Du recueil de données d'usage des pesticides (1970-2008) à une formalisation des pratiques types pour le bassin de la Seine.

Maxime Bignon[1*], Hélène Blanchoud[1*], Josette Garnier[1*], Thomas Puech[2], Nicolas Gallois[3]

[1] Sorbonne-Université, UMR 7619 METIS, Paris
[2] INRAE, UR 055 ASTER, Mirecourt
[3] MinesParis, PSL Université, Centre de Géosciences, Fontainebleau

* josette.garnier@sorbonne-universite.fr
* helene.blanchoud@sorbonne-universite.fr
* maxime.bignon@upmc.fr

Résumé

*Ce rapport est le second consacré aux travaux réalisés depuis début 2021 sur l'estimation des apports de matières actives à rôle phytosanitaire à l'échelle du bassin versant Seine-Normandie. Pour rappel, l'objectif final de ce travail consiste à enrichir la base de données ARSEINE (Puech et al., 2019) d'un volet descriptif des pratiques phytosanitaires sur ce bassin entre 1970 et aujourd'hui. Cette base sera mobilisée dans l'optique d'une simulation du transfert des pesticides au travers des différents compartiments de l'hydrosystème Seine. Ce travail assure l'ensemble des étapes allant du recueil des données sur les pratiques phytosanitaires à la formalisation de pratiques types. Après un bref bilan des enjeux auxquels la zone d'étude est exposée, d'ordres humains, environnementaux ou agronomiques, ce document détaille l'ensemble des étapes suivies pour déterminer l'ensemble des pratiques d'usages phytosanitaires types, à savoir : **(i)** la sélection des documents d'intérêts, **(ii)** la saisie des données, **(iii)** la méthodologie appliquée dans le but de faciliter le traitement des données par la suite, **(iv)** la restructuration de l'information saisie et enfin **(v)** l'ensemble de la chaîne de traitement. Un script générique et configurable au besoin permettant la formalisation des pratiques phytosanitaires types a été élaboré pour obtenir un niveau de détail conforme aux besoins de l'utilisateur. Enfin, il s'agira de présenter quelques exemples chiffrés sur les pratiques types obtenues.*

Points clefs

- ✓ *Bilan des enjeux sociaux, environnementaux et agronomiques du bassin Seine-Normandie*
- ✓ *Description de l'ensemble des étapes de traitements du code permettant d'obtenir les pratiques d'usages phytosanitaires types*
- ✓ *Quelques chiffres sur les pratiques types formalisées*

Abstract

This report is the second installment on a work in progress started in early 2021, dealing with a first estimation of pesticides substances applications at the scale of the Seine-Normandie area. As a reminder, this work tends to implement an add-on describing main pesticides practices on this region from the 1970s onward, to the existing ARSEINE database (Puech and al., 2018a, 2019). Finally, this work will be used to simulate pesticides transfer throughout the entire Seine regional hydrosystem. This document describes each step from data collecting to the formalization of each pesticide practices. After a brief description of the main issues within the studied area, the main steps achieved to determine all main pesticides practices are detailed (selection of data sources and data capture, database creation, method used for data structuration and analysis). The main objective of this code is to fit user's expectations. Finally, first results are presented and commented.

Key points

- ✓ Summarization of the agronomical, environmental and social issues in the Seine-Normandie watershed.
- ✓ Description of each step of processing to obtain the pesticides practices.
- ✓ Presentation of some results on formalized practices.

Introduction

Les questions concernant la protection et la préservation de l'environnement vis-à-vis des activités de l'Homme sont de plus en plus centrales dans l'opinion publique. Que ce soit pour des raisons de santé publique, de préservation des écosystèmes ou encore dans un cadre plus large comme le changement climatique, il est aujourd'hui nécessaire et inévitable d'essayer d'analyser le milieu dans lequel nous vivons pour comprendre ses composantes et les fragiles interactions qui les unissent. Comprendre en quoi les activités humaines altèrent l'environnement reste ainsi un sujet d'actualité. Ces altérations ont des effets à l'échelle globale, comme les émissions de gaz à effet de serre participant au changement climatique ou l'acidification des océans suite à l'enrichissement par l'atmosphère en CO_2. Toutefois, les effets sont aussi visibles et délétères à des échelles plus locales, liées à des pollutions diffuses et/ou ponctuelles telles que l'eutrophisation de certaines masses d'eau avec le lessivage d'intrants organiques et/ou minéraux, mais également la pollution liée à l'usage des pesticides. Dans le cas des pollutions diffuses, il est difficile de faire le lien entre les usages et leurs impacts sur le territoire Seine-Normandie, car les temps de transfert dans le système sol – nappe – rivière sont particulièrement longs, notamment pour les pesticides en partie en raison des processus de sorption dans les sols avant de rejoindre le compartiment souterrain du bassin (zone non saturée et système aquifère) caractérisé par une forte inertie. Des études précédentes menées sur le bassin versant de la Vesle ont montré qu'il fallait recueillir des données d'intrant phytosanitaire à partir de l'intensification de leurs usages en 1970 pour renseigner correctement le modèle de transfert (Rat et al., 2004). C'est pour cette raison qu'il est question aujourd'hui de recueillir des données sur les pratiques phytosanitaires réalisées entre 1970 et aujourd'hui à l'échelle du secteur Seine-Normandie. Ce travail a ainsi pour objectif final de générer une base de données sur les principales pratiques phytosanitaires sur ce territoire selon des zones géographiques considérées homogènes sur cette longue période. Cette base de données sera ultérieurement mobilisée dans l'objectif de simuler le transfert de pesticides, complétant ainsi de précédents travaux de modélisation des pollutions diffuses d'origine agricole sur le territoire Seine-Normandie (Gallois et al., 2018 ; Puech et al., 2018). Les travaux réalisés ici seront inclus dans la base de données ARSEINE (Puech et al., 2018a, 2019). Celle-ci documente déjà une diversité de pratiques agricoles orientées « azote » (succession culturales, itinéraires techniques incluant la fertilisation, le travail du sol par exemple) ainsi que leurs dynamiques spatio-temporelles sur le bassin Seine-Normandie.

Suite au rapport de 2021 (Bignon et al., 2021), l'objectif était en 2022 de poursuivre l'acquisition et de terminer la saisie des données sur la période 1970-2017 sur le bassin Seine-Normandie, que ce soit par le recueil de données *via* la consultation de documents ou des discussions avec des acteurs locaux pouvant mettre à contribution leur expertise, mais aussi *via* l'utilisation de la Banque Nationale des Ventes de produits phytopharmaceutiques par les Distributeurs agréés (BNV-d). Enfin, il s'agissait d'automatiser les traitements des données à l'aide d'un script, ici, écrit en Python. Le but est de fournir un ensemble de pratiques types renseignant l'onglet « pratiques phytosanitaires » de la base de données ARSEINE, support de simulation de transfert de pesticides *via* l'emploi du couplage PeSTICS-STICS-CaWaQS3.x (Gallois et al., 2020; Kilic et al., 2021).

Alors que le rapport de 2021 était consacré à la méthodologie de la conception de la typologie des pesticides, ce document est consacré à la description des étapes allant du recueil de données à la formalisation des pratiques phytosanitaires types. L'ensemble des opérations comporte le recueil de données (**Etape 1**), la saisie des données recueillies (**Etape 2**), l'élaboration d'une chaîne de traitements permettant une réorganisation des données (facilitant les analyses suivantes) et (**Etape 3**) les analyses répondant aux paramétrages du script. Une fois l'information contenue dans les données isolée selon les besoins, les pratiques d'usage phytosanitaires types sont formalisées (**Etape 4**) (Figure 1).

Dans un premier temps, le contexte de l'étude est présenté spatialement et temporellement ainsi que concernant l'état actuel des connaissances sur la pollution de l'eau. Un descriptif de la méthodologie employée à chaque étape est décrit. Enfin, une présentation de résultats préliminaires concernant les pratiques d'usages phytosanitaires types est proposée.

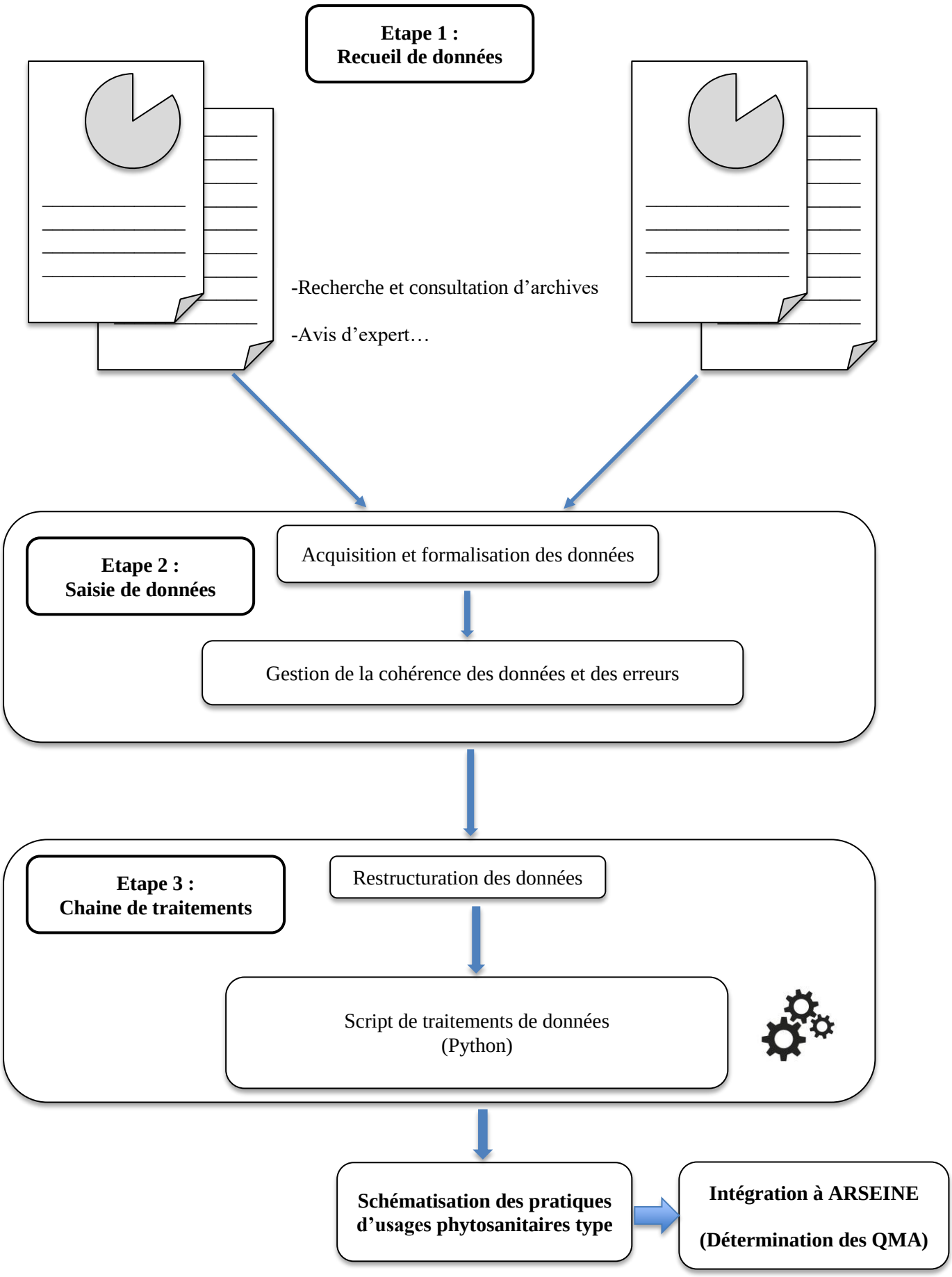


Figure 1 : Schéma général descriptif de l'ensemble du processus de formalisation des pratiques types.

1. Descriptif du contexte d'étude

1.1. La zone géographique d'étude

Cette étude couvre l'ensemble du territoire Seine-Normandie, soit environ 101 000 km². Couvert à 60% de terres agricoles (Figure 2) et concentrant près d'un tiers de la population française, ce secteur est, de fait, marqué par des pressions concernant la qualité de l'eau. D'après le rapport de l'AESN (2021), 17% des captages du bassin pour l'alimentation en eau potable ont dépassé la Norme de Qualité Environnementale pour au moins une substance pesticide ou métabolite de pesticide sur la période 2012-2017.

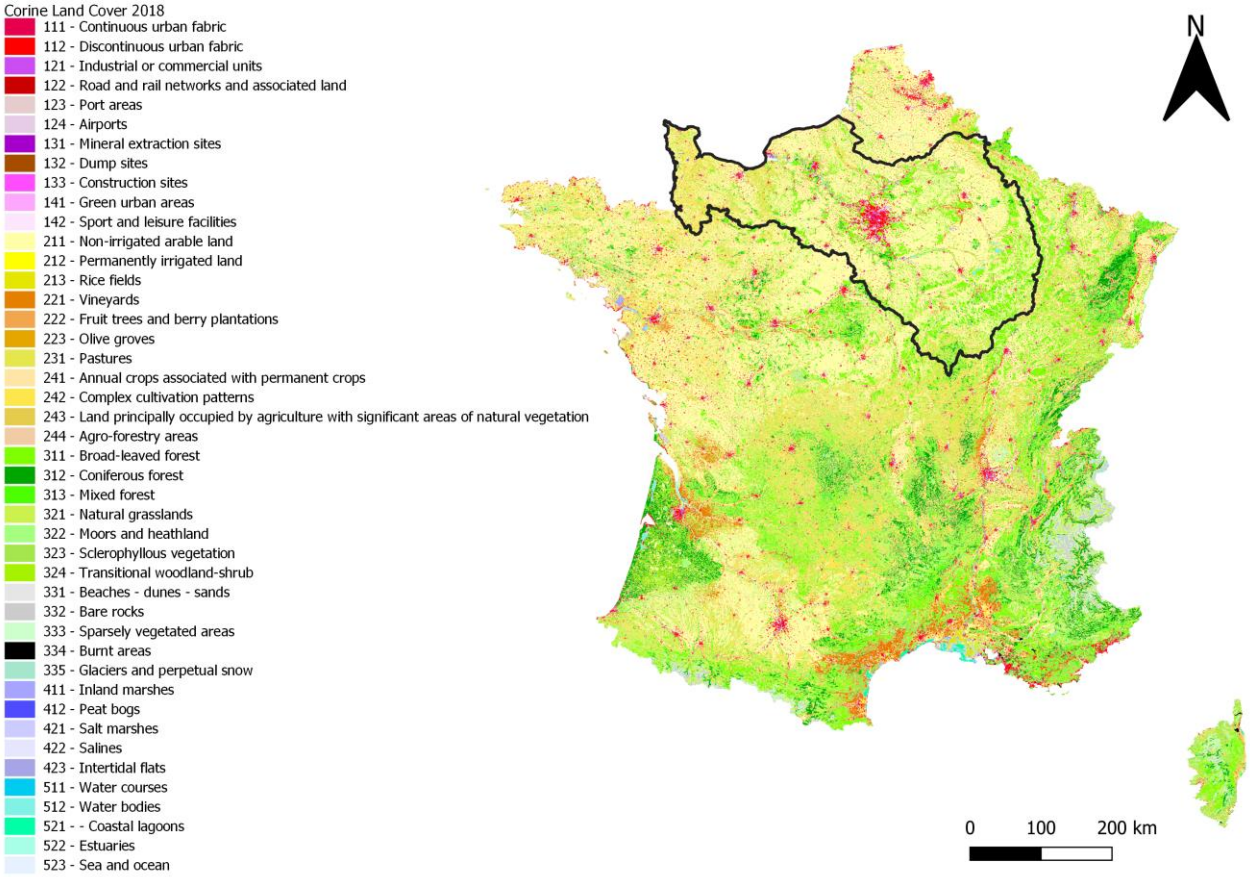


Figure 2 : Inventaire biophysique de l'occupation des sols du territoire Seine-Normandie (Source : base Corine Land Cover (2018)).

1.2. Quelques chiffres sur l'achat des pesticides sur le territoire pour la période 2008-2017

Afin de contextualiser l'emploi récent des pesticides sur le bassin, une extraction des données BNV-d a été mise en œuvre. Il a été décidé de faire figurer les quantités de matières actives appartenant aux quatre fonctions phytopharmaceutiques majeures : herbicides, fongicides, insecticides et régulateurs de croissance (Figure 3).

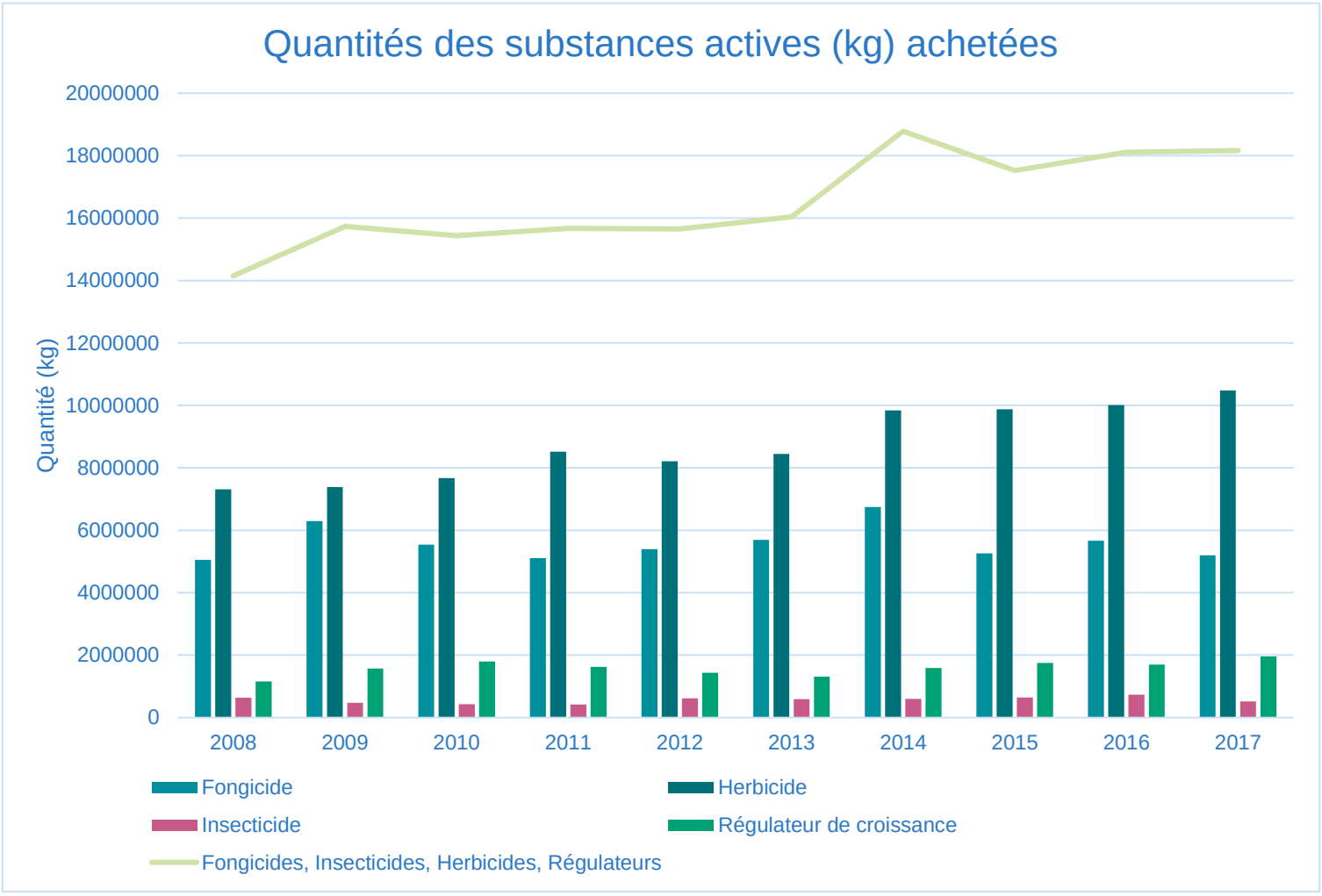


Figure 3 : Achats de matières actives classées selon leur activité biologique sur le bassin Seine-Normandie (Source : BNV-d).

Par comparaison aux données nationales, les quantités de matières actives d'herbicides, fongicides et insecticides achetées sur le territoire Seine-Normandie présentées dans la figure 3 représentent 30 à 40% des quantités achetées sur l'ensemble de la France. Concernant les régulateurs de croissance, leur quantité achetée varie entre 54 à 61%.

La BNV-d ne recensant les achats que depuis 2008, le recueil des données plus anciennes nécessite un travail plus approfondi de récupération des pratiques phytosanitaires auprès d'experts. Nous détaillerons ci-dessous l'ensemble des étapes concernant le travail réalisé pour la collecte de données et leur traitement afin d'aboutir à la formalisation de pratiques types.

2. Matériel et méthodes

Un « itinéraire technique » désigne une séquence d'étapes ou d'opérations agronomiques, réalisées dans un ordre précis et selon un but bien défini sur une culture ou une parcelle (Sebillotte, 1974). De ce fait, un itinéraire technique phytosanitaire rassemble toutes les opérations menées sur une culture et relatives à l'emploi de pesticides, volet nous intéressant ici. Il précise toutes les modalités d'application liées à la conduite de la protection phytosanitaire : nom du produit commercial utilisé, dose appliquée et date d'application.

2.1. Type de données et documents recherchés

L'objectif étant de renseigner la base ARSEINE en pratiques phytosanitaires types, il est important de sélectionner les documents d'intérêts susceptibles de recueillir ce type de renseignements. Il s'agit également de recueillir des données représentatives de pratiques passées.

Il est important de rappeler le fait que nous cherchons à renseigner des pratiques à partir des années 1970 afin de prendre en compte le temps de latence dû à l'inertie du transfert sol-nappe-rivière. Ces documents ne sont généralement pas informatisés, et les archives difficiles à localiser, et les techniciens détenteurs d'information ne sont également plus forcément en poste. De ce fait, il a été décidé de s'appuyer sur des documents de synthèse disponibles (cahiers d'expérimentations ou de recommandation) auprès d'experts agricoles. Il s'agit de cahiers d'expérimentation techniques, détaillant assez finement l'ensemble des opérations menées sur une culture ou une parcelle définie.

Des enquêtes auprès d'organismes de conseil du monde agricole ont été réalisées : chambres d'agriculture, coopératives et structures d'innovation du milieu agricole. 70 prises de contact ont été effectuées, aboutissant à la récupération de données à 5 reprises. L'objectif est de collecter des informations représentatives des pratiques contemporaines employées. Le principal problème rencontré durant cette étape a été l'absence de données et de documents pour certaines régions. Actuellement, pour les périodes les plus anciennes (1970-1990), des données ont été obtenues pour la seule région de l'Île-de-France, et des départements de la Marne et du nord de la France. Deux profils extrêmement distincts se dégagent de cette étape de recensement des données disponibles : **(i)** les régions où les données sont relativement conséquentes et précises comme l'Île-de-France, pour laquelle 864 photos de carnets d'expérimentation ont été prises, ou encore la Marne avec 974 photos de carnets d'itinéraires techniques et **(ii)** les régions où aucune donnée n'a été trouvée pour l'instant.

Des documents supplémentaires (carnet de recommandations ou de techniciens) ont également pu être récupérés afin de consolider l'apport d'information. Une fois ces données (ou documents) récupérées, une étape très chronophage de saisie numérique a été entreprise.

2.2. Saisie des données

2.2.1. Numérisation de l'information

La difficulté majeure dans la saisie de données relatives aux itinéraires techniques phytosanitaires réside dans la détermination de la méthodologie à employer permettant de concilier conservation de l'information la plus exacte possible et une restitution de l'information de façon homogène pour la modélisation. En effet, un itinéraire technique peut présenter une diversité d'informations (nom de spécialité commerciale, date d'application et dose appliquée). Ainsi, un itinéraire technique phytosanitaire peut préciser plusieurs applications à des temporalités simultanées ou différentes : plusieurs applications de produits phytosanitaires peuvent être réalisées en même temps ainsi que sur plusieurs jours (Figure 4).

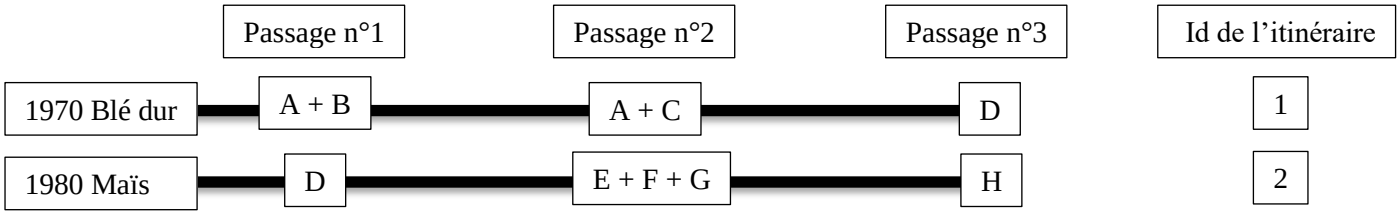


Figure 4 : Schéma d'exemple d'itinéraires phytosanitaires pour 2 cultures. Les lettres indiquent des spécialités commerciales différentes.

Les deux itinéraires (1) et (2) présentés en figure 4 concernent deux cultures (blé et maïs) et deux temporalités différentes (1970 et 1980). Ils sont tous deux dotés de 3 passages d'application de produits phytosanitaires. Le troisième passage de l'itinéraire numéro 1 ne présente l'application que d'un seul produit phytosanitaire tout comme celui du troisième passage de l'itinéraire 2. En revanche, le second passage de l'itinéraire 2 présente l'application de 3 produits, contre 2 pour l'itinéraire 1. Ceci illustre la potentielle complexité qui réside dans la représentativité la plus exhaustive possible du niveau d'intensification (en termes de nombre de passages et de nombre de produits appliqués à chaque passage) des itinéraires techniques phytosanitaires.

De ce fait, la saisie des données a été réalisée sur une même feuille de saisie Excel, en précisant le maximum d'informations possible (culture, date, localisation, travail du sol, fertilisation). De plus, un soin tout particulier a été apporté à la bancarisation de la source d'information, afin de pouvoir isoler ou lier les divers leviers agronomiques d'un même itinéraire technique (*i.e.* travail du sol, irrigation, fertilisation, pratiques phytosanitaires et semis) Concernant le levier des pratiques phytosanitaires, nous avons séparé les pratiques selon le type d'activité biologique (herbicide, fongicide, insecticide, régulateur de croissance) de la spécialité commerciale (produit) appliquée.

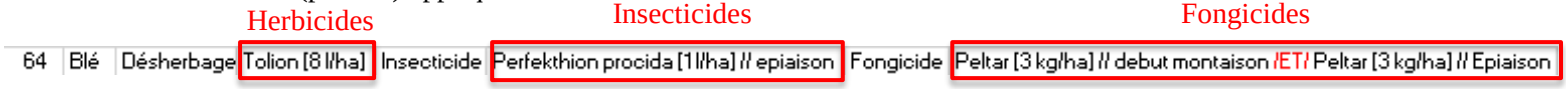
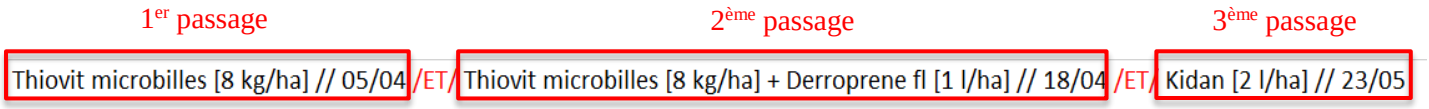


Figure 5 : Représentation d'un individu du fichier "Saisie de données".

La figure 5 représente en rouge un itinéraire phytosanitaire comportant des pratiques herbicides, insecticides et fongicides. Cependant, les données seront traitées séparément pour chaque type d'activité biologique, la figure 6 ne présente ainsi que les traitements de types fongicides. Enfin, une syntaxe particulière est prévue pour l'utilisateur dans l'objectif de segmenter l'information de façon à isoler les pratiques de chaque passage et les pratiques de chaque produit d'un même passage. De cette façon, on parvient à isoler chaque modalité représentant le niveau d'intensification de l'itinéraire technique en question. Enfin, les doses appliquées de produit sont identifiées à l'aide d'une syntaxe particulière. Il en est de même pour la date d'application. Pour résumer un « /ET/ » sépare deux lots d'informations détaillant les modalités d'application de deux passages différents. Le signe « + » sépare deux produits appliqués simultanément, leur dose appliquée respective étant précisée. Enfin, le détail des modalités d'une application se fait comme suit : le nom du produit en question est précisé en premier, et si le nom de la matière active est précisé à la place du produit alors le nom de la matière active est précisé entre parenthèses (cf. §.**2.2.2**). Ensuite, la dose appliquée est précisée, mentionnée entre crochet « [] ». Pour finir, il s'agit de mentionner la date après un double antislash « // ».



1er passage : Thiovit microbilles appliqué à 8 kg/ha le 05 avril.
2ème passage : Thiovit microbilles appliqué à 8 kg/ha et du Derroprenne fl à 1 l/ha le 18 avril.
3ème passage : Kidan appliqué à 2 l/ha le 23 mai.

Figure 6 : Illustration de la syntaxe employée.

2.2.2. Gestion de la cohérence de la base de données

Cette base de données comportant des types d'informations très diverses et étant construite à partir de documents relativement anciens, il n'est pas rare d'y trouver des erreurs de différente nature. En effet, des incohérences en lien avec les noms des produits mentionnés, les doses appliquées ou les unités de la dose appliquée peuvent être identifiées.

Lors de la construction de ce document de saisie, l'information est systématiquement confrontée à la base de données Ephy[1]. Cet outil (site internet et feuille Excel) permet d'assurer la cohérence entre le nom du produit et la dose appliquée et la conservation des unités de la dose appliquée, aspect fondamental lorsqu'il s'agira de calculer les quantités de matières appliquées pour chaque substance entrant dans la composition des produits renseignés. Lorsqu'un produit indiqué est absent de la base de données Ephy, une première vérification est effectuée afin de trouver un nom proche du produit en question, une erreur de frappe étant possible lors de la création des documents supports de l'information. Si un produit candidat est identifié, une vérification approfondie est réalisée pour s'assurer de la cohérence entre la période de commercialisation du

[1] Consultable ici : https://ephy.anses.fr/

produit et cultures cibles (exemple de l'*Arelon* mentionné dans les données avec une dose en l/ha alors qu'il s'agit d'un produit sous forme solide, nous avons donc modifié le nom du produit en *Arelon dispersion* qui est un produit liquide). Si la dose appliquée ainsi que son unité sont cohérentes, alors le produit candidat est retenu. S'il y a plusieurs candidats, celui rassemblant le plus de critères comparables à celui du produit en question est conservé (exemple avec deux produits comportant de l'isoproturon : l'*Ofal 500 autosuspensible* et le *Foxtar* qui sont tous les deux des produits sous forme liquide composés d'isoproturon. Cependant ceux-ci se différencient par le fait que l'*Ofal 500 autosupensible* ne comporte qu'une matière active alors que le *Foxtar* en contient trois). Enfin, une ultime recherche sur internet est réalisée pour retrouver des informations d'un produit correspondant. Celui-ci est alors mentionné dans une liste créée à cet effet, permettant ainsi de garder une trace de tous les produits ajoutés même s'ils ne font pas partie de la base de données Ephy, et ce, dans le but de permettre d'éventuelles vérifications futures. Enfin, si aucun candidat n'est trouvé, le produit n'est plus mentionné.

Un dernier cas de gestion de l'information peut se présenter, où aucun nom de produit n'est mentionné, mais seulement le nom de la matière active qui le compose. Dans ce cas, la matière active est notée entre parenthèses (cf. ci-dessus) et on lui attribue le nom de la spécialité commerciale ayant la plus forte occurrence des produits contenant cette matière active (exemple de l'*Ipu fl 500 stefes* qui est un produit composé exclusivement d'isoproturon et très majoritaire dans la base de données). Le produit, identifié *via* sa matière active, est celui rassemblant le plus de critères est sélectionné : avoir une date d'homologation cohérente avec ce qui est observé dans la base de données, avoir une application homologuée sur la culture concernée, présenter le moins de matières actives possibles, le cas idéal étant un produit composé exclusivement de la matière active en question afin de limiter l'incertitude sur les données saisies.

Enfin, concernant les cultures cibles des pratiques phytosanitaires, il a été décidé de conserver la nomenclature de la base ARSEINE. En d'autres termes, les multiples dénominations du blé qui ne précisent pas la qualité « tendre » ou « dur », comme c'est le cas dans la base ARSEINE, sont ventilées sous ces deux dénominations. Ainsi, tous les itinéraires concernés sont dédoublés et repartis entre ces deux groupes. Il en est de même avec le maïs avec les appellations « maïs grain » et « maïs ensilage ».

Il est à noter qu'une version de la base de données non modifiée et faisant suite directement à la saisie des données brutes est conservée afin de pouvoir revenir à un stade initial, dénué de toutes les conditions énumérées ci-dessus.

Une fois ce travail réalisé, les traitements de l'information sont effectués en commençant par une réorganisation de celle-ci afin de faciliter son analyse et enchaîner sur les étapes permettant d'aboutir à la construction des pratiques d'usage phytosanitaire types.

2.3. Chaîne de traitement pour la formalisation des pratiques d'usages phytosanitaires types

2.3.1. Restructuration des données

L'objectif de structurer la base de données intermédiaire comme précisé précédemment est de pouvoir isoler chaque information à l'aide des marqueurs syntaxiques spécifiques mentionnés dans la partie précédente (cf. Figures 5 et 6). Ainsi, chaque fragment d'information est isolé dans une cellule spécifique pour chaque itinéraire, ceci étant dépendant du nombre de passages au sein de chaque itinéraire et du nombre de produits appliqués au sein de chaque passage. Cependant, la principale difficulté dans l'analyse des pratiques phytosanitaires réside dans leur niveau d'intensification très variable d'un itinéraire à un autre. De ce fait, le nombre d'applications est très variable d'un type de pratique à un autre. Il en résulte un nouveau document complexe à traiter directement. Il a fallu utiliser un code permettant de rassembler l'information et de l'ordonner dans le tableau ci-dessous (cf. Figure 7).

Id_trait	Num Passage	Num ordre	Culture ARSeine	Periode ARSeine	Zone Geo	Type	Nom	Dose	Unite Dose	Date	Stade physio Complements
1	1	1	Ble dur	1970-1980	IDF	Herbicide	Dosanex	5	kg/ha	16/04	(Vulpin, Gaillet)
2	1	1	Ble dur	1970-1980	IDF	Herbicide	Tolion	8	l/ha	16/10	
3	1	1	Ble dur	1970-1980	IDF	Herbicide	Gesatope 50	600	g/ha		
4	1	1	Ble dur	1970-1980	IDF	Herbicide	Tribunil	2,5	kg/ha	16/04	

Figure 7 : Illustration du fichier restructuré.

Ici, l'information est harmonisée dans chaque colonne et organisée de façon à retrouver facilement l'information précédemment saisie. Ceci permet donc d'avoir une structure comparable et cohérente à celle de la base ARSEINE, en adéquation donc avec les attentes liées à la modélisation. Chaque ligne détaille l'information relative à une application de produit phytosanitaire :

- La colonne « Id_trait » renseigne l'identifiant de l'itinéraire. Des lignes détaillant de l'information appartenant à un même itinéraire auront le même identifiant ;
- La colonne « Num Passage » identifie le numéro de passage de l'application en question ;
- La colonne « Num ordre » référence le numéro d'apparition d'un produit pour le passage en question. Par exemple, si deux produits sont appliqués au cours d'un même passage pour un même itinéraire, chacun des deux produits se verra attribué le numéro de passage en question, mais un numéro d'ordre différent (l'un « 1 », et l'autre « 2 »). Il s'agit d'un sous niveau de division de l'information.

Le fichier source ainsi conçu peut alors être analysé pour déterminer les pratiques d'usages phytosanitaires types via un script dédié, codé en python.

2.3.2.Le principe du script

Afin d'expliciter la méthodologie de conception du script d'automatisation, il est nécessaire de rappeler le type de données avec lequel nous travaillons et les difficultés inhérentes à leur exploitation. Le niveau d'intensification des pratiques phytosanitaires se joue sur deux niveaux distincts : le nombre de produits appliqués simultanément et le nombre de passages d'un itinéraire.

Pour concevoir des pratiques types, il est nécessaire de s'intéresser aux tendances générales au sein de celles-ci. Il peut alors être intéressant de limiter l'intensification des pratiques en configurant le nombre de produits appliqués simultanément ainsi que le nombre de passages au sein de chaque itinéraire, ce qui est le but du script réalisé. (cf. §.**2.3.3.**) L'objectif étant l'élaboration d'une base de données intégrée à ARSEINE et utilisable pour la modélisation, il est nécessaire de représenter au mieux la diversité des pratiques tout en réduisant le nombre de produits et le nombre de passages (Figure 8). Prenons le cas suivant où l'on paramètrerait le nombre de passages à 3 et le nombre de produits appliqués simultanés à 2.

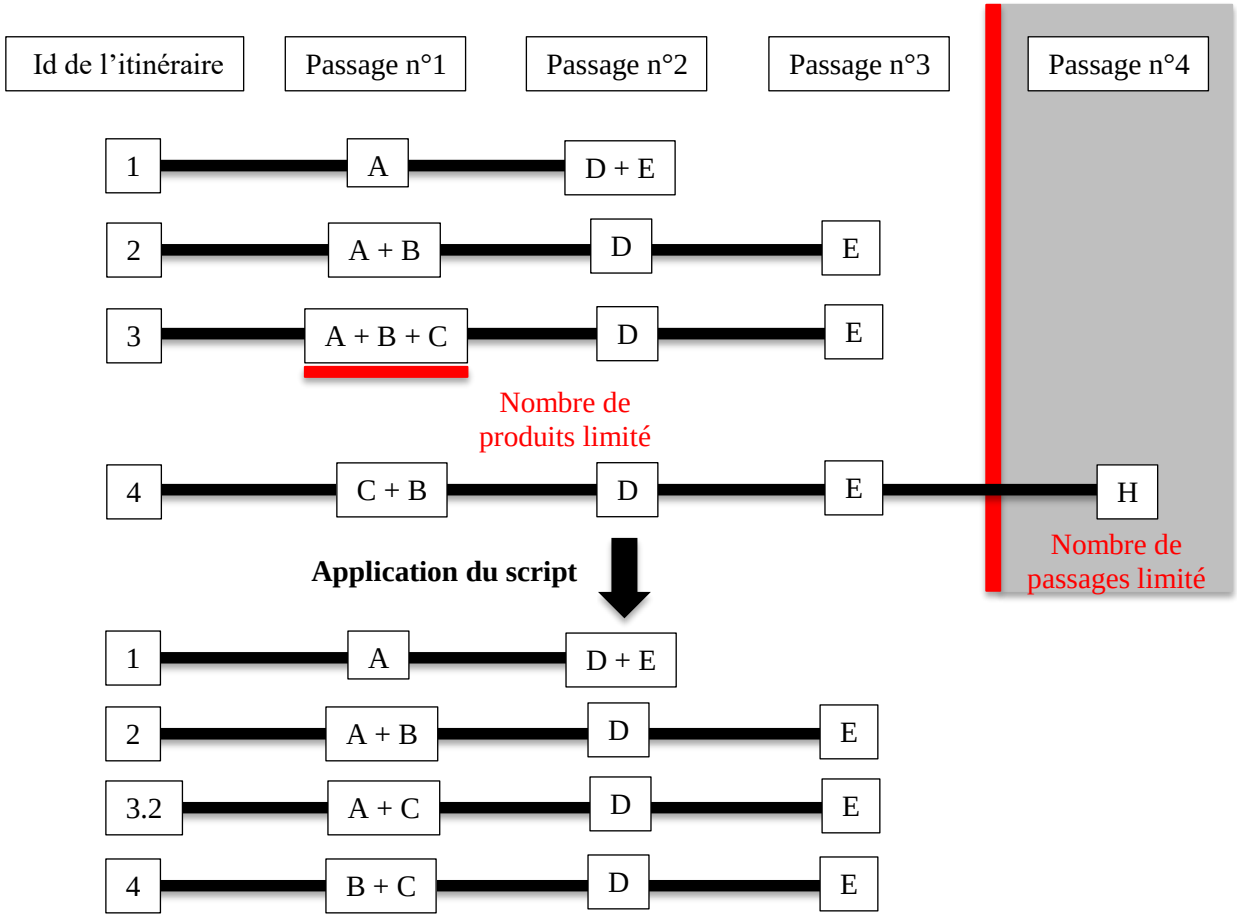


Figure 8 : Illustration du type de résultat attendu à l'issu de la chaine de traitements.

On remarque (cf. Figure 8) qu'avec les quatre itinéraires, tous différents, mais présentant des similarités, quatre nouveaux itinéraires sont obtenus, mais dont les modalités correspondent aux impératifs de simplifications fixés pour la modélisation. Les itinéraires 1 et 2 sont conservés. L'itinéraire 3 doit être modifié du fait que lors du premier passage, il y ait l'application de 3 produits simultanément, ce qui est supérieur aux deux jugés optimaux (cf. §**.2.3.3**). Il y a donc 3 combinaisons possibles de 2 éléments parmi 3 (A + B, A + C, B + C). Or, les itinéraires 2 et 4 (dénué du passage 4) présentent déjà les versions alternatives de l'itinéraire 3. De ce fait, seule la version (A + C) est unique. On obtient donc bien 4 itinéraires différents.

2.3.3. Méthodologie appliquée au script

Pour chaque couple période-culture, le script détermine les modalités d'application au premier passage et procède à une vérification du nombre de produits appliqués pour chaque modalité de l'itinéraire parcouru. Si le nombre de produits appliqués est inférieur à celui fixé par les paramétrages intégrés dans le script, la modalité d'application est conservée. Si ce n'est pas le cas, la modalité d'application est recombinée. Prenons en exemple, en parcourant les données, un cas où l'itinéraire en question comporte 5 produits appliqués simultanément au premier passage alors que dans le script, le seuil est réglé sur 2 produits. Le script propose autant de recombinaisons que possible. Ici, il y a 10 combinaisons.

L'ensemble de ces modalités sont ajoutées à une liste représentant, pour ce couple période-culture, toutes les possibilités observables au premier passage. Une fois que ce travail est réalisé, on cherche pour chaque numéro de passage (dans la limite de ce qui est réglé dans le script, ici, 3 passages) les possibilités de modalités observables en fonction de ce qui est appliqué au passage précédent. Cette construction est permise par l'utilisation de listes « imbriquées » permettant de conserver la structure de l'information du numéro de passage précédent. En reproduisant cette méthode, nous parvenons à un « arbre » (Figure 9).

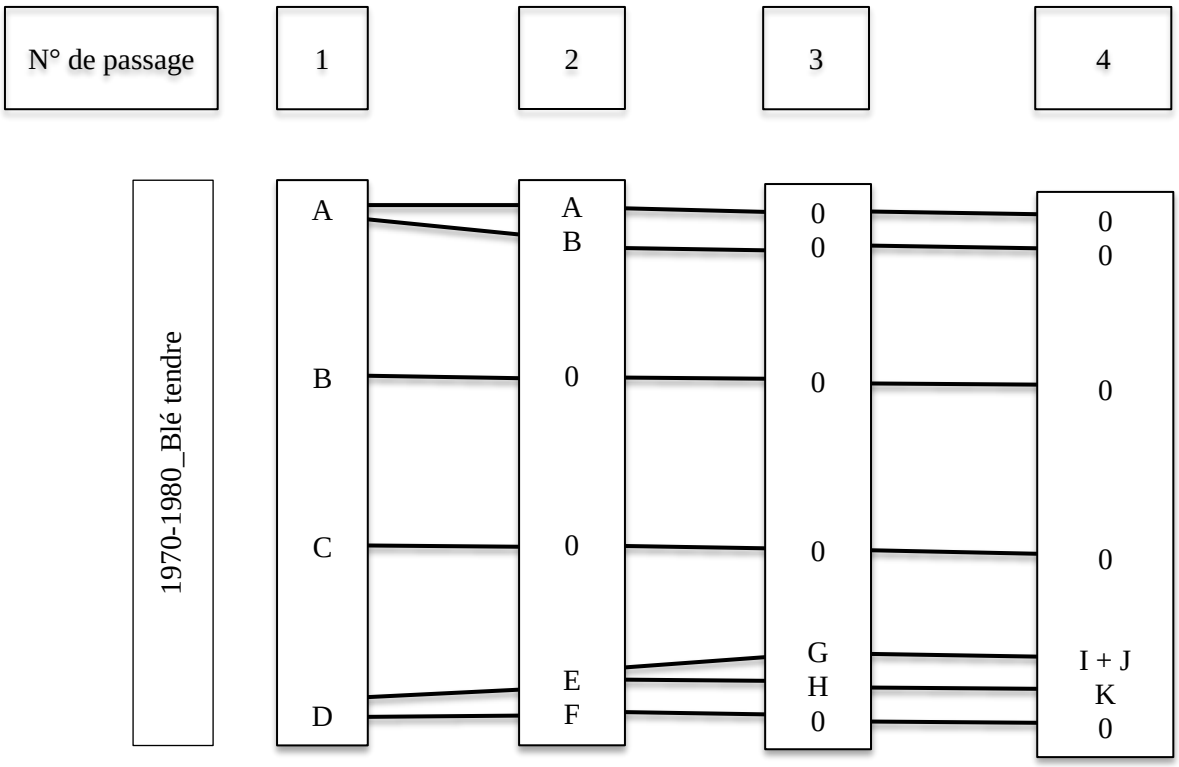


Figure 9 : Schématisation de la ramification de l'ensemble des produits appliqués au sein des itinéraires phytosanitaires du couple 1970-1980_Blé tendre.

Une fois ce résultat obtenu, il ne reste plus qu'à parcourir l'ensemble de la première branche et de balayer les dernières ramifications afin de reconstruire toutes les pratiques d'usages types dans leur intégralité et de remonter l'ensemble des nœuds.

Si on suit l'exemple précédent (Figure 9), les itinéraires doivent se construire comme suit (Tableau 1).

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des itinéraires obtenus après avoir parcouru les ramifications (cf. Figure 9).

Id de l'itinéraire	Période_culture	Passage 1	Passage 2	Passage 3	Passage 4
1	1970-1980_Blé tendre	A	A	0	0
2	1970-1980_Blé tendre	A	B	0	0
3	1970-1980_Blé tendre	B	0	0	0
4	1970-1980_Blé tendre	C	0	0	0
5	1970-1980_Blé tendre	D	E	G	I + J
6	1970-1980_Blé tendre	D	E	H	K
7	1970-1980_Blé tendre	D	F	0	0

Concernant les modalités d'applications telles que la date ou la dose appliquée, il a été convenu de les simplifier compte tenu de la diversité des pratiques retenues (diversité des produits appliqués notamment) et le niveau d'intensification des itinéraires techniques. C'est pourquoi, pour limiter la complexité, seule la dose appliquée la plus récurrente pour un produit appliqué sur un même couple période-culture a été retenue. Les dates d'application des produits sont celles des données sources pour chaque pratique type correspondante (données saisies).

Un dénombrement des occurrences de chaque pratique d'usage type est alors réalisé, afin d'en déduire leur proportion relative dans l'ensemble des données recueillies.

Cette méthodologie de la formalisation des pratiques types a été appliquée pour l'Île-de-France. Les résultats présentés dans la partie suivante seront obtenus avec les paramétrages suivants : nombre de passages fixé à 4 et nombre de produits appliqués simultanément fixé à 2. Cela signifie que les itinéraires comportant 5 passages ou plus sont pris en compte, mais que seules les données concernées par les passages 1, 2, 3 ou 4 sont retenues. À titre informatif, seulement 0,1% des itinéraires présents dans les données comportent strictement plus de 4 passages. De plus, il est important de préciser que des vérifications sont faites tout au long des diverses étapes du script de façon à s'assurer de la cohérence de la formalisation des pratiques types avec les données collectées.

3. Résultats

3.1. Niveau d'intensification des pratiques phytosanitaires dans les données d'entrée

Comme explicité précédemment, le niveau d'intensification d'un itinéraire technique est modulé par deux composantes : le nombre de passages et le nombre de produits appliqués. De ce fait, il est important de s'intéresser à ces informations. L'ensemble des informations présentées dans la suite concernent les pratiques herbicides.

3.1.1. Répartition des itinéraires selon leur nombre de passages

Pour réaliser cette analyse, nous avons déterminé le nombre de passages d'application de produit phytosanitaire maximal pour chacun des itinéraires techniques présents dans la base de données. Nous avons réparti ces itinéraires selon les groupes périodes-cultures comparable à la nomenclature des cultures renseignées dans la base ARSEINE (cf. Figure 10).

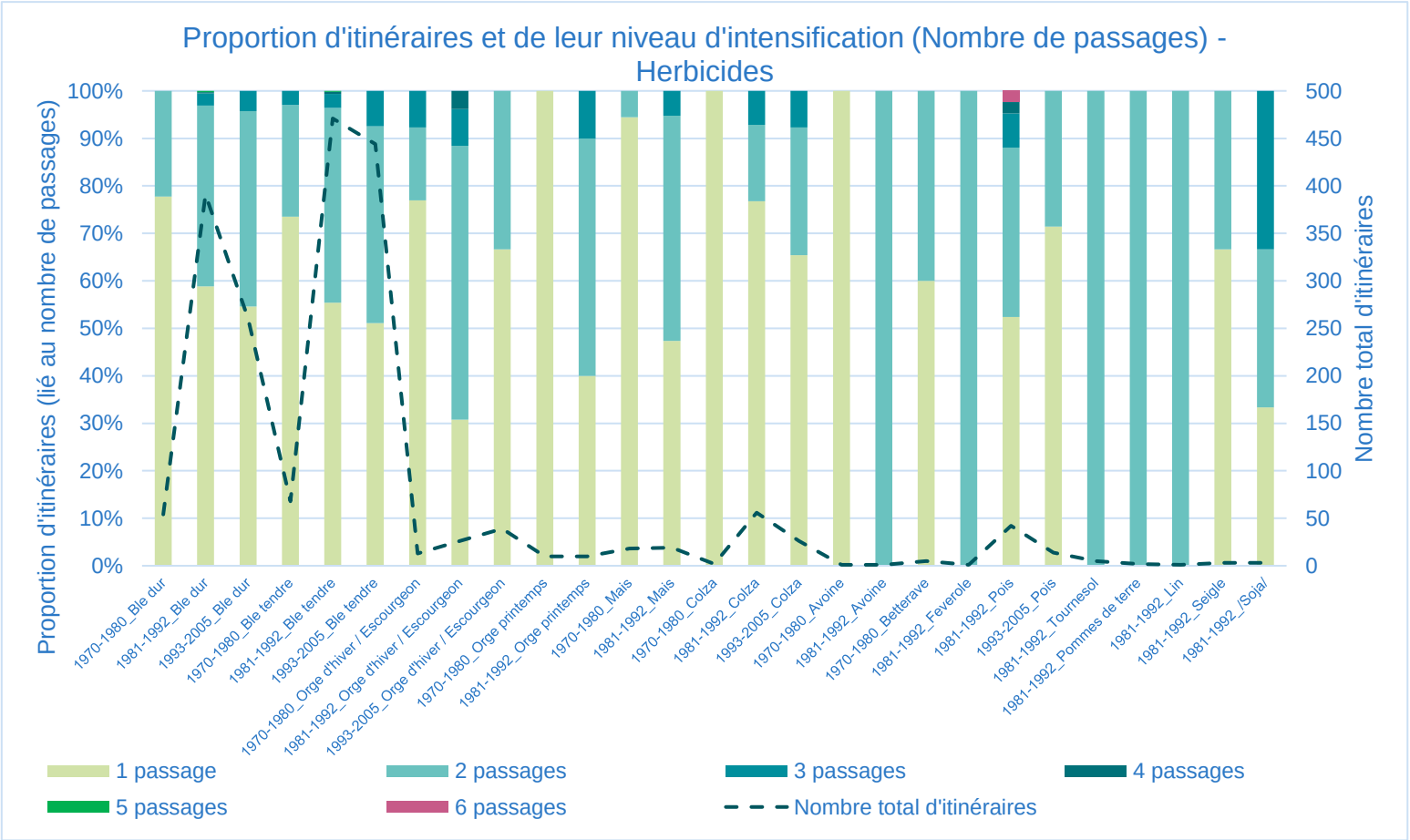


Figure 10 : Répartition des itinéraires techniques relevés en Île-de-France selon leur niveau d'intensification (Nombre de passages).

Ce sont les itinéraires concernant la culture du blé qui sont les plus représentés. Il est plus facile d'obtenir des données sur les pratiques moins anciennes. Enfin, la très grande majorité des pratiques phytosanitaires ne présente pas plus de 2 passages. Seules les pratiques sur le soja et sur la période 1981-1992 présentent 33% de leurs itinéraires avec 3 passages. Cependant, il n'y a que 3 itinéraires qui concernent ce couple période-culture.

On note une augmentation du nombre de passages par itinéraire d'une période à une autre sur une même culture :

- Blé dur 1970-1980 : 78% avec 1 passage | 22% avec 2 passages.
- Blé dur 1981-1992 : 59% avec 1 passage | 38 % avec 2 passages | 3% avec 3 passages.
- Blé dur 1993-2005 : 55% avec 1 passage | 41 % avec 2 passages | 4 % avec 3 passages.

3.1.2. Répartition des itinéraires selon leur nombre d'applications

Pour réaliser ce document, une approche similaire a été adoptée mais en se concentrant sur le nombre d'applications totales pour chaque itinéraire (Figure 11).

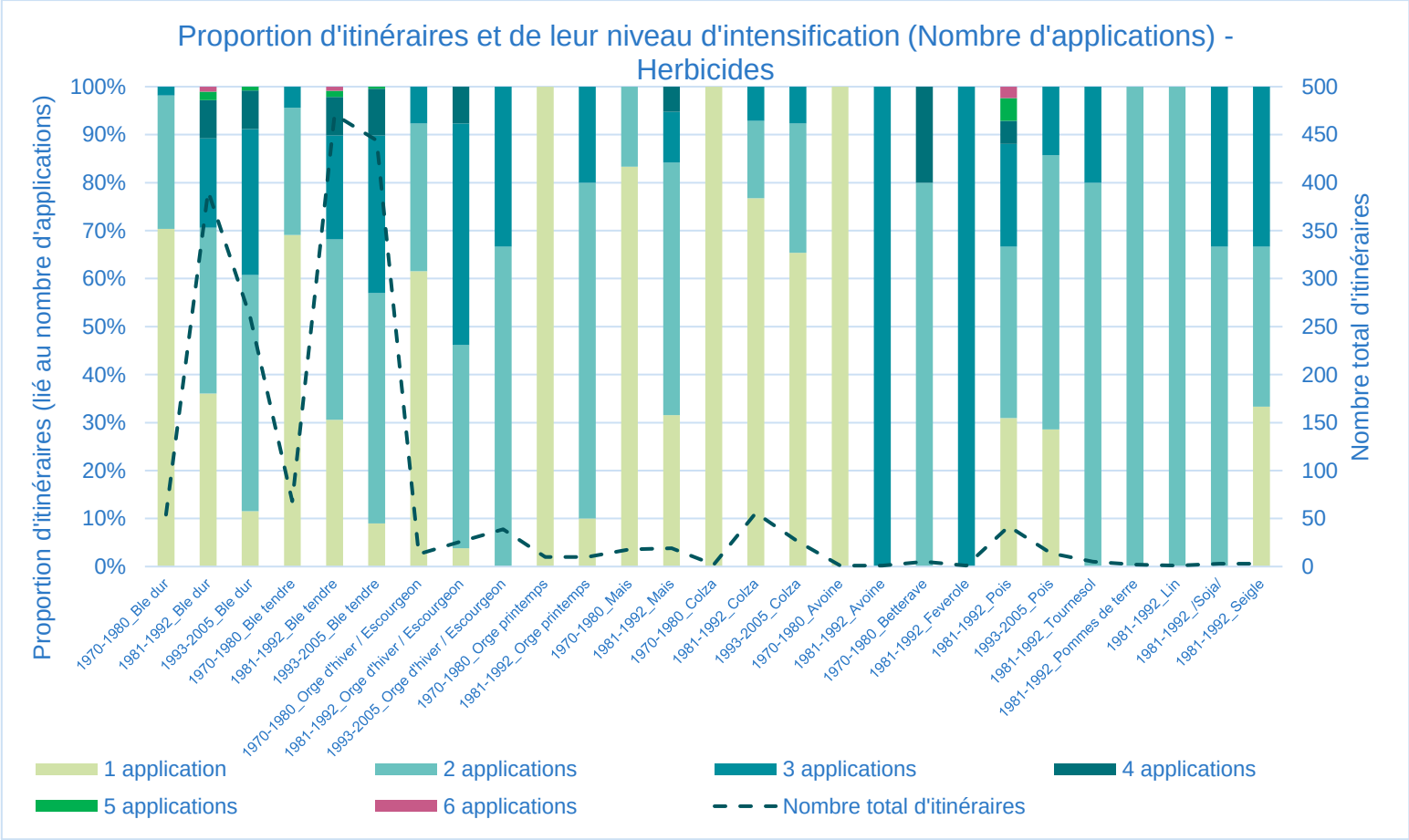


Figure 11 : Répartition des itinéraires techniques relevés en Île-de-France selon leur niveau d'intensification (Nombre d'applications).

Globalement, on remarque que la majorité des pratiques comportent de 1 à 3 applications maximum. De même que précédemment, on observe une augmentation du nombre d'applications sur une même culture, d'une période à une autre :

- Blé dur 1970-1980 : 70% avec 1 application | 28% avec 2 applications | 2% avec 3 applications
- Blé dur 1981-1992 : 36% avec 1 application | 35 % avec 2 applications | 19% avec 3 applications | 8% avec 4 applications | 2% avec 5 applications | 1% avec 6 applications
- Blé dur 1993-2005 : 12 % avec 1 applications | 49 % avec 2 applications | 30% avec 3 applications | 8% avec 4 applications | 1% avec 5 applications.

La superposition des informations apportées par les deux graphiques 10 et 11 illustre la structuration des itinéraires relevés en Île-de-France en termes de nombre de passages et de nombre de produits appliqués à chacun d'entre eux. Si on reprend l'analyse précédente, on peut déjà considérer que la majorité des itinéraires techniques comportent 2 passages avec une application de 1 à 2 produits pour chacun d'entre eux.

Ceci concernait les données recueillies puis corrigées. Le paragraphe suivant analyse les pratiques types déterminées, à la suite des traitements informatiques des données.

3.2. Exploitation des pratiques types post traitements et le calcul des quantités de matières actives appliquées

Pour ce faire, nous avons cherché à calculer les quantités de matières actives appliquées par hectare de culture aux différentes périodes étudiées. La quantité de matières actives appliquées a été calculée en utilisant la dose appliquée, la concentration ainsi que la fréquence de représentativité (servant de pondération) de la pratique type (calculée pour les données recueillies) pour chaque couple période-culture à l'échelle du cycle de développement d'une culture. Une fois toutes ces données obtenues, l'ensemble des quantités de matières actives ont été sommées pour chaque matière active de façon à aboutir à la quantité de matière active totale appliquée à chaque couple période-culture. Ces données ont par la suite été triées par ordre décroissant de façon à faire apparaitre plus facilement les matières les plus employées.

De plus, il est important de rappeler ici que l'ensemble des itinéraires associés à une culture de blé dont la nomenclature ne correspondait pas à celle de la base ARSEINE (par exemple un itinéraire associé à une culture de « blé hiver » se verra dédoublé afin de pouvoir l'assimiler aux itinéraires pratiqués sur « blé tendre » et sur « blé dur » (cf. §.**2.2.2.**). Ainsi, les dénominations « blé hiver » ou « blé printemps » disparaissant au profit des dénominations utilisées dans la base ARSEINE, les pratiques dépendant de la date de semis sont mélangées et réparties au sein de ces deux groupes. Ceci a pour conséquence que la saisonnalité des applications de pesticides ne pourra pas être visible. Afin d'avoir des éléments de compréhension à cette question, un calendrier des applications concernant les matières actives a été réalisé et est présenté dans les annexes (cf. Annexe 2). Enfin, pour parfaire l'analyse des documents suivants, il faudrait s'intéresser aux concentrations des spécialités commerciales par matières actives et par période.

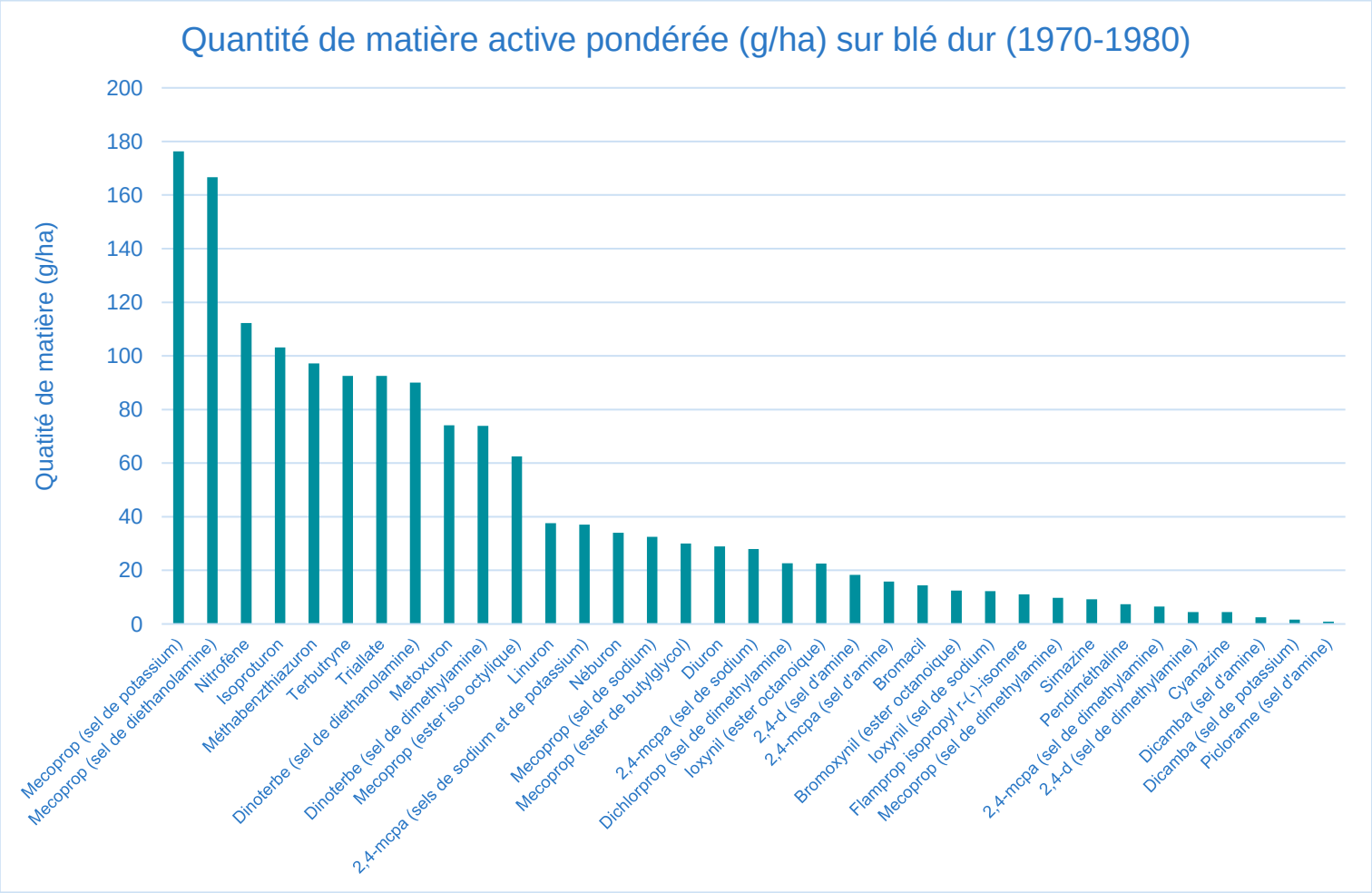


Figure 12 : Quantités des matières actives pondérées les plus appliquées sur le blé dur entre 1970 et 1980.

Concernant le blé dur cultivé entre 1970 et 1980, le mecoprop, le nitrofène et l'isoproturon sont les 4 matières actives les plus employées (cf. Figure 12).

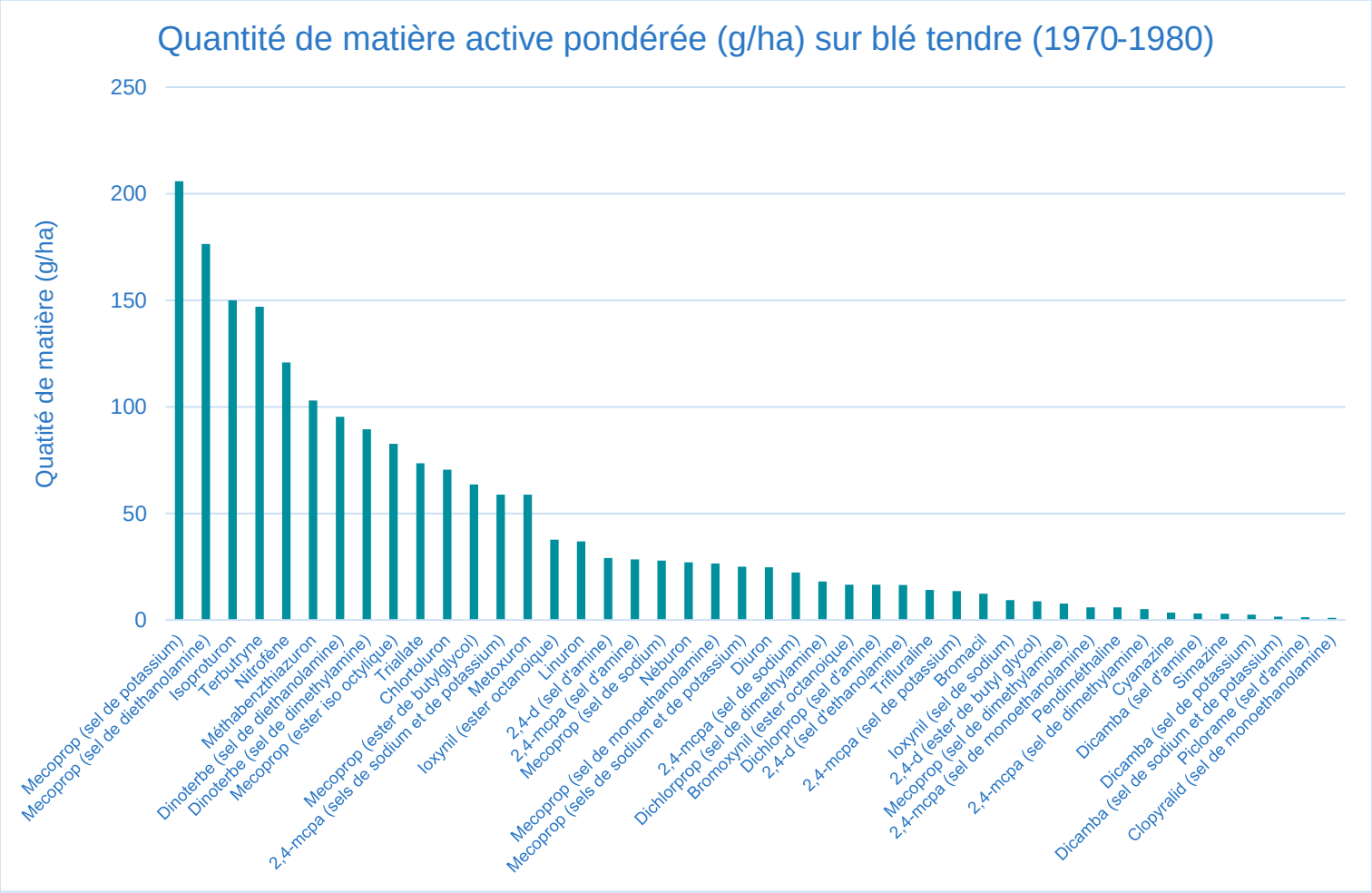


Figure 13 : Quantités des matières actives pondérées les plus appliquées sur le blé tendre entre 1970 et 1980.

Concernant le blé tendre, le mecoprop et l'isoproturon apparaissent majoritairement, suivis de la terbutryne et du nitrofène (Figure 13). Ces résultats sont intéressants, car les matières actives les plus appliquées sur le blé, dur ou tendre, sont très semblables pour cette période 1970-1980. Il est dommage de ne pas pouvoir faire la distinction entre les blés de printemps et d'hiver, ce qui nous aurait permis de distinguer les pratiques au cours de l'année.

Il est intéressant de remarquer que ces mêmes matières actives sont encore appliquées sur le blé (dur et tendre) pour la période 1981-1992 (Figures 14 et 15).

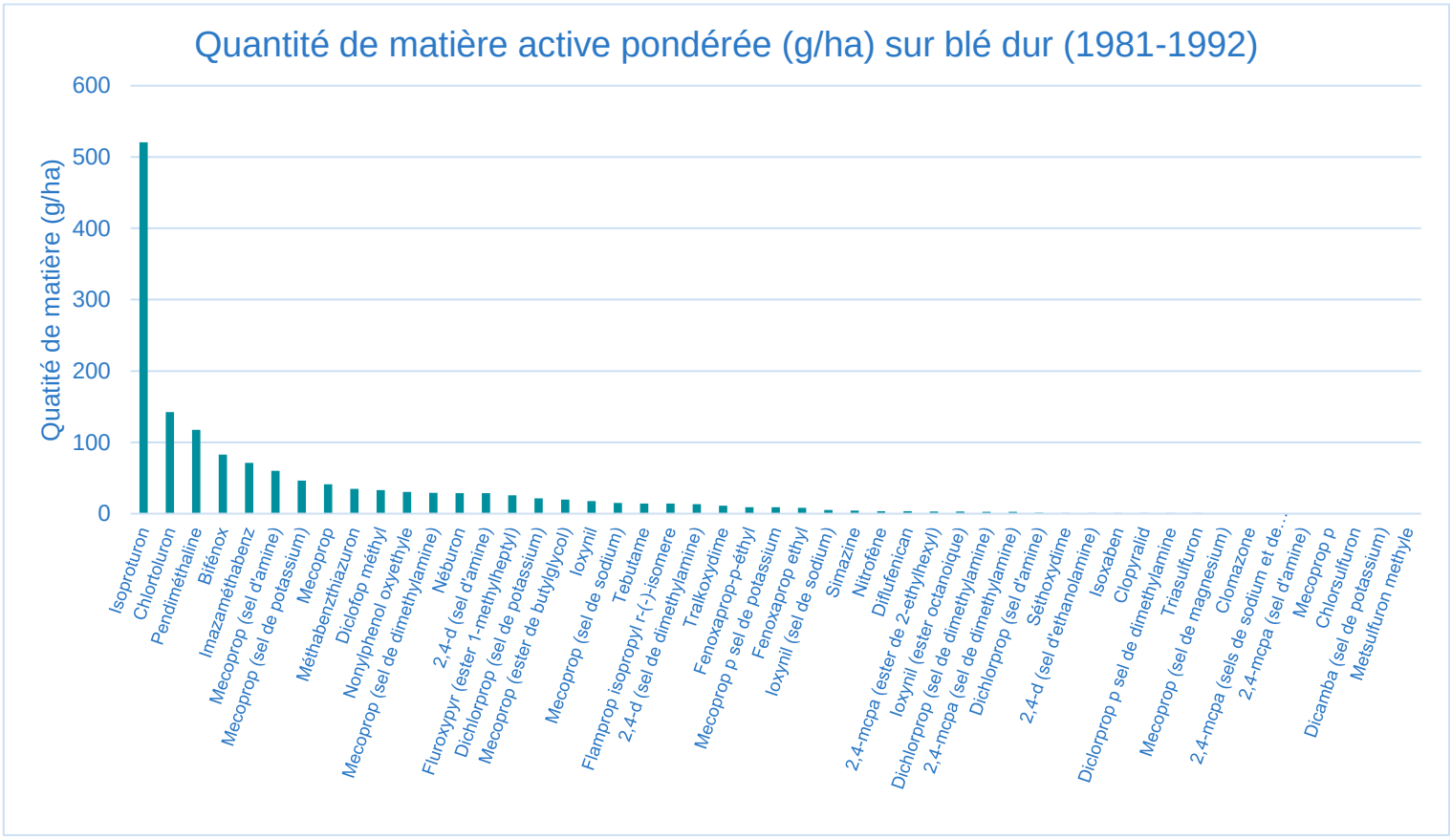


Figure 14 : Quantités des matières actives pondérées les plus appliquées sur le blé dur entre 1981 et 1992.

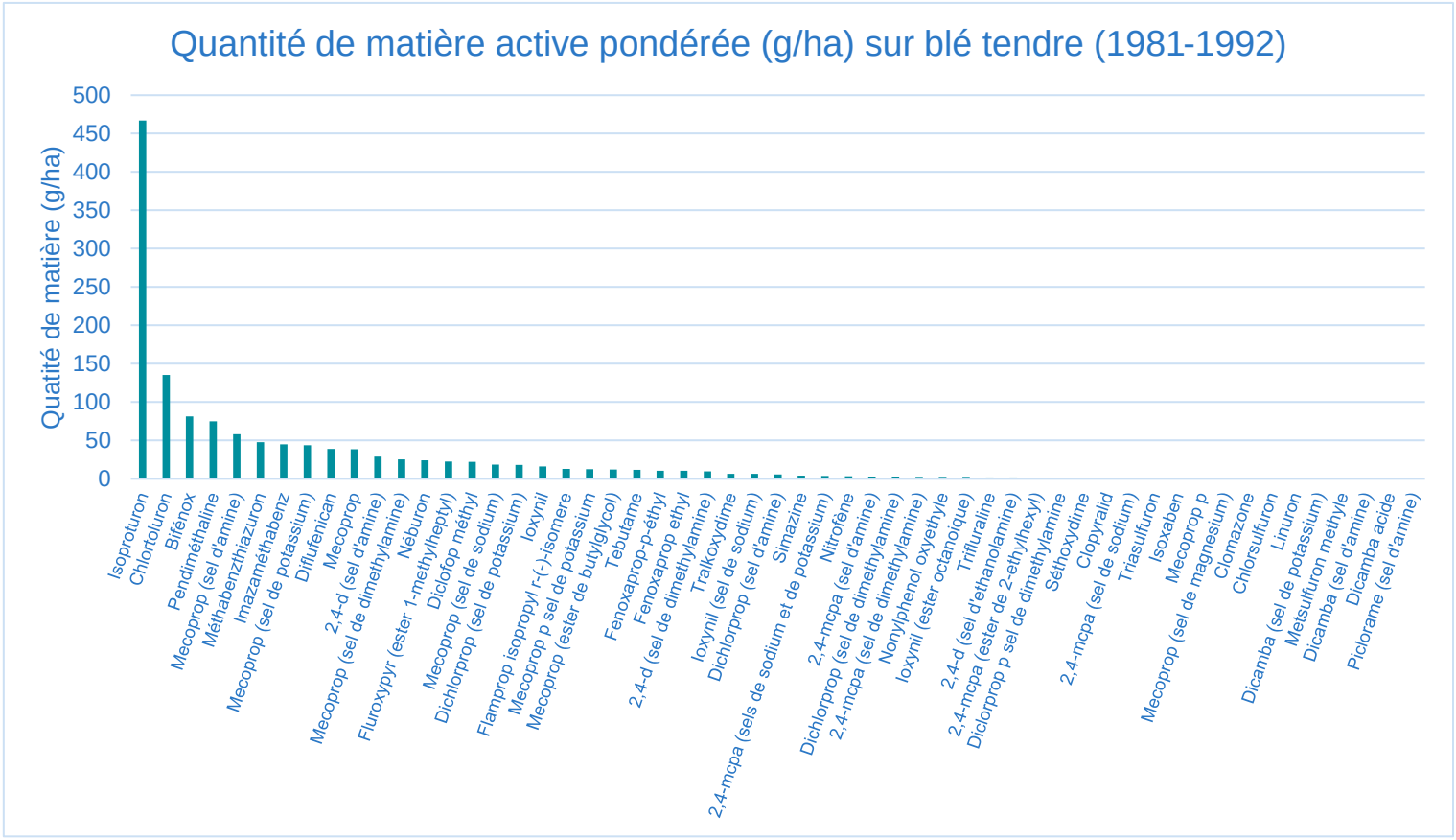


Figure 15 : Quantités des matières actives pondérées les plus appliquées sur le blé tendre entre 1981 et 1992.

De 1981 à 2005, la matière active majoritaire la plus utilisée sur blé dur ou blé tendre était l'isoproturon avec près de 500 g/ha. Les autres substances sont le chlortoluron, le bifénox, la pendiméthaline et le mecoprop, qui sont utilisés à des quantités comprises entre 50 et 150 g /ha.

Cette répartition est identique pour la période 1993-2005, avec l'apparition du diflufenican et le prosulfocarb dans les 5 substances les plus utilisées (Figures 16 et 17).

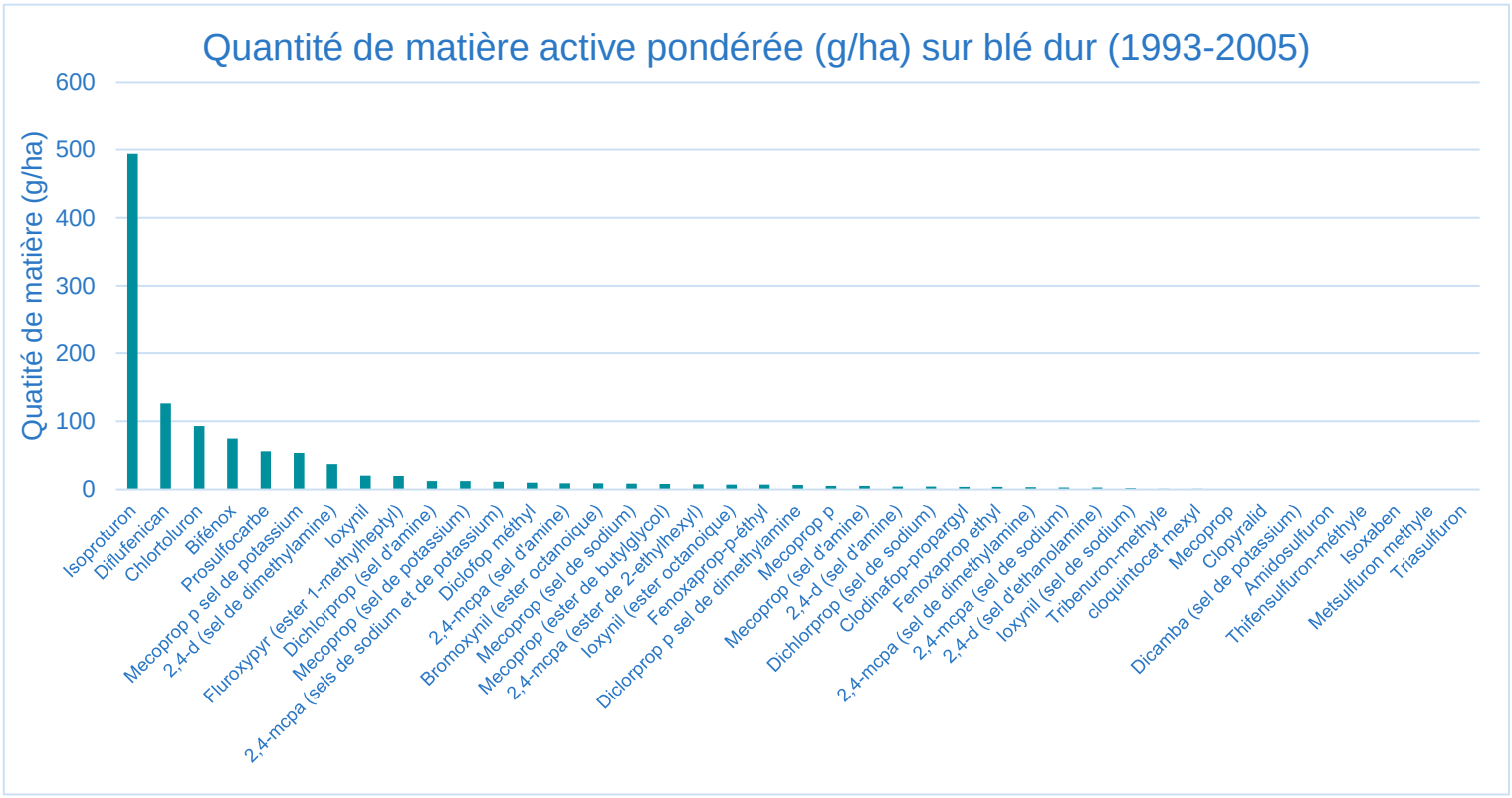


Figure 16 : Quantités des matières actives pondérées les plus appliquées sur le blé dur entre 1993 et 2005.

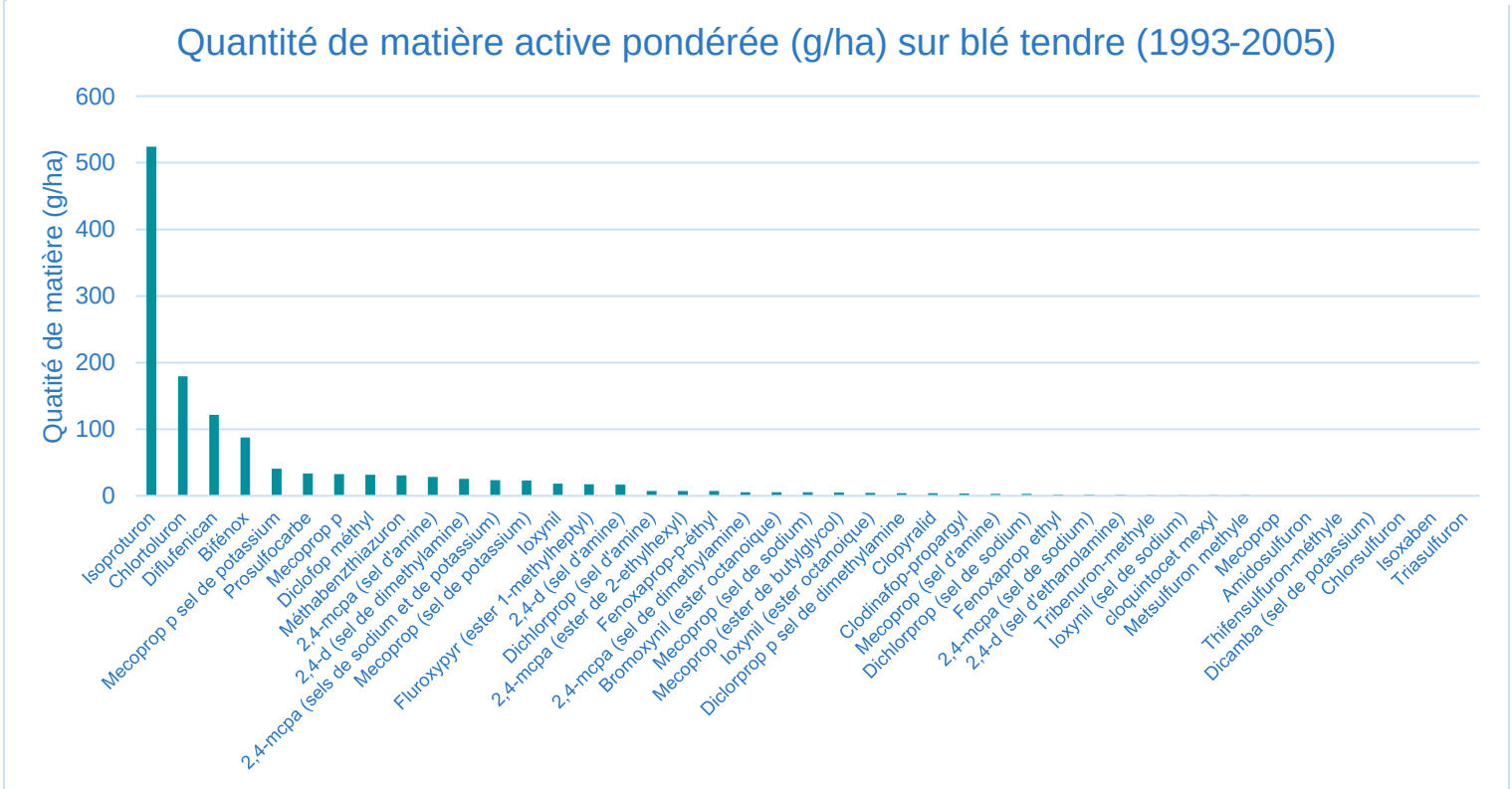


Figure 17 : Quantités des matières actives pondérées les plus appliquées sur le blé tendre entre 1993 et 2005.

Conclusion et perspectives

Ce document détaille dans son ensemble et illustre la démarche entreprise et appliquée du recueil des données à leur traitement, aboutissant ainsi à la formalisation de pratiques phytosanitaires types. Une chaine de traitement sous Python a été construite, sur la base d'un premier traitement réalisé d'abord manuellement pour l'Île-de-France. Ces premiers traitements pour l'Île-de-France, intégrés dans ARSEINE, ont déjà montré leur compatibilité avec les attentes de la modélisation PeSTICS.

Le traitement automatisé reproduit bien les pratiques établies à la main, de sorte que la formalisation des pratiques phytosanitaires sur les autres régions du bassin Seine-Normandie va pouvoir être accélérée. La finalité de ce travail, et notamment de ces codes Python, est de fournir un fichier intégrable à la base ARSEINE à l'échelle du territoire Seine-Normandie ce qui n'avait pas été le cas pour les premiers travaux sur les pratiques phytosanitaires (Queyrel, 2014 ; Puech et al., 2015, 2018).

La poursuite du travail concerne le recueil des données anciennes sur les territoires du bassin Seine-Normandie pour lesquels les informations recueillies sont parcellaires, la saisie de ces données et leur traitement (Annexe 1). La base de données BNV-d sera aussi utilisée pour la période récente (depuis 2008). Cependant, la BNV-D ne donne pas l'information ni de la date d'application, ni de la culture traitée ; elle est annualisée. La spatialisation des usages sera ainsi meilleure, mais la répartition temporelle des usages au cours de l'année sera perdue. Il faudra évaluer dans quelle mesure cette information peut être reconstituée à partir des dossiers d'homologation et conseils agricoles, ou sinon le biais apporté à cette incertitude. Toutes ces données, de 1970 à nos jours, et pour l'ensemble du bassin Seine-Normandie, seront prises en charge par la chaîne de traitement (Formalisation des pratiques/ARSEINE/CaWaQS). Cette modélisation permettra de simuler une prospective de l'état des masses d'eau souterraines sur le long terme pour certaines substances, outre celle de la contamination nitrique déjà établie. Si la prise en compte d'une plus grande diversité des pratiques s'avérait nécessaire, une amélioration du code pourrait être réalisée (augmentation des modalités d'applications, avec les doses appliquées et les dates d'application).

Bibliographie

AESN. (2021). Contamination des cours d'eau et des eaux souterraines du bassin Seine-Normandie par les pesticides et leurs produits de dégradation. Document de synthèse de l'état des lieux 2019, Agence de l'Eau Seine-Normandie, 76 p. Consultable à l'adresse : http://www.eau-seine-normandie.fr/node/3771

Gallois N., Puech T., Viennot P. (2018). Modélisation des pollutions diffuses d'origine agricole sur le bassin Seine-Normandie. Vol 7 : Modélisation des transferts de produits phytosanitaires vers les eaux souterraines : Cas de l'atrazine et de ses métabolites sur le bassin amont de la Vesle (Marne). Rapport technique INRA/ ARMINES/MINES ParisTech, 141 p.

Gallois N., Rivière A., Flipo N. (2020). Développements numériques au sein de la plateforme de modélisation des hydrosystèmes CaWaQS: Introduction de premières fonctionnalités de transport conservatif, rapport de synthèse de phase 8 du PIREN-Seine, 25 p.

Kilic D., Rivière A., Wang S., Gallois N., Flipo N. (2021). Développement du transport de chaleur et de soluté au sein de la plateforme de modélisation des hydrosystèmes CaWaQS, rapport de synthèse de phase 8 du PIREN-Seine, 30 p.

Puech T., Schott C., Mignolet, C. (2018a). Évolution des bases de données pour caractériser les dynamiques des systèmes de culture sur le bassin Seine-Normandie. Modélisation des pollutions diffuses d'origine agricole sur le bassin Seine-Normandie, Volume 1/7. 228.

Puech T., Schott C., Mignolet, C. (2018b). Évolution de l'usage des produits phytosanitaires sur le bassin Seine-Normandie., Rapport technique d'étude INRA, volume 6/7 in: Modélisation des pollutions diffuses d'origine agricole sur le bassin Seine-Normandie, étude INRA/ARMINES/MINES ParisTech , 84 p

Puech T., Schott C., Mignolet C. (2019) ARSEINE - Base de données régionalisées sur le bassin Seine-Normandie. 2019. ⟨hal-02789678⟩

Puech T., Schott C., Mignolet C., Gallois N., Viennot P. (2015). Modélisation exploratoire de la pollution des eaux souterraines par deux pesticides : Isoproturon et Atrazine, in: Modélisation hydrogéologique des pollutions diffuses d'origine agricole. Rapport PIREN-Seine phase 7.

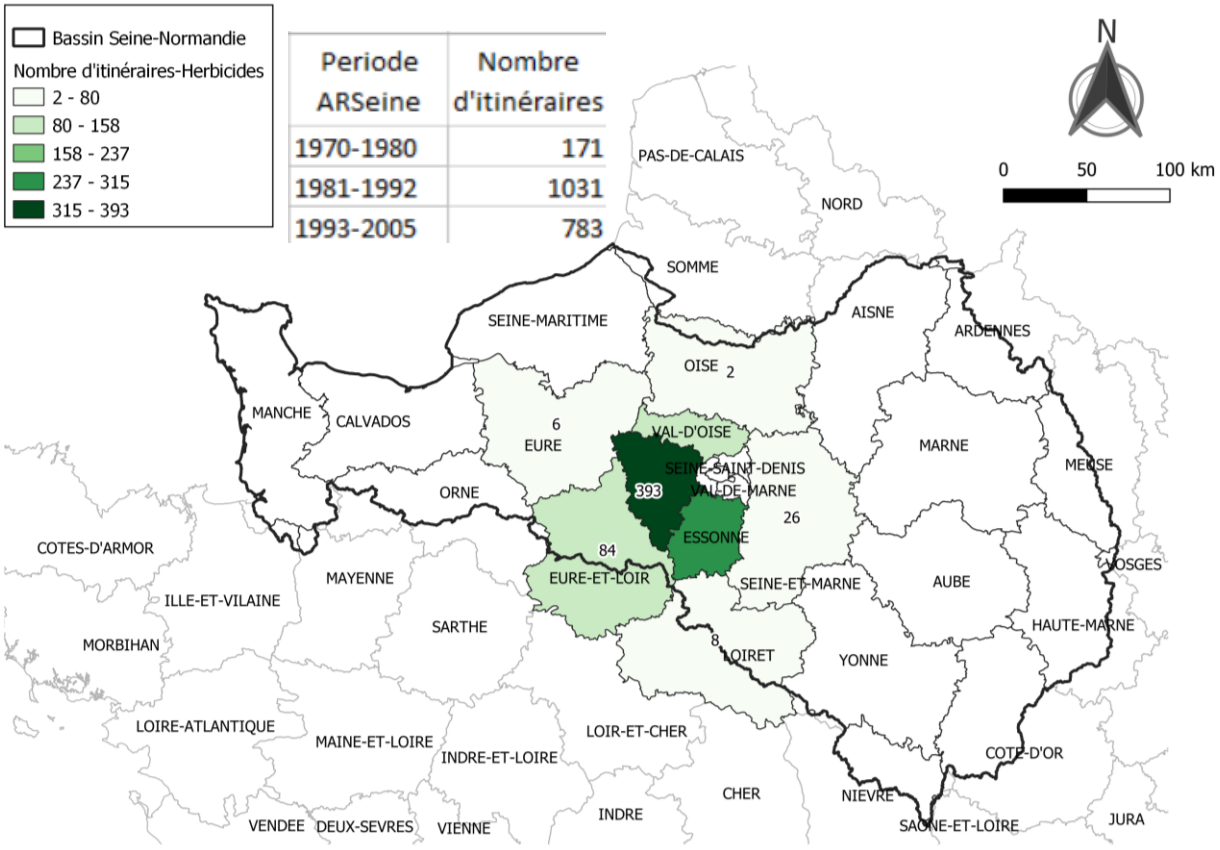
Queyrel W. (2014). Modélisation du devenir des pesticides dans les sols à partir d'un modèle agronomique : évaluation sur le long terme. Thèse de doctorat, Sciences agricoles. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 276 p.

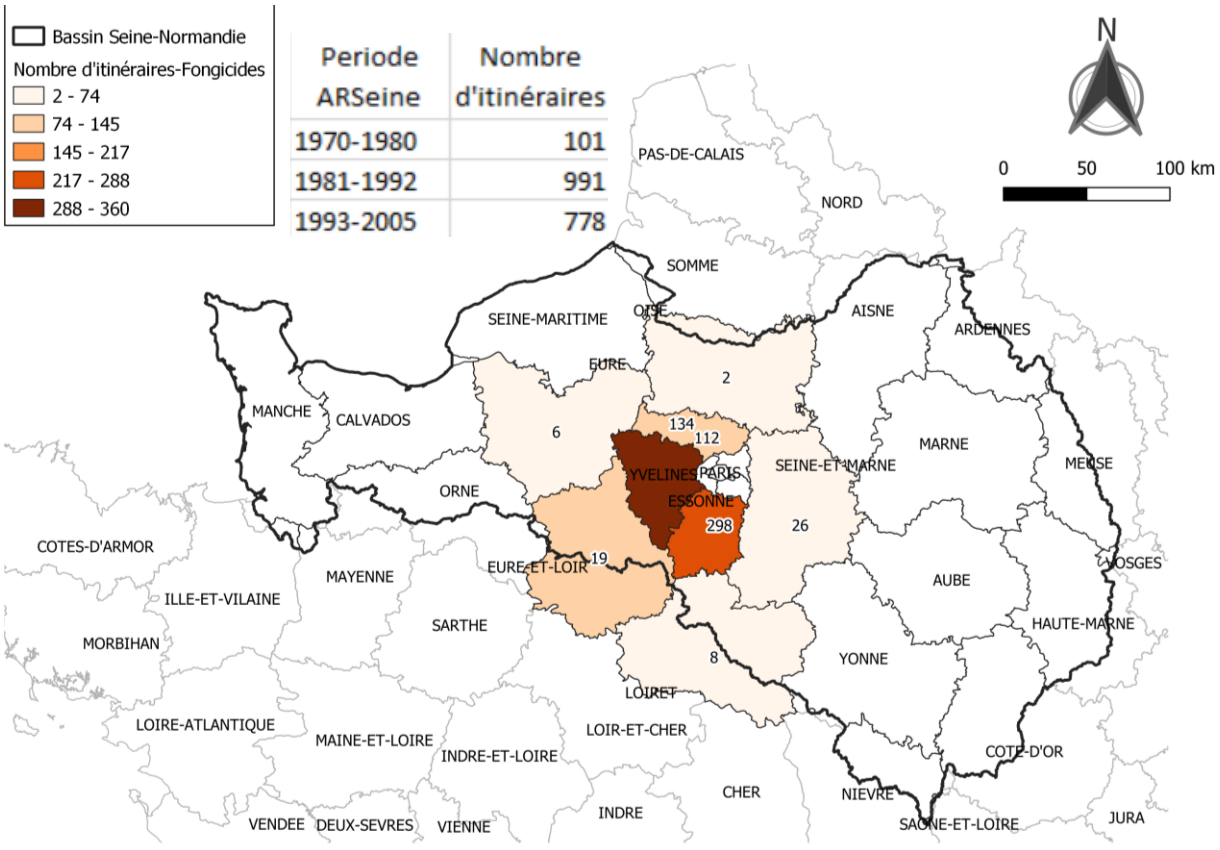
Rat A., Ledoux E., Viennot P. (2004) Transferts de pesticides vers les eaux souterraines, modélisation à l'échelle d'un bassin versant (Cas d'étude du bassin amont de la Vesle). Rapport du PIREN-Seine 116p.

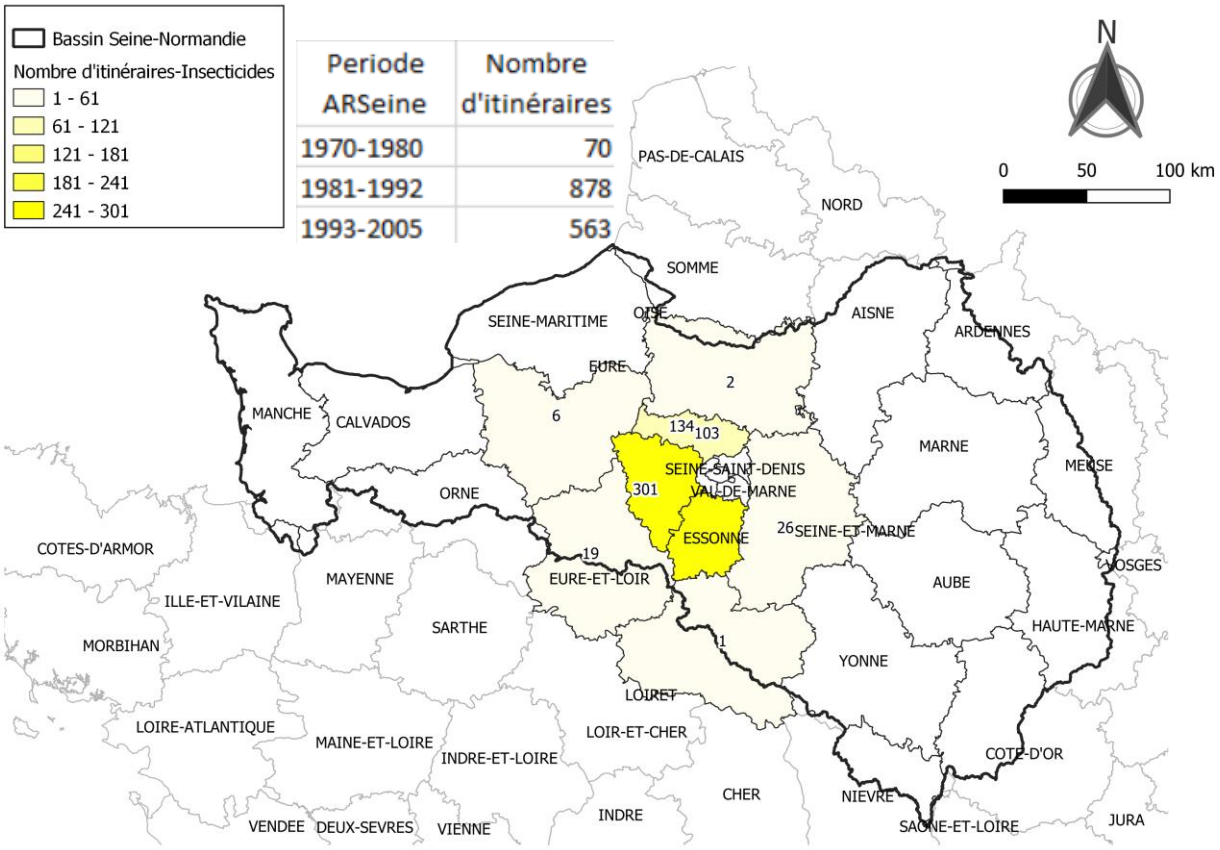
Sébillotte M. (1974). Agronomie et agriculture : essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cahiers ORSTOM.Série Biologie, (24), p. 3-25. ISSN 0068-5208

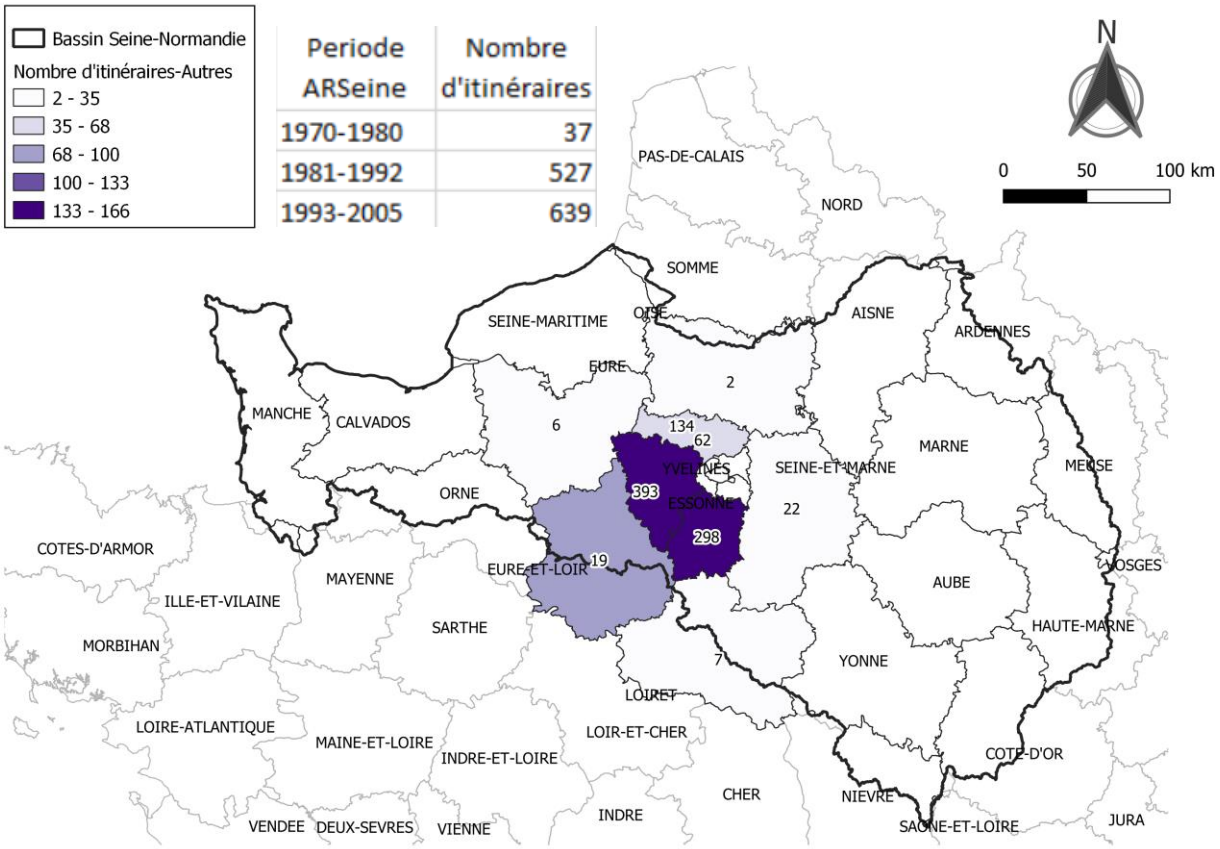
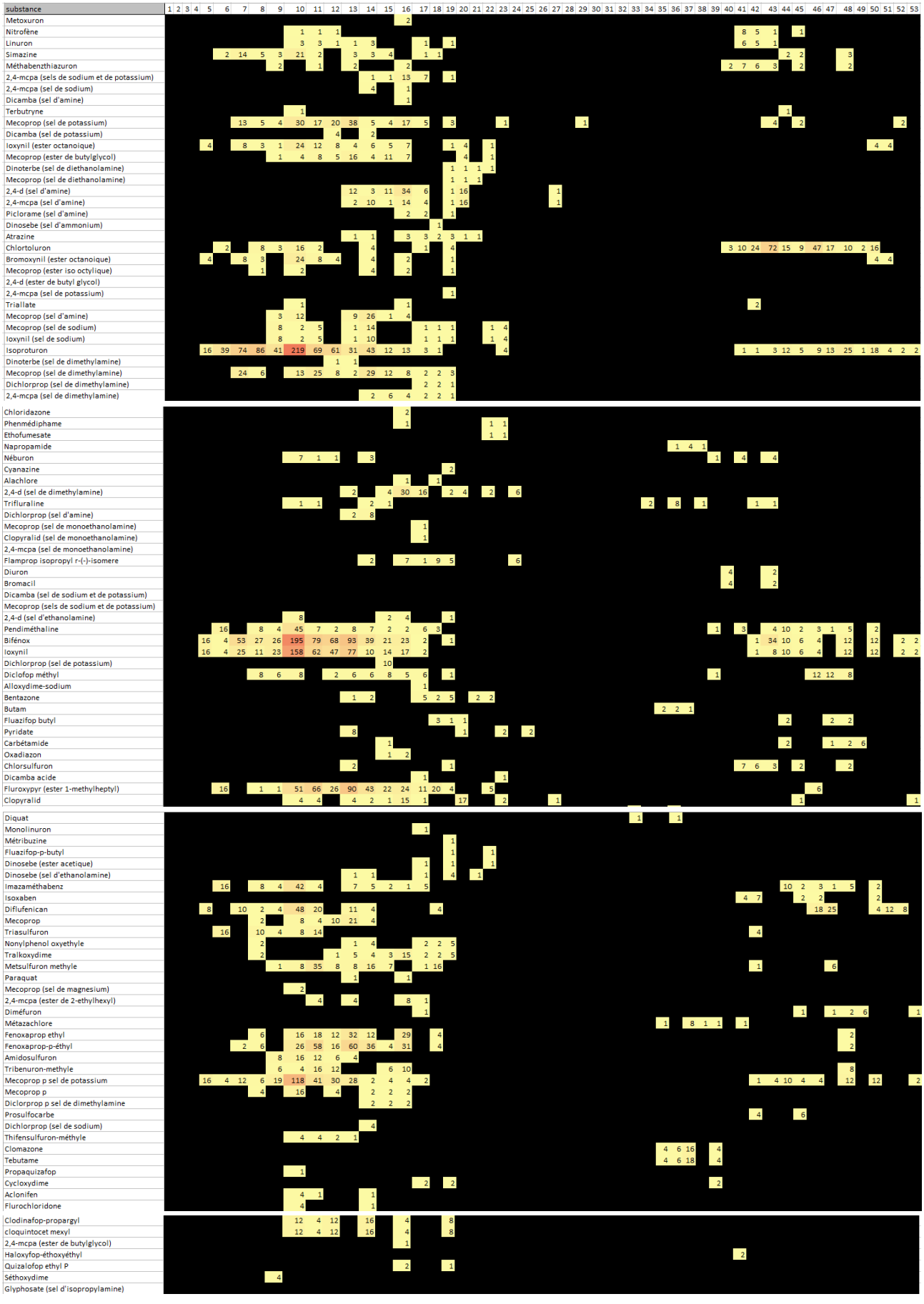
Annexes

Annexe 1 : Ces quatre cartes représentent le niveau d'avancement du recueil des données par types d'activité biologiques.






Bassin Seine-Normandie
Nombre d'itinéraires-Insecticides
1 - 61
61 - 121
121 - 181
181 - 241
241 - 301
Periode ARSeine
Nombre d'itinéraires
1970-1980
70
1981-1992
878
1993-2005
563
N
0
50
100 km
PAS-DE-CALAIS
NORD
SOMME
OISE
AISNE
ARDENNES
SEINE-MARITIME
EURE
MANCHE
CALVADOS
ORNE
SEINE-SAINT-DENIS
VAL-DE-MARNE
ESSONNE
SEINE-ET-MARNE
MARNE
MEUSE
COTES-D'ARMOR
MAYENNE
EURE-ET-LOIR
AUBE
VOSGES
ILLE-ET-VILAINE
SARTHE
HAUTE-MARNE
MORBIHAN
YONNE
LOIRET
LOIRE-ATLANTIQUE
MAINE-ET-LOIRE
LOIR-ET-CHER
INDRE-ET-LOIRE
COTE-D'OR
CHER
NIEVRE
INDRE
VENDEE
DEUX-SEVRES
VIENNE
SAONE-ET-LOIRE
JURA
2
6
134
103
301
8
26
19
1


Bassin Seine-Normandie
Nombre d'itinéraires-Autres
2 - 35
35 - 68
68 - 100
100 - 133
133 - 166
Periode ARSeine
Nombre d'itinéraires
1970-1980
37
1981-1992
527
1993-2005
639
N
0
50
100 km
PAS-DE-CALAIS
NORD
SOMME
OISE
AISNE
ARDENNES
SEINE-MARITIME
EURE
MANCHE
CALVADOS
ORNE
YVELINES
ESSONNE
SEINE-ET-MARNE
MARNE
MEUSE
COTES-D'ARMOR
MAYENNE
EURE-ET-LOIR
AUBE
VOSGES
ILLE-ET-VILAINE
SARTHE
HAUTE-MARNE
MORBIHAN
YONNE
LOIRET
LOIRE-ATLANTIQUE
MAINE-ET-LOIRE
LOIR-ET-CHER
INDRE-ET-LOIRE
COTE-D'OR
CHER
NIEVRE
INDRE
VENDEE
DEUX-SEVRES
VIENNE
SAONE-ET-LOIRE
JURA
2
6
134
62
393
298
22
19
7

Annexe 2 : Calendrier d'applications des matières actives. Il est construit à l'aide du numéro de semaines figurant en haut du document.