

Comment évaluer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale ? Enseignements d'une revue bibliographique

Christina Aschan-Leygonie, Sophie Baudet-Michel, Emilie Lavie, Étienne Grésillon, Marie Augendre, Cyrille Harpet, Morgane Hechinger

▶ **To cite this version:**

Christina Aschan-Leygonie, Sophie Baudet-Michel, Emilie Lavie, Étienne Grésillon, Marie Augendre, et al.. Comment évaluer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale ? Enseignements d'une revue bibliographique. Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography, 2015, 729, 10.4000/cybergeo.27056 . hal-01267451

HAL Id: hal-01267451
https://hal.science/hal-01267451

Submitted on 18 Feb 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cybergeo : European Journal of Geography
Environnement, Nature, Paysage | 2015

Comment évaluer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale ? Enseignements d'une revue bibliographique

Population exposure to atmospheric pesticides - a review

Christina Aschan-Leygonie, Sophie Baudet-Michel, Cyrille Harpet, Marie Augendre, Emilie Lavie, Etienne Grésillon et Morgane Hechinger

Édition électronique
URL : http://journals.openedition.org/cybergeo/27056
DOI : 10.4000/cybergeo.27056
ISSN : 1278-3366

Éditeur
UMR 8504 Géographie-cités

Ce document vous est offert par Université Paris Nanterre

Référence électronique
Christina Aschan-Leygonie, Sophie Baudet-Michel, Cyrille Harpet, Marie Augendre, Emilie Lavie, Etienne Grésillon et Morgane Hechinger, « Comment évaluer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale ? Enseignements d'une revue bibliographique », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 729, mis en ligne le 11 juin 2015, consulté le 18 février 2020. URL : http://journals.openedition.org/cybergeo/27056 ; DOI : 10.4000/cybergeo.27056

Ce document a été généré automatiquement le 18 février 2020.

La revue *Cybergeo* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 non transposé.

Comment évaluer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale ? Enseignements d'une revue bibliographique

Population exposure to atmospheric pesticides - a review

Christina Aschan-Leygonie, Sophie Baudet-Michel, Cyrille Harpet, Marie Augendre, Émilie Lavie, Etienne Grésillon et Morgane Hechinger

Remerciements
Ce travail a été financé par la région Rhône-Alpes à travers un AAP de la plateforme santé-environnement EnvitéRA.

1 En France, la teneur des pesticides[1] dans l'air n'est réglementée par aucune norme[2] et les mesures[3] relatives aux niveaux de la présence des pesticides dans l'air sont beaucoup moins nombreuses que celles dont on dispose pour les eaux. Les risques sanitaires relatifs aux pesticides sont étudiés depuis les années 1950 et ont fait récemment l'objet de rapports des principaux organismes publics en environnement et santé publique en France (INSERM, 2013; INRA-AgroParisTech, 2011; InVS, 2009, 2006; InVS/Afsset, 2005) et de rapports parlementaires (Bonnefoy, 2012; Gatignol, Étienne, 2010). Le risque sanitaire lié à l'exposition professionnelle aux pesticides est le mieux connu et le plus sûrement avéré (Costello, Cockburn, Bronstein, Zhang, Ritz, 2009; Curwin et al., 2007; Leyk, Binder, Nuckols, 2009; Quirós-Alcalá et al., 2011; Thibaudier, Freulet, 2010), au point que la maladie de Parkinson a été inscrite au tableau des maladies professionnelles du régime agricole de la sécurité sociale en 2012.

2 Les relations entre exposition aux pesticides dans l'air et santé sont bien moins connues en population générale, c'est-à-dire hors exposition professionnelle. La plupart des études épidémiologiques partent de l'hypothèse que l'exposition aux pesticides de l'air est plus forte à proximité des exploitations agricoles et qu'elle décroît avec la distance

aux lieux d'épandage. L'Institut National de Veille Sanitaire, s'appuyant sur Lu (2000), affirme que « *le transport des substances depuis les applications constitue une source de contamination non négligeable* » (InVS, 2006, p.53). Les résidents proches des lieux d'utilisation de pesticides peuvent être exposés par l'inhalation due à la diffusion et la volatilisation des composés des pesticides au moment de l'application ou plus tard, parfois après plusieurs années, par remobilisation depuis les dépôts au sol.

3 Afin d'explorer la question de la relation entre exposition aux pesticides de l'air et santé en population générale, une revue bibliographique a été mise en œuvre[4]. Cette revue est fondée sur le constat que l'exposition de la population générale aux pesticides de l'air est peu connue en France (Gatignol, Étienne, 2010). L'analyse s'est articulée autour de questions concernant la façon dont les différences d'exposition aux pesticides dans l'espace sont prises en compte dans les études visant à explorer la relation entre santé et exposition aux pesticides[5].

4 Une des questions posées concernait l'existence ou non de régularités dans l'organisation spatiale de l'exposition aux pesticides de l'air au lieu de résidence : ces travaux mettent-ils en évidence une exposition différenciée selon les types d'espaces (ruraux, périurbains, urbains), selon les types de régions agricoles ou selon la distance aux sources ? Les articles ayant fait l'objet de cette revue sont donc ceux qui mobilisent des indicateurs de différenciation spatiale de l'exposition ou qui s'appuient sur la comparaison des observations dans différentes localités ou types d'espaces. Ainsi, dans cet article, l'objectif est de discuter les différentes approches et les résultats de travaux scientifiques qui visent à évaluer l'exposition aérienne aux pesticides en s'appuyant sur une approche spatialisée.

5 Après avoir présenté les méthodologies d'évaluation de l'exposition en population générale, une discussion sera engagée sur la manière dont sont interprétés la variabilité des expositions ainsi estimées et les causes de cette variabilité seront discutées.

Quelles méthodes pour évaluer l'exposition aux pesticides en population générale ?

6 Dans la littérature une variété de méthodes est mobilisée pour estimer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale. Cette variété est révélatrice des orientations méthodologiques des auteurs et de la difficulté à caractériser l'exposition des populations en raison de la forte variabilité spatiale et temporelle du phénomène, mais aussi de la variété des substances en jeu : plus de mille substances sont recensées en France.

7 On peut distinguer deux grandes familles de méthodes d'évaluation de l'exposition des populations (figure 1). Un premier ensemble est fondé sur des mesures de la présence de pesticides soit dans l'environnement (air extérieur, intérieur ou dans les poussières), soit dans les matrices biologiques (sang, sérum, urine, lait maternel, cheveux...). Un deuxième ensemble porte sur des estimations des expositions à partir des informations relatives à l'utilisation potentielle de pesticides au voisinage des lieux de résidence ou des déclarations d'utilisation de pesticides à domicile.

Figure 1 : Une variété de méthodes pour évaluer l'exposition aux pesticides dans l'air en population générale



L'évaluation de l'exposition par la mesure

8 Au total, parmi l'ensemble des 58 études (hors revues de littérature et rapports) analysées dans le cadre de cette recherche une quinzaine mobilise la mesure de concentrations de pesticides soit afin de mettre en évidence un lien avec la santé, soit pour mieux comprendre les déterminants de l'exposition. Ces mesures peuvent être classées en deux types selon qu'elles sont effectuées dans un compartiment environnemental (dans l'air extérieur, intérieur ou dans les poussières intérieures) ou dans une matrice biologique (urine, sang, sérum, lait maternel, cheveu...).

Mesures de pesticides présents dans les poussières, dans l'air intérieur ou extérieur

9 Le prélèvement et l'analyse du contenu des poussières qui se sont déposées dans les résidences (situées à proximité des lieux d'épandage) est une méthode fréquemment utilisée dans les études qui cherchent à expliquer les inégalités d'expositions (Gunier et al., 2011) (Gunier et al., 2011; Quirós-Alcalá et al., 2011; Rhona et al., 2008; Ward et al., 2006; Lu, Kedan, Fisker-Andersen, Kissel, Fenske, 2004). En revanche, cette méthode n'est jamais utilisée dans les articles qui portent sur les relations entre santé et exposition aux pesticides.

10 D'une manière générale, dans l'ensemble du corpus d'articles analysés, les capteurs mesurant la présence de pesticides dans l'air intérieur ou extérieur sont très peu utilisés.

11 Une seule équipe effectue des mesures dans l'air intérieur afin de déterminer l'exposition en population générale (Bouvier, Blanchard, Momas, Seta, 2006). Son objectif est

d'évaluer l'exposition aux pesticides en milieu résidentiel des adultes non exposés professionnellement, et de la comparer à une exposition professionnelle de sujets travaillant à l'intérieur. Ces auteurs procèdent à une collecte des pesticides dans l'air en comparant les échantillons de concentration de l'air intérieur des lieux de résidence et des locaux de travail.

12 Dans le corpus analysé une seule étude épidémiologique mobilise des mesures de concentration dans l'air extérieur combiné à une modélisation géostatistique de la diffusion des pesticides dans l'objectif d'évaluer l'exposition des résidents (Butler Ellis et al., 2010).

13 L'utilisation de prélèvements de pesticides dans les poussières ou dans l'air est une méthode intéressante car les échantillons ainsi obtenus révèlent une exposition aérienne globale, c'est-à-dire mêlant une exposition à une utilisation extérieure, par exemple agricole, et à une utilisation domestique (produits anti-parasitaires ou de jardinage), par exemple à des anti-moustiques ou anti-puces. Les niveaux de concentration dans les poussières peuvent aussi mettre en évidence une exposition accumulée sur un temps parfois long (un à quelques mois selon la méthode de collecte) alors que les mesures dans les matrices biologiques, comme les biomarqueurs de l'urine, mesurent la présence de pesticides dans le corps à un moment donné.

Dosages dans les matrices biologiques

14 Les biomarqueurs sont souvent utilisés pour évaluer l'exposition des populations aux substances chimiques (Boada et al., 2012; Chevrier et al., 2011; Quirós-Alcalá et al., 2011; Xu et al., 2010; Fortin, M. Bouchard, G. Carrier, 2009; InVS, 2009; Curwin et al., 2007; Koch, Lu, Fisker-Andersen, Jolley, Fenske, 2002; Royster et al., 2002). Le dosage permet de détecter la présence de pesticides ou de leurs produits de dégradation dans les urines, dans le sang, dans les cheveux (plus rarement dans le cordon ombilical, le lait maternel ou le sérum). Dans le corpus analysé, les dosages dans les matrices biologiques se font la plupart du temps auprès d'habitants qui résident à proximité de zones traitées en agriculture.

15 Lorsque l'objectif est d'évaluer les effets sur la santé liés à la seule exposition aérienne de la population générale, ces méthodes par les biomarqueurs sont d'une efficacité très limitée. La principale limite tient au fait que les concentrations observées dans les matrices biologiques ne sont pas le résultat de l'exposition aux seuls pesticides de l'air, mais peuvent résulter d'une exposition alimentaire ou par l'eau (voie digestive). Ces prélèvements ne permettent pas d'isoler une source d'exposition aérienne mais peuvent résulter d'une exposition à plusieurs sources et par plusieurs voies (au lieu de résidence et aux différents lieux fréquentés par les individus surveillés). Une deuxième limite tient au fait que les concentrations de pesticides ou de métabolites mesurées dans le corps donnent une indication de l'exposition au moment du prélèvement en général[6]. Or la date du prélèvement ne coïncide pas nécessairement avec les épisodes principaux d'exposition aux pesticides de l'air : en effet, ces prélèvements sont fréquemment effectués sur des cohortes qui peuvent être utilisées pour mesurer l'exposition à des facteurs de risques différents : dans ce cas, la coïncidence de calendrier avec les périodes d'épandage n'est pas garantie. Enfin, cette méthode de mesure est extrêmement coûteuse, intrusive pour les populations et ne peut être réalisée sur un très grand nombre de sujets.

16 Pour l'ensemble des méthodes qui s'appuient sur la mesure de la présence des pesticides (dans l'air, les poussières ou par les biomarqueurs), la difficulté majeure de la mise en œuvre des mesures tient à la variété des produits et des molécules : en France près d'un millier de molécules ont été mises sur le marché. Cette pléthore renforce la difficulté d'évaluation de leur présence et disperse les travaux toxicologiques et épidémiologiques (Carozza, Li, Wang, Horel, Cooper, 2009; Green Brody et al., 2002; Marusek, Cockburn, Mills, Ritz, 2006; Nuckols et al., 2007; Reynolds et al., 2002; Ritz, Costello, 2006; Rull, Ritz, Shaw, 2005; Xiang, Nuckols, Stallones, 2000; Yesavage et al., 2006). En outre, de nouveaux produits apparaissent régulièrement et ne sont pas systématiquement recherchés lors des mesures d'exposition.

17 Compte tenu de toutes ces limites, la métrologie est finalement rarement utilisée dans les études épidémiologiques qui cherchent à évaluer les liens entre santé des populations et exposition aux pesticides par voie aérienne.

L'évaluation de l'exposition à partir de méthodes indirectes

18 Les méthodes le plus souvent mobilisées pour évaluer l'exposition aux pesticides dans un objectif de mise en relation avec la santé sont des méthodes indirectes qui produisent des estimations de l'exposition à partir des connaissances sur l'utilisation des pesticides dans l'environnement de la population exposée.

L'évaluation de l'exposition aux lieux de résidence : à partir de la présence des cultures voisines, ou des déclarations d'utilisation de pesticides

19 L'exposition aux pesticides utilisés en milieu agricole est fréquemment estimée en tenant compte de la présence de cultures au voisinage du lieu de résidence (superficie des cultures, pourcentage de superficie par type de culture, par exemple) et la distance entre les champs et les résidences et du voisinage est souvent découpé en fonction de rayons de distances allant de 250 à plus de 1000 mètres (Babina, Dollard, Pilotto, Edwards, 2012; Bonvallot et al., 2013; Carozza et al., 2009; Chevrier et al., 2011; Petit et al., 2010, 2010; Rull et al., 2005; Walker, Carozza, Cooper, Elgethun, 2007; Xiang et al., 2000). Par exemple, Carozza et al. (2009) se sont appuyés sur l'intégration d'ortho-photos dans un système d'information géographique afin d'identifier le nombre et la superficie des champs agricoles autour des résidences de chacun des individus inclus dans leur étude (dans un rayon d'un km).

20 Dans un certain nombre de travaux, des indicateurs d'exposition sont créés à partir de la quantité de pesticides supposée épandue dans une zone. Ces méthodes sont très utilisées dans les études américaines notamment. La quantité épandue est estimée à partir de la quantité de substances chimiques vendue aux agriculteurs de la zone (Parrón, Requena, Hernández, Alarcón, 2011), ou, plus fréquemment, à partir des quantités de pesticides utilisées déclarées par les agriculteurs (Allpress, 2008; Gunier et al., 2011; Muir et al., 2004; Nuckols et al., 2007; Reynolds et al., 2002, 2004, 2005; Roberts et al., 2007; Yesavage et al., 2006). Reynolds et al. (2005) ont, par exemple, mobilisé un système d'information géographique en créant une zone tampon d'un demi mile[7] autour de chaque résidence, à laquelle ils ont affecté une quantité de pesticides utilisés dans les champs de cette zone tampon ; ceci leur permet ensuite de calculer une quantité globale de pesticides épandus, pondérée par la superficie de chaque champ.

21 Alors que la plupart des auteurs crée des indicateurs d'exposition en fonction de la distance aux champs, certains vont plus loin. C'est le cas de Green-Brody et al. (2002) qui modélisent la diffusion potentielle des pesticides autour des champs en intégrant dans le modèle des données sur la formulation et la composition des substances actives, la méthode d'épandage et les conditions météorologiques : cette méthode permet de tenir compte de la dissolution et du transport potentiel des pesticides à leur voisinage.

22 Enfin, dans certaines de ces études, un indicateur d'exposition est créé au niveau de la commune plutôt qu'au niveau des lieux de résidences, à partir des données décrivant les superficies agricoles, le nombre de champs et les types de culture de la commune, le tout associé à une information sur l'utilisation de pesticides (Clementi et al., 2008; Cornelis, Schoeters, Kellen, Buntinx, Zeegers, 2009; Costello et al., 2009; Marusek et al., 2006). L'objectif de Clementi et al. (2008), par exemple, est d'évaluer si le fait de résider dans une commune très agricole avec une forte utilisation de pesticides, représente un facteur de risque plus important pour l'infertilité que le fait de résider dans une commune avec une faible utilisation de pesticides. Ces auteurs ont ainsi créé une typologie des communes en trois groupes en fonction du pourcentage de surface cultivée, de la méthode d'épandage utilisée et de la quantité de pesticides vendue par an.

23 Ces méthodes d'estimation de l'exposition ont plusieurs avantages. Elles sont relativement simples et peu coûteuses à mettre en œuvre et permettent de créer un indicateur d'exposition sur un temps assez long, puisqu'on peut utiliser des données de déclaration d'utilisation de pesticides annuelles (ou pluriannuelles) ou des informations décrivant les types de cultures pour différentes années. Certains auteurs retracent ainsi l'exposition historique supposée d'un lieu en utilisant des cartes d'occupation du sol ou des photos aériennes anciennes (Green Brody et al., 2002; Ward et al., 2006). Cette reconstruction d'une exposition sur le long terme tient aux soupçons qui pèsent sur les pesticides d'avoir non seulement des effets à court terme, mais aussi à long terme sur la santé.

24 L'utilisation d'une évaluation indirecte de l'exposition aux pesticides présente néanmoins un certain nombre de limites et biais. La façon dont les substances chimiques se dispersent dans l'air est rarement prise en compte et il y a donc nécessairement une simplification importante de la réalité. Cette simplification se traduit notamment par des délimitations de zones tampons qui sont basées sur des distances très variables (allant de 250 à 1000 mètres) à l'intérieur desquelles les auteurs considèrent que l'exposition est significative. Pourtant les travaux sur la dispersion des pesticides peuvent laisser supposer qu'une exposition aérienne à 250 mètres des zones d'épandage est fort différente d'une exposition distante d'un km. Par ailleurs, les déclarations des utilisations par les agriculteurs ne sont pas toujours précises ni conformes à la réalité. Enfin, dans de nombreux pays, comme en France, il est difficile d'obtenir des informations précises (substances actives, quantités, surfaces traitées, cultures et les fréquences d'épandage) sur les pesticides utilisés à un niveau infra-départemental, alors que dans d'autres, par exemple aux États-Unis, il y a obligation de déclarer ces informations qui ne sont pas soumises au secret statistique. Notons d'ailleurs qu'en France, les agriculteurs ont l'obligation de consigner leur usage des pesticides (substances, quantités, périodes d'épandages), mais que cette information ne fait pas l'objet d'une collecte systématique.

L'évaluation de l'exposition par l'auto-déclaration

25 Pour estimer l'exposition des individus, certains auteurs utilisent des méthodes d'enquête par questionnaire ou entretien. Les personnes sont interrogées sur les pesticides utilisés au domicile (Babina et al., 2012; Chen et al., 2006; Fabbro-Peray, Daures, Rossi, 2001; Green Brody et al., 2002; Gunier et al., 2011; Menegaux et al., 2006; Rudant et al., 2007; Tsai, Kaye, Bove, 2006) Ainsi Fabbro-Peray et al. (2001), par exemple, ont procédé à une classification des individus en quatre catégories d'exposition en fonction d'un certain nombre de critères définis à travers un questionnaire. Les questions posées ont entre autre permis de connaître l'utilisation de pesticides à usage domestique et la présence ou non dans la résidence d'une personne travaillant dans l'agriculture. Les résultats des auto-déclarations sont souvent associés et confrontés à une deuxième méthode d'analyse comme par exemple l'estimation de la quantité de pesticides agricoles utilisée à proximité de la résidence (Babina et al., 2012; Ritz, Costello, 2006; Rull et al., 2005). Afin de mieux comprendre les effets de l'exposition aux pesticides de l'air sur le développement fœtal (anencéphalies et spina-bifida), Rull et al. 2005 et Ritz et Costello 2006 ont défini des zones tampons autour des résidences avec l'attribution des quantités de pesticides épandues dans différents rayons autour de la résidence. Cette information a ensuite été complétée par un questionnaire portant sur l'exposition auto-déclarée avant la conception et pendant la grossesse.

26 Cette méthode est intéressante dans le sens où elle permet d'approcher l'historique de l'exposition des individus (en fonction des lieux de résidences antérieures en particulier), de connaître les caractéristiques et les comportements des individus (par exemple le tabagisme, usages de produits biocides) qui constituent des facteurs de confusion dans les études (mélanges de substances, multi-expositions).

27 Mais plusieurs problèmes sont aussi liés à l'auto-évaluation de l'exposition. Les défauts de mémoire, le biais de « positivité » peuvent jouer (Berthier, 2010) : certaines personnes souhaitent faire bonne figure et déclarent une utilisation de pesticides à domicile moins fréquente ou en plus faibles doses qu'en réalité. Les refus de participer à ce type d'enquête sur un sujet que l'on peut caractériser de sensible, posent également problème. Fabbro-Peray et al. 2001 rapportent par exemple 48 % de refus d'interview par les individus du « groupe contrôlé dans une étude cas-témoin (sur 445 cas et 1 025 témoins).

Quelles explications de la variabilité spatiale des niveaux d'exposition aux pesticides dans l'air ?

28 Parmi les travaux analysés nombreux sont les auteurs qui cherchent à expliquer la variabilité spatiale de l'exposition. Dans la plupart des articles, plusieurs facteurs explicatifs sont mobilisés. Le fait de résider à proximité d'une source émettrice de pesticides est l'hypothèse première. La majorité des études s'intéressent à la proximité aux zones agricoles (Allpress, 2008; Babina et al., 2012; Coronado et al., 2011; Green Brody et al., 2002; Jakubowski, 2012; Koch et al., 2002; Nuckols et al., 2007; Royster et al., 2002; Thibaudier, Freulet, 2010; Ward et al., 2006) ou, mais bien plus rarement, aux sites industriels chimiques (Gaffney et al., 2005). Un deuxième facteur explicatif est la fréquence et l'importance de l'exposition aux produits utilisés à domicile (Babina et al., 2012; Bekarian, Payne-Sturges, Edmondson, Chism, Woodruff, 2006; Bouvier et al., 2006;

Curwin et al., 2007; Fortin et al., 2009; Gunier et al., 2011; Menegaux et al., 2006; Quirós-Alcalá et al., 2011). Un troisième ensemble de facteurs déterminants est lié aux caractéristiques et comportements des populations observées (Bouvier et al., 2006; Coronado et al., 2011; Curl, Fenske, Elgethun, 2003; Curwin et al., 2007; Gunier et al., 2011; Koch et al., 2002; Lu, Fenske, Simcox, Kalman, 2000; Obendorf et al., 2006; Rhona et al., 2008; Rudant et al., 2007; Valcke et al., 2006; Ward et al., 2006; Zumbado et al., 2005).

L'hypothèse principale : la distance à la source

29 De nombreuses études ont mis en évidence une exposition plus importante aux pesticides de l'air à proximité des champs en analysant notamment les poussières dans les résidences ou les concentrations dans les urines des résidents (Nuckols et al., 2007, 2008; Obendorf et al., 2006; Ward et al., 2006). Le travail de Ward et al. (2006) sur 128 résidences en Iowa a démontré que l'augmentation des surfaces cultivées de maïs et soja à moins de 750 mètres des résidences était associée à une augmentation significative des chances de détecter des herbicides dans les poussières des résidences, par rapport à ce qui était observé dans les résidences à plus de 750 mètres. Ces auteurs ont aussi montré que dans les résidences à moins de 750 mètres des champs pour chaque augmentation d'environ 4 000 mètres carrés de cultures, la détection d'herbicides dans les poussières augmentait de 6 %. Toujours selon la même étude, une diminution significative des concentrations de pesticides détectés dans les poussières des résidences est observée en fonction de la distance (comparaison des zones tampons de 100, 250, 500 et 750 mètres) aux cultures. Cependant, dans cette étude, l'effet de la distance apparaît moins discriminant que l'effet de la superficie de cultures.

30 En Californie, des chercheurs ont testé la validité de l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) pour évaluer l'exposition à partir des déclarations sur l'utilisation des pesticides par les agriculteurs en confrontant les résultats avec ceux obtenus par l'analyse des sérums dans les corps des résidents à proximité des champs traités (Costello et al., 2009; Ritz, Costello, 2006). Les résultats conduisent les auteurs à conclure que l'estimation de l'exposition par leur modèle SIG est valable (le modèle explique en effet 87 % des différences de concentrations observées dans les sérums des résidents). Dans cette étude californienne, d'autres variables, décrivant l'exposition professionnelle ou l'utilisation de pesticides à la maison, ont été introduites dans le modèle statistique, mais semblent jouer un rôle moins important que la proximité aux champs.

31 Gunier et al. (2011) ont cherché à identifier les déterminants de concentrations de pesticides agricoles dans les poussières de tapis de 89 résidences en Californie en mettant en relation ces concentrations d'une part avec la distance aux champs (deux indicateurs ont été utilisés : la densité de pesticides et la superficie des cultures) et d'autre part, avec l'information auto-déclarée concernant l'utilisation domestique des pesticides. Pour cinq des sept substances analysées, ils observent des concentrations significativement plus élevées dans les résidences localisées à moins 1250 mètres d'un champ où des pesticides avaient été utilisés dans l'année précédant les prélèvements que dans les résidences sans épandage à proximité.

32 Des études portant sur le lien entre la période de traitement des cultures et la présence de pesticides dans les matrices biologiques ou les domiciles à proximité des champs renforcent ces résultats. Certains travaux signalent une augmentation pendant les

périodes d'épandage des niveaux mesurés dans les urines (Curl et al., 2003; Koch et al., 2002). Il est aussi intéressant de noter que les résultats d'analyses temporelles des concentrations de poussières dans les résidences montrent une variabilité plus importante entre les résidences à une date donnée, qu'à l'intérieur des résidences pour différentes dates pour la plupart des pesticides (Deziel et al., 2013), ce qui renforce l'hypothèse du rôle primordial de la distance aux champs traités dans la variabilité des pesticides dans l'air.

33 Une seule des études analysées porte sur l'exposition aux produits chimiques à proximité d'un site industriel produisant des pesticides. Gaffney et al. (2005) ont cherché les relations entre les lieux de résidence, leur proximité avec un site industriel[8] de production de pesticides et de fertilisants dans le comté de Washington, et les niveaux de composés organochlorés dans le sang des résidents. Les résultats suggèrent un lien positif avec la dieldrine[9], mais pas avec les deux autres substances recherchées[10].

34 En somme, de nombreux résultats mettent en évidence une relation négative significative entre la distance aux champs ou aux sites industriels et la présence de pesticides mesurée dans les résidences ou dans les matrices biologiques humaines des résidants. D'autres montrent l'effet positif de la superficie des cultures sur l'exposition. Ces travaux suggèrent donc qu'il y a bien une diffusion significative de certains pesticides à partir des champs, au moins dans un rayon de 1250 mètres, et qu'elle diminue avec la distance. Cette présence des pesticides dans l'air des résidences à proximité des champs est plus élevée pendant les périodes de traitement qu'en dehors de ces périodes. Cependant, les résultats ne sont pas univoques.

35 En effet, dans ces travaux, les résultats ne vont pas tous dans le même sens et varient en fonction des indicateurs d'exposition utilisés, des types de spécialisations agricoles analysées ou des pesticides analysés. Dans certains cas, une absence de relation est rapportée. Dans une étude australienne de Babina et al., (2012) aucune différence significative n'apparaît entre les enfants vivant en zone urbaine, péri-urbaine ou rurale, pour la plupart des métabolites analysés dans les urines des enfants. Dans l'Etat de Washington, Koch et al. (2002) n'ont pas pu mettre en évidence une relation avec la distance (en deux catégories, « inférieure ou supérieure à 60 mètres ») aux vergers des lieux de résidence des 44 enfants et des métabolites issus de la dégradation de pesticides organophosphorés présents dans leurs urines. Gunier et al. (2011) notent une absence de relation entre distance et « concentrations relevées dans les poussières des domiciles » pour deux des sept pesticides analysés. L'étude de Royster et al. (2002) ne montre aucun lien entre concentrations de métabolites d'organophosphate dans les urines des enfants et la proximité aux champs agricoles en Californie. Soulignons que l'étude a été conduite sur seulement 20 enfants.

36 En ce qui concerne l'exposition autour d'un site de production de pesticides, Gaffney et al. (2005), ont mis en évidence une relation inverse de celle attendue pour le DDE, un produit de décomposition du DDT (interdit depuis les années 1970). En effet, plus on s'éloigne du site, plus les niveaux de DDE augmentent dans le sang des résidents. L'explication proposée par les auteurs est que le DDE est omniprésent aux Etats-Unis (trouvé dans le sang de 90 % des américains).

Une exposition différenciée selon le contexte du lieu de résidence

37 Une hypothèse proche de celle de la distance, testée par certains auteurs, est celle d'une exposition différenciée selon le contexte du lieu de résidence ou de travail. Babina et al. (2012) ont mené une étude portant sur 340 enfants de familles résidant en Australie, répartis en quatre catégories en fonction du contexte géographique du lieu de résidence : agricole (moins de 50 mètre d'un champ), rurale, péri-urbaine et urbaine. Les métabolites mesurés dans les urines des enfants témoignent d'une exposition chronique des enfants quelle que soit la zone de résidence (Organophosphorés (OP)[11] et pyrethroid (PYR)[12] analysés). En revanche, les différences entre les groupes observés ne sont significatives que pour une minorité des métabolites, comme ceux du fenitrothion ou de la deltaméthrine, insecticides utilisés pour la lutte contre les moustiques. Les concentrations de ces métabolites étaient plus élevées chez les enfants vivant en zone agricole, rurale ou péri-urbaine. Une étude de Fortin et al. (2009) comparant les niveaux de métabolites dans les urines entre des populations urbaine et rurale, adulte et infantile, de la Province de Québec, conforte ces résultats (au total 308 personnes ont participé à l'étude). Les adultes et les enfants des milieux ruraux présentaient des niveaux plus élevés des principaux métabolites urinaires. Des résultats similaires ont été publiés par Ward et al. (2006). Ces auteurs ont confirmé que les pesticides étaient moins fréquemment détectés dans des résidences en zone urbaine (16 % des résidences) que dans les poussières de résidences rurales (61 % des résidences) ; les concentrations d'herbicides étaient globalement 2,5 fois plus importantes dans les résidences en zone rurale.

38 D'autres résultats vont dans le même sens. Lu et al. (2000) ont montré dans une étude sur les enfants de 60 ménages dans l'Etat de Washington que les enfants vivant en zone rurale d'arboriculture avaient cinq fois plus de pesticides dans les urines que les enfants habitant en zone urbaine. Coronado et al. 2011 ont, entre autre, cherché à identifier le rôle de la proximité de la résidence aux champs traités. Ils ont recherché des pesticides dans les prélèvements d'urines des adultes et enfants et dans les poussières de deux cent résidences. Les résultats montrent globalement une réduction d'environ 20 % par mile de la concentration de métabolites de diméthyle-phosphate dans les urines sans préciser à partir de quelle distance les substances deviennent insignifiantes.

39 Cependant, d'autres études présentent des résultats moins concluants. Valcke et al. (2006) ont cherché à déterminer l'exposition aux pesticides organophosphatés de 89 enfants entre 3 et 7 ans, vivant dans des zones non agricoles et péri-urbaines au Québec. Les auteurs ont analysé les urines des enfants et les ont comparées avec les caractéristiques environnementales de leur lieu de résidence. Ces caractéristiques ont été définies entre autre par l'interdiction ou non de l'usage de pesticides dans leur commune pour le jardinage et la proximité de parcours de golf ou de jardins publics dans lesquels les pesticides sont épandus. Aucune différence significative des concentrations dans les urines des enfants n'a été trouvée en fonction de ces déterminants potentiels.

L'utilisation de pesticides à usage privé

40 Dans quelques études, les auteurs s'intéressent à l'exposition liée à l'utilisation de pesticides à domicile dans le cadre des activités de jardinage ou de traitement des

parasites ou insectes. Gunier et al. (2011) ont montré que les concentrations d'un insecticide organo-phosphaté (chlorpyrifos) étaient plus élevées dans les échantillons de poussières des résidences où avait été rapportée une utilisation plus fréquente de pesticides contre les mouches ou les tiques durant l'année que dans les autres résidences.

41 Cependant, le lien entre usage de pesticides à domicile et les mesures dans les poussières ou dans les urines n'est pas toujours apparent, car si Gunier et al. (2011) ont pu montrer une relation pour le chlorpyrifos, ils n'ont trouvé aucun lien pour les six autres pesticides utilisés dans les domiciles de l'étude. De la même façon Valcke et al. (2006) n'ont pu établir un lien entre les pesticides dans les urines et l'usage confirmé ou suspecté de pesticides à l'intérieur de la résidence ou dans le voisinage.

42 Julien et al. (2008) dans une étude à Boston sur 42 logements sociaux, ont montré que le niveau d'insalubrité des résidences influence les niveaux d'exposition liés à l'utilisation plus importante de pesticides contre les nuisibles (cafards dans cette étude).

La présence d'actifs agricoles au domicile

43 De nombreux travaux ont interrogé le rôle de la présence à domicile d'actifs agricoles ou d'autres actifs en contact avec des pesticides dans un contexte professionnel (serres, fleuristes, cliniques de vétérinaires...) pour expliquer le niveau d'exposition observé dans les résidences (Coronado et al., 2011; Curl et al., 2003; Curwin et al., 2007; Lu et al., 2000; Obendorf et al., 2006; Quirós-Alcalá et al., 2011; Ward et al., 2006).

44 Dans une étude sur cent ménages d'agriculteurs et cent ménages de non-agriculteurs d'origine hispanique, dans l'Etat de Washington, Coronado et al. (2011) ont cherché à identifier le rôle de l'exposition aux pesticides rapportés au domicile par les vêtements des actifs agricoles. Les concentrations de métabolites de dimethylphosphate (DMTP) des urines des enfants d'agriculteurs ont été comparées à celles des urines des enfants de familles sans actifs agricoles. Les auteurs affirment qu'il y a une nette différence entre les deux types d'enfants, avec des concentrations significativement plus importantes chez les enfants de familles d'agriculteurs. Dans l'Etat d'Iowa, Curwin et al. (2007) ont trouvé des corrélations entre concentrations de pesticides relevés dans les urines et dans les poussières avec l'appartenance au secteur d'activité agricole des actifs des familles. D'autres études confirment ces résultats. Gunier et al. (2011) ont pu détecter des résidus de chlorpyrifos dans les échantillons de poussières à des concentrations significativement plus élevées dans les résidences avec des actifs dans l'agriculture que dans des résidences sans actif agricole. Les résultats de Ward et al. (2006) vont dans le même sens : ils ont également détecté des concentrations plus élevées pour plusieurs pesticides dans les foyers agricoles.

45 Un certain nombre d'études concluent toutefois à l'absence de lien positif entre la présence d'actifs agricoles à domicile et concentrations de pesticides dans l'air domestique.

46 Si Gunier et al. (2011) ont pu mettre en évidence une relation pour le chlorpyrifos (dit aussi chlorpyriphos-éthyl, insecticide organophosphoré), c'est toutefois le seul pesticide, parmi les sept explorés, qui présente un lien avéré. Lu et al. (2004) ont trouvé une utilisation deux fois plus élevée d'un certain nombre de pesticides dans les ménages non agricoles que dans les ménages agricoles, mais à la différence des résultats de Gunier et al. , les concentrations de chlorpyrifos étaient comparables entre maisons d'agriculteurs et

non agriculteurs. Bouvier et al. (2006), dont l'objectif était d'évaluer l'exposition en milieu résidentiel des adultes non exposés professionnellement, et de la comparer à une exposition professionnelle de sujets travaillant dans des locaux fermés (serres, laboratoires...), n'a pas non plus révélé d'association. L'échantillon de population composé de 20 personnes non exposées et de 21 personnes exposées a été recruté en région parisienne pour collecter les pesticides présents dans l'air intérieur 38 insecticides, herbicides et fongicides ont été mesurés dans l'air intérieur (prélevé pendant 24 heures) et sur les mains des professionnels. Le principal composé détecté est le lindane [13], observé dans 97% des échantillons. Les résultats soulignent notamment que les produits utilisés pour le traitement antiparasitaire sur les animaux ont été significativement plus élevés en concentration détectée dans l'air chez les vétérinaires (présences d'insecticides organophosphorés et différents herbicides liées à la contamination des animaux à fourrure). Ils ont même noté qu'aux domiciles, à l'inverse de ce qui est attendu, des concentrations de certains pesticides (atrazine, herbicide de la famille des triazines ; propuxur, insecticide de la famille des carbamates ; endosulfan et lindane, deux insecticides organochlorés) sont significativement plus importantes que dans les lieux professionnels où sont utilisés des pesticides. L'explication avancée par ces auteurs à ces résultats est la suivante : dans l'ensemble, la population générale est exposée à des pesticides plus divers et à des niveaux parfois plus élevés que dans les lieux de travail.

47 Quiros-Alcala et al. (2011) ont émis l'hypothèse que les populations à faible revenu sont les plus exposées aux pesticides de l'air intérieur en raison de l'insalubrité des résidences et de l'infestation plus fréquente par les nuisibles, avec pour corollaire une utilisation plus intense des pesticides à domicile. Ils se sont intéressés à 40 foyers à faible revenu en Californie, mais sans comparer ces foyers avec d'autres au revenu élevé. Pour mieux discerner les niveaux d'exposition à domicile, les chercheurs ont comparé les concentrations de pesticides dans les poussières de foyers en milieu rural dans lesquels vivent des actifs agricoles (15 foyers) avec des foyers en milieu urbain (13 foyers). Parmi les résultats, aucune différence significative dans les concentrations de pesticides n'est apparue entre les deux groupes de foyers. Par ailleurs, les concentrations de pesticides sont plus importantes dans les foyers dans lesquels les résidents déclarent un usage de pesticides sur les trois derniers mois, que dans les foyers sans utilisation déclarée, mais ce lien n'est jamais significatif pour les 22 pesticides analysés.

La présence d'animaux domestiques

48 Valcke et al. (2006) montrent qu'un élément significativement discriminant des concentrations de pesticides dans les urines des enfants est la relation établie avec la présence d'un animal domestique (chat ou chien). Les auteurs font l'hypothèse que cette différence s'explique par l'utilisation de produits antiparasitaires sur ces animaux et par le fait qu'ils peuvent ramener des substances chimiques dans leur fourrure après une sortie dans des champs traités. Une hypothèse similaire est formulée par Bouvier (2006) pour les vétérinaires dont les mains seront contaminées par certains insecticides et herbicides. Cette hypothèse est invalidée dans le cadre de l'étude : aucune différence significative n'est observée entre les niveaux d'imprégnation des mains des vétérinaires et la population non exposée professionnellement.

Les caractéristiques des populations

49 Quelques travaux évoquent les différences de caractéristiques des populations pour expliquer les variations dans la présence des pesticides : le sexe, l'âge, la catégorie socioéconomique et le niveau de formation. Dans l'étude de Koch et al. (2002), une différence significative des métabolites de dialkyl phosphate (insecticide organophosphoré) mesurés dans les urines des 44 enfants de l'Etat de Washington est manifeste entre les filles et les garçons avec des concentrations plus élevées chez les garçons, toutes choses égales par ailleurs. En revanche, l'âge des enfants n'est pas discriminant. L'étude de Zumbado et al. (2005), montre l'effet discriminant de l'âge dans une étude avec un protocole de recherche très différent. Ces auteurs ont déterminé les niveaux de DDT (Dichlorodiphényltrichloroéthane, insecticide organochloré) dans le sérum de 880 habitants des Îles Canaries. Les résultats montrent que la concentration de p,p'-DDE dans le sérum augmente avec l'âge et que les femmes présentent des concentrations bien plus élevées que les hommes, un résultat qui est donc l'inverse de celui de Koch (2002). D'après les conclusions de l'étude de l'InVS (2013) portant sur 400 personnes âgées de 18 à 74 ans et la présence dans le sang ou l'urine de trois familles de pesticides (organochlorés, organophosphorés et pyréthrinoïdes), certains facteurs physiologiques (par exemple l'âge et la corpulence) semblent influencer de façon importante les niveaux des biomarqueurs urinaires.

50 Rudant et al. (2007), dans une étude cas témoins (1 130 cas et 1 681 témoins), se sont intéressés aux associations entre usages domestiques des pesticides d'une part, et niveau de formation ou catégorie socio-économique des foyers d'autre part : aucun lien n'apparaît.

Discussion : les limites des études d'évaluation de l'exposition

51 Différents déterminants de l'exposition aux pesticides semblent donc émerger de ces études, mais les résultats permettent difficilement de tirer de conclusions tranchées étant donné que les études adoptent des protocoles de recherches très différents (substances analysées, populations enquêtées, territoires d'étude, estimations de l'exposition, etc.). L'évaluation de la présence des pesticides est approchée de manière très variée : des mesures dans l'environnement avec ou sans modélisation (dans l'air intérieur ou extérieur, dans les poussières), des mesures dans les matrices biologiques (cheveux, urines, sang), des estimations en fonction de la distance aux champs, en fonction des pratiques agricoles (utilisation de pesticides, types de cultures, etc.), en fonction des usages ou des expositions déclarées, agricoles ou non agricoles. Il en ressort une grande variabilité de l'exposition de la population générale en fonction des distances aux champs, des superficies et types de cultures, des quantités et de la nature des produits utilisés, des modes d'épandage et de protection (haies, talus, vents dominants...).

52 Les travaux montrent que l'exposition est clairement plus importante dans les zones agricoles où les pesticides sont utilisés de manière intensive (vignobles, arboriculture). Soulignons aussi que les espaces urbains, centraux ou périphériques et les espaces suburbains sont rarement observés et que de ce fait, la présence des pesticides dans l'air est connue de manière fragmentaire et peu généralisée. Ce faible intérêt pour les milieux

plus urbains laisse de côté l'exposition d'une très grande partie de la population. Ceci est d'autant plus regrettable que des travaux, comme par exemple ceux de Scheyer, Graeff, Morville, Mirabel, Millet, 2005 et Scheyer, Morville, Mirabel, Millet, 2007 sur Strasbourg, montrent une présence certaine de pesticides en milieu urbain.

53 La distance aux sources d'émission de pesticides ressort aussi comme un déterminant important pour expliquer les différences de présence et concentrations de substances actives mesurées dans l'air des résidences ou dans le corps humain. Un troisième facteur déterminant est souvent identifié dans ces études : la présence ou non d'un actif agricole dans le foyer. En revanche, le rôle de l'usage de pesticides à domicile apparaît beaucoup moins clairement, de nombreuses d'études témoignant d'une absence de lien entre les mesures et l'utilisation auto-déclarée de pesticides.

54 Une limite importante de l'évaluation de l'exposition aux pesticides de l'air est liée à la forte variabilité des substances et de leurs caractéristiques. Ces variations sont essentiellement liées aux caractéristiques propres des pesticides (volatilité...), aux cultures présentes localement (différenciations agricoles entre régions, contrées et pays) et aux modes d'épandage. Le nombre de substances actives en circulation sur le marché des pesticides est particulièrement important (plus de 300 matières actives homologuées en France), et le renouvellement des substances et composition des spécialités commerciales, du fait d'innovations et d'interdictions. L'analyse des expositions est aussi confrontée à la variabilité des usages d'intrants chimiques en fonction des périodes culturales et des changements de pratiques agricoles. Le suivi de substances anciennement utilisées, puis interdites, comme le lindane, reste une nécessité en raison de leur omniprésence dans les milieux et de leur caractère rémanent[14].

55 Très peu des études analysées mobilisent une modélisation spatiale de la diffusion aérienne des pesticides. Pourtant, ces méthodes de modélisation spatiale sont fréquemment utilisées pour évaluer l'exposition des populations urbaines à des polluants tels que l'ozone, le dioxyde d'azote ou les petites particules (Anenberg, Horowitz, Tong, West, 2010; Lee, Shaddick, 2010; de Nazelle et al., 2013; Setton et al., 2011; Warren, Fuentes, Herring, Langlois, 2012). Cette faible utilisation de la modélisation pour évaluer la présence des pesticides pourrait s'expliquer par la variété des substances et de leur comportement aérien. La complexité du phénomène à modéliser entre probablement en jeu : la dispersion aérienne des pesticides est influencée par de très nombreux paramètres liés à la source (mode d'application, volatilité du pesticide, dimensions du champ, quantité), aux conditions météorologiques (vitesse et direction du vent), aux effets de site et à la présence ou non de barrières (relief, haies, forêts...), aux caractéristiques des substances utilisées (volatilité, diffusion et remobilisation différentes selon les substances). Par ailleurs, les modèles de diffusion sont difficilement transposables et très « saisonniers » : la diffusion en période d'épandage est différente de la diffusion hors période de traitement (période où la remobilisation des pesticides déposés sur le sol est prépondérante). On peut aussi penser que la géographie du phénomène à modéliser, plutôt présent dans un espace rural étendu constitue un obstacle. En effet ces modélisations spatiales s'appuient généralement sur des campagnes de mesures précises conduites dans des petits périmètres. On soulignera enfin que les mesures de pesticides présents dans l'air extérieur et intérieur ne sont pas systématisées et qu'il existe très peu de capteurs de mesures « officiels » c'est-à-dire gérés par les AASQA (Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air) sur le territoire français[15]. Pourtant, la France est le deuxième consommateur de pesticides au monde après les Etats-Unis. Enfin, le coût de

ces mesures est très élevé, puisque pour être validée cette méthode nécessite une modélisation avec de nombreux paramètres et une vérification coûteuse sur le terrain, par de nombreux contrôles.

56 D'autre part, la mesure de l'exposition est souvent partielle en raison de l'absence de prise en compte de la mobilité des populations. Selon un rapport de l'(ANSES, 2010)) sur l'exposition en population générale aux pesticides, « *l'exposition par la voie aérienne des populations intervient principalement dans les milieux fermés, où nous passons plus de 70 % de notre temps. Les traitements des matériaux, l'utilisation de produits insecticides ou antiparasitaires [...] constituent autant de sources d'exposition. L'ORP a recensé 4 études françaises visant à renseigner la présence des pesticides dans l'air et les poussières des locaux et des habitations. Ces études mettent en évidence une contamination des environnements intérieurs, quelquefois à des niveaux plus élevés que ceux observés pour l'extérieur.* » (ANSES, 2010, p.7). Pour comprendre l'exposition aux pesticides en population générale, il semble donc particulièrement judicieux d'évaluer l'exposition à la fois par des mesures ou des estimations faites à l'extérieur et par des analyses de l'air intérieur (par exemple par l'examen des poussières à domicile).

57 L'exposition est le plus souvent estimée à l'adresse ou à la commune de résidence alors que les individus sont très mobiles dans le temps, au cours de la journée ou de la semaine : la question de l'exposition hors du lieu de résidence gagnerait donc à être posée, ce qui n'est que très rarement le cas dans les études analysées.

58 Enfin, les individus sont mobiles dans le temps long et rares sont ceux qui conservent le même lieu de résidence du début à la fin de leur vie. Les effets sanitaires de l'exposition aux pesticides sont mieux connus pour les effets aigus, c'est-à-dire ceux qui se manifestent rapidement après l'exposition (Bonnefoy, 2012; Gatignol, Étienne, 2010; INSERM, 2013). Mais pour nombre de pathologies, on suspecte des effets de long terme des expositions et ceci nécessiterait de retracer des parcours spatio-temporels des populations atteintes ou de contrôle, ainsi que les expositions historiques. La survenue de certaines maladies (les cancers, par exemple) est souvent décalée dans le temps par rapport à une période d'exposition. Or, les expositions historiques sont délicates à déterminer. En outre, l'absorption répétée d'une substance s'éliminant lentement peut provoquer des effets s'additionnant ou se renforçant malgré l'élimination progressive de la substance (Baldi, Mohammed-Brahim, Brochard, Dartigues, Salamon, 1998). C'est pourquoi certains chercheurs ont intégré dans l'indicateur d'exposition, une exposition historique en estimant l'exposition aux adresses successives de l'individu (Cornelis et al., 2009; Green Brody et al., 2004).

59 Enfin, les pesticides sont présents dans différents compartiments (sol, air, eau, aliments) qui peuvent conduire à une multi-exposition des populations dont il n'est pas question dans les études qui estiment l'exposition en fonction de la proximité du lieu ou de la localité de résidence aux lieux d'épandage (principalement les zones de cultures).

60 Clairement, la connaissance de l'exposition globale des individus aux pesticides peut être améliorée en s'appuyant sur des biomarqueurs qui témoignent d'une exposition réelle (et non estimée) aux pesticides. L'utilisation des biomarqueurs (mesures de la présence des pesticides à partir des métabolites dans le sang ou les urines par exemple), si elle permet de tenir compte d'une multi-exposition pose toutefois d'autres problèmes. En particulier ces analyses portent sur un petit nombre d'individus, leur puissance statistique est donc faible. Pour citer quelques exemples, l'échantillon de Lu et al. (2004) est composé de 13 enfants, celui de Royster et al. (2002) de 20 enfants.

Conclusion

61 L'analyse d'un corpus d'articles portant sur l'exposition aux pesticides de l'air en population générale montre qu'il est très difficile d'établir des règles générales de la présence des pesticides dans l'air et donc de l'exposition de la population. La dérive des pesticides dans l'air est difficilement quantifiable et traçable. Elle consiste en un déplacement des particules, de résidus voire d'émanations gazeuses dans l'atmosphère, hors des zones ciblées, pendant et après la pulvérisation des produits. Ces particules peuvent demeurer plus ou moins longtemps dans l'air selon plusieurs critères physiques, chimiques et météorologiques.

62 Notre revue bibliographique permet cependant d'avancer quelques conclusions. L'exposition est clairement plus importante dans les zones agricoles dans lesquelles les pesticides sont utilisés de manière intensive (vignobles, arboriculture). Les études qui comparent les mesures réelles et les évaluations de la présence des pesticides mettent bien en valeur l'effet discriminant de la distance aux sources d'émissions. Enfin, les espaces urbains et les espaces suburbains sont rarement observés et de ce fait, la présence des pesticides dans l'air est connue de manière fragmentaire et peu généralisée.

63 Afin de limiter l'exposition des populations aux pesticides de l'air, les surfaces traitées par les pesticides, surfaces cultivées ou non cultivées, agricoles et non agricoles, pourraient faire l'objet d'aménagement aux limites des zones résidentielles : des haies peuvent par exemple constituer des « barrières protectrices » de la migration aérienne des pesticides (Ucar, Hall, 2001). Ces mêmes haies peuvent aussi constituer des espaces refuges de la biodiversité et protéger les plantes cultivées à l'intérieur du périmètre des haies. Une réflexion sur les distances de sécurité paraît désormais nécessaire à engager afin de mieux comprendre comment protéger les populations exposées à leur insu. Des zones de non traitement aux pesticides à proximité des habitations pourraient être mises en place et permettraient de limiter l'exposition des riverains. De telles mesures de protection sont déjà utilisées dans le cas des cours d'eau. D'autres pays d'Europe et d'Amérique du Nord disposent déjà d'une réglementation plus stricte quant à l'utilisation des produits phytosanitaires et la protection l'environnement et de la santé. Plusieurs exemples de zones tampons ont prouvé leur efficacité pour protéger les milieux naturels et la population (Kristoffersen et al., 2008). Par exemple, au Canada une distance d'éloignement de 20 à 30 mètres autour d'un immeuble protégé[16] est imposée pour les formes d'applications engendrant une dérive aérienne importante.

64 A l'issue de cette revue, il apparaît que la compréhension des risques sanitaires, dus aux pesticides en population générale, ne peut faire l'économie d'une prise en compte de l'exposition aux pesticides de façon systémique. Pour améliorer les connaissances sur la présence des pesticides et sur l'exposition de la population générale il paraît indispensable de réfléchir à la mise au point de protocoles de mesure ou d'estimation tenant compte de la multiplicité des compartiments (sol, air, eau, aliments) qui induisent une multi-exposition des populations. La question de la variabilité spatio-temporelle de la présence des pesticides dans les divers compartiments (Setton et al., 2011; Ucar, Hall, 2001), de la mobilité des populations et des effets cumulés des mélanges de différentes substances et de l'exposition sur le long terme devraient aussi faire l'objet d'une investigation approfondie dans les études spatiales.

BIBLIOGRAPHIE

Allpress J. L., 2008, « A GIS-based method for household recruitment in a prospective pesticide exposure study », *International Journal of Health Geographics*, vol.7. http://www.ij-healthgeographics.com/content/7/1/18

Anenberg S. C., Horowitz L. W., Tong D. Q., West Jj., 2010, « An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling », *Environmental health perspectives*, vol.118, num.9, 1189–1195.

ANSES., 2010, *Exposition de la population générale aux résidus de pesticides en France*. ANSES / ORP.

Babina K., Dollard M., Pilotto L., Edwards J., 2012, « Environmental exposure to organophosphorus and pyrethroid pesticides in South Australian preschool children : a cross sectional study », *Environment international*, vol.48, 109-120.

Baldi I., Mohammed-Brahim B., Brochard P., Dartigues J. F., Salamon R., 1998, « Effets retardés des pesticides sur la santé: état des connaissances épidémiologiques », *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, vol.46, num.2, 134–142.

Bekarian N., Payne-Sturges D., Edmondson S., Chism B., Woodruff T., 2006, « Use of point-of-sale data to track usage patterns of residential pesticides : methodology development », *Environmental Health*, vol.25, num.5, 15.

Berthier N., 2010, *Les techniques d'enquête en sciences sociales - 4e éd. - Méthodes et exercices corrigés*. Paris, Armand Colin, 352 p .

Boada L. D., Zumbado M., Henríquez-Hernández L. A., Almeida-González M., Álvarez-León E. E., Serra-Majem L., 2012, « Complex organochlorine pesticide mixtures as determinant factor for breast cancer risk: a population-based case-control study in the Canary Islands (Spain). », *Environmental Health*, vol.11, 28-36.

Bonnefoy N., 2012, *Les pesticides et leurs impacts sur la santé*. Paris, Sénat.

Bonvallot N., Tremblay-Franco M., Chevrier C., Canlet C., Warembourg C., Cravedi J.-P., et al., 2013, « Metabolomics Tools for Describing Complex Pesticide Exposure in Pregnant Women in Brittany (France) », *PLoS ONE*, vol.8, num.5, e64433.

Bouvier G., Blanchard O., Momas I., Seta N., 2006, « Pesticide exposure of non-occupationally exposed subjects compared to some occupational exposure: A French pilot study », *Science of the total environnement*, vol.366, 74-91.

Carozza S. E., Li B., Wang Q., Horel S., Cooper S., 2009, « Agricultural pesticides and risk of childhood cancers », *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol.212, 186-195.

Chen Z., Robison L., Giller R., Krailo M., Davis M., Davies S., et al., 2006, « Environmental exposure to residential pesticides, chemicals, dusts, fumes, and metals, and risk of childhood germ cell tumors », *International journal of hygiene and environmental health*, vol.209, num.1, 31–40.

Chevrier C., Limon G., Monfort C., Rouget F., Garlantézec R., Petit C., et al., 2011, « Urinary Biomarkers of Prenatal Atrazine Exposure and Adverse Birth Outcomes in the PELAGIE Birth Cohort », *Environmental Health Perspective*, vol.119, 1034-1041.

Clementi M., Tiboni G. M., Causin R., Rocca C. L., Maranghi F., Raffagnato F., et al., 2008, « Pesticides and fertility: An epidemiological study in Northeast Italy and review of the literature », *Reproductive Toxicology*, vol.26, 13-18.

Coparly, Supair, Atmo-Drôme-Ardèche., 2010, *Suivi des pesticides dans l'air ambiant. Mesures réalisées en 2007-2008 en secteur de viticulture (69), de grandes cultures (38) et en zone péri-urbaine (07)*. Coparly, Supair, Atmo-Drôme-Ardèche.

Cornelis C., Schoeters G., Kellen E., Buntinx F., Zeegers M., 2009, « Development of a GIS-based indicator for environmental pesticide exposure and its application to a Belgian case–control study on bladder cancer », *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol.212, 172-185.

Coronado G. D., Holte S., Vigoren E., Griffith W. C., Faustman E., Thompson B., 2011, « Organophosphate Pesticide Exposure and Residential Proximity to Nearby Fields: Evidence for the Drift Pathway », *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*, vol.53, num.8, 884-891.

Costello S., Cockburn M., Bronstein J., Zhang X., Ritz B., 2009, « Parkinson's Disease and Residential Exposure to Maneb and Paraquat From Agricultural Applications in the Central Valley of California », *American Journal of Epidemiology*, vol.169, 919-926.

Curl C. L., Fenske R. A., Elgethun K., 2003, « Organophosphorus pesticide exposure of urban and suburban preschool children with organic and conventional diets. », *Environmental Health Perspectives*, vol.111, num.3, 377-382.

Curwin B., Hein M., Sanderson W., Striley C., Heederik D., Kromhout H., et al., 2007, « Urinary pesticide concentrations among children, mothers and fathers living in farm and non-farm households in Iowa », *Anals of occupational hygiene*, vol.51, num.1, 53-65.

Deziel N. C., Ward M. H., Bell E. M., Whitehead T. P., Gunier R. B., Friesen M. C., et al., 2013, « Temporal Variability of Pesticide Concentrations in Homes and Implications for Attenuation Bias in Epidemiologic Studies », *Environmental Health Perspectives*, vol.121, num.5, 565-571.

Fabbro-Peray P., Daures J.-P., Rossi J.-F., 2001, « Environmental Risk Factors for non-Hodgkin's Lymphoma: A Population-based Case–Control Study in Languedoc-Roussillon, France », *Cancer Causes and Control*, vol.12, num.3, 201-212.

Fortin M.-C., M. Bouchard, G. Carrier., 2009, « Comparaison de l'excrétion urinaire de biomarqueurs d'exposition aux pyréthrinoïdes et aux pyréthrines chez les résidents de régions urbaine et rurale de la Province de Québec, Canada », *revue*, vol.57, 395-401.

Gaffney S. H., Curriero F. C., Strickland P. T., Glass G. E., Helzlsouer K. J., Breysse P. N., 2005, « Influence of Geographic Location in Modeling Blood Pesticide Levels in a Community Surrounding a U.S. Environmental Protection Agency Superfund Site », *Environmental Health Perspectives*, vol.113, num.12, 1712-1716.

Gatignol C., Étienne J.-C., 2010, *Pesticide et santé*. Paris, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

Green Brody J., Aschengrau A., McKelvey W., Rudel R. A., Swartz C. H., Kennedy T., 2004, « Breast Cancer Risk and Historical Exposure to Pesticides from Wide-Area Applications Assessed with GIS », *Environmental Health Perspective*, vol.112, 889-897.

Green Brody J., Vorhees D., Cummins S., Swedis S. R., Drivas P. J., Rudel R. A., 2002, « Using GIS and historical records to reconstruct residential exposure to large-scale pesticide application. », *Journal of Exposure Analysis & Environmental Epidemiology*, vol.12, 17.

Gunier R. B., Ward M. H., Airola M., Bell E. M., Colt J., Nishioka M., et al., 2011, « Determinants of Agricultural Pesticide Concentrations in Carpet Dust », *Environmental Health Perspective*, vol.119, 970-976.

INRA-AgroParisTech., 2011, *Synthèse bibliographique sur la contribution de l'agriculture à l'emission de particules vers l'atmosphère: identification de facteurs d'emission*. ADEME-MEDDTL.

INSERM., 2013, *Pesticides. Les effets sur la santé*. Paris, INSERM.

InVS., 2006, *Exposition aérienne aux pesticides des populations à proximité de zones agricoles. Bilan et perspectives du programme régional intercire*. http://www.invs.sante.fr/publications/2006/exposition_pesticides/index.html

InVS., 2009, « Évaluation de l'exposition aérienne aux pesticides de la population générale Étude en air extérieur dans quatre sites de l'Hérault en 2006 », , 23.

InVS/Afsset., 2005, *Estimation de l'impact sanitaire d'une pollution environnementale et évaluation quantitative des risques sanitaires*. Paris, InVS/Afsset.

Jakubowski M., 2012, « Biological monitoring versus air monitoring strategies in assessing environmental–occupational exposure », *Journal of Environmental Monitoring*, vol.14, 348-352.

Koch D., Lu C., Fisker-Andersen J., Jolley L., Fenske R. A., 2002, « Temporal association of children's pesticide exposure and agricultural spraying: report of a longitudinal biological monitoring study. », *Environmental health perspectives*, vol.110, 829-833.

Kristoffersen P., Rask A. M., Grundy A. C., Franzen I., Kempenaar C., Raisio J., et al., 2008, « A review of pesticide policies and regulations for urban amenity areas in seven European countries », *Weed Research*, vol.48, num.3, 201–214.

Lee D., Shaddick G., 2010, « Spatial Modeling of Air Pollution in Studies of Its Short-Term Health Effects », *Biometrics*, vol.66, num.4, 1238-1246.

Leyk S., Binder C., Nuckols J. R., 2009, « Spatial modeling of personalized exposure dynamics: the case of pesticide use in small-scale agricultural production landscapes of the developing world », *International journal of health geographics*, 16.

Lu C., Fenske R. A., Simcox N. J., Kalman D., 2000, « Pesticide exposure of children in an agricultural community: evidence of household proximity to farmland and take home exposure pathways », *Environmental Research*, vol.84, num.3, 290–302.

Lu C., Kedan G., Fisker-Andersen J., Kissel J. C., Fenske R. A., 2004, « Multipathway organophosphorus pesticide exposures of preschool children living in agricultural and nonagricultural communities », *Environmental Research*, vol.96, 283-289.

Marusek J. C., Cockburn M. G., Mills P. K., Ritz B. R., 2006, « Control Selection and Pesticide Exposure Assessment Via GIS in Prostate Cancer Studies », *American Journal of Preventive Medicine*, vol.30, 109-116.

Menegaux F., Baruchel A., Bertrand Y., Lescoeur B., Leverger G., Nelken B., et al., 2006, « Household exposure to pesticides and risk of childhood acute leukaemia », *Occupational and Environmental Medicine*, vol.63, 131-134.

Muir K., Rattanamongkolgul S., Smallman-Raynor M., Thomas M., Downer S., Jenkinson C., 2004, « Breast cancer incidence and its possible spatial association with pesticide application in two counties of England », *Public Health*, vol.118, num.7, 513-520.

De Nazelle A., Seto E., Donaire-Gonzalez D., Mendez M., Matamala J., Nieuwenhuijsen M. J., et al., 2013, « Improving estimates of air pollution exposure through ubiquitous sensing technologies », *Environmental Pollution*, vol.176, 92-99.

Nuckols J. R., Gunier R. B., Riggs P., Miller R., Reynolds P., Ward M. H., 2007, « Linkage of the California Pesticide Use Reporting Database with Spatial Land Use Data for Exposure Assessment », *Environmental Health Perspective*, vol.115, 684-689.

Nuckols J. R., Riggs P. D., Gunier R. B., Rull R. P., Bell E. M., Nishioka M., et al., 2008, « Geographic-based prediction of agricultural pesticides in household carpet dust in the Central Valley of California », *Epidemiology*, vol.19, num.6, S320.

Obendorf S. K., Lemley A. T., Hedge A., Kline A. A., Tan K., Dokuchayeva T., 2006, « Distribution of pesticide residues within homes in central New York State », *Archives of environmental contamination and toxicology*, vol.50, num.1, 31–44.

Parrón T., Requena M., Hernández A., Alarcón R., 2011, « Association between environmental exposure to pesticides and neurodegenerative diseases », *Toxicology And Applied Pharmacology*, vol.256, 379-85.

Petit C., Chevrier C., Durand G., Monfort C., Rouget F., Garlantezec R., et al., 2010, « Impact on fetal growth of prenatal exposure to pesticides due to agricultural activities: a prospective cohort study in Brittany, France », *Environmental Health*, vol.9, 71.

Quirós-Alcalá L., Bradman A., Nishioka M., Harnly M. E., Hubbard A., McKone T. E., et al., 2011, « Pesticides in house dust from urban and farmworker households in California: an observational measurement study », *Environmental Health*, vol.10. http://web.ebscohost.com.rproxy.sc.univ-paris-diderot.fr/ehost/detail?sid=46e791c9-8e50-4bd3-b64a-8236766b124e%40sessionmgr11&vid=2&hid=7

Reynolds P., Von Behren J., Gunier R. B., Goldberg D. E., Harnly M., Hertz A., 2005, « Agricultural Pesticide Use and Childhood Cancer in California », *Epidemiology*, vol.16, num.1, 93-100.

Reynolds P., Von Behren J., Gunier R. B., Goldberg D. E., Hertz A., Harnly M. E., 2002, « Childhood cancer and agricultural pesticide use: an ecologic study in California. », *Environmental Health Perspectives*, vol.110, num.3, 319-324.

Reynolds P., Hurley S. E., Goldberg D. E., Yerabati S., Gunier R. B., Hertz A., et al., 2004, « Residential proximity to agricultural pesticide use and incidence of breast cancer in the California Teachers Study cohort », *Environmental Research*, vol.96, num.2, 206-218.

Rhona J., Levy J. I., Adamkiewicz G., Hauser R., Spengler J. D., Canales R. A., et al., 2008, « Pesticides in urban multiunit dwellings: hazard identification using classification and regression tree (CART) analysis », *Journal Of The Air & Waste Management Association (1995)*, vol.58, num.10, 1297-1302.

Ritz B., Costello S., 2006, « Geographic Model and Biomarker-Derived Measures of Pesticide Exposure and Parkinson's Disease », *Annals of the New York Academy of Science*, vol.1076, 378-387.

Roberts E. M., English P. B., Grether J. K., Windham G. C., Somberg L., Wolff C., 2007, « Maternal residence near agricultural pesticide applications and autism spectrum disorders among children in the California Central Valley », *Environmental Health Perspectives*, vol.115, num.10, 1482.

Royster M. O., Hilborn E. D., Barr D., Carty C. L., Rhoney S., Walsh D., 2002, « A pilot study of global positioning system/geographical information system measurement of residential proximity to agricultural fields and urinary organophosphate metabolite concentrations in toddlers », *Journal Of Exposure Analysis And Environmental Epidemiology*, vol.12, num.6, 433-440.

Rudant J., Menegaux F., Leverger G., Baruchel A., Nelken B., Bertrand Y., et al., 2007, « Household Exposure to Pesticides and Risk of Childhood Hematopoietic Malignancies: The ESCALE Study (SFCE) », *Environmental Health Perspective*, vol.115, 1787-1793.

Rull R. P., Ritz B., Shaw G. M., 2005, « Neural Tube Defects and Maternal Residential Proximity to Agricultural Pesticide Applications », *American Journal of Epidemiology*, vol.163, 743-753.

Scheyer A., Graeff C., Morville S., Mirabel P., Millet M., 2005, « Analysis of some organochlorine pesticides in an urban atmosphere (Strasbourg, east of France) », *Chemosphere*, vol.58, 1517-1524.

Scheyer A., Morville S., Mirabel P., Millet M., 2007, « Pesticides analysed in rainwater in Alsace region (Eastern France) : Comparison between urban and rural sites », *Atmospheric Environment*, vol.41, 7241-7252.

Setton E., Marshall J. D., Brauer M., Lundquist K. R., Hystad P., Keller P., et al., 2011, « The impact of daily mobility on exposure to traffic-related air pollution and health effect estimates », *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, vol.21, num.1, 42-48.

Thibaudier J.-M., Freulet J.-M., 2010, « Mesure de l'exposition par voie aérienne lors de l'épandage d'un insecticide organophosphoré en agriculture », *Archives des Maladies professionnels et de l'environnement*, vol.71, 167-170.

Tsai J., Kaye W. E., Bove F. J., 2006, « Wilms' tumor and exposures to residential and occupational hazardous chemicals », *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol.209, 57-64.

Ucar T., Hall F. R., 2001, « Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: a review », *Pest management Science*, vol.57, 663-675.

Valcke M., Samuel O., Bouchard M., Dumas P., Belleville D., Tremblay C., 2006, « Biological monitoring of exposure to organophosphate pesticides in children living in peri-urban areas of the Province of Quebec, Canada », *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol.79, 568-577.

Walker K., Carozza S., Cooper S., Elgethun K., 2007, « Childhood cancer in Texas counties with moderate to intense agricultural activity. », *Journal of agricultural safety and health*, vol.13, num.1, 9 -24.

Ward M. H., Lubin J., Giglierano J., Colt J. S., Wolter C., Bekiroglu N., et al., 2006, « Proximity to crops and residential exposure to agricultural herbicides in iowa », *Environmental Health Perspectives*, vol.114, num.6, 893-897.

Warren J., Fuentes M., Herring A., Langlois P., 2012, « Spatial-Temporal Modeling of the Association between Air Pollution Exposure and Preterm Birth: Identifying Critical Windows of Exposure », *Biometrics*, vol.68, num.4, 1157-1167.

Xiang H., Nuckols J. R., Stallones L., 2000, « A Geographic Information Assessment of Birth Weight and Crop Production Patterns around Mother's Residence », *Environmental Research*, vol.82, 160-167.

Xu X., Dailey, Amy B., Talbott, Evelyn O., Ilacqua, Vito A., Kearney, Greg, Asal, Nabih R., 2010, « Associations of Serum Concentrations of Organochlorine Pesticides with Breast Cancer and Prostate Cancer in U.S. Adults. », *Environmental Health Perspective*, vol.118, 60-66.

Yesavage J. A., Sheikh J., Noda A., Murphy G., O'Hara R., Hierholzer R., et al., 2006, « Spatial test for agricultural pesticide "blow-in" effect on prevalence of Parkinson's disease », *Journal Of Geriatric Psychiatry And Neurology*, vol.19, num.1, 32-35.

Zumbado M., Muriel Goethals, Eva E. Álvarez-León, Octavio P. Luzardo, Félix Cabrera, Lluis Serra-Majem, et al., 2005, « Inadvertent exposure to organochlorine pesticides DDT and derivatives in people from the Canary Islands (Spain) », *Science of The Total Environment*, vol.339, 49-62.

ANNEXES

Annexe 1. Méthode de recherche bibliographique

Dans cet article, la question de l'exposition aux pesticides de l'air en population générale est interrogée à travers une revue bibliographique portant sur un corpus d'articles publiés dans des revues à comité de lecture. Différents bouquets de revues tels que « *EBSCOhost* » (quinze bases dont Medline, Francis, Pascal), « *Elsevier ScienceDirect* » (Scopus), « *Springer* » et « *Directory of Open Access Journal »,* ont été interrogés. Ces bases constituent la principale source de nos recherches, mais ont été complétées par des recherches sur « *Google Scholar* » et « *Cairn* ». Les articles ont été identifiés à partir d'une association, dans le titre, le résumé et/ou les mots-clés, entre le mot « Pesticides » et les mots-clés suivants: « Air », « Atmosphere/Atmosphère », « GIS/SIG » (systèmes d'information géographique), « Spatial », « Geographic/Géographique », « Exposure/Exposition », « Health /Santé », « Risk/Risque », « Agri* », « Rural », «Urban*/Urbain* ». Nous avons ensuite sélectionné les articles rédigés en français ou en anglais et portant sur les pays occidentaux. La majorité des articles retenus a été publiée après 2005 et seuls quelques articles incontournables plus anciens ont été intégrés, notamment lorsqu'ils étaient très fréquemment cités.

Les articles traitant de l'exposition à des pesticides présents dans les autres compartiments de l'environnement tels que l'eau, les sols et l'alimentation et les expositions professionnelles ont été exclus en raison de l'orientation exclusive de notre revue sur l'exposition aux pesticides de l'air.

Cet ensemble de critères de sélection a permis de relever 250 références, parmi lesquelles 123 articles scientifiques, soit 40 % des références (figure 2). 127 articles ont été écartés pour diverses raisons, très souvent parce qu'ils ciblaient des expositions professionnelles. Près de 40 % de l'ensemble des 123 articles proviennent d'études conduites aux Etats-Unis (dont une majorité en Californie), près de 30 % en France, 6 % en Angleterre, 5 % en Italie, 5 % au Canada et le reste en Europe (Danemark, Belgique, Espagne) et en Australie. Dans cet ensemble, les 58 articles utilisés pour la revue bibliographique de l'article « Comment évaluer l'exposition aux pesticides de l'air ? » permettent de témoigner de la diversité des méthodes mobilisées pour évaluer l'exposition aux pesticides dans l'air. Nombre d'entre eux sont publiés dans les revues « Environmental Health Perspective », « International Journal of Health Geographics », « Journal of Exposure Analysis & Environmental Epidemiology ».

Figure 2 : Références retenues pour la revue bibliographique globale par thème

NOTES

1. « *Le terme "pesticides" est une appellation générique pour les substances ou produits qui éliminent des organismes considérés comme nuisibles ; il comprend les produits phytopharmaceutiques (pour la protection des végétaux), les biocides (pour la conservation du bois, la désinfection ou la lutte antiparasitaire) et certains médicaments à usage vétérinaire et humain, en particulier pour lutter contre les ectoparasites.* » (InVS 2013).

2. ORP, Observatoire des résidus de pesticides, www.observatoire-pesticides.gouv.fr/index.php?pageid=470

3. Pour les activités professionnelles des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle sont répertoriées et fixées sous forme réglementaire indicative ou contraignante (cf. Guide ED 984 de l' Institut National de Recherche et de Sécurité, INRS, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, Aide-mémoire technique, juillet 2012). www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20984

4. La méthode de recherche bibliographique est présentée en annexe 1.

5. La recherche a été conduite entre juin 2012 et juin 2013, dans le cadre d'un financement par la région Rhône-Alpes - EnviteRA dans un appel à projet sur la thématique « Air et pesticides ». Les enseignements de la revue bibliographique pour ce qui est de la diffusion des pesticides dans l'air, d'une part, et de la relation entre l'exposition aux pesticides de l'air et la santé, d'autre part, sont consignés dans deux autres articles, en cours de rédaction.

6. La plupart des substances actives ont une demi-vie d'élimination relativement courte (quelques heures ou quelques jours), et les dosages doivent donc être effectués peu de temps après l'exposition. Par exemple, la mesure d'une substance (ou de son métabolite) à demi-vie

courte excrétée par les urines sera représentative de l'exposition si elle est effectuée en fin d'une période d'exposition à la substance considérée.

7. Distance choisie sur la base des résultats d'études de dispersion qui, selon les auteurs, concluent que c'est la distance à l'intérieur de laquelle une exposition significative est observée. Soulignons cependant, qu'il n'y a pas de consensus permettant d'identifier une distance au-delà de laquelle aucune exposition n'est observée. Un mile correspond à environ 1 609 mètres.

8. Considéré comme très polluant par l'agence américaine de protection de l'environnement (U.S. Environmental Protection Agency)

9. Insecticide de la famille des hydrocarbures chlorés.

10. Biphényles polychlorés (PBC) et dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE).

11. Agents neurotoxiques composant des insecticides pouvant exercer une intoxication aiguë en agissant par inhibition ou activation de l'acétylcholinestérase dans les cellules nerveuses.

12. Les pyréthrinoïdes forment une famille d'insecticides très utilisés en agriculture et dont certaines substances actives, telle que la perméthrine, sont aussi utilisées en contexte domestique (traitement de poux et de la gale).

13. Insecticide organochloré interdit à l'usage agricole en France depuis 1998 et dans le monde depuis 2009.

14. Rémanence : persistance d'un composé ou d'une molécule organique dans un sol. Les substances peuvent ensuite être remobilisées dans l'air.

15. "*Les premières mesures réalisées par les associations de surveillance de la qualité de l'air sur le territoire national ont ainsi eu lieu en 2000 dans le but d'établir les premiers états des lieux des pesticides dans l'atmosphère en région Rhône-Alpes" (p.5).* Une grande campagne de mesure des pesticides dans l'air a été conduite à partir de 2007 (Coparly *et al. 2010)*

16. Un immeuble protégé est un bâti situé en périmètre d'urbanisation, terrains sportifs récréatifs et parcs, plages publiques.

RÉSUMÉS

Cet article présente les méthodes mises en œuvre pour évaluer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale. Il repose sur une revue bibliographique conduite à partir d'articles portant sur l'exposition environnementale en Amérique du Nord, Europe et Australie et parus dans des revues médicales et de sciences humaines. Dans un premier temps, les méthodes d'évaluation directe (présence des pesticides dans l'air, dans les poussières intérieures des résidences ou dans les matrices biologiques) et indirecte (estimations élaborées à partir des quantités de surfaces agricoles, des types de cultures, des quantités de pesticides utilisées, de l'autodéclaration) sont analysées. Ces deux types de méthodes sont principalement tournés vers une évaluation de l'exposition au lieu de résidence. Dans un deuxième temps, est présentée la manière dont les auteurs des articles expliquent la variabilité spatiale des pesticides présents dans le compartiment aérien. Deux modes d'explication prédominent : la variation de l'exposition est fonction de la distance aux lieux d'épandage et la variation est fonction du contexte de résidence (rural, périurbain, urbain). Dans un troisième temps, sont discutées les limites de ces méthodes d'évaluation de l'exposition : leurs résultats sont difficilement comparables car les auteurs mobilisent des méthodologies très diverses ; les espaces urbains ne

sont quasiment jamais inclus dans les études et la mobilité de la population résidente, à court ou long terme, est rarement prise en compte.

This paper presents the methodologies used to assess environmental exposure to air pesticides. It relies on a literature review conducted on the basis of articles published in epidemiology and human science journals, concerning environmental exposure in North America, Europe and Australia.

The first part of the paper presents direct assessment methods (pesticides concentrations in air, house dust or biological matrices) and indirect methods (estimates indicators based on agricultural land-use, type of crops, applied pesticide and auto-declaration of pesticide use). These two types of methods are mainly oriented towards an assessment of exposure at place of residence. Secondly the explanations of the spatial variability of pesticide exposure are discussed. Two modes of explanation are put forward : the variation is a function of the distance to the application site; the variation depends on the residential context (rural, peri-urban and urban). Finally, the limits of the exposure assessment methods are exposed : the results are difficult to compare as the authors use a wide range of methodologies. Besides, urban areas are almost never included in the studies and the mobility of the resident population on the short or long term is rarely taken into account.

INDEX

Mots-clés : pesticide, pollution, population, exposition, spatial, environnement, revue
Keywords : pesticide, pollution, population, exposure, spatial, environment, review

AUTEURS

CHRISTINA ASCHAN-LEYGONIE

UMR 5600 - Environnement, Ville, Société, Université Lumière Lyon 2
christina.aschan@univ-lyon2.fr

SOPHIE BAUDET-MICHEL

UMR 8504 - Géographie-cités, Université Paris Diderot
sophie.baudet-michel@univ-paris-diderot.fr

CYRILLE HARPET

Enseignant-chercheur à l'EHESP (Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique de Rennes), département Santé Environnement Travail et Génie Sanitaire, chercheur associé UMR 5600 Environnement Ville Société.
Cyrille.Harpet@ehesp.fr

MARIE AUGENDRE

UMR 5600 - Environnement, Ville, Société, Université Lumière Lyon 2
marie.augendre@univ-lyon2.fr

ÉMILIE LAVIE

UMR 8586 - PRODIG, Université Paris Diderot
emilie.lavie@univ-paris-diderot.fr

ETIENNE GRÉSILLON

UMR 7533 - LADYSS, Université Paris Diderot
etienne.gresillon@univ-paris-diderot.fr

MORGANE HECHINGER

Département d'information médicale (DIM) du CH le Vinatier
morgane.hechinger@gmail.com