPP et de les décrire en fonction du sexe, de l'âge, des régions, des périodes, etc.

Les MCE étant temporalisées, il est possible de suivre dans le temps l'évolution des expositions aux PPP et de les décrire, permettant de constater des évolutions sur les expositions en fonction d'événements comme des changements de réglementation par exemple.

Les MCE étant régionalisées, il est aussi possible de comparer les expositions entre les différentes régions françaises.

Par ailleurs, même si les MCE ont été réalisées initialement dans l'objectif d'évaluer les expositions aux PPP des professionnels, il est également possible d'approcher l'exposition environnementale aux PPP en combinant les MCE avec la connaissance des cultures agricoles présentes dans les différents territoires (23,24). Les MCE peuvent être utilisées dans le cadre d'un système d'information géographique (SIG) pour calculer des niveaux d'expositions environnementales. L'association entre ces indicateurs et d'éventuelles pathologies peut ensuite être évaluée.

5. APPLICATIONS

5.1 Surveillance des expositions

Les MCE peuvent être utilisées afin de décrire l'évolution des expositions aux différents PPP dans la population professionnelle. C'est le cas lors du croisement des données des MCE avec les données de population issues du recensement agricole : les MCE fournissent des indicateurs d'exposition aux PPP selon les cultures, les zones géographiques et le temps ; et les recensements agricoles décennaux fournissent les données sociodémographiques sur les personnes présentes dans les exploitations agricoles possédant la ou les culture(s) considérées (25–27).

Exemples :

- L'utilisation d'une MCE sur les pesticides arsenicaux appliqués sur la vigne a permis d'estimer que pour les années 1979, 1988 et 2000, entre 60 000 et 100 000 personnes ont travaillé sur des exploitations agricoles utilisant des pesticides arsenicaux pour le traitement de la vigne (13). Ces personnes travaillaient dans des exploitations viticoles ayant utilisé près de 15 kg d'arsenic en 1979, 18,4 kg en 1988 et 26,8 kg en 2000.
- L'utilisation d'une MCE concernant la culture de la banane aux Antilles françaises (28) a permis de décrire qu'en 1981 et 1989, les travailleurs agricoles de la banane utilisaient 11 substances cancérigènes probables (avérées, supposées ou suspectées), 9 en 2000 et 4 en 2010. Le nombre de travailleurs permanents exposés (main-d'œuvre salariée et main-d'œuvre familiale) varie entre 5 270 (en 2010) et 13 504 (en 1981).
- L'utilisation d'une MCE concernant la culture de la canne à sucre à La Réunion (29) a permis de décrire qu'en 1981 et 1989, les travailleurs agricoles de la canne utilisaient 7 substances cancérigènes probables (avérées, supposées ou suspectées), 6 en 2000 et 3 en 2010. Le nombre de travailleurs permanents exposés (main-d'œuvre salariée et main-d'œuvre familiale) varie entre 6 330 (en 2010) et 7 338 (en 1981).

5.2 Études des liens avec la santé

L'utilisation des MCE dans des études épidémiologiques permet de mieux prendre en compte les expositions aux PPP (au niveau des groupes, familles chimiques ou SA) et d'étudier leurs effets sur la santé. Il peut s'agir de cohortes épidémiologiques dans lesquelles des informations sur les cultures agricoles ont été recueillies auprès des sujets de l'étude, ou bien d'études écologiques dans lesquelles ont été déterminées les cultures agricoles présentes dans des zones géographiques. La Figure 6 illustre trois exemples d'application des MCE selon le type de données disponibles dans l'étude :

- Le 1^{er} exemple concerne des sujets pour lesquels les données sur les cultures, les régions et les périodes de travail sont connues. Ces informations permettent d'appliquer pour chaque individu les indicateurs correspondants issus de la ou des MCE (22). Si l'étude a permis de recueillir des données complémentaires sur les tâches réalisées au cours de l'activité professionnelle, les expositions peuvent être ajustées pour chaque individu. Par exemple, si un individu précise qu'il n'a jamais utilisé d'insecticides, alors son exposition est nulle. À l'inverse, s'il précise qu'il a utilisé des insecticides, alors la probabilité d'utilisation de ce groupe sera de 100 % et les autres indicateurs des familles chimiques et SA seront adaptés ; de même, les données concernant le matériel et les équipements de protection utilisés pourront moduler les

fréquences ou les intensités d'exposition selon les hypothèses déterminées par les auteurs de chaque étude (30).

- Le 2^e exemple concerne les études pour lesquelles l'historique professionnel est listé sous forme d'emplois. Il convient d'estimer les cultures agricoles correspondant à ces emplois pour utiliser les MCE. Cette estimation peut être effectuée en caractérisant les types d'exploitations pour chaque code d'emplois utilisé, puis en utilisant le recensement agricole pour estimer les cultures présentes sur chacune d'elles (31).
- Le 3^e exemple concerne l'utilisation des MCE à partir d'un SIG localisant les cultures agricoles sur un territoire à des périodes données. Dans ce cas, il est possible d'utiliser les MCE pour estimer les expositions aux PPP sur chaque zone d'étude d'intérêt, les MCE donnant des informations selon la zone géographique et les types de cultures (32).

5.3 Articulation avec la prévention et la médecine du travail

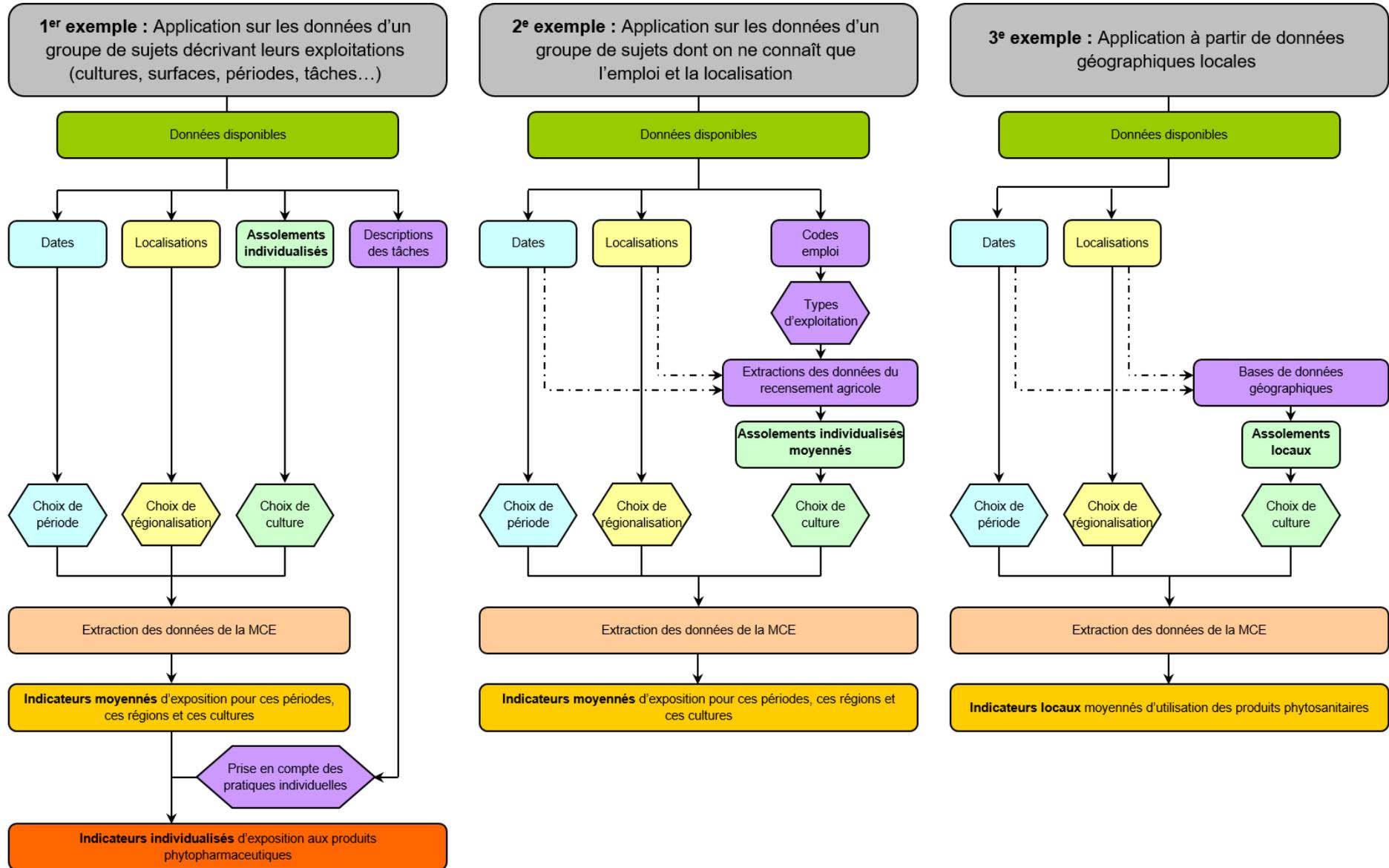
Les MCE, permettent de calculer des prévalences d'exposition à une échelle populationnelle et de discriminer les groupes les plus exposés. Les MCE peuvent aussi participer à des objectifs de prévention¹ des risques professionnels au niveau individuel. Parce qu'elles sont exhaustives sur les SA réellement utilisées dans les exploitations agricoles, elles peuvent aider à la prévention :

- Primaire : en identifiant des populations exposées à certaines SA actuellement sur le marché et dont les nouvelles connaissances scientifiques les rendent préoccupantes ;
- Secondaire : en ciblant le dépistage de pathologies chez les personnes les plus exposées ;
- Tertiaire : en aidant à la reconstitution des expositions passées pour la reconnaissance en maladie professionnelle.

Les MCE peuvent être utiles pour les médecins du travail (qui sont en contact avec les travailleurs), les médecins généralistes (qui sont en contact avec les travailleurs mais aussi et surtout avec les retraités) et les travailleurs eux-mêmes pour les aider à reconstituer les expositions professionnelles passées à l'ensemble des PPP en fonction des cultures, du temps et des régions, et en l'absence de traçabilité des expositions individuelles. Les MCE peuvent aussi être utilisées, par exemple, par la Commission supérieure des maladies professionnelles en agriculture (Cosmap) et la Phytopharmacovigilance (PPV) de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) pour décrire finement les expositions professionnelles aux PPP et ainsi apporter des éléments de contexte pour la création ou la révision d'un tableau de maladie professionnelle.

¹ Selon la [Haute Autorité de santé](#) : la prévention consiste à éviter l'apparition, le développement ou l'aggravation de maladies ou d'incapacités ; sont classiquement distinguées la prévention primaire qui agit en amont de la maladie (ex : vaccination et action sur les facteurs de risque), la prévention secondaire qui agit à un stade précoce de son évolution (dépistages), et la prévention tertiaire qui agit sur les complications et les risques de récurrence.

Figure 6 : Trois exemples d'application d'une matrice cultures-exposition (MCE) aux produits phytopharmaceutiques



6. CONCLUSION

Les maladies chroniques sont une préoccupation majeure concernant la santé des travailleurs agricoles. Elles sont en partie liées à des expositions chimiques aux PPP. Le temps de latence entre les expositions et les maladies chroniques est long, allant jusqu'à plusieurs dizaines d'années. Les effets sur la santé constatés aujourd'hui sont donc liés à des expositions anciennes qu'il convient de retracer.

Pour réaliser des évaluations rétrospectives de ces expositions chez les travailleurs agricoles, comme généralement pour toute population professionnelle, il existe les entretiens, mais ces derniers sont soumis au biais de mémorisation. Cela est d'autant plus vrai que plus d'un millier de SA ont été disponibles en milieu agricole depuis les années 1960. En l'absence de données rétrospectives individuelles, d'hygiène industrielle ou de surveillance biologique, différentes méthodes ont été développées pour retracer les expositions professionnelles passées dont l'utilisation de matrices emplois-exposition (MEE) et leur corollaire, dans le cadre des expositions aux PPP dans le milieu agricole, les matrices cultures-exposition (MCE).

Les MCE sont des bases de données permettant de recenser, au cours du temps, l'ensemble des substances actives phytopharmaceutiques utilisées sur une culture agricole et de proposer 3 indicateurs modulant l'exposition : une probabilité, une fréquence et une intensité.

Pour obtenir l'information nécessaire à la réalisation des MCE, il est indispensable de collecter un ensemble de données disparates issues de la littérature grise car il n'existe pas de recueil standardisé, exhaustif et centralisé des usages des pesticides en France par culture. Cette littérature est issue des organismes agricoles et para-agricoles. L'ensemble de cette information très hétérogène (temps, quantité, qualité, périmètre) est compilé par des ingénieurs agronomes ou spécialistes du domaine. Des découpages chronologiques et par région sont effectués lorsque les pratiques sont jugées homogènes. L'analyse des données bibliographiques et la participation des professionnels des filières permettent d'attribuer des indicateurs moyennés d'exposition à chaque pesticide, région et période.

Les MCE répondent à un fort besoin général de données sur l'exposition aux PPP, qu'il s'agisse des agences sanitaires, des ministères, de la médecine du travail, de la recherche (Inserm, etc.), des associations ou du grand public. Les MCE peuvent être utilisées sur de grands échantillons de population car elles ne nécessitent que la connaissance des cultures agricoles pour être appliquées. Elles permettent de décrire les expositions aux PPP chez les travailleurs de l'agriculture à partir des recensements agricoles décennaux ou de réaliser l'évaluation des expositions dans des études épidémiologiques (proportion de personnes exposées ou calcul de scores). Elles peuvent aussi être utilisées comme éléments d'aide à l'évaluation des expositions individuelles pour les éventuelles prises en charge dans le cadre de la reconnaissance en maladie professionnelle.

L'objectif du projet Matphyto est de couvrir la majorité des cultures agricoles en métropole et dans les DROM. Les MCE réalisées ou en cours de réalisation concernent :

- Les pesticides arsenicaux (cancérogènes certains) pour les cultures de vigne, pomme de terre et arbres fruitiers (fruits à pépins et fruits à noyaux) ;
- Les céréales à paille : blé, orge, avoine ;
- Les pommes de terre : conservation, féculerie, primeur, plant ;
- Le maïs : maïs grain, maïs fourrage, maïs doux ;
- La vigne : raisin de cuve, raisin de table ;
- La canne à sucre et le maraîchage (La Réunion) ;
- La banane (Antilles) ;
- La betterave sucrière ;
- Le glyphosate (sur toute culture).

Afin d'obtenir un échantillon de MCE représentatives de l'activité agricole française et donc des cultures agricoles soit en termes de surface agricole utilisée, soit en termes de quantités de pesticides épandues, soit encore en termes de risques d'exposition professionnelle ou environnementale, il est nécessaire de compléter le travail déjà effectué. Par exemple, les cultures arboricoles et maraîchères, bien que représentant peu de surfaces cultivées, sont des cultures fortement utilisatrices de pesticides. Concernant les grandes cultures, le colza, le pois ou le tournesol pourraient être pris en compte ultérieurement.

La méthode utilisée pour la réalisation des MCE est complexe et chronophage. Des compromis sont nécessaires lors de leur élaboration. En effet, plus une MCE est précise, plus le temps de travail nécessaire est important. Par ailleurs, l'implication des professionnels des filières est de plus en plus difficile : temps disponible en diminution, perte des savoirs (pratiques anciennes connues par des personnes-ressources rares), *turnover* plus important dans les organismes agricoles, etc. Pour les années récentes, l'accès à des bases de données riches (enquêtes sur les pratiques culturales du ministère chargé de l'agriculture qui sont de plus en plus régulières et couvrant de plus en plus de cultures, Banque nationale des ventes de produits phytopharmaceutiques par les distributeurs agréés - BNVD) est une opportunité pour alléger le temps nécessaire à la construction des MCE (en limitant la part construite principalement par la littérature grise et les dires de professionnels). Ces données permettront également la mise à jour des MCE déjà réalisées. Cependant, pour pallier définitivement les difficultés de reconstitution des expositions tant professionnelles qu'environnementales aux PPP, le recueil des cahiers de traitement des exploitations est indispensable. Ce recueil pourrait être réalisé de manière exhaustive ou par échantillonnage représentatif. Ces cahiers de traitement, qui sont obligatoires dans les exploitations, sont, pour une grande part aujourd'hui, saisis informatiquement ce qui permet d'envisager une remontée d'information plus aisée qu'auparavant. Cette centralisation des cahiers de traitements a été recommandée par l'expertise collective de l'Inserm dès 2013 (3).

Par ailleurs, le développement d'un réseau national autour des MCE et MEE regroupant des décideurs, des chercheurs, des fournisseurs de données et des préventeurs est en cours de développement par Santé publique France et pourra faciliter la mise en commun des ressources, besoins et expériences dans l'objectif d'optimiser et de faciliter la réalisation des matrices et leur utilisation.

Enfin, si le projet Matphyto a été initialement réalisé dans l'objectif d'évaluer les expositions aux PPP chez les professionnels, sa structure est aussi adaptée à l'évaluation des expositions environnementales. De nouveaux indicateurs sont en cours de développement et des travaux utilisent les MCE dans le cadre d'études épidémiologiques de type cas/témoins ou écologiques.

7. LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Exemple de probabilités d'exposition pour l'ensemble des exploitations vs celles qui ont traité avec des insecticides	12
Figure 1 : Nombre cumulé de substances actives phytopharmaceutiques autorisées en France entre 1961 et 2021	7
Figure 2 : Exemple de probabilités d'exposition pour l'ensemble des exploitations vs celles qui ont traité avec des insecticides	12
Figure 3 : Exemple de structure d'une matrice culture exposition (culture du maïs).....	16
Figure 4 : Illustration du calcul de probabilité moyenne à partir de pratiques agricoles hétérogènes	17
Figure 5 : Illustration du calcul de fréquence moyenne à partir de pratiques agricoles hétérogènes	19
Figure 6 : Trois exemples d'application d'une matrice cultures-exposition (MCE) aux produits phytopharmaceutiques	26

8. RÉFÉRENCES

1. Règlement (CE) No 1107/2009 du parlement européen et du conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil [Internet]. nov 24, 2009. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1107/2021-03-27>
2. Spinosi J, Chaperon L, Perrier L, El Yamani M. Approche de l'exposition professionnelle des travailleurs agricoles. Exploitation de quelques résultats issus de la compilation des index phytosanitaires Acta de 1961 à 2014 [Internet]. Saint-Maurice, France: Santé publique France; 2016 p. 6. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/>
3. Pesticides : Effets sur la santé. [Internet]. Paris: Inserm; 2013. Disponible sur: <http://hdl.handle.net/10608/4820>
4. Pesticides et effets sur la santé : Nouvelles données [Internet]. Montrouge: Inserm; 2021. (EDP Sciences). Disponible sur: <https://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/1>
5. Arrêté du 16 juin 2009 relatif aux conditions dans lesquelles les exploitants mentionnés à l'article L. 257-1 tiennent le registre mentionné à l'article L. 257-3 du code rural [Internet]. juin 16, 2009. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000020788430/2020-10-23/>
6. Pringard N, Charbonnier E. Index acta phytosanitaire 2022. 58^e éd. Acta; 1040 p.
7. Base CIPA - Compilation des index ACTA. Un outil du programme MatPhyto [Internet]. Disponible sur: <https://ecophytopic.fr/pic/concevoir-son-systeme/base-cipa-matphyto>
8. Miligi L, Settimi L, Masala G, Maiozzi P, Alberghini Maltoni S, Seniori Costantini A, et al. Pesticide exposure assessment: a crop exposure matrix. The Working Group on Pesticide Exposure Assessment. *Int J Epidemiol*. 1993;22 Suppl 2:S42-45.
9. Nanni O, Ricci M, Lugaresi C, Amadori D, Falcini F, Buiatti E. Iterative use of a priori exposure matrices to improve the characterization of chemical exposures in agricultural work studies. *Scand J Work Environ Health*. juin 1993;19(3):191-9.
10. London L, Myers JE. Use of a crop and job specific exposure matrix for retrospective assessment of long-term exposure in studies of chronic neurotoxic effects of agrichemicals. *Occup Environ Med*. mars 1998;55(3):194-201.
11. Févotte J, Dananché B, Delabre L, Ducamp S, Garras L, Houot M, et al. Matgéné: a program to develop job-exposure matrices in the general population in France. *Ann Occup Hyg*. oct 2011;55(8):865-78.
12. Aubertot JN, Barbier JM, Carpentier A, Gril JN, Guichard L, Lucas P, et al. Pesticides, agriculture and the environment Reducing the use of pesticides and limiting their environmental impact. A collective scientific expert report, Pesticides, agriculture, environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Rapport [Internet]. INRA; 2005 p. 688 p. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/hal-02833638>
13. Prévalences de l'exposition des viticulteurs aux pesticides arsenicaux entre 1979 et 2001 – Projet Matphyto. Saint-Maurice, France: Santé publique France; 2018.

14. Butault JP, Delame N, Jacquet F, Zardet G. L'utilisation des pesticides en France : état des lieux et perspectives de réduction. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire Secrétariat Général Service de la Statistique et de la Prospective Centre d'études et de prospective; 2011 oct p. 7-26. (Notes et études socio-économiques). Report No.: 35.
15. Anses. E-phy, le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages, des matières fertilisantes et des supports de culture autorisés en France [Internet]. [cité 11 nov 2019]. Disponible sur: <https://ephy.anses.fr/>
16. Index acta phytosanitaire 2022 - 58ème édition. Acta éditions. Paris; 2021. 1040 p.
17. Les instituts techniques agricoles [Internet]. Disponible sur: <http://www.acta.asso.fr/reseau/acces-par-institut.html>
18. Le Service de la statistique et de la prospective (SSP), service du Secrétariat Général du Ministère de l'agriculture, en charge de missions de statistique, d'études, d'évaluation et de prospective [Internet]. Disponible sur: <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/accueil/>
19. Deziel NC, Freeman LEB, Graubard BI, Jones RR, Hoppin JA, Thomas K, et al. Relative Contributions of Agricultural Drift, Para-Occupational, and Residential Use Exposure Pathways to House Dust Pesticide Concentrations: Meta-Regression of Published Data. *Environmental Health Perspectives*. mars 2017;125(3):296-305.
20. Groupe d'Experts. Expositions professionnelles aux pesticides en agriculture [Internet]. Anses; 2016 juill. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011SA0192Ra.pdf>
21. Bénézet L, Geoffroy-Perez B, Spinosi J, El Yamani M. Évaluation de la faisabilité d'utiliser des matrices cultures-expositions pour estimer les expositions aux produits phytopharmaceutiques dans une cohorte de travailleurs agricole [Internet]. Saint-Maurice, France: Santé publique France; 2016 p. 9. Disponible sur: <http://www.santepubliquefrance.fr>
22. Bénézet L, Spinosi J, Chaperon L, Geoffroy-Perez B. Exposition agricole aux phytosanitaires : croisement d'une matrice culture-expositions de Matphyto avec la cohorte Coset-MSA. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. sept 2015;76(4):400.
23. Pesticide Use Reporting (PUR) 2014 [Internet]. CDPR (California Department of Pesticide Regulation); 2014. Disponible sur: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/pur/purmain.htm>
24. Rull RP, Ritz B. Historical pesticide exposure in California using pesticide use reports and land-use surveys: an assessment of misclassification error and bias. *Environmental Health Perspectives*. oct 2003;111(13):1582-9.
25. Jezewski-Serra D, Chaperon L, Spinosi J. Utilisation des recensements agricoles métropolitains pour le croisement avec les matrices cultures expositions Matphyto : quelles données populationnelles disponibles ? Saint-Maurice, France: Santé publique France; 2018 p. 7.
26. Chaperon L, Jezewski-Serra D, Spinosi J. Utilisation des recensements agricoles métropolitains pour le croisement avec les matrices cultures expositions Matphyto :

comment identifier les exploitations agricoles cultivant professionnellement de la vigne ?
Saint-Maurice, France: Santé publique France; 2018 p. 9.

27. Cahour L, Gentil C, Spinosi J. Utilisation des recensements agricoles de La Réunion, Guadeloupe et Martinique pour le croisement avec les matrices cultures expositions Matphyto : quelles données populationnelles disponibles ? Saint-Maurice, France: Santé publique France; 2018.
28. Évaluation des expositions professionnelles aux pesticides utilisés dans la culture de la banane aux Antilles et description de leurs effets sanitaires. Projet Matphyto DOM. Saint-Maurice, France: Santé publique France; 2018 p. 56.
29. Évaluation des expositions professionnelles aux pesticides utilisés dans la culture de la canne à sucre à l'île de La Réunion et de leurs effets sanitaires. Projet MatPyhto DOM. Saint-Maurice, France: Santé publique France; 2019 p. 37.
30. Dosemeci M, Alavanja MCR, Rowland AS, Mage D, Zahm SH, Rothman N, et al. A quantitative approach for estimating exposure to pesticides in the Agricultural Health Study. *Ann Occup Hyg.* mars 2002;46(2):245-60.
31. Cahour L, Henry T, Delabre L, Pilorget C. Codage des exploitations agricoles et des emplois du recensement agricole français de 2010 en Nomenclature d'activités française (NAF) et Professions et catégories socioprofessionnelles (PCS). *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement.* févr 2020;81(1):76-7.
32. Achard P, Maugard C, Cancé C, Spinosi J, Ozenfant D, Maître A, et al. Medico-administrative data combined with agricultural practices data to retrospectively estimate pesticide use by agricultural workers. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* juill 2020;30(4):743-55.