

Santé travail

Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux pesticides arsenicaux

Matrice cultures-expositions aux pesticides arsenicaux

Johan Spinosi, Joëlle Févotte, Gaëlle Vial

Sommaire

1. Définitions	2
2. La matrice cultures-expositions	3
2.1 Définition de la nuisance évaluée	3
2.2 Indicateurs de l'évaluation de l'exposition	3
2.3 Historique des pratiques	3
3. Les dérivés arsenicaux en agriculture	5
3.1 Principaux composés minéraux arsenicaux utilisés en agriculture	5
3.2 Effets sur la santé des dérivés arsenicaux	5
3.3 Historique de l'utilisation des dérivés arsenicaux en agriculture	5
3.3.1 Utilisation des pesticides arsenicaux sur la pomme de terre	6
3.3.2 Utilisation des pesticides arsenicaux sur la vigne	7
3.3.3 Utilisation des pesticides arsenicaux sur les arbres fruitiers	8
4. Applications de la matrice	10
4.1 Application des matrices à des groupes d'individus pour lesquels des informations sur les exploitations ont été obtenues	10
4.2 Application des matrices à des échantillons de population dont on ne connaît que l'intitulé d'emploi agricole et la localisation	11
4.3 Application des matrices aux données agricoles décrivant la répartition des cultures sur une région	13
4.4 Conclusion	14
Références bibliographiques	15
Annexe 1 : Tableau des maladies professionnelles du régime agricole concerné par l'exposition aux dérivés arsenicaux	16
Annexe 2 : Tableaux des maladies professionnelles du régime général concerné par l'exposition aux dérivés arsenicaux	18

Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux pesticides arsenicaux

Matrice cultures-expositions aux pesticides arsenicaux

Ce document a été rédigé par :

Johan Spinosi, Umrestte/Département santé travail, InVS

Joëlle Févotte, Umrestte/Département santé travail, InVS

Gaëlle Vial, Umrestte*

Umrestte : Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance transport, travail, environnement

* Ce travail a bénéficié du soutien de l'Arc dans le cadre du pôle Areca "épidémiologie des cancers professionnels".

Remerciements

Ce rapport n'aurait pu aboutir sans la rencontre de nombreux acteurs de la santé et de la profession agricole en général et notamment de l'Association de coordination technique agricole (Acta), de la Mutualité sociale agricole (MSA), de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), des Instituts techniques agricoles (ITA), des Chambres d'agriculture et des Services régionaux de la protection des végétaux (SRPV).

Doivent être particulièrement remerciés :

Alexis Elbaz, neuro-épidémiologiste, Inserm U708 et DST-InVS

Frédéric Moisan, ingénieur agronome et épidémiologiste, Inserm U708

Philippe Larignon, chef de projet maladies du bois, Institut Français de la vigne et du vin – Station Rhône-Méditerranée

Caroline Le Roux et Joël Carsouille, conseillers viticoles, Chambre d'agriculture du Rhône – Comité de développement du Beaujolais

Bernard Delemotte, ancien médecin chef de l'échelon national de médecine du travail, Direction de la protection sociale de la Mutualité sociale agricole

1. Définitions

L'élément arsenic est largement réparti dans la croûte terrestre et est retrouvé sous forme inorganique et à l'état de traces dans les roches, le sol, les sédiments, l'eau et l'air. Les trois principaux minerais contenant de l'arsenic sont les minerais d'or (arséniures d'or), de fer (mispickel) et de cuivre (arséniures de cuivre). Les teneurs les plus élevées en arsenic sont toutefois constatées dans le réalgar (ou bisulfure) et l'orpiment. En France, dans la mine d'or (pyrites aurifères) de Salsigne (Aude), des quantités relativement importantes d'arsenic ont été extraites [1].

L'arsenic se rencontre naturellement en association avec d'autres éléments chimiques tels que l'oxygène, le chlore ou le soufre. Les composés inorganiques de l'arsenic existent principalement sous les degrés d'oxydation +III (arsénite de sodium, de cuivre...) et +V (arséniate de plomb, de calcium...). Ils ont une activité insecticide et fongicide reconnue. Ils peuvent également être utilisés pour lutter contre les rongeurs (raticide), pour la conservation du bois (sels CCA : cuivre, chrome, arsenic) et aussi comme défoliant (du coton).

L'arsenic existe aussi sous forme organique, c'est-à-dire en association avec du carbone et de l'hydrogène. Ces composés organiques sont obtenus par synthèse chimique. Certains sont utilisés comme additifs pour l'alimentation animale (porcs, volailles...). Leur utilisation en France est interdite depuis 1959 [2].

L'arsenic est également présent dans de nombreuses activités industrielles, comme par exemple l'électronique ou la métallurgie.

Ce document est exclusivement consacré aux dérivés arsenicaux utilisés comme produits phytosanitaires, c'est-à-dire pour la protection des végétaux. Nous ne traiterons donc pas des usages industriels de l'arsenic, ni de son utilisation en tant qu'additifs alimentaires.

2. La matrice cultures-expositions

Nous invitons le lecteur à consulter le rapport "Le programme Matphyto - Matrices cultures-expositions aux produits phytosanitaires" pour une présentation générale des matrices cultures-expositions [3].

2.1 DÉFINITION DE LA NUISANCE ÉVALUÉE

Les trois cultures faisant l'objet d'une utilisation significative des composés arsenicaux sont : la culture de pomme de terre, l'arboriculture et la viticulture.

L'arsénite de cuivre a été utilisé comme insecticide pour lutter contre les doryphores, ravageurs de la pomme de terre. Son utilisation ancienne (dès 1865 aux Etats-Unis) a été supplantée (au moins après la seconde guerre mondiale) par l'arséniate de plomb et l'arséniate de calcium (ou de chaux).

L'arséniate de plomb, dont les propriétés insecticides sont reconnues, a été le principal dérivé arsenical utilisé en arboriculture (du début du XX^e siècle à 1973) pour la lutte contre les insectes tels que le carpocapse des pommes, des poires et des noix ou les chenilles défoliatrices de nombreux arbres fruitiers.

Enfin, l'arsénite de sodium (ou de soude) a été utilisé comme insecticide, puis comme fongicide, en viticulture. La lutte insecticide en traitement d'hiver contre l'altise, la pyrale ou encore les tordeuses de la grappe a démontré indirectement les propriétés antifongiques de l'arsénite de sodium (contre l'esca et l'excoriose). En traitement d'été, les arsénates ont aussi été utilisés comme insecticides (contre les vers de la grappe) mais ont été rapidement remplacés par des composés chimiques de synthèse (DDT...) plus efficaces. L'utilisation des dérivés arsenicaux sur la vigne date de la fin du XIX^e siècle et fut totalement interdite en 2001.

On note également une utilisation anecdotique de ces dérivés arsenicaux pour d'autres cultures (betteraves et oliviers par exemple). La version Matphyto des pesticides arsenicaux se déclinera donc en trois tableaux : cultures de la pomme de terre, de la vigne, et des arbres fruitiers.

L'évaluation des expositions décrites dans les matrices concerne l'ensemble des dérivés arsenicaux inorganiques utilisés pour ces trois cultures. Selon le type de culture, les principaux dérivés arsenicaux sont : l'arséniate de plomb, l'arséniate de calcium et l'arsénite de soude.

2.2 INDICATEURS DE L'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

Trois indices permettent d'évaluer l'exposition à l'arsenic.

Probabilité d'utilisation

Elle correspond à la proportion annuelle des unités de production (les exploitations) ayant eu recours aux produits phytosanitaires à base d'arsenic, au cours d'une période historique déterminée. Il s'agit d'indiquer dans quelle proportion les exploitations ont pu utiliser des composés arsenicaux pour la culture considérée.

Intensité d'utilisation

L'intensité d'utilisation indique une quantité moyenne de produits appliquée à l'hectare (en un seul traitement). Cette information permet d'évaluer les quantités appliquées à chaque traitement par les utilisateurs de pesticides. Il s'agit d'une moyenne, exprimée en grammes d'arsenic par hectare.

Fréquence d'utilisation

La fréquence d'utilisation est une information permettant de caractériser le nombre moyen de traitements effectués chaque année sur la culture considérée. Comme pour la probabilité, la fréquence est une donnée moyenne qui lisse un ensemble de pratiques individuelles. Il s'agit bien d'évaluer le nombre moyen de traitements effectués sur les parcelles et non pas le nombre de traitements effectués par l'individu : la fréquence est appliquée aux surfaces.

Tous les indices cités ont été évalués de façon globale. Des variations parfois importantes pouvant intervenir en fonction de la technicité des exploitations, du matériel utilisé ou bien encore des différences dans les recommandations (avec des doses d'utilisation variables) ont été intégrées dans des indices moyennés.

2.3 HISTORIQUE DES PRATIQUES

Etant donné les variations de l'utilisation des pesticides arsenicaux au cours du temps, il a été nécessaire de l'évaluer selon des périodes historiques, prenant en compte les évolutions à la fois réglementaires et techniques.

Nous avons ainsi établi cinq grandes périodes d'utilisation.

- **1945-1955** : bien que l'emploi des pesticides arsenicaux ait commencé depuis longtemps (début du XX^e siècle), dans la mesure où les matrices sont appliquées à des populations qui peuvent avoir débuté leur premier emploi après la seconde guerre mondiale, les matrices Matphyto débutent en 1945. Les dix années suivantes ont été marquées par les prémices du développement de molécules phytosanitaires de synthèse (comme les organochlorés) qui entraîneront des changements dans les pratiques, en particulier dans le choix des produits à utiliser (et notamment le DDT).

- **1956-1965** : durant cette période, l'apparition de nouvelles familles chimiques comme les organophosphorés mais aussi les carbamates a sensiblement modifié les stratégies de protection phytosanitaire. Les produits disponibles sont plus nombreux, les utilisateurs peuvent choisir parmi un ensemble de familles chimiques variées.
- **1966-1973** : cette période correspond à une phase de mutation de l'agriculture française. On assiste au passage d'une agriculture dite familiale à une agriculture "productiviste". L'utilisation de produits phytosanitaires augmente car il est de plus en plus important de lutter contre les dégâts causés par les ravageurs, les pertes dues aux maladies du bois, etc. C'est particulièrement le cas pour la vigne et dans la lutte contre l'esca, l'arsénite de sodium étant le seul produit efficace. Pour les autres cultures en revanche, l'arrivée continue de nouvelles molécules de synthèse accentue la baisse de l'utilisation de produits à base d'arsenic. En 1973, l'emploi en France de composés arsenicaux est interdit en agriculture, seule l'utilisation de l'arsénite de sodium reste autorisée en viticulture [4].
- **1974-1985** : au milieu des années 1980, la diversification des fongicides, notamment les dithiocarbamates, entraîne une concurrence accrue avec l'arsénite de sodium (sauf en ce qui concerne l'esca).
- **1986-2001** : suite à un avis paru au Journal officiel en novembre 2001 [5], l'arsénite de sodium, dernier dérivé arsenical autorisé en viticulture est retiré du marché et son emploi interdit.

3. Les dérivés arsenicaux en agriculture

3.1 PRINCIPAUX COMPOSÉS MINÉRAUX ARSENIQUES UTILISÉS EN AGRICULTURE

Tous les composés inorganiques de l'arsenic ne sont pas utilisés pour un usage agricole.

Sont listés ci-après les principaux composés minéraux utilisés en agriculture [6].

TABLEAU 1				
Nom chimique Numéro CAS	Formule	Valence de l'arsenic	Solubilité	Principales utilisations en agriculture
Anhydride arsénieux 1327-53-3	As ₂ O ₃	Trivalent	Très peu soluble dans l'eau	Raticide
Arsénite de cuivre 10290-12-7	CuHAsO ₃	Trivalent	Insoluble dans l'eau, soluble dans les acides et l'ammoniaque	Insecticide
Arséniate de plomb 7784-40-9	PbHAsO ₄	Pentavalent	De très peu soluble à insoluble dans l'eau	Insecticide
Arséniate de calcium 7778-44-1	Ca ₃ (AsO ₄) ₂	Pentavalent	Peu soluble dans l'eau, soluble dans les acides dilués	Insecticide
Arséniate de sodium 7631-89-2	AsO ₄ Na ₂ H	Pentavalent	Soluble dans l'eau	Préparation d'appâts empoisonnés
Arsénite de sodium 7784-46-5	NaAsO ₂	Trivalent	Très soluble dans l'eau, légèrement soluble dans l'éthanol	Insecticide et fongicide

3.2 EFFETS SUR LA SANTÉ DES DÉRIVÉS ARSENIQUES

L'arsenic intervient sur l'organisme humain en modifiant de nombreux systèmes enzymatiques et en perturbant la synthèse de certaines protéines ou nucléoprotéines. L'intensité des troubles est variable en fonction du composé incriminé, de sa nature et de la dose. La toxicité des composés trivalents de l'arsenic est considérée comme supérieure à celle des pentavalents [7].

L'arsenic inorganique est un cancérigène reconnu pour l'homme par le Centre international de recherche sur le cancer [8] (classé en groupe 1), par l'Union Européenne [9] (classé en catégorie 1) et par l'US-EPA [10] (classé en groupe A). Des études [11] chez l'homme ont ainsi montré une augmentation de la mortalité par cancer (peau, foie, poumon), après une exposition chronique à l'arsenic inorganique. Cette exposition peut également être à l'origine de problèmes cutanés (l'hyperkératose et l'hyperpigmentation présentent des caractéristiques cliniques spécifiques d'une exposition à l'arsenic inorganique), d'effets hématologiques (anémie, leucopénie), d'atteintes du système nerveux périphérique, d'effets hépatiques et de troubles vasculaires.

Les expositions aux dérivés arsenicaux font l'objet de tableaux de maladies professionnelles pour le régime agricole et pour le régime général (cf. annexes) :

Régime agricole

- Tableau n°10 RA : affections provoquées par l'arsenic et ses composés minéraux.

Régime général

- Tableau n°20 RG : affections professionnelles provoquées par l'arsenic et ses composés minéraux.
- Tableau n°20 bis RG : cancer bronchique primitif provoqué par l'inhalation de poussières ou de vapeurs arsenicales.
- Tableau n°20 ter RG : cancer bronchique primitif provoqué par l'inhalation de poussières ou de vapeurs renfermant des arsenopyrites aurifères.
- Tableau n°21 RG : intoxication professionnelle par l'hydrogène arsénié.

En ce qui concerne les expositions aux pesticides arsenicaux, seuls sont concernés les tableaux n°10 (RA), n°20 et n°20 bis (RG).

3.3 HISTORIQUE DE L'UTILISATION DES DÉRIVÉS ARSENIQUES EN AGRICULTURE

Trois grandes cultures sont concernées par l'utilisation de produits arsenicaux inorganiques dans un but de protection phytosanitaire. Il s'agit de la culture de la pomme de terre, de la viticulture et de l'arboriculture. Chacune d'elles présente des spécificités quant à l'usage de ces produits : type de produit, ravageurs ciblés, nombre de traitements... La description technique des expositions est donc effectuée séparément pour ces trois types de culture.

3.3.1 Utilisation des pesticides arsenicaux sur la pomme de terre

L'utilisation des arsenicaux sur la culture de pomme de terre vise à la protéger contre le doryphore, coléoptère dont la forme adulte et surtout la larve sont particulièrement néfastes aux feuilles et aux tiges de pomme de terre.

Avant 1945

Cet insecte est identifié pour la première fois dans l'ouest américain en 1824. En France, sa présence est constatée pour la première fois en Gironde en 1922. Il se propage ensuite dans l'ensemble des régions françaises. Les services chargés de la protection des végétaux encouragent pendant l'Entre-deux-guerres, les traitements arsenicaux comme insecticide dans la lutte contre le doryphore. L'efficacité prouvée de ces produits dans la lutte contre cet insecte et les aides financières de l'Etat pour leur achat (dans les départements nouvellement envahis) contribuent à la généralisation des traitements arsenicaux et à leur intégration dans les pratiques des agriculteurs [12]. L'utilisation des arsenicaux sous forme de bouillies, en pulvérisation, en poudrage ou encore en badigeonnage, prend alors de plus en plus d'importance dans la lutte phytosanitaire. Ce sont principalement les arsenicaux insolubles qui sont utilisés : arséniate de plomb, arséniate de calcium... Les dérivés de l'arsenic sont très efficaces contre les larves du doryphore : ils les détruisent rapidement et ont une action protectrice prolongée pendant 15 à 20 jours [13]. Cependant ils n'ont aucune activité sur les doryphores adultes. L'usage moyen consiste en deux traitements annuels avec une dose moyenne de 1 000 grammes d'arsenic par hectare et par traitement. Ce mode de traitement n'a pratiquement pas évolué au cours du temps sur les périodes considérées.

Entre 1945 et 1955

L'utilisation de dérivés arsenicaux dans la lutte contre le doryphore est probablement maximale avant et pendant la seconde guerre mondiale. Ensuite, l'emploi de ces composés en agriculture diminue d'une part avec l'arrivée des insecticides de synthèse (organochlorés) et d'autre part avec la baisse de la pression parasitaire du doryphore.

Cependant, les arsenicaux restent largement employés. Depuis le début du XX^e siècle, il était courant de réduire les populations de doryphores grâce à l'utilisation de substances arsenicales. D'autres produits peuvent

remplacer les dérivés arsenicaux mais le prix de revient d'un traitement à l'arséniate de chaux (par exemple) reste beaucoup moins élevé que celui d'un traitement au DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane), à l'HCH (hexachlorocyclohexane) ou au lindane (isomère gamma de l'HCH), contribuant ainsi à maintenir l'usage des pesticides arsenicaux pour lutter contre le doryphore.

La destruction des doryphores apparaît comme une pratique courante des producteurs de pommes de terre sauf si, certaines années, les conditions climatiques n'en favorisent pas le développement massif. On assiste progressivement (plus ou moins rapidement selon les régions) à une augmentation de l'utilisation des organochlorés dans la lutte chimique contre le doryphore. Le DDT est le principal composé organochloré à être utilisé. L'utilisation de l'HCH ne se développe pas vraiment à cause de problèmes d'odeur et de goût communiqués aux tubercules par ce composé.

Entre 1956 et 1973

Au début des années 1960, les principales molécules utilisées pour lutter contre le doryphore sont donc les arsénates, le DDT et le lindane. D'autres organochlorés d'utilisation secondaire sont également à disposition des agriculteurs, en particulier la dieldrine, le chlordane et le toxaphène. On estime qu'annuellement 30 % des exploitations traitent leurs pommes de terre avec des produits à base d'arséniate entre 1956 et 1965.

L'augmentation progressive de la résistance des doryphores aux organochlorés contraint les agriculteurs à modifier leurs pratiques, l'augmentation des doses d'organochlorés répandues ne permettant pas de contourner le problème. Les cultivateurs se tournent alors vers de nouveaux produits organophosphorés, comme l'azinphos, ou les carbamates, comme le carbaryl. Les arsénates se maintiennent toutefois en tant que produits efficaces pour la lutte contre le doryphore : 25 % des exploitations en font usage chaque année entre 1966 et 1973.

Après 1973

Par arrêté du 24 mai 1973 [4], l'utilisation de l'arséniate de plomb et de l'arséniate de chaux est interdite et tous les produits à base d'arséniate sont retirés du marché. Il n'y a donc plus d'utilisation de pesticides arsenicaux sur les pommes de terre.

TABLEAU 2		MATRICE POMME DE TERRE-PESTICIDES ARSENICAUX	
Périodes	Probabilité d'utilisation	Intensité : dose par traitement (g As/ha)	Fréquence : nombre de traitements/an
1945-1955	50 %	1 000	2
1956-1965	30 %	1 000	2
1966-1973	25 %	1 000	2

3.3.2 Utilisation des pesticides arsenicaux sur la vigne

Dès la fin du XIX^e siècle, les arsenicaux sont utilisés comme insecticides en viticulture. Au début du XX^e siècle, cet emploi s'est généralisé, les arsenicaux faisant partie des rares produits chimiques utilisés contre divers ennemis de la vigne : altise, pyrale (papillon dont les chenilles sont nuisibles), cigarier, tordeuses de la grappe ainsi que divers champignons du bois (action fongicide de l'arsénite de sodium).

Traitements d'hiver

Le principal dérivé de l'arsenic utilisé en traitement d'hiver en viticulture est l'arsénite de soude qui est utilisé à la fois comme insecticide (contre la pyrale) et comme fongicide (contre l'esca).

Lutte contre les insectes

Contre la pyrale, diverses luttes physiques et quelques luttes chimiques sont utilisées dès la fin du XIX^e siècle. Parmi ces dernières, seul l'emploi de l'arsénite de sodium connaît un grand succès. Le traitement insecticide d'hiver à l'arsénite de sodium permet de détruire les larves de pyrale situées sous l'écorce des cepes.

Entre 1945 et 1955, on estime que 15 % des exploitations viticoles traitent contre la pyrale avec de l'arsénite de sodium à une dose moyenne de 1 000 grammes d'arsenic par hectare. Dès l'après-guerre, l'arrivée des organochlorés, comme le DDT, puis au milieu des années 1950 des organophosphorés, comme le parathion, modifient rapidement les habitudes des viticulteurs, la lutte contre la pyrale s'effectuant dès lors au printemps avec ces nouveaux produits. A partir des années 1950, la lutte contre la pyrale s'effectue donc principalement par application d'insecticides de synthèse au printemps. Les probabilités moyennes sont de 10 % pour la période 1955 à 1965 et de 5 % de 1966 à 1973.

Lutte contre les champignons

L'esca est une maladie cryptogamique du bois qui sévit dans la majorité des vignobles du monde. Elle est décrite dans sa forme apoplectique et attribuée à un champignon dès la fin du XIX^e siècle. Le terme esca est introduit en 1922 par Viala pour désigner les cepes atteints et caractérisés par une pourriture blanche dans le bois. Entre 1923 et 1926, d'autres formes d'expression d'esca sont décrites qui correspondent en fait à d'autres maladies que sont l'eutypiose et le Black Dead Arm (BDA). Au début du XX^e siècle, on observe que l'arsénite de sodium, utilisé comme insecticide contre la pyrale de la vigne, a également une activité fongicide et permet de maîtriser l'esca. La découverte de l'efficacité de l'arsénite de sodium contre l'esca a pour conséquence, dès les années 1920, l'arrêt des recherches sur cette maladie pendant presque un demi-siècle en Europe. C'est peut-être ce qui explique l'absence de produits de substitution efficaces à l'arsénite aujourd'hui. Depuis sa découverte, le principe de la lutte chimique contre l'esca n'a pratiquement pas évolué : deux traitements tous les 3 ans avec une dose de 5 000 grammes d'arsenic par hectare et par traitement. On estime à 10 % la probabilité d'utilisation de l'arsénite de sodium pour lutter contre l'esca entre 1945 et 1955 et à 15 % entre 1956 et 1965.

Les pulvérisations d'arsénite de sodium contre l'esca se généralisent principalement au début des années 1970. Ce type de traitement est connu depuis longtemps mais les viticulteurs s'inquiètent surtout des maladies d'été comme le mildiou et sont souvent moins familiarisés avec les maladies du bois, comme l'esca, considérées comme secondaires. Les changements de mentalités (volonté de ne pas perdre de cepes) et des modifications dans les pratiques (sélection clonale de plants plus sensibles, évolution des techniques de taille entraînant des plaies plus importantes, programme de lutte fongicide différent...) ont pu jouer un rôle dans l'augmentation du développement de la maladie et la nécessité de luttes plus systématiques dans les décennies 70 et 80.

Contre l'excoriose, autre maladie du bois due à un champignon, l'efficacité de l'arsénite de soude est mise en évidence en 1953 par le Service régional de protection des végétaux (SRPV) de Bordeaux. En théorie, la période de traitement est un peu plus tardive que celle de l'esca. En pratique les viticulteurs réalisent un seul et même traitement contre les deux maladies. Le traitement préconisé consiste en un passage d'arsénite de sodium par an à raison de 3 000 grammes d'arsenic par hectare en moyenne (de 2 500 à 3 150 grammes). La découverte de l'efficacité des dithiocarbamates, en particulier du mancozèbe, au début des années 1970 modifie les pratiques de lutte phytosanitaire des viticulteurs contre l'excoriose.

Contre ces deux maladies, on estime que 20 % des viticulteurs utilisent de l'arsénite de sodium entre 1966 et 1985 et 25 % entre 1986 et 2001. L'arsénite de sodium est le seul produit utilisé dans la lutte contre l'esca jusqu'à son interdiction en 2001 [5].

Traitements d'été

Les principaux dérivés de l'arsenic utilisés comme insecticide d'été sont les arséniates (principalement de plomb). Ils sont efficaces contre différents ennemis de la vigne, mais les applications phytosanitaires sont principalement dirigées contre les tordeuses de la grappe (appelées également vers de la grappe) qui causent les plus gros dégâts et peuvent détruire du quart à la totalité de la récolte.

Les arséniates sont particulièrement utilisés avant et pendant la deuxième guerre mondiale. Leur consommation en viticulture diminue dès 1945. En effet, l'arrivée des insecticides de synthèse, organochlorés et organophosphorés, plus efficaces, la révélation de nombreuses intoxications aux arséniates et, dans certaines régions, la baisse de la pression parasitaire conduisent à une baisse de l'utilisation des arséniates en viticulture qui sont pratiquement supplantés par le DDT. Les arséniates restent néanmoins recommandés contre la première génération de tordeuses dans les avertissements agricoles¹ jusqu'à leur interdiction en 1973. Les doses utilisées pour lutter contre les tordeuses de la grappe sont de 1 000 à 2 500 grammes d'arsenic par hectare (soit 1 500 grammes en moyenne) et par traitement à raison de 2 traitements annuels. Les probabilités d'utilisation sont de 20 % entre 1945 et 1955, et moins de 5 % entre 1956 et 1973.

¹ Les avertissements agricoles sont des bulletins destinés à informer régulièrement les professionnels agricoles sur l'évolution de la pression de différents parasites ou pathogènes pour différentes cultures. Ils fournissent des recommandations sur la nécessité et le type de traitement. Ils sont édités par les Services régionaux de la protection des végétaux (dépendants des Draf) en partenariat avec différents organismes agricoles.

TABLEAU 3 RÉCAPITULATIF DES PROBABILITÉS D'UTILISATION AUX PESTICIDES ARSENIKAUX EN VITICULTURE

	1945/1955	1956/1965	1966/1973	1974/1985	1986/2001
Traitements insecticides					
Pyrale	15 %*	10 %*	5 %*		
Tordeuses	20 %*	5 %*	5 %*		
Traitements fongicides					
Esca / Excoriose	10 %*	15 %	20 %	20 %	25 %
Tout traitement	35 %	25 %	30 %	20 %	25 %

* Dont environ 5 % avec un traitement en commun avec un autre ravageur.

À partir de l'ensemble des informations recueillies, nous avons établi une matrice viticulture-pesticides arsenicaux qui combine tous les

types d'utilisation (pour les différents ravageurs ou maladies) sur une année. Des indicateurs moyennés ont ainsi été estimés.

TABLEAU 4 MATRICE VITICULTURE-PESTICIDES ARSENIKAUX

Périodes	Probabilité d'utilisation	Intensité : dose par traitement (g As/ha)	Fréquence : nombre de traitements/an
1945-1955	35 %	2 100	1,8*
1956-1965	25 %	2 800	1,3
1966-1973	30 %	3 000	1,3
1974-1985	20 %	5 000	0,7
1986-2001	25 %	5 000	0,7

* Pour la période 1945-1955, nous avons estimé que : 10 % (p_1) des viticulteurs effectuent 1 traitement annuel (n_1) exclusivement contre la pyrale à la dose de 1 250 g/ha (d_1), 5 % (p_2) effectuent 0,7 traitement (n_2) exclusivement contre l'esca à la dose moyenne de 5 000 g/ha (d_2), 10 % (p_3) effectuent 3 traitements (n_3) – soit 2 contre les tordeuses de la grappe et 1 contre la pyrale ou contre l'esca – à la dose moyenne de 2 208 g/ha (d_3) et enfin 10 % (p_4) effectuent 2 traitements (n_4) exclusivement contre les tordeuses de la grappe à la dose de 1 750 g/ha (d_4). La dose moyenne par traitement (d) et le nombre moyen de traitements par an (n) sont calculés à l'aide des formules suivantes :

$$d = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i \times n_i \times d_i}{\sum_{i=1}^4 n_i \times p_i} = 2\,100 \text{ g/ha} \quad n = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i \times n_i}{\sum_{i=1}^4 p_i} = 1,8$$

3.3.3 Utilisation des pesticides arsenicaux sur les arbres fruitiers

Dès 1900, les arsénates sont utilisés en arboriculture, ce qui marque le début de la protection chimique des vergers à grande échelle. Les arsénates, utilisés comme insecticides, sont principalement préconisés contre le carpocapse ou ver des pommes et des poires, le carpocapse des noix et les chenilles défoliatrices (cheimatobie et hyponomeute...) de différents arbres fruitiers. L'arséniate de plomb est le principal sel arsenical utilisé en arboriculture.

Il reste longtemps un des seuls moyens de lutte contre les chenilles défoliatrices et le carpocapse des pommes et des poires (avec le DDT). Le Bulletin technique des ingénieurs agronomes souligne, en 1950, la grande efficacité de l'application de bouillies d'arséniate de plomb pour lutter contre le carpocapse.

Les arsénates sont autorisés jusqu'en 1973 en arboriculture mais leur consommation diminue dès le début des années 1960, en particulier après l'apparition des organophosphorés (parathion, azinphos-éthyl...).

En 1965, dans une étude de Szakvary [14] auprès de 215 producteurs de fruits et légumes sur leurs techniques phytosanitaires, il est apparu que 94 % des producteurs utilisent des produits phytosanitaires. A la question " Quels sont les produits insecticides que vous utilisez le plus souvent ? ", les dérivés arsenicaux figurent en 6^e position. D'autre part, chez les producteurs de fruits, 15 % des personnes interrogées répondent utiliser des produits phytosanitaires à base d'arsenic pour lutter contre les ravageurs de leurs vergers.

Lutte contre le carpocapse

La lutte contre le carpocapse concerne principalement les fruits à pépins (pommes et poires) et consiste en deux ou trois traitements annuels à base d'arséniate, avec des doses comprises entre 800 et 1 200 grammes d'arsenic par hectare. Cet usage n'évolue pratiquement pas de 1945 à 1973 (date d'interdiction d'usage). Entre 1945 et 1955, la proportion des producteurs appliquant des produits à base d'arsenic sur les fruits à pépins est estimée à 55 %. Cette probabilité se situe autour de 30 % entre 1956 et 1965. Enfin, entre 1965 et 1973, cette probabilité descend à 25 %.

Lutte contre les chenilles défoliatrices

La lutte contre les chenilles défoliatrices concerne principalement les fruits à noyaux. Elle consiste en un traitement à base d'arséniate avec une quantité moyenne de 1 500 grammes d'arsenic par hectare (de 1 000 à 1 800 grammes). Cet usage n'évolue pas de 1945 à 1973. Le traitement contre les chenilles est moins fréquent que celui contre le carpocapse. En fait, sur les vergers régulièrement traités pour lutter contre le carpocapse (fruits à pépins), les dégâts provoqués par les chenilles défoliatrices sont rares, et par conséquent les traitements spécifiques aussi (on peut cependant les prendre en considération avec une probabilité d'utilisation de l'ordre de 5 %). Les fruits à noyaux sont en revanche bien plus concernés (exceptées les pêches)

par l'attaque de ces chenilles. De 1945 à 1955, environ 15 % des arboriculteurs de fruits à noyaux traitent annuellement leur verger avec des pesticides arsenicaux. Cette probabilité baisse à 10 % pour la période 1956-1965. Les dérivés arsenicaux étant concurrencés par les pesticides organochlorés, cette probabilité tombe à 5 % pour la période 1966-1973.

Enfin, en prenant en compte les répartitions des vergers entre fruits à pépins et fruits à noyaux et afin de pouvoir évaluer les expositions aux produits phytosanitaires à base d'arsenic sur l'ensemble des vergers, sans distinction, les valeurs des indicateurs ont été moyennées.

TABLEAU 5 MATRICE FRUITS À PÉPINS-PESTICIDES ARSENICAUX			
Périodes	Probabilité d'utilisation	Intensité : dose par traitement (g As/ha)	Fréquence : nombre de traitements/an
1945-1955	55 %	1 000	2,5
1956-1965	35 %	1 000	2,3
1966-1973	30 %	1 000	2,3

TABLEAU 6 MATRICE FRUITS À NOYAUX-PESTICIDES ARSENICAUX			
Périodes	Probabilité d'utilisation	Intensité : dose par traitement (g As/ha)	Fréquence : nombre de traitements/an
1945-1955	15 %	1 500	1
1956-1965	10 %	1 500	1
1966-1973	5 %	1 500	1

TABLEAU 7 MATRICE ARBORICULTURE-PESTICIDES ARSENICAUX			
Périodes	Probabilité d'utilisation	Intensité : dose par traitement (g As/ha)	Fréquence : nombre de traitements/an
1945-1955	40 %	1 100	2
1956-1965	25 %	1 100	1,9
1966-1973	20 %	1 100	1,9

4. Applications de la matrice

Les données d'hygiène industrielle ou de surveillance biologique sont en théorie les meilleures façons de caractériser, à un niveau individuel, les expositions professionnelles passées ou présentes. La surveillance biologique n'est opérationnelle que dans un nombre limité de cas, et les indicateurs disponibles sont rarement à même de refléter des expositions anciennes. Dans tous les cas, ces données atmosphériques et biologiques sont très rarement disponibles, notamment dans de grands échantillons de population pour des études à visée épidémiologique.

Il faut alors se tourner vers des méthodes d'évaluation reposant sur l'expertise individuelle des parcours professionnels par des experts, hygiénistes industriels, médecins du travail ou autres, méthodes difficiles à mettre en place car longues et coûteuses. De plus peu d'experts sont formés pour réaliser de telles analyses.

Les matrices cultures – expositions sont une réponse collective à ces limites de l'évaluation individuelle. Elles permettent de caractériser de façon relativement fine les expositions phytosanitaires à partir de données assez simples à obtenir (type de cultures), et selon une méthode semi-automatique, garantissant une évaluation homogène au sein d'un groupe de population. Elles peuvent donc s'appliquer aisément à de grands échantillons de population, en assurant une évaluation rétrospective et non différentielle à la seule condition de pouvoir caractériser les cultures sur lesquelles les sujets ont travaillé.

Trois exemples d'application des matrices sont présentés ci-après :

- le premier concerne l'application des matrices à des groupes d'individus pour lesquels des informations sur les exploitations ont été obtenues. C'est par exemple le cas lors de certaines études épidémiologiques ; cette situation permet de calculer des indicateurs d'exposition aux pesticides propres à chaque individu et d'étudier leur distribution en fonction d'autres indicateurs comme ceux touchant à la santé ;
- le second concerne l'application des matrices à des échantillons de population dont on ne connaît que l'intitulé d'emploi agricole et la localisation. C'est par exemple le cas pour les données issues du recensement Insee ; dans cette situation, il est possible d'estimer des prévalences d'expositions professionnelles et d'étudier leurs distributions et leurs évolutions au cours du temps. Il est également possible de calculer des indicateurs d'exposition moyennés et de les mettre en relation avec des indicateurs de santé ;
- le troisième concerne l'application des matrices aux données agricoles décrivant la répartition des cultures sur une région, ce qui permet, par exemple, d'estimer des quantités de produits phytosanitaires appliqués annuellement sur des zones géographiques.

Dans les deux premiers exemples, on applique les matrices de manière traditionnelle, c'est-à-dire à des données concernant des individus : soit en ayant directement connaissance des données individuelles utiles (liste des cultures obtenue par questionnaire), soit en reconstituant ces données de manière indirecte (en utilisant des données moyennes des statistiques agricoles).

Le troisième exemple est appliqué à des données géographiques et permet de décrire des situations au niveau régional.

4.1 APPLICATION DES MATRICES À DES GROUPES D'INDIVIDUS POUR LESQUELS DES INFORMATIONS SUR LES EXPLOITATIONS ONT ÉTÉ OBTENUES

Lors d'études épidémiologiques, la mise en place et la valorisation de questionnaires adaptés à la population cible apportent des données individuelles permettant de mieux caractériser les expositions professionnelles passées. Cependant, pour un travailleur de l'agriculture, il est difficile de retracer l'ensemble de l'historique chimique des exploitations agricoles sur lesquelles il a travaillé. L'utilisation, en complément du questionnaire, d'une matrice introduit alors une expertise plus fine des expositions.

Exemple d'application aux sujets d'une étude épidémiologique de type cas-témoin (étude Partage)

L'étude Partage (Parkinson, travail agricole et environnement) de l'U708 de l'Inserm, menée par le Dr A. Elbaz en partenariat avec le DST de l'InVS, étudie le lien entre des expositions professionnelles aux produits phytosanitaires et la maladie de Parkinson parmi des personnes affiliées à la Mutualité sociale agricole. Il s'agit d'une étude cas-témoin menée dans 5 départements français (Charente-Maritime, Gironde, Haute-Vienne, Mayenne et Côte d'or). Les cas (incidents et prévalents) sont des sujets âgés de 80 ans ou moins et atteints de la maladie de Parkinson. Ils sont identifiés à partir des bases de demandes de mise en ALD et des prescriptions d'antiparkinsoniens et leur diagnostic est confirmé par un neurologue. Deux témoins par cas sont tirés au sort parmi les affiliés de la Mutualité sociale agricole et lui sont appariés sur le sexe, l'âge et la caisse d'affiliation.

Tous les participants de l'étude remplissent un questionnaire permettant de recueillir des données détaillées sur leur histoire professionnelle ; pour ceux ayant travaillé dans des exploitations agricoles, un questionnaire plus détaillé est renseigné incluant une description précise du type de cultures présentes sur chaque exploitation et les tâches effectuées (préparation/application de pesticides – insecticides, fongicides, herbicides – nombre moyen de traitements par an...). Il s'agit donc d'une recherche rétrospective des caractéristiques du travail agricole des participants. Les investigateurs ont choisi de recueillir ces informations, qui sont en général obtenues de manière fiable auprès des participants, plutôt que de tenter d'établir une liste de l'ensemble des produits phytosanitaires utilisés. Il est ensuite prévu d'utiliser une matrice pour évaluer l'exposition aux pesticides de manière plus détaillée.

Pour utiliser la matrice "pesticides arsenicaux" du programme Matphyto, la description des cultures des exploitations où la personne a travaillé, indispensable, est apportée par le questionnaire professionnel. Il est donc possible d'utiliser directement les données de la matrice. A noter que pour appliquer cette matrice, il n'est pas

nécessaire de savoir si la personne a déclaré utiliser des pesticides ou pas. Ensuite, l'utilisation de la matrice "pesticides arsenicaux" pourrait s'effectuer ainsi : un participant A (cas ou témoin : l'évaluation se déroulant en "aveugle", c'est-à-dire sans connaissance du statut pathologique) donne les indications suivantes dans son questionnaire professionnel : "De 1961 à 1971, exploitant agricole, assolement (constant) de l'exploitation :

- vigne : 4 hectares ;

- céréales : 12 hectares ;
- choux fourrager : 3 hectares."

A partir de la connaissance historisée de l'assolement de l'exploitation, il est alors possible d'utiliser directement la matrice cultures-expositions aux pesticides arsenicaux. Les données issues de la matrice sont les suivantes :

TABLEAU 8		DONNÉES DE LA MATRICE (EXTRAIT N°1)		
	Période	Probabilité d'utilisation	Intensité : dose par traitement (g As/ha)	Fréquence : nombre de traitements/an
Vigne	1961-1965	25 %	2 800	1,3
	1966-1971	30 %	3 000	1,3
Céréales	1961-1971	0 %	0	0
Choux fourrager	1961-1971	0 %	0	0

Seule la culture de la vigne est considérée comme exposante aux pesticides arsenicaux durant la période considérée. Il est possible alors d'estimer un indicateur d'exposition durant sa vie professionnelle entière. On choisit classiquement le type d'indicateur suivant :

indicateur = probabilité x fréquence x intensité x nb d'années x nb d'hectares.

Les indicateurs obtenus sont les suivants :

TABLEAU 9		INDICATEURS D'EXPOSITION DU PARTICIPANT A					
	Probabilité	Fréquence	Intensité	Nb d'années	Nb d'hectares	Indicateur par période	Indicateur cumulé
Vigne (1961-1965)	25 %	1,3	2 800	5	4	18 200	
Vigne (1966-1971)	30 %	1,3	3 000	6	4	28 080	46 280

De la même manière, il est possible de calculer des indicateurs pour chaque participant à cette étude qui peut être ainsi classé selon un "niveau" d'indicateur d'exposition aux pesticides arsenicaux. L'étude de la répartition des indicateurs chez les cas (atteints de la maladie de Parkinson) et les témoins (non atteints par la maladie) permet d'étudier une éventuelle relation entre une exposition à cette famille chimique et la maladie de Parkinson. Le calcul de cet indicateur d'exposition étant effectué avec les mêmes règles et sans connaissance du statut pathologique pour l'ensemble des participants, il n'y a donc pas de différence d'évaluation des expositions entre les cas et les témoins.

En utilisant les futures matrices de Matphyto en cours de réalisation il sera possible de calculer un indicateur pour chaque produit phytosanitaire (famille chimique ou matière active) et pour l'ensemble des cultures agricoles.

4.2 APPLICATION DES MATRICES À DES ÉCHANTILLONS DE POPULATION DONT ON NE CONNAÎT QUE L'INTITULÉ D'EMPLOI AGRICOLE ET LA LOCALISATION

Lorsque l'on ne dispose pas de données individuelles concernant le type de cultures pratiquées permettant de caractériser directement les expositions aux produits phytosanitaires à l'aide de la matrice, il est nécessaire de recourir à des données statistiques moyennes. C'est le cas lors de l'utilisation d'un échantillon de population issu des recensements de l'Insee.

Exemple d'application

Dans le recensement 1999 de l'Insee, un sujet B est répertorié comme chef d'exploitation viticole (code PCS 1103² et code NAF 01.1G³), et un sujet C est répertorié comme chef d'exploitation de polyculture-élevage (code PCS 1101 et code NAF 01.3Z) tous deux dans le département du Rhône (69).

Ces données sont à elles seules insuffisantes pour caractériser un indicateur d'exposition aux pesticides : il est nécessaire de recourir à des informations intermédiaires pour connaître les assolements moyens des exploitations viticoles et de polyculture-élevage dans le

département du Rhône. Ces informations peuvent être obtenues à partir des données statistiques agricoles disponibles auprès du Service de la statistique et de la prospective (SSP), au sein du secrétariat général du ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

Ainsi, à partir des données issues du recensement agricole⁴ de 2000, il est possible de caractériser l'assolement des exploitations agricoles professionnelles dont les Otex⁵ (Orientation technico-économique des exploitations) sont "viticulture" et "polyculture" dans le département du Rhône.

TABLEAU 10 DONNÉES ISSUES DU RECENSEMENT AGRICOLE 2000 (EXTRAIT N°1)								
Otex	Nombre d'exploitations, département du Rhône	Surface totale des exploitations en hectare						
		Superficie agricole utilisée	Céréales	Oléoprotéagineux	Fourrages	Superficie toujours en herbe	Légumes, pommes de terre, fleurs	Vignes, vergers*
Viticulture d'appellation	3 428	29 168	1 073	153	394	5 981	8	21 205
Polyculture	412	6 226	2 071	369	419	2 081	417	595

* Les vignes représentent 87,6 % de la surface en vignes et vergers, dans le département du Rhône.

Les données du recensement agricole permettent de décrire, de façon moyenne, les surfaces des différentes cultures pour les exploitations des sujets B et C. L'usage des pesticides arsenicaux pour l'année considérée ne concernant que la viticulture, il est donc nécessaire de calculer une surface moyenne en vigne pour les deux sujets.

Sujet B (Otex : viticulture d'appellation) :

- 3 428 exploitations se partagent 21 205 hectares de vignes et vergers, soit, en moyenne, 6,185 hectares par exploitation ;
- la surface moyenne en vignes, par exploitation, est donc de 5,42 hectares (87,6 % de 6,185 hectares).

Sujet C (Otex : polyculture) :

- 412 exploitations se partagent 595 hectares de vignes et vergers, soit, en moyenne, 1,444 hectares par exploitation ;
- la surface moyenne en vignes, par exploitation, est donc de 1,26 hectares (87,6 % de 1,444 hectares).

A partir de la connaissance de l'assolement moyen de ces deux types d'exploitation, il est possible d'utiliser directement la matrice cultures-expositions aux pesticides arsenicaux. Les données issues de la matrice pour l'année considérée sont les suivantes :

TABLEAU 11 DONNÉES DE LA MATRICE (EXTRAIT N°2)				
	Année	Probabilité d'utilisation	Intensité : dose par traitement (g As/ha)	Fréquence : nombre de traitements/an
Vigne	1999	25 %	5 000	0,7
Autres cultures	1999	0 %	0	0

L'utilisation des données sur l'assolement moyen et des données de la matrice, permet le calcul d'indicateurs annuels d'exposition comme dans le premier exemple, en utilisant la formule classique suivante :

indicateur = probabilité x fréquence x intensité x nb d'années x nb d'hectares.

Les indicateurs obtenus pour l'année 1999 sont les suivants :

TABLEAU 12 INDICATEURS D'EXPOSITION DES SUJETS B ET C						
	Probabilité	Fréquence	Intensité	Nb d'années	Nb d'hectares	Indicateur d'exposition
Sujet B	25 %	0,7	5 000	1	5,42	4 742,5
Sujet C	25 %	0,7	5 000	1	1,26	1 105,5

² Nomenclature des professions et catégories socioprofessionnelles PCS. 2^{nde} ed. 1994: Insee. 417 p.

³ Nomenclature d'activités et de produits françaises NAF-CPF. 1999, Paris:Insee.741 p.

⁴ Le recensement agricole (RA) fournit de manière exhaustive des données agricoles du type : surfaces, rendements, nombres d'animaux... Il a été effectué en 1955, 1970, 1979, 1988 et 2000. Des statistiques agricoles annuelles, plus synthétiques, existent depuis 1950.

⁵ Chaque exploitation agricole est classée dans une Otex en fonction de sa spécialisation. La spécialisation est étudiée en fonction de la part des marges brutes standards des différentes productions dans la marge brute standard totale de l'exploitation.

Il est également possible de décrire des situations au niveau local. Par exemple, d'après les informations disponibles nous pouvons dire que :

- dans l'exploitation du sujet B il y a 25 % de possibilités que des pesticides arsenicaux aient été utilisés sur la vigne à raison de 5 000 grammes par hectare en moyenne et avec une fréquence d'utilisation de 0,7 soit l'équivalent annuel de 19 kg d'arsenic (5 000 grammes par hectare épanchés sur 0,7 fois la surface moyenne de 5,42 hectares) ;
- sur les 3 428 exploitations dont l'Otex est "viticulture d'appellation", 857 d'entre elles (25 % de 3 428) ont utilisé cette année, pour la culture de la vigne, des pesticides arsenicaux à raison de 5 000 grammes par hectare en moyenne et sur 0,7 fois la surface moyenne soit l'équivalent de 19 kg d'arsenic par exploitation.

L'usage de la matrice permet de caractériser les expositions professionnelles aux produits phytosanitaires sur de grands échantillons de populations, de manière routinière (semi-automatique) et de façon relativement simple (uniquement à partir d'un intitulé d'emploi agricole et d'un lieu d'exploitation). L'analyse des données fournies par la matrice sur ces échantillons permet alors d'estimer

des prévalences d'expositions professionnelles et d'étudier leurs distributions et leurs évolutions au cours du temps. Le calcul d'indicateurs, à partir de ces mêmes données, peut être utilisé pour mettre en relation des données de santé et des données d'exposition et de les étudier.

4.3 APPLICATION DES MATRICES AUX DONNÉES AGRICOLES DÉCRIVANT LA RÉPARTITION DES CULTURES SUR UNE RÉGION

Le croisement des matrices avec les seules données des recensements agricoles qui décrivent l'occupation des sols permet de quantifier des expositions moyennes sur différentes zones du territoire métropolitain, et de suivre leur évolution dans le temps.

Exemple d'application

Soit une région D et une région E. Les données issues du recensement agricole 2000 peuvent se présenter sous cette forme :

TABLEAU 13 DONNÉES DU RECENSEMENT AGRICOLE 2000 (EXTRAIT N°2)		
	Région D	Région E
Surface totale en vigne (en hectares)	2 380	12 600

En 2000, seule la vigne peut recevoir des produits phytosanitaires à base d'arsenic. La matrice fournit les indications suivantes pour la culture de la vigne :

TABLEAU 14 DONNÉES DE LA MATRICE (EXTRAIT N°3)				
	Année	Probabilité d'utilisation	Intensité : dose par traitement (g As/ha)	Fréquence : nombre de traitements/an
Vigne	2000	25 %	5 000	0,7

L'utilisation des données sur l'assolement de ces deux régions et des données de la matrice permet d'estimer, par le calcul d'indicateurs, les quantités d'arsenic épanché chaque année pour la protection des cultures.

Le calcul de l'indicateur est le suivant :
indicateur = probabilité x fréquence x intensité x nb d'hectares.

Les indicateurs obtenus sont les suivants :

TABLEAU 15 INDICATEURS D'EXPOSITION POUR LES RÉGIONS D ET E					
	Probabilité	Fréquence	Intensité	Nb d'hectares	Quantité estimée (kg) d'arsenic utilisée pour le traitement des vignes
Région D	25 %	0,7	5 000	2 380	2 083
Région E	25 %	0,7	5 000	12 600	11 025

Cet indicateur permet de suivre l'évolution au cours du temps des quantités d'arsenic épanché et des comparaisons entre régions sont

possibles. Ces données peuvent être utilisées dans le cadre d'une analyse des expositions environnementales.

4.4 CONCLUSION

Ces trois exemples simples illustrent des types d'application possibles de la matrice culture-exposition aux pesticides arsenicaux.

Ces produits sont des cancérogènes reconnus. Ils ont été largement utilisés entre 1945 et 1973 (bien que leur usage soit antérieur) et dans une moindre mesure jusqu'en 2001. Leur utilisation a principalement concerné trois cultures : l'arboriculture et la culture de la pomme de terre jusqu'en 1973, et la viticulture jusqu'en 2001. Les trois

matrices présentées dans ce rapport détaillent les utilisations des pesticides arsenicaux en France métropolitaine à l'aide d'indicateurs quantitatifs.

Le programme Matphyto s'intéressant à l'ensemble des cultures agricoles, d'autres matrices sont en cours d'élaboration. Il sera possible, à terme, et en juxtaposant l'ensemble des matrices, de caractériser de manière rétrospective et pour tout type de cultures les utilisations aux principaux produits phytosanitaires sur le territoire.

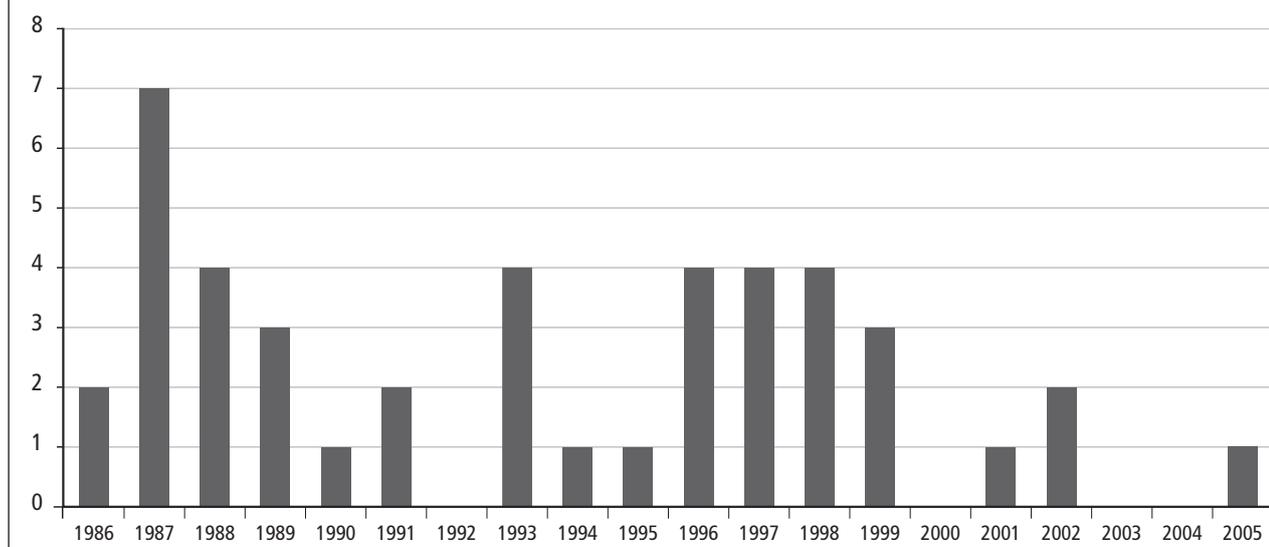
Références bibliographiques

- [1] Juin 1998 : rapport Barthelemy Legrand. Rapport à madame la Ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement et à Monsieur le Secrétaire d'état à l'industrie relatif au site de Salsigne. Disponible sur <http://www.aude.pref.gouv.fr/actualite/salsigne/index .asp>
- [2] Décret n° 59-450 du 20 mars 1959 portant règlement d'administration publique en ce qui concerne les produits destinés à l'alimentation des animaux et le commerce des denrées alimentaires d'origine animale pour l'application de la loi du 1^{er} août 1905.
- [3] Spinosi J, Févotte J. Le programme Matphyto : matrices cultures-expositions aux produits phytosanitaires. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, juin 2008. Disponible sur www.invs.sante.fr
- [4] Arrêté du 24 mai 1973 paru au Journal officiel de la République française du 26 mai 1973 concernant l'interdiction d'emploi en agriculture des substances vénéneuses.
- [5] Avis paru au Journal officiel de la République française des 23 et 27 novembre 2001 concernant le retrait de substances actives : arsénite de soude, parathion-éthyl, atrazine, simazine, cyanazine, amétryne, terbuthylazine et zinèbe.
- [6] Fiche toxicologique FT 192 Arsenic et composés minéraux (INRS) (2006).
- [7] OMS IPCS (1981) - Environmental Health Criteria; 224: Arsenic and arsenic compounds. World Health. Organisation, International Programme on Chemical Safety.
- [8] International Agency on Research on Cancer, Arsenic and arsenic compounds, IARC Monographs Suppl. 7, 1987, p.100.
- [9] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Produits chimiques cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction. Classification réglementaire. 2006, 63 p.
- [10] United States Environmental Protection Agency, Integrated risk information system, Arsenic, inorganic, 1998.
- [11] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Fiche toxicologique. Arsenic et composés minéraux. 2006, 6 p.
- [12] Fourche, Rémi. Contribution à l'histoire de la protection phytosanitaire dans l'agriculture française (1880–1970). Ph. D. Diss., Université Lyon 2, 2004, 520 p.
- [13] Chappelier. Le gibier en présence des traitements arsenicaux de la pomme de terre servant à la lutte contre le doryphore. Préface de Villenave. Paris, édition du Conseil supérieur de la chasse, 1941, 48 p.
- [14] Szakvary. Les résidus des produits dits phytosanitaires sur les fruits et légumes : leurs incidences possibles - Enquête auprès des producteurs, Paris, Foulon 1965, 187 p.

Annexe 1 - Tableau des maladies professionnelles du régime agricole concerné par l'exposition aux dérivés arsenicaux

TABLEAU 10 (RA) AFFECTIONS PROVOQUÉES PAR L'ARSENIC ET SES COMPOSÉS MINÉRAUX		
Date de création : décret du 17 juin 1955		Dernière mise à jour : décret du 22 août 2008
Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste indicative des principaux travaux susceptibles de provoquer ces maladies
A. Irritation : - dermatite d'irritation ; ulcérations cutanées ; - rhinite irritative ; ulcérations ou perforation de la cloison nasale ; - pharyngite, laryngite ou stomatite ; - conjonctivite, kératite ou blépharite.	7 jours	Pour les maladies mentionnées aux paragraphes A, B et C : - toute manipulation ou emploi d'arsenic ou de ses composés minéraux ; - usinage de bois traités à partir d'arsenic ou de ses composés minéraux.
B. Intoxication aiguë : - syndrome associant au moins deux des manifestations suivantes : douleurs abdominales, nausées ou vomissements, diarrhée ; - insuffisance circulatoire associée à ou précédée par un syndrome dysentérique ; - troubles transitoires de la conduction ou de l'excitabilité cardiaque ; - hépatite cytolitique, après élimination des hépatites virales A, B et C ; - insuffisance rénale aiguë associée à ou précédée par un syndrome dysentérique ; - encéphalopathie associée à ou précédée par au moins l'une des autres manifestations d'intoxication aiguë listées ci-dessus	7 jours	
C. Intoxication subaiguë : - anémie, leucopénie ou thrombopénie : - précédée par l'un des syndromes caractérisant l'intoxication aiguë et listés en B, - ou associée à des bandes unguéales blanchâtres transversales touchant tous les ongles (bandes de Mees) ; - neuropathie périphérique : - sensitivomotrice, douloureuse, distale, ascendante, - confirmée par un examen électrophysiologique, - ne s'aggravant plus au-delà du 3 ^e mois après l'arrêt de l'exposition.	90 jours	
D. Intoxications chroniques : - mélanodermie : hyperpigmentation grisâtre, diffuse, prédominant aux zones de frottement, parsemée de taches plus sombres ou dépigmentées ; - hyperkératose palmo-plantaire ; - maladie de Bowen (dyskératose lenticulaire) ; - bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) associée à ou précédée par la mélanodermie, l'hyperkératose palmo-plantaire ou la maladie de Bowen ; - fibrose ou cirrhose hépatique associée à ou précédée par la mélanodermie, l'hyperkératose palmo-plantaire ou la maladie de Bowen.	30 ans	
E. Intoxications chroniques : - phénomène de Raynaud ; - artérite des membres inférieurs ; - hypertension artérielle ; - cardiopathie ischémique ; - insuffisance vasculaire cérébrale ; - diabète ; - à condition que ces maladies s'accompagnent d'une mélanodermie, d'une hyperkératose palmo-plantaire ou d'une maladie de Bowen.	30 ans	
F. Affections cancéreuses : - carcinomes cutanés baso-cellulaires ou spinocellulaires ; - cancer bronchique primitif ; - cancer des voies urinaires ; - adénocarcinome hépatocellulaire après élimination d'une hépatite virale chronique B ou C et d'une maladie hépatique alcoolique par des méthodes objectives ; - angiosarcome du foie.	40 ans 40 ans (sous réserve d'une durée d'exposition de 10 ans) 40 ans (sous réserve d'une durée d'exposition de 5 ans) 40 ans 40 ans	Pour les maladies mentionnées aux paragraphes D, E et F : - toute manipulation ou emploi d'arsenic ou de ses composés minéraux, notamment lors des traitements anticryptogamiques de la vigne ; - usinage de bois traités à partir d'arsenic ou de ses composés minéraux.

Source : application "Tableaux des maladies professionnelles. Guide d'accès et commentaires" de l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS). www.inrs.fr

FIGURE 1**NOMBRE DE SALARIÉS AGRICOLES* RECONNUS EN MALADIES PROFESSIONNELLES, AVEC
OU SANS ARRÊT DE TRAVAIL, AU TITRE DU TABLEAU N°10 (RA) - ÉVOLUTION DE 1986 À 2005****

Source : CCMSA.

* Salariés agricoles de France métropolitaine, sauf Alsace et Moselle.

** Données 2005 provisoires du 6 juillet 2007.

Annexe 2 - Tableaux des maladies professionnelles du régime général concernés par l'exposition aux dérivés arsenicaux

TABLEAU 20 (RG) AFFECTIONS PROFESSIONNELLES PROVOQUÉES PAR L'ARSENIC ET SES COMPOSÉS MINÉRAUX		
Date de création : décret du 10 novembre 1942		Dernière mise à jour : décret du 19 juin 1985
Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste indicative des principaux travaux susceptibles de provoquer ces maladies
A. Intoxication aiguë : - insuffisance circulatoire, troubles du rythme, arrêt circulatoire ; - vomissement, diarrhée, syndrome de cytolysé hépatique ; - encéphalopathie ; - troubles de l'hémostase ; - dyspnée aiguë.	7 jours	Tous travaux exposant à la manipulation ou à l'inhalation d'arsenic ou de ses composés minéraux, notamment : - traitement pyro-métallurgique de minerais arsenicaux ; - traitement pyro-métallurgique de métaux non ferreux arsenicaux ; - fabrication ou emploi de pesticides arsenicaux ; - emploi de composés minéraux arsenicaux dans le travail du cuir, en verrerie, en électronique.
B. Effets caustiques : - dermites de contact orthoergiques, plaies arsenicales ; - stomatite, rhinite, ulcération ou perforation de la cloison nasale ; - conjonctivite, kératite, blépharite.	7 jours	
C. Intoxication subaiguë : - polynévrites ; - mélanodermie ; - dyskératoses palmo-plantaires.	90 jours	
D. Affections cancéreuses : - dyskératose lenticulaire en disque (maladie de Bowen) ; - épithélioma cutané primitif ; - angiosarcome du foie.	40 ans	

TABLEAU 20 BIS (RG) CANCER BRONCHIQUE PRIMITIF PROVOQUÉ PAR L'INHALATION DE POUSSIÈRES OU DE VAPEURS ARSENICALES		
Date de création : décret du 19 juin 1985		Dernière mise à jour : décret du 22 juillet 1987
Désignation de la maladie	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer cette maladie
Cancer bronchique primitif	40 ans	Travaux de pyro-métallurgie exposant à l'inhalation de poussières ou de vapeurs arsenicales. Travaux de fabrication et de conditionnement de l'anhydride arsénieux. Fabrication de pesticides arsenicaux à partir de composés inorganiques pulvérulents de l'arsenic.

TABLEAU 20 TER (RG) CANCER BRONCHIQUE PRIMITIF PROVOQUÉ PAR L'INHALATION DE POUSSIÈRES OU DE VAPEURS RENFERMANT DES ARSENO-PYRITES AURIFÈRES		
Date de création : 8 mai 1997 (décret du 30 avril 1997)		Dernière mise à jour : -
Désignation de la maladie	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer cette maladie
Cancer bronchique primitif	40 ans (sous réserve d'une durée d'exposition de 10 ans)	Travaux d'extraction au fond dans les mines de minerais renfermant des arseno-pyrites aurifères. Travaux de concassage et de broyage effectués à sec de minerais renfermant des arseno-pyrites aurifères.

TABLEAU 21 (RG) INTOXICATION PROFESSIONNELLE PAR L'HYDROGÈNE ARSÉNIÉ

Date de création : décret du 10 novembre 1942		Dernière mise à jour : décret du 13 septembre 1955
Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste indicative des principaux travaux susceptibles de provoquer ces maladies
Hémoglobinurie	15 jours	Travaux exposant aux émanations d'hydrogène arsénié, notamment : - traitement des minerais arsenicaux ; - préparation et emploi des arséniures métalliques ; - décapage des métaux ; détartrage des chaudières ; - gonflement des ballons avec de l'hydrogène impur.
Ictère avec hémolyse	15 jours	
Néphrite azotémique	30 jours	
Accidents aigus (coma), en dehors des cas considérés comme accidents du travail	3 jours	

Source : application "Tableaux des maladies professionnelles. Guide d'accès et commentaires" de l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS). www.inrs.fr

Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux pesticides arsenicaux

Matrice cultures-expositions aux pesticides arsenicaux

Le Département santé travail (DST) de l'Institut de veille sanitaire (InVS) a mis en place et coordonne un programme de réalisation de matrices cultures-expositions aux produits phytosanitaires adaptées à la population agricole en France : le programme Matphyto.

Ce document décrit les éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux pesticides arsenicaux et présente les matrices cultures-expositions réalisées.

L'arsenic inorganique est un cancérigène reconnu pour l'homme par le Circ (Centre international de recherche sur le cancer) ; les principaux dérivés arsenicaux inorganiques utilisés en agriculture sont l'arséniate de plomb, l'arséniate de calcium et l'arsénite de soude. Ils ont une action fongicide et insecticide principalement pour trois cultures : la vigne, la pomme de terre et les arbres fruitiers. Leurs utilisations ont été évaluées dans les matrices à partir de 1945, bien que leur usage soit antérieur, et jusqu'en 2001, date de leur interdiction totale.

Trois indicateurs d'exposition (une probabilité, une fréquence et une intensité) permettent d'évaluer les utilisations de l'arsenic pour la protection des végétaux dans chacune de ces trois cultures dans les exploitations agricoles en France métropolitaine.

Ces matrices permettent de caractériser les expositions phytosanitaires à partir de données assez simples à obtenir (type de cultures), et selon une méthode semi-automatique, garantissant une évaluation homogène au sein d'un groupe de population. Elles assurent une évaluation rétrospective et non différentielle à la seule condition de pouvoir caractériser les cultures sur lesquelles les sujets ont travaillé.

Mots clés : arsenic, agriculture, exposition professionnelle, pesticides, viticulture, arboriculture, matrice emploi-exposition

Technical data on occupational exposure to arsenical pesticides

Farming-exposure matrix for arsenical pesticides

The Occupational Health Department of the French Institute for Public Health Surveillance has implemented and coordinates a program for the construction of farming/phytosanitary products exposure matrices adapted to the agricultural population in France: the Matphyto programme.

This document describes the technical elements on occupational exposure to arsenical pesticides and presents the farming/phytosanitary products exposure matrices developed.

Inorganic arsenic is a known carcinogen to humans by the IARC (International Agency for Research on Cancer).

The main inorganic arsenic derivatives used in agriculture are lead arsenate, calcium arsenate and sodium arsenite.

They have fungicide and insecticide properties for three main crops: grapes, potatoes and fruit trees. Their use has been evaluated from 1945 to 2001 when they were totally banned, even though they were used before 1945.

Three exposure indicators (probability, administration frequency and intensity) contribute to assessing the application of arsenic for plant protection in each of these three crops on farms in metropolitan France.

These matrices will allow describing pesticides exposures from data relatively easy to obtain (type of crops), and based on a semi-automatic method, ensuring a homogeneous evaluation in a population group. They provide an independent and non-differential evaluation with the only condition to be able to characterize the crops on which the subjects worked.

Citation suggérée :

Spinosi J, Févotte J, Vial G. Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux pesticides arsenicaux. Matrice cultures - expositions aux pesticides arsenicaux. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, avril 2009, 19 p. Disponible sur : www.invs.sante.fr