

ESTIMER LES EXPOSITIONS AUX PESTICIDES : DONNÉES ET APPROCHES GÉOGRAPHIQUES

Synthèse du séminaire du 28 juin 2022

POINTS CLÉS

- Un séminaire méthodologique sur les approches géographiques dans les études sur les pesticides agricoles et la santé a eu lieu le 28 juin 2022 à Santé publique France, réunissant les principales équipes scientifiques françaises travaillant sur ce sujet.
- Cet évènement a offert un panorama des réflexions menées par un grand nombre d'équipes sur l'estimation des expositions des populations aux pesticides, les enjeux que représente l'accès à des données plus fiables s'agissant des produits phytopharmaceutiques utilisés par type de culture et les besoins de synergie forte entre producteurs et utilisateurs des données environnementales pour la santé.
- Ce séminaire a permis d'approfondir et d'initier des collaborations entre producteurs de données et équipes scientifiques pour adapter les données environnementales aux problématiques de santé comme par exemple le fait de compléter les données d'occupation du sol obtenues par analyse d'imagerie sur plusieurs décennies.
- Aujourd'hui, la mise à disposition de données sur les usages réels et spatialisés des produits phytosanitaires en agriculture est un prérequis pour répondre aux questions de santé publique et, au-delà, pour mesurer les impacts des pesticides sur la qualité des écosystèmes dans une approche « Une seule santé ».

CONTEXTE

Caractériser le lien entre l'environnement et la santé des populations représente un enjeu majeur de santé publique. L'exposition environnementale individuelle aux pesticides en est d'ailleurs l'exemple. Face à cet enjeu, suite aux attentes fortes de la société civile et en réponse aux plans gouvernementaux Écophyto pour la réduction des usages de produits phytopharmaceutiques, les équipes scientifiques ne cessent de développer des outils et méthodes pour étudier cette question. La réflexion autour du lien entre pesticides et santé mobilise une grande diversité d'acteurs pluridisciplinaires issus du monde

institutionnel et de la recherche, s'inscrivant dans une approche « Une seule santé ».

À Santé publique France, la problématique de l'exposition aux pesticides et ses effets sur la santé est étudiée à travers plusieurs projets s'intéressant, d'une part, à différentes pathologies chroniques comme certains cancers (Geocap-Agri, Hémophyto 2), certaines maladies neurodégénératives (PestNeuro), le diabète de type 1 chez l'enfant et, d'autre part, à mieux connaître l'exposition des riverains de cultures (PestiRiv), des professions agricoles (Matphyto) ou l'imprégnation de la population française (programme national de biosurveillance).

Pour l'ensemble des équipes scientifiques impliquées sur le sujet des pesticides, plusieurs problématiques ont émergé ces dernières années, notamment sur :

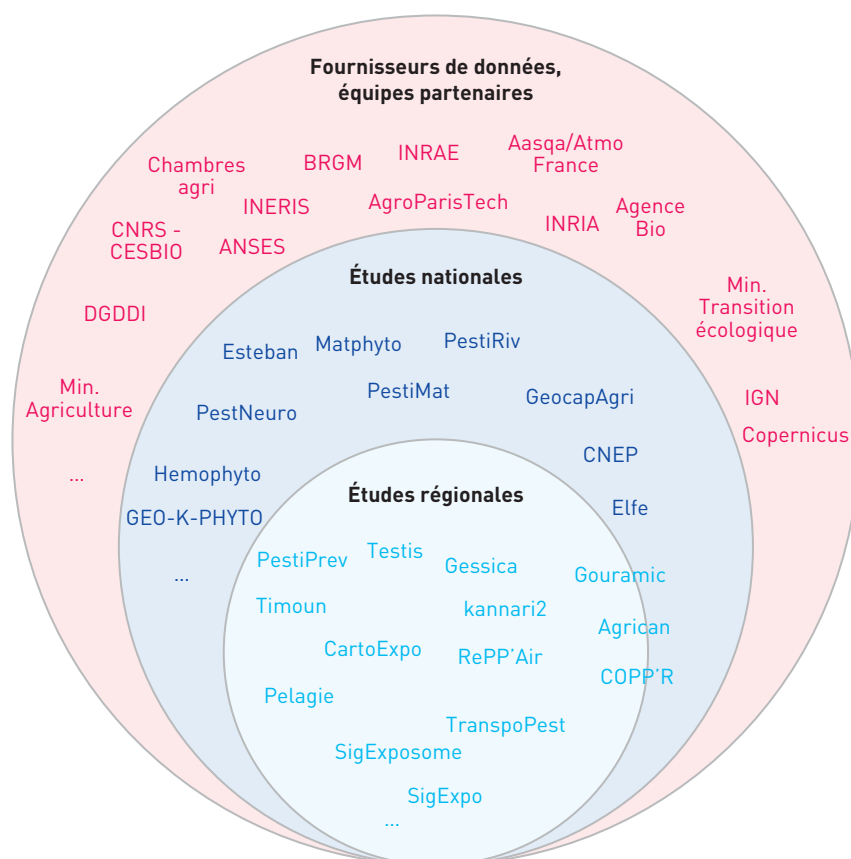
- la construction des données utiles : l'occupation du sol (cartographie des parcelles en culture), la caractérisation des cultures agricoles au sein des parcelles, les substances utilisées sur ces cultures, etc. ;
- la caractérisation de l'exposition liée à l'enjeu de spatialisation des cultures à une échelle fine et à la difficulté d'y associer des pratiques agricoles qui évoluent dans le temps et pour lesquelles les données sont limitées ;
- la transposition du niveau local au niveau national concernant la mise en œuvre de méthodes de caractérisation fine des expositions et l'exploitation de données de type imagerie (aérienne, satellitaire), topographie, météorologie. En effet, l'exploitation des données spatialisées existantes à l'échelle nationale reste difficile techniquement du fait du caractère massif et hétérogène des données d'occupation du sol à échelle fine, notamment ;
- la repérabilité des données existantes, leur accès et la complexité de les combiner entre elles (interopérabilité) à des fins épidémiologiques.

Ainsi, la construction d'indicateurs géographiques d'exposition aux pesticides, notamment à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) représente un défi méthodologique et technique majeur. Ces approches intéressent un grand nombre d'équipes : chercheurs, agences d'état, ministères, associations, etc.

C'est dans ce contexte que Santé publique France a organisé, le 28 juin 2022, un séminaire méthodologique intitulé « Estimer les expositions aux pesticides : données et approches géographiques », dont l'objectif était de présenter une vue d'ensemble des approches géographiques actuellement mobilisées dans les problématiques d'expositions environnementales et professionnelles aux pesticides en France (métropole et Outre-mer). Un travail préalable de recensement (Figure 1) a notamment permis de souligner la pluralité des études intégrant les approches géographiques pour estimer les expositions des populations aux pesticides.

Santé publique France, dans le cadre de ses missions d'observation et de surveillance de l'état de santé des populations, a souhaité rassembler les acteurs

FIGURE 1 | Représentation schématique et non exhaustive de la cartographie des études pesticides et santé en métropole et outre-mer



investis sur le champ des expositions aux pesticides. Ce séminaire a permis d'appuyer l'importance de la recherche « pluripartenariale », mettant en avant les passerelles existantes ou nécessaires entre les différentes équipes mobilisées sur le sujet. Il devrait être le point de départ de nombreuses collaborations et à l'origine de futures discussions méthodologiques inter-équipes.

Les études présentées lors de cette journée scientifique sont, pour la plupart, toujours en cours et leur valorisation, notamment à travers la publication d'articles, également.

ENJEUX DES APPROCHES GÉOGRAPHIQUES POUR ESTIMER L'EXPOSITION AUX PESTICIDES

L'estimation de l'exposition environnementale et professionnelle aux pesticides est un enjeu actuel majeur de santé publique et doit répondre à des **attentes sociétales fortes**. Les projets présentés au cours de ce séminaire proposent différentes méthodologies souvent complémentaires pour apporter des éléments de réponse quant à l'exposition et son impact sur le développement de pathologies.

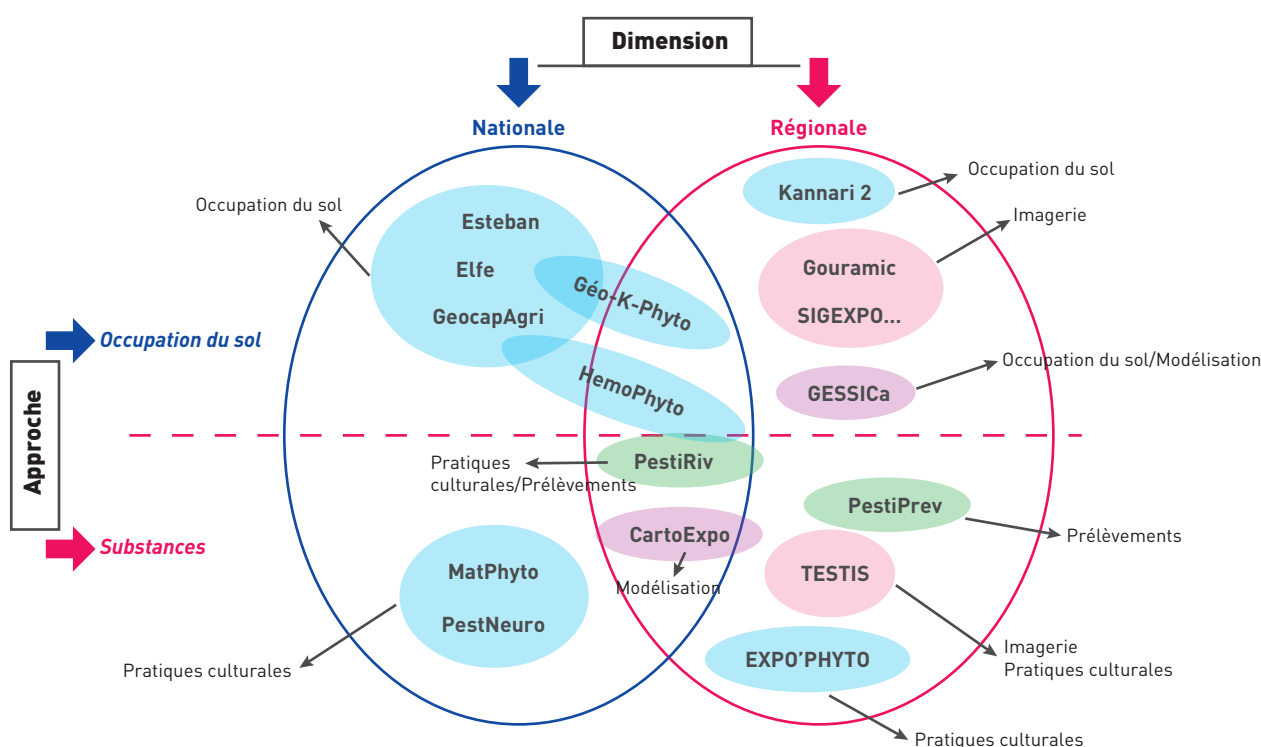
Deux entrées sont souvent utilisées afin de renseigner l'utilisation des pesticides : **l'approche cultures agricoles** (occupation du sol) et **l'approche substances actives** (substances) (Figure 2). Chacune de ces approches s'appuie sur des données de différents types (occupation du sol, imagerie aérienne et satellite, modélisation, enquêtes, prélèvements, etc.) à différentes échelles géographiques (dimension nationale ou loco-régionale).

APPROCHE BASÉE SUR L'OCCUPATION DU SOL

La cartographie fine des cultures agricoles comme première approche de l'exposition aux pesticides est en réalité le fruit de la **combinaison de plusieurs bases de données géoréférencées**. Le traitement automatisé de l'imagerie aérienne grâce à des outils d'intelligence artificielle est aussi mobilisé pour suivre la cartographie des cultures dans le temps, y compris de manière rétrospective (projet Gouramic, Deep-Gouramic, Geo-K-Phyto). Il n'existe pas aujourd'hui de base de données des parcelles agricoles qui fasse référence.

Le projet Geocap-Agri, issu de la collaboration entre l'Inserm (EPICEA Épidémiologie des cancers de

FIGURE 2 | Représentation schématique des approches méthodologiques des expositions aux pesticides dans les études environnement et santé



l'enfant et de l'adolescent) et Santé publique France, étudie le risque de cancers pédiatriques à proximité des cultures agricoles. L'exposition est approchée grâce à un **indicateur de présence de surfaces cultivées** autour de l'adresse des sujets construit à partir de la combinaison de quatre bases de données : le recensement agricole, Corine Land Cover, le registre parcellaire graphique et la BD TOPO Vignes et vergers. Ces bases de données ont une exhaustivité et un degré de précision variables et sont donc souvent combinées dans les études pour répondre aux exigences de granulométrie (précision géographique des données de santé) et de période d'étude. Cette même approche est également mise en œuvre dans le projet Hémophyto 2 porté par l'équipe Epicene (*EPI*demiology of Cancer and EnviroNmental Exposure) de Bordeaux et Santé publique France. Le projet Hémophyto 2 étudie le lien entre le risque de survenue d'hémopathies malignes de l'adulte et la proximité résidentielle aux cultures agricoles. La phase de construction des indicateurs géographiques d'exposition aux pesticides via la cartographie fine des cultures intègre une étape de comparaison entre l'occupation du sol à grande échelle de l'IGN (OCS GE) disponible et l'indicateur construit par Santé publique France en combinant les bases de données précédemment citées.

Dans une **approche rétrospective**, l'équipe du Centre de lutte contre le cancer Léon Bérard (Lyon) développe des outils permettant de **reconstituer une occupation agricole du sol historique** et ainsi estimer l'exposition des populations aux pesticides. Aussi, l'étude Testis, qui étudie les liens entre la tumeur germinale du testicule et les expositions environnementales, domestiques et professionnelles aux pesticides pendant les périodes anténatale et précoce de la vie, utilise un **outil de photo-interprétation semi-automatisée d'images aériennes anciennes** pour retracer l'occupation agricole au cours du temps. L'utilisation de **l'intelligence artificielle** mobilisée dans les outils Gouramic et DeepGouramic (extension avec apprentissage profond) offre un gain de temps considérable par rapport à la caractérisation manuelle des cultures depuis les données d'imagerie (20 à 30 fois plus rapide). Ces outils seront, à terme, mis à disposition des équipes scientifiques qui souhaitent caractériser l'occupation du sol de façon rétrospective.

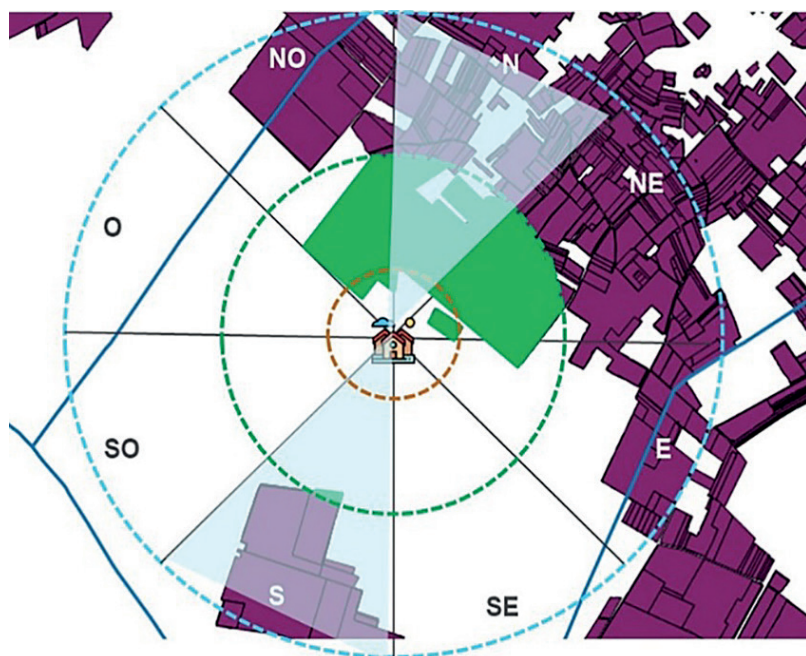
APPROCHE BASÉE SUR LES SUBSTANCES ACTIVES

L'**approche par substance** propose une estimation des expositions aux pesticides en mobilisant des données en complément de l'occupation du sol. Le projet Matphyto développé au sein de Santé publique France a mis en place **des matrices cultures-expositions (MCE)**

aux pesticides. Il s'agit de bases de données qui, pour chaque substance active, famille chimique ou groupe de produits utilisé sur une culture, fournissent des indicateurs de probabilité, de fréquence et d'intensité d'utilisation. Ces matrices ont été utilisées dans le cadre de l'étude PestNeuro à l'initiative de l'Inserm et de Santé publique France pour étudier la relation entre des indicateurs d'exposition à différents pesticides (et familles de pesticides), définis à partir des matrices cultures-expositions, et l'incidence (cantonale) de deux maladies neurodégénératives : la maladie de Parkinson et la sclérose latérale amyotrophique. Les matrices cultures-expositions croisées avec les données du recensement agricole ont permis de construire **deux types d'indicateurs géographiques d'exposition : environnemental**, avec le calcul de la surface de cultures présentes dans le canton, et **professionnel** avec le type d'exploitations (exploitations de cultures pour lesquelles une MCE a été construite : céréales à paille, maïs, pomme de terre et vigne) présentes dans le canton. Ces indicateurs d'exposition environnementale et professionnelle, à l'échelle du canton, ont été construits pour trois groupes de produits (fongicides, insecticides et herbicides), pour 109 familles chimiques et 197 substances actives.

L'étude PestiRiv, lancée en octobre 2021 par Santé publique France et l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), **combine plusieurs sources de données** pour renseigner les substances actives utilisées sur les parcelles de vigne repérées par combinaison du registre parcellaire graphique (RPG) de la Bd Topo Vignes et vergers et du casier viticole informatisé (CVI). Elle a pour objectif d'évaluer l'exposition aux pesticides des personnes vivant à proximité d'exploitations viticoles et de celles vivant loin de toute culture. La caractérisation de l'exposition aux pesticides est réalisée à partir de prélèvements environnementaux au domicile des sujets, de prélèvements biologiques, de données individuelles obtenues par questionnaires, et de recueil des pratiques agricoles. En complément sont mobilisées des données pour caractériser le contexte agricole, les données d'enquêtes sur les pratiques culturales de l'Agreste ou celles de la Base nationale des ventes des distributeurs de produits phytopharmaceutiques (BNVd). À ces données s'ajoutent les réflexions méthodologiques sur **la prise en compte des conditions météorologiques** et de **la topographie** des sites d'étude (présence de barrières naturelles, etc.) (Figure 3). Ces dernières sont communes à d'autres projets comme SIG-expo et SIG-Exposome (à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes) du Centre de lutte contre le cancer Léon Bérard qui étudient les déterminants géographiques, météorologiques et domestiques de la présence des pesticides dans les foyers.

FIGURE 3 | Schéma de construction d'indicateurs spatialisés d'exposition aux pesticides (issu des réflexions menées dans le cadre de l'enquête PestiRiv)



Pour estimer l'exposition, les paramètres pris en compte peuvent être : la présence/surface de cultures dans un rayon donné, la distance à la culture la plus proche, les vents dominants, les barrières topographiques, la quantité de substances actives utilisées sur les parcelles, les parcelles en agriculture biologique, etc.

Les données météorologiques (force, direction des vents, etc.) et topographiques sont intégrées dans les travaux de **modélisation de la diffusion des pesticides dans l'air**, qui est une priorité identifiée par le plan Écophyto II. Le projet COPP'R (modélisation de la contamination de l'air par les produits phytopharmaceutiques à l'échelle régionale) coordonné par le laboratoire Chimie Environnement de l'université Aix-Marseille/CNRS vise à intégrer les connaissances sur le devenir des produits phytosanitaires dans l'atmosphère dans le modèle de chimie-transport CHIMERE en région PACA et à l'échelle nationale ensuite. Cette méthode repose sur **la capacité de spatialiser et de temporaliser les applications de pesticides** (en utilisant notamment la BNVD-spatialisée). La modélisation permet de simuler la contamination de l'atmosphère par les pesticides en lien avec les pratiques agricoles à une échelle régionale et d'en déterminer les conséquences en termes d'exposition de la population générale, ainsi que d'interpréter les données ponctuelles et locales issues des campagnes de mesures des associations agréées de surveillance de la qualité de l'Air (AASQA). Les premières simulations portent sur la diffusion de deux substances, le S-métolachlore et le folpel mais pourront être étendues à d'autres pesticides.

Enfin, la diffusion des **pesticides dans le compartiment sol** et l'utilisation de ces données dans un objectif de croisement avec des données de santé dans le cadre d'études épidémiologiques ont également été abordées lors de ce séminaire à travers le projet GESSICa (facteurs de risque environnementaux et inégalités sociales associés aux cancers en Guadeloupe) coordonné par le CHU Guadeloupe en collaboration avec le CIRAD. Le projet vise à mesurer l'influence de facteurs environnementaux et socioéconomiques en Guadeloupe sur l'occurrence des cancers, à partir d'une analyse cartographique comparée de la répartition des cas de cancers, des niveaux d'exposition aux pesticides (liés aux pratiques agricoles et à l'état des sols) et d'indices de défaveur sociale. Il se base sur le modèle DynPestSols qui intègre plusieurs paramètres : l'évolution des occupations du sol (cartes anciennes, RPG etc.), les conditions environnementales (sols, pluviométrie), les caractéristiques physico-chimiques des substances actives (dose toxique pour 50 % des individus (DT50), coefficient de partage carbone organique/eau (Koc)), la législation des pesticides utilisés et les recommandations d'utilisation, les pratiques agricoles et leurs évolutions dans le temps. En sortie de ce modèle sont calculés des indicateurs annuels agrégés à l'échelle des IRIS (îlots regroupés pour l'information statistique) dont : la quantité de substance active apportée, le stock moyen de pesticides dans les sols ou la quantité lessivée ou dégradée. Ces données seront ensuite croisées avec les données d'incidence du registre des cancers de Guadeloupe. Les résultats préliminaires se concentrent sur les indices de contamination simplifiés à la chlordécone et mettent en évidence une augmentation possible du risque de développer un cancer de l'estomac ou un myélome multiple chez les femmes dans les zones les plus contaminées. Ces résultats restent encore à consolider par l'amélioration des indices de contamination et par le développement d'études ciblées pour préciser davantage les liens mis en avant.

TABEAU 1 | Synthèse des données spatialisées/« spatialisables » utilisées pour approcher les expositions aux pesticides

Nom	Période couverte	Échelle/résolution spatiale	Couverture géographique	Descriptif	Disponibilité des données	Limites*
Bases de données géographiques						
RPG	2007-2014 2015-2020	Îlot Parcelle	Nationale	Superficie totale pour type de culture (hors cultures non soumises aux aides PAC)	Oui (donnée ouverte)	<ul style="list-style-type: none"> Regroupement en îlot avant 2015 Couverture géographique non exhaustive Descriptif des cultures non exhaustif
BD Topo-thème végétation	2007-2015	Parcelle	Nationale	Superficie totale vignes et vergers	Oui (donnée ouverte)	<ul style="list-style-type: none"> Recueil non annuel Descriptif des cultures non exhaustif
CLC	1990, 2000, 2006, 2012, 2018	Regroupement de surfaces minimum de 25 ha Échelle 1/100 000°	Nationale	Superficie totale pour tout type de culture	Oui (donnée ouverte)	<ul style="list-style-type: none"> Échelle géographique trop importante Surestimation des surfaces Pas de type de culture détaillé
RA	1970, 1979-1981, 1988, 2000, 2010	Commune	Nationale	Superficie totale pour tout type de culture	Oui (moyennant la levée du secret statistique si unité < 3)	Assolement référencé au siège de la commune et non à la parcelle
CVI	2016-mise à jour en continu	À spatialiser à la Parcelle	Nationale (hors Champagne)	Superficie totale vignes	Oui moyennant une autorisation	<ul style="list-style-type: none"> Information littérale à spatialiser Couverture géographique non exhaustive
Cartobio	2019-2020	Parcelle	Nationale	Surfaces en bio	Oui (donnée ouverte)	80 % des parcelles en bio
OCS GE	2000-2020 (variable selon départements)	Parcelle	Départementale (couverture nationale en 2024)	Superficie totale de l'usage agricole du sol	Oui pour certaines régions (donnée ouverte). En développement pour d'autres régions.	<ul style="list-style-type: none"> Programme en cours de réalisation. À date : couverture géographique non exhaustive Pas de type de culture détaillé
Outils et modèles						
Gouramic/ Deep Gouramic	1970-2000	Parcelle	Nationale	<ul style="list-style-type: none"> Photos aériennes Classement de l'image en arable, eau, forêt, prairie, urbain, verger, vigne 	En développement	<ul style="list-style-type: none"> Pas de niveau de culture détaillé L'assemblage des images anciennes nécessaire en entrée du processus n'est pas encore disponible pour les années 70, 80 et 90
Modélisation comportement pesticides dans l'air (COPP'R)	Selon données d'entrée	Maille de 1 km x 1 km	Nationale	<ul style="list-style-type: none"> Concentrations des PPP dans l'air S'appuie sur CHIMERE, BNvd-s... 	En développement	<ul style="list-style-type: none"> Non adapté à l'exposition des riverains Nécessite ressources technologiques importantes
Bases de données substances actives						
BNvd	2008-2020 2013-2020	Code postal distributeur Code postal acheteur	Nationale	<ul style="list-style-type: none"> Substance active Année d'achat N° AMM N° CAS Quantité substance active, quantité produit commercial Conditionnement 	Oui (secret statistique si unité < 5)	Absence de détails à la culture / parcelle
BNvd-s	2015-2018	Parcelle	Nationale (hors DROM)	Quantité substance active appliquée à la parcelle	En développement	Quantités de substances actives estimées à la parcelle (cf. coefficients de répartition spatiale des données de la BNvd)
MCE	1960-2017 (fonction des MCE)	Exploitation	Nationale	<ul style="list-style-type: none"> Substance active, famille chimique, groupe de produits Probabilité, fréquence, intensité d'utilisation 	Oui	Indicateurs moyennés non individuels applicables à l'échelle de l'exploitation
Registre phytosanitaire	2011-2022	Parcelle	Nationale	<ul style="list-style-type: none"> Identité de la parcelle et localisation Culture implantée Nom organisme nuisible Date de traitement Nom commercial Dose hectare Date de récolte Précisions si cession de PPP 	Non	<ul style="list-style-type: none"> Pas de centralisation informatique au niveau national Conservation obligatoire pendant 5 ans

* Limites identifiées pour les objectifs des projets présentés lors du séminaire.

RPG : registre parcellaire graphique, RA : recensement agricole, CLC : Corine Land Cover, CVI : casier viticole, OCS-GE : occupation du sol à grande échelle, BNvd : Banque nationale des ventes de produits phytopharmaceutiques par les distributeurs agréés, MCE : matrices cultures-expositions.

LIMITES DES DONNÉES ET DES MÉTHODES

Les approches géographiques mobilisées dans les études présentées lors du séminaire sont soumises aux limites inhérentes aux données utilisées qui peuvent différer en fonction des objectifs des projets.

La principale limite est le **manque d'informations à l'échelle de la parcelle agricole** concernant l'utilisation des pesticides en France avec une profondeur historique suffisante. C'est pour pallier cette carence que les équipes ont eu recours aux bases de données précitées malgré des objectifs initiaux d'élaboration de ces bases plus administratifs qu'épidémiologiques (déclaration des parcelles de cultures éligibles aux aides de la politique agricole commune, etc.).

HÉTÉROGÉNÉITÉ DES INFORMATIONS

Comme développé précédemment, les équipes de recherche adaptent leurs études en combinant souvent plusieurs bases, ce qui soulève également le problème de l'**hétérogénéité des bases et du manque d'interopérabilité entre elles**. Elles ne recouvrent pas toutes les mêmes périodes, les mêmes zones géographiques, n'ont pas la même précision spatiale (1/5000^e pour la BD Topo Vignes et vergers contre 1/100 000^e pour Corine Land Cover), ni le même format de données.

Le recensement agricole, par exemple, utilisé dans le cadre de l'étude PestNeuro, présente l'avantage d'être exhaustif sur l'ensemble des exploitations agricoles françaises et de proposer la plus grande **profondeur historique** (premier recensement numérisé en 1970), mais il est réalisé tous les 10 ans à des fins de suivi statistique des exploitations (1970, 1979, 1988, 2000, 2010). Les assolements sont, quant à eux, référencés au siège de l'exploitation et non au lieu exact des parcelles agricoles.

Le registre parcellaire graphique (RPG), utilisé dans la plupart des études dans le but de créer des indicateurs géographiques d'exposition aux pesticides (Geocap-Agri, Geo-K-phyto, PestiRiv, etc.), repose sur les déclarations des exploitants dans le cadre du dispositif d'aides de la politique agricole commune (PAC). Ainsi, toutes les cultures n'étant pas soumises à celles-ci, on constate une **sous-déclaration de certaines cultures**. De plus, si, depuis 2015, les cultures sont renseignées annuellement à l'échelle de la parcelle, elles l'étaient à l'échelle de l'îlot de culture¹ de 2007 à 2014 ; ce qui

crée une **discontinuité dans les données d'exposition** lorsque les périodes d'étude sont longues.

UN PROXY DE L'EXPOSITION

Le **manque de connaissances actuelles et passées sur l'utilisation précise des pesticides au niveau de la parcelle agricole** oblige les équipes à faire appel à des proxys d'utilisation de ces produits par l'intermédiaire de questionnaires auprès des exploitants, d'enquêtes réalisées par le ministère de l'agriculture (i.e. : pratiques culturales du service de la statistique et de la prospective) par l'utilisation de matrices cultures-expositions. Cependant, ces proxys présentent certaines limites en étant construits à partir d'échantillon de parcelles et en étant des indicateurs d'exposition moyennée sur une zone géographique large (canton, département, région). Les données d'épandage de pesticides disponibles à partir des cahiers de traitements, obligatoires depuis 2011, ne sont pas centralisées au niveau national et leur informatisation n'est, à ce jour, pas obligatoire. D'autres équipes de recherche appartenant au domaine de l'agronomie réfléchissent et conçoivent aujourd'hui des modèles afin de proposer une approche la plus précise et la plus probable possible des pesticides appliqués au niveau de la parcelle. Le CIRAD travaille sur cette question dans le cadre du projet Gessica en Guadeloupe. À l'échelle nationale, l'unité de service Observatoire du développement rural (US-ODR) de l'INRAE développe la BNVD-spatialisée qui estime les quantités de substances actives à l'échelle de la parcelle agricole à partir des données de ventes de pesticides.

Par ailleurs, dans certaines études, le fait de focaliser sur une substance active peut représenter une limite dans l'estimation des expositions en lien avec la santé des personnes. En effet, il est nécessaire de considérer, en complément de l'observation des **évolutions spatio-temporelles** des substances actives, les mélanges, les interactions entre les molécules et leur devenir (métabolisation environnementale).

DÉFIS TECHNIQUES

La **combinaison de plusieurs bases géographiques** dans un SIG peut générer des incohérences temporelles et des superpositions de surfaces agricoles (polygones en doublons), ce qui nécessite un traitement supplémentaire souvent lourd, compte tenu du **caractère massif des données**. De même, la multiplication des polygones de cultures, induite par les **intersections multiples** réalisées lors des opérations de combinaison de bases et de calcul de densité

1. Un îlot de culture correspond à un groupe de parcelles contiguës, cultivées par le même agriculteur (IGN).

surfaciques dans des périmètres définis autour des sujets d'étude, représente un défi technique supplémentaire en termes de puissance de calcul et de temps machine.

Par ailleurs, les nouveaux outils développés ces dernières années faisant appel à **l'intelligence artificielle (Gouramic et DeepGouramic) ou aux méthodes de modélisation** pour la prise en compte de la dispersion des pesticides dans l'air, l'eau, les sols nécessitent des études préliminaires pour calibrer les modèles et des équipements informatiques comme des **super-calculateurs**. Ces équipements performants sont difficilement accessibles à l'ensemble des équipes du fait de leur coût élevé. Ces prérequis technologiques doivent s'accompagner de compétences techniques que les équipes doivent acquérir par la formation, le recrutement de **nouveaux profils** ou par le biais de partenariats avec d'autres équipes.

CULTURES PÉRENNES VERSUS CULTURES ANNUELLES

Si les cultures pérennes, **plus stables dans le temps et l'espace**, semblent plutôt bien renseignées dans les différentes bases de données, les cultures annuelles le sont nettement moins. En effet, elles sont soumises à un système de rotation des cultures. Le choix du millésime du RPG est déterminant. En fonction de la durée de la période d'étude, il pourra être indiqué de regrouper l'ensemble en « cultures annuelles », sans précision supplémentaire.

INCERTITUDE LIÉE À LA PRÉCISION DU GÉOCODAGE

Au-delà de la précision des bases de données environnementales, la précision du géocodage de l'adresse des participants des études peut poser problème. Elle reste moindre en zone rurale qu'en zone urbaine, malgré les **progrès indéniables** tant du point de vue des algorithmes de géolocalisation que des bases adresses depuis une dizaine d'années. Ainsi, **les indicateurs géographiques d'exposition** calculés dans les études (les indicateurs de distance à la culture la plus proche ou de densité de surface agricole dans un rayon donné autour des logements géocodés) peuvent être **impactés par ces imprécisions de géocodage**.

PERSPECTIVES

À l'issue des présentations des travaux des équipes participant au séminaire, une table ronde a permis de revenir sur les **perspectives en termes de nouvelles données, nouvelles approches et de synergie entre acteurs** du monde de l'environnement et de la santé publique pour permettre une meilleure estimation des expositions environnementales aux pesticides dans une approche « **Une seule santé** ».

LA SYNERGIE ENTRE LES ACTEURS ENVIRONNEMENT ET SANTÉ

En pratique, pour accompagner la repérabilité des données, favoriser l'interopérabilité et créer les liens nécessaires entre producteurs de données et utilisateurs du monde de la santé, **le Green Data for Health (GD4H)**, inscrit dans le Plan national Santé Environnement 4 (PNSE4), va proposer (version beta sortie en juillet 2022) **un catalogue de données environnementales publiques** pertinentes pour un usage en santé-environnement. Un accompagnement juridique pour leur utilisation et le partage de données, ainsi que l'animation de la communauté pour faciliter la réutilisation des données environnementales, sont également prévus. Le 18 octobre 2022 a été lancé un appel à projets (financement GD4H et Health Data Hub) pour accélérer les croisements des bases de données environnementales et sanitaires et permettre une montée en qualité des données environnementales pour les besoins des études épidémiologiques.

RÉPONDRE À L'ENJEU D'ESTIMATION DES EXPOSITIONS : LA QUESTION DES NOUVELLES DONNÉES DISPONIBLES EST CENTRALE POUR LA SUITE DES TRAVAUX

Pour la caractérisation des produits phytopharmaceutiques (substances, quantité, fréquence des traitements sur les parcelles) qui aide à **l'estimation fine des expositions**, on opère des croisements de données issues d'outils comme :

- **les matrices cultures-expositions** réalisées par Santé publique France (banane, canne à sucre, céréales à paille, betterave, maïs, pomme de terre, vigne) qui permettent d'estimer la probabilité, la fréquence et les quantités de substances actives potentiellement appliquées sur les parcelles (étude PestNeuro);
- **la BNvd spatialisée** mise à disposition par l'unité de service ODR (Observatoire du développement rural) de l'INRAE pour affiner les expositions à certaines substances actives spatialisées finement

à partir d'une modélisation des données de ventes de produits phytopharmaceutiques.

En parallèle, certaines données sont très attendues, comme les données relatives à l'évolution des modes de cultures. **La localisation fine des parcelles en agriculture biologique**, notamment, permettra de prendre en compte la présence de parcelles en bio et de suivre l'évolution des pratiques dans l'estimation des expositions aux pesticides (outil Cartobio développé avec l'Agence Bio). De même, **l'intégration d'itinéraires techniques** (combinaison des techniques mises en œuvre sur une parcelle en vue d'obtenir une production) moyens spatialisés pour l'ensemble des parcelles permettra de prendre en compte les spécificités des terrains et ainsi d'affiner les modèles de diffusion des produits dans les milieux.

Les travaux méthodologiques présentés lors de cette journée montrent la **complémentarité des approches** pour affiner les données d'expositions. Les travaux de **comparaison des cartographies des cultures** menées à échelle fine dans l'étude Hémophyto représentent une étape nécessaire dans l'évaluation de ces méthodes et pour la montée en qualité des données produites notamment par l'IGN (RPG, OCS-GE, description millésimée des vignes et des vergers). Avoir un référentiel d'occupation agricole du sol (avec la caractérisation de toutes les cultures) millésimé et rétrospectif permettrait une estimation des expositions aux pesticides fiable et stable dans le temps et dans l'espace.

Par ailleurs, la perspective de pouvoir un jour **mobiliser les données numérisées des cahiers de traitements** des exploitants agricoles demeure l'enjeu commun et prioritaire de toutes les équipes scientifiques travaillant sur les liens entre pesticides et santé du vivant. Les deux projets européens relatifs aux statistiques sur les intrants et produits agricoles d'une part et à la numérisation des registres des produits phytopharmaceutiques utilisés par les professionnels agricoles d'autre part semblent aller dans ce sens. Pour autant compte tenu des délais de collecte et de mise à disposition des données ainsi que les besoins rétrospectifs d'informations pour les études épidémiologiques, il est indispensable de progresser méthodologiquement pour approcher les expositions aux pesticides autrement.

NOUVELLES TECHNIQUES, NOUVELLES APPROCHES ET NOUVELLES COMPÉTENCES POUR AMÉLIORER NOS CONNAISSANCES DES EXPOSITIONS AUX PESTICIDES

Affiner les connaissances en termes de **dispersion des substances actives** dans l'air, mais aussi dans l'eau et dans les sols, en collaboration avec le Cirad, le BRGM et l'unité Info sol de l'INRAE notamment, est un enjeu majeur pour aller au-delà de la cartographie des cultures et pour pouvoir estimer les expositions des personnes aux pesticides.

Au-delà des expositions liées à l'émission de pesticides dans l'air, l'eau ou les sols, les impacts des pratiques agricoles sur la santé passent également par **la contamination des aliments**.

La question de la **co-exposition (environnementale et alimentaire)** des individus et des populations aux pesticides et celle de la quantification des effets de santé associés constituent ainsi un enjeu de société important. L'axe 2 du métaprogramme SYALSA (SYstèmes ALimentaires et SAnTé humaine) mené par l'INRAE, intitulé « Les relations entre pratiques de production et de transformation, expositions des populations à des contaminants environnementaux et impacts de santé », mène ces réflexions.

Par ailleurs, **l'approche « Une seule santé » est indispensable** pour envisager globalement la problématique des pesticides. Cette approche promeut l'interdisciplinarité dans les équipes menant des travaux épidémiologiques sur pesticides et santé en considérant ainsi pour la quantification des expositions : l'agronomie, la modélisation, la surveillance de la qualité des milieux, la cancérologie, l'épidémiologie, la géomatique, la toxicologie, la photo interprétation, etc.

En complément des travaux pluridisciplinaires, les conditions d'utilisation des données spatialisées relatives à l'exposition aux pesticides encouragent le **développement de méthodes d'IA** au-delà de l'apprentissage machine, pour optimiser le traitement des données massives. Elles permettent de prendre en compte les changements d'occupation du sol et de pratiques agricoles sur de longues périodes plus adaptées aux pathologies chroniques étudiées. S'appuyer sur les algorithmes de l'apprentissage profond (réseaux de neurones artificiels) est aussi un moyen d'assurer la **reproductibilité des méthodes de construction des données** et donc des indicateurs d'expositions.

PLAIDOYER POUR LES DÉCIDEURS ET TRANSMISSION DES INFORMATIONS AU CITOYEN

Les échanges entre les équipes scientifiques travaillant à estimer l'exposition aux pesticides dans le cadre d'étude en santé publique doivent **alimenter les plaidoyers** auprès des décideurs, des acteurs du monde agricole et être **relayés auprès des citoyens**. Pour ce faire, il est indispensable de **faciliter le transfert de connaissances**, la traduction des résultats scientifiques y compris les freins relatifs au manque de données, et ce au-delà des publications scientifiques qui sont peu visibles et difficiles d'accès pour ces publics. ●

QUELQUES ÉLÉMENTS D'ACTUALITÉ

Mai 2022. Sortie du rapport de l'Inrae et l'Ifremer qui souligne la réalité de la contamination de l'environnement par les pesticides, et l'impact négatif sur la biodiversité et les écosystèmes.

Janvier 2022. Décret (n° 2022-62) relatif aux mesures de protection à proximité des zones d'habitation, pour répondre à une décision du Conseil d'État de juillet 2021 (qui avait donné 6 mois au gouvernement pour revoir les distances minimales d'épandage des produits, prévoir des mesures de protection des travailleurs à proximité et veiller à l'information des résidents) : distances actuelles d'épandage de pesticides (3,5 ou 10 mètres) maintenues dans l'attente d'un avis de l'Anses, pendant une période transitoire allant jusqu'en octobre 2022.

2021. L'expertise collective Inserm met en évidence de fortes présomptions de liens entre certaines pathologies et l'exposition aux pesticides, avec une préoccupation concernant les effets indirects de certains pesticides sur la santé humaine par le biais des effets sur les écosystèmes.

2020. Création d'un fonds d'indemnisation des victimes de pesticides. Sa mise en place répond à une volonté de garantir la réparation forfaitaire des dommages subis par l'ensemble des personnes concernées dont la maladie est liée à une exposition professionnelle aux pesticides.

2020. Hausse de 23 % des ventes de produits phytopharmaceutiques par rapport à 2019. Or en 2008 : Plan Écophyto (révisé 2 fois) dont l'objectif est la réduction de 50 % de l'usage des pesticides d'ici 2025.

2016. Saisine DGS sur les liens entre l'exposition aux pesticides et la survenue de cancers pédiatriques dans les zones viticoles. En découlent l'étude Geocap-Agri (INSERM-EPICEA, Santé publique France, co-financement Anses) et l'enquête PestiRiv (Santé publique France, Anses).

POUR ALLER PLUS LOIN

LES REPLAYS DU SÉMINAIRE

Séminaire « Estimer les expositions aux pesticides : données et approches géographiques » –
Session 1 – YouTube – <https://www.youtube.com/watch?v=y2ArG9qQngg&list=PLI00sYlAMv7Q7j4wuVUqLnuK0jSjgflsi>

Séminaire « Estimer les expositions aux pesticides : données et approches géographiques » –
Session 2 – YouTube – <https://www.youtube.com/watch?v=9LLmAGrXTQc&list=PLI00sYlAMv7Q7j4wuVUqLnuK0jSjgflsi&index=2>

Séminaire « Estimer les expositions aux pesticides : données et approches géographiques » –
Session 3 – YouTube – <https://www.youtube.com/watch?v=Ms61cPS6-Bw&list=PLI00sYlAMv7Q7j4wuVUqLnuK0jSjgflsi&index=3>

Séminaire « Estimer les expositions aux pesticides : données et approches géographiques » –
Session 4 – YouTube – https://www.youtube.com/watch?v=ayVcLIRK_-0&list=PLI00sYlAMv7Q7j4wuVUqLnuK0jSjgflsi&index=4

LES PROJETS

Dossier PestiRiv

<https://www.santepubliquefrance.fr/etudes-et-enquetes/pestriv-une-etude-pour-mieux-connaître-l'exposition-aux-pesticides-des-personnes-vivant-en-zones-viticoles-et-non-viticoles>

MatPhyto

Le programme MATPHYTO. Matrices cultures-expositions aux produits phytosanitaires : <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/exposition-a-des-substances-chimiques/pesticides/documents/rapport-synthese/le-programme-matphyto.-matrices-cultures-expositions-aux-produits-phytosanitaires>

Projets de l'équipe EPICENE

<https://www.e-cancer.fr/content/download/310967/4442724/file/Projets%20de%20recherche%20du%20registre%20des%20H%C3%A9mopathies%20Malignes%20de%20la%20Gironde%20en%202020.pdf>

Projets du Centre Léon Bérard

<https://www.centreleonberard.fr/institution/actualites/departement-prevention-cancer-environnement-10-ans-de-recherches-sur-la-prevention-des-cancers>

COPP'R

https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2022-05/Rapport%20final_COPPR.pdf

BNVd-s

Mise à jour du calcul des coefficients de répartition spatiale des données de la BNVd : https://odr.inrae.fr/intranet/carto_joomla/index.php/ressource/documents/documents-odr/notes-methodologiques/3239-mise-a-jour-du-calcul-des-coefficients-de-repartition-spatiale-des-donnees-de-la-bnvd/file

LES LIENS UTILES

BNVd : <https://ventes-produits-phytopharmaceutiques.eaufrance.fr/>

Plan Écophyto : <https://agriculture.gouv.fr/ecophyto-reduire-et-ameliorer-l'utilisation-des-phytos>

Métaprogramme SYALSA (Inrae) : SYALSA – Systèmes alimentaires et santé humaine – Présentation (Inrae.fr) : <https://www6.inrae.fr/syalsa/Presentation>

Rapport de l'Inrae et l'Ifremer : Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques : résultats de l'expertise scientifique collective IN... – Ifremer : <https://wwz.ifremer.fr/Actualites-et-Agenda/Toutes-les-actualites/Impacts-des-produits-phytopharmaceutiques-sur-la-biodiversite-et-les-services-ecosystemiques-resultats-de-l-expertise-scientifique-collective-INRAE-Ifremer>

L'expertise collective Inserm : [inserm-expertisecollective-pesticides2021-rapportcomplet-0.pdf](https://www.inserm.fr/fr/expertise-collective-pesticides-2021-rapport-complet-0.pdf)

Décision du Conseil d'État de juillet 2021 concernant les règles d'utilisation des pesticides : <https://www.conseil-etat.fr/actualites/pesticides-le-conseil-d-etat-ordonne-que-les-regles-d-utilisation-soient-completees-pour-mieux-protger-la-population>

Décret n° 2022-62 du 25 janvier 2022 relatif aux mesures de protection des personnes lors de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques à proximité des zones d'habitation : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000045072954>

Commission européenne : projet sur les statistiques sur les intrants (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX:52021PC0037>) et sur les registres numérisés (https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13185-Produits-phytopharmaceutiques-Tenue-de-registres-par-les-utilisateurs-professionnels_fr)

AUTEURS

Morgane Stempfelet, Laura Chaperon, Margaux Deplanche, Marie Pécheux, Marion Hulin, Emmanuelle Szégo, Mathias Lunghi, Sébastien Denys

Direction Santé Environnement Travail, Santé publique France

RELECTEURS

Marie Gombert¹, Élodie Faure², Ohri Yamada³

1. Institut Géographique National
2. Équipe « Exposome, hérédité, cancer et santé », CESP UMR 1018, 94805, Villejuif, France. Inserm, Université Paris Saclay, Institut Gustave Roussy
3. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

MOTS CLÉS :

APPROCHES GÉOGRAPHIQUES

SIG

PESTICIDES

ENVIRONNEMENT

INDICATEURS

EXPOSITIONS