



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable des Pays de la Loire : état des lieux régional et pistes d'action

Rapport final

BRGM/RP-74808-FR

Version 2 du 31 octobre 2025

Étude réalisée dans le cadre des projets de recherche

Auterives Chrystelle, Baran Nicole

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : C. Le Guern	Nom : X. Rachez
Fonction : R&D géosciences de l'environnement	Fonction : Directeur Régional Pays de la Loire
Date : 03/11/2025	Date : 07/11/2025
Signature : 	Signature : 

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés : Pesticides ; produits phytosanitaires ; ressource en eau ; qualité ; pression ; impact ; captage ; alimentation eau potable ; Pays de la Loire

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Auterives C., Baran N. (2025) – Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable des Pays de la Loire : état des lieux régional et pistes d'action. Rapport final 1. BRGM/RP-74808-FR, 165 p.

© BRGM, 2024, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

IM0003-MT0008-P2-20/04/2022

Synthèse

Le bilan annuel (2024) de la qualité de l'eau en Pays de la Loire¹ fait état d'une eau distribuée de bonne qualité vis-à-vis des pesticides. 99 % de la population ligérienne est alimentée par une eau conforme. Cependant ces résultats sont à nuancer. En effet, dans les situations d'eau brute dégradée, la conformité de l'eau distribuée est assurée par des moyens curatifs (mélange, traitement) dont l'efficacité n'est pas toujours garantie. Concernant la ressource (eau brute), la synthèse régionale (2002-2014) sur la contamination des eaux superficielles par les pesticides (DREAL, 2016) fait état que les eaux superficielles sont globalement contaminées par les pesticides en Pays de la Loire. Il n'y a pas encore d'études équivalentes disponibles sur la contamination des eaux souterraines.

Dans ce contexte, l'Etat et la Région Pays de la Loire se sont engagés dans un plan « Eau – Etat – Région ». Sous l'égide du préfet de région, l'ARS, la DREAL et la DRAAF des Pays de la Loire se mobilisent pour la reconquête de la qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine (EDCH) de la région vis-à-vis des pesticides et de leurs produits de dégradation. Dans le cadre d'une convention de recherche et développement entre l'ARS, la DREAL, la DRAAF et le BRGM, le BRGM est sollicité pour établir et mettre à disposition (1) un **état des lieux** régional précis de la situation de la ressource en eau de surface et souterraine au regard des usages et de la vulnérabilité du territoire vis-à-vis des pesticides et de leurs métabolites ; et (2) un **bilan des connaissances utilisables** par tous les acteurs de l'eau rencontrant des problématiques de gestion liée à l'occurrence de pesticides et/ou de leurs métabolites sur le territoire.

L'**état des lieux** fournit deux **indicateurs d'impact**, le taux de quantification et la fréquence de dépassement de la valeur 0,1 µg/L, pour 39 substances actives sélectionnées conjointement pour leur intérêt régional (fréquence d'usage et/ou de dépassement) et 42 métabolites associés. Ils sont calculés par station hydrologique pour les eaux de surface et par qualitomètre pour les eaux souterraines sur 3 périodes distinctes : 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020. Onze (11) substances actives et leurs métabolites font l'objet de représentations cartographiques : bentazone, prosulfocarbe, métolachlore, tébuconazole, pendimethaline, propyzamide, glyphosate, diméthénamide, métaldéhyde, atrazine, alachlore. Soixante-six cartes offrent, pour la première fois, une vision globale et conjointe des eaux de surface et souterraines à l'échelle de la région Pays de la Loire, prenant en compte la dimension « évolution temporelle » en s'appuyant sur les 3 périodes considérées.

La **mise en regard** de l'impact par rapport aux **usages** s'appuie sur un **indicateur de pression**, cartographié sous la forme d'un indicateur d'achat rapporté à la surface représentative de chaque captage. Il est établi à partir des données d'achats (BNVD, base régionale au code postal), des cultures déclarées (RPG) et des autorisations de produits phytosanitaires par type de culture. La somme des achats a été calculée par période pour 9 des 11 substances actives retenues à partir de l'état des lieux (atrazine et alachlore sont interdites d'usages sur la période 2008-2020). Sans réussir à le lever complètement, la méthodologie développée a permis d'avancer sur le verrou scientifique lié au choix de la surface de référence pour le calcul de la pression potentielle en produits phytosanitaires sur les sols. La mise en regard de la **vulnérabilité** des eaux souterraines avec l'ensemble des indicateurs d'impact n'a pas montré de relation évidente. Une actualisation de la carte de vulnérabilité apparaît nécessaire, ainsi qu'une approche plus poussée par substance pour rechercher des corrélations.

¹ [Qualité de l'eau potable en Pays de la Loire \(sante.fr\)](https://sante.fr)

Le **bilan de connaissances** s'appuie sur un travail de synthèse bibliographique, qui a permis i) de compiler dans un document unique les valeurs guides environnementales de référence (valeur sanitaire maximum, norme de qualité environnementale, valeur seuil, valeur guide de l'OMS, PNEC²) issues de différents portails et sources d'information, pour les 11 substances actives et leurs métabolites sélectionnées à partir de l'état des lieux ; ii) d'établir un état de l'art sur le risque de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux souterraines. Une fiche pédagogique explicite le devenir et la mobilité vers les eaux souterraines des substances actives et de leur(s) métabolite(s). Les données clés pour 14 substances actives (nicosulfuron, prosulfocarbe, métaldéhyde, pendiméthaline, tolylfluamide, dimethenamide-P, captane, chlorothalonil, mesotrione, cyazofamide, diflufenican, prothioconazole, flufenacet ou thiafluamide, propyzamide) et 51 métabolites associés ont été compilées dans un tableur numérique pour une visualisation d'ensemble.

Pour établir le **diagnostic territorial et régional pour les eaux souterraines** et mieux appréhender l'état de contamination des eaux souterraines et ses variations temporelles, i) les indicateurs d'impact à l'échelle des captages AEP, ii) les indicateurs de pression à différentes échelles afférentes au captage (AAC, ZPAAC, PP) et iii) des informations décrivant de manière simplifiée le risque de transfert des molécules vers les eaux souterraines ont été croisés et confrontés. La lithologie de l'aquifère, la fréquence de dépassement pour chaque mois de l'année et pour chaque année ainsi que la période d'application des substances actives sont également considérées. Ce diagnostic est abordé par substance active et métabolites associés (lorsqu'ils sont analysés). Il permet d'identifier des facteurs clefs (usages, propriétés des molécules, propriétés du milieu) susceptibles d'expliquer la présence des produits phytosanitaires dans les eaux souterraines. Cette identification peut permettre d'adapter les plans d'action à l'échelle des AAC ou les programmes de surveillance à l'échelle des captages AEP en cohérence avec les pratiques agricoles. L'analyse est confrontée néanmoins à des incertitudes, qui concernent plus particulièrement i) les usages réels de substances actives ; ii) les propriétés des substances et leur devenir et iii) les temps de transfert dans la zone non saturée et iv) le temps de renouvellement des eaux.

Les ressources produites en lien avec cet état des lieux régional sont les suivantes :

- Une synthèse sur les propriétés de molécules phytosanitaires pour 14 substances actives et 51 métabolites ;
- Des valeurs guides de référence (valeur sanitaire maximum, NQE, valeur de référence de l'OMS, valeurs seuils DCE, PNEC) pour 25 paramètres ;
- Une synthèse des usages autorisés pour 9 substances actives ;
- Les liens entre substance active et métabolite(s) associé(s)
- Des cartes de surface d'application potentielle, des achats/ventes distribuées pour 9 substances actives par année (2008-2020) à l'échelle de la région Pays de la Loire ;
- Des cartes de présence pour 11 substances actives et leurs métabolites pour 3 périodes 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020 sur toute la région Pays de la Loire, pour les eaux souterraines et les eaux de surface.

La démarche menée pour une sélection de substances actives est reproductible et décrite à travers deux notes de synthèse :

- Une note pédagogique à destination des collectivités et des personnes responsables de la production et de la distribution des eaux (PRPDE) pour s'approprier la démarche ;
- Une note sur la reproductibilité de la méthode pour la déployer à l'échelle d'autres territoires ou pour d'autres substances actives.

² Predicted No Effect Concentration

La mise en place de cette démarche permet :

- De collecter l'ensemble des données pertinentes quant à la surveillance des eaux souterraines vis-à-vis de la problématique des produits phytosanitaires d'un captage AEP ;
- D'adapter la surveillance (choix des paramètres, fréquence de prélèvement) des eaux souterraines par rapport aux cultures présentes dans l'AAC ;
- D'identifier les facteurs explicatifs prédominants quant à la présence de produits phytosanitaires dans les eaux souterraines et d'adapter les mesures de gestion en conséquence sur le territoire de l'AAC.

Sommaire

1. Contexte et objectifs de l'étude	13
2. Etat des lieux	15
2.1. Choix des molécules.....	15
2.1.1. <i>Données</i>	15
2.1.2. <i>Sélection des molécules</i>	18
2.2. Présence et impact sur les eaux souterraines et les eaux de surface	25
2.2.1. <i>Bilan pluriannuel des 81 paramètres</i>	25
2.2.2. <i>Cartographie des bilans pluriannuels pour 11 substances actives et métabolites associés</i> 25	
2.2.3. <i>Cas particulier de l'atrazine</i>	29
2.3. Contexte hydrogéologique	31
2.3.1. <i>Type d'aquifère</i>	31
2.3.2. <i>Vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines</i>	31
2.4. Les valeurs guides environnementales	32
3. Cartographie des usages potentiels des produits phytosanitaires	35
3.1. L'approche développée dans le projet MELASSES et les améliorations apportées	37
3.2. Les cartes des cultures	39
3.3. Les cartes des substances actives.....	41
3.4. Spatialisation des données d'achat.....	42
3.4.1. <i>Les données d'achat</i>	42
3.4.2. <i>Code postal et code INSEE</i>	43
3.4.3. <i>Distribution spatiale des achats de produits phytosanitaires</i>	45
3.5. Indicateur d'achat à l'échelle du captage d'eau souterraine	48
3.5.1. <i>Surfaces représentatives des captages</i>	48
3.5.2. <i>Calcul de l'indicateur d'achat</i>	52
4. Diagnostic territorial et régional pour les eaux souterraines	53
4.1. Diagnostic par substance active à l'échelle régionale	53
4.1.1. <i>Prosulfocarbe (code sandre 1092)</i>	54
4.1.2. <i>Alachlore (code sandre 1101) et ses métabolites</i>	58
4.1.3. <i>Atrazine (code sandre 1107) et ses métabolites</i>	61
4.1.4. <i>Bentazone (code sandre 1113)</i>	65
4.1.5. <i>Métolachlore total (code sandre 1221) et métabolites</i>	69
4.1.6. <i>Pendiméthaline (code sandre 1234)</i>	73
4.1.7. <i>Propyzamide (code sandre 1414)</i>	77

4.1.8.	<i>Glyphosate (code sandre 1506) et AMPA</i>	80
4.1.9.	<i>Diméthénamide (code sandre 1678)</i>	84
4.1.10.	<i>Tébuconazole (code sandre 1694)</i>	88
4.1.11.	<i>Métaldéhyde (code sandre 1796)</i>	91
4.1.12.	<i>Bilan</i>	94
4.2.	Diagnostic complémentaire avec prise en compte du contexte hydrogéologique	97
4.2.1.	<i>Impact en fonction de la lithologie : toutes substances et substances d'intérêt</i>	97
4.2.2.	<i>Impact en fonction de la vulnérabilité</i>	102
4.2.3.	<i>Impact en fonction de la pression</i>	104
4.3.	Les autres facteurs explicatifs.....	106
5.	Etat de l'art sur la capacité de transfert vers les eaux souterraines	110
6.	Conclusion	117
7.	Bibliographie	123

Liste des illustrations

Illustration 1. Résultats d'association entre les codes SANDRE de statut gelé et de statut validé actuel pour le traitement des données dans le cadre de cette étude	17
Illustration 2. Lien entre substance active et métabolite(s) des phytosanitaires ayant un code SANDRE, lien établi à partir de la PPDB ; ces liens ne sont pas exhaustifs mais focalisent sur les molécules faisant l'objet d'une surveillance.....	18
Illustration 3. Risque pour le consommateur et risque pour les eaux souterraines de 30 substances actives identifiées par l'ANSES (Avis de l'Anses Saisine n° 2018-SA-0163) (classe 1 en bleu foncé, classe la plus à risque ; classe 4 en bleu clair, classe la moins à risque).....	20
Illustration 4. Achats pour l'année 2021 de substances actives de produits phytopharmaceutiques (source BNV-D) pour la région Pays de Loire et les différents départements. Sélection des 60 substances les plus vendues dans la région. Les couleurs représentent le rang par rapport aux achats à la région/au département. En bleu foncé, les rangs de 1 à 20, en bleu moyen les rangs de 21 à 50, en bleu clair les rangs de 51 à 60, en blanc les rangs > 60.	21
Illustration 5. Liste des molécules (paramètres) retrouvées dans les eaux traitées destinées à la consommation humaine (source ARS Pays de la Loire, 2021) et les codes SANDRE associés. Les molécules listées en couleur présentent un lien substance active - métabolite(s). En bleu sont représentés l'atrazine (1107) et 2 de ses métabolites (1830 et 3159) ; en vert, le métolachlore total (1221) et 2 de ses métabolites (6853 et 6854) ; en orange, 2 métabolites (6894 et 6895) du métazachlore ; en rose l'AMPA (1907) métabolite du glyphosate (1506). Il n'y a pas de lien substance active – métabolite entre les paramètres listés en noir. Les métabolites sont en italiques.	22
Illustration 6. Liste des 39 substances actives (en gras) et des 43 métabolites sélectionnés pour ce projet soit 81 molécules au total. Les couleurs soulignent les molécules qui apparaissent deux fois dans ce tableau.	23

Illustration 7. Liste des 11 substances actives choisies pour une représentation cartographique et une analyse du lien pression - impact	24
Illustration 8. Taux de quantification (couleur du figuré) et fréquence de dépassement (%) de la valeur seuil à 0,1 µg/l pour la bentazone dans les eaux souterraines sur la période 2006-2010 (atlas ESO, p. 10)	27
Illustration 9. Taux de quantification et fréquence de dépassement de la valeur seuil à 0,1 µg/l pour le métolachlore et ses métabolites ESA, OXA et NOA dans les eaux souterraines sur la période 2016-2020 (atlas ESO, p. 15).....	28
Illustration 10. Indicateur de présence de l'atrazine et de ses métabolites sur la période 2011-2015 (atlas ESO p. 8)	30
Illustration 11. Carte de vulnérabilité intrinsèque de la région Pays de la Loire (Mardhel et Gravier, 2006)	32
Illustration 12. Workflow schématisé des traitements réalisés pour établir les cartes cultures, les cartes de surface d'application potentielle et les cartes de quantité potentielle appliquée	36
Illustration 13. Workflow schématisé des traitements géospatiaux, réalisés pour la mise en place des cartes de pourcentage de couverture des cultures à l'échelle nationale, de 2010 à 2019 (projet MELASSES, Auterives et al. 2023)	38
Illustration 14. Cultures majoritaires en région Pays de la Loire (données RGA 2020, % SAU) – cultures sélectionnées	39
Illustration 15. Rasters des cultures de 2015 du blé, des crucifères oléagineuses, des cultures légumières et de l'orge représentant la pression potentielle des surfaces d'application du prosulfocarbe	41
Illustration 16. Carte d'application potentielle du prosulfocarbe en 2015 sur la région Pays de la Loire qui combine les cultures du blé, les crucifères oléagineuses, les cultures légumières et l'orge	42
Illustration 17. Regroupement par code postal des communes (code INSEE) de la région Pays de la Loire. Chaque couleur représente un code postal (qui peut regrouper plusieurs communes)	44
Illustration 18. Regroupement des communes par code postal (zoom de détail de l'illustration 17)	45
Illustration 19. Quantité potentielle appliquée estimée à partir des achats (kg) de prosulfocarbe en 2015 sur les surfaces d'application potentielle par maille de 6,25 ha (250 m X 250 m)	46
Illustration 20. (en haut) Extrait carte d'application potentielle du prosulfocarbe en 2015 (Illustration 16 – surface en ha – raster surface d'application) et (en bas) extrait carte des quantités potentielles appliquées de prosulfocarbe en 2015 (Illustration 19 – quantité en kg – raster achat)	47
Illustration 21. MNT de la région Pays de la Loire (BD ALTI ® 25 m), fournis par l'IGN par département https://data.cquest.org/ign/bdalti/ en Lambert 93 (X,Y) et IGN69 (pour la valeur Z)	50
Illustration 22. Localisation des 511 stations ESU et bassins versants associés calculés à partir des outils de traitements ESRI ®	50
Illustration 23. Localisation des stations ESU rattachées à un bassin versant tel que calculé à partir du MNT et des outils de traitement ESRI ®	51

Illustration 24. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020))	55
Illustration 25. Surfaces d'applications potentielles du prosulfocarbe par département de la région pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés	56
Illustration 26. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour le prosulfocarbe à l'échelle de la région Pays de la Loire	57
Illustration 27. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le prosulfocarbe à l'échelle de la région Pays de la Loire	58
Illustration 28. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour l'alachlore et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire	59
Illustration 29. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois de l'alachlore, l'alachlore-ESA et de l'alachlore-OXA à l'échelle de la région Pays de la Loire	61
Illustration 30. Voies de dégradation de l'atrazine (Szewczyk et al., 2020)	62
Illustration 31. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour l'atrazine et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire	63
Illustration 32. Indicateur global de présence de l'atrazine ou ses métabolites dans les eaux souterraines	64
Illustration 33. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour l'atrazine et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire	65
Illustration 34. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020)) – cas de la bentazone	66
Illustration 35. Surfaces d'applications potentielles de la bentazone par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés	67
Illustration 36. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour la bentazone à l'échelle de la région Pays de la Loire	68
Illustration 37. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour la bentazone à l'échelle de la région Pays de la Loire	69
Illustration 38. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020)) – cas du S-métolachlore	70
Illustration 39. Surfaces d'applications potentielles du S-métolachlore par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés	71
Illustration 40. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour le métolachlore total et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire	72
Illustration 41. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le métolachlore et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire	73

Illustration 42. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas de la pendiméthaline	74
Illustration 43. Surfaces d'applications potentielles de la pendiméthaline par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés	75
Illustration 44. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour la pendiméthaline à l'échelle de la région Pays de la Loire	76
Illustration 45. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour la pendiméthaline à l'échelle de la région Pays de la Loire	77
Illustration 46. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas de la propyzamide	78
Illustration 47. Surfaces d'applications potentielles de la propyzamide par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés	78
Illustration 48. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour la propyzamide à l'échelle de la région Pays de la Loire	79
Illustration 49. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour la propyzamide à l'échelle de la région Pays de la Loire	80
Illustration 50. Surface moyenne traitée au glyphosate par mois (2016, 2017 et 2018) des Pays de la Loire	81
Illustration 51. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du glyphosate	82
Illustration 52. Surfaces d'applications potentielles du glyphosate par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés	82
Illustration 53 : Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour le glyphosate et l'AMPA à l'échelle de la région Pays de la Loire.....	83
Illustration 54. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour la propyzamide à l'échelle de la région Pays de la Loire	84
Illustration 55. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du diméthénamide-P	85
Illustration 56. Surfaces d'applications potentielles du diméthénamide-P par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés	85
Illustration 57. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour le diméthénamide total et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire	86
Illustration 58. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le diméthénamide et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire.....	87

Illustration 59. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du tébuconazole	89
Illustration 60. Surfaces d'applications potentielles du tébuconazole par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés.....	89
Illustration 61. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour le tébuconazole à l'échelle de la région Pays de la Loire	90
Illustration 62. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le tébuconazole à l'échelle de la région Pays de la Loire	91
Illustration 63. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du métaldéhyde	92
Illustration 64. Surfaces d'applications potentielles du tébuconazole par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés.....	92
Illustration 65. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour le métaldéhyde à l'échelle de la région Pays de la Loire	93
Illustration 66. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le métaldéhyde à l'échelle de la région Pays de la Loire	94
Illustration 67. Distribution de tous qualitomètres (n nombre de qualitomètres = 478) en fonction a) du thème de l'entité hydrogéologique de rattachement (alluvial, socle, sédimentaire) et b) en fonction de la période de surveillance (2006-2010, 2011-2015, 2016-2020) et du nombre de substances mesurées au-dessus de la limite de quantification (1, 2 ou 3)	99
Illustration 68. Nombre de qualitomètres, par lithologie, avec et sans dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour les 3 périodes d'étude. Cas des substances actives – partie 1.....	100
Illustration 69. Nombre de qualitomètres, par lithologie, avec et sans dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour les 3 périodes d'étude. Cas des substances actives – partie 2.....	101
Illustration 70. Nombre de qualitomètres, par lithologie, avec et sans dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour les 3 périodes d'étude. Cas des métabolites	102
Illustration 71. Indicateur de vulnérabilité calculé sur les surfaces de référence (Périmètre de protection et Aire d'alimentation du captage) en fonction du nombre de molécules phytosanitaires présentes dans le captage (taux de quantification > 0) : a) jeu de données complet avec les 81 molécules de cette étude ; b) sélection de 11 molécules et leurs métabolites	103
Illustration 72. Indicateur de pression en prosulfocarbe (indicateur d'achat en kg de substance active) calculé sur une surface de référence (a – AAC ; b – PP ; c – ZPAAC) en fonction du taux de quantification en prosulfocarbe sur les périodes 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020	105
Illustration 73. Evolution des concentrations en bentazone (en haut) et de l'ESA métolachlore (en bas) avec celle de la piézométrie du point 04853X0079/P (BSS001HKLJ à Saint-Martin-de-la-place).....	107
Illustration 74. Evolution des concentrations en bentazone du forage de la fontaine Bourreau (05124X0509/AEP Montreuil-Bellay) et forage du clos Bertin 1 (04552X0069/F1 Beaufort-en-Anjou)	108

Illustration 75. Evolution des concentrations en bentazone du forage Planches du Baron P2 (Saint-Philbert-Du-Peuple 04558X0066/F2) et forage de la Partie aux Navets (Dréfféac 04502X0045/SGB2).....	109
--	-----

Liste des annexes

Annexe 1. Usages autorisés par substance active	127
Annexe 2. Indicateur de pression potentielle (indicateur d'achat) en fonction du taux de quantification.....	135
Annexe 3. Note sur la démarche à destination des collectivités / PRPDE	151
Annexe 4. Note technique explicitant la méthodologie mise en œuvre.....	155

1. Contexte et objectifs de l'étude

La présence de substances actives de pesticides et leurs métabolites dans les eaux souterraines et de surface dégrade la qualité de la ressource en eau et obère l'atteinte du Bon Etat chimique tel que requis par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE). La moitié des masses d'eau (superficielle et souterraine) de la région Pays de la Loire présente un mauvais état. Ce sont même 89 % des masses d'eau régionales qui n'atteignent pas le bon état écologique de la DCE, dont les $\frac{3}{4}$ en lien avec la présence de pesticides d'après l'état des lieux de 2019 ([SDAGE 2022-2027](#)), qui vient confirmer celui de 2013. Les travaux actuels pour l'état des lieux 2025 laissent présager une situation du même ordre.

Le bilan annuel (2024) de la qualité de l'eau en Pays de la Loire³ fait état d'une eau distribuée de bonne qualité vis-à-vis des pesticides. 99 % de la population ligérienne sont alimentés par une eau conforme. Cependant ces résultats pour l'eau traitée masquent la réalité de la qualité des eaux brutes et sont obtenus grâce aux actions curatives (dilution, système de traitement) mises en œuvre par les Personnes Responsables de la Production et de la Distribution de l'Eau (PRPDE). Ils sont donc à nuancer au regard de la vulnérabilité des ressources en eau et du caractère dégradé de plusieurs d'entre elles. En effet, dans les situations d'eau brute dégradée, la conformité de l'eau distribuée est assurée par des moyens curatifs (mélange, traitement) dont l'efficacité n'est pas toujours garantie.

La synthèse régionale (2002-2014) sur la contamination des eaux superficielles par les pesticides (DREAL, 2016) fait état que les eaux superficielles sont globalement contaminées par les pesticides en Pays de la Loire. Il ne se dégage pas de tendance de fond à l'aggravation ou à l'amélioration de la situation générale à l'échelle régionale. L'utilisation des pesticides n'est pas homogène sur le territoire régional, elle est très liée aux différentes zones de production ainsi qu'aux conditions météorologiques. Il n'y a pas d'études équivalentes disponibles sur la contamination des eaux souterraines par les pesticides.

Les tendances d'évolution de l'utilisation des pesticides ne sont pas aisément définissables au regard de la très grande diversité des molécules, du rythme de leur apparition/disparition sur le marché et de leurs modes d'utilisation en association (DREAL, 2019). Les fluctuations des ventes sont dues aux conditions sanitaires et aux aléas climatiques, notamment pour les fongicides. Elles dépendent également des autorisations/interdictions des substances actives et/ou des produits commerciaux sur le marché. En 2017, 17 substances ont été retirées (non-renouvellement ou retrait du marché) comme l'isoproturon, la picoxystrobine, le linuron, l'iprodione, le flupyrsulfuron-méthyl. En mai 2019, les 74 produits contenant de l'époxyconazole ont également été interdits.

Dans ce contexte, l'Etat et la Région Pays de la Loire se sont engagés dans un plan « Eau – Etat – Région ». Sous l'égide du Préfet de région, l'ARS, la DREAL et la DRAAF des Pays de la Loire se mobilisent pour la reconquête de la qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine (EDCH) de la région vis-à-vis des pesticides et de leurs produits de dégradation. Elles souhaitent (1) disposer d'un état des lieux précis de la situation de la ressource en eau (de surface et souterraine) au regard des usages et de la vulnérabilité du territoire ; et (2) de pouvoir disposer d'un bilan des connaissances utilisables par tous les acteurs de l'eau rencontrant des problématiques de gestion liée à l'occurrence de pesticides et/ou leurs métabolites sur le territoire.

³ [Qualité de l'eau potable en Pays de la Loire \(sante.fr\)](#)

Dans le cadre d'une convention de recherche et développement entre l'ARS, la DREAL, la DRAAF et le BRGM, ce dernier a été sollicité pour dresser cet état des lieux de la situation régionale des eaux brutes (souterraines et de surface) au regard de la problématique des substances actives entrant dans la composition de produits phytopharmaceutiques (appelés couramment "pesticides" cf. paragraphe 2.1.1) et de leurs métabolites. Les objectifs définis de cette étude sont :

- (1) De dresser un état des lieux de la situation régionale des eaux brutes (souterraines et de surface) au regard des teneurs mesurées en substances actives et métabolites de pesticides (chapitre 2) ;
- (2) De compiler les différentes valeurs guides de références des différentes molécules (chapitre 2.3) ;
- (3) D'identifier les différents usages des molécules en lien avec les pratiques culturales de la région Pays de la Loire (chapitre 3) et de localiser les usages potentiels des produits phytosanitaires (chapitre 3) et caractériser une pression ;
- (4) D'analyser les évolutions des contaminations par les substances actives et/ou leur(s) métabolite(s) dans les eaux souterraines à l'échelle du captage (chapitre 3.5) et à l'échelle régionale (chapitre 4.1) ;
- (5) De réaliser un état de l'art scientifique et pédagogique sur l'origine, le devenir et la mobilité vers les eaux souterraines des substances actives et leur(s) métabolite(s) (chapitre 5) ;
- (6) De décrire la méthodologie mise en œuvre et sa reproductibilité (annexe 3) pour que les collectivités et les personnes responsables de la production et la distribution de l'eau (PRPDE) puissent s'approprier la démarche (annexe 2).

2. Etat des lieux

L'objectif de ce chapitre est de réaliser un état des lieux régional de la qualité des eaux brutes destinées à la production d'eau de consommation humaine (EDCH) vis-à-vis des pesticides et de leur(s) métabolite(s).

Les pesticides regroupent des centaines de substances. Elles sont vendues sous différentes formes. On peut ainsi dénombrer près de 10 000 préparations ou formulations destinées à la vente. En Pays de la Loire, le contrôle sanitaire comprend plus de 250 molécules de pesticides intégrant un nombre croissant de métabolites (une vingtaine)⁴. Pour dresser cet état des lieux, il est important de cibler les efforts sur un nombre plus restreint de molécules. Cette étude a pour objectif de dresser un état des lieux pour une cinquantaine de molécules choisies en concertation entre les partenaires de l'étude (DREAL, DRAAF, ARS et BRGM).

2.1. CHOIX DES MOLECULES

Pour sélectionner les 50 substances jugées d'intérêt, plusieurs critères de sélection ont été définis :

- Les molécules sont soit des substances actives soit des métabolites ;
- Les molécules sont suivies dans les eaux souterraines (ADES) et dans les eaux de surface (Naïades) ;
- Les concentrations mesurées dépassent la valeur 0,1 µg/L dans les eaux souterraines et/ou dans les eaux de surface ;
- Les molécules sont présentes dans les eaux traitées destinées à la consommation humaine ;
- Les molécules ont un usage en plein essor (BNV-D) ou sont des molécules de substitution ;
- Les molécules dont l'usage est interdit ne sont pas exclues de la sélection.

Au fur à mesure des discussions et des nombreux échanges entre les partenaires, d'autres informations ont été portées à connaissance pour faire le choix des paramètres les plus pertinents. Des investigations en amont ont également été nécessaires et sont détaillées dans les paragraphes suivants.

2.1.1. Données

a) Jeu de données eaux souterraines et eaux de surface

Le jeu de données **eau souterraine (ESO)** est issu du portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines ADES⁵. Toutes les données qualité des eaux souterraines de la région Pays de Loire disponibles sur la période 2006-2020 ont été extraites le 24/01/2022. Elles représentent un jeu de 3 072 950 données, 1 197 paramètres et 1 445 qualimètres.

Le jeu de données **eau de surface (ESU)** est un fichier transmis le 24/03/2022 par la DREAL (pesticides_V2_5.Rdata) qui après traitement des données (suppression des enregistrements sans code paramètre, des enregistrements en doublon, des enregistrements indiqués comme

⁴ [Qualité de l'eau potable en Pays de la Loire \(sante.fr\)](https://sante.fr/qualite-de-l-eau-potable-en-pays-de-la-loire)

⁵ <https://ades.eaufrance.fr/>

« analyse non faite »), constitue un fichier de 7 023 345 données qualité, 916 paramètres et 738 stations.

b) Pré-traitement des données

Identification et sélection des produits phytosanitaires et métabolites

Pour mémoire, le terme « pesticide » couvre à la fois les substances utilisées dans les produits phytopharmaceutiques, les biocides et les antiparasitaires externes à usage vétérinaire et humain.

L'identification des paramètres correspondant à des substances actives ou à des métabolites de produits phytosanitaires repose sur les résultats des travaux AQUAREF sur l'identification des substances actives entrant dans la composition des produits phytopharmaceutiques, encore appelés produits phytosanitaires (Ghestem et Bristeau, 2022).

Tous les paramètres des listes A (paramètres où il y a peu ou pas de doute sur l'identification phyto/biocide/métabolite) et B (paramètres où des usages différents sont possibles, la décision sur le caractère pesticide est à décider par le gestionnaire) sont ainsi identifiés comme des phytosanitaires ou des métabolites de phytosanitaires. Les paramètres phytosanitaires (substance active et/ou métabolite) identifiés représentent ainsi 671 paramètres dans le jeu de données **eau de surface** et 775 paramètres dans le jeu de données **eau souterraine**.

Gestion des codes SANDRE gelés

Un code SANDRE peut avoir le statut gelé lorsqu'une ou plusieurs erreurs (redondance d'informations, informations incomplètes, confusion) ont été mises en évidence. Le statut de code gelé n'autorise plus son usage au sein d'échanges de données. Cependant les données associées à ce code lorsque son statut était validé restent dans les bases de données (ADES, NAIADES) associés à ce code. Ne pas prendre en compte les codes gelés revient à ignorer un certain nombre de données historiques.

Parmi les paramètres (jeu de données eau de surface et eau souterraine), 27 codes SANDRE gelés sont identifiés (liste SANDRE, export du 25-03-2022). Parmi eux, 10 sont identifiés comme des substances actives de produits phytosanitaires ou des métabolites de phytosanitaires. Pour ne pas ignorer les données, un travail d'association, quand cela était possible, a été fait entre le code SANDRE gelé et un code SANDRE validé (Illustration 1). A titre d'exemple, pour traiter la question du glufosinate, il est nécessaire de prendre en compte les données du code paramètre 1526, le glufosinate (code validé), et les données du code paramètre 2731, le glufosinate d'ammonium, dont le code est gelé. Si des données (ce qui n'est pas le cas ici) étaient associées au code paramètre 1817 glufosinate (code gelé en 2000), il serait également à prendre en compte pour caractériser la présence du glufosinate dans les eaux.

Les différents calculs (nombre de quantification, nombre d'analyses, taux de quantification, fréquence de dépassement) pour ces molécules ne représentent pas un seul et unique code SANDRE mais l'association de plusieurs codes SANDRE. Les résultats des codes gelés ainsi collectés sont associés au code SANDRE validé. A titre d'exemple, pour le dithiométon/thiométon, les résultats reposent sur les données des codes 1716 (gelé) et 2071 (validé) ; et sont associés au code SANDRE du thiométon 2071.

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

Code SANDRE (gelé)	Nom du PARAMETRE (gelé)	Code SANDRE validé (retenu)	Nom du PARAMETRE (retenu)	Phyto ou métabolite (liste AQUAREF)	Sélection
1716	Dithiométon ⁶	2071	Thiométon	Phyto A	OUI
1756	Chlordane alpha ⁷	7010	Chlordane alpha	Phyto A	OUI
1758	Chlordane gamma	1757	Chlordane bêta	Phyto A	OUI
1771	Dihydrure de dibutylétain ⁸	7074	Dibutylétain cation	Metab B	OUI
1779	Hydrure de triphenylétain ⁹	6372	Triphenylétain cation	Phyto B	OUI
1820	Hydrure de tributylétain	2879	Tributylétain cation	Phyto B	OUI
2731	Glufosinate-ammonium ¹⁰	1526	Glufosinate	Phyto A	OUI
2869	1-(4-IsopropylPhényl) Urée ¹¹	2847	Didemethylisoproturon	Metab A	OUI
5750	Desethylterbutylazine-2-hydroxy ¹²	7981	1,2,4-Triazin-5(4H)-one, 4-amino-3-(methylamino)-6-(1-methylethyl)-	Metab A	OUI
6365	Somme des 1,2-Dichloroéthylènes cis et trans ¹³	1456	Dichloroéthylène-1,2 cis	Phyto B	NON
		1727	Dichloroéthylène-1,2 trans	Non	

Illustration 1. Résultats d'association entre les codes SANDRE de statut gelé et de statut validé actuel pour le traitement des données dans le cadre de cette étude

Substance active et métabolite(s)

Pour estimer le niveau de contamination des eaux liée à l'usage d'une substance active, il a été décidé de prendre en compte la substance active et ses métabolites. Le lien entre chaque substance active et ses métabolite(s) a été établi pour qu'ils soient considérés conjointement. A

⁶ Dithiométon et thiométon ont le même code CAS

⁷ Le chlordane γ et le chlordane β désignent tous deux l'isomère trans du chlordane (<https://id.eaufrance.fr/par/1758>).

⁸ Le dibutylétain peut se rencontrer sous forme de dibutylétain chlorure, acétate ou oxyde. Ces substances ne sont pas différenciables analytiquement (<https://id.eaufrance.fr/par/1771>) raison pour laquelle le code du dihydrure de dibutylétain a été gelé et raison pour laquelle le choix du dibutylétain cation (code sandre 2879) comme code validé de rattachement a été fait.

⁹ Pour les mêmes raisons analytiques, triphenylétain cation et tributylétain cation sont rattachés hydrure de triphenylétain et hydrure de tributylétain respectivement.

¹⁰ Glufosinate-ammonium, ce paramètre n'est pas directement mesurable dans l'eau. Il est préconisé d'utiliser le paramètre glufosinate de code sandre 1526 (<https://id.eaufrance.fr/par/2731>).

¹¹ 1-(4-IsopropylPhényl) urée et didemethylisoproturon ont le même code CAS.

¹² Desethylterbutylazine-2-hydroxy et 1,2,4-Triazin-5(4H)-one, 4-amino-3-(methylamino)-6-(1-methylethyl)- ont le même code CAS.

¹³ Le paramètre somme des 1,2-dichloroéthylènes cis et trans regroupe 2 paramètres : l'isomère cis (1456 dichloroéthylène-1,2 cis) et l'isomère trans (1727 dichloroéthylène-1,2 trans). Il n'y a pas de correspondance exacte un à un parmi les codes validés, le code 6365 est la somme des codes 1727 et 1456. De plus, l'isomère cis est identifié comme un phytosanitaire (liste B) selon les travaux AQUAREF mais pas l'isomère trans. Pour ces raisons, ce paramètre 6365 n'est pas conservé pour la suite de l'étude.

titre d'exemple, pour mesurer le niveau de contamination de l'usage de la substance active atrazine (1107), seront pris en compte les données qualité de l'atrazine et de ses métabolites recherchés (1108 atrazine déséthyl, 1109 atrazine déisopropyl, 1830 atrazine déisopropyl déséthyl, 1832 2-hydroxyatrazine, 3159 atrazine 2-hydroxy-desethyl, 3160 atrazine déisopropyl-2-hydroxy).

L'association entre substance active et métabolites est reportée ci-après (Illustration 2). Le tableau liste les substances actives et métabolites ayant un code SANDRE. Le code SANDRE étant un prérequis pour intégrer les bases de données ADES ou NAÏADES, une molécule sans code SANDRE n'a pas de mesure de concentration renseignée dans ces bases.

Code SANDRE	Paramètre	SA parent [code sandre]	Code SANDRE	Paramètre	SA parent [code sandre]
6800	Alachlor ESA	Alachlore [1101]	1954	Terbutylazine hydroxy	Terbutylazine [1268]
6855	Alachlor OXA		2045	Terbutylazine déséthyl	
6853	Metblachlor OXA	Métolachlore total [1221]	7150	Terbutylazine desethyl-2-hydroxy	
6854	Metblachlor ESA		1907	AMPA	Glyphosate [1506]
7729	Métolachlore NOA413173		2737	Desmethyl norflurazon	Norflurazone [1669]
1108	Atrazine déséthyl	Atrazine [1107]	6894	Métazachlore OXA	Métazachlore [1670]
1109	Atrazine déisopropyl		6895	Métazachlore ESA	
1832	2-hydroxyatrazine		6865	Diméthénamide ESA	Diméthénamide [1678]
3159	Atrazine 2-hydroxy-desethyl		7735	Diméthénamide OXA	
1830	Atrazine déisopropyl déséthyl	Chloridazone [1133]	2011	2,6-Dichlorobenzamide	Dichlobenil [1679] Fluopicolide [7499]
6378	Chloridazone desphényl		1679	Dichlobenil	Chlorthiamide [1813]
6379	Chloridazone méthyl desphényl		2722	Isothiocyanate de méthyle	Imazalil [1704]
7782	Desméthyl-chlortoluron	Chlortoluron [1136]	7716	2-Aminosulfonyl-N,N-diméthylnicotinamide	Nicosulfuron [1882]
1486	Dichlorophenol-2,4	2,4-D [1141]	6856	Acetochlor ESA	Acétochlore [1903]
1650	Chlorophénol-4		6862	Acetochlor OXA	
1586	Dichloroaniline-3,4	Diuron [1177]	7718	Acétochlore SAA	
1929	1-(3,4-dichlorophenyl)-3-méthyl-uree		6863	Fluifénacet OXA	Thiafluamide [1940]
1930	3,4-dichlorophenyluree		6864	Fluifénacet ESA	
2847	Dideméthyl isoproturon	Isoproturon [1208]	6381	Diméthachlore-ESA	Dimétachlore [2546]
2738	Desméthyl isoproturon		7727	Diméthachlore CGA369873	
1109	Atrazine déisopropyl	Simazine [1263]			
1830	Atrazine déisopropyl déséthyl				
1831	Simazine-hydroxy				

Illustration 2. Lien entre substance active et métabolite(s) des phytosanitaires ayant un code SANDRE, lien établi à partir de la [PPDB](#)¹⁴ ; ces liens ne sont pas exhaustifs mais focalisent sur les molécules faisant l'objet d'une surveillance

2.1.2. Sélection des molécules

a) Présence dans les eaux de surface et/ou souterraine

L'analyse des données [ADES](#) (eaux souterraines, 2006-2020) et [Naïades](#) (eaux de surface, 2007-2020) a permis d'identifier 267 et 468 paramètres, respectivement, qui dépassent au moins une fois la limite de quantification (LQ) soit un total de 498 paramètres.

¹⁴ [PPDB - Pesticides Properties DataBase \(herts.ac.uk\)](#)

Pour ces 498 paramètres, ont été calculés, pour les eaux de surface et les eaux souterraines, pour la période complète (2006-2020 ESO et 2007-2020 ESU) et pour une période récente (2019-2020) :

- Le taux de quantification (> LQ) par rapport au nombre d'analyses ;
- Le taux de quantification (> LQ) par rapport au nombre de qualitomètres (ESO) et stations de mesures (ESU) ;
- La fréquence de dépassement de la valeur 0,1 µg/L par rapport au nombre d'analyses ;
- La fréquence de dépassement de la valeur 0,1 µg/L par rapport au nombre de qualitomètres ESO / stations ESU.

b) Des substances actives à risque pour les eaux souterraines et les consommateurs

Le 10 avril 2020, l'ANSES (Saisine n°2018-SA-0163) a émis un avis¹⁵ relatif « aux substances phytopharmaceutiques qualifiées de préoccupantes dans le rapport CGAAER-CGEDD-IGAS sur l'utilisation des produits phytopharmaceutiques ». L'illustration 3 reporte les indicateurs de risque, pour les eaux souterraines et pour le consommateur, calculés dans ce cadre pour 30 substances actives (fréquemment détectées ou qualifiées de préoccupantes). La classe 1 représente le risque le plus élevé.

¹⁵ <https://www.anses.fr/fr/system/files/PHYTO2018SA0163.pdf>

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

Substance active	code CAS	code SANDRE	Risque ESO	Risque Consommateur
2,4-mcpa	94-74-6	1212	1	3
dimethachlore	50563-36-5	2546	1	4
dimethenamide-p (dmta-p)	163515-14-8	5617	1	3
metaldehyde	108-62-3	1796	1	3
metazachlore	67129-08-2	1670	1	4
propyzamide	23950-58-5	1414	1	4
prosulfocarbe	52888-80-9	1092	1	2
s-metolachlore	87392-12-9	2974	1	4
2,4-d	94-75-7	1141	2	1
bentazone	25057-89-0	1113	2	3
diflufenicanil	83164-33-4	1814	2	4
fluazinam	79622-59-6	2984	2	2
folpel	133-07-3	1192	2	3
glyphosate	1071-83-6	1506	2	2
prochloraze	67747-09-5	1253	2	1
chlorprophame	101-21-3	1474	3	2
chlorpyriphos-methyl	5598-13-0	1540	3	1
imazalil	35554-44-0	1704	3	1
metsulfuron methyle	74223-64-6	1797	3	4
sulcotrione	99105-77-8	1662	3	2
thiabendazole	148-79-8	1713	3	2
zirame	137-30-4	1722	3	1
bromoxynil	1689-84-5	1125	4	3
halosulfuron methyl	100784-20-1	5508	4	4
hydrazide maleique	123-33-1	5645	4	2
ipconazole	125225-28-7	7508	4	4
mancozebe	8018-01-7	1211	4	1
pendimethaline	40487-42-1	1234	4	3
pyrethrines	8003-34-7	2062	4	1
tefluthrine	79538-32-2	1953	4	1

Illustration 3. Risque pour le consommateur et risque pour les eaux souterraines de 30 substances actives identifiées par l'ANSES (Avis de l'Anses Saisine n° 2018-SA-0163) (classe 1 en bleu foncé, classe la plus à risque ; classe 4 en bleu clair, classe la moins à risque)

c) Les achats/ventes de produits phytosanitaires

Les données sur les achats de produits phytosanitaires de la BNV-D traçabilité¹⁶ de l'année 2021 renseignent sur les usages potentiels de substances actives au cours de l'année 2021. Les quantités vendues par substance active ont été calculées pour la région Pays de Loire et pour chacun des départements (44 Loire-Atlantique ; 49 Maine-et-Loire ; 53 Mayenne ; 72 Sarthe ; 85 Vendée).

¹⁶ BNVD traçabilité <https://ventes-produits-phytopharmaceutiques.eaufrance.fr/>

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

Substance	Fonction retenue	code CAS	code SANDRE	Ventes 2021						
				Région Pays de Loire		Départements				
				Rang	Ventes (kg)	44	49	53	72	85
glyphosate	Herbicide	1071-83-6	1506	1	539 736	76 348	136 282	81 854	130 425	114 827
prosulfocarbe	Herbicide	52888-80-9	1092	2	420 986	63 705	77 654	72 971	78 011	128 645
soufre pour pulvérisation	Fongicide	7704-34-9		3	297 208	119 726	116 906	18 279	25 836	16 461
soufre	Fongicide	7704-34-9		4	180 697	48 465	90 045	8 486	22 133	11 568
pendimethaline	Herbicide	40487-42-1	1234	5	145 800	14 867	33 321	33 695	39 280	24 637
s-metolachlore	Herbicide	87392-12-9	8070	6	126 950	11 217	25 219	26 252	42 196	22 067
dimethenamide-p (dmta-p)	Herbicide	163515-14-8	5617	7	95 286	7 465	15 379	28 734	27 589	16 119
huile minerale paraffinique	Insecticide - Acaricide	8042-47-5		8	57 643			2 313	3 217	11 817
dazomet	Nématicide	533-74-4	1869	9	55 563	20 351	11 970			23 242
fosetyl-aluminium	Fongicide	39148-24-8	1975	10	48 399	21 582	22 943	163	558	3 154
captane	Fongicide	133-06-2	1128	11	46 031	2 242	30 938	882	9 382	2 586
	Régulateur de									
chlormequat chlorure	croissance	999-81-5	2097	12	45 294	9 661	7 946	12 162	14 098	1 426
phosphonate de potassium	Fongicide	13492-26-7		13	44 754	21 161	19 226	513	1 869	1 985
propyzamide	Herbicide	23950-58-5	1414	14	43 762	3 884	10 422	7 369	16 395	5 692
metirame	Fongicide	9006-42-2	2067	15	39 051	20 124	17 260	5	232	1 430
chlorotoluron	Herbicide	15545-48-9	1136	16	38 897	2 993	6 650	6 112	13 979	9 164
diflufenicanil	Herbicide	83164-33-4	1814	17	38 679	4 340	7 001	8 642	12 953	5 742
soufre sublime	Fongicide	7704-34-9		18	37 199	14 182	16 904		594	5 519
polysulfure de calcium	Fongicide	1344-81-6		19	36 077	4 870	20 096	116	8 807	2 189
2,4-d	Herbicide	94-75-7	1141	20	35 743	3 190	10 582	4 411	12 225	5 334
prothioconazole	Fongicide	178928-70-6	5603	21	35 648	4 694	6 753	6 704	8 105	9 391
flufenacet	Herbicide	142459-58-3	1940	22	35 211	3 910	6 097	8 231	12 857	4 117
tebuconazole	Fongicide	107534-96-3	1694	23	34 542	4 757	5 759	7 993	9 475	6 559
cuivre du sulfate de cuivre	Fongicide	8011-63-0		24	32 227	8 036	15 324	671	4 766	3 430
aclonifen	Herbicide	74070-46-5	1688	25	26 259	1 863	6 331	4 749	7 403	5 913
metazachlore	Herbicide	67129-08-2	1670	26	24 231	2 376	4 893	5 169	8 208	3 585
mesotrione	Herbicide	104206-82-8	2076	27	22 554	2 769	3 994	5 934	5 143	4 714
dicamba	Herbicide	1918-00-9	1480	28	22 353	3 039	4 990	5 248	5 648	3 429
phosphonate de disodium	Fongicide	13708-85-5	7584	29	19 852	4 584	14 010	4	34	1 220
terbuthylazine	Herbicide	5915-41-3	1268	30	19 215	2 324	4 803	4 291	3 875	3 922
folpel	Fongicide	133-07-3	1192	31	18 740	10 403	6 446	54	583	1 254
cuivre de l'hydroxyde de cuivre	Fongicide	20427-59-2	5561	32	18 733	5 655	10 366	53	427	2 231
metobromuron	Herbicide	3060-89-7	1515	33	18 437	3 141	4 515	791	1 985	8 007
napropamide	Herbicide	15299-99-7	1519	34	18 055	6 322	5 172	2 174	2 717	1 670
huile de vaseline	Insecticide	8042-47-5		35	17 176	0	1 703	4 087		11 385
fleur de chaux (chaux eteinte)	Autre usage - Divers	1305-62-0		36	16 813	526	12 281	39	1 333	2 634
prochloraze	Fongicide	67747-09-5	1253	37	16 075	1 453	2 619	4 923	3 835	3 245
azoxystrobine	Fongicide	131860-33-8	1951	38	15 830	3 039	4 380	3 067	3 136	2 208
cyperméthrine	Insecticide	52315-07-8	1140	39	15 609	2 446	3 047	2 879	3 127	4 110
mancozebe	Fongicide	07/01/8018	1211	40	15 332	751	9 278	96	4 386	821
huile de paraffine	Insecticide - Acaricide	64742-46-7		41	14 842	1 798	7 089		3 648	2 307
cuivre du sulfate tribasique	Fongicide	12527-76-3		42	13 783	4 432	8 932	16	24	379
dithianon	Fongicide	3347-22-6	1966	43	13 215	720	7 970	188	3 713	624
kaolin	Insecticide	1332-58-7		44	13 196	6 370	6 230		396	200
2,4-mcpa	Herbicide	94-74-6	1212	45	12 956	2 542	2 506	1 835	3 340	2 733
metaldehyde	Molluscicide	108-62-3	1796	46	12 171	926	2 376	1 319	5 939	1 613
bicarbonate de potassium	Fongicide	298-14-6		47	11 981	2 783	6 881	358	736	1 223
acide pelargonique	Herbicide	112-05-0	7725	48	11 877	2 315	4 424	694	483	3 960
fluroxypyr-meptyl		81406-37-3	2547	49	11 722	971	2 308	2 178	2 936	3 330
mefentrifluconazole	Fongicide	1417782-03-6	8686	50	10 804	1 360	1 860	2 510	3 258	1 815
phosmet	Insecticide	732-11-6	1971	51	10 198	1 053	2 260	868	4 723	1 294
alcools terpeniques	SA non phyto	98-55-5		52	10 109	1 548	2 820	838	2 753	2 150
phosphate ferrique	Molluscicide	10045-86-0	5662	53	9 909	1 145	2 717	1 513	2 452	2 082
fluopyram	Fongicide	658066-35-4	7649	54	9 801	1 240	2 614	1 949	2 396	1 601
pyraclostrobine	Fongicide	175013-18-0	2576	55	9 060	726	956	1 556	3 332	2 490
fluxapyroxad	Fongicide	907204-31-3	7342	56	8 707	990	1 615	1 881	2 514	1 707
	Régulateur de									
ethephon	croissance	16672-87-0	2093	57	8 099	1 451	2 047	2 167	1 874	560
phosphure d'aluminium	Insecticide	20859-73-8	6546	58	7 941	6 088	1 082	296		475
metconazole	Fongicide	125116-23-6	1879	59	7 464	732	1 620	1 686	1 903	1 523
quinmerac	Herbicide	90717-03-6	2087	60	7 201	484	1 438	1 538	2 718	1 022

Illustration 4. Achats pour l'année 2021 de substances actives de produits phytopharmaceutiques (source BNV-D) pour la région Pays de Loire et les différents départements. Sélection des 60 substances les plus vendues dans la région. Les couleurs représentent le rang par rapport aux achats à la région/au département. En bleu foncé, les rangs de 1 à 20, en bleu moyen les rangs de 21 à 50, en bleu clair les rangs de 51 à 60, en blanc les rangs > 60.

d) Les molécules présentes dans les eaux traitées

Les données transmises par l'ARS font état de 25 molécules présentes dans les eaux après traitement (Illustration 5), ces paramètres sont prioritairement ciblés pour être sélectionnés.

1107	Atrazine	1882	Nicosulfuron
1113	Bentazone	1907	AMPA
1221	Métolachlore total	2738	Desméthylisoproturon
1235	Pentachlorophénol	3159	Atrazine 2-hydroxy-déséthyl
1268	Terbutylazine	6384	N,N-Dimethylsulfamide
1414	Propyzamide	6800	Alachlor ESA
1506	Glyphosate	6853	Metolachlor OXA
1515	Métobromuron	6854	Metolachlor ESA
1667	Oxadiazon	6856	Acetochlor ESA
1678	Diméthénamide	6894	metazachlor oxalic acid
1709	Piperonyl butoxyde	6895	metazachlor sulfonic acid
1796	Métaldéhyde	7342	fluxapyroxade
1830	Atrazine déisopropyl déséthyl		

Illustration 5. Liste des molécules (paramètres) retrouvées dans les eaux traitées destinées à la consommation humaine (source ARS Pays de la Loire, 2021) et les codes SANDRE associés. Les molécules listées en couleur présentent un lien substance active - métabolite(s). En bleu sont représentés l'atrazine (1107) et 2 de ses métabolites (1830 et 3159) ; en vert, le métolachlore total (1221) et 2 de ses métabolites (6853 et 6854) ; en orange, 2 métabolites (6894 et 6895) du métazachlore ; en rose l'AMPA (1907) métabolite du glyphosate (1506). Il n'y a pas de lien substance active – métabolite entre les paramètres listés en noir. Les métabolites sont en italiques.

e) 81 molécules pour un bilan pluriannuel

Le choix des molécules repose sur différents critères (présence, vente, risque) et sur un travail de concertation entre les différents acteurs du projet (DREAL, ARS, DRAAF, BRGM).

A l'issue de ces investigations, 81 molécules ont finalement été ciblées pour l'état des lieux représentant 39 substances actives associées ou non à un ou plusieurs métabolites (Illustration 6).

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

Substances actives sélectionnées		Métabolites sélectionnés		
1	Prosulfocarbe [1092]			
2	Alachlore [1101]	Alachlor ESA [6800]	Alachlor OXA [6855]	
3	Atrazine [1107]	Atrazine déséthyl [1108]	2-hydroxyatrazine [1832]	Atrazine 2-hydroxy-deséthyl [3159]
		Atrazine déisopropyl [1109]	Atrazine déisopropyl déséthyl [1830]	
4	Bentazone [1113]			
5	Bromoxynil [1125]			
6	Chloridazone [1133]	Chloridazone desphényl [6378]	Chloridazone méthyl desphényl [6379]	
7	Chlortoluron [1136]	Desméthyl-chlortoluron [7782]		
8	2,4-D [1141]	Dichlorophenol-2,4 [1486]	Chlorophénol-4 [1650]	
9	Diuron [1177]	Dichloroaniline-3,4 [1586]	3,4-dichlorophenyluree [1930]	1-(3,4-dichlorophenyl)-3-méthyl-uree [1929]
10	Isoproturon [1208]	Desméthyl isoproturon [2738]	Dideméthyl isoproturon [2847]	
11	Métolachlore total [1221]	Metolachlor ESA [6854]	Metolachlor OXA [6853]	Métolachlore NOA 413173 [7729]
12	Pendiméthaline [1234]			
13	Pentachlorophénol [1235]			
14	Simazine [1263]	Simazine-hydroxy [1831]	Atrazine déisopropyl [1109]	Atrazine déisopropyl déséthyl [1830]
15	Terbutylazine [1268]	Terbutylazine hydroxy [1954]	Terbutylazine déséthyl [2045]	Terbutylazine deséthyl-2-hydroxy [7150]
16	Propyzamide [1414]			
17	Chlorprophame [1474]			
18	Glyphosate [1506]	AMPA [1907]		
19	Métobromuron [1515]			
20	Oxadiazon [1667]			
21	Norflurazone [1669]	Desméthyl norflurazon [2737]		
22	Métazachlore [1670]	Métazachlore ESA [6895]	Métazachlore OXA [6894]	
23	Diméthénamide [1678]	Diméthénamide ESA [6865]	Diméthénamide OXA [7735]	
24	Dichlobenil [1679]	2,6-Dichlorobenzamide [2011]		
25	Tébuconazole [1694]			
26	Imazalil [1704]	Isothiocyanate de méthyle [2722]		
27	Piperonyl butoxyde [1709]			
28	Métaldéhyde [1796]			
29	Chlorthiamide [1813]	Dichlobenil [1679]		
30	Diffufenicanil [1814]			
31	Imidaclopride [1877]			
32	Nicosulfuron [1882]	2-Aminosulfonyl-N,N-diméthylnicotinamide [7716]		
33	Acétochlore [1903]	Acetochlor ESA [6856]	Acetochlor OXA [6862]	Acétochlore SAA [7718]
34	Thiafluamide [1940]	Fluflénacet ESA [6864]		
35	Mesotrione [2076]			
36	Dimétachlore [2546]	Diméthachlore-ESA [6381]	Diméthachlore CGA 369873 [7727]	
37	Halosulfuron-méthyl [5508]			
38	fluxapyroxade [7342]			
39	Fluopicolide [7499]	2,6-Dichlorobenzamide [2011]		
		N,N-Diméthylsulfamide [6384] (métabolite de tolylfluanid [1719])		
		1,2,3,6-Tetrahydrophthalimide [7588] (métabolite de captane [1128])		

Illustration 6. Liste des 39 substances actives (en gras) et des 43 métabolites sélectionnés pour ce projet soit 81 molécules au total. Les couleurs soulignent les molécules qui apparaissent deux fois dans ce tableau.

f) 11 substances actives pour une analyse pression - impact

En concertation avec les partenaires, 11 substances actives ont été choisies pour mener une analyse plus fine du lien pression – impact. L'objectif est d'essayer de faire le lien entre les usages (ventes/achats de produits phytosanitaires) et la présence de la substance active et de ses métabolites dans les eaux souterraines et de surface et en prenant en compte les évolutions spatiales et temporelles des usages et de l'impact.

Les 11 substances actives choisies en concertation avec les partenaires du projet sont :

Substance active	Métabolite(s)
[1092] Prosulfocarbe	
[1101] Alachlore	[6800] Alachlor ESA [6855] Alachlor OXA
	[6853] Metolachlor OXA
[1221] Métolachlore total	[6854] Metolachlor ESA [7729] Métolachlore NOA413173
[1694] Tébuconazole	
	[1108] Atrazine déséthyl
	[1109] Atrazine déisopropyl
[1107] Atrazine	[1832] 2-hydroxyatrazine [3159] Atrazine 2-hydroxy-desethyl [1830] Atrazine déisopropyl déséthyl
[1113] Bentazone	
[1234] Pendiméthaline	
[1414] Propyzamide	
[1506] Glyphosate	[1907] AMPA
	[6865] Diméthénamide ESA
[1678] Diméthénamide	[7735] Diméthénamide OXA
[1796] Métaldéhyde	

Illustration 7. Liste des 11 substances actives choisies pour une représentation cartographique et une analyse du lien pression - impact

2.2. PRESENCE ET IMPACT SUR LES EAUX SOUTERRAINES ET LES EAUX DE SURFACE

2.2.1. Bilan pluriannuel des 81 paramètres

Pour les paramètres sélectionnés (Illustration 6) sont calculés deux indicateurs :

- Le **taux de quantification** qui représente le pourcentage d'analyses au-dessus de la limite de quantification (LQ) par rapport au nombre total d'analyses réalisées

$$\text{Taux de quantification} = \frac{\text{Nombre d'analyses} > \text{LQ}}{\text{Nombre d'analyses total}} \times 100 \text{ et,}$$

- La **fréquence de dépassement** de la valeur seuil 0,1 µg/L qui représente le pourcentage d'analyses qui dépasse 0,1 µg/L par rapport au nombre total d'analyses réalisées

$$\text{Fréquence de dépassement} = \frac{\text{Nombre d'analyses} > 0,1}{\text{Nombre d'analyses total}} \times 100.$$

Taux de quantification et fréquence de dépassement sont calculés par station hydrologique pour les eaux de surface et par qualitomètre les eaux souterraines sur 3 périodes distinctes : 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020.

2.2.2. Cartographie des bilans pluriannuels pour 11 substances actives et métabolites associés

Le taux de quantification représente **la présence** d'une molécule dans les eaux souterraines ou de surface, la fréquence de dépassement représente **son impact**.

Pour les métabolites de pesticides, l'ANSES distingue les métabolites pertinents et non pertinents dans les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH). Les limites de qualité sont de 0,1 µg/L par molécule dans l'eau distribuée pour les métabolites pertinents et 0,9 µg/L comme valeur de vigilance par défaut pour les métabolites non pertinents, si aucune valeur guide sanitaire n'a été définie par l'ANSES.

Bien que notre étude concerne des métabolites pertinents et non pertinents pour les EDCH, la notion d'impact sera caractérisée de la même manière pour toutes les molécules, par rapport à une seule et unique valeur, la valeur seuil 0,1 µg/L et ce, dans le but de faciliter les comparaisons.

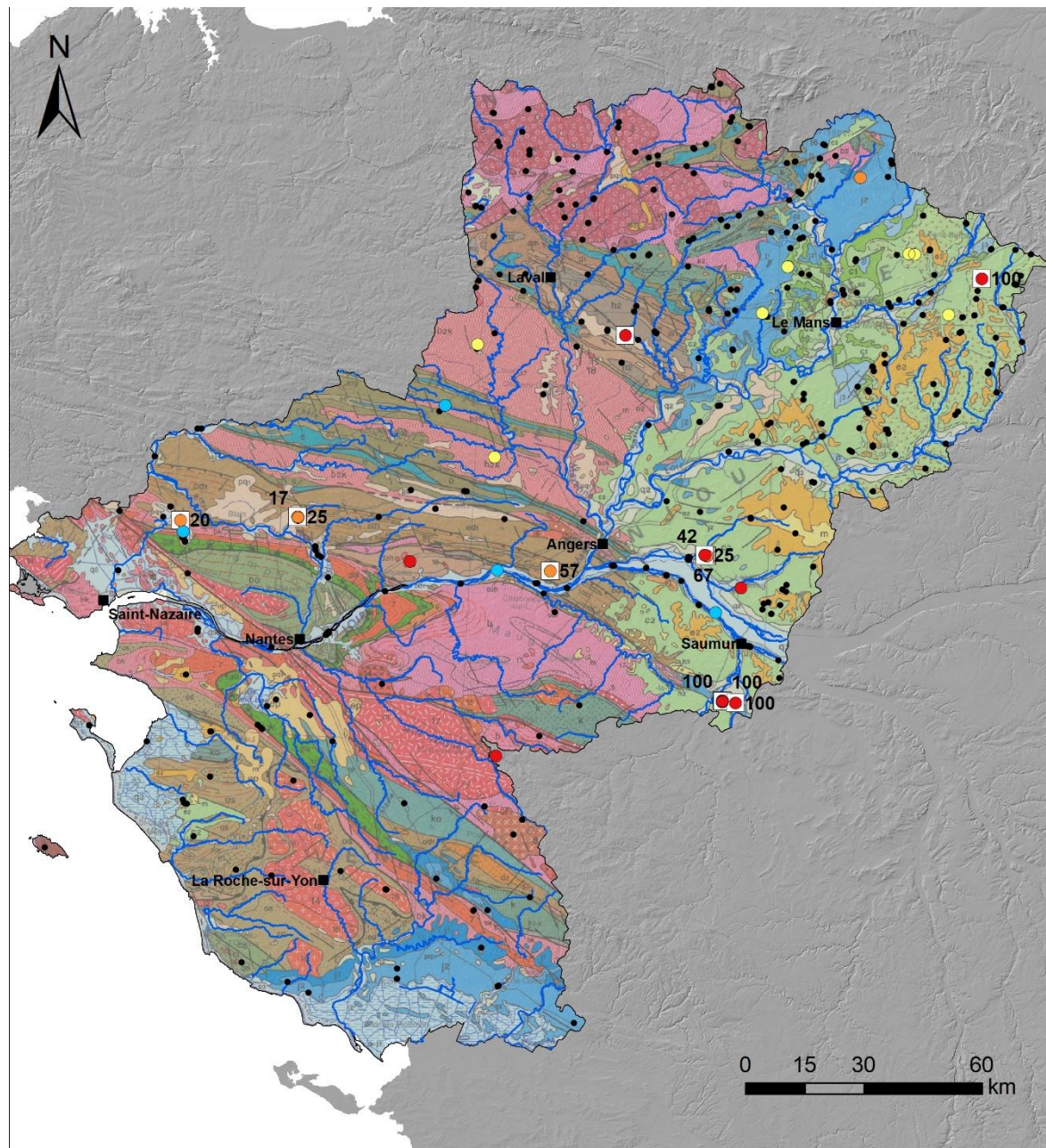
Pour les 11 substances actives sélectionnées (Illustration 7), les 2 indicateurs sont cartographiés pour chaque substance active en intégrant, quand il y en a, les indicateurs des métabolites associés sur une seule et même carte.

Pour 6 substances actives (bentazone - Illustration 8, prosulfocarbe, tébuconazole, pendiméthaline, propyzamide et métaldéhyde), il n'y a pas de métabolite à cartographier. Les cartes établies représentent le taux de quantification et la fréquence de dépassement pour la substance active seule.

Pour les 5 autres substances actives de la sélection (alachlore, métolachlore, atrazine, glyphosate et diméthénamide), la carte inclut la présence de la substance active et du ou des métabolites associés. Un travail de symbologie a été mené pour représenter au mieux la présence et l'impact de la substance active et ses métabolites. L'Illustration 9 montre l'exemple du métolachlore. L'atrazine a nécessité une approche un peu différente compte-tenu du nombre important de métabolites (cf. § 2.2.3).

Les taux de quantification (présence) et les fréquences de dépassement (impact) des bilans pluriannuels (§ 2.2.1) ont été cartographiés sur la région des Pays de la Loire pour les 11 substances actives sélectionnées (§ 2.2.2), pour 3 périodes différentes (2006-2010 ; 2011-2015 ; 2016-2020), pour les eaux souterraines et les eaux de surface ce qui représente au total 66

cartes. Deux atlas au format pdf, attachés à ce rapport, ont été constitués pour faciliter la consultation des cartes, pour les eaux de surface (ESU) et pour les eaux souterraines (ESO). Les références aux cartes se font dans la suite de ce rapport en indiquant le numéro de page et l'atlas concerné.



Bentazone dans les eaux souterraines

Période 2006-2010

Taux de quantification Dépassement 0,1 µg/L

- 0 %
-]0 - 25%]
-]25 - 50%]
-]50 - 75%]
-]75 - 100%]
- Fréquence > 0 % (≥ 3 analyses)
(Valeur % en gras)
- Ville
- Réseau hydrographique
- Région

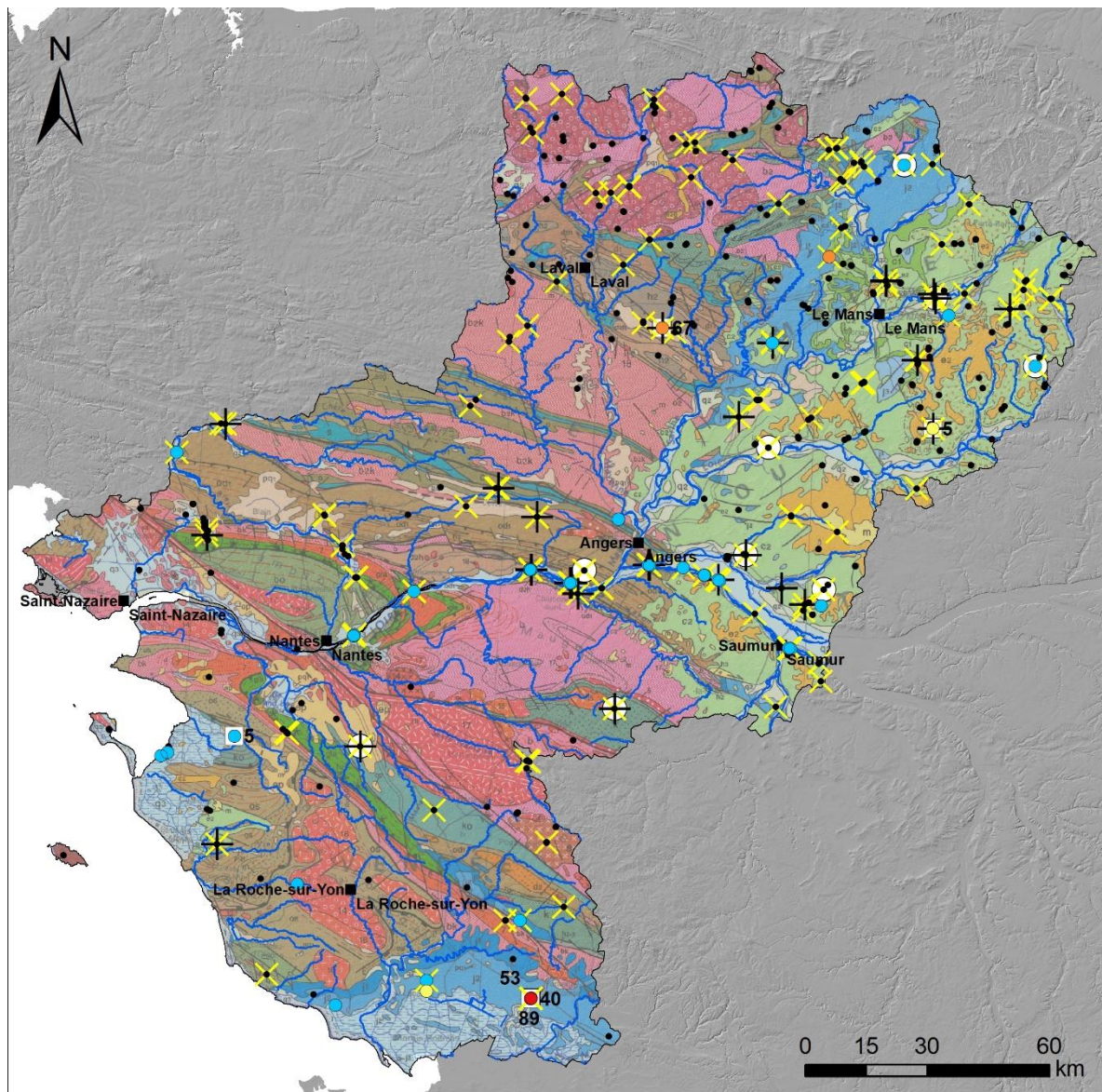


Géosciences pour une Terre durable

brgm

©BRGM – carte géologique au millionième
IGN - Cours d'eau Métropole - BD Carthage 2017
MNT 25m BDALTI 2017

Illustration 8. Taux de quantification (couleur du figuré) et fréquence de dépassement (%) de la valeur seuil à 0,1 µg/l pour la bentazone dans les eaux souterraines sur la période 2006-2010 (atlas ESO, p. 10)



Métolachlore et métabolites (ESA, OXA, NOA) dans les eaux souterraines

2016-2020 Métolachlore

Taux de quantification

- 0 %
-]0 - 25%]
-]25 - 50%]
-]50 - 75%]
-]75 - 100%]

Dépassement 0,1 µg/L

- Fréquence > 0 % (≥ 3 analyses)
(Valeur % en gras)

Métabolites

- ⊕ [métolachlore OXA] > 0,1 µg/L
- [métolachlore NOA] > 0,1 µg/L
- ✕ [métolachlore ESA] > 0,1 µg/L

La surveillance des métabolites ESA et OXA débute en 2016 et celle du métolachlore NOA 413173 débute en 2019.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

■ Ville

— Réseau hydrographique

□ Région

©BRGM – carte géologique au millionième
IGN - Cours d'eau Métropole - BD Carthage 2017
MNT 25m BDALTI 2017

Illustration 9. Taux de quantification et fréquence de dépassement de la valeur seuil à 0,1 µg/l pour le métolachlore et ses métabolites ESA, OXA et NOA dans les eaux souterraines sur la période 2016-2020 (atlas ESO, p. 15)

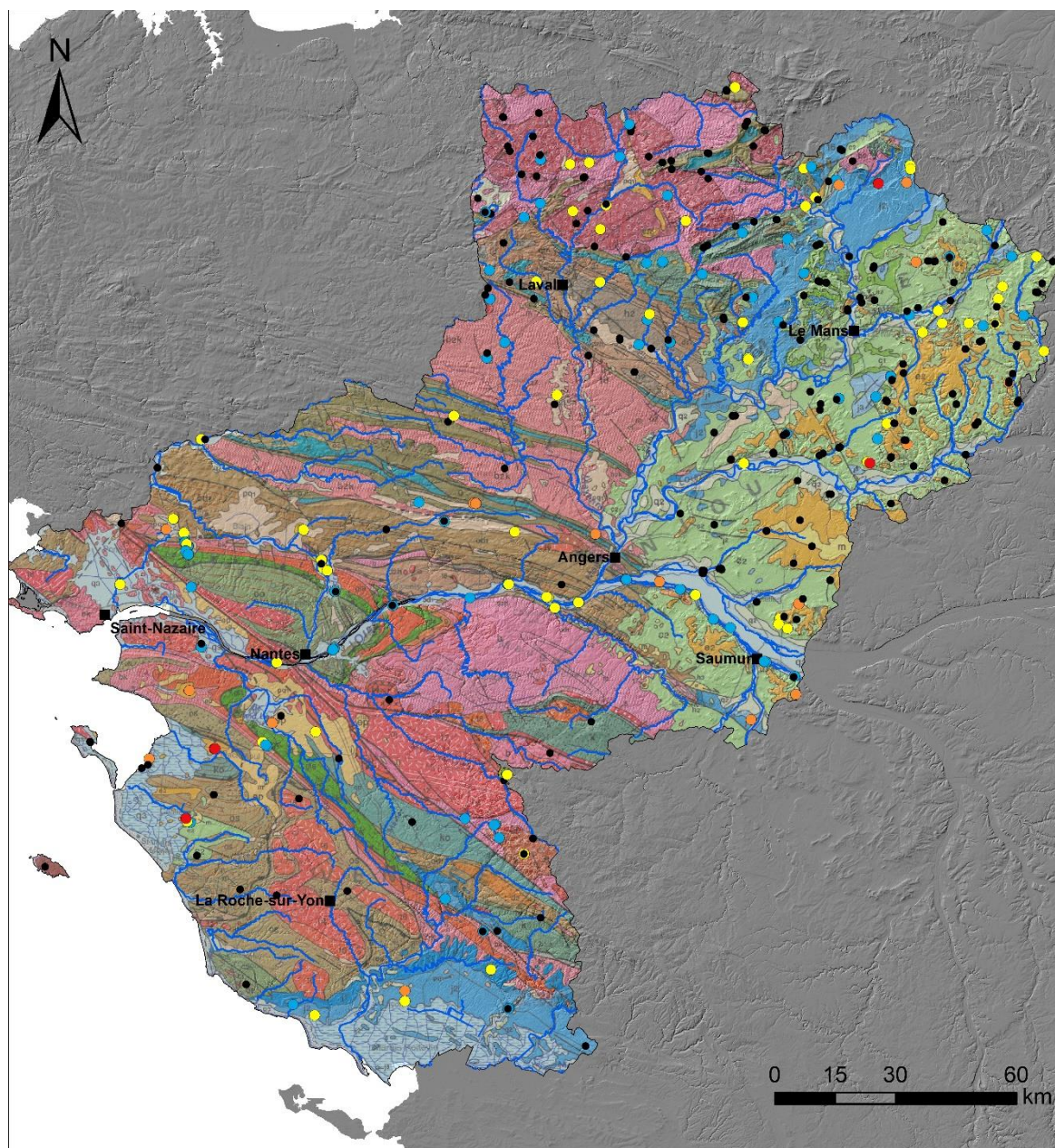
2.2.3. Cas particulier de l'atrazine

Pour l'atrazine, la surveillance concerne la substance active et jusqu'à 5 métabolites (Illustration 6, Illustration 7, Illustration 10) en fonction des périodes considérées ce qui rend la mise en forme cartographique complexe. En effet, il s'agit de représenter la présence (taux de quantification) et l'impact (fréquence de dépassement) de 6 paramètres sur une seule et même carte, soit jusqu'à 12 valeurs par qualitomètres/stations.

Ainsi il a été nécessaire de construire un autre indicateur représentant la présence de l'atrazine et de ses métabolites dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface. Cet indicateur est la valeur maximum de la somme des concentrations mesurées en atrazine et ses métabolites rapportée au nombre de molécules analysées sur la période considérée tel que :

- La somme des concentrations est calculée par point (qualitomètre ESO/station ESU) et par date ;
- Les concentrations inférieures à la limite de quantification sont ramenées à zéro pour le calcul de la somme ;
- La somme calculée est pondérée par le nombre de molécules analysées ; l'objectif est de ne pas introduire de biais lié à des disparités de surveillance entre les points mais aussi entre les différentes périodes.
- Pour chacune des 3 périodes (2006-2010, 2011-2015, 2016-2020), la valeur maximum est sélectionnée pour représenter la présence de l'atrazine (et de ses métabolites) dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface et représentée sur les cartes. L'Illustration 10 montre l'exemple de la période 2011-2015.

Cet indicateur, maximum de la somme des concentrations, a fait l'objet d'une représentation cartographique pour chacune des trois périodes pour les eaux souterraines (atlas ESO p. 7, 8 et 9) et pour les eaux de surface (atlas ESU p. 7, 8 et 9).



Atrazine et métabolites dans les eaux souterraines



2011-2015 Valeur maximum

Indicateur de présence

- 0 µg/L
- [0 - 0,01 µg/L]
- [0,01 - 0,03 µg/L]
- [0,03 - 0,1 µg/L]
- [0,1 - 0,5 µg/L]

- Ville
- Réseau hydrographique
- Région

Indicateur de présence =

([atrazine] + [atrazine déséthyl] + [atrazine désiopropyl] + [atrazine déisopropyl déséthyl] + [2-hydroxy atrazine] + [atrazine 2-hydroxy-déséthyl]) / nombre de molécules

©BRGM – carte géologique au millionième
IGN - Cours d'eau Métropole - BD Carthage 2017
MNT 25m BDALTI 2017

Illustration 10. Indicateur de présence de l'atrazine et de ses métabolites sur la période 2011-2015 (atlas ESO p. 8)

2.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Le contexte hydrogéologique peut jouer un rôle dans le transfert de contaminant de la surface vers les eaux souterraines. Pour caractériser ce rôle, deux indicateurs, pour lesquels les données existent et qui font consensus, sont pris en compte :

- Le type d'aquifère ;
- La vulnérabilité des eaux souterraines autour du captage (Mardhel et Gravier, 2006).

2.3.1. Type d'aquifère

Le type d'aquifère est pris en compte à partir de la typologie BDLISA. La BDLISA (Base de Donnée des Limites des Systèmes Aquifères) est un référentiel cartographique du Système d'Information sur l'Eau utilisé à l'échelle nationale. Cinq thèmes distinguent les entités hydrogéologiques de type :

- Alluvial ;
- Sédimentaire ;
- Socle ;
- Intensément plissé de montagnes ;
- Volcanisme

Pour chaque point d'eau associé à une entité BDLISA, l'information du thème est collectée (ADES, référentiel des points d'eau).

2.3.2. Vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines

La carte de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines du bassin Loire-Bretagne est issue des travaux de Mardhel et Gravier (2006, Illustration 11). Cet indicateur est fondé sur la combinaison de deux critères : l'IDPR Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (Mardhel *et al.*, 2021) et de l'épaisseur de la zone non saturée. La vulnérabilité est attribuée aux premiers aquifères rencontrés. L'indicateur prend une valeur de 0 à 100, 100 représente une vulnérabilité maximale. Les données sont disponibles au format raster¹⁷ (par maille). L'outil *statistique zonal* (ArcGis) permet de calculer l'indicateur de vulnérabilité représentatif du point de captage par rapport à la surface de référence définie (Aire d'alimentation du captage, périmètre de protection et/ou zone de protection de l'aire d'alimentation du captage ; cf. paragraphe 3.5.1).

Ainsi pour chaque captage AEP (lorsque cela est possible) est renseigné :

- Le type d'aquifère (paragraphe 2.3.1) : alluvial, sédimentaire, socle ou indéterminé et,
- Un indicateur de vulnérabilité intrinsèque : valeur entière entre 0 à 100.

¹⁷ Raster : grille composée de cellules organisées en ligne et en colonne, chaque cellule porte des valeurs. Par exemple ici, chaque cellule porte une valeur de 0 à 100, valeur qui représente la vulnérabilité.

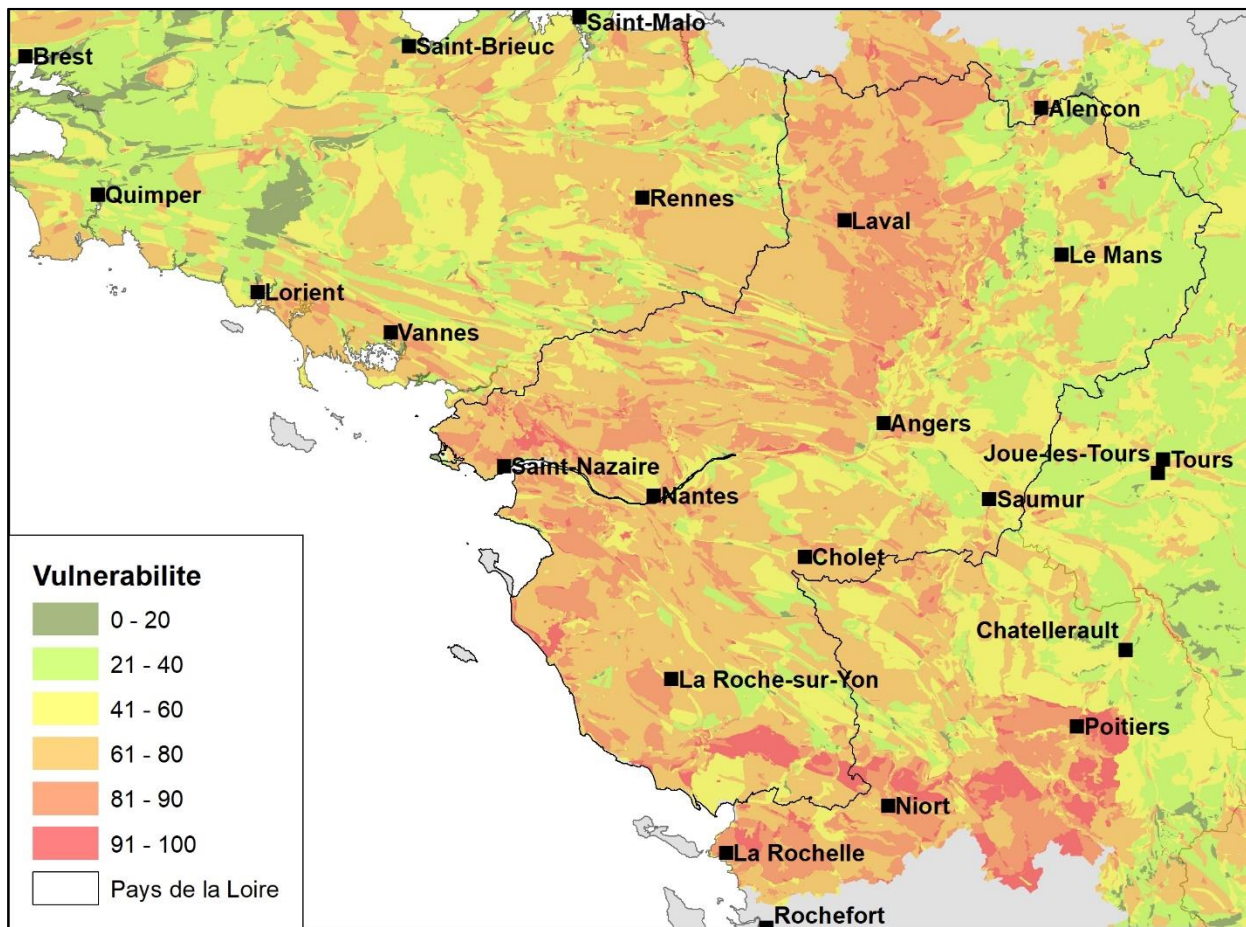


Illustration 11. Carte de vulnérabilité intrinsèque de la région Pays de la Loire (Mardhel et Gravier, 2006)

2.4. LES VALEURS GUIDES ENVIRONNEMENTALES

L'évaluation de la qualité selon la DCE, qu'il s'agisse des eaux de surface ou souterraines, repose sur des seuils de concentration à ne pas dépasser. La teneur par substance phytosanitaire doit être inférieure ou égale à 0,1 µg/L (à l'exception de 4 substances : aldrine, dieldrine, heptachlore et heptachlore epoxyde, concentration limite abaissée à 0,03 µg/L) et celle pour la somme des substances ne doit pas dépasser 0,5 µg/L (DCE).

Au-delà de la DCE, différentes valeurs guides environnementales peuvent être utilisées comme limite de qualité. Pour les 11 substances actives sélectionnées (paragraphe 2.1.2 f) et leurs métabolites, un travail de synthèse réunit ces valeurs guides environnementales dans un tableau (Tableau_Valeurs_Guides_PdL.xlsx) accompagnant ce rapport.

Pour chaque [molécule listée \(colonne A\)](#) est renseigné :

- Le [code SANDRE \(colonne B\)](#) et le [code CAS \(colonne C\)](#) ;
- Le type de molécule : [substance active SA ou un métabolite \(colonne D\)](#) ;

Le jeu des couleurs permet d'identifier les groupes SA et leurs métabolites associés.

- La [pertinence du métabolite \(colonne E\)](#) et la [référence associée \(colonne F\)](#).

Selon la directive européenne 2020/2184, « *un métabolite de pesticide est jugé pertinent pour les EDCH s'il y a lieu de considérer qu'il possède des propriétés intrinsèques comparables à celles de la substance mère en ce qui concerne son activité cible pesticide ou qu'il fait peser (par lui-même ou par ses produits de transformation) un risque sanitaire pour les consommateurs* ». Lorsqu'un métabolite est considéré comme pertinent pour les EDCH, il doit faire l'objet de la même vigilance et des mêmes mesures réglementaires qu'une substance active retrouvée dans l'eau du robinet. En France, l'ANSES évalue la pertinence ou non d'un métabolite dans les EDCH suivant une méthodologie établie à l'échelle nationale.

- Les **valeurs des Vmax Valeurs Sanitaires Maximales** (colonne G), **l'année de construction** (colonne H) et la **référence associée** (colonne I).

Les valeurs de la DCE ne sont pas des indicateurs de risque sanitaire. L'ANSES¹⁸ établit des valeurs sanitaires maximales dérogatoires pour garantir la santé du consommateur même en situation de dépassement des limites de qualité. Ces Vmax jouent le rôle de repère temporaire, le temps que des solutions soient mises en œuvre pour remédier au dépassement de la limite de qualité.

- Les **Normes de Qualité Environnementales (NQE)** pour les eaux de surface (colonne J à Q) : Directive 2013/39/UE des substances prioritaires dans les eaux de surface (colonne J et K), l'arrêté du 09 octobre 2012 pour l'évaluation de l'état des eaux de surface (colonne L à P), l'arrêté du 09 octobre 2023 pour les eaux souterraines (colonne Q).

Les Normes de Qualité Environnementale (NQE) sont définies dans le contexte réglementaire de la Directive Cadre sur l'Eau, ou DCE (2000/60/EC) qui établit une politique communautaire pour la gestion des eaux intérieures de surface, des eaux souterraines, des eaux de transition (eaux estuariennes) et des eaux côtières, afin de prévenir et de réduire leur pollution, de promouvoir leur utilisation durable, de protéger leur environnement, d'améliorer l'état des écosystèmes aquatiques et d'atténuer les effets des inondations et des sécheresses¹⁹.

Les NQE sont des valeurs seuils que la concentration aquatique mesurée ne doit pas dépasser pour garantir la protection de l'environnement (PNEC = concentration maximale d'une substance jusqu'à laquelle il n'y a pas de risque mesuré pour l'environnement) et de la santé humaine (Piren-Seine, 2011).

La NQE a donc deux composantes :

- une composante environnementale (PNEC) qui permet de protéger les organismes du milieu aquatique d'un effet toxique direct ou par empoisonnement secondaire (ingestion de nourriture contaminée) ;
- une composante sanitaire qui permet de protéger la santé humaine de la toxicité des substances sur l'eau brute destinée à la consommation humaine ou d'un empoisonnement secondaire par consommation d'organismes éventuellement contaminés.

Ainsi, pour chaque substance prioritaire, des NQE-MA (moyenne annuelle) et NQE-CMA (maximum admissible) sont définies. Leur définition s'appuie sur l'estimation des PNEC décrites ci-avant, en l'appliquant au milieu aquatique : elle correspond à la valeur minimale des différentes valeurs de PNEC observées pour chacun des compartiments étudiés (eau, sédiments, biote et santé humaine).

- Les **valeurs guides de l'OMS** (colonne R) ;

¹⁸ <https://www.anses.fr/fr/content/pesticides-dans-eau-du-robinet>

¹⁹ <https://substances.ineris.fr/fr/page/9>

Les valeurs guides de l'OMS visent à garantir la santé du consommateur d'eau et sont établies à partir des études de risque chronique molécule par molécule.

- Le **lien** (colonne S) et la **date** (colonne T) des **fiches INERIS** ainsi que les différentes **valeurs** identifiées (colonne U à Y) ;

Sur le portail Substances Chimiques de l'INERIS, les fiches disponibles renseignent sur différentes valeurs de référence comme la concentration moyenne dans l'eau non destinée à l'eau potable, la concentration maximum acceptable (MAC) dans l'eau douce, la norme de qualité pour la santé humaine dans l'eau de boisson (QS_{DW_HH}), la valeur guide environnementale pour l'eau douce et la concentration moyenne annuelle déterminée pour protéger les organismes de la colonne d'eau d'une possible exposition prolongée.

- Les valeurs PNEC (colonne AB) du réseau NORMAN ;

Cette expertise est complétée des valeurs PNEC *Predicted No-Effect Concentrations*. Les valeurs de PNEC sont les valeurs de la plus forte concentration évaluée comme sans risque pour l'environnement. Elle définit la toxicité de la substance vis-à-vis de l'environnement. Les PNEC sont le résultat des travaux des experts en écotoxicologie du réseau NORMAN (*Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances*) : *Norman Ecotoxicology Database*²⁰.

Ce travail de synthèse date de février 2024. Les travaux de mises à jour des valeurs guides environnementales et des normes de qualités environnementales de l'INERIS, publiés en février 2025 ([Mise à jour du tableau récapitulatif Ineris des VGE et NQE | PSC](#)), ne sont donc pas intégrés à cette synthèse.

²⁰ <https://www.norman-network.com/nds/ecotox/>

3. Cartographie des usages potentiels des produits phytosanitaires

L'objectif de ce chapitre est de **cartographier les usages potentiels des substances actives** en utilisant les données de ventes/achats de produits phytosanitaires (BNV-D²¹ et OAPP²²), les informations sur les usages autorisés des substances actives (E-Phy²³) et les données géographiques des parcelles agricoles (RPG²⁴).

La démarche proposée repose sur et s'inscrit dans la continuité de précédents travaux de recherche développés sur le lien entre pression et impact des produits phytosanitaires sur les eaux souterraines :

- Méthode appliquée à l'échelle nationale pour l'étude pression-impact des substances phytosanitaires sur les eaux souterraines. (Auterives et Baran, 2017)
- Appui scientifique du BRGM pour l'interprétation des données de l'inventaire transfrontalier ERMES – phase 2. (Lopez *et al.*, 2021)
- MELASSES Mieux Exploiter La Surveillance des Eaux Souterraines. (Auterives *et al.* 2023)

La démarche, pour une substance active donnée, est :

- (1) Identifier la ou les cultures ayant des usages autorisés sur la période 2006-2020 (E-Phy) (cf. annexe 1) ;
- (2) Mettre en correspondance les cultures autorisées (E-Phy) avec les cultures principales déclarées (carte des cultures, cf. paragraphe 3.2) du RPG pour établir une carte d'application potentielle de la substance active (paragraphe 3.3) ;
- (3) Distribuer les quantités de substances actives vendues/achetées (BNV-D) sur les surfaces potentielles d'application (paragraphe 3.4).

Toute cette démarche est résumée dans l'illustration 12.

²¹ [BNV-D Traçabilité \(eaufrance.fr\)](https://eaufrance.fr/)

²² OAPP Observatoire des achats de produits phytosanitaires [Monolé \(agriculture.gouv.fr\)](https://monole.agriculture.gouv.fr/)

²³ [ephy | \(anses.fr\)](https://ephy.anses.fr/) Catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages, des matières fertilisantes et des supports de culture autorisés en France

²⁴ [RPG | Géoservices \(ign.fr\)](https://rpg.ign.fr/) RPG Registre parcellaire graphique

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

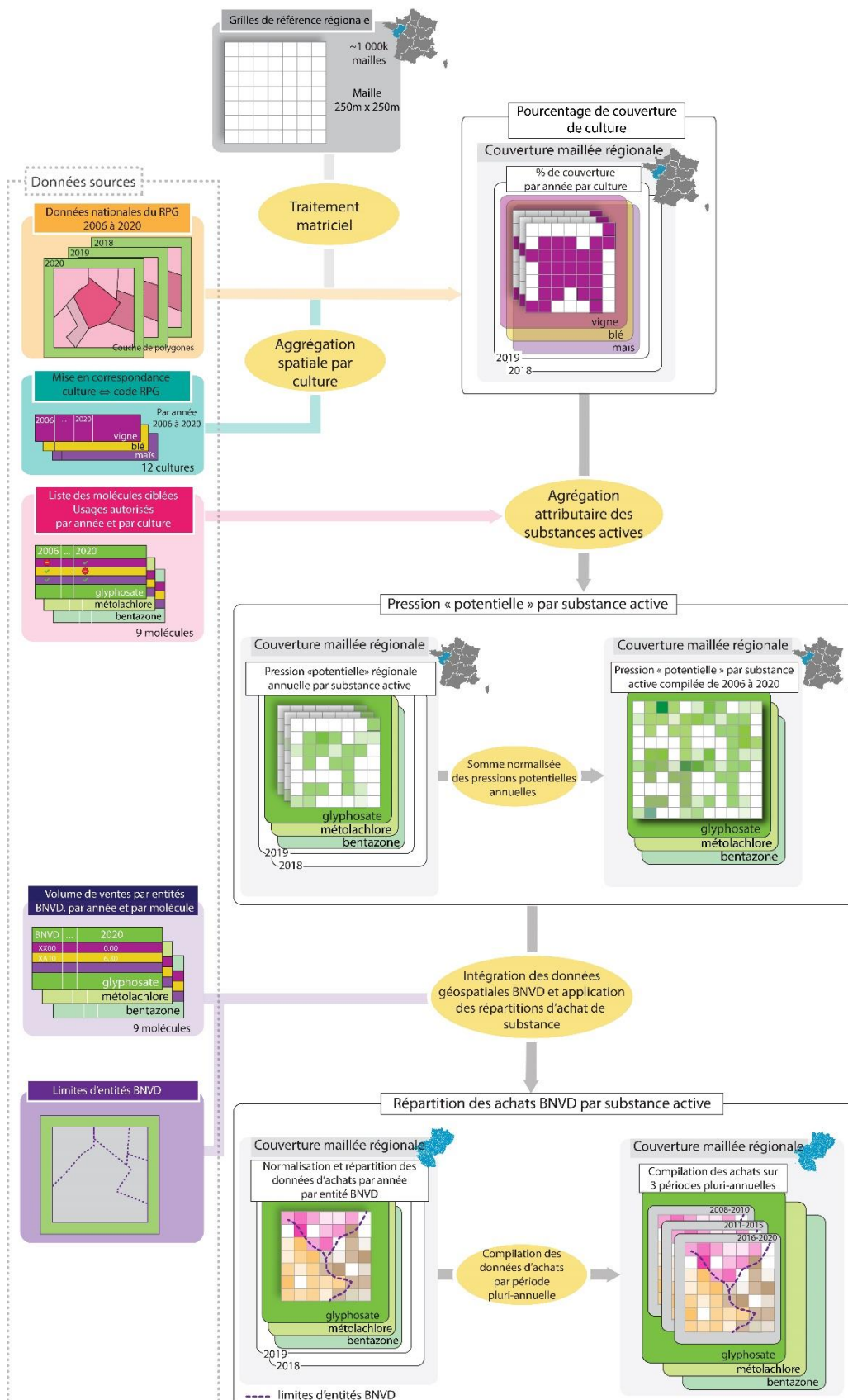


Illustration 12. Workflow schématisé des traitements réalisés pour établir les cartes cultures, les cartes de surface d'application potentielle et les cartes de quantité potentielle appliquée

3.1. L'APPROCHE DEVELOPPEE DANS LE PROJET MELASSES ET LES AMELIORATIONS APPORTEES

La construction des cartes de cultures (§ 3.2) et des cartes de substances actives (§ 3.3) repose sur la méthode de cartographie des surfaces potentielles des produits phytopharmaceutiques à l'échelle du territoire national issue du projet MELASSES (2020-2022) (Auterives *et al.*, 2023), projet de recherche établi avec l'ANSES unité de Phytopharmacovigilance. Cette méthode est décrite de façon détaillée dans le rapport [BRGM/RP-71997-FR](#). La méthode développée repose en première approche à considérer qu'une molécule est potentiellement appliquée sur toutes les cultures où elle est autorisée. Il s'agit donc pour une substance active d'identifier les cultures pour lesquelles elle est autorisée, puis de localiser ces cultures afin de cartographier la pression potentielle maximum sur un territoire donné pour une substance active donnée.

Le projet MELASSES (Auterives *et al.* 2023) couvre la période 2010-2019 pour 38 substances actives et une sélection de cultures prédominantes à l'échelle nationale (Illustration 13).

Pour notre étude, la période couverte est plus large avec 5 années supplémentaires. Pour les cartes de cultures (rasters), les cultures prédominantes à l'échelle du territoire national diffèrent de celles prédominantes en région Pays de la Loire ; en conséquence, avoine, cultures fruitières et cultures légumières (nomenclature RPG) ont été ajoutées spécifiquement pour ce projet et blé, crucifères oléagineuses, graines protéagineuses, maïs et vigne ont été modifiées par rapport aux travaux du projet MELASSES. Seuls 4 rasters cultures ont été réutilisés sans changement : betterave industrielle et fourragère, orge, prairies et tournesol. Ils ont toutefois été produits pour les années 2007-2009, 2020. Pour les cartes de pression, les substances actives prosulfocarbe, pendiméthaline et métaldéhyde ont été créées spécifiquement pour ce projet.

Les données de ventes/achats de substances actives avaient été prises en compte à une échelle globale mais pas distribuées sur les surfaces d'application potentielle, cette dernière étape fait l'objet d'un **développement spécifique dans le cadre de la présente étude** (§ 3.4).

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

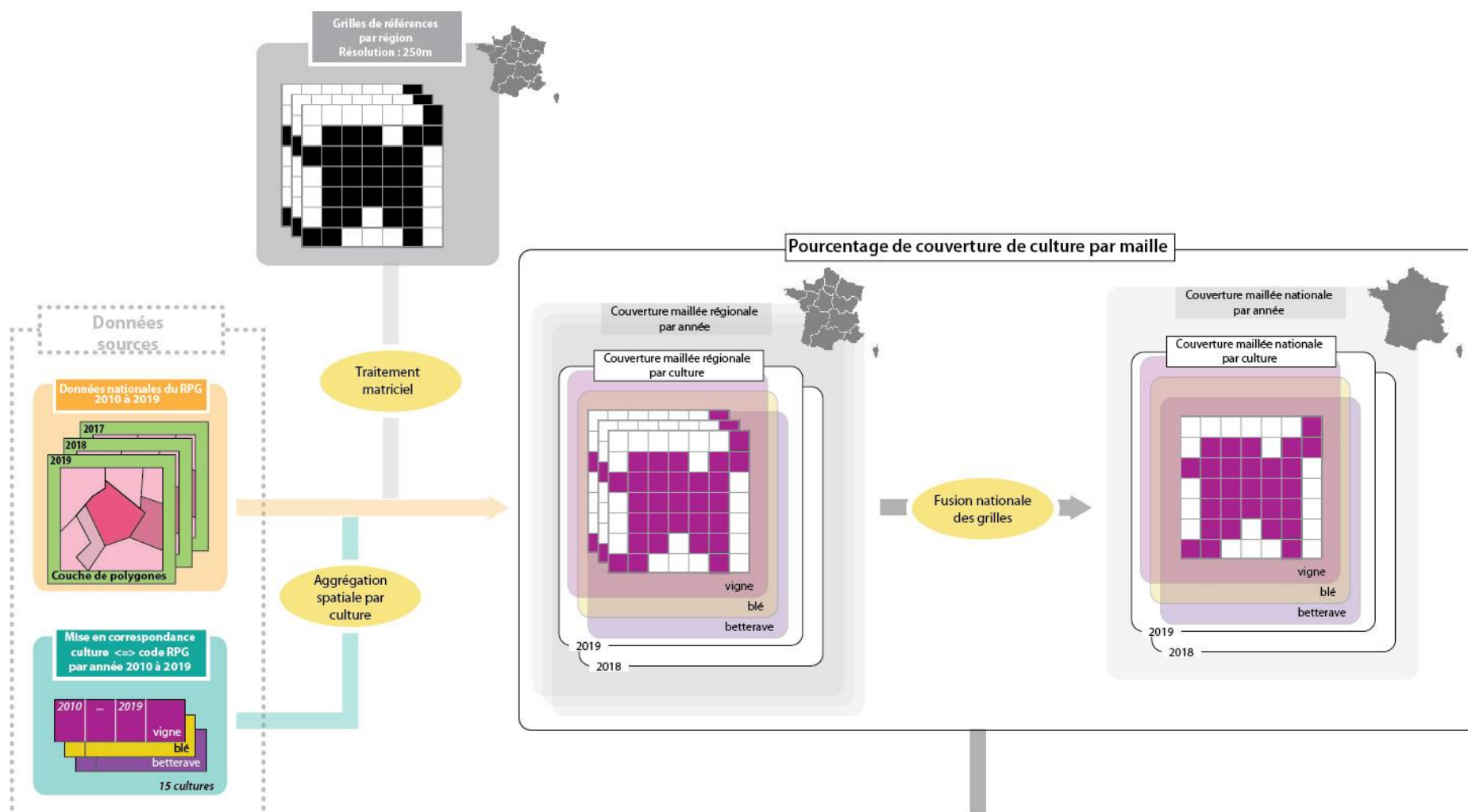


Illustration 13. Workflow schématisé des traitements géospatiaux, réalisés pour la mise en place des cartes de pourcentage de couverture des cultures à l'échelle nationale, de 2010 à 2019 (projet MELASSES, Auterives et al. 2023)

3.2. LES CARTES DES CULTURES

Pour chaque substance active (cf. 2.1.2 f), **tous les usages autorisés** (<https://ephy.anses.fr/>) en France sont listés, c'est-à-dire la ou les cultures autorisées et la période concernée (annexe 1). A titre d'exemple, le métaldéhyde est autorisé depuis 2018 pour les cultures légumières, les grandes cultures et depuis 1991 pour les traitements généraux.

Toutes substances actives confondues, cela représente 89 cultures différentes (source E-Phy, 0) pour lesquelles au moins un usage est ou a été autorisé. Pour des raisons pratiques, liées à la fois aux contraintes informatiques mais aussi aux limitations engendrées par l'évolution de la structure du RPG²⁵ avant et après 2015²⁶, toutes les cultures telles que définies par l'ANSES (E-Phy) n'ont pas été traitées. Le travail de liaison entre les cultures définies dans les bases RPG (IGN, 2018 version 1.0 ; RPG, 2020 version 2.0) et les cultures définies dans E-Phy a été dirigé vers les cultures qui représentent les surfaces les plus importantes sur le territoire de la région Pays de la Loire. La sélection des cultures prédominantes en Pays de la Loire repose sur les données du recensement agricole de 2020 (RGA 2020) où 13 cultures occupent plus de 0,1% de la surface agricole utile (SAU) et sont ainsi sélectionnées pour notre étude (Illustration 14). Elles représentent au total 93,3 % de la SAU.

La sélection des cultures basée sur l'importance de la surface qu'elles représentent sur le territoire est justifiée par le fait que les cultures couvrant le plus de surface sont généralement des productions économiques majeures sur lesquelles l'application de produits phytosanitaires est susceptible d'avoir le plus d'impact. Les cultures les plus importantes de ce point de vue (Illustration 14) sont le maïs (20% de la SAU en 2020), le blé (14% de la SAU de 2020), l'orge (4%), les crucifères oléagineuses (3%), le tournesol (2,5%), la vigne (1%) et les graines protéagineuses (1%). Les prairies constituent une exception car bien que représentant des surfaces importantes (46% de la SAU de 2020), elles ne sont pas des surfaces sur lesquelles sont appliquées des quantités importantes de produits phytosanitaires (Agreste, 2020) : 85 % des surfaces en prairies ne reçoivent pas de désherbant (Agreste, 2014).

Cultures	% SAU (RGA 2020)
Avoine	0,1
Betterave industrielle et fourragère	0,1
Blé	14
Crucifères oléagineuses	3
Cultures fruitières	0,4
Cultures légumières	0,9
Graines protéagineuses	1
Laitue	0,4
Maïs	20
Orge	4
Prairies	46
Tournesol	2,5
Vigne	1

Illustration 14. Cultures majoritaires en région Pays de la Loire (données RGA 2020, % SAU) – cultures sélectionnées

²⁵ <https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/rpg>

²⁶ [Registre parcellaire graphique \(RPG\) | Fiche donnée | Portail de l'artificialisation des sols \(developpement-durable.gouv.fr\)](#)

La laitue (0,4 % de la SAU) fait partie des cultures légumières (0,9 % SAU). Dans cette étude, il n'y a pas de substance active spécifique à la laitue et qui ne s'applique pas sur les autres légumes ; il n'y a donc pas d'intérêt à produire la carte culture laitue dont les surfaces d'application potentielle sont déjà prises en compte avec la carte des cultures légumières ; cela engendrerait une surestimation des surfaces d'application potentielle.

En conséquence, sur les 89 cultures autorisées (E-Phy), **12 cartes cultures majoritaires** sont produites (cf. paragraphe 3.4.3) : **avoine, betterave, blé, crucifères oléagineuses, cultures fruitières, cultures légumières, graines protéagineuses, maïs, orge, prairies, tournesol et vigne.**

Les cartes de cultures n'apportent pas de résultats supplémentaires, ni d'informations différentes des autres études déjà réalisées auparavant dans le cadre de l'évolution de l'occupation du sol ou dans le cadre de la répartition des surfaces agricoles. Elles sont en revanche des outils intermédiaires de l'étude dont la conception est nécessaire pour produire les cartes d'application potentielle des substances actives qui regrouperont plusieurs cultures susceptibles de recevoir une même substance active.

A titre d'exemple, le prosulfocarbe est autorisé sur 15 cultures différentes selon e-Phy (arbres et arbustes, artichaut, blé, carotte, céleris, fraisier, oignon, orge, colza, poireau, pomme de terre, porte graine - Graminées fourragères et à gazons, porte graine - PPAMC²⁷, Florales et Potagères, PPAMC, seigle). La carte d'application potentielle du prosulfocarbe pour une année donnée sera la combinaison de 4 cultures prédominantes (Illustration 15) : blé, crucifères oléagineuses (colza), orge, et cultures légumières (artichaut, carotte, céleris, fraisier, oignon, poireau et pomme de terre).

L'unité de base dans le RPG est l'ilot de culture, cette unité surfacique a une valeur légale et représente une unité cadastrale. Il n'y a pas de continuité des ilots et des parcelles (partie d'ilot) d'une année à l'autre. Pour cette raison, les cartes des cultures sont établies selon une matrice régulière définie avec une résolution de 250 m x 250 m, afin de disposer d'une échelle fine, tout en restant sur des matrices utilisables en termes de ressources informatiques.

Les cartes des cultures sont issues des données RPG disponibles à partir de 2006. Les données présentent toutefois certaines lacunes : en 2006 il n'y a pas de données en Vendée et dans la Sarthe, en 2011 il n'y en a pas en Loire-Atlantique.

Les cartes des cultures ainsi établies sont des rasters (maille 250 m X 250 m) par culture et par année qui représentent le pourcentage ou la surface en ha de la culture dans la maille. Au total, 180 rasters cultures ont été produits (12 cultures sur 15 années 2006-2020).

²⁷ PPAMC Plantes à parfum, aromatiques ou médicinales et condimentaires

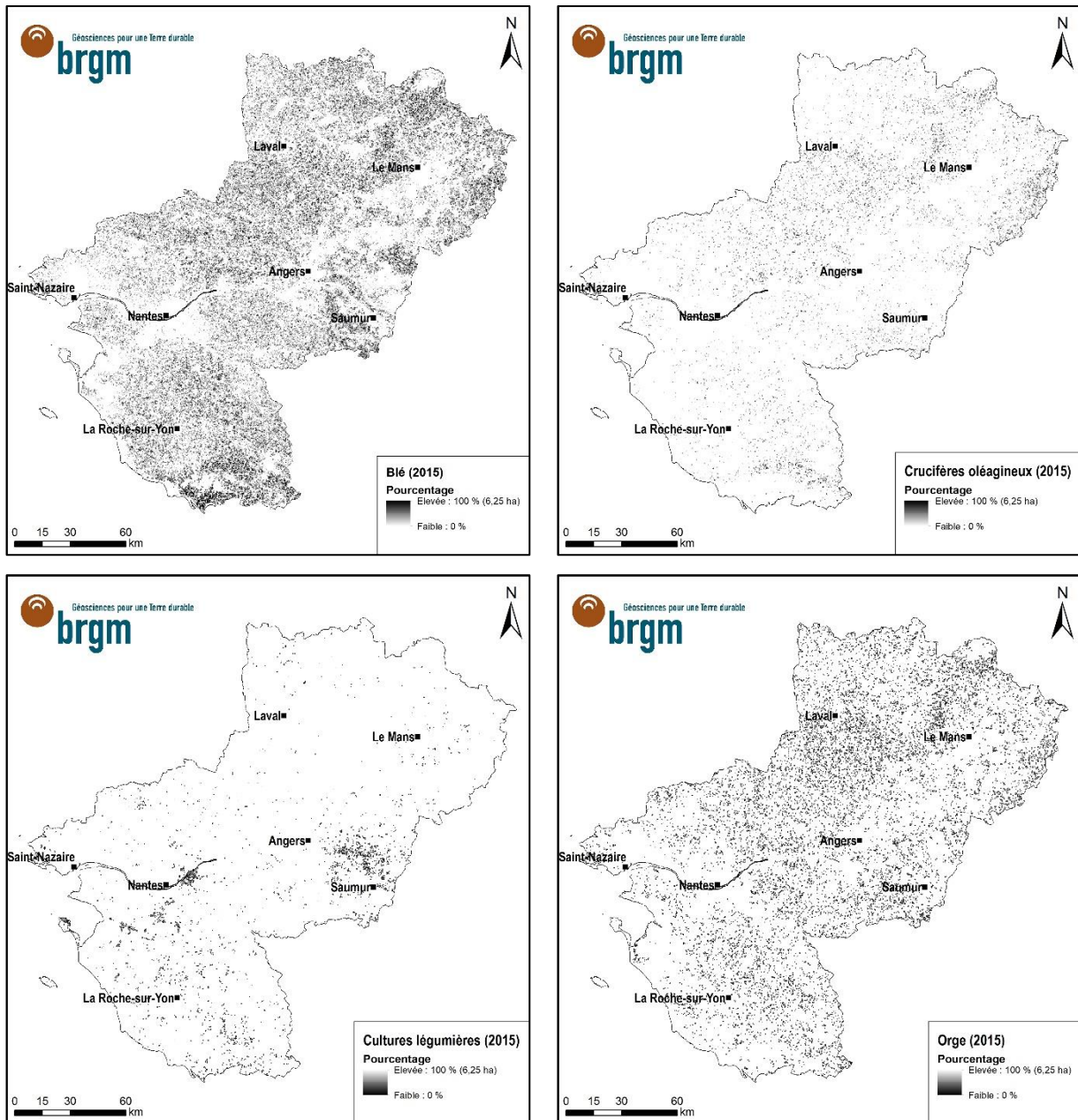


Illustration 15. Rasters des cultures de 2015 du blé, des crucifères oléagineuses, des cultures légumières et de l'orge représentant la pression potentielle des surfaces d'application du prosulfocarbe

3.3. LES CARTES DES SUBSTANCES ACTIVES

Les cartes des substances actives sont également des rasters (maille 250 m X 250 m) issus de la compilation de plusieurs rasters cultures. Les rasters, par substance active et par année, sont établis en pourcentage et en ha (max. 6,25 ha) d'application potentielle par maille (250 m X 250 m), représentant ainsi la **somme des rasters cultures sélectionnés**.

A titre d'exemple, en 2015, la substance active prosulfocarbe a des usages autorisés sur le blé, les crucifères oléagineuses, les cultures légumières et l'orge. Les données du RPG 2015 permettent de produire 4 cartes des cultures : blé, crucifères oléagineuses, cultures légumières et orge (Illustration 15). Ces 4 cartes sont sommées pour avoir la carte d'application potentielle du prosulfocarbe pour l'année 2015 (Illustration 16).

Carte blé 2015 + carte crucifères oléagineux 2015 + carte cultures légumières 2015 (format raster, Illustration 15) = carte des surfaces d'application potentielle du prosulfocarbe en 2015 (format raster, Illustration 16).

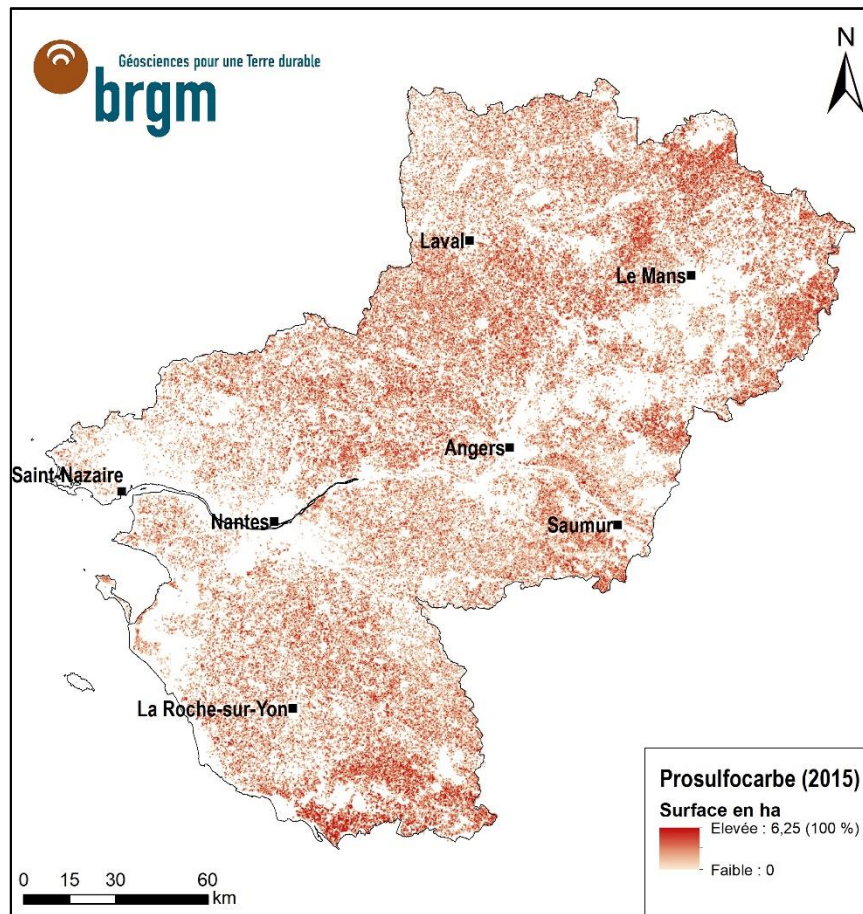


Illustration 16. Carte d'application potentielle du prosulfocarbe en 2015 sur la région Pays de la Loire qui combine les cultures du blé, les crucifères oléagineuses, les cultures légumières et l'orge

3.4. SPATIALISATION DES DONNEES D'ACHAT

3.4.1. Les données d'achat

BNV-D (2013-2020)

Les données d'achats de produits phytopharmaceutiques ont été téléchargées à partir de la banque nationale des achats réalisés par les distributeurs de produits phytopharmaceutiques, site BNV-D Traçabilité (<https://ventes-produits-phytopharmaceutiques.eaufrance.fr/>) le 21/07/2023. Les registres, pour lesquels le code postal de l'acheteur est renseigné, disponibles depuis 2013 jusqu'à 2020 ont été téléchargés pour la région Pays de la Loire.

OAPP (2008-2012)

Les données issues de l'Observatoire des achats de produits phytosanitaires, de la même manière que les données de la BNV-D Traçabilité, renseignent sur les données d'achats de produits phytosanitaires rattachés au code postal de l'acheteur pour la période 2008-2012. Ces données permettent de compléter l'historique des données d'achat des substances actives. Avant 2013, la BNV-D dispose des données au code postal du vendeur (point de vente). On distinguera

les données de ventes (localisés au point de vente) des données d'achats (localisés au code postal de l'acheteur).

L'objectif est de spatialiser les données d'achats des substances actives (Illustration 7) sur les cartes des substances actives (paragraphe 3.3). Parmi elles, l'atrazine (interdite depuis 2003) et l'alachlore (interdit depuis 2008²⁸), molécules interdites, aucune vente n'est enregistrée dans la BNV-D (2008-actuel).

3.4.2. Code postal et code INSEE

Les données d'achats (BNV-D et OAPP) sont renseignées au code postal. La démarche initialement proposée est de distribuer les achats sur la commune d'achat et les communes limitrophes en supposant que les substances actives sont achetées à proximité du lieu d'exploitation et donc utilisées à proximité du lieu d'achat représenté par le code postal de l'acheteur.

Pour localiser les achats, le référentiel 2022 des communes de métropole²⁹ a été téléchargé en juillet 2023 : chaque commune y est identifiée par son code INSEE. Pour faire le lien code postal (données OAPP/BNV-D) – code INSEE (référentiel des communes), la base officielle des codes postaux³⁰ a été téléchargée (15-12-2022).

Dans la BNV-D, pour les 9 substances actives sélectionnées, sur la période 2013-2020, 544 codes postaux différents sont listés. Plusieurs codes postaux sont erronés :

- Il s'agit de codes postaux anciens ;
- Il ne s'agit pas de codes postaux mais de code CEDEX (Courrier d'Entreprises à Distribution Exceptionnelle) ;

Un travail manuel et chronophage a été nécessaire pour corriger les codes postaux anciens et les codes CEDEX par un code postal actualisé.

Dans la base de données d'achat OAPP, pour les 9 substances actives sélectionnées, sur la période 2008-2012, 461 codes postaux sont listés. Parmi eux, des codes postaux sont erronés (mélange chiffre et lettre, code CEDEX ou code INSEE). Seuls ceux représentant des quantités vendues significatives (> 500 kg) ont été corrigés manuellement. Les données de 402 codes postaux sont retenues pour la base des données des achats de substances actives sur la période 2008-2012.

Pour distribuer les ventes/achats à l'échelle du territoire, il a été nécessaire de faire les liens entre code postal (source BNV-D) et code INSEE (localisation géographique). Un code postal peut décrire un seul et unique code INSEE et correspondre à une seule commune mais cela ne représente pas la majorité des cas.

Plusieurs codes postaux peuvent être reliés à un seul code INSEE (une seule commune). Par exemple la commune de Nantes (code INSEE 44109) regroupe 34 codes postaux différents dans la BNV-D. Un code postal peut également être relié à plusieurs codes INSEE et représenter un territoire de plusieurs communes. Par exemple, le code postal 72 600 regroupe 22 communes.

²⁸ L'avis au Journal Officiel du 28 mars 2008 fixe un délai à l'utilisation des stocks de produits contenant de l'alachlore jusqu'au 18 juin 2008.

²⁹ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/code-officiel-geographique-cog/>

³⁰ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-officielle-des-codes-postaux/>

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

Le code postal représente une entité géographique plus grande que la commune dans la plupart des cas (Illustration 17 et Illustration 18). Les données d'achat sont donc cartographiées à l'échelle du code postal (Illustration 17) plutôt qu'à la commune et ses communes limitrophes comme initialement envisagé.

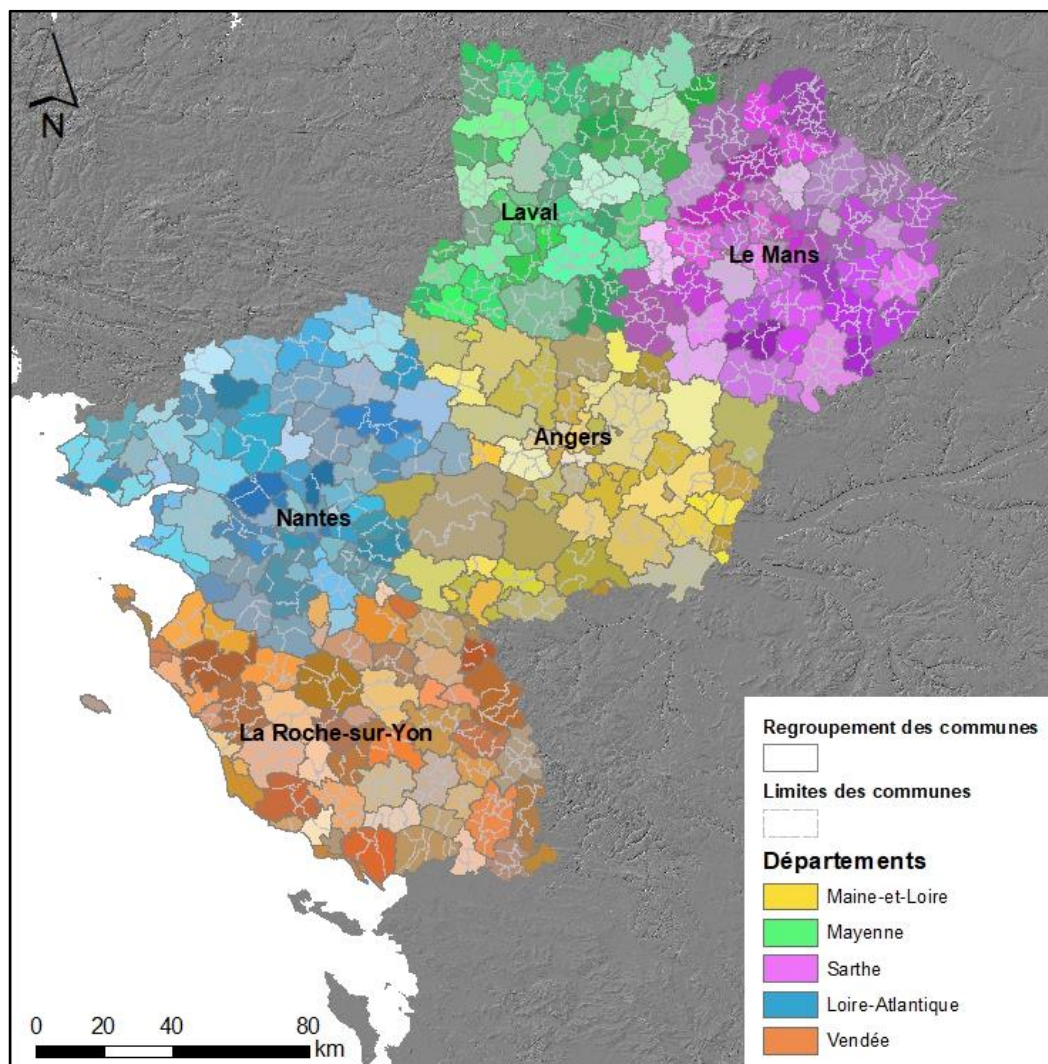


Illustration 17. Regroupement par code postal des communes (code INSEE) de la région Pays de la Loire. Chaque couleur représente un code postal (qui peut regrouper plusieurs communes)

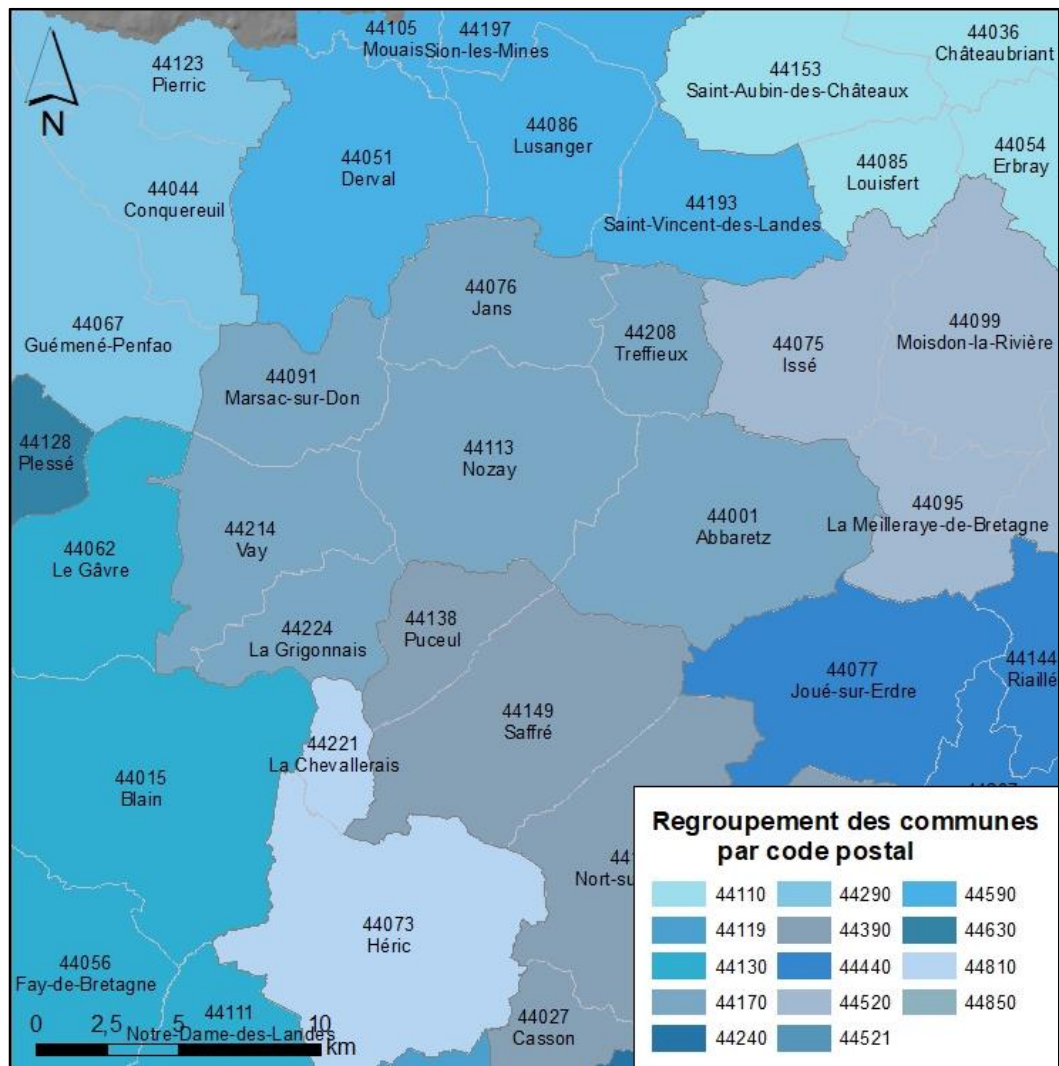


Illustration 18. Regroupement des communes par code postal (zoom de détail de l'illustration 17)

3.4.3. Distribution spatiale des achats de produits phytosanitaires

Les rasters produits représentent des quantités de substances actives normalisées et distribuées sur les territoires des codes postaux (exemple du prosulfocarbe en 2015).

Les grilles (rasters) de couverture des cultures, sont réalisées par extraction et compilation des données RPG annuelles, à l'aide d'outils de géotraitement mis à disposition dans QGIS, et appliqués séquentiellement via des scripts Pythons et la librairie PyQGIS.

Les données d'achats ne sont pas disponibles avant 2008 et ne permettent pas de couvrir la première période entièrement 2006-2010. Les cartes d'achats agrégés par période (2006-2010, 2011-2015, 2016-2020) seront utilisées pour calculer un indicateur à l'échelle d'une surface représentative de captage (cf. paragraphe 3.5.1). Les rasters achats sont en kg de substance active par maille de 250 m X 250 m à l'échelle de la région Pays de la Loire (Illustration 19 Exemple du prosulfocarbe en 2015).

Les quantités de substances actives achetées et potentiellement utilisées sont estimées annuellement (OAPP ou BNV-D) sous forme de raster sur la période 2008-2020 par territoire de code postal (cf. Illustration 18). L'objectif est de pouvoir quantifier la répartition des volumes d'achats déclarés, à partir de la grille régionale précédemment calculée. Les données d'achat sont réparties sur les cultures sélectionnées (cf. paragraphe 3.2) par territoire de code postal.

Les cartes obtenues sont une carte d'occupation des sols sur laquelle la substance active est potentiellement appliquée, pondérée par les achats de cette substance active (Illustration 19). L'Illustration 20 permet de comparer pour un même secteur la localisation des surfaces où une substance (le prosulfocarbe) est potentiellement appliquée sur une année (2015) (carte du haut) pondérée par les achats de cette substance la même année (carte du bas).

Au total, 117 rasters achats (9 substances actives ; 13 années 2008-2020) ont été générés.

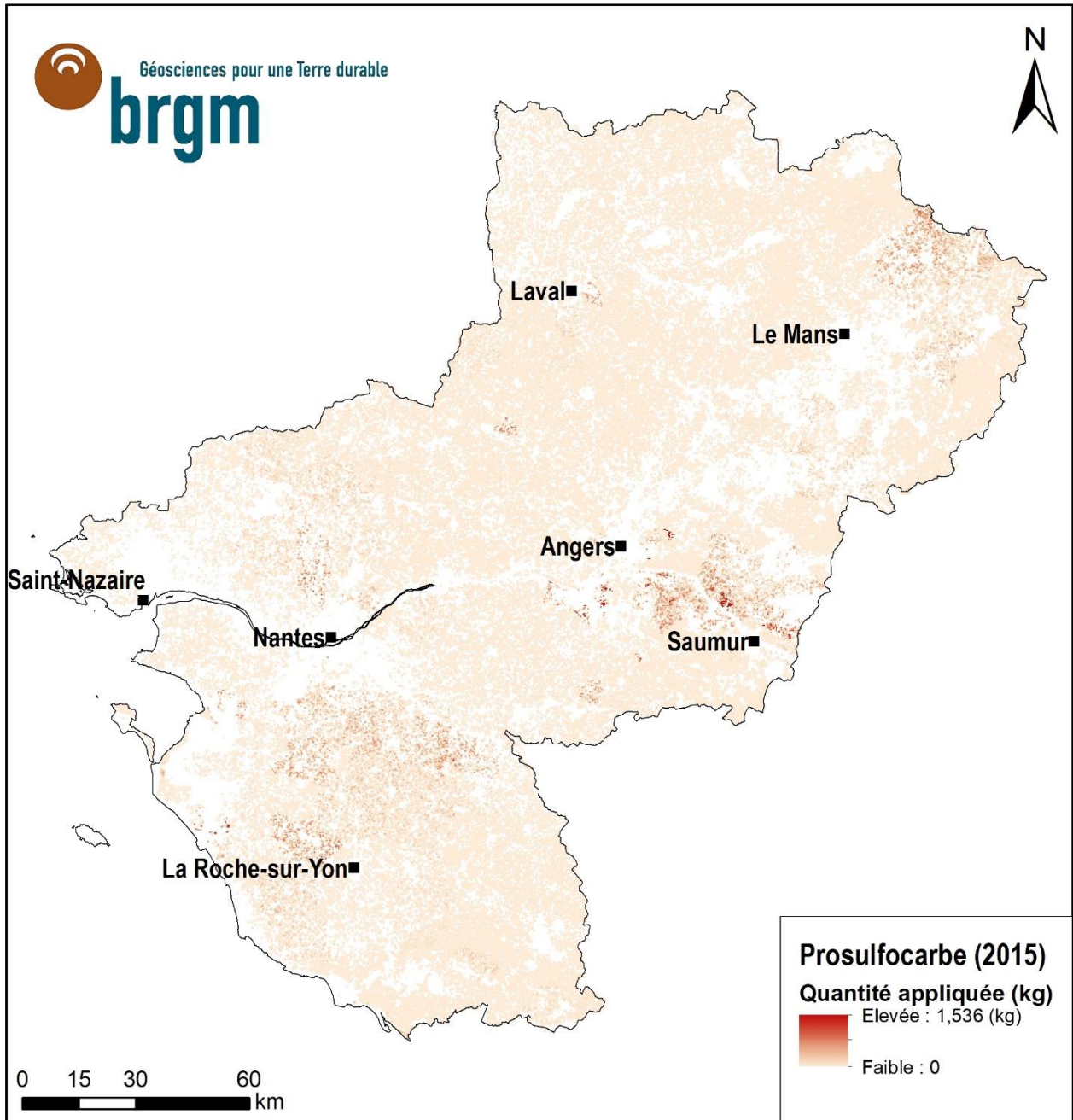


Illustration 19. Quantité potentielle appliquée estimée à partir des achats (kg) de prosulfocarbe en 2015 sur les surfaces d'application potentielle par maille de 6,25 ha (250 m X 250 m)

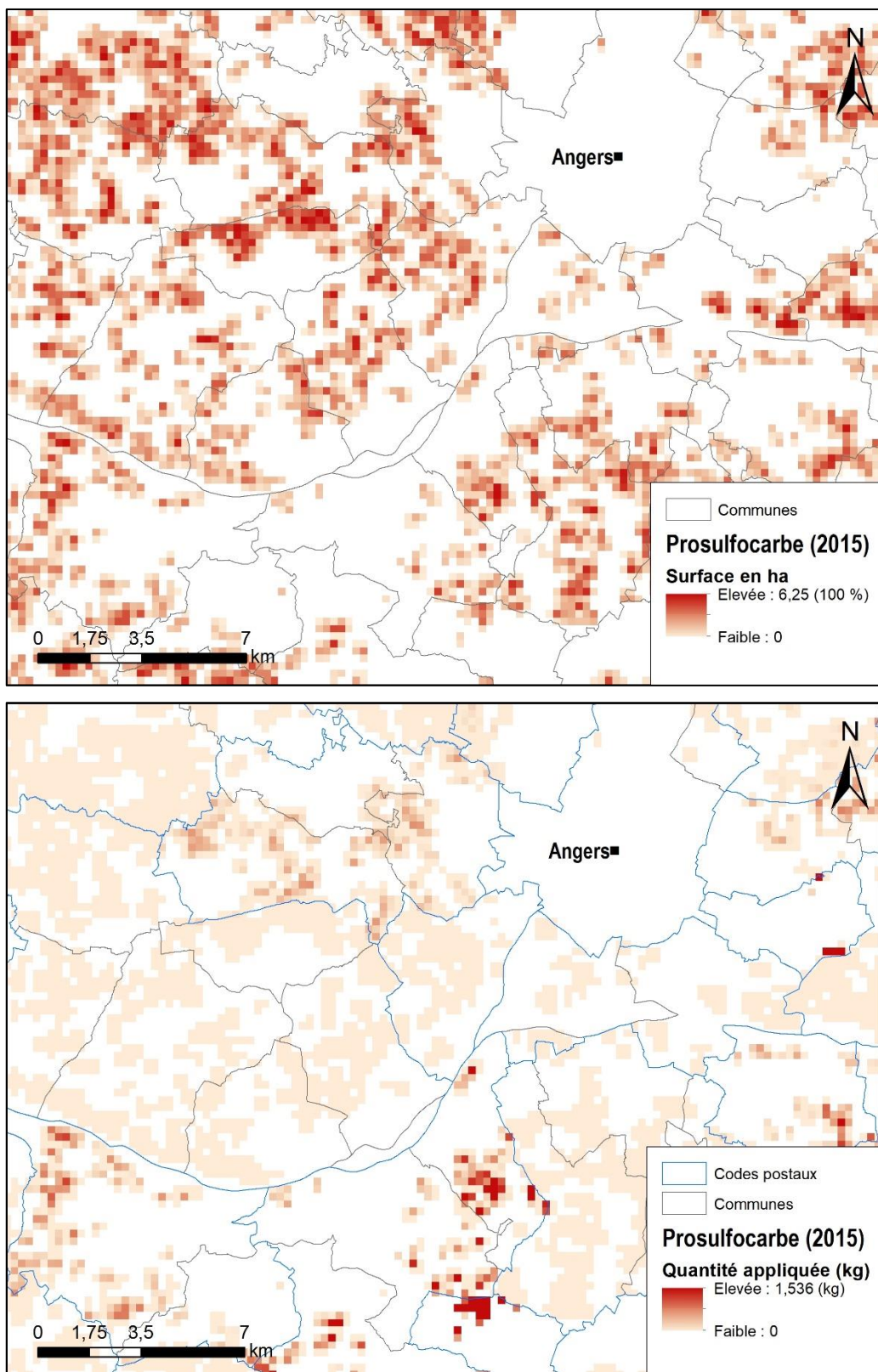


Illustration 20. (en haut) Extrait carte d'application potentielle du prosulfocarbe en 2015 (Illustration 16 – surface en ha – raster surface d'application) et (en bas) extrait carte des quantités potentielles appliquées de prosulfocarbe en 2015 (Illustration 19 – quantité en kg – raster achat)

3.5. INDICATEUR D'ACHAT A L'ECHELLE DU CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE

Les données qualité (§ 2.2) ont permis d'établir la présence et/ou l'impact d'une substance active et de ses métabolites dans les eaux souterraines. La pression a été caractérisée par l'usage potentiel d'une substance active à l'échelle régionale (§ 3) avec les cartes des cultures (§ 3.2), les cartes des substances actives (§ 3.3) et la distribution des achats sur le territoire (§ 3.4.3).

Pour caractériser le lien pression-impact à l'échelle locale du captage AEP, il est nécessaire de délimiter une surface représentative du captage. L'aire d'alimentation du captage (AAC) est la zone en surface sur laquelle l'eau qui s'infiltre ou ruisselle alimente le captage. L'AAC est la surface la plus pertinente pour caractériser les pressions agricoles et faire le lien avec la qualité des eaux du captage AEP.

Cependant tous les captages AEP ne disposent pas d'une AAC délimitée, et d'autres surfaces peuvent être disponibles et donner une information même si elle est dégradée. L'ordre de pertinence décroissante des surfaces pour les eaux souterraines est le suivant :

- (1) Aire d'alimentation du captage (AAC)
- (2) Zone de protection d'une aire d'alimentation de captage (ZPAAC) ;
- (3) Périmètre de protection du captage (PPC)
- (4) Le bassin versant topographique.

Le bassin versant topographique est une surface pertinente lorsqu'il s'agit des captages d'eaux de surface. Un paragraphe est dédié à la délimitation des bassins versants (§ 3.5.1), comme livrable de cette étude. Cependant l'interprétation du lien pression – impact spécifiquement pour les eaux de surface est en dehors des objectifs de ce projet.

A l'échelle du captage eau souterraine, l'objectif est de faire le lien entre l'usage potentiel d'une substance active (pression) (chapitre 3) et la présence de la substance active et/ou ses métabolites éventuels (impact) (chapitre 2.2) en prenant en compte la vulnérabilité du milieu (chapitre 2.3.2, Illustration 11).

3.5.1. Surfaces représentatives des captages

ZPAAC, AAC et PPC

Les zones de protection de l'aire d'alimentation des captages (ZPAAC), les aires d'alimentation des captages (AAC) et les périmètres de protection de captage (PPC) ont été transmis au BRGM au format shape par les autres partenaires du projet (n_zpaac_s_r52.shp ; n_aac_s_r52.shp ; r_PdL_PPIRE.shp). Dans les attributs des données fournies, les ZPAAC et les AAC sont identifiées par un code et un nom et sont rattachées à un code BSS pour faire le lien avec les qualitomètres eaux souterraines ou un code SISEAU pour faire le lien avec les stations eaux de surface.

Pour un même captage ou une même station eau de surface, plusieurs périmètres de protection (PP) sont délimités : PP immédiate, PP rapprochée, PP éloignée, PP complémentaire. Les différents PPC pour un seul et même captage sont fusionnés pour avoir l'extension maximum du périmètre de protection comme surface associée au point ESO/ESU. Le champ CAP_CODNAT renseigne le code de la station ESU et le champ CAP_BSS renseigne sur le code BSS du qualitomètre ESO.

Ainsi pour les eaux souterraines (ESO) :

- 21 AEP sont rattachés à une ZPAAC,
- 10 AEP sont rattachés à une AAC et,
- 205 autres AEP sont rattachés à un PPC.

Sur les 829 qualitomètres ESO, 593 ne sont associés à aucune surface de type ZPAAC, AAC ou PPC. L'indicateur d'achat ne pourra ainsi pas être calculé pour ces qualitomètres.

Pour les eaux de surfaces (ESU) :

- 5 stations ESU sont rattachées à une ZPAAC.
- 6 autres stations ESU sont rattachées à une AAC et,
- 29 autres stations ESU sont rattachées à un PPC.

Certaines stations eaux de surface sont très proches les unes des autres (< 300 m) ; on a ainsi considéré qu'elles étaient rattachées à la même délimitation ZPAAC, AAC ou encore PPC. Ainsi par héritage, 4 stations ESU supplémentaires sont rattachées à une ZPAAC, 6 stations ESU supplémentaires sont rattachées à une AAC et 12 stations ESU supplémentaires sont rattachées à un PPC.

En tout on compte **511 stations ESU. 449 ne sont associées à aucune surface AAC, ZPAAC ou PPC.** Pour ces stations, la surface associée sur laquelle sera calculé l'indicateur d'achat potentiel sera le bassin versant (BV) calculé à partir du modèle numérique de terrain (ci-dessous).

Calcul des bassins versants topographiques à partir du MNT

Les outils de traitement ArcGIS (ESRI®) ont été appliqués pour délimiter les bassins versants à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et de la localisation des stations ESU. Il s'agit de délimiter le bassin versant spécifique à la station hydrologique.

Le MNT de la région Pays de la Loire (BD ALTI ® 25 m) est fourni par l'IGN par département (<https://data.cquest.org/ign/bdalti/>) au pas de 25 m au format grid ascii, en RGF93/Lambert 93 (X, Y) et IGN69 (pour la valeur Z) (code 2154). Pour les départements 44, 49, et 53, les versions disponibles datent du 10-09-2021 ; pour le département 72, il s'agit de la version du 22-01-2020 et pour le département 85, il s'agit de la version du 15-09-2021.

La délimitation des bassins versants repose sur 4 étapes :

1. Correction des dépressions du MNT, i.e. les zones pour lesquelles aucun exutoire n'est possible (Fill (remplissage)³¹ ;
2. Calcul de la direction des flux qui, à partir du MNT, attribue à chaque maille la direction de la maille voisine suivant la plus grande pente (Direction des flux)³² ;
3. Calcul de l'accumulation des flux qui décrit dans chaque cellule le nombre de cellules drainées. Cet ensemble de cellules de drainage décrit un bassin versant lorsque l'exutoire est situé sur les bords du MNT (Flow Accumulation)³³ ;
4. Calcul des lignes d'écoulement à partir de certains points choisis (les stations ESU) en suivant la ligne de plus grande pente (Watershed)³⁴

Le réseau de thalwegs (étape 4) calculé n'est en aucun cas un réseau observé de cours d'eau. Il s'agit d'une analyse du MNT et des axes d'écoulement. A partir de ce réseau ainsi calculé, des sous-bassins-versants ont été tracés à partir des stations ESU (avec une tolérance de 100m).

Ce calcul a été appliqué à l'ensemble des 511 stations ESU de la région. Cela permet de vérifier la cohérence du calcul pour les stations disposant déjà de AAC, ZPAAC ou PPC.

³¹ <https://doc.arcgis.com/fr/arcgis-online/analyze/fill-raster-function.htm>

³² <https://doc.arcgis.com/fr/arcgis-online/analyze/flow-direction-mv-ra.htm>

³³ <https://doc.arcgis.com/fr/arcgis-online/analyze/flow-accumulation-raster-function.htm>

³⁴ <https://doc.arcgis.com/fr/arcgis-online/analyze/watershed-function.htm>

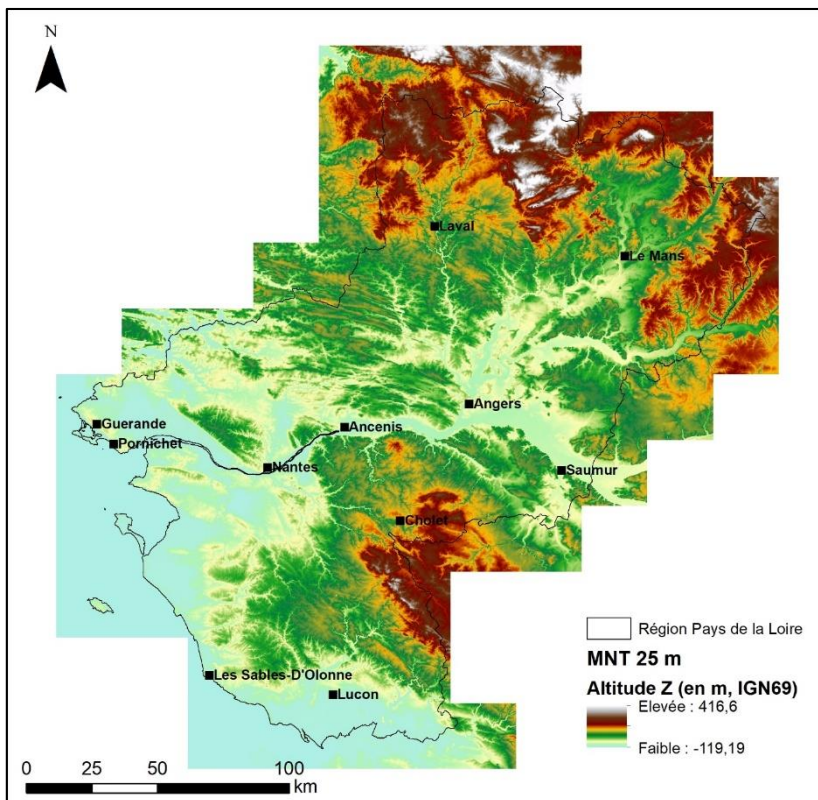


Illustration 21. MNT de la région Pays de la Loire (BD ALTI ® 25 m), fournis par l'IGN par département <https://data.cquest.org/ign/bdalti/> en Lambert 93 (X,Y) et IGN69 (pour la valeur Z)

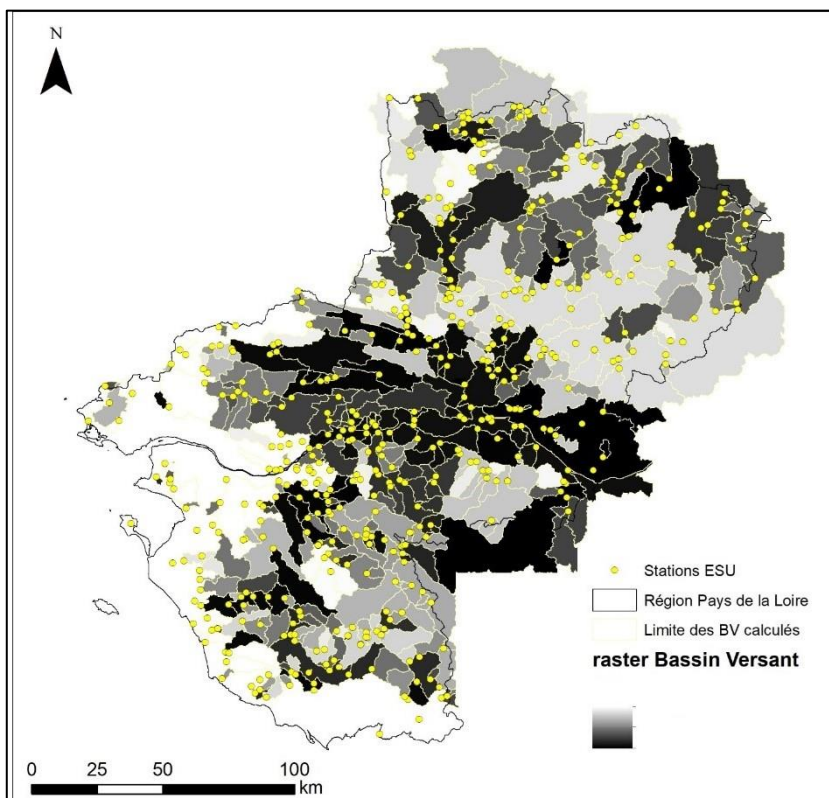


Illustration 22. Localisation des 511 stations ESU et bassins versants associés calculés à partir des outils de traitements ESRI ®

504 bassins versants ont été délimités automatiquement à partir du MNT pour toutes les stations ESU. Leur analyse montre que :

- Pour des stations ESU trop proches les unes des autres, aucun bassin versant individuel n'est calculé ; ces stations très proches sont alors rattachées au même bassin versant ;
- Pour des stations proches de la limite régionale des Pays de la Loire, les bassins versants délimités dépassent le territoire de la région. Pour le calcul de l'indicateur, ces bassins versants seront réduits à l'emprise du RPG en région Pays de la Loire ce qui sous-estimera forcément l'indicateur d'achat calculé. Cela concerne 53 bassins versants ;
- Pour quelques stations, les données du MNT conduisent à de très petits bassins versants (quelques cellules) qui n'apparaissent pas pertinents ou des bassins versants incohérents avec le réseau hydrographique. Ces bassins sont écartés de l'analyse ; Cela concerne 34 bassins versants ;
- 62 bassins versants ont été délimités pour des stations ESU disposant de ZPAAC, d'AAC ou de PPC. Ils sont écartés.

L'indicateur d'achat de substances actives peut être calculé pour :

- 8 stations ESU à partir de ZPAAC ou AAC ou PPC ;
- 13 stations ESU à partir d'une ZPAAC ou d'une AAC ;
- 41 stations ESU à partir d'un PPC uniquement ;
- 418 stations ESU à partir d'un BV calculé automatiquement.

Pour 31 stations, aucune surface associée ne permet le calcul de cet indicateur.

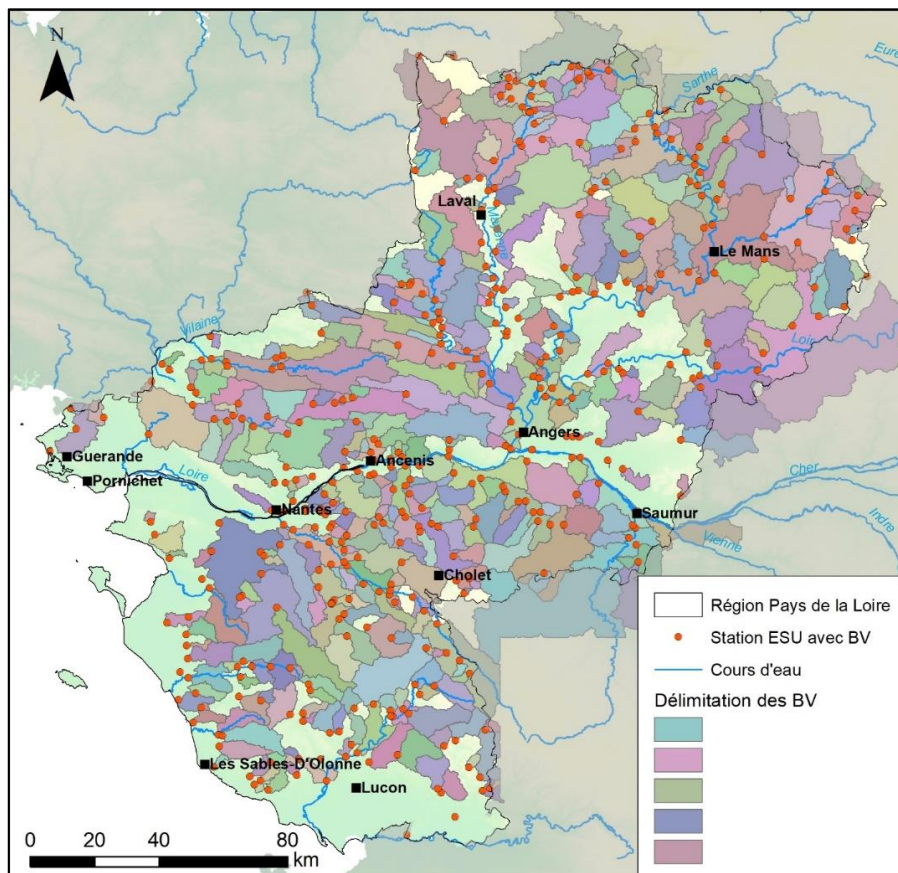


Illustration 23. Localisation des stations ESU rattachées à un bassin versant tel que calculé à partir du MNT et des outils de traitement ESRI ®

3.5.2. Calcul de l'indicateur d'achat

L'indicateur d'achat pour une période donnée correspond à la distribution des achats de la substance active considérée sur les surfaces des cultures ayant un usage autorisé dans la surface de référence du captage. L'indicateur d'achat est calculé à partir des rasters achats (Illustration 19)

Les données d'achats en substance active sont distribuées sur le territoire régional des Pays de la Loire selon la méthode décrite précédemment (§ 3.4, Illustration 19) à partir des données de la BNVD. Pour notre exemple, il s'agit des données de 2015 en prosulfocarbe distribuées sur les cultures ayant un usage autorisé pour le prosulfocarbe en 2015 (Illustration 16). L'indicateur d'achat de substances actives est calculé à partir des cartes d'achat (Illustration 19) sur les cultures ayant un usage autorisé sur la surface représentative du qualitomètre, qui est par ordre de priorité :

- la ZPAAC - Zone de Protection de l'Aire d'Alimentation des Captages ;
- l'AAC – Aire d'alimentation du captage ;
- le périmètre de protection (PPC).

Il s'agit de sommer (calculatrice raster ArcGIS) les rasters achat : raster achat prosulfocarbe 2011, 2012, 2013, 2014 et 2015 (Illustration 19). On obtient ainsi un raster achat 2011-2015 qui permet de calculer l'indicateur d'achat 2011-2015. L'outil Spatial Analyst – statistique zonale (ArcGIS) permet de calculer l'indicateur d'achat sur les différentes surfaces : ZPAAC, AAC et PPC.

L'indicateur d'achat représente l'usage potentiel de la substance active (sur une période donnée) à partir des cultures ayant un usage autorisé et les achats enregistrés. Il est ainsi calculé pour chacune des surfaces de référence (ZPAAC, AAC, PPC), pour chaque substance active (prosulfocarbe ; bentazone ; S-métolachlore ; pendiméthaline ; propyzamide ; glyphosate ; diméthénamide ; tébuconazole ; métaldéhyde) et pour chacune des 3 périodes (2008-2010 ; 2011-2015 ; 2016-2020).

Les indicateurs d'achats ainsi calculés sont confrontés aux indicateurs d'impact (taux de quantification et fréquence de dépassement, chapitre 2.2). Les résultats de cette comparaison sont présentés dans le chapitre suivant (cf. chapitre 4)

4. Diagnostic territorial et régional pour les eaux souterraines

Les **indicateurs d'impact** ont été calculés à l'échelle des captages d'eau souterraine : taux de quantification et fréquence de dépassement d'une valeur de référence (cf. paragraphe 2.2).

Les **indicateurs d'achat** représentent la pression (cf. paragraphe 3.5) et ont été calculés sur différentes surfaces représentatives du captage d'eau souterraine à savoir AAC, ZPAAC et PPC.

Des informations permettant de décrire de manière simplifiée, via quelques propriétés physico-chimiques des substances, le **risque de transfert** vers les eaux souterraines, ont été collectées (cf. chapitre 5).

Dans ce chapitre, ces éléments sont croisés pour faire le diagnostic pression - impact des produits phytosanitaires sur les eaux souterraines des Pays de la Loire ; et notamment mieux appréhender l'état de contamination des eaux souterraines et ses variations temporelles et spatiales.

Différents diagnostics sont proposés pour la liste restreinte de 11 substances actives et leurs métabolites mais aussi pour l'ensemble des substances.

4.1. DIAGNOSTIC PAR SUBSTANCE ACTIVE A L'ECHELLE REGIONALE

Pour chaque substance active, l'interprétation du lien entre pression (indicateur d'achat) et impact (fréquence de dépassement de la valeur 0,1 µg/L et fréquence de quantification) dans les eaux souterraines est réalisé. Il est effectué à l'échelle régionale. Il s'appuie sur les différentes données disponibles par ailleurs ou établies dans cette étude. La présentation est construite de la manière suivante :

- Classification de la substance active en fonction de ses propriétés pesticides. Rappel sur le statut (usages autorisés ou non) et les informations sur les dates potentielles d'application. Pour cela, le site E-Phy, la base PPDB³⁵, et des sources diverses sont consultés.
- Information sur l'existence de métabolites. Pour cela, le site PPDB est consulté voire d'autres sources comme les dossiers d'homologation pour les substances actives (chapitre 2 – paragraphe 2.1.1)
- Information sur le risque de transfert de la substance active et le cas échéant des métabolites (indice GUS et bilan des modélisations réalisées dans le cadre de l'homologation – voir chapitre 5)
- Présentation de l'évolution des achats/ventes sur la période (2008-2023) par compilation des données OAPP (2008-2012 et de la BNV-D traçabilité (2013-2023)
- Présentation de l'évolution des surfaces d'applications potentielles de la substance active après identification des cultures ayant des usages autorisés de cette substance (chapitre 3.3)
- Présentation de l'impact en considérant la fréquence de quantification et la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L entre 2006-2020 en incluant le cas échéant les métabolites suivis. Bilan annuel à l'échelle de la région et lien avec le travail cartographique (voir atlas cartographique) et des informations générales par période - bilan pluriannuel (voir chapitre 2.2.1)

³⁵ PPDB - Pesticides Properties DataBase (herts.ac.uk)

- Présentation des indicateurs d'impact (fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et fréquence de quantification) à l'échelle mensuelle permettant de caractériser une dynamique le transfert.

Chacun de ces items contribue à apporter des éléments de compréhension quant à la présence et/ou absence de la substance active ou de ses métabolites dans les eaux souterraines par rapport à l'application potentielle qu'il en ait fait.

La description des données pour les 11 substances actives sélectionnées est présentée ci-après suivie d'une section bilan qui reprend des éléments quant aux facteurs explicatifs.

Précisons que

- Pour l'ensemble des substances, les achats de 2018 sont généralement plus importants que les années précédentes à la suite de l'annonce d'une hausse de la redevance pour pollution diffuse au 1^{er} janvier 2019. De fait, les achats 2019 sont souvent plus faibles. Cette information s'applique à toutes les substances et ne sera pas rementionnée systématiquement pour faciliter la lecture.
- L'évaluation de l'impact est surtout basée sur l'examen de la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L plutôt que la fréquence de quantification qui est impactée par l'évolution des limites de quantification au cours du temps. Cette approche est celle retenue pour une étude nationale (Baran et al., 2021).

4.1.1. Prosulfocarbe (code sandre 1092)

Le prosulfocarbe est utilisé comme herbicide, principalement sur céréales à paille mais également sur pommes de terre et certains légumes de plein champs (carottes, oignons). Pour les céréales à paille, les préconisations d'application sont généralement entre le stade pré-levée jusqu'à la fin-tallage (stade 3 feuilles) ce qui correspond globalement à la période entre les mois de novembre et fin décembre/début janvier.

La PPDB indique que le prosulfocarbe³⁶ n'est pas persistant. Son temps de demi-vie dans les sols est de 15,6 jours (cf. Tableau_Etat_de_Lart.xlsx). La constante d'adsorption K_{foc} de 1 693 mL.g⁻¹ renseigne une molécule faiblement mobile. L'indicateur GUS est de 0,76 (< 1,8) ; le risque de retrouver cette molécule dans les eaux souterraines est ainsi jugé assez faible.

En termes d'achats, le prosulfocarbe est, juste après le glyphosate, la deuxième substance active organique la plus vendue, à l'échelle nationale (6 500 tonnes en 2021) et également à l'échelle de la région Pays de la Loire (424 tonnes en 2021).

Les achats (données BNV-D et OAPP) de prosulfocarbe depuis 2008, n'ont fait qu'augmenter particulièrement en 2014 puis 2016 (Illustration 24). L'année 2013 correspond à l'année de transition entre les données OAPP et les données BNV-D. On pourrait s'interroger sur l'existence d'un biais dans les estimations lié à deux sources de données différentes. Toutefois, l'évolution des surfaces d'application potentielle montre également une augmentation après 2014 notamment pour la Vendée, la Loire-Atlantique et le Maine-et-Loire (Illustration 25). Enfin, il est possible que les usages aient augmenté suite de l'interdiction de l'isoproturon en 2016³⁷.

Dans le détail, les cartes d'application potentielle du prosulfocarbe (blé, crucifères oléagineuses, cultures légumières, orge ; Illustration 15 et Illustration 16) montrent des surfaces d'application potentielles du prosulfocarbe plus importantes sur la période 2016-2020 par rapport à 2011-2015, elles-mêmes plus importantes que celles de la période 2006-2010. Ces chiffres sont à prendre

³⁶ [Prosulfocarb \(Ref: SC 0574\) \(herts.ac.uk\)](https://herts.ac.uk/sc/0574)

³⁷ [Fiche-technique-sur-le-prosulfocarbe.pdf \(perigny.fr\)](https://perigny.fr/fiche-technique-sur-le-prosulfocarbe.pdf)

avec précaution puisque certaines années du RPG sont lacunaires. Notamment le RPG du 2006 n'a pas de données pour les départements de la Sarthe et de la Vendée, et le RPG 2011 n'a pas de données pour le département de Loire-Atlantique.

En 2019, on observe une baisse significative des achats par rapport à 2018. Il s'agit d'un contre-coup de l'annonce d'une hausse de la redevance pour pollution diffuse du 1^{er} janvier 2019. Une partie des produits achetés en 2018 était ainsi destinée à être utilisée en 2019.

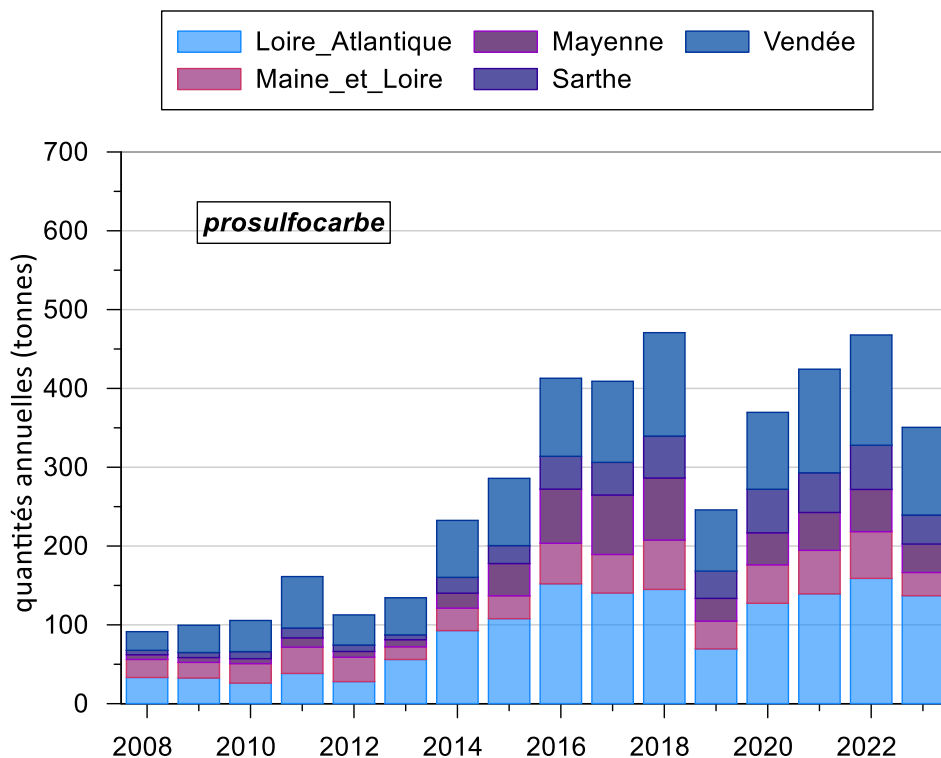


Illustration 24. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020))

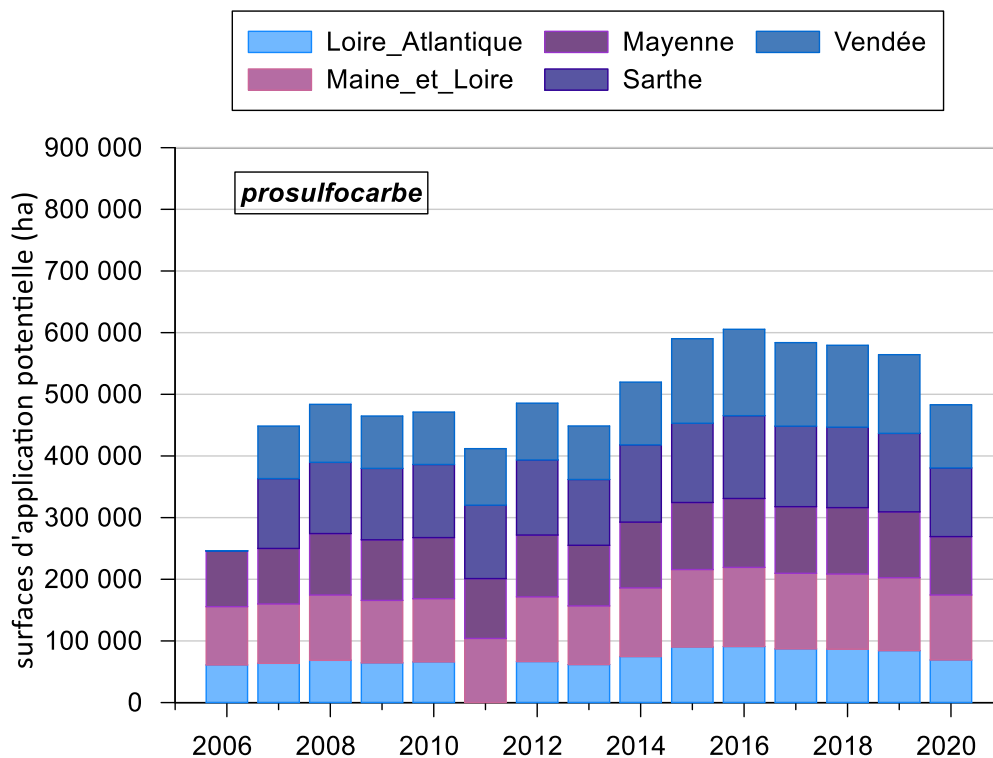


Illustration 25. Surfaces d'applications potentielles du prosulfocarbe par département de la région pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

En termes d'impact (Illustration 26), à l'échelle de la région, aucun dépassement de la valeur 0.1 µg/L n'a été observé sur la période 2006-2020 (Illustration 26). Le nombre d'analyses quantifiées reste faible (fréquence < 1%). Cette fréquence de quantification augmente après 2014 en lien probablement avec des usages plus importants. Notons également que la surveillance s'est également accrue sur cette période ce qui pourrait introduire un biais dans l'interprétation.

Dans le détail, les cartes du prosulfocarbe sont consultables pages 1, 2 et 3 de l'atlas cartographique ESO.

Sur la période 2006-2010, le prosulfocarbe est absent des eaux souterraines. Toutes les mesures de concentrations (195 qualitomètres) sont inférieures à la LQ. Sur la période 2011-2015, la surveillance s'accroît : 391 qualitomètres ont fait l'objet d'une surveillance parmi lesquels trois qualitomètres témoignent de la présence de prosulfocarbe. Pour ces trois qualitomètres, 5 et 15 % des analyses dépassent la LQ sans toutefois dépasser la valeur 0,1 µg/L. Sur la période 2016-2020, 9 qualitomètres sur 436 témoignent de la présence de prosulfocarbe. Le taux de quantification pour ces qualitomètres varie entre 2 et 22 % des analyses sans dépassement du seuil de 0,1 µg/L. Le prosulfocarbe est détecté dans les eaux souterraines à partir de 2015 (Illustration 26).

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

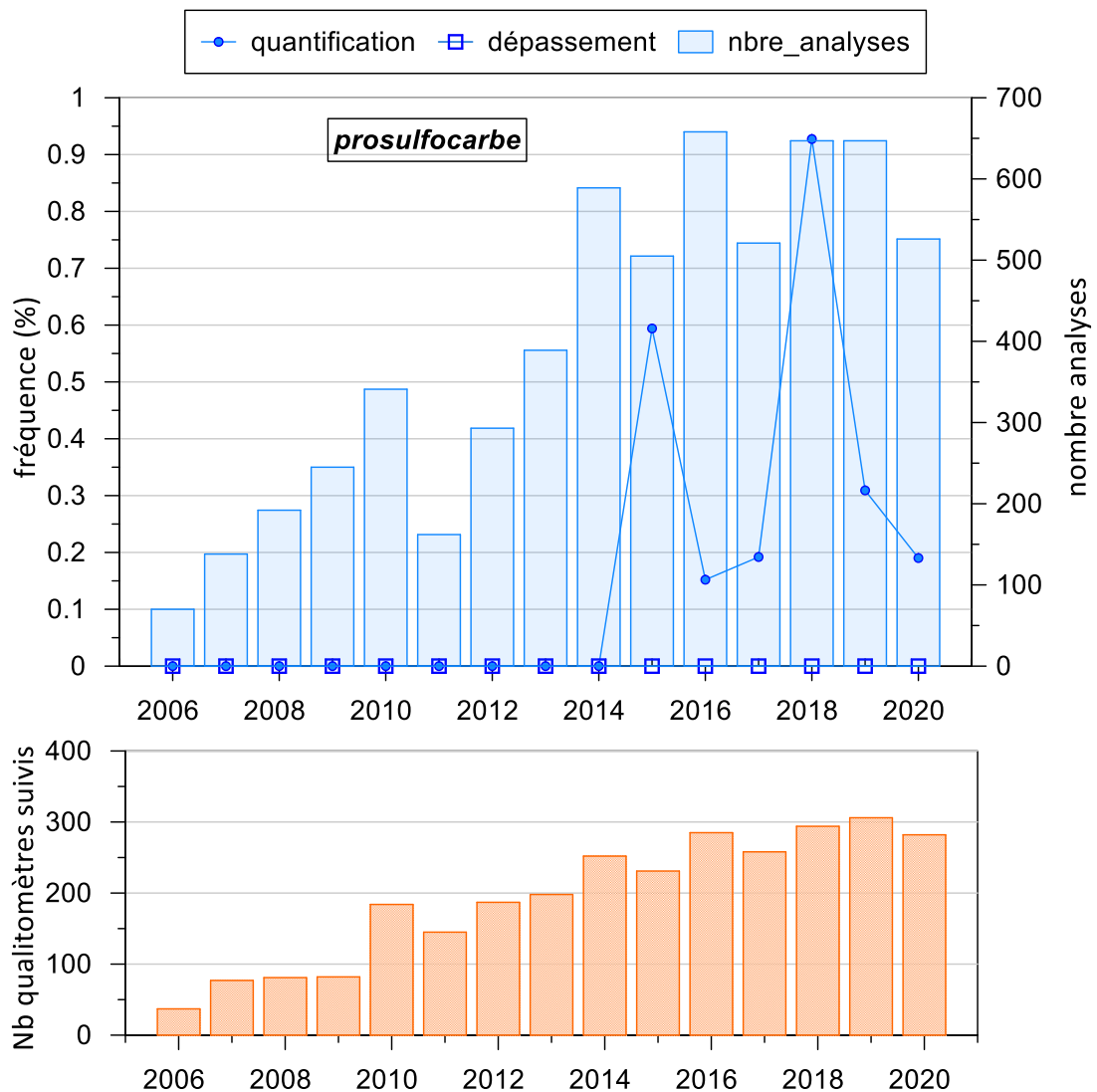


Illustration 26. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour le prosulfocarbe à l'échelle de la région Pays de la Loire

En termes de dynamique de transfert, on constate que les fréquences de dépassement sont plus importantes à l'automne et début d'hiver (Illustration 27), lors des périodes d'application recommandées sur les céréales à paille. Cette période correspond également généralement à la reprise de la recharge pour de nombreux aquifères, ce qui pourrait favoriser le transfert vers la nappe de la substance active récemment appliquée.

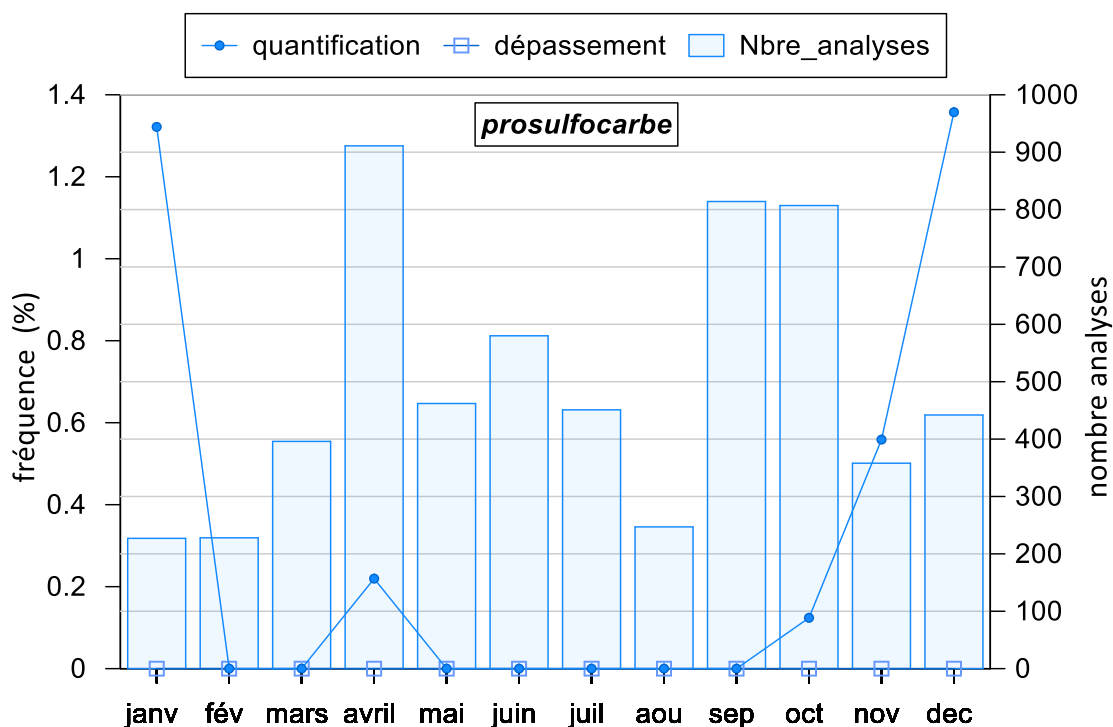


Illustration 27. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le prosulfocarbe à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.2. Alachlore (code sandre 1101) et ses métabolites

L'alachlore était utilisé comme herbicide sur les cultures de maïs et de soja. Selon des documents techniques de 2004, l'alachlore est applicable en pré-levée dans les 5 jours qui suivent le semis, en pré-semis (incorporé), en post-semis et en post-levée précoce. Autrement dit, cette substance est applicable pendant le repos végétatif à la sortie de l'hiver, lorsque les adventices sont encore au stade plantule en un seul passage.

Cette substance active n'est plus autorisée dans la composition des produits bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché (avis Journal officiel 28 mars 2008). La date de retrait d'autorisation de mise sur le marché est le 15 juin 2007 mais un délai a été accordé et la date limite d'écoulement des stocks à la distribution est le 31 décembre 2007. La date limite d'utilisation effective est le 18 juin 2008. Il n'y a par conséquent aucune vente d'alachlore à partir de 2008, date de début de bancarisation des ventes de produits phytosanitaires dans la BNV-D et OAPP. Avant cette date, une augmentation des usages a pu se produire à la suite du retrait des autorisations d'usage de produits contenant de l'atrazine en 2003. Sur la période de notre étude, il n'est donc pas possible de proposer une figure d'évolution des quantités achetées ni des surfaces d'application potentielle.

Bien que les données de dégradation dans les sols soient peu nombreuses et contrastées, l'alachlore est plutôt considéré peu biodégradable. Sa durée de demi-vie dans les sols en milieu aérobie est de l'ordre de deux à trois semaines (DT_{50} (terrain) : 14 jours et DT_{50} (lab à 20°C) : 35 jours) (PPDB, 2024)³⁸. Son K_{oc} (335 mL g⁻¹) indique une mobilité modérée dans la mesure où l'alachlore peut être adsorbé sur la matière organique. L'indice de GUS (= 0,80) suggère un potentiel de lessivage vers les eaux souterraines faible.

³⁸ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/17.htm>

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action



Illustration 28. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour l'alachlore et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire

La biodégradation de l'alachlore engendre la formation de plusieurs métabolites majeurs dont l'alachlore-ESA et l'alachlore-OXA, 2 métabolites pour lesquels des analyses dans les eaux souterraines sont disponibles depuis 2016.

L'alachlore-ESA³⁹ et l'alachlore-OXA⁴⁰ paraissent plus persistants dans les sols que l'alachlore. La PPDB ne renseigne pas sur les propriétés (DT₅₀ et K_{oc}) des métabolites de l'alachlore. Les 2 métabolites ESA et OXA sont toutefois connus pour être très mobiles avec un fort potentiel de

³⁹ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1506.htm>

⁴⁰ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1507.htm>

lixiviation vers les eaux souterraines (US EPA – RED Alachlor, 1998)⁴¹. En effet ses 2 métabolites sont retrouvés dans les eaux souterraines de Long Island 20 ans après l'interdiction de l'usage de la substance active témoignant également de la présence persistante des molécules dans les eaux souterraines (Fischer *et al.*, 2021).

En termes d'impact, à l'échelle de la région, aucun dépassement de la valeur 0.1 µg/L n'a été observé sur la période 2006-2020 et les quantifications sont limitées pour la substance active contrairement aux 2 métabolites et particulièrement l'ESA-alachlore (Illustration 28). Ainsi, depuis 2016 plus de 10 % des analyses révèlent une teneur en ESA-alachlore supérieure à 0.1 µg/L contre quelques pourcents pour l'OXA-alachlore. Cela traduit de manière indirecte le fait que les teneurs en ESA-alachlore sont généralement supérieures à celles de l'OXA-alachlore, elles même supérieures à celles de l'alachlore.

Dans le détail, les cartes de l'alachlore et métabolites sont consultables pages 4, 5 et 6 de l'atlas cartographique ESO.

Sur la période 2006-2010, seuls deux qualitomètres (sur 447), localisés sur la commune de Montreuil-Bellay, ont une mesure de concentration en alachlore supérieure à la LQ. Sur la période 2011-2015, 2 autres qualitomètres (444 qualitomètres surveillés) ont des concentrations en alachlore supérieures à la LQ. Sur la période 2016-2020, un seul qualitomètre (sur 436) témoigne de la présence de l'alachlore dans les eaux souterraines.

A partir de 2016, l'alachlore-ESA (378 qualitomètres) et l'alachlore-OXA (321 qualitomètres) sont recherchés dans les eaux souterraines. Sur la période 2016-2020, l'alachlore-OXA est présent (> LQ) dans 12 qualitomètres avec un seul qualitomètre (04558X0066/F2, Saint-Philbert-Du-Peuple) où les concentrations mesurées dépassent 0,1 µg/L. Sur la même période, l'alachlore-ESA est le métabolite le plus présent dans les eaux souterraines, les concentrations mesurées dépassent la LQ dans 130 qualitomètres et dépassent la valeur 0,1 µg/L dans 68 qualitomètres.

La substance mère active n'affiche aucun dépassement de la valeur 0,1 µg/L quelle que soit la période, le faible taux de quantification (Illustration 29) diminue au cours des trois périodes : 0,08 % (2006-2010), 0,06 % (2011-2015) et 0,03 % (2016-2020).

En termes de dynamique de transfert, on constate que les fréquences de dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour les métabolites fluctuent au cours de l'année avec à la fois une baisse de la fréquence de décembre à avril et une augmentation pendant le printemps début d'été (Illustration 29).

L'impact de l'usage historique de l'alachlore est principalement marqué par la présence du métabolite alachlore-ESA avec une présence observée dans près de 35 % des qualitomètres (2016-2020). L'alachlore-ESA est la forme de dégradation prédominante et persistante de l'alachlore dans les eaux souterraines (Fischer *et al.*, 2021). Contrairement à la substance active, les 2 métabolites ont des fréquences de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L qui peuvent être importantes, particulièrement pour l'ESA-alachlore. Ces deux indicateurs montrent une structuration avec une tendance à la diminution de la fréquence de dépassement en février-mars et août-septembre c'est-à-dire pendant la période de recharge ou possiblement à la reprise de la recharge. Une arrivée d'eau moins contaminée dans la nappe pourrait expliquer cette diminution (effet dilution).

Les fréquences de dépassement de la valeur 0.1 µg/L sont plus importantes pour l'ESA-alachlore que pour l'OXA-alachlore traduisant de manière indirecte que les teneurs en ESA-alachlore sont généralement plus importantes que celles de l'OXA-alachlore dans un même prélèvement.

⁴¹ <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2013sa0187.pdf>

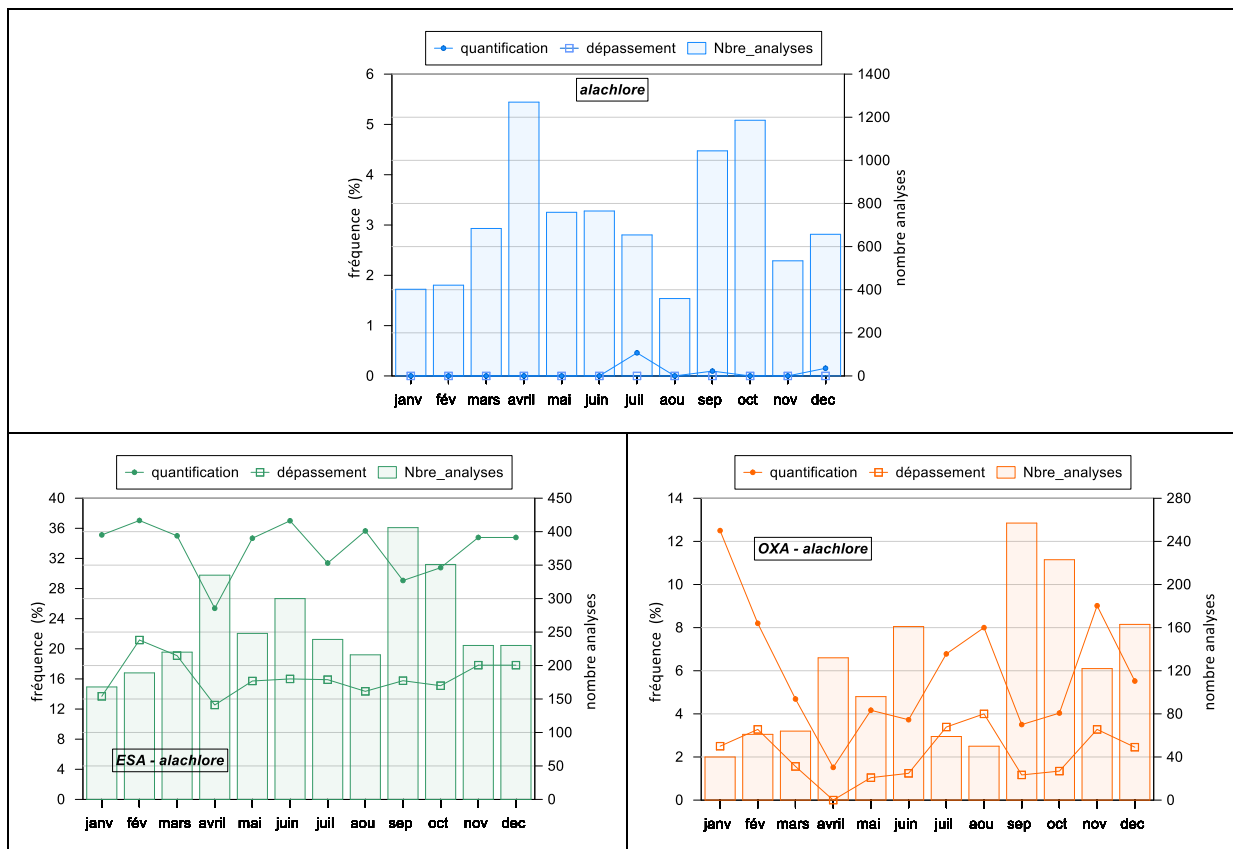


Illustration 29. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois de l'alachlore, l'alachlore-ESA et de l'alachlore-OXA à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.3. Atrazine (code sandre 1107) et ses métabolites

L'atrazine est une substance active de la famille des triazines, aux propriétés herbicides.

La réglementation vis-à-vis de l'atrazine, produit homologué en 1959, a connu plusieurs étapes clés. Au niveau national, en 1997, le ministère de l'Agriculture et de la Pêche a restreint les usages, à la fois par une diminution des doses d'emploi (la dose homologuée en 1959 qui était fixée à 2,5 kg/ha/an a été successivement baissée à 1,5 en 1990, puis en 1997 à 1 kg/ha/an - avis JO du 15 février 1997), et par une restriction des usages (interdiction des épandages sur les zones non agricoles telles que jardins, fossés, bordures des voies... avis JO du 4 juillet 1997).

En France, avant 1997, les principaux utilisateurs d'atrazine étaient les agriculteurs (désherbage du maïs, du sorgho, des vignes et des vergers). De façon plus modeste, les autres utilisations (par ordre décroissant des quantités consommées) concernaient les collectivités locales et les services publics (entretien des voiries et autres espaces publics), la SNCF (désherbage des ballasts) et les jardiniers amateurs (désherbage des allées). Après 1997, seule son utilisation sur le maïs et le sorgho était encore autorisée⁴².

Des interdictions locales ont été décidées en 1998. Ce fut notamment le cas en Bretagne. Les préfets des quatre départements de la région Bretagne ont pris des arrêtés d'interdictions temporaires d'utilisation de l'atrazine à proximité des cours d'eau et des points de captage. L'interdiction totale a été décidée fin 2001. Après le choix politique, annoncé en octobre 2001, l'interdiction a pris la forme d'un avis aux opérateurs par produit (avis du 27 novembre 2001). La

⁴²<https://substances.ineris.fr/sites/default/files/archives/1912-24-9%20--%20ATRAZINE%20--%20FTE.pdf>

date limite de distribution a été fixée au 30 septembre 2002. La date limite d'utilisation a été fixée au 30 septembre 2003.

Au niveau européen, la réévaluation de la substance a conduit à son retrait de l'annexe I de la directive 91/414/CE en 2003 (Sanco/10496/2003). N'ayant plus d'usages autorisés depuis 2003, il n'y a ainsi pas de statistiques sur les ventes ni de représentation cartographique des surfaces d'application potentielles pour les périodes considérées dans cette étude.

L'indicateur GUS pour l'atrazine (= 2,57) correspond à un potentiel moyen de lessivage.

L'atrazine est dégradée suivant différents mécanismes pouvant générer la création de nombreux métabolites. Un exemple est donné en Illustration 30. Les données de surveillance concernent cinq de ces métabolites : atrazine-déséthyl (code sandre 1108), atrazine-déisopropyl (code sandre 1109), atrazine-déisopropyl-déséthyl (code sandre 1830), 2-hydroxy atrazine (code sandre 1832), atrazine 2-hydroxy-déséthyl (3159). Dans PPDB, l'indicateur GUS est donné uniquement pour l'atrazine-déséthyl (=3.24) ; cette valeur traduit un potentiel élevé de lessivage.

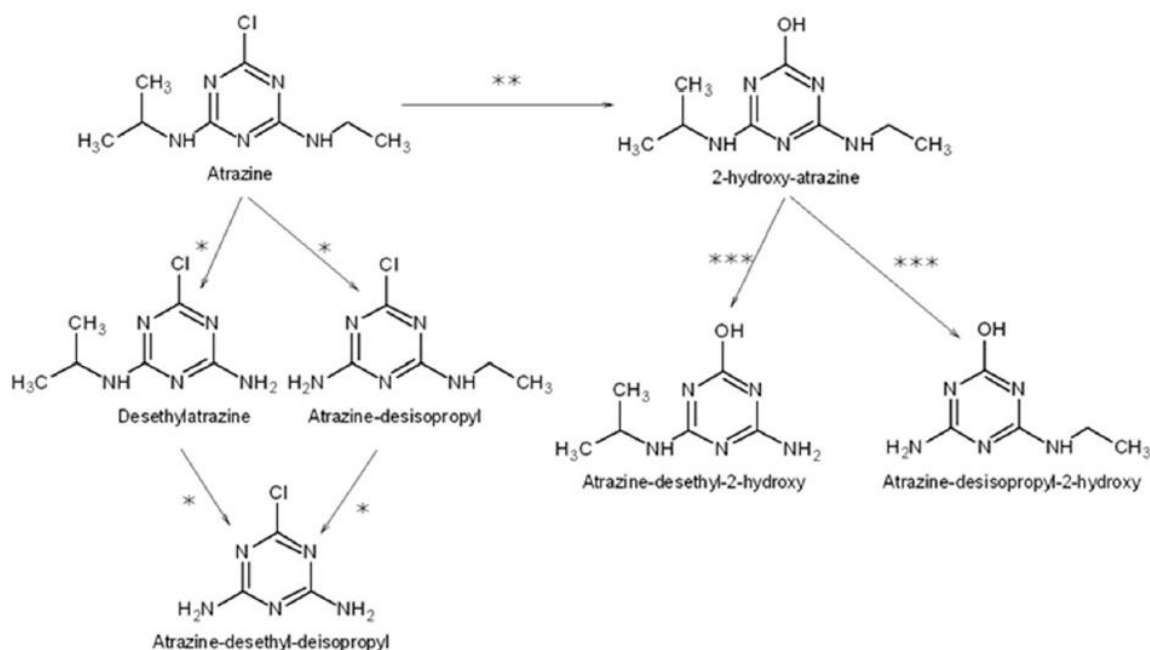


Illustration 30. Voies de dégradation de l'atrazine (Szewczyk et al., 2020)

En termes d'impact, à l'échelle de la région, la substance active atrazine présente des fréquences de dépassement de la valeur 0.1 µg/L qui diminuent au cours des années pour devenir inférieures à 1 % à partir de 2014 soit environ 10 ans après les derniers usages autorisés. Les métabolites présentent des dynamiques différentes comparativement à la molécule mère mais aussi entre eux. Pour les métabolites les plus suivis, la deséthylatrazine présente toujours une fréquence de dépassement de l'ordre de 4 % dans les années récentes alors que globalement la déisopropylatrazine ne présente plus dépassement de cette valeur depuis 2011 et l'hydroxy-atrazine depuis 2017. L'atrazine déisopropyl déséthyl a connu une baisse importance de cette fréquence mais elle reste de l'ordre de 3 % en 2020. Pour l'atrazine 2-hydroxy-desethyl, plus récemment suivie et suivie sur un nombre plus restreint de points d'eau, il n'y avait pas eu dépassement de la valeur 0.1 µg/L hormis en 2019 (0.17 %).

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

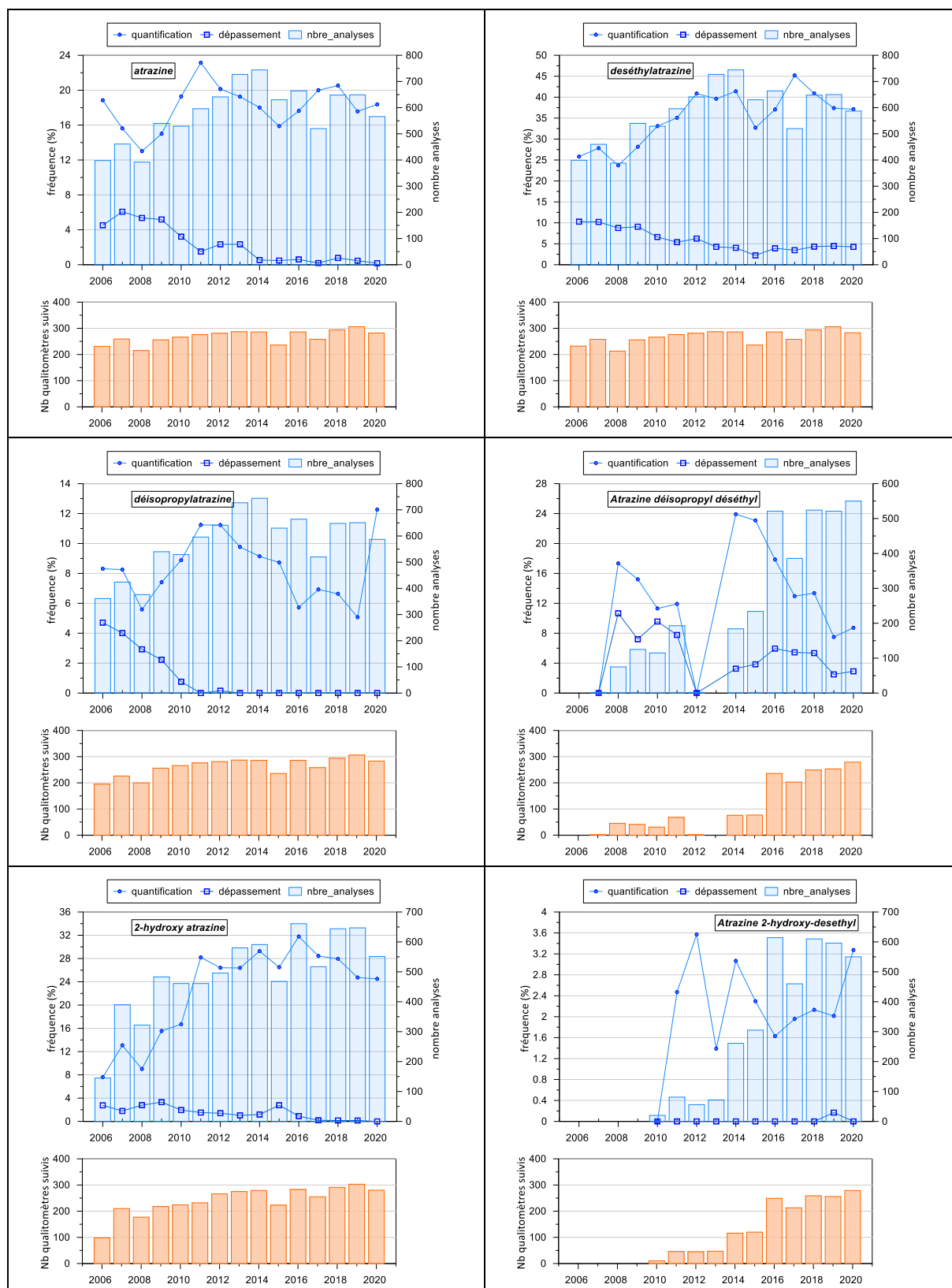


Illustration 31. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour l'atrazine et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire

Pour plus de détail, les cartes de l'atrazine et métabolites sont consultables pages 7, 8 et 9 de l'atlas cartographique ESO.

Sur la période 2006-2010, 444 qualimètres disposent de mesures de concentration pour au moins une des molécules (substance active ou métabolite(s)). Le tableau ci-après (Illustration 32) renvoie le nombre de qualimètres pour chacune des tranches de concentration de l'indicateur (§2.2.3) pour chacune des 3 périodes.

Le nombre de qualimètres suivis sur les 3 périodes est comparable. Le nombre de qualimètres diminue entre les trois périodes pour les tranches de concentrations les plus élevées (> 0,5 ; 0,1-0,5 ; 0,03-01 ; 0,01-0,03) en faveur de la tranche]0-0,01] (Illustration 32).

	Nombre de qualimètres par classe de valeur de l'indicateur						Nombre de qualimètres suivis
	0	]0 – 0,01]	]0,01 – 0,03]	]0,03 – 0,1]	]0,1 – 0,5]	>0,5	
2006-2010	256	56	85	35	9	3	444
2011-2015	237	101	77	23	6	0	444
2016-2020	242	136	40	16	2	0	436

Illustration 32. Indicateur global de présence de l'atrazine ou ses métabolites dans les eaux souterraines

En termes de dynamique de transfert, on constate que les fréquences de dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour la substance active et les métabolites fluctuent au cours de l'année avec une tendance à l'augmentation en période hivernale. Pour des composés mobiles comme peut l'être la deséthylatrazine, la reprise de la recharge peut favoriser leur transfert vers les eaux souterraines, sous réserve qu'ils soient présents dans les sols et la zone non saturée.

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

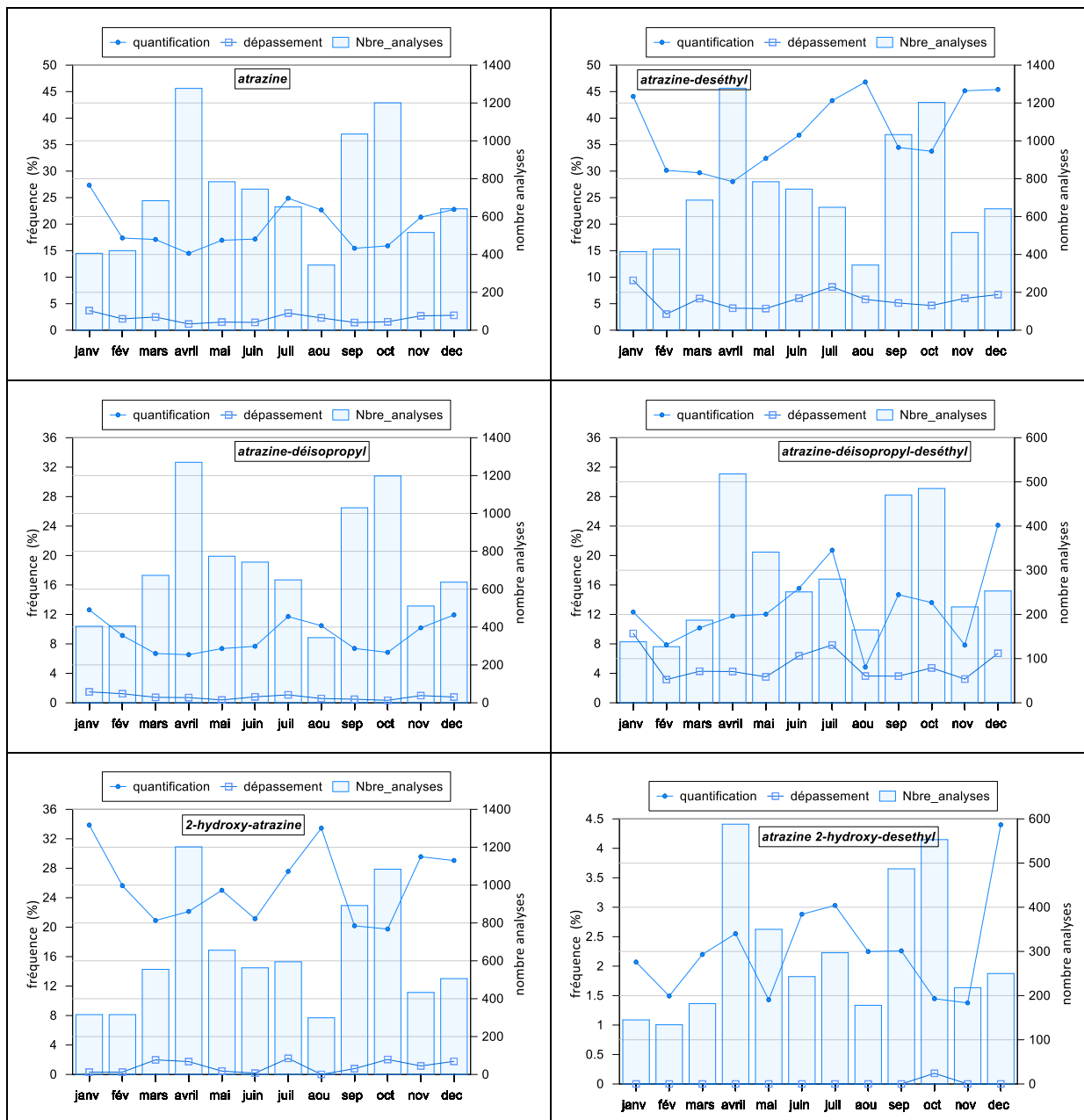


Illustration 33. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur $0.1 \mu\text{g/L}$ et nombre d'analyses par mois pour l'atrazine et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.4. Bentazone (code sandre 1113)

La bentazone est une substance active qui présente un effet herbicide. Elle appartient à la famille chimique des diazines. Cette substance active est autorisée pour désherber différentes cultures comme maïs, soja, graines protéagineuses, lin, haricots, etc. Selon la culture, différentes dates d'application sont possibles : par exemple au printemps ou automne pour les graminées fourragères ou les légumineuses fourragères, ou encore printemps pour le maïs.

La bentazone est une molécule relativement peu persistante. Le temps de demi-vie⁴³ est de l'ordre de 20 jours (DT_{50} terrain). Elle est relativement mobile ($K_{oc} = 55,3 \text{ mL g}^{-1}$). L'indice GUS

⁴³ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/71.htm>

est de 1,95. Cette valeur est entre 1,8 et 2,8, selon la construction de l'indice GUS traduisant un potentiel moyen de lessivage vers les eaux souterraines.

En termes d'achats (Illustration 34) de la bentazone, ils fluctuent globalement entre 7.7 et 20 t/an à l'échelle de la région entre 2008 et 2023 avec plutôt une baisse entre la période 2008-2011 et les années suivantes. Cette baisse ne correspond pas à une diminution de surfaces d'application potentielle qui s'observe plutôt après 2015 (Illustration 35). Des enquêtes détaillées permettraient de mieux comprendre la raison de cette diminution d'achats (diminution des doses, utilisation d'une autre substance active etc.).

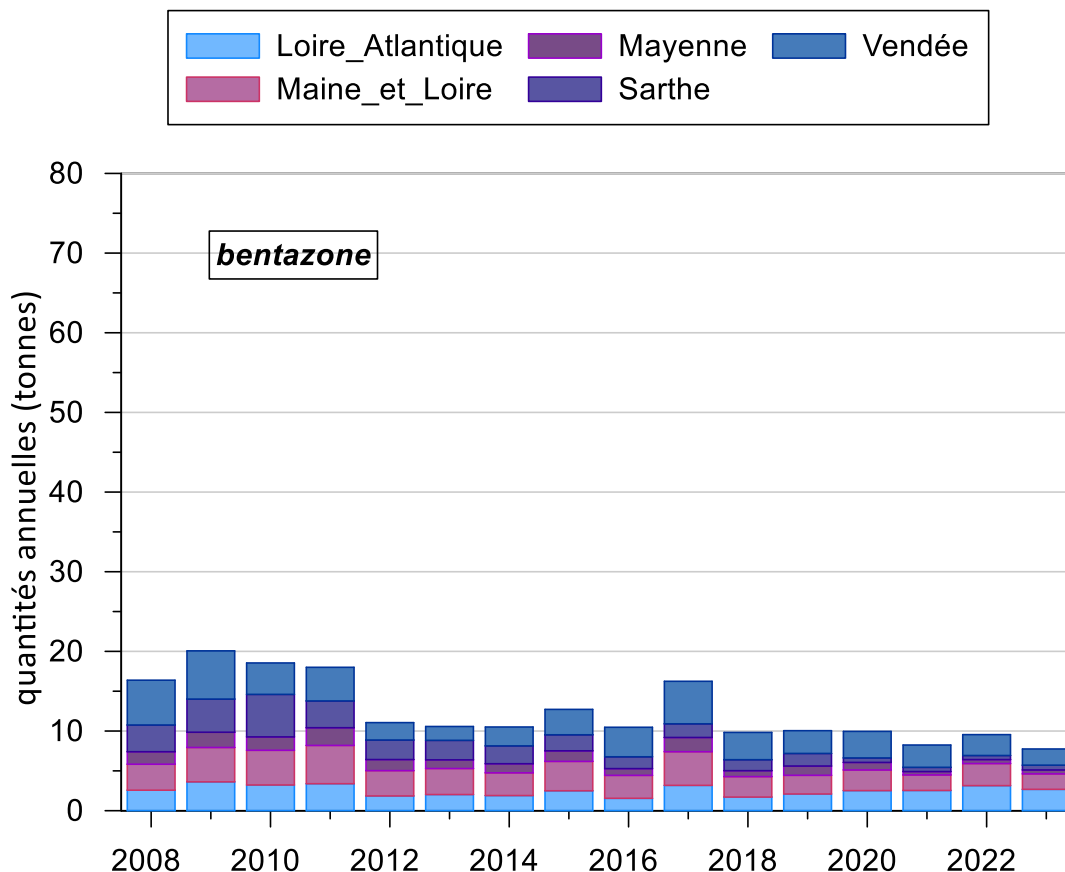


Illustration 34. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas de la bentazone

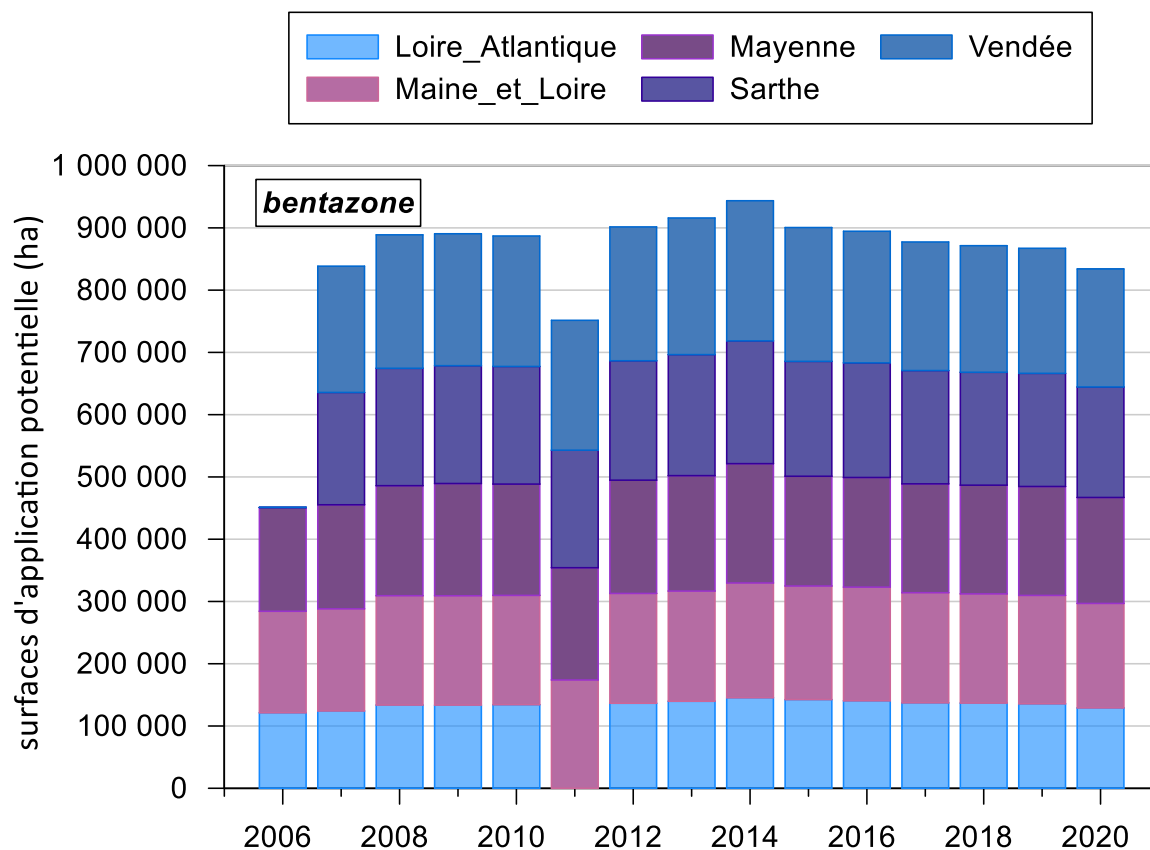


Illustration 35. Surfaces d'applications potentielles de la bentazone par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

En termes d'impact, à l'échelle de la région, la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L varie de 1.1 (en 2009) à 9.6 % (en 2020) avec une augmentation régulière depuis 2010 qui pouvait d'abord résulter d'une surveillance accrue (nombre d'analyses augmentant entre 2010 et 2014) mais qui se poursuit pour les années plus récentes avec un nombre de qualimètres surveillés stabilisé. L'évolution des fréquences de dépassement est assez comparable à celle de la fréquence de quantification, il ne s'agit donc pas d'un effet d'une potentielle amélioration des performances analytiques mais bien d'une occurrence plus importante.

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

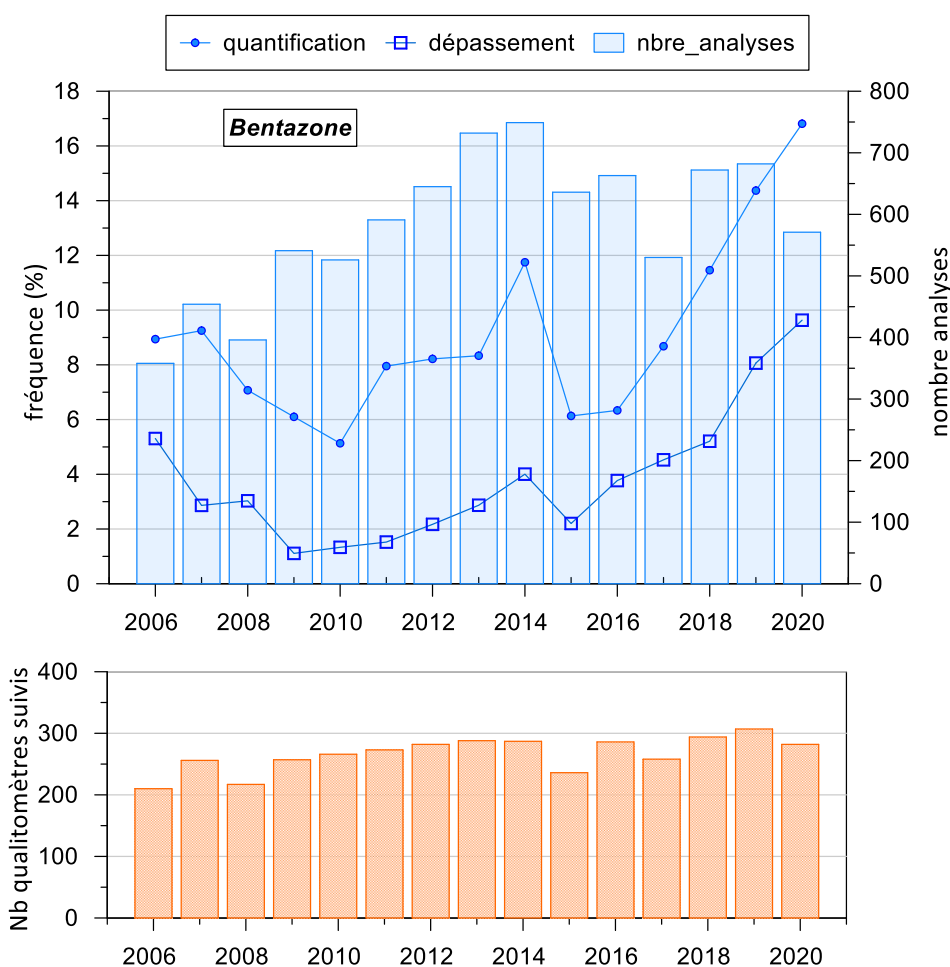


Illustration 36. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour la bentazone à l'échelle de la région Pays de la Loire

Dans le détail, les cartes de la bentazone sont consultables pages 10, 11 et 12 de l'atlas cartographique.

La comparaison des cartes 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020 montre un changement de secteur quant à la présence et l'impact de la bentazone dans les eaux souterraines. Bien que les achats aient diminué, des usages au niveau d'aquifères plus vulnérables ou des périodes d'application différentes (liées à d'autres cultures) pourraient expliquer cet accroissement de l'impact constaté.

En termes de dynamique de transfert (Illustration 37), on constate que les fréquences de dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour la bentazone varient de 2.5 à 7% avec des valeurs plus importantes en aout et novembre en lien probable avec les différentes périodes d'application possibles.

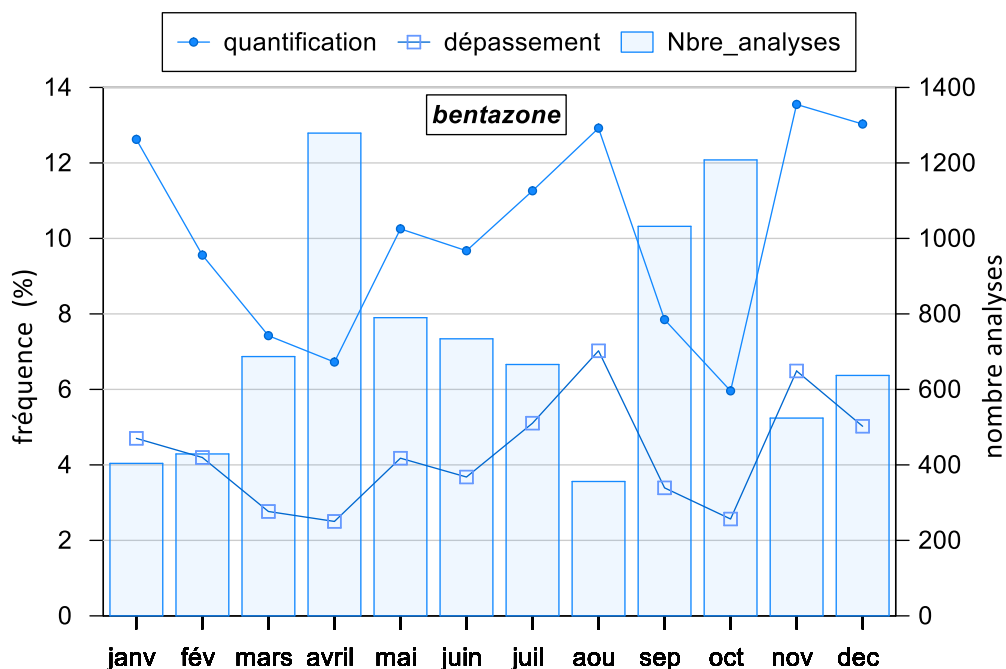


Illustration 37. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour la bentazone à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.5. Métolachlore total (code sandre 1221) et métabolites

Le métolachlore, de la famille des chloroacétanilides, est un herbicide sélectif utilisé en France principalement comme désherbant sur la culture du maïs. D'autres usages ont aussi été autorisés, par exemple sur sorgho ou encore tournesol.

Le produit utilisé dans les années récentes est le S-métolachlore qui est venu remplacer le métolachlore, interdit d'usage depuis le 30 décembre 2003. Rappelons que les deux produits, métolachlore (interdit) et S-métolachlore (autorisé) diffèrent selon la proportion d'isomères qu'ils contiennent. Le S-métolachlore est plus riche en énantiomères S (énantiomères S entre 80 et 100 %) que le métolachlore (mélange racémique 50 % de chaque énantiomère). Pour rappel, énantiomère est un terme de chimie qui permet de distinguer deux molécules dont la formule chimique est identique mais dont la configuration géométrique dans l'espace est différente (les deux molécules sont l'image en miroir l'une de l'autre).

Cependant les techniques analytiques, la plupart du temps, ne discriminent pas les différents énantiomères. Dans les eaux, c'est donc généralement une mesure de concentration de forme indifférenciée qui est réalisée ; ces analyses correspondent au code sandre 1221 métolachlore total.

Le S-métolachlore est modérément persistant (PPDB, 2023)⁴⁴ dans les sols. Il se dégrade principalement en acide éthane sulfonique du métolachlore (ESA métolachlore⁴⁵) et en acide oxanilique du métolachlore (OXA métolachlore⁴⁶). Il est modérément mobile dans les sols ($K_{oc} = 120$ ml/g). Il présente un potentiel de lixiviation intermédiaire selon l'indice GUS (GUS = 2,32).

L'OXA métolachlore et l'ESA métolachlore sont persistants et très persistants ($DT_{50} = 325$ jours et 400 jours respectivement) ; ils présentent tous deux un potentiel de lessivage élevé (GUS =

⁴⁴ <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/465.htm>

⁴⁵ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1031.htm>

⁴⁶ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1505.htm>

6,88 et 7,22 respectivement). Il n'y a pas d'information disponible sur le métabolite NOA 413713 dans la base PPDB, métabolite plus récemment suivi.

En termes d'achats, le S-métolachlore apparaît au 4^{ème} rang des achats après le glyphosate, le prosulfocarbe et la pendiméthaline à l'échelle de la région. Les achats ont augmenté de manière importante à partir de 2013 possiblement en lien avec le retrait d'usages de l'acétochlore, un autre herbicide qui était utilisé sur maïs mais aussi lié à une augmentation des surfaces d'application potentielle cette année-là (Illustration 38 ; Illustration 39). L'augmentation significative des achats en 2023 pourrait être liée aux discussions de l'époque quant au renouvellement de la substance active. L'effet augmentation des achats en 2018 suite à l'évolution des taxes est bien visible puisque les achats augmentent alors que les surfaces sont stables.

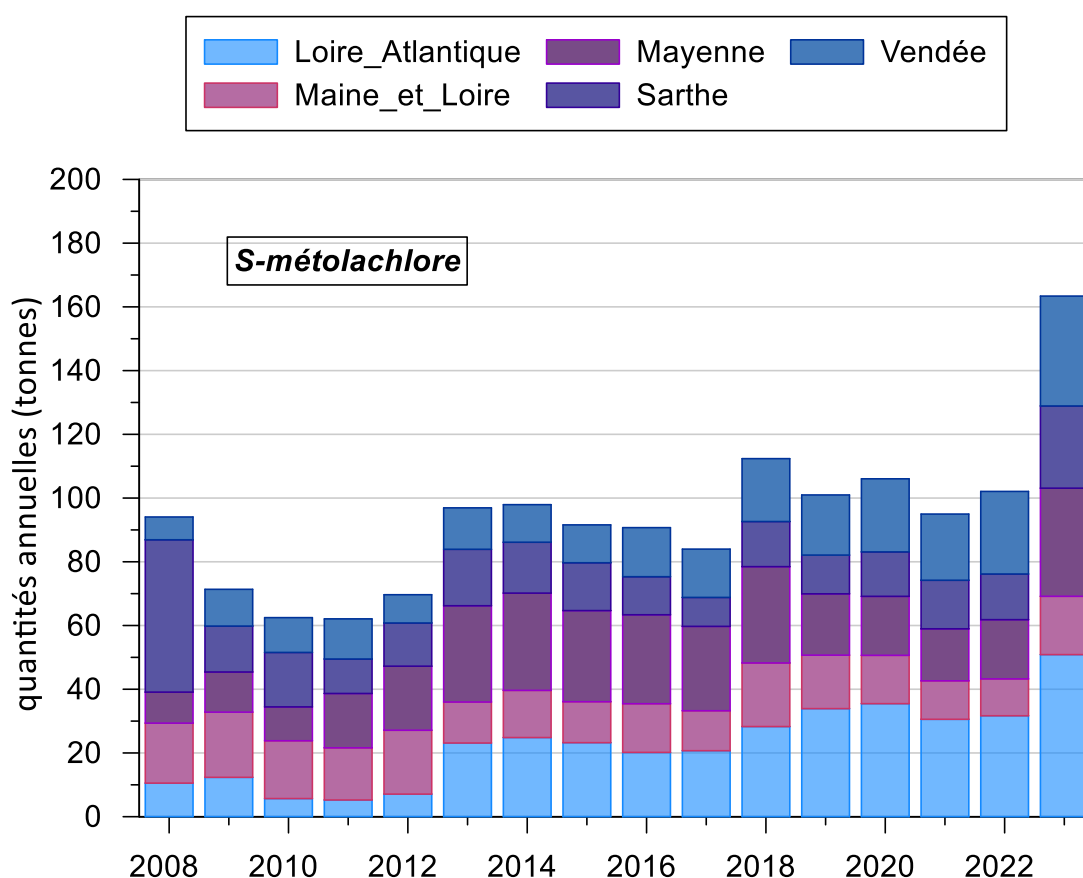


Illustration 38. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du S-métolachlore

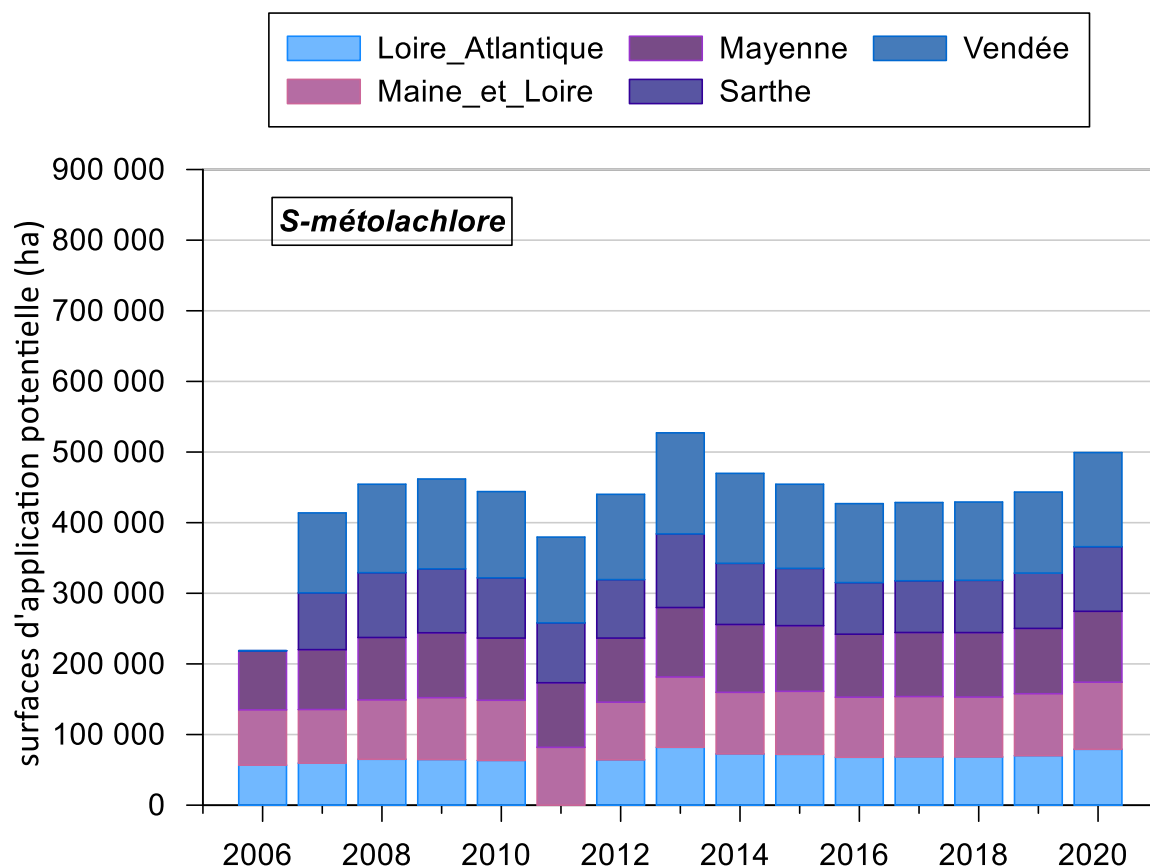


Illustration 39. Surfaces d'applications potentielles du S-métolachlore par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

En termes d'impact, à l'échelle de la région, la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L varie de 0.3 à 2 % pour la substance active 3.5 à 6.7 % pour OXA et de 43.5 à 55 % pour l'ESA-métolachlore. Pour le NOA 413713, la surveillance débutée en 2020 indique environ 10 % des analyses mais ne concerne qu'un nombre très restreint d'analyses et de qualimètres. Pour l'ESA et l'OXA-métolachlore, les fréquences de dépassement semblent décroître entre 2018 et 2020 mais cela devra être confirmé.

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action



Illustration 40. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour le métolachlore total et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire

Dans le détail, les cartes du métolachlore total et de ses métabolites sont consultables pages 13, 14 et 15 de l'atlas cartographique.

Sur la période 2006-2010, la présence du métolachlore total dans les eaux souterraines concerne dix-sept qualitomètres (sur 376) parmi lesquels 6 dépassent la concentration 0,1 µg/L. En 2011-2015, la présence du métolachlore est constatée dans 37 qualitomètres (sur 441) ; la valeur 0,1 µg/L est dépassée pour 4 d'entre eux. En 2016-2020, ces valeurs restent comparables, 38 qualitomètres (sur 436) sont concernés par la présence du métolachlore, dont 6 marquent des dépassements. L'impact du métolachlore (substance active) à quelques dépassements ponctuels n'est pas significativement marqué sur la région des Pays de la Loire.

A partir de 2016, les métabolites ESA métolachlore (code sandre 6854) et OXA métolachlore (code sandre 6853) sont suivis (Illustration 41) ; pour le métabolite métolachlore NOA 413173

(code sandre 7729) c'est à partir de 2020. Pour la période 2016-2020, l'impact des métabolites est significatif : 30 qualimètres dépassent la concentration 0,1 µg/L en OXA métolachlore ; 158 en ESA métolachlore et 9 en métolachlore NOA 413173.

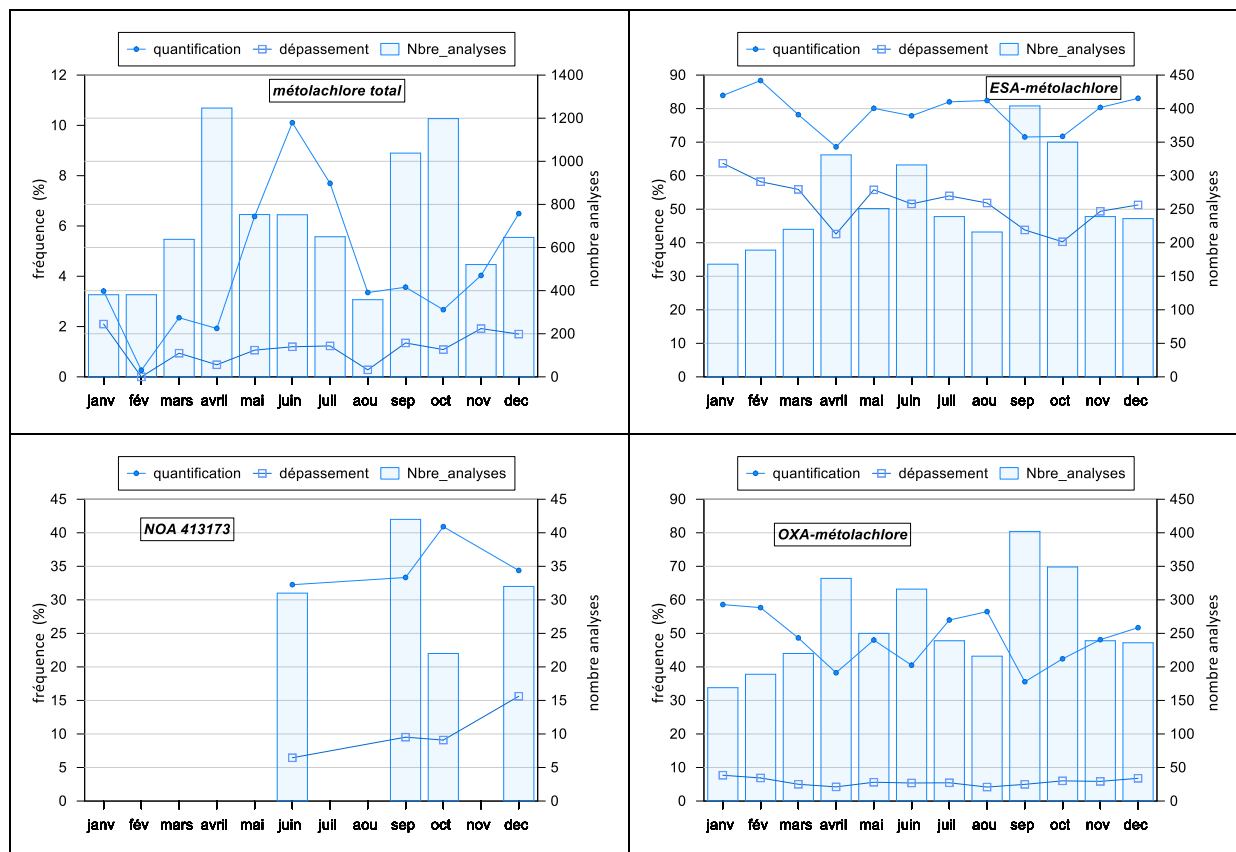


Illustration 41. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le métolachlore et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire

En termes de dynamique de transfert (Illustration 41), on constate que les dynamiques des fréquences de dépassement sont différentes entre la substance active et ses métabolites. Pour le métolachlore total, une augmentation se produit entre août et janvier en lien avec les applications du printemps par exemple sur maïs et la reprise de la recharge. Des applications plus précoces (sur tournesol par exemple) et un transfert assez rapide pourraient expliquer une fréquence augmentant entre mars et février. Pour l'ESA-métolachlore la fréquence augmente pendant la période de recharge (octobre à janvier-février) mais aussi entre avril et mai. L'OXA-métolachlore suit globalement cette dynamique. La plus grande disponibilité et mobilité des métabolites versus la substance explique ces différences de comportement. Le nombre limité de données pour le NOA 413173 rend difficile la description.

4.1.6. Pendiméthaline (code sandre 1234)

La pendiméthaline est une substance active de produit phytosanitaire ayant des propriétés herbicides. Elle est très utilisée en France (plus de 1 900 tonnes vendues en 2021) et en Pays de la Loire (environ 130 tonnes vendues en 2021). Il s'agit de la 3^{ème} substance organique la plus vendue après le glyphosate et le prosulfocarbe. Cet herbicide peut être appliqué sur le blé, le maïs, l'orge, les crucifères oléagineuses, le soja, le sorgho, le tournesol, les cultures légumières (haricots, choix, ...), etc.

En termes d'achats, les quantités ont augmenté très régulièrement depuis 2013 avec un doublement entre 2013 et 2020 (Illustration 42). Une baisse des achats semble être observée en 2023. Cette évolution ne semble pas complètement corrélée à l'évolution des surfaces potentielles d'application identifiées, qui ont plutôt tendance à décroître depuis 2015. Des changements pratiques (comme la substitution) pourraient expliquer cette évolution des achats.

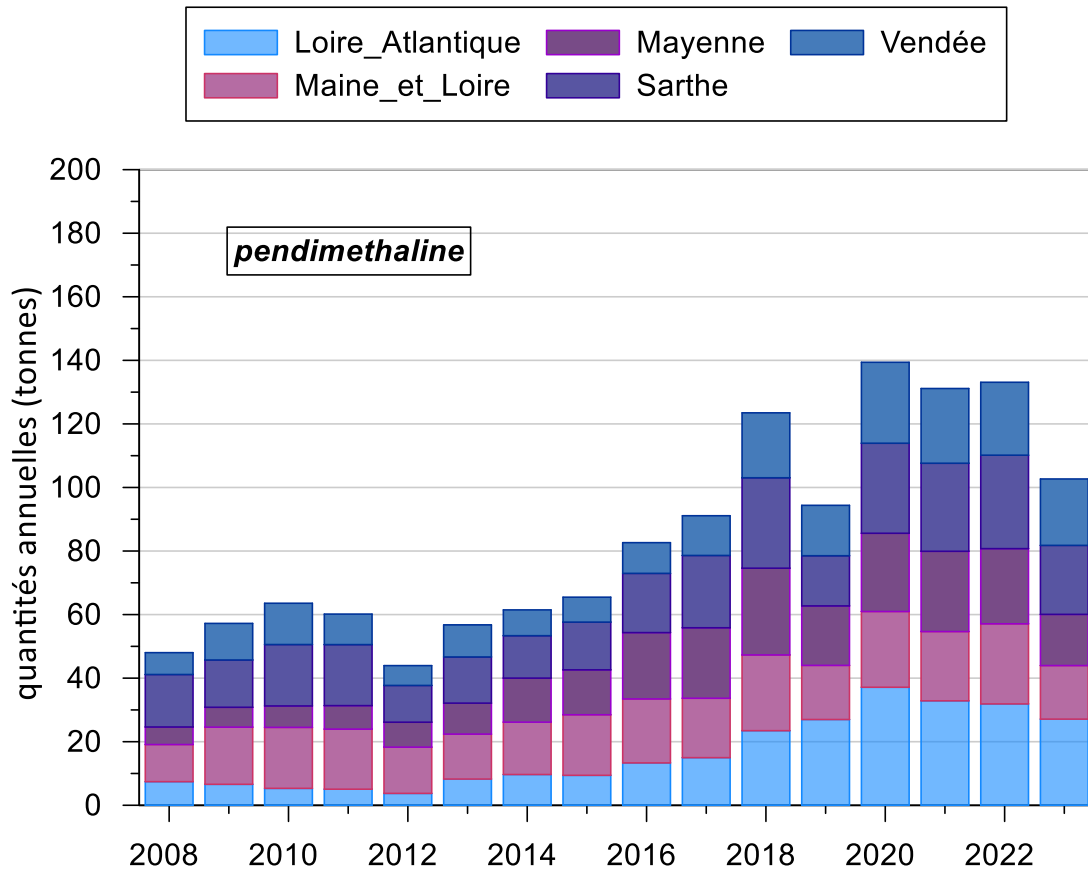


Illustration 42. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas de la pendiméthaline

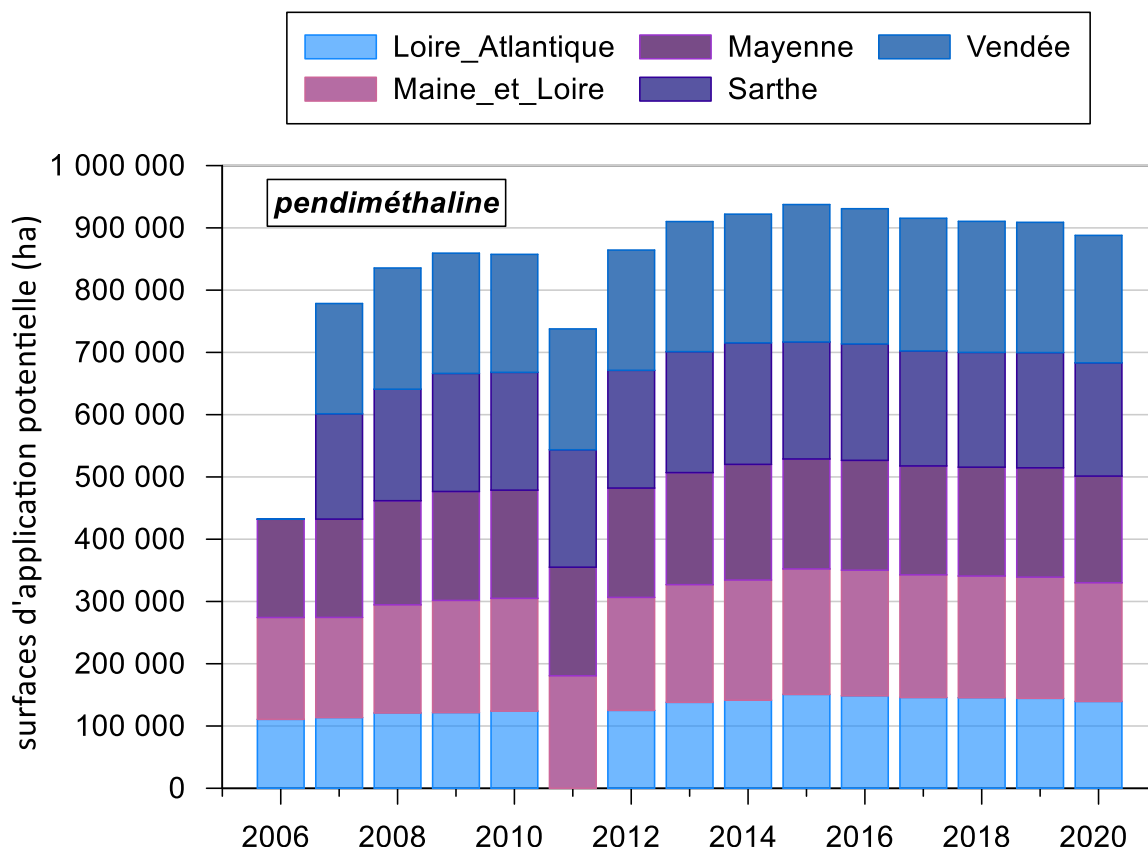


Illustration 43. Surfaces d'applications potentielles de la pendiméthaline par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

L'indice GUS ($DT_{50 \text{ field}} = 100,6$ jours et $K_{oc} = 17\,491 \text{ mL g}^{-1}$) pour la pendiméthaline est de -0,28 (PPDB, 2023)⁴⁷ ce qui indique un potentiel faible de lixiviation et donc une (très) faible probabilité d'être retrouvé dans les eaux souterraines (via un transfert sous forme dissoute de la substance).

La pendiméthaline se transforme en 2 métabolites qui ne sont aujourd'hui pas recherchés. Un des deux métabolites, le M455H001, présente un risque de lixiviation intermédiaire vers les eaux souterraines avec des teneurs attendues globalement inférieures à $0,1 \mu\text{g/L}$. Le second (M455H033) n'a pas de valeur de l'indice GUS, disponible dans PPDB. Toutefois la $DT_{50 \text{ sol}}$ extrêmement courte (< 1 jour) laisse supposer un transfert très limité.

En termes d'impact, la fréquence de dépassement de la valeur $0,1 \mu\text{g/L}$ est nulle.

⁴⁷ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/511.htm>

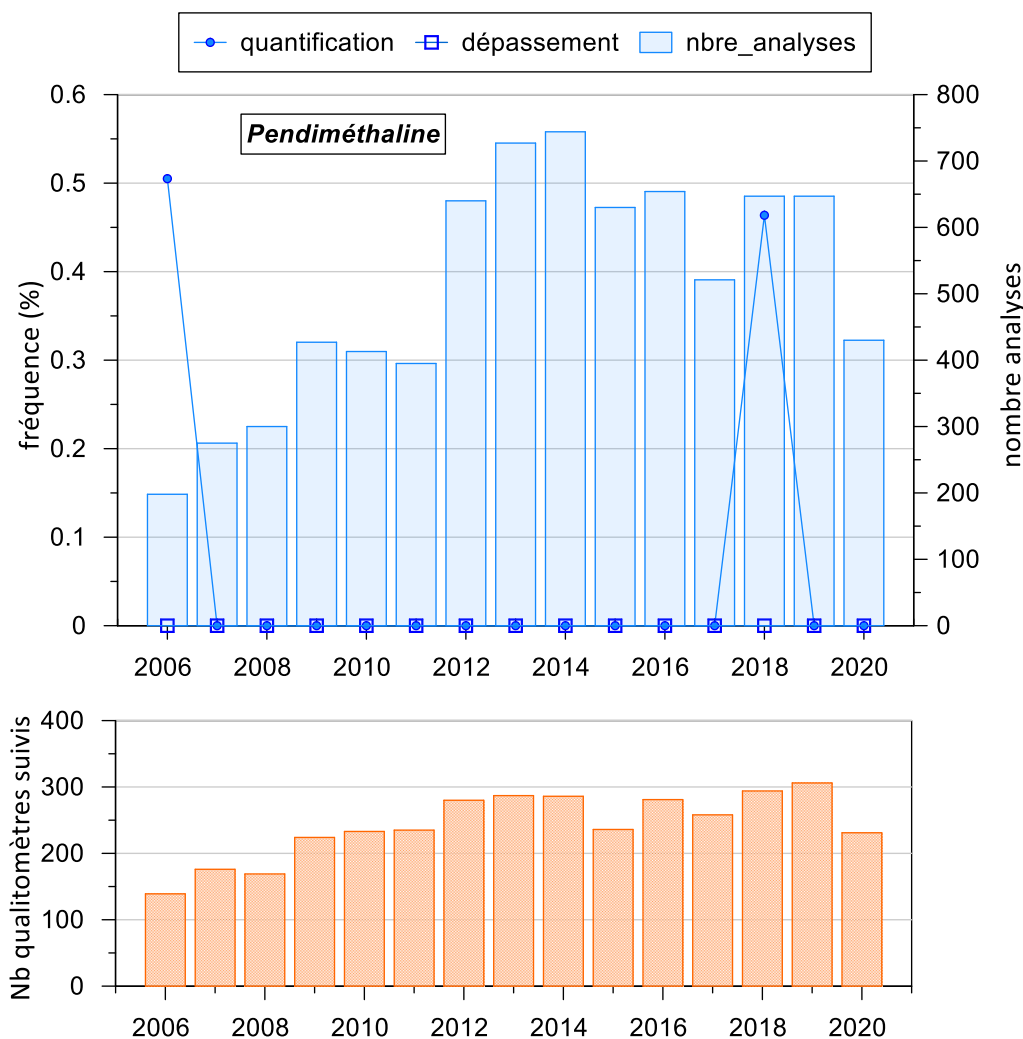


Illustration 44. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour la pendiméthaline à l'échelle de la région Pays de la Loire

Dans le détail, les cartes du pendiméthaline sont consultables pages 16, 17 et 18 de l'atlas cartographique.

Sur la période 2006-2020, la présence en pendiméthaline concerne 1 qualitomètre (02881X0502/P) sur 361 suivis ; sur la période 2011-2020, aucun qualitomètre sur les 441 suivis et sur la période 2016-2020, 2 qualitomètres (02877X0003/F ; 03945X0010/SOURCE) sur les 436 suivis. Ces quantifications sont très ponctuelles et ne représentent que 4 analyses. Aucun dépassement de la valeur seuil 0,1 µg/L n'est observé sur la période 2006-2020.

En termes de dynamique de transfert (Illustration 45), les quantifications sont plus importantes à l'automne et un peu plus en avril, en lien probable avec 2 périodes d'application possibles tout en restant très faibles (inférieures à 0.5 %).

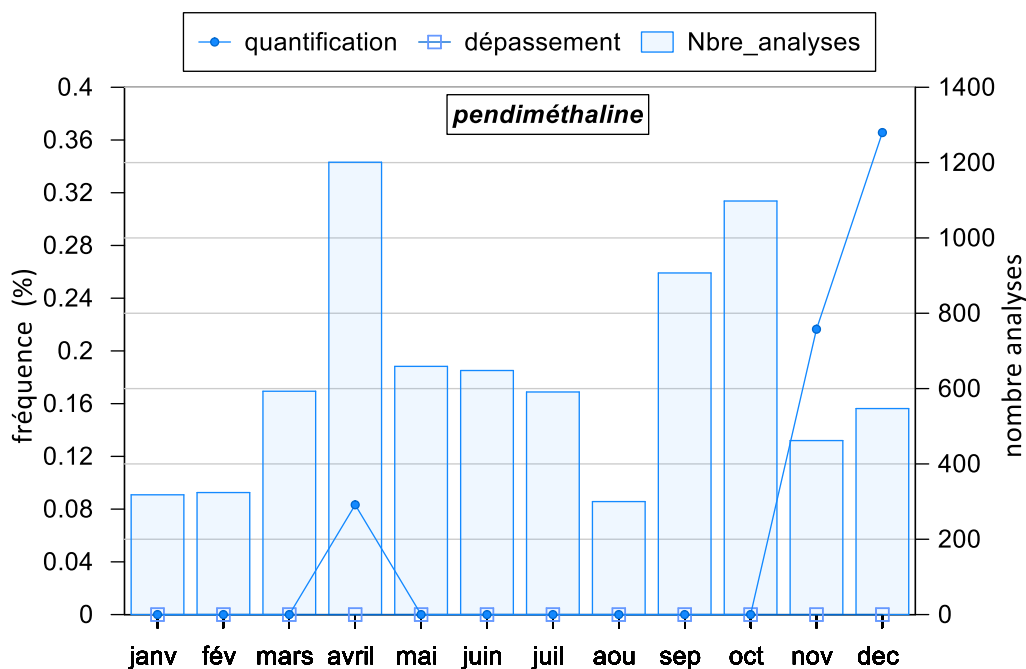


Illustration 45. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour la pendiméthaline à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.7. Propyzamide (code sandre 1414)

La propyzamide est une substance active qui a des propriétés herbicides. Elle peut être appliquée sur de nombreuses cultures comme le blé, les crucifères oléagineuses, le chou, les graines protéagineuses, les haricots, le pois, le maïs, l'orge, l'oignon, le poireau, le seigle, la tomate, le tournesol, la vigne, etc. Cet herbicide est toutefois principalement utilisé sur le colza⁴⁸ avec des dates d'application globalement de début novembre jusque fin décembre, maximum fin janvier pour le colza.

L'indicateur GUS de 1.34 indique un risque de lixiviation faible. La propyzamide se dégrade en 2 métabolites qui ne sont aujourd'hui pas recherchés. L'indicateur GUS de 2.84 pour le métabolite RH-24580 indique un risque de lixiviation élevé alors que l'indice GUS de 1.43 pour le métabolite RH-24644 indique un risque faible. Dans certains cas, les teneurs modélisées pour le métabolite RH-24580 indiquent des dépassements de la valeur 0.1 µg/L.

En termes d'achats (Illustration 46), on constate une augmentation importante puis continue à partir de 2014 jusque 2022. Les quantités semblent décroître en 2023. Ces augmentations pourraient être liées au retrait de la trifluraline (en 2008) qui était utilisée pour le désherbage du colza et de la vigne. Les usages multiples associés à différentes cultures peuvent expliquer cette tendance à la hausse : la propyzamide a été autorisée en France⁴⁷ : depuis 1991 sur la vigne, 1972 sur le pois et colza, 1985 sur le tournesol, 1998 en arboriculture et sur d'autres cultures (maraîchage, cultures ornementales, prairies artificielles et soja. On notera également que les surfaces potentielles d'application ont augmenté (effet des autorisations et possiblement des changements d'occupation du sol).

⁴⁸ https://www.anses.fr/sites/default/files/Fiche_PPV_Propyzamide.pdf

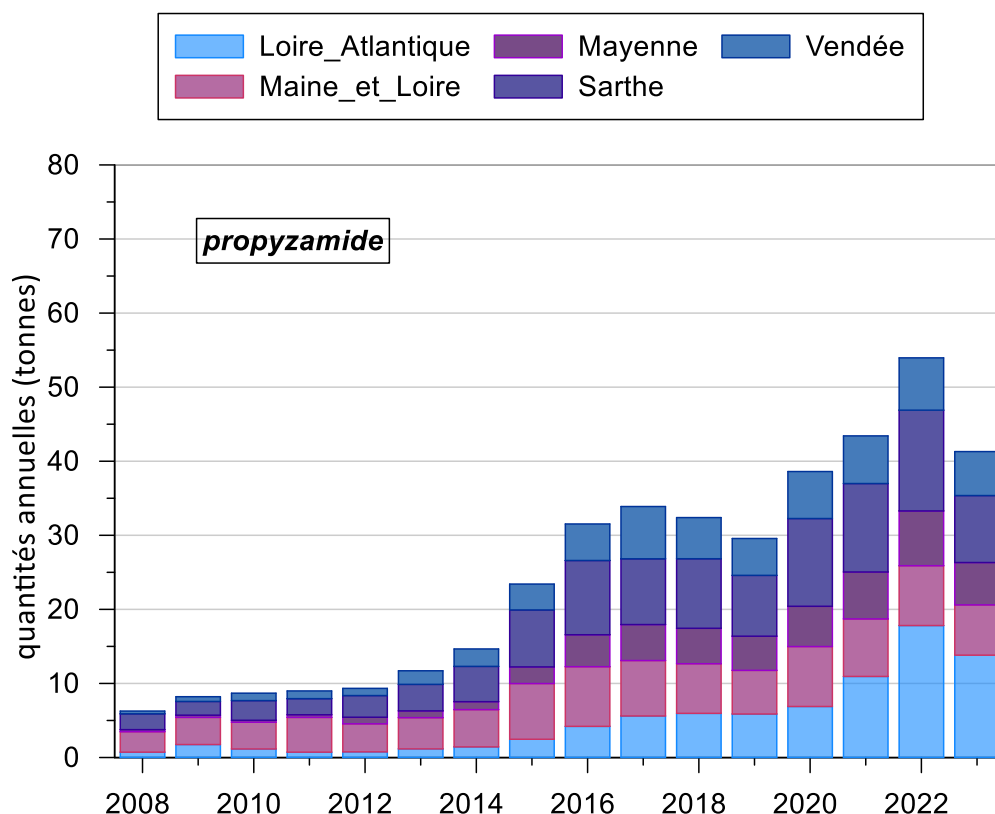


Illustration 46. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas de la propyzamide

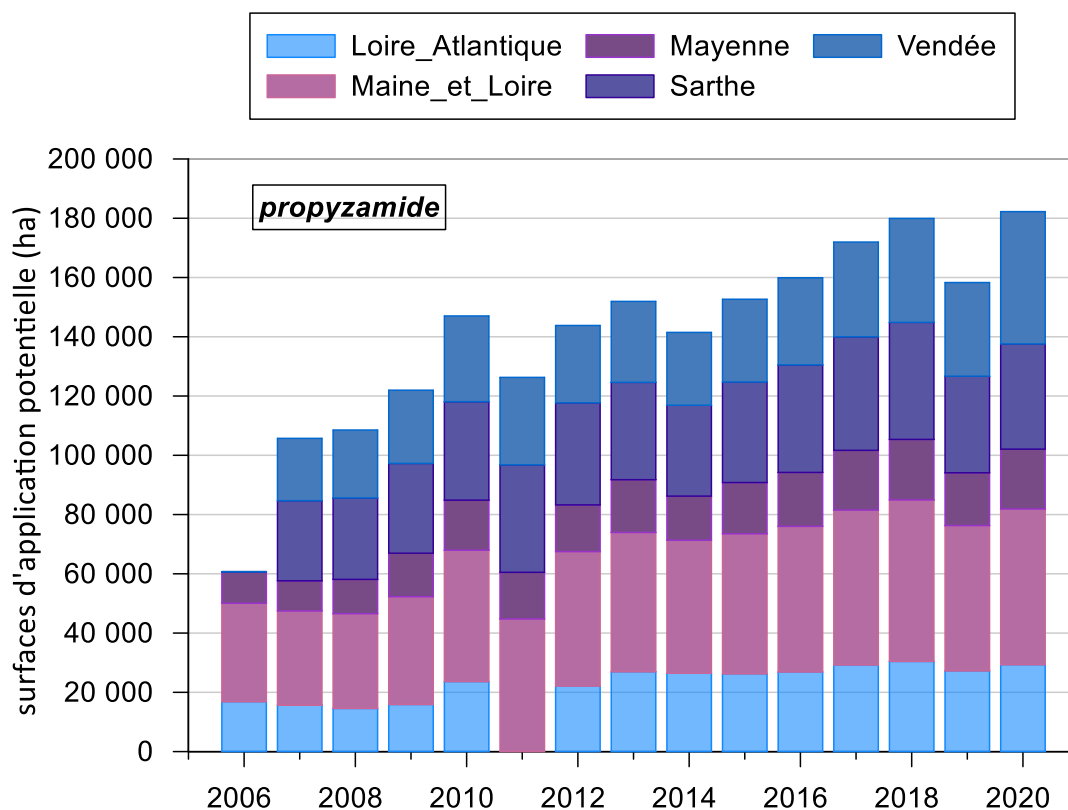


Illustration 47. Surfaces d'applications potentielles de la propyzamide par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

En termes d'impact (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L reste faible (< 0.4%) même si elle tend à augmenter les années plus récentes, en lien probable avec des usages plus importants. La fréquence de quantification de 2015 semble un peu atypique, une étude détaillée permettrait peut-être de voir s'il s'agit d'une année hydrologique particulière. Cette année-là le nombre de qualimètres suivis est plus faible et pourrait également impacter l'évaluation si des qualimètres généralement non impactés n'ont pas été échantillonnés cette année-là.

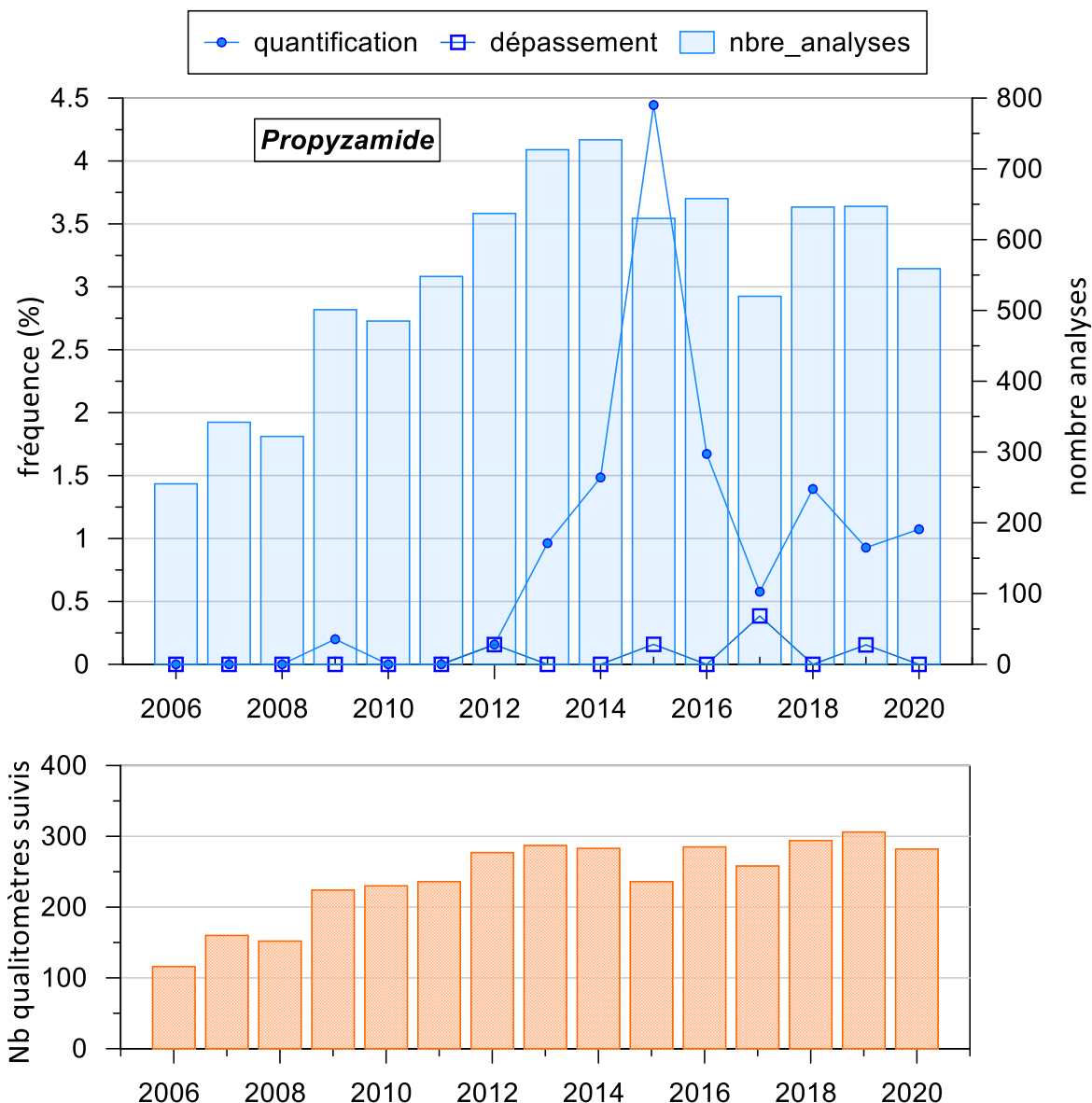


Illustration 48. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour la propyzamide à l'échelle de la région Pays de la Loire

Dans le détail, les cartes du propyzamide sont consultables pages 19, 20 et 21 de l'atlas cartographique.

Sur la période 2006-2010, le propyzamide est suivi sur 357 qualimètres et quantifié sur un qualimètre (BSS000ZWUF - 03605X0503/SOURCE – Saint Gervais de Vic – 72).

Sur la période 2011-2015, la surveillance du propyzamide concerne 438 qualitomètres. Il est quantifié dans 25 qualitomètres dont la plupart (22 sur 25) sont localisés le long de la Loire. Sur la période 2016-2020, le propyzamide est quantifié dans 17 qualitomètres (sur 436) dont 10 sont les mêmes que sur 2011-2015.

La valeur 0,1 µg/L n'est pas dépassée sur la période 2006-2010. Sur la période 2011-2015, 2 qualitomètres (03605X0503/SOURCE – Saint Gervais sur Vic ; BSS001DNVY - 04236X0027/SI-1 – Puits de Avrillé 49) dépassent la valeur seuil. Sur la période 2016-2020, deux qualitomètres différents dépassent la valeur seuil (04513X0007/F1 – BSS001EUDY et 04513X0029/F2 - BSS001EUEW – Forage de la Chutenaie F1 ; localisés tous les deux à proximité dans la commune de Saffré 44).

Au total, la propyzamide est présente dans 32 qualitomètres parmi lesquels 24 sont dans la nappe des alluvions de la Loire (BDLISA 930FA01 et 930DA03).

En termes de dynamique de transfert (Illustration 49), la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L est plus importante à l'automne et à l'hiver mais reste inférieure à 0.5 %. Cette tendance est largement corrélée à l'évolution de la fréquence de quantification, beaucoup plus importante qu'au printemps et pendant l'été. Les occurrences dans les eaux souterraines sont donc plus importantes pendant les périodes d'application potentielle sur colza (notamment) et les semaines suivantes, d'autant qu'il s'agit généralement de périodes de recharge des aquifères.

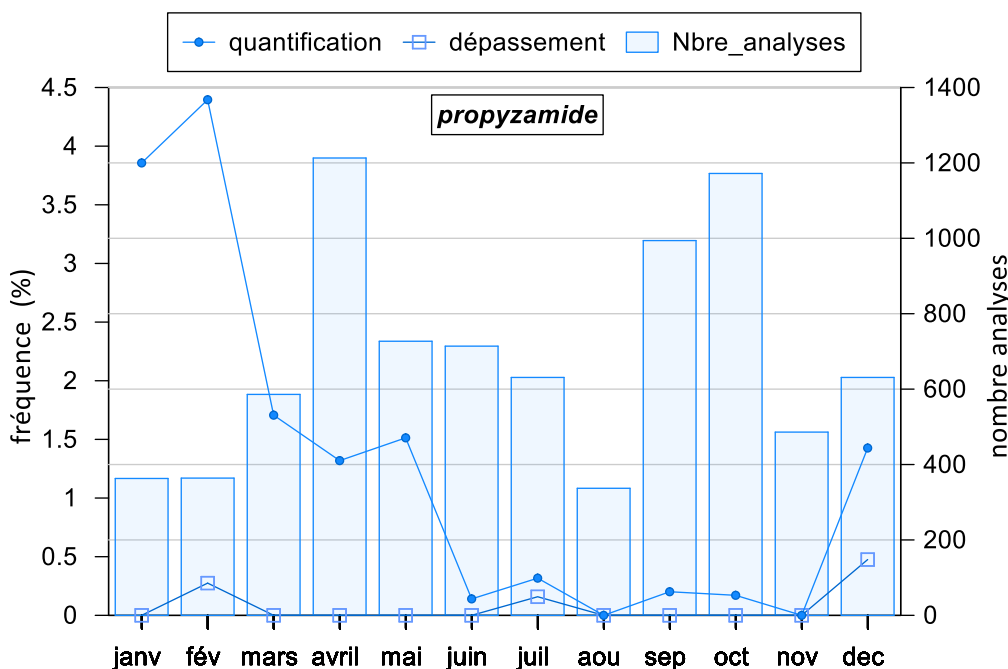


Illustration 49. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour la propyzamide à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.8. Glyphosate (code sandre 1506) et AMPA

Le glyphosate est un herbicide systémique total, c'est le désherbant le plus vendu et utilisé dans le monde et de fait largement utilisé dans la région. Le glyphosate est autorisé sur de nombreuses cultures (arbres et arbustes ; blé ; cultures fruitières ; forêt ; lin ; orge ; porte-graines ; rosier ; traitements généraux ; vigne ; etc.). Il s'applique également en intercultures (traitements généraux) avant la mise en place d'une autre culture. Autrement dit, des applications peuvent avoir lieu à différentes périodes de l'année notamment au printemps - fin d'été ou automne. Sur la base d'enquêtes (47 agriculteurs) pour la filière grandes cultures-polycultures

élevage, les données collectées des années culturales 2016, 2017 et 2018, permettent d'évaluer la répartition au cours de l'année (Illustration 50). Les deux grandes périodes d'application du glyphosate, au printemps et à l'automne, correspondent à la préparation des semis respectivement avant le maïs et les céréales à paille.

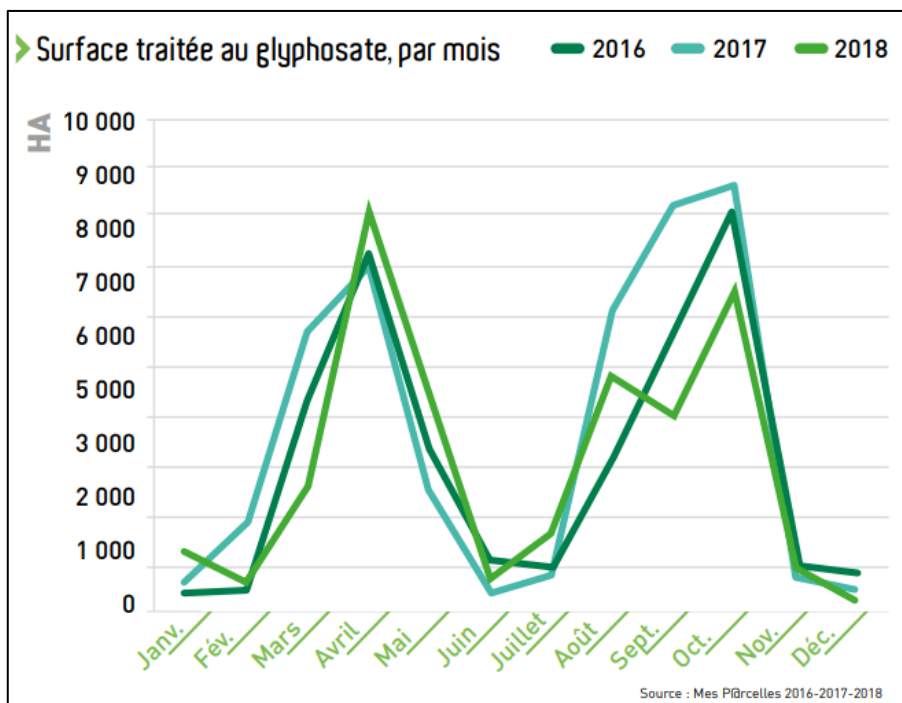


Illustration 50. Surface moyenne traitée au glyphosate par mois (2016, 2017 et 2018) des Pays de la Loire⁴⁹

Le glyphosate apparaît comme non-persistant avec une DT_{50} (terrain) = 6,45 jours et DT_{50}^{50} (lab à 20°C) = 17,3 jours et assez peu mobile ($K_d = 209.4 \text{ mL.g}^{-1}$). L'indice GUS à 0,29 (indice < 1,8) le classe à faible risque de lessivage et devrait donc être peu retrouvé dans le compartiment des eaux souterraines (suite à un transfert sous forme dissoute). L'AMPA est le principal métabolite du glyphosate. Rappelons que cette substance est également connue comme un produit de transformation de certains phosphonates.

En termes d'achats, le maximum a été observé en 2014 (Illustration 51). Les années suivantes correspondent à une diminution régulière : 2022 correspond presque à la moitié de 2014.

Les surfaces d'application potentielles représentent entre 950 000 à 1 650 000 hectares pour la région Pays de la Loire (Illustration 52). Cette surface montre une très légère diminution sur les années les plus récentes avec des surfaces maximales en 2014 et années antérieures. La diminution des achats traduit donc cette diminution des surfaces d'application potentielle et possiblement d'une évolution des pratiques.

En termes d'impact (Illustration 53), globalement jusqu'à 2014 la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L est plus importante pour l'AMPA que pour la molécule mère. Elles sont assez comparables en 2015 et 2016. Pour l'AMPA, cette fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L décroît très régulièrement de 2009 à 2020 pour passer de 3 à 0.4 %. Pour le glyphosate, l'évolution est un peu différente avec une baisse entre 2015 et 2020 ; il n'y a pas eu de dépassement en 2020. Les années 2010 à 2013 correspondent à des années avec pas ou un dépassement. L'année 2015 apparaît un peu atypique (comme dans le cas de la propyzamide).

⁴⁹ [2020_Projet_regional_AltR_Glypho-1.pdf \(educagri.fr\)](#)

⁵⁰ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/373.htm>

Le nombre plus limité de qualimètres suivis et/ou un contexte hydrologique particulier pourrait être des facteurs explicatifs à ces fréquences de quantification et de dépassement de la valeur 0.1 µg/L plus importantes.

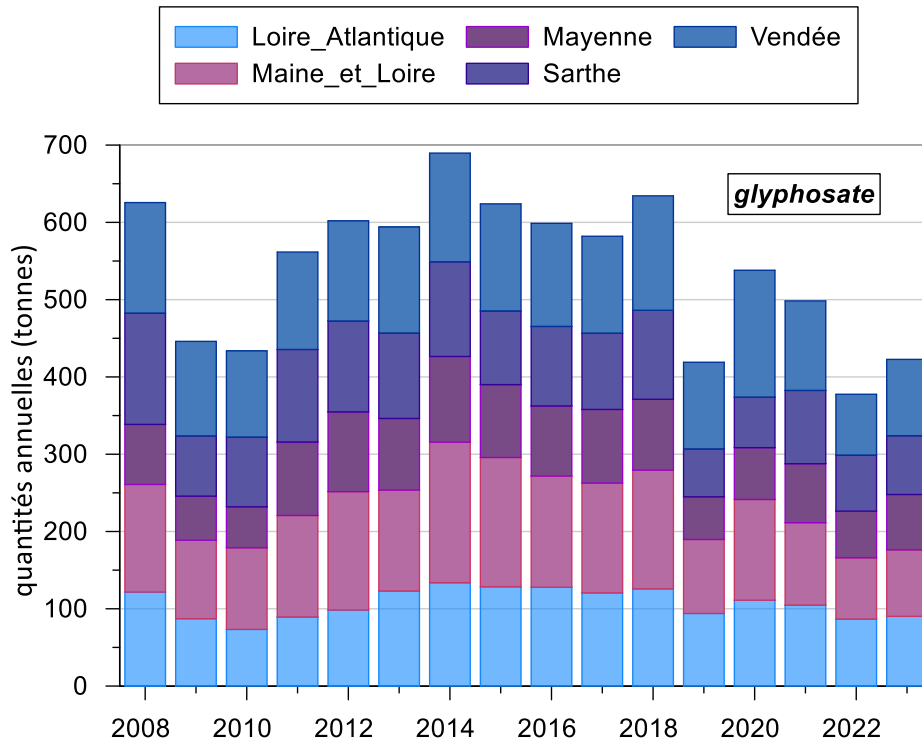


Illustration 51. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du glyphosate

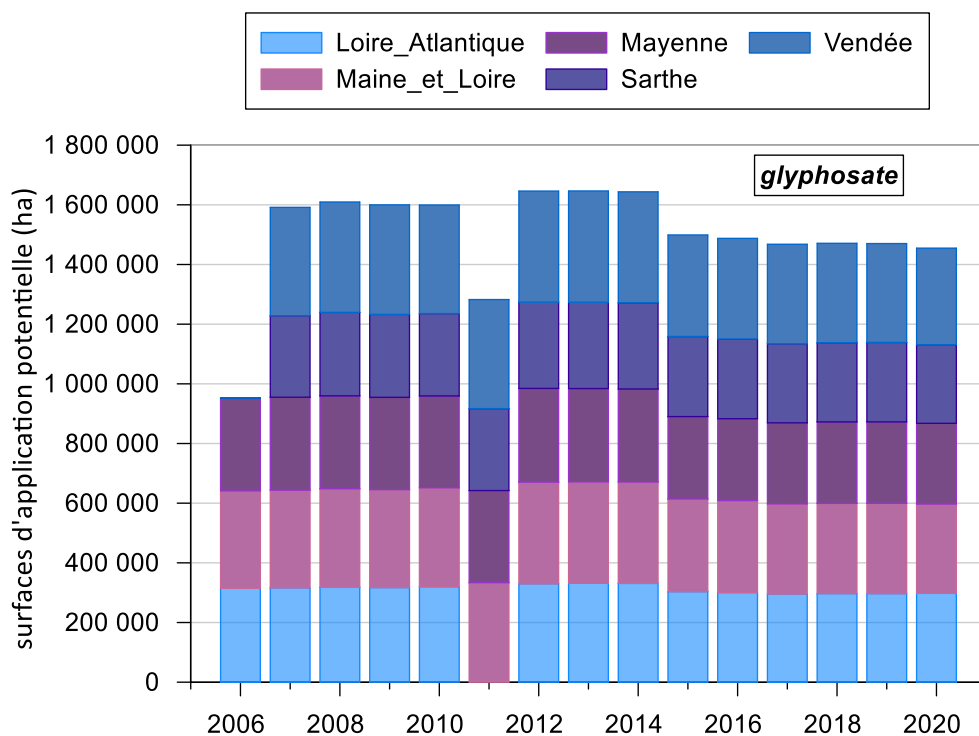


Illustration 52. Surfaces d'applications potentielles du glyphosate par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

Dans le détail, les cartes du glyphosate et de l'AMPA sont consultables pages 22, 23 et 24 de l'atlas cartographique.

La surveillance du glyphosate sur les trois périodes est comparable : 421 qualitomètres en 2006-2010 ; 444 en 2011-2015 et 436 en 2016-2020. La présence du glyphosate tend à s'accroître entre 2006-2010 (17 qualitomètres > LQ) et 2011-2015 (41 qualitomètres > LQ) puis à diminuer en 2016-2020 (30 qualitomètres > LQ). Quant à l'impact (dépassement de la valeur 0,1 µg/L), il apparaît plutôt stationnaire : 15 qualitomètres en 2006-2010 ; 16 en 2011-2015 et 11 en 2016-2020. Les quantifications du glyphosate (> LQ) dépassent fréquemment (45 % des analyses ; 63 % des qualitomètres) la valeur seuil de 0,1 µg/L.

La surveillance de l'AMPA est la même que pour le glyphosate (421 qualitomètres en 2006-2010 ; 444 en 2011-2015 ; 436 en 2016-2020). Le plus fort taux de présence (comme pour le glyphosate) est en 2011-2015 avec 62 qualitomètres (37 qualitomètres en 2006-2010 et 34 qualitomètres en 2016-2020). Le plus fort taux de dépassement en est 2006-2010 avec 31 qualitomètres (25 en 2011-2015 et 14 en 2016-2020). Les quantifications en AMPA (> LQ) dépassent fréquemment (47 % des analyses ; 55 % des qualitomètres) la valeur seuil de 0,1 µg/L.

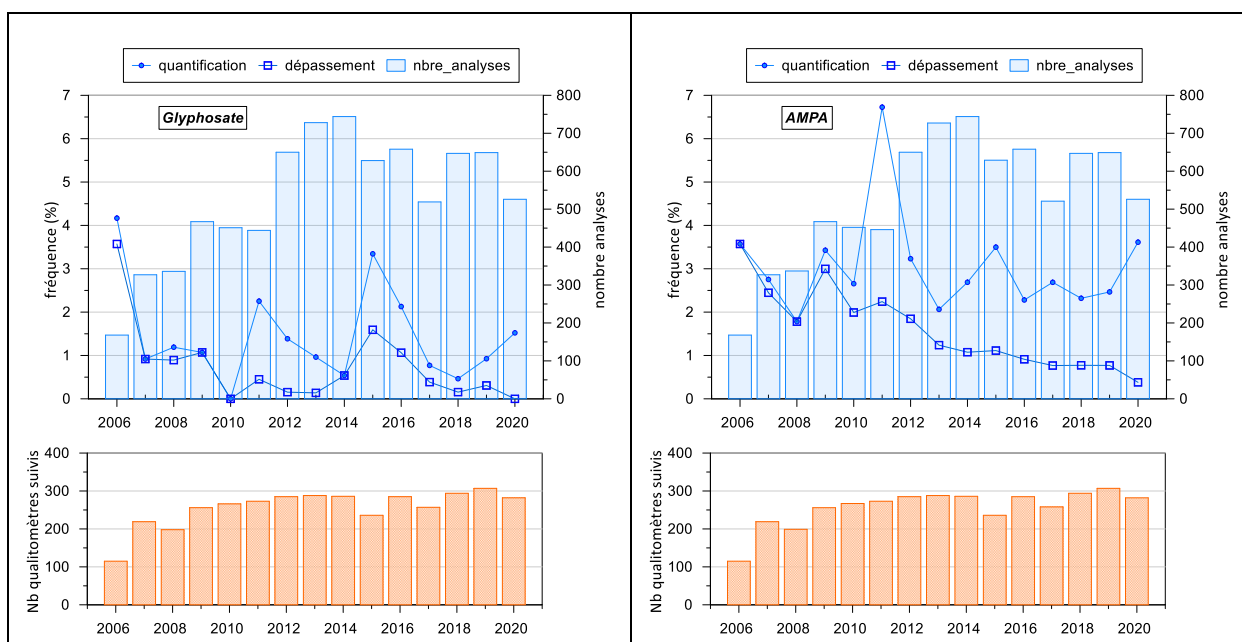


Illustration 53 : Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour le glyphosate et l'AMPA à l'échelle de la région Pays de la Loire

En termes de dynamique de transfert (Illustration 54), la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L varie de 0 à 1.2 % pour le glyphosate avec des valeurs plus faibles en décembre, janvier et juillet. Pour l'AMPA, la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L varie 0.6 à 2.1 % avec des valeurs un peu plus élevées en mai-juin et octobre sans que des grandes fluctuations soient observées. En termes de fréquences de quantification, les valeurs fluctuent plus avec des augmentations de mars à mai puis d'août à octobre (et entre novembre et décembre). Ces évolutions sont cohérentes avec les périodes d'application attendues notamment en inter-cultures.

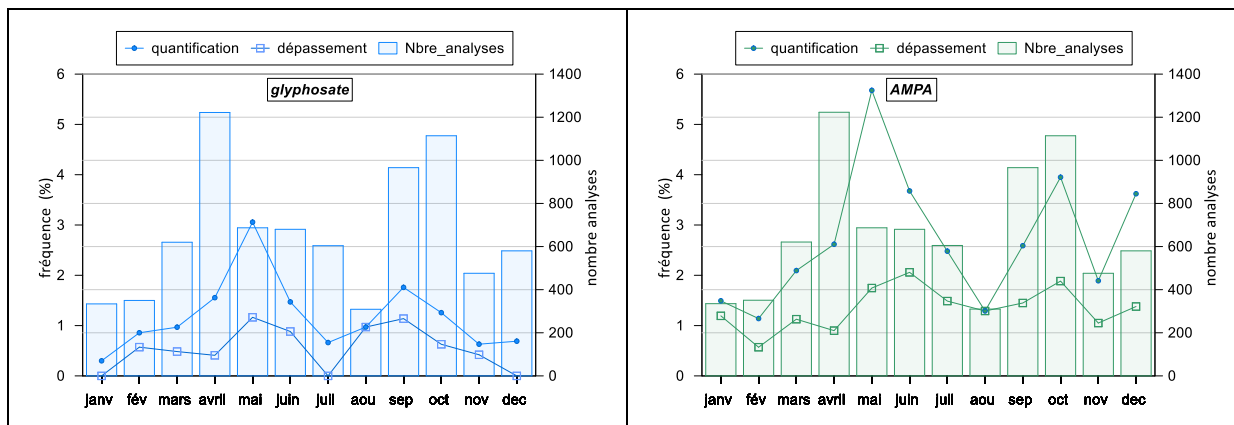


Illustration 54. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour la propyzamide à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.9. Diméthénamide (code sandre 1678)

Le diméthénamide est un herbicide de la famille des chloroacétamides qui n'est plus inscrit à l'Annexe I de la directive 91/414/CEE⁵¹ avec retrait des autorisations de produits phytopharmaceutiques contenant cette substance (depuis 2006). Le diméthénamide a été remplacé par le diméthénamide-P (inscrit en 2004 – enrichi en énantiomère S qui porte l'activité « herbicide »).

Comme pour le métolachlore, les techniques analytiques « classiques » permettent difficilement la distinction des différentes formes énantiomères. Les données de surveillance sont donc généralement des mesures de concentrations en diméthénamide total (code sandre 1678)⁵².

Le diméthénamide-P est autorisé sur les cultures légumières (chicorées, choux, maïs doux, navet, poireau), sur les cultures porte graine et sur les grandes cultures (betterave industrielle et fourragère, crucifères oléagineuses, maïs, sorgho et tournesol). Colza et maïs représentent les principaux usages du diméthénamide-P. Les préconisations d'usage les plus importantes du diméthénamide-P sont pour le désherbage du maïs de la pré-levée (avril) jusqu'à la post-levée (juin). Une autre préconisation d'usage courante porte sur le désherbage du colza et des céréales, de la pré-lévée (août-septembre) et jusqu'à la post-levée (décembre-janvier).

Le diméthénamide—P) a trois métabolites. Le diméthénamide-ESA correspond à l'acide 2-[(2,4-diméthyl-3-thiényl)(1-méthoxy-2-propanyl)amino]-2-oxoéthanesulfonique et le diméthénamide-OXA correspond à l'acide [(2,4-diméthyl-3-thiényl)(1-méthoxy-2-propanyl)amino](oxo)acétique. Ces 2 métabolites sont recherchés dans les eaux souterraines depuis 2020. Ils ont tous les deux un indice GUS supérieur à 5 traduisant un risque de transfert important vers les eaux souterraines. Dans de nombreux cas, les teneurs modélisées pour l'homologation indiquent des dépassements de la valeur 0.1 µg/L pour ces 2 métabolites. Le diméthénamide-ESA et le diméthénamide-OXA sont considérés comme « non pertinents pour les EDCH ».⁵³ Le troisième métabolite est le Dimethenamide acide sulfynilacétique qui n'est pas recherché. Son indice GUS (> 5) et les résultats des modélisations indiquent un risque de transfert élevé vers les eaux souterraines avec des teneurs supérieures à 0.1 µg/L.

En termes d'achats, une augmentation régulière est observée depuis 2013 avec un doublement des quantités entre 2012 et 2016 (Illustration 55). Cette augmentation peut être liée à des changements de pratique, par exemple en lien avec le retrait de l'acétochlore en 2013 ou des

⁵¹ https://www.stradalex.eu/fr/se_src_publ_leg_eur_jo/document/joue_2006.379.01.0125.01

⁵² https://www.anses.fr/fr/system/files/Fiche_PPV_Dimethenamide-P.pdf

⁵³ <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2021SA0020-b.pdf>

changements d'usage du S-métolachlore (baisse après 2018). En effet, les surfaces d'application potentielle sont plutôt stables ans les années récentes (2014-2019) (Illustration 56).

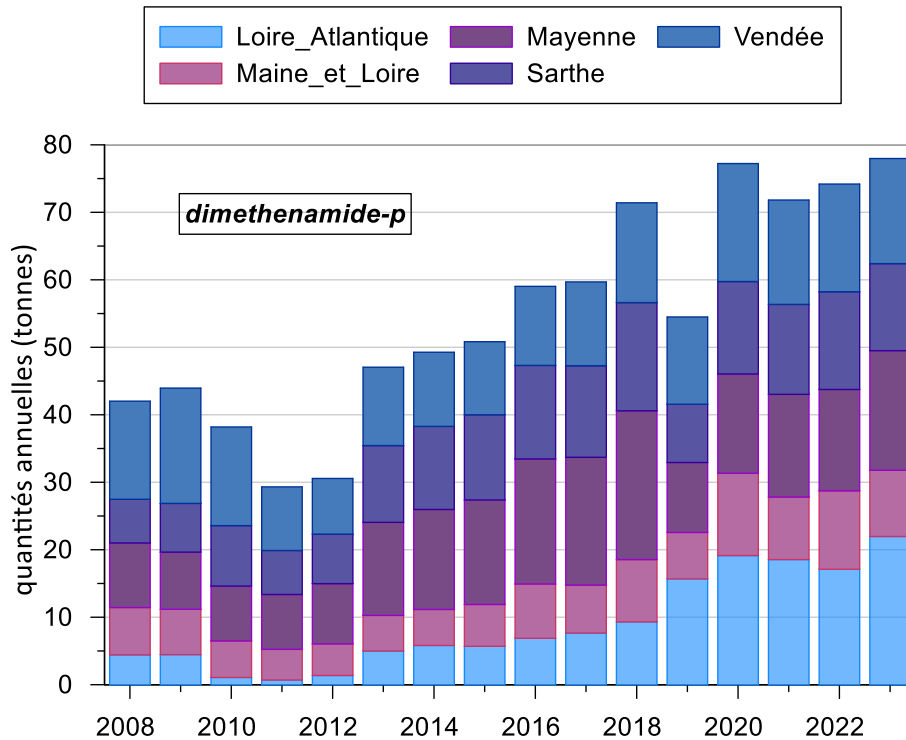


Illustration 55. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du diméthénamide-P

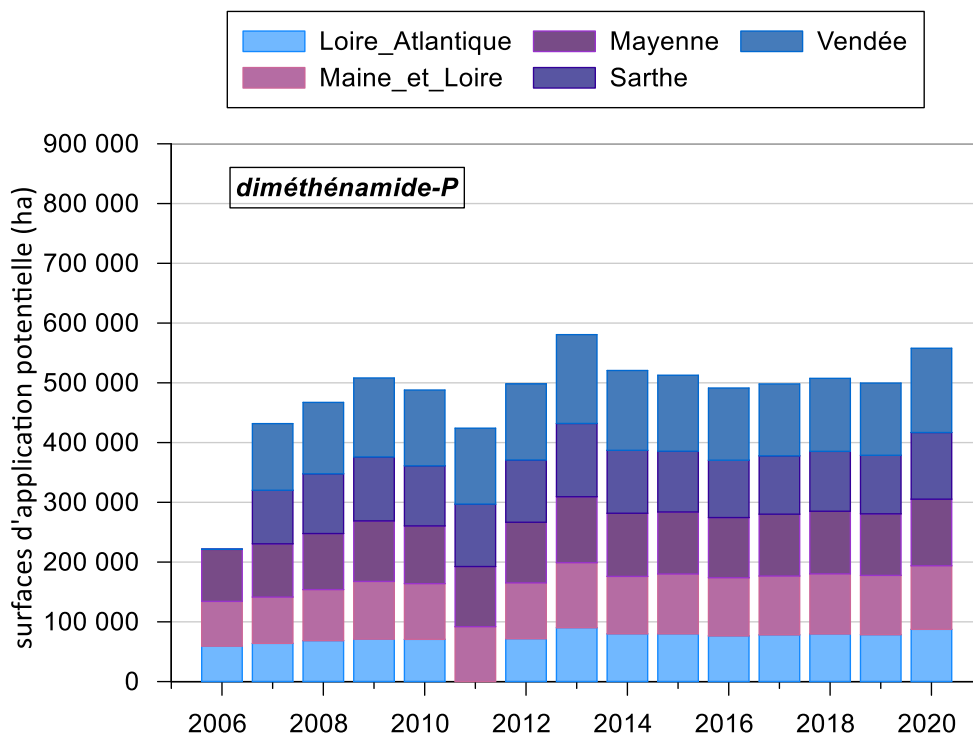


Illustration 56. Surfaces d'applications potentielles du diméthénamide-P par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

En termes d'impact (Illustration 57), la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/l est nulle à très faible (0.2 %) pour la substance active alors qu'elle dépasse 1 % pour les 2 métabolites ESA et OXA en lien avec les propriétés physico-chimiques de ces composés. Le nombre d'analyses, de qualimètres et la durée suivie (uniquement 2020) restent faibles. Toutefois, il est attendu de trouver de manière plus fréquente et à des teneurs plus élevées les 2 métabolites que la molécule mère.

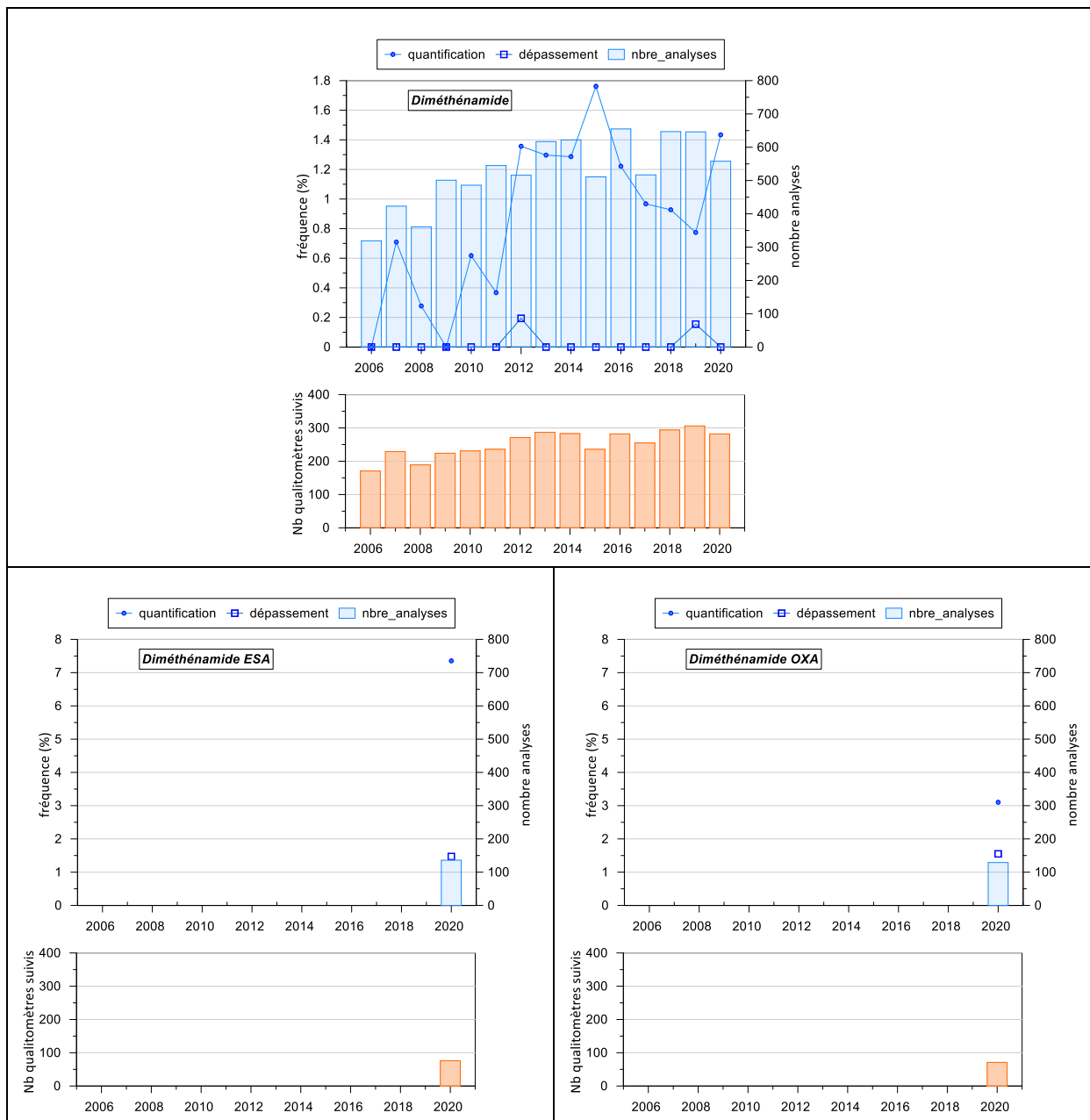


Illustration 57. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour le diméthénamide total et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire

Dans le détail, les cartes du diméthénamide-P et métabolites sont consultables pages 25, 26 et 27 de l'atlas cartographique.

La surveillance concerne au total 506 qualimètres, 382 en 2006-2010, 438 en 2011-2015 et 435 en 2016-2020. Au total, sur les trois périodes, 15 qualimètres mesurent une concentration en diméthénamide dépassant la LQ : 3 sur la période 2006-2010, 6 sur la période 2011-2015 et 13 sur la période 2016-2020. Parmi eux seuls deux qualimètres montrent un dépassement de

la valeur seuil 0,1 µg/L : 05867X0062/F1 (BSS001NNJD – Fontenay-Le-Comte 85) et 04236X0027/SI-1 (BSS001DNVY – Avrillé 49).

La surveillance des deux métabolites, diméthénamide-ESA et diméthénamide-OXA débute en 2020. Les indicateurs, taux de quantification et fréquence de dépassement, reposent uniquement sur 6 mois de surveillance, 72 qualitomètres pour diméthénamide-ESA et 67 qualitomètres pour diméthénamide-OXA.

Diméthénamide-ESA est présent dans 5 qualitomètres (02865X0001/P, 03591X0033/P, 03904X0001/P, 04191X0010/P, 04236X0027/SI-1) dont un où les concentrations dépassent 0,1 µg/L (04236X0027/SI-1 BSS001DNVY Avrillé 49). Diméthénamide-OXA est présent dans 2 qualitomètres (04236X0027/SI-1, 04502X0045/SGB2) pour lesquels il y a des dépassements de la valeur seuil de 0,1 µg/L.

En termes de dynamique de transfert (Illustration 58), pour la substance active, la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L est un peu plus importante en octobre et décembre en lien avec des usages à l'automne. Les fréquences de quantification fluctuent dans l'année avec une augmentation en automne et une diminution en hiver puis une augmentation en mai-juin et à nouveau une baisse. Les 2 usages majeurs avec des dates d'application différentes sur 2 cultures peuvent expliquer cette évolution au cours de l'année. Le nombre d'analyses et le nombre de qualitomètres suivis sont trop faibles pour décrire des tendances d'autant que les analyses sont effectuées seulement en juin, septembre, octobre ou décembre. Toutefois, la présence des 2 métabolites à des teneurs supérieures à 0.1 µg/L semble attendue.

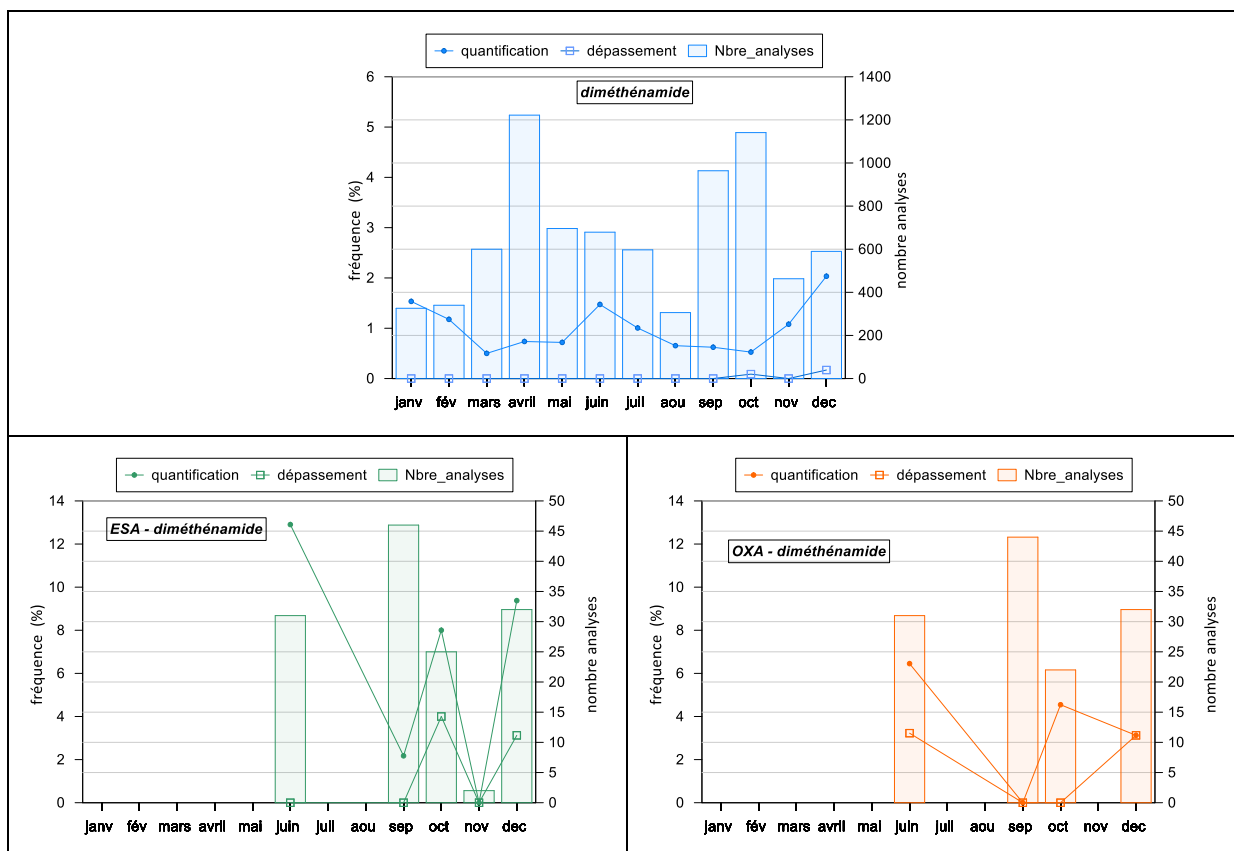


Illustration 58. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le diméthénamide et ses métabolites à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.10. Tébuconazole (code sandre 1694)

Le tébuconazole est un fongicide de la famille chimique des triazoles. Cette substance active est autorisée dans la composition de préparations bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché pour différents usages (avoine, blé, crucifères oléagineux, cultures fruitières et légumières, graines protéagineuses, orge, vigne, etc.). Sa période d'application privilégiée est le printemps mais il est possible de l'appliquer en automne en fonction des années et des cultures (par exemple en viticulture ou en arboriculture).

Le tébuconazole a un indice GUS de 1,86⁵⁴ ce qui le classe à la limite entre un potentiel faible et un potentiel moyen de lessivage vers les eaux souterraines.

La PPDB indique un métabolite, le 1,2, 4 triazole, qui est d'ailleurs commun aux pesticides de la famille des conazoles. Il a un indicateur GUS de 1.78 avec un risque faible de transfert vers les eaux souterraines. Il n'est pas surveillé.

En termes d'achats (Illustration 59), une augmentation est observée entre 2012 et 2018, une baisse jusqu'en 2020 puis à nouveau une augmentation. Le fait que les traitements fongicides soient moins systématiques que les herbicides, pourraient expliquer cette plus grande variabilité des achats. Les surfaces d'applications potentielles fluctuent assez peu (hormis 2020) (Illustration 60).

En termes d'impact (Illustration 61), les fréquences de quantification et de dépassement de la valeur 0.1 µg/L sont très proches. Elles sont de plusieurs % entre 2006 et 2009 et d'environ 1 % depuis 2017 jusqu'en 2020. Cela correspond globalement à une période où les achats ont été les plus importants.

Dans le détail, les cartes du tébuconazole sont consultables pages 28, 29 et 30 de l'atlas cartographique.

La surveillance du tébuconazole est relativement stable sur les 3 périodes (433 qualitomètres en 2006-2010, 441 en 2011-2015 et 444 en 2016-2020). La présence du tébuconazole dans les eaux souterraines est plus marquée en 2006-2010 (> LQ pour 41 qualitomètres et > 0,1 µg/L pour 25 qualitomètres) par rapport à 2011-2015 (> LQ pour 2 qualitomètres et pas de dépassement de 0,1 µg/L) et 2016-2020 (> LQ pour 10 qualitomètres dont 3 qui dépassent 0,1 µg/L).

Même si la surveillance apparaît stable par le nombre de qualitomètres, les qualitomètres surveillés sur les trois périodes ne sont pas les mêmes d'une période à l'autre. Parmi les 52 qualitomètres qui témoignent de la présence de tébuconazole, seuls 10 qualitomètres ont des données sur les trois périodes 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020. Parmi les qualitomètres où le tébuconazole est présent en 2006-2010 (41 qualitomètres), la surveillance perdure au-delà de 2010 pour seulement 3 d'entre eux. Pour les 38 autres, il n'y a plus de mesure de concentration en tébuconazole. Ce manque de continuité dans la surveillance rend difficile le travail d'interprétation.

A noter que sur la période 2006-2010, la présence du tébuconazole est principalement observée dans des qualitomètres le long de la Loire, entre Angers et Nantes.

⁵⁴ <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/610.htm>

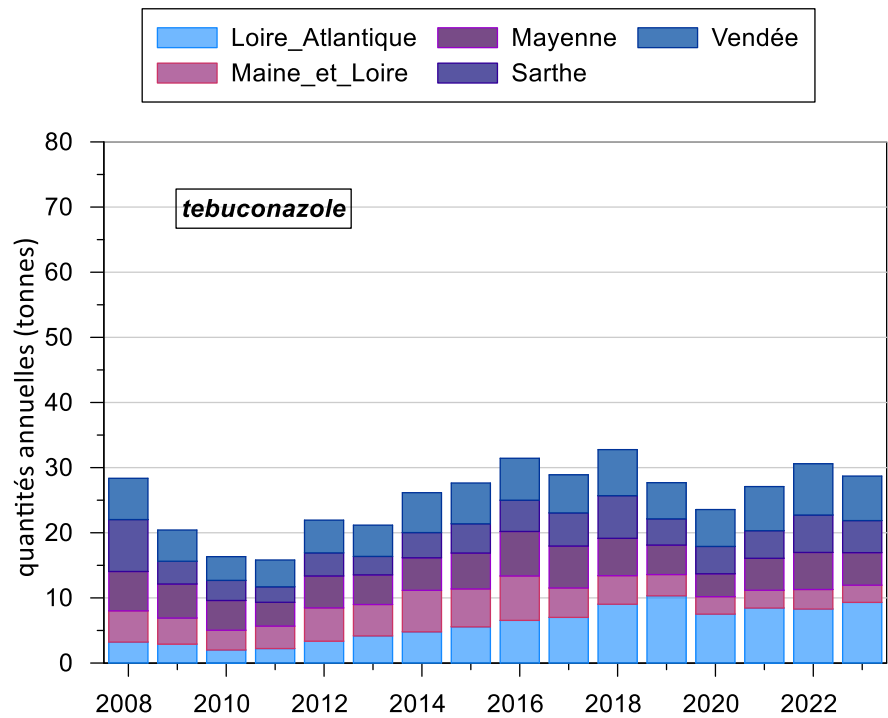


Illustration 59. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du tébuconazole

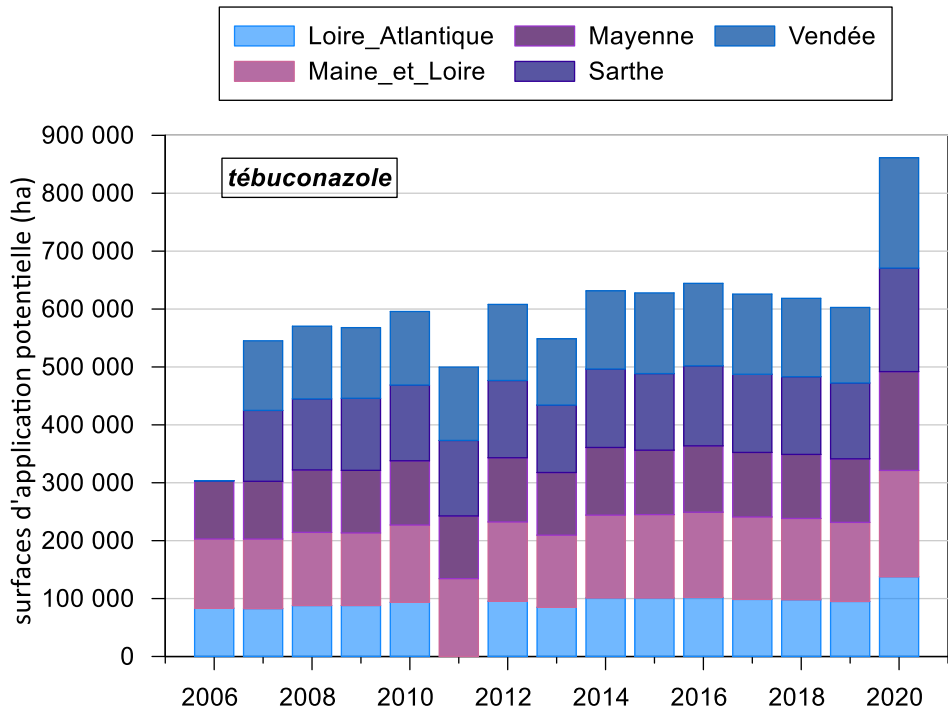


Illustration 60. Surfaces d'applications potentielles du tébuconazole par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

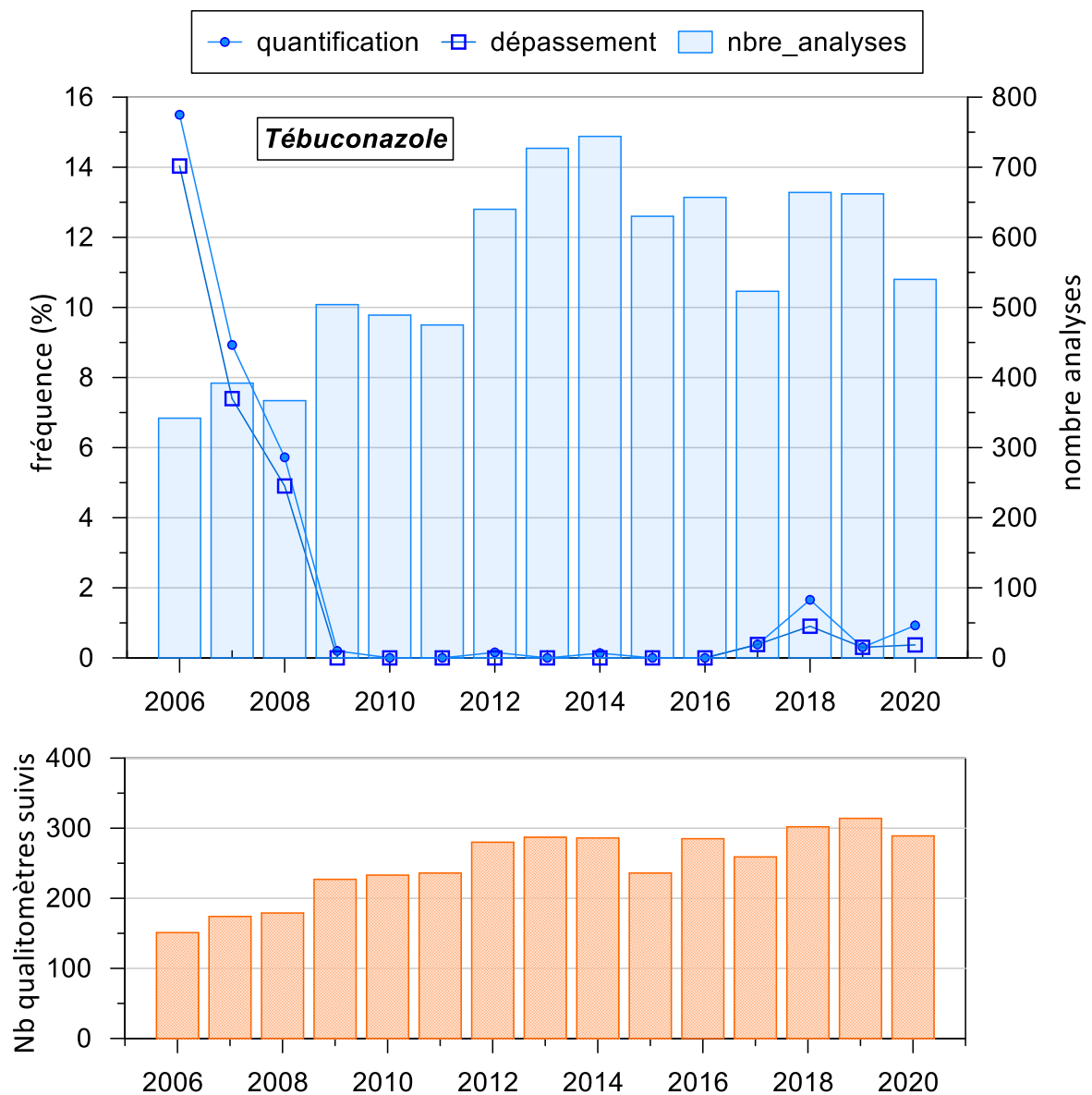


Illustration 61. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualimètres suivis par an pour le tébuconazole à l'échelle de la région Pays de la Loire

En termes de dynamique de transfert (Illustration 62), comme pour les évolutions annuelles, les fréquences mensuelles de quantification et de dépassement de la valeur 0.1 µg/l sont comparables. Les valeurs augmentent de novembre à mars, décroissent jusqu'en aout et augmentent à nouveau jusqu'en octobre. Il y a donc une évolution cohérente avec des applications au printemps et sur d'autres cultures à l'automne.

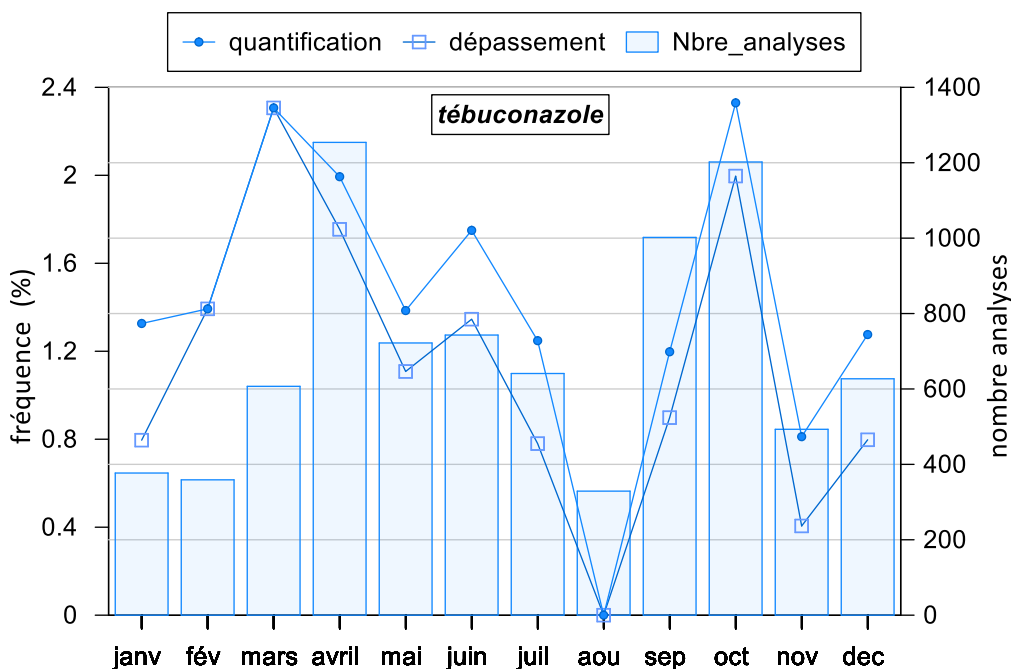


Illustration 62. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le tébuconazole à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.11. Métaldéhyde (code sandre 1796)

Le métaldéhyde est un molluscicide employé pour tuer les limaces ou autres gastéropodes. Depuis le 1^{er} janvier 2019, le métaldéhyde n'est plus autorisé à la vente pour les particuliers en France. Des usages agricoles sont toujours autorisés. Les limaces sont problématiques principalement sur les stades précoces de cultures. Pour le colza et les céréales, les périodes d'application se concentrent après les semis vers août/septembre (colza) et septembre/octobre (céréales). Pour le maïs et le tournesol, les périodes d'application sont plutôt vers avril/mai.

L'indice GUS (1.5) traduit un risque faible de transfert vers les eaux souterraines avec de rares cas de dépassement de la valeur 0.1 µg/L selon les données modélisées.

Le métaldéhyde n'a pas de métabolite mentionné dans PPDB au moment de l'étude.

En termes d'achats (Illustration 63), de fluctuations importantes sont constatées entre les années. Comme pour le tébuconazole pour lequel les usages peuvent être très différents selon les attaques en fonction de la pluviométrie, des évolutions climatiques pourraient expliquer cette grande variabilité. Les utilisations de cette molécule sont très liées aux conditions d'humidité de l'année au moment du semis. La protection anti-limace n'est nécessaire que si l'humidité est suffisante pour permettre d'abord la prolifération puis l'atteinte d'un seuil suffisamment critique d'individus pour pénaliser le rendement.

En effet, les surfaces d'applications potentielles évoluent de manière plus modérée (Illustration 64). Les achats les plus importants correspondent aux années 2012-2016 avec un maximum en 2015 et également 2008.

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

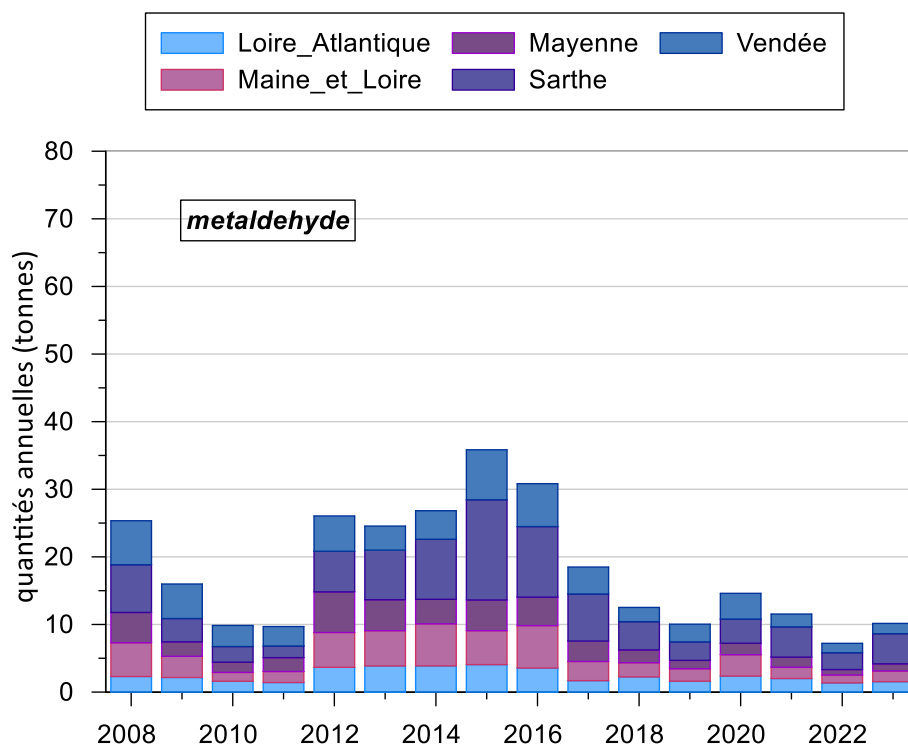


Illustration 63. Quantités annuelles achetées par département de la région Pays de la Loire (agrégation des données OAPP (2008-2012) et BNV-D traçabilité (2013-2020) – cas du métaldéhyde

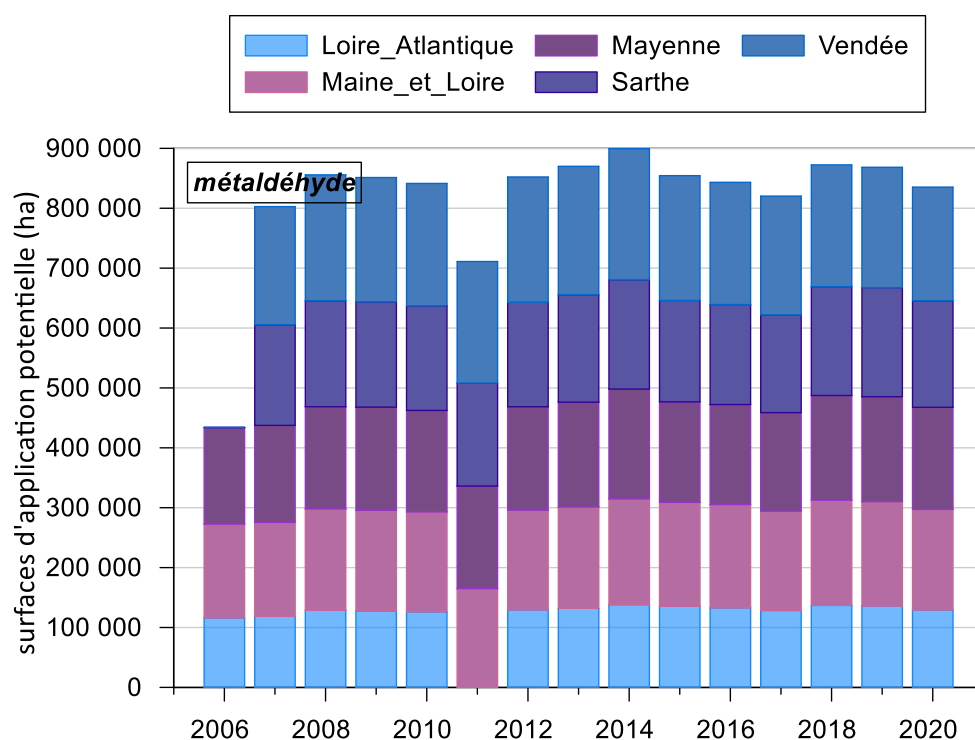


Illustration 64. Surfaces d'applications potentielles du tébuconazole par département de la région Pays de la Loire estimées via les cultures ayant des usages autorisés

En termes d'impact (Illustration 65), les fréquences de dépassements de dépassements le plus importantes sont observées en, 2012-2013 et dans une moindre mesure 2014, 2015 et 2016.

Cette évolution est assez comparable (en tendance et pas en valeurs absolues) à celle de la fréquence de quantification. Il y a donc des évolutions corrélées entre les achats et les impacts à l'échelle annuelle. Autrement dit, une intensification des usages se traduit nettement par des impacts plus importants.

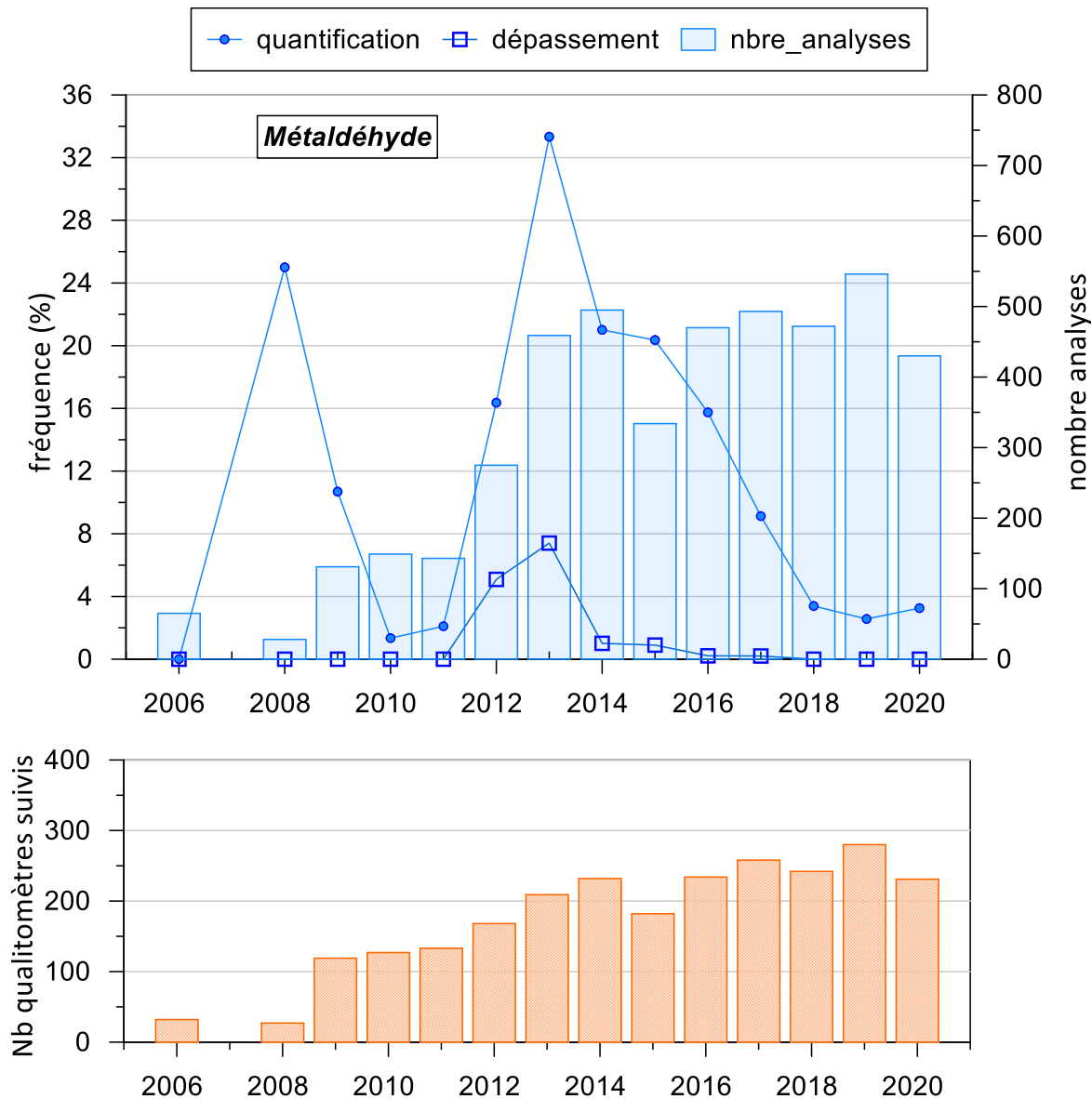


Illustration 65. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L, nombre d'analyses et nombre de qualitomètres suivis par an pour le métaldéhyde à l'échelle de la région Pays de la Loire

Dans le détail, les cartes du métaldéhyde sont consultables pages 31, 32 et 33 de l'atlas cartographique.

La surveillance en métaldéhyde s'accroît au cours des trois périodes, comme le montre l'augmentation du nombre de qualitomètres : 246 qualitomètres en 2006-2010, 392 en 2011-2015 et 436 en 2016-2020. Le métaldéhyde est quantifié dans 19 qualitomètres en 2006-2010 (4,8 %), 54 en 2011-2015 (13,8 %) et 41 en 2016-2020 (9,4%).

Aucun dépassement n'est observé en 2006-2010, 29 qualitomètres mesurent des concentrations supérieures à 0,1 µg/L en 2011-2015 et 2 en 2016-2020.

Les cartes de présence dans les eaux souterraines montrent une présence du métaldéhyde principalement le long de la Loire pour les 3 périodes d'observation.

En termes de dynamique de transfert (Illustration 66), les plus fortes fréquences de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L sont observées à l'automne et en hiver ce qui correspond à des périodes de recharge de la plupart des aquifères et des applications récentes (automne).

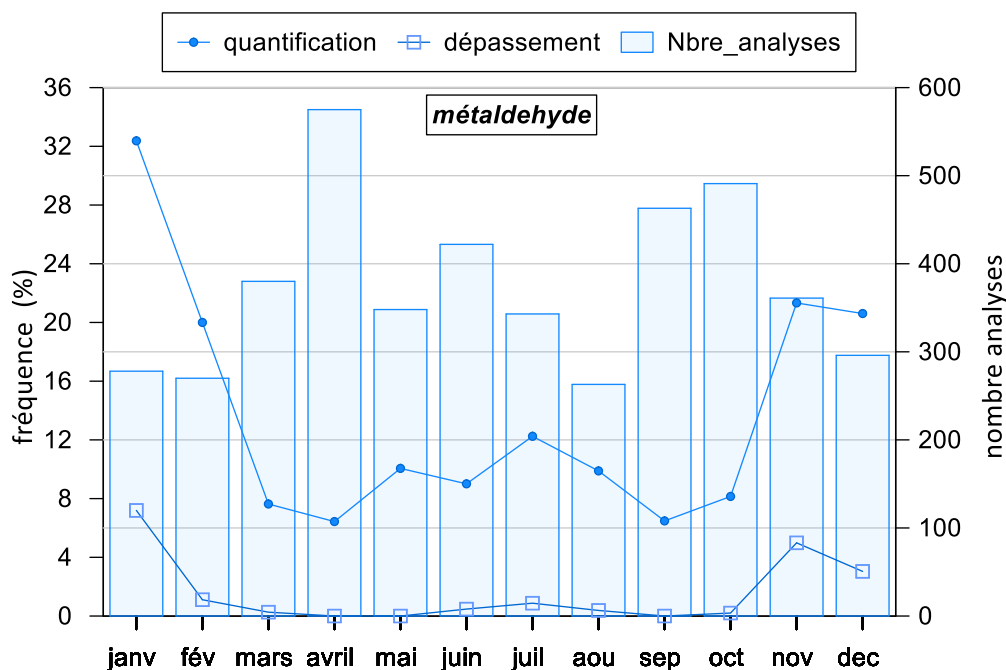


Illustration 66. Fréquence de quantification ou de dépassement de la valeur 0.1 µg/L et nombre d'analyses par mois pour le métaldéhyde à l'échelle de la région Pays de la Loire

4.1.12. Bilan

Pour les substances actives encore autorisées :

Les fréquences de dépassement de la valeur 0.1 µg/L à l'échelle annuelle sont inférieures à 1 % pour le prosulfocarbe, la pendiméthaline, la propyzamide, le glyphosate (hormis 2015) le diméthénamide total, le tébuconazole (après 2010) et le métaldéhyde (hormis 2012 et 2013). Il s'agit de substances avec des quantités utilisées extrêmement différentes. La seule quantité utilisée ne peut donc pas expliquer l'occurrence d'une substance active dans les eaux souterraines ; leurs propriétés intrinsèques (dont le temps de demi-vie dans les sols et le coefficient de sorption) sont aussi un facteur explicatif. Pour certaines substances, lorsque que les données sont suffisantes, on voit une augmentation de cette fréquence de dépassement à l'échelle mensuelle en lien avec les périodes d'application et notamment lorsque celle-ci correspond à la période de recharge de la majorité des aquifères (automne et début hiver). Ainsi, comme cela avait été observé à l'échelle nationale pour différentes substances actives (Baran et al., 2020), des transferts rapides peuvent se produire pour des substances aux propriétés contrastées. Certaines substances actives ont des usages autorisés sur différentes cultures et

donc des dates d'application différentes ; des fluctuations multiples de la fréquence de dépassement pendant l'année peuvent donc être observées.

Pour d'autres substances actives, pour les dernières années, la fréquence de dépassement de 0.1 µg/L est supérieure ou très supérieure à 1 %, ce qui doit constituer un point de vigilance. C'est le cas de la bentazone pour laquelle une augmentation régulière de cette fréquence de dépassement est observée depuis 2012 alors que les achats ou surfaces d'applications potentielles semblent plutôt décroître. Le travail cartographique montre que les secteurs où des applications ont pu avoir lieu ont changé. Une étude plus détaillée mériterait d'être engagée pour voir si ces nouveaux secteurs d'application correspondant à des aquifères plus vulnérables.

C'est également le cas pour le métolachlore total. L'étude nationale (Baran et al., 2021) avait montré que l'intensification des usages, suite par exemple au retrait de l'acétochlore, était un facteur aggravant car les achats de S-métolachlore ont augmenté fortement (comme c'est le cas en région Pays de la Loire). Comme observé à l'échelle nationale, les fréquences de dépassement de la valeur 0.1 µg/L varient au cours de l'année en lien avec les applications (printemps) et la reprise de la recharge, témoignant d'un transfert rapide. A ce jour, il n'y a plus d'usage autorisé pour cette substance active, la fréquence de dépassement annuelle de la valeur 0.1 µg/L devrait donc décroître et surtout la fréquence de dépassement moins fluctuer au cours de l'année. De la même manière, le taux de quantification devrait décroître et moins fluctuer au cours de l'année.

En ce qui concerne les métabolites du métolachlore connus et référencés dans PPDB au moment de l'étude, la surveillance est très disparate tant en nombre d'années de suivi, de qualimètres suivis ou encore de période d'échantillonnage. Certains métabolites pourtant supposés à risque de transfert vers les eaux souterraines ne sont pas surveillés (données 2020). C'est le cas du métabolite M455H001 de la pendiméthaline, et du métabolite RH-24580 de la propyzamide. Pour l'ESA-métolachlore et l'OXA-métolachlore surveillés régulièrement depuis 2016, on observe des fluctuations intra-annuelles de la fréquence de dépassement (et de la fréquence de quantification) en lien avec les périodes d'application du métolachlore (printemps) et la recharge des aquifères. Les occurrences et les concentrations sont plus importantes pour l'ESA-métolachlore que l'OXA-métolachlore (que la substance active). Les données sur le 3^{ème} métabolite, le NOA 413713 sont encore peu nombreuses mais l'occurrence et les teneurs pourraient être assez importantes. Le S-métolachlore fait partie de la famille des chloroacétamides comme l'alachlore et l'acétochlore. Supposant que l'ESA-métolachlore aurait un comportement similaire à l'ESA-alachlore et à l'ESA-acétochlore (issus de 2 substances actives n'ayant plus d'usages autorisés depuis 2008 et 2013 respectivement), un arrêt des usages risque de ne pas s'accompagner de l'arrêt immédiat des flux d'ESA-métolachlore vers les aquifères. En effet, le suivi d'eaux de drainage des sols dans des lysimètres a montré une persistance des fuites vers les niveaux plus profonds du sol et donc vers la nappe plusieurs années après la dernière application de ces 2 substances actives même si une décroissance des teneurs maximales mesurées à chaque période de drainage est observée (Baran et Gourcy, 2017). Des fluctuations intra-annuelles des teneurs dans ces eaux de drainage sont observées (augmentation des teneurs à la reprise des différents épisodes de drainage).

Pour quelques substances actives, la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L est plus élevée quelques années seulement sur l'ensemble du suivi. Dans le cas du métaldéhyde, un lien semble se dessiner entre une augmentation des achats et la fréquence de quantification (occurrence) et les achats et la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L même si elles ne sont pas parfaitement corrélées. Pour cette substance active, l'augmentation des achats est fortement conditionnée par les conditions météorologiques. De la même façon pour le tébuconazole, un lien entre augmentation des achats et occurrence et fréquence de dépassement semble assez net. Pour le glyphosate, depuis 2015, ce lien achats / fréquence de quantification et fréquence de dépassement semble assez net. La fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L de l'AMPA diminue de manière régulière depuis 2008 sans lien évident avec les achats de glyphosate. On peut s'interroger sur des changements de pratiques qui auraient pu contribuer

à diminuer le transfert du métabolite vers les eaux souterraines. La prise de conscience que l'AMPA est aussi un produit de transformation des phosphonates a peut-être conduit à la mise en place d'actions, en local, réduisant ces flux d'AMPA (par exemple, modification des process de lavage industriels réduisant le rejet d'AMPA – étude non communicable conduite sur une autre région).

Pour les substances qui n'ont plus d'usage autorisé, à savoir l'alachlore et l'atrazine, la situation est contrastée. Pour l'alachlore, qui n'a plus d'usage autorisé, la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L est nulle depuis 2006 et la fréquence de quantification très faible 0.5 % en 2006, et < 0.3 % en 2012 et 2018. Autrement dit, il semble que même lorsque l'usage était autorisé, l'occurrence de la substance active ait été faible ; elle le reste, après le retrait d'usage. Pour les métabolites ESA-alachlore et OXA-alachlore dont le suivi a débuté en 2016 (8 ans après le retrait d'usage), les occurrences restent importantes avec une fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L de l'ordre de 15 et 2 % respectivement. Cette présence dans les eaux souterraines s'explique notamment par le relargage régulier au niveau du sol de ces métabolites y compris plusieurs années la dernière application. Cela a été documenté sur la base du suivi de lysimètres évoqué précédemment (Baran et Gourcy, 2017). Les données obtenues dans ce suivi permettent d'expliquer la variabilité intra-annuelle des teneurs ; l'amplitude des variations devrait diminuer au fil des années. A cela s'ajoute le taux de renouvellement des eaux souterraines qui peut être limité et conduire à une présence persistante dans les nappes.

Pour l'atrazine, retirée du marché en 2003, la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L a mis presque deux décennies pour devenir nulle. L'atrazine peut être retrouvée dans des sols plus de 20 ans après sa dernière utilisation (Barriuso & Koskinen, 1996). Ainsi, pour cette substance également, un relargage régulier du sol, un transfert lent (voire retardé dans la zone non saturée) et un taux de renouvellement faible des eaux souterraines peuvent expliquer ce constat. La fréquence de quantification reste élevée mais elle traduit probablement une amélioration des performances analytiques (baisse des limites de quantification). De plus, le relargage régulier au niveau du sol des métabolites deséthylatrazine et déisopropylatrazine, y compris plusieurs années après la dernière application d'atrazine, un temps transfert lent dans la zone non saturée et un faible taux de renouvellement des eaux souterraines peuvent expliquer ces occurrences et ses gammes de concentration. L'hydroxy-atrazine semble avoir un comportement identique aux 2 métabolites. Les données sur ce métabolite sont moins nombreuses dans la littérature.

En résumé : Ce premier traitement de données permet de décrire des grandes tendances d'évolution et les liens entre l'évolution de la pression et l'impact (considéré essentiellement via la fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour s'affranchir de l'évolution des limites de quantification au cours du temps). Les propriétés des molécules et leur risque de transfert, synthétisées par l'indice GUS expliquent en partie les occurrences et les teneurs observées (avec le proxy fréquence de dépassement de la valeur 0.1 µg/L). Ainsi les substances actives ayant généralement un GUS < 2.8 ont une fréquence de dépassement généralement < 1%. Quelques exceptions sont observées dont le cas de la bentazone où la répartition spatiale des usages pourrait être un facteur explicatif à l'augmentation de cette fréquence malgré une baisse des achats à l'échelle régionale. Cela conduit donc à s'interroger sur l'impact des types d'aquifères sur le transfert des composés. De la même façon, le taux de renouvellement des nappes et le transfert dans la zone non saturée sont des facteurs importants qui impactent les évolutions temporelles de la qualité des eaux souterraines. Cela renforce l'idée de regarder plus en détail la nature des aquifères pour mieux comprendre l'état de contamination. Enfin, en terme de pression et de données d'achats, les chiffres de l'année 2018 sont impactés par l'annonce de l'évolution de la taxe pollution diffuse et complique une comparaison directe pression-impact. Le traitement des données par période (2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020) est retenu pour lisser ces effets. Un diagnostic complémentaire est donc proposé pour ces 11 substances et plus largement.

4.2. DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE AVEC PRISE EN COMPTE DU CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Dans cette section, les caractéristiques des aquifères sont pris en compte en considérant

- La lithologie. Sont distingués les points d'eau en 4 domaines : alluvial, sédimentaire, de socle, mixte ou sans information.
- La vulnérabilité de l'aquifère. A partir de la carte de vulnérabilité (Gravier et Mardhel, 2006 ; Illustration 11) est calculé un indicateur de vulnérabilité (ArcGIS, outil statistique zonale, moyenne) pour chaque surface de référence (ZPAAC, AAC et PPC).

4.2.1. Impact en fonction de la lithologie : toutes substances et substances d'intérêt

Pour une évaluation globale, l'ensemble des qualitomètres et des paramètres surveillés sont considérés. Les qualitomètres sont classés en fonction du nombre de molécules présentes c'est-à-dire quantifiées ($> LQ$) et le type d'aquifère (alluvial, socle, sédimentaire, « autre ou indéterminé »). Le jeu de données des 81 molécules est pris en compte. Rappelons que la surveillance n'est pas homogène sur l'ensemble des points d'eau (les 81 molécules ne sont pas toutes suivies sur tous les qualitomètres, à la même fréquence, etc.). Le jeu de données représente au total 478 qualitomètres dont 56 dans des entités de type alluvial (12 %), 260 de type sédimentaire (54 %), 141 de type socle (29 %) et 21 de type inconnu ou mixte (4 %) (Illustration 67).

Bien que le jeu de données soit imparfait et que la pression ne soit pas prise en compte, ce traitement apporte des enseignements (Illustration 67). Quelle que soit la période considérée, la part des qualitomètres impactés (conc. $> LQ$ d'1, 2 ou 3 substances actives ou métabolites) de type alluvial est systématiquement supérieure à celle des qualitomètres surveillés. **Les qualitomètres en contexte de nappe alluviale apparaissent plus impactés**, en proportion, dans les eaux souterraines par rapport aux autres types (sédimentaires et socles).

Ce traitement est également effectué en considérant les 11 substances actives examinées plus en détail mais en s'intéressant au dépassement de la valeur $0.1 \mu\text{g/L}$. Ce choix est fait pour lisser l'impact d'une éventuelle évolution de la limite de quantification au cours du temps et pour rendre la comparaison entre molécules plus pertinente (Illustration 68, Illustration 69).

Pour les 11 substances actives considérées à l'instar du jeu de données complet, le nombre de qualitomètres surveillés est plus important pour le domaine sédimentaire puis le socle, suivi de l'alluvial et des « autres ou indéterminés ». Le nombre de qualitomètres présentant au moins un dépassement de la valeur $0.1 \mu\text{g/L}$ au cours de chacune des 3 périodes est limité.

Quelle que soit la lithologie de l'aquifère, aucun dépassement n'a été observé pour le prosulfocarbe, l'alachlore, et la pendiméthaline.

Pour le métaldéhyde, 25 qualitomètres du domaine alluvial (sur 59 surveillés) sont concernés sur la période 2011-2015 alors que seuls 4 sur 261 sont concernés dans le domaine sédimentaire (aucun dans le socle et « autres »).

Pour le tébuconazole, 20 et 10 qualitomètres (sur 204 et 47, respectivement) du domaine socle et « autres » sont concernés par un dépassement de la valeur $0.1 \mu\text{g/L}$ et 25 (sur 59) en domaine alluvial pour la période 2011-2015. Aucun dépassement n'a été observé en domaine sédimentaire malgré le grand nombre de qualitomètres suivis.

Pour le glyphosate, des dépassements sont observés pour chaque période et chaque lithologie (hormis « autres ») en nombre assez équivalents (2-7) ce qui signifie qu'en proportion le domaine sédimentaire est moins affecté, le nombre de qualitomètres suivis étant très supérieur.

Pour le métolachlore total, les dépassements concernent les 3 périodes dans le domaine sédimentaire (3 à 5) et 0 à 3 pour le domaine « autre ».

Pour les autres substances actives, il y a quelques dépassements à différentes périodes (<10) essentiellement en domaine sédimentaire.

Pour les métabolites suivis suffisamment (nombre de qualitomètres et durée) pour exploiter les données (Illustration 70), on constate que les distributions sont différentes entre métabolites mais aussi comparativement à la substance active.

Pour l'AMPA, les dépassements sont observés pour les domaines alluvial, sédimentaire et socle et plutôt en période 1 en proportion respective plutôt équivalente hormis en période 1 pour l'alluvial.

Pour la deséthylatrazine, les dépassements concernent essentiellement le domaine sédimentaire et dans une moindre mesure le socle et plutôt la période 2006-2010 puis la période 2011-2015. Pour la déisopropylatrazine, les dépassements concernent le domaine sédimentaire en période 2006-2010.

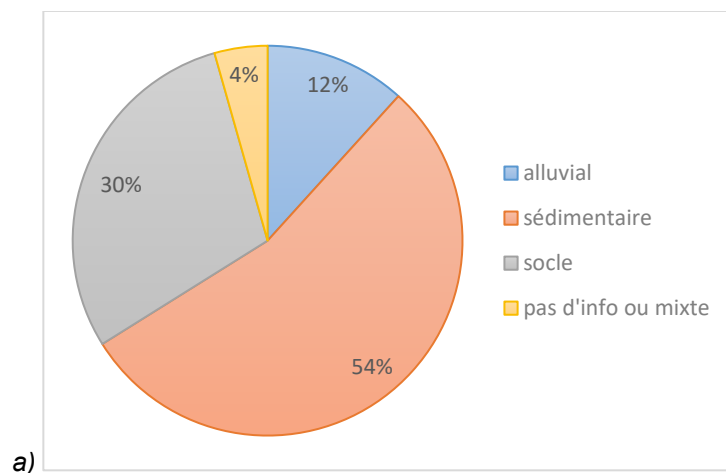
Pour l'ESA-alachlore, la surveillance étant récente, seules des données sont disponibles pour la période 2016-2020. Les dépassements concernent le domaine sédimentaire et le socle avec une proportion relative beaucoup plus importante pour ce dernier domaine (environ 32 % contre 16 %).

Pour l'ESA-métolachlore, tous les domaines sont concernés mais particulièrement l'alluvial (88 %) puis socle (39 %) et le sédimentaire (34 %). Presque 50 % des qualitomètres « autres » sont concernés mais le nombre de qualitomètres surveillés est très faibles comparativement aux autres lithologies. Pour l'OXA-métolachlore c'est également le domaine alluvial qui est le plus impacté (environ 21 %). Viennent ensuite le domaine sédimentaire et le socle (8 et 2 %).

Ainsi, il apparaît que **l'impact peut être assez différent d'un type d'aquifère à un autre** selon les composés. Cela peut être lié au fait que selon les types d'aquifères l'épaisseur de la zone non saturée, l'inertie des nappes (taux de renouvellement) ou encore porosité et perméabilité sont différentes avec des transferts plus ou moins rapides dans la zone non saturée. De plus, les matériaux géologiques sont également de natures différentes ; les interactions entre les substances actives ou les métabolites et ces matériaux peuvent donc être différentes engendrant un effet retard plus ou moins marqué dans le transfert. La caractérisation de cet effet retard reste une donnée rare. Des travaux effectués par le BRGM sur différents matériaux géologiques l'illustrent pour différentes substances actives et métabolites (Baran et al., 2020)

On doit également mentionner qu'il est possible que la répartition des cultures et donc des usages soit indirectement liée à la lithologie. Par exemple, il est probable que des cultures irriguées se trouvent notamment dans des zones de nappe alluviale pour un accès facilité à l'eau. A l'échelle des Pays de la Loire, en 2020, environ 50 % des surfaces irriguées étaient cultivées en maïs (Agreste, novembre 2023). Cela pourrait expliquer l'impact plus marqué du domaine alluvial en ESA-métolachlore par exemple.

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action



n = 478 qualitomètres

b)	2006-2010	2011-2015	2016-2020
Au moins 1 param. > LQ	 <i>n</i> = 87	 <i>n</i> = 131	 <i>n</i> = 271
Au moins 2 param. > LQ	 <i>n</i> = 26	 <i>n</i> = 65	 <i>n</i> = 159
Au moins 3 param. > LQ	<i>nombre de qualitomètres insuffisant</i>	 <i>n</i> = 37	 <i>n</i> = 89

Illustration 67. Distribution de tous qualitomètres (*n* nombre de qualitomètres = 478) en fonction a) du thème de l'entité hydrogéologique de rattachement (alluvial, socle, sédimentaire) et b) en fonction de la période de surveillance (2006-2010, 2011-2015, 2016-2020) et du nombre de substances mesurées au-dessus de la limite de quantification (1, 2 ou 3)

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

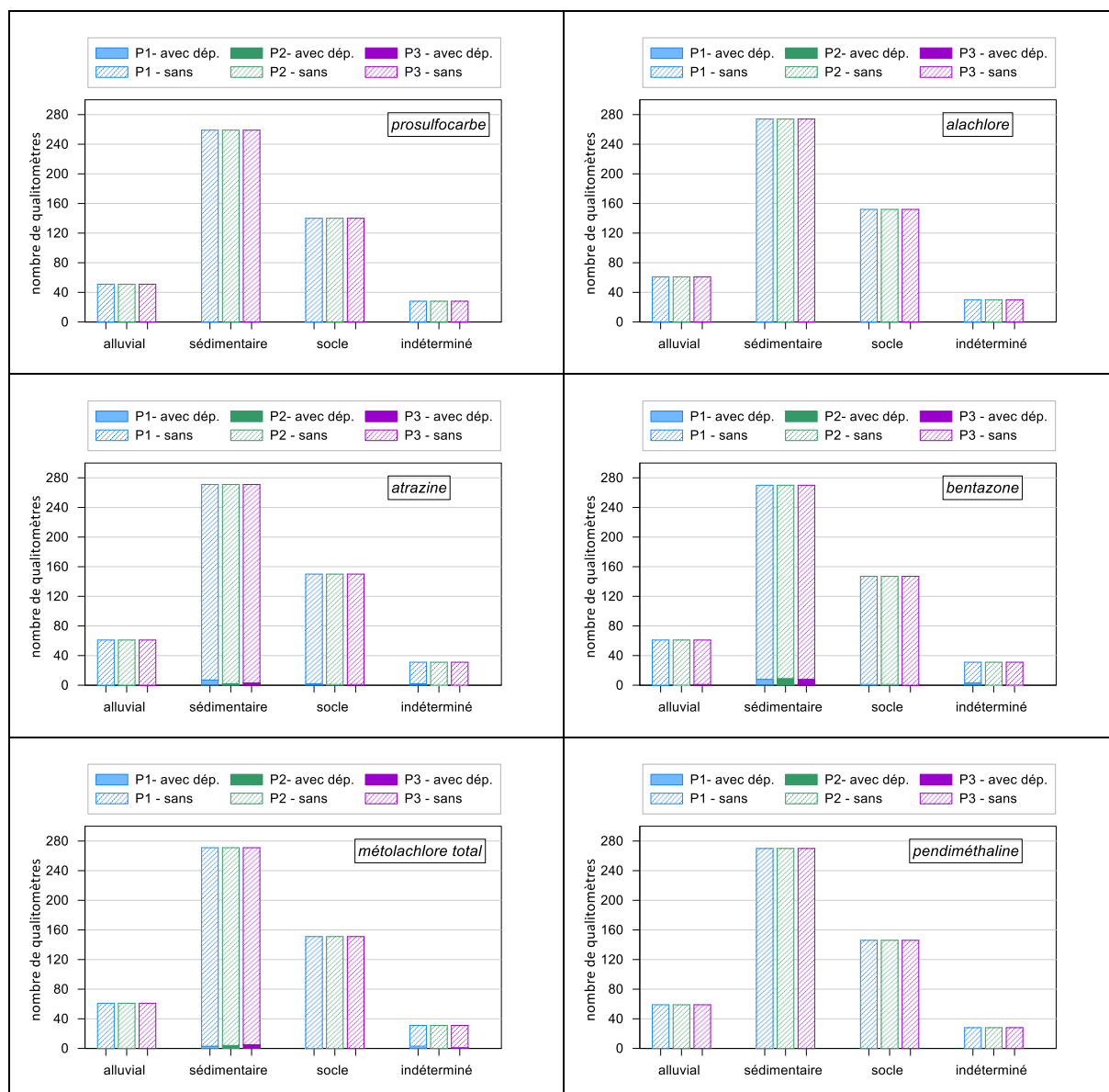


Illustration 68. Nombre de qualitomètres, par lithologie, avec et sans dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour les 3 périodes d'étude. Cas des substances actives – partie 1

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

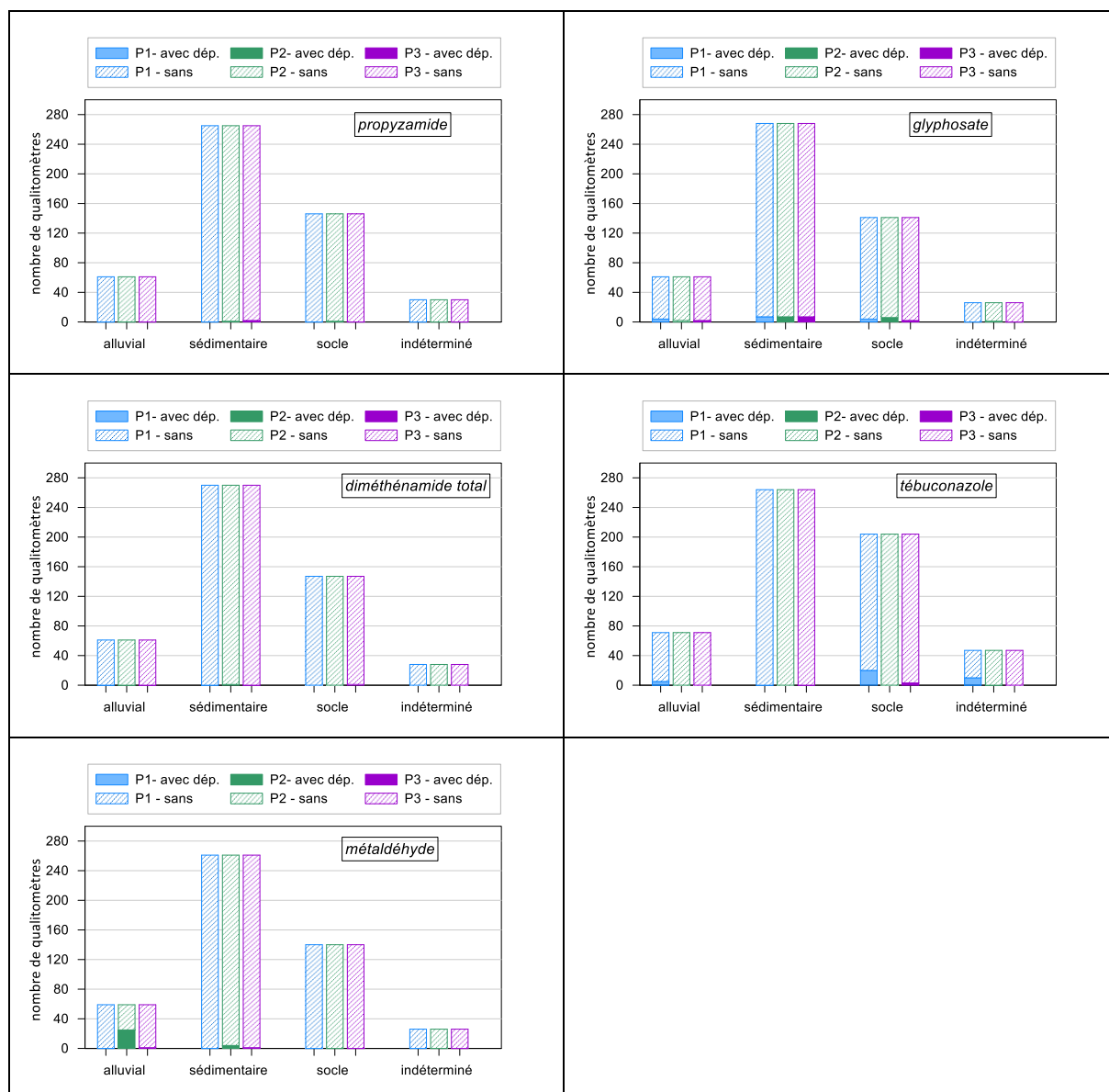


Illustration 69. Nombre de qualimètres, par lithologie, avec et sans dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour les 3 périodes d'étude. Cas des substances actives – partie 2

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action



Illustration 70. Nombre de qualitomètres, par lithologie, avec et sans dépassement de la valeur 0.1 µg/L pour les 3 périodes d'étude. Cas des métabolites

4.2.2. Impact en fonction de la vulnérabilité

A partir de la carte de vulnérabilité (Gravier et Mardhel, 2006 ; Illustration 11) est calculé un indicateur de vulnérabilité (ArcGIS, outil statistique zonale, moyenne) pour chaque surface de référence (ZPAAC, AAC et PPC).

Le nombre de molécules présentes dans les eaux souterraines par captage (Illustration 71) est comparé à l'indicateur de vulnérabilité du captage calculé sur l'AAC et le PPC en prenant le jeu de données complet (81 molécules) et la sélection des 11 substances actives et métabolites associés (15 molécules).

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

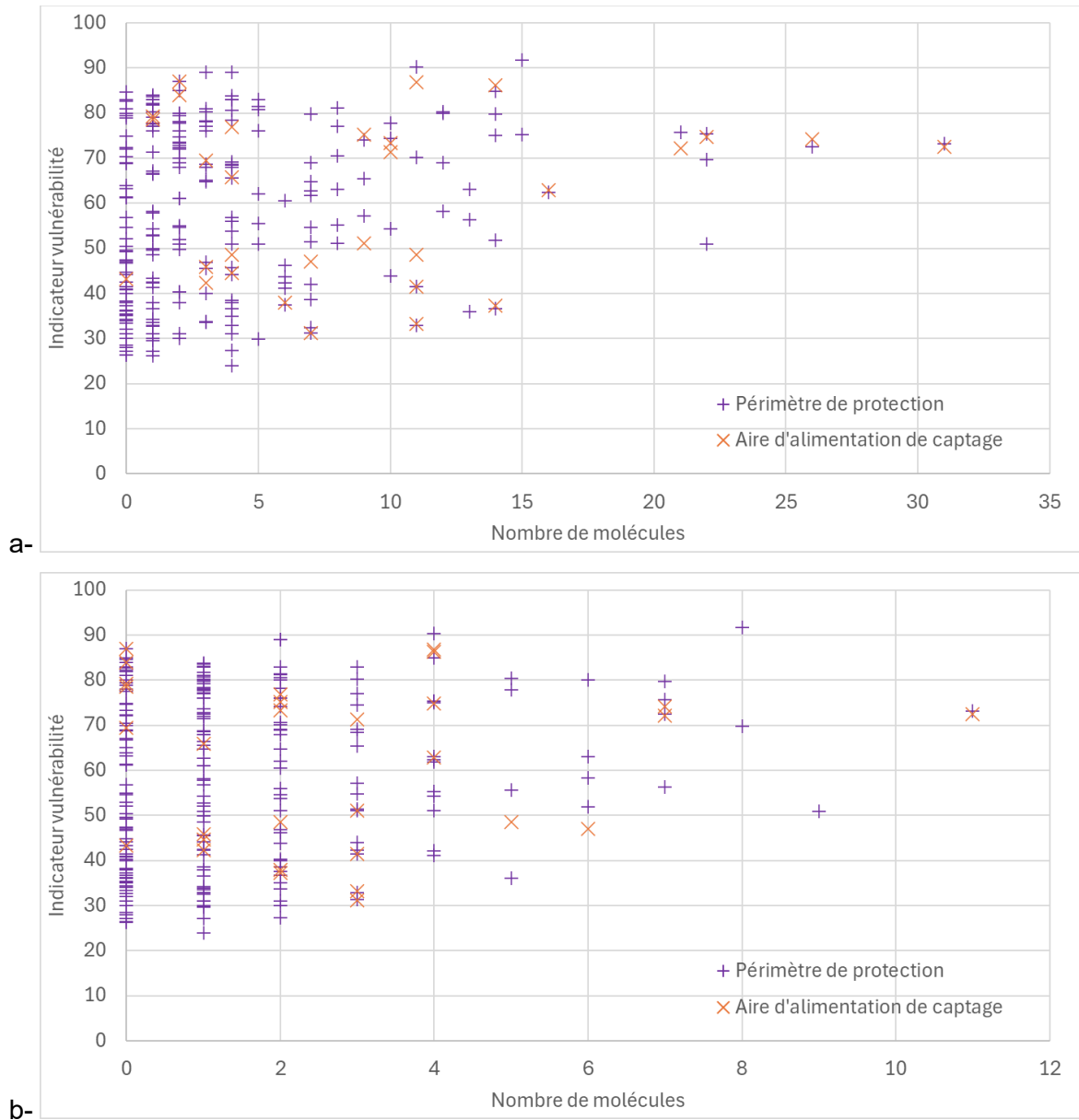


Illustration 71. Indicateur de vulnérabilité calculé sur les surfaces de référence (Périmètre de protection et Aire d'alimentation du captage) en fonction du nombre de molécules phytosanitaires présentes dans le captage (taux de quantification > 0) : a) jeu de données complet avec les 81 molécules de cette étude ; b) sélection de 11 molécules et leurs métabolites

Aucun lien évident ne ressort entre cette vulnérabilité intrinsèque calculée et la présence/absence d'un ou plusieurs paramètres dans les eaux souterraines.

Cependant cet indicateur « vulnérabilité » date de 2006 et repose sur des données antérieures. Depuis, le réseau de surveillance s'est enrichi de nouveaux piézomètres et de nouvelles données (19 années supplémentaires). De plus, les indicateurs IDPR et ZNS ont également fait l'objet de travaux. Le calcul de l'IDPR a évolué, tout particulièrement dans les zones de socle (Mardhel *et al.*, 2021). L'épaisseur de la ZNS a également fait l'objet de travaux récents avec des valeurs hautes eaux et basses eaux associées à une incertitude (Pinson *et al.*, 2019). L'indicateur de vulnérabilité pourrait être alors être affiné à partir de ces travaux et des données les plus récentes.

4.2.3. Impact en fonction de la pression

L'indicateur de pression potentielle est l'**indicateur d'achat** calculé pour chacune des trois périodes (2008-2010 ; 2011-2015 ; 2016-2020) pour chaque type de surface de référence (AAC, ZPAAC, PP) pour chacune des 9 substances actives vendues (prosulfocarbe ; bentazone ; S-métolachlore ; pendiméthaline ; propyzamide ; glyphosate ; diméthénamide-P ; tébuconazole ; métaldéhyde).

Il est confronté à l'**indicateur d'impact** (taux de quantification) pour chacune des trois périodes (2006-2010 ; 2011-2015 ; 2016-2020). L'indicateur d'impact est calculé au point d'eau pour chacune des 9 substances actives et les différents métabolites identifiés et suivis (métolachlore ESA ; métolachlore OXA ; métolachlore NOA ; AMPA ; diméthénamide ESA ; diméthénamide OXA).

Pour une substance active, est représenté l'indicateur de pression potentielle (en kg de substance active) en fonction du taux de quantification (%), Illustration 72) ou de la fréquence de dépassement (%) pour la substance active ou les métabolites de la substance active considérée.

A titre d'exemple, l'Illustration 72 montre les résultats pour le prosulfocarbe pour chaque surface de référence, à savoir AAC, ZPAAC et PP pour chacune des trois périodes. Pour rappel, pour la période la plus ancienne, 2006-2010, l'impact est évalué sur la période 2006-2010 alors que la pression (en raison de la disponibilité des données) est évaluée sur la période 2008-2010.

Il s'agit ainsi de 42 graphiques pour l'indicateur *taux de quantification* réunis en Annexe 2. Ces travaux ne mettent pas en évidence de corrélation ou de valeur seuil au-delà de laquelle on observe la présence d'une substance active et/ou d'un métabolite dans les eaux souterraines.

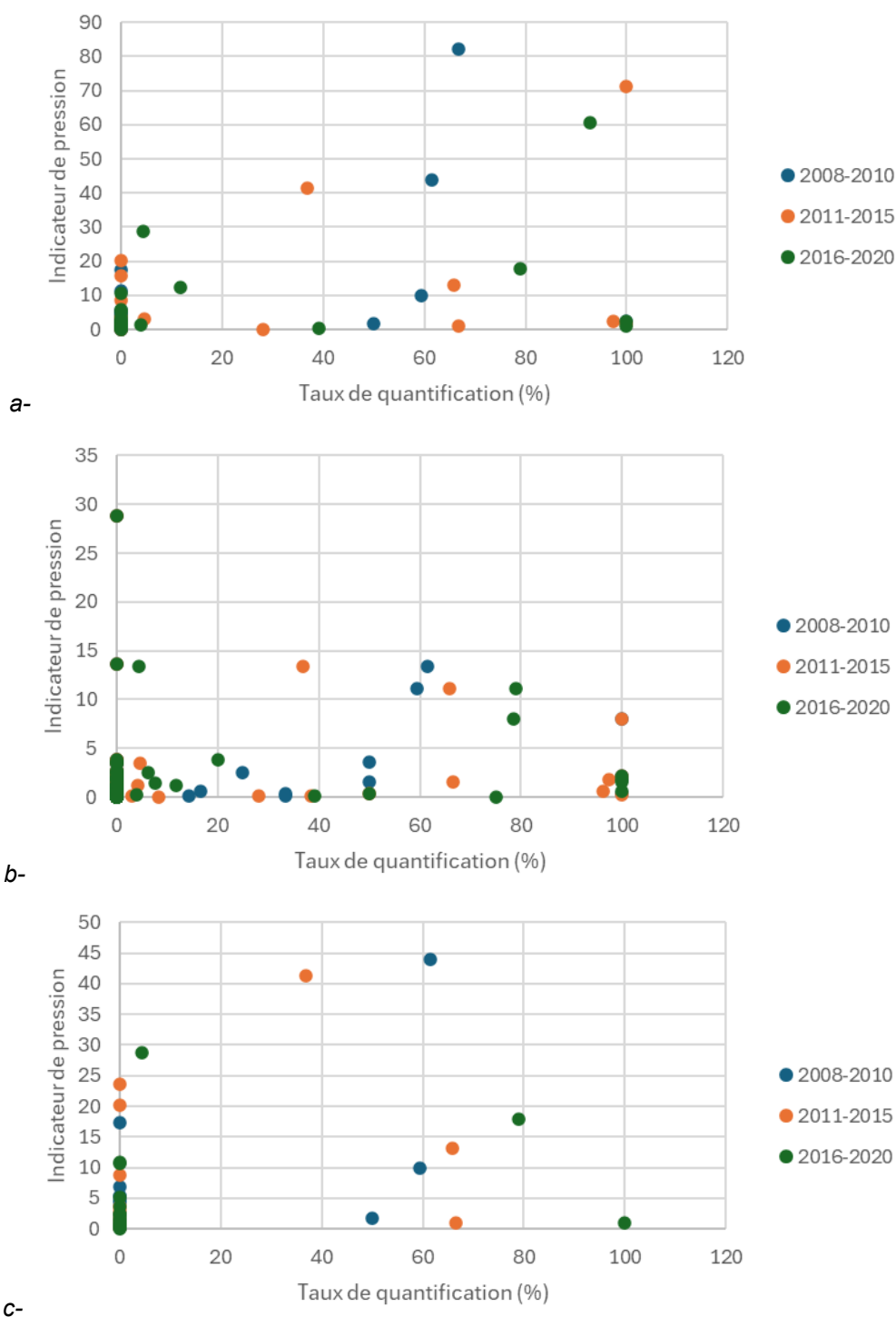
A l'échelle du captage et donc de l'AAC et/ou du périmètre de protection, le lien pression – impact est difficile à établir sur le seul critère de l'indicateur de pression potentielle.

A cette échelle locale, l'incertitude sur l'estimation de la pression est d'autant plus grande que la surface de l'AAC et/ou du PPC est petite. A cette échelle, la précision des données d'achat (code postal) de la BNV-D ou de OAPP apparaît insuffisante par rapport aux surfaces des AAC.

Cet indicateur, pour rappel, ne représente pas des usages réels mais une distribution des achats de substances actives sur l'ensemble des parcelles du code postal où la culture en place a des usages autorisés de la substance active. Le code postal, entité géographique de distribution des achats, est plus large que la commune (§ 3.4). Les surfaces géographiques des codes postaux sont en moyenne de l'ordre de 110 km². Les surfaces des AAC, des ZPAAC ou des PPC sont inférieures ou du même ordre de grandeur. Plus la surface représentative du captage va être petite et plus l'incertitude va être grande. A l'échelle de l'AAC ou du PP, l'incertitude sur la distribution des achats peut être importante.

La méthode d'évaluation de la pression est la plus pertinente compte tenu des données disponibles. Elle a montré sa pertinence à l'échelle régionale où on peut identifier des secteurs soumis à une plus forte pression (projet MELASSES, Auterives *et al.*, 2023). Cependant l'échelle de travail pour faire le lien entre pression et impact reste un véritable verrou scientifique qui fait encore l'objet de travaux de recherche. Les projets MELASSES (2020-2022) (Auterives *et al.*, 2023) et dans sa continuité MELASSES II (*en cours*), projets de de recherche avec l'ANSES, explorent la surface pertinente la plus représentative du qualitomètre (entité BDLISA, PPC, AAC, buffer, bassin versant topographique) pour le lien pression – impact.

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action



4.3. LES AUTRES FACTEURS EXPLICATIFS

Pour une meilleure compréhension de la contamination et son évolution, et notamment à une échelle très locale (captage, aire d'alimentation), il est nécessaire d'obtenir des informations complémentaires sur

La pression : La pression a été estimée suivant différentes approches mais il paraît nécessaire d'obtenir des informations sur les pratiques réelles d'autant plus à l'échelle de l'aire d'alimentation de captages. En effet au-delà de l'incertitude liée à la méthode d'estimation des pressions potentielles (taille des AAC versus tailles des communes lors de la spatialisation des données de la BNV-D traçabilité – cf. 3.4)), il est fréquent que la délimitation des AAC s'accompagne d'une sensibilisation ou d'un accompagnement des agriculteurs pour préserver ou reconquérir la qualité des eaux souterraines. Les pratiques peuvent donc être modifiées (réduction des doses, des dates d'application, du travail du sol, etc.). De plus, outre les quantités utilisées, la date d'application et les conditions climatiques qui suivent cette application peuvent fortement impacter le transfert vers les eaux souterraines. Ces informations détaillées sont difficilement accessibles à une échelle régionale ou supra. Un effort donc doit être mené en local pur obtenir ces informations.

Profondeur des ouvrages : L'hétérogénéité verticale des eaux souterraines n'a pas été prise en compte dans l'approche déployée ici. Toutefois elle peut être à l'origine de disparités entre les observations réalisées au niveau de différents captages. A titre d'exemple, les forages 04558X0066/F (Planches du Baron P2) et 04558X0069/F (Planches du Baron P1) sont situés à moins de 40 m l'un de l'autre, et approximativement à la même profondeur. Quelle que soit la méthode adoptée pour estimer la pression potentielle, leur proximité géographique fait qu'il partage la même AAC ou toute autre surface représentative sera la même. Par conséquent, les calculs d'indicateurs de pression, de vulnérabilité ou autres seront les mêmes. Cependant pour ces 2 forages, l'impact des pesticides est différent. Les concentrations en alachlore-ESA atteignent 1 µg/L en janvier 2019 sur 04558X0066/F alors qu'elles sont dix fois moins importantes sur 04558X0069/F ; il en est de même pour les concentrations en alachlore-OXA. Chrétien et Le Guern (2019) rapportent également des différences entre les deux forages pour la bentazone, l'OXA métolachlore et l'ESA métolachlore. Les différences sont expliquées d'une part, par le fait que les deux ouvrages ne captent pas tout à fait la même ressource, et d'autre part qu'il est probable que 04558X0066/F (P2) soit connecté à des eaux peu profondes vulnérables plus jeunes (mélange avec eaux de moins de 15 ans) par rapport à 04558X0069/F (P1) (eaux plus anciennes 35 ans). Il sera très difficile quelle que soit l'approche méthodologique de rendre compte de ce type d'hétérogénéité à des travaux menés à l'échelle régionale. Des investigations spécifiques peuvent être menées à une échelle plus locale (estimation de l'âge moyen de l'eau, examen des données géochimiques pour mettre en évidence des différences de zones d'alimentation etc.)

Rôle de l'hydrodynamique sur le court terme (échelle annuelle) et le plus long terme –(échelle pluriannuelle) sur la contamination. La prise en compte du contexte hydrodynamique est d'autant plus essentielle pour certains composés que les teneurs fluctuent beaucoup en fonction des périodes de recharge ou de décharge des aquifères. L'exemple suivant (Saint Martin de la Place – (49) situé dans les alluvions de la Loire – épaisseur de la zone non saturée d'environ 4-6 mètres) montre des fluctuations intra-annuelles des teneurs en bentazone et en ESA métolachlore anti-corrélées à l'évolution du niveau piézométrique (Illustration 73). La mise en évidence des corrélations (ou anti-corrélation) permet de mieux comprendre la dynamique. Il est donc important de pouvoir coupler des données qualité et des données traduisant le contexte hydrodynamique comme le suivi du niveau piézométrique. L'exemple présenté ici est rare (mesures piézométriques et de qualité sur un même point d'eau) car bien souvent les AEP ne permettent pas le suivi du niveau piézométrique (influence du pompage sur le niveau). Il y a donc un travail important à mener pour associer un qualimètre à un piézomètre. Ces chroniques illustrent aussi le fait que des chroniques avec des fréquences d'analyses élevées permettent de mieux appréhender les variations annuelles et intra-annuelles. L'adaptation d'un programme de

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

monitoring en fonction de la connaissance des sites devrait dans certains cas être proposée. Elles illustrent aussi le fait que lors de suivi moins fin, la date d'échantillonnage peut avoir un impact sur l'image qu'on perçoit de la qualité. Cela a aussi été montré via la détermination des fréquences de dépassement de la valeur 0.1 µg/L à l'échelle mensuelle pour l'ensemble des qualimètres.

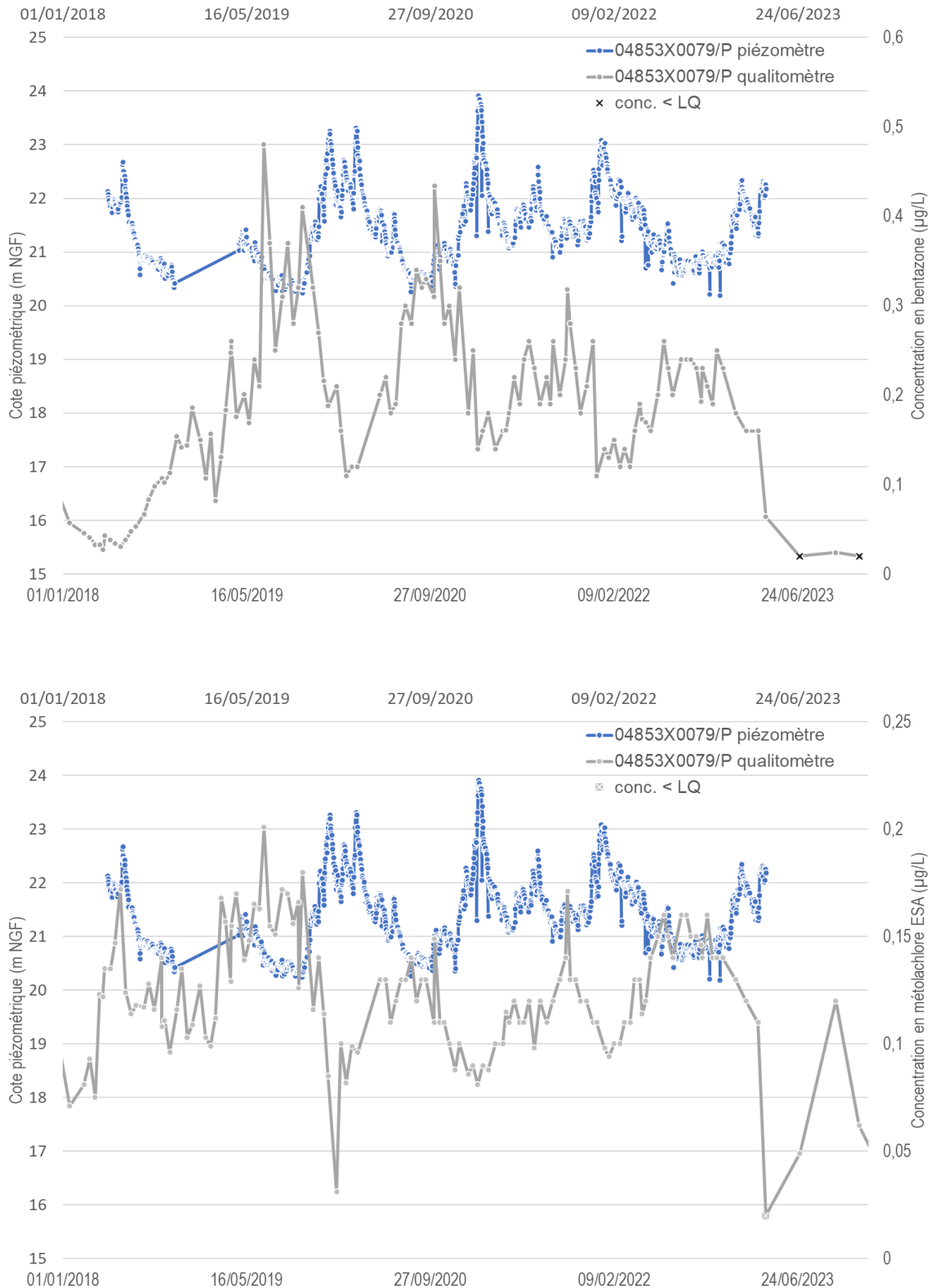


Illustration 73. Evolution des concentrations en bentazone (en haut) et de l'ESA métolachlore (en bas) avec celle de la piézométrie du point 04853X0079/P (BSS001HKLJ à Saint-Martin-de-la-place)

Ces deux exemples renforcent l'importance des conditions hydrogéologiques comme facteur déterminant dans l'évolution des concentrations en substances phytosanitaires et de leurs métabolites dans les eaux souterraines. A l'échelle locale du point de captage, il apparaît d'autant plus important de connaître les pratiques agricoles réelles pour aller plus loin dans une interprétation des résultats.

Autres sources de contamination : L'existence de contexte particulier : certains captages peuvent être impactés non pas dans le cadre d'une pollution diffuse lié à des usages agricoles mais du fait d'anciens sites industriels. Par exemple, deux forages (05124X0509/AEP fontaine Bourreau à Montreuil-Bellay) et 04552X0069/F1 clos Bertin 1 à Beaufort-en-Anjou - Illustration 74), montrent une contamination en bentazone importante au début des années 2000. Pour le captage de Montreuil-Bellay, l'origine est attribuée à un site industriel de production de pesticides. La chronique temporelle des concentrations est de fait assez différente de celle observée sur des captages dont la contamination serait plutôt d'origine agricole (Illustration 75).

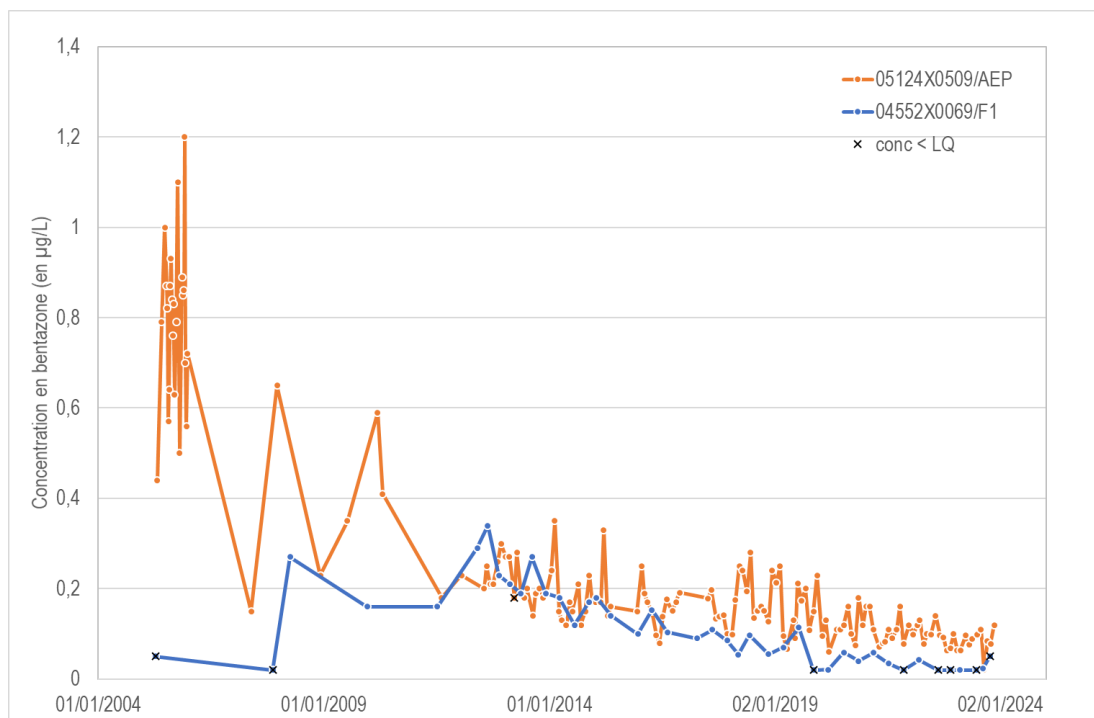


Illustration 74. Evolution des concentrations en bentazone du forage de la fontaine Bourreau (05124X0509/AEP Montreuil-Bellay) et forage du clos Bertin 1 (04552X0069/F1 Beaufort-en-Anjou)

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

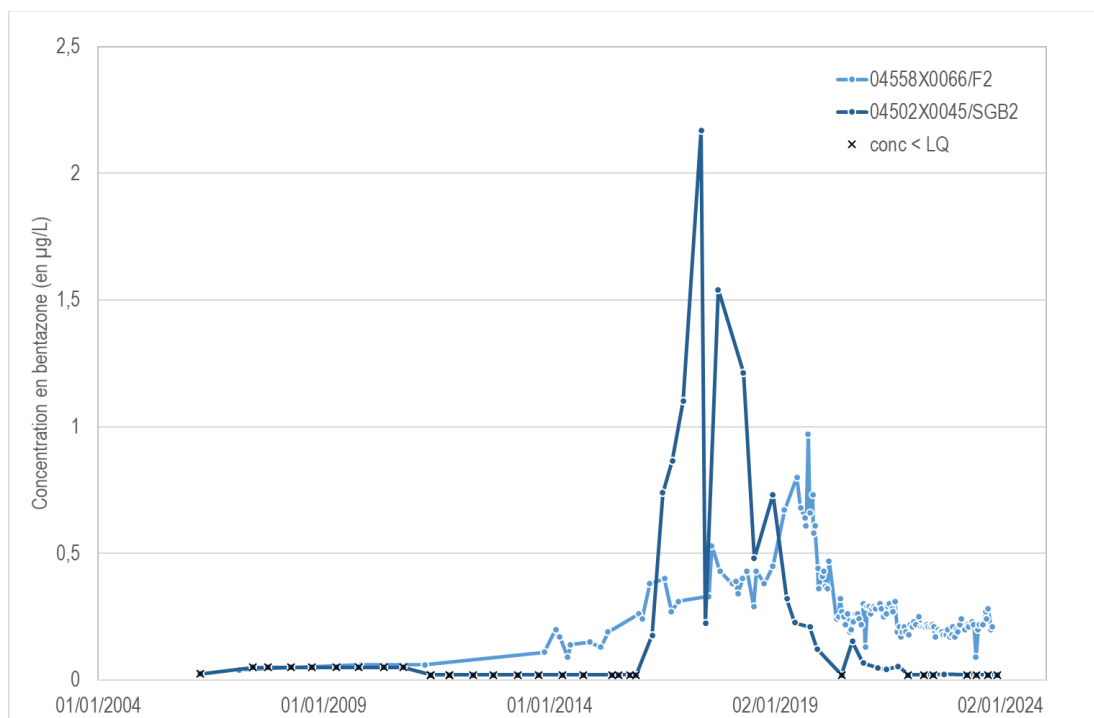


Illustration 75. Evolution des concentrations en bentazone du forage Planches du Baron P2 (Saint-Philbert-Du-Peuple 04558X0066/F2) et forage de la Partie aux Navets (Dréfféac 04502X0045/SGB2)

5. Etat de l'art sur la capacité de transfert vers les eaux souterraines

Ce chapitre concerne 14 substances actives sélectionnées en concertation avec l'ARS, la DREAL, la DRAAF et le BRGM :

Nicosulfuron ; prosulfocarbe ; métaldéhyde ; pendiméthaline ; tolylfluamide ; dimethenamid-P ; captane ; chlorothalonil ; mesotrione ; cyazofamide ; diflufenican ; prothioconazole ; flufenacet ; propyzamide.

L'objectif est de synthétiser les propriétés physico-chimiques des substances actives et de leurs métabolites régissant leur mobilité vers les eaux souterraines et leur persistance dans les sols et les nappes.

Ce travail est synthétisé sous la forme d'un tableau au format excel (Tableau_Etat_de_Lart_PdL.xlsx) comportant trois onglets :

- **documents de référence** qui liste les sources pour chacune des substances actives et précise la symbologie utilisée dans le tableau ;
- **infos substances actives** qui synthétise les informations relatives aux 14 substances actives sélectionnées ;
- **infos métabolites** qui synthétise les informations relatives aux métabolites des substances actives listées précédemment.

Ce fichier est accompagné d'un guide de lecture ci-après pour comprendre le devenir des substances actives et de leurs métabolites après application sur les cultures et appréhender les propriétés qui vont impacter le comportement d'une substance active quant à son transfert vers les eaux souterraines. Ce guide de lecture est indissociable du tableau excel Tableau_Etat_de_Lart_PdL.xlsx.

Guide de lecture du tableau de synthèse des informations relatives aux produits de transformation de 14 substances actives d'intérêt en Région Pays de la Loire

Contexte

Le tableau de synthèse reprend différentes informations relatives aux métabolites de 14 substances actives d'intérêt pour l'ARS, la DREAL et la DRAAF Pays de la Loire. L'objectif est de mettre en avant les informations qui permettent d'appréhender un risque de transfert vers les eaux souterraines. Ainsi toutes les informations décrivant leur comportement et leur devenir dans l'environnement (par exemple la volatilisation) ne sont pas reprises. Seuls les produits de transformation considérés lors de l'approbation de la substance active pour leur risque de transfert vers les eaux souterraines (c'est-à-dire les métabolites majeurs formés dans le sol) sont traités.

Devenir des substances actives et de leurs métabolites

Lors des applications de produits phytosanitaires sur les cultures, une partie des quantités de pesticides apportées atteint le sol, soit parce que les pesticides y sont directement appliqués, soit parce que la pluie lessive le feuillage des plantes traitées (cultures et/ou adventices).

Dans le sol, les substances actives contenues dans les produits phytosanitaires sont affectées par différents processus physiques, chimiques et biologiques qui vont conditionner leur transformation ou dégradation et leur transfert vers les autres compartiments de l'environnement (eau, plante, atmosphère – figure 1) et notamment vers les eaux souterraines.

Le comportement des composés va être plus particulièrement contrôlé par les propriétés intrinsèques du composé mais aussi par celles du milieu. Dans une optique de risque de transfert vers les eaux souterraines, les processus de rétention et de transformation sont des processus majeurs.

Dans le sol, les composés organiques se distribuent en trois phases : solide, liquide et vapeur selon les constantes d'équilibre d'adsorption, de désorption et de volatilisation. Ces constantes propres à chaque composé sont modifiées en fonction de facteurs externes tels que les conditions pédoclimatiques. La part de composé organique la plus mobile est celle localisée dans les phases liquide et vapeur.

La rétention d'une molécule organique par le sol est le résultat global d'un ensemble de phénomènes impliquant différentes interactions avec les constituants minéraux et organiques du sol. Les constituants du sol impliqués sont essentiellement les matières organiques, parfois les argiles et oxydes. Pour certains composés, le pH du sol va modifier les interactions puisqu'il va conditionner les charges des composés ioniques et des constituants du sol. De manière schématique, plus la rétention du composé est importante, plus sa mobilité est faible et moins les flux vers les eaux souterraines sont importants.

La persistance des substances actives est directement liée à leur transformation ou dégradation. La dégradation peut être de nature biotique (dégradation par la microflore, la microfaune et les végétaux) ou abiotique (hydrolyse, photolyse). Ces différents mécanismes donnent naissance à des produits de transformation. Lorsqu'une activité métabolique est impliquée dans la transformation, on peut parler de métabolites. Selon le règlement (CE) n° 1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (article 32), on entend par « métabolite », tout métabolite ou produit de dégradation d'une substance active, d'un phytoprotecteur ou d'un

synergiste, qui est formé soit dans un organisme, soit dans l'environnement. Le terme « métabolite » est donc très largement utilisé quel que soit le processus impliqué ; il est repris ici.

Lorsque la substance active est transformée en molécule minérale, comme le CO_2 , elle est totalement éliminée. Ce phénomène est appelé minéralisation.

Dégradations biotiques et abiotiques sont gouvernées par les propriétés physico-chimiques de la substance elle-même et par des facteurs environnementaux. De manière schématique, plus un produit est persistant, plus longtemps il va rester dans le sol et plus il pourrait être soumis à des conditions engendrant un transfert vers les eaux souterraines.

Les produits de transformation ou métabolites sont eux aussi sujets à un risque potentiel de transfert vers les eaux souterraines et peuvent être à leur tour plus ou moins facilement dégradés voire minéralisés. Ils font aussi l'objet de processus de rétention.

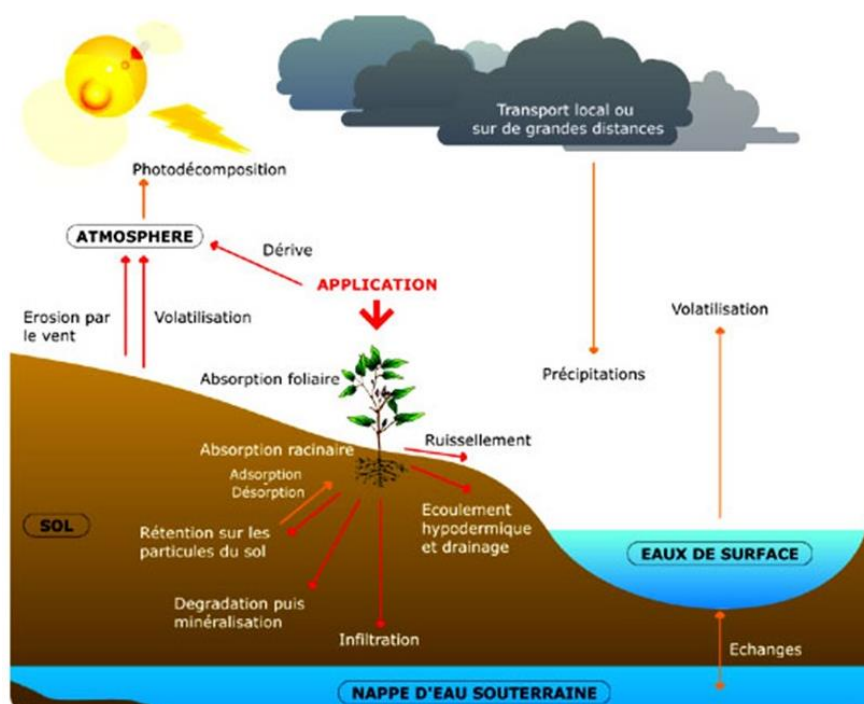


Figure 1 : Devenir et transfert des pesticides vers les eaux de surface et les eaux souterraines (d'après Syndicat Mixte du Roussillon - <https://www.nappes-roussillon.fr/Pesticides-apprenons-a-nous-en.html>)

Processus majeurs entrant en jeu pour le risque de transfert vers les eaux souterraines

Concernant le risque de transfert vers les eaux souterraines, sorption et dégradation sont deux processus majeurs qui vont impacter le comportement de la molécule mère (substance active) et de ses métabolites.

La DT_{50} (Dissipation Time) est le temps de demi-vie d'une molécule c'est-à-dire le temps nécessaire pour que la moitié des molécules soit dégradée. Pour chacun des processus de dégradation, une DT_{50} est associée (par exemple, DT_{50} dans les sols liée à la biodégradation, DT_{50} liée à la photolyse etc.). Plus la DT_{50} est grande, plus la persistance de la substance est importante au regard du processus et du compartiment environnemental concerné. Les DT_{50} sont

relativement caractéristiques des substances actives mais elles dépendent des conditions de détermination (données expérimentales de laboratoire ou données expérimentales de terrain) ainsi que des facteurs climatiques dont la température, les fonctions du sol et la diversité microbienne, des fréquences d'utilisation de cette molécule sur le sol (adaptation des micro-organismes etc.).

La DT₅₀ sols, permet d'estimer la persistance du composé dans le sol. La classification communément admise est

< 30 jours	= non persistant
30 – 100 jours	= modérément persistant
100 – 365 jours	= persistant
> 365 jours	= très persistant

La rétention du composé dans le sol est classiquement caractérisée par des coefficients de partage (ou de distribution) entre les phases solide et liquide. L'adsorption est un processus de surface qui correspond au passage d'une espèce en solution sur une surface solide. Le processus inverse correspondant à la libération en solution d'une espèce adsorbée est la désorption. L'adsorption et la désorption peuvent être regroupées sous le terme général de sorption. Pour les pesticides, l'adsorption à l'interface liquide/solide est probablement la plus importante dans les sols. La constante d'adsorption, spécifique au sol étudié dans les conditions expérimentales retenues, permet de caractériser la rétention dans le sol et donc la mobilité du composé. Pour un grand nombre de substances, l'adsorption est d'autant plus importante que la teneur en carbone organique est grande, la majorité des processus d'adsorption ayant lieu avec la matière organique. Aussi, afin de permettre une comparaison des comportements des substances entre elles et entre sols, la constante est normée par rapport à la teneur en carbone organique du sol étudié ; on parle alors de la constante d'adsorption K_{foc} ⁵⁵. Pour d'autres molécules (e.g. ioniques), d'autres facteurs comme la teneur en argiles ou en oxydes et hydroxydes peuvent impacter cette rétention.

La constante d'adsorption K_{oc} , permet d'estimer la mobilité du composé dans le sol. La classification communément admise est

K_{oc} (mL/g)	< 15	très mobile
	15-75	mobile
	75-500	modérément mobile
	500-4000	faiblement mobile
	> 4000	non mobile

Dans les sols, les substances actives et leurs métabolites évoluent vers des résidus de moins en moins disponibles, moins remobilisables par lessivage, souvent appelés « résidus liés ou non extractibles ». La formation de ces résidus liés correspond à une stabilisation (au moins à court et très court terme) des composés. Tous les pesticides forment dans le sol des résidus non extractibles ou " résidus liés " dans des pourcentages variables en fonction de leur nature chimique et des conditions pédoclimatiques. Les données sur ce processus sont moins généralisées que celles concernant les processus de sorption et de dégradation ; des travaux sur

⁵⁵ La relation entre la quantité adsorbée et la quantité restant dans la phase liquide n'est pas toujours linéaire et est ajustée selon un modèle dit de Freundlich. Le paramètre $1/n$ permet de décrire l'allure de la courbe (appelée isotherme).

la meilleure compréhension de ces processus et la possible remobilisation des résidus liés font malgré tout l'objet de travaux scientifiques depuis de nombreuses années.

Estimer le risque de transfert vers les eaux souterraines en utilisant un indicateur simple.

Le risque de transfert vers les eaux souterraines par infiltration peut être appréhendé en considérant un indicateur simple. Il s'agit de l'indice de GUS (Groundwater Ubiquity Score, Gustafson, 1989) calculé en combinant la DT_{50} (dissipation dans le sol estimée sur le terrain en conditions de plein champ) et le K_{oc} . Sur la base des concentrations mesurées dans les eaux souterraines lors de l'établissement de cet indicateur, les substances sont jugées avec un potentiel de lessivage plus ou moins important.

L'indice de GUS se calcule de la manière suivante :

$$GUS = \log(DT_{50}) \times (4 - \log(K_{oc}))$$

Son interprétation est la suivante

$GUS < 1,8$	Potentiel faible de lessivage
$1,8 < GUS < 2,8$	Potentiel moyen de lessivage
$GUS > 2,8$	Potentiel élevé de lessivage

Cet indicateur est simple à estimer, mais il a des limites : il ne prend pas en compte les doses appliquées, ni les caractéristiques de la zone non saturée au-delà du sol etc. Il ne prend en compte que les propriétés liées au composé.

Estimer le risque de transfert vers les eaux souterraines en considérant les usages et les conditions pédoclimatiques

Le risque de transfert vers les eaux souterraines est estimé par modélisation lors de l'autorisation de mise sur le marché des produits phytosanitaires dans l'Union Européenne (règlement CE n°1107/2009). La modélisation est réalisée pour différents scénarios pédo-climatiques représentatifs des conditions rencontrées en Europe (dits scénarios FOCUS⁵⁶) en considérant une épaisseur de sol d'un mètre. La modélisation est réalisée pour les usages souhaitant bénéficier d'une autorisation (par exemple une culture donnée et une dose donnée etc.). Cette approche ne vise pas à décrire exactement ce qui se passe au niveau du sol ; elle est basée sur l'utilisation de scénarios réalistes jugés les plus défavorables c'est-à-dire pour lesquels les flux percolant vers la nappe sont les plus importants.

La modélisation est utilisée pour déterminer la concentration prévisible dans les eaux souterraines (PEC_{GW} : Predicted Environmental Concentration for GroundWater)⁵⁷. Les estimations de la PEC_{GW} (ou CPE eso – Calcul de Concentrations dans les eaux

⁵⁶ Pour plus d'informations, se référer à Generic Guidance for Tier 1 - FOCUS Ground Water Assessments, version 2.3. June 2021. Initialement 9 scénarios ont été définis mais des ajustements ont eu lieu au cours du temps et le nombre de scénarios testés dépend des cultures considérées.

⁵⁷ Voir section 9.2.4.1. du Règlement (UE) No 284/2013 de la commission européenne du 1^{er} mars 2013

souterraines) sont réalisées pour les conditions dites « pire-cas » c'est-à-dire qu'elles correspondent au nombre maximal d'applications aux doses appliquées les plus élevées, à l'intervalle entre applications le plus court et au temps d'application pour lesquels l'autorisation est demandée. La PEC_{GW} correspond au 80^{ème} percentile de la concentration moyenne annuelle à 1 mètre de profondeur obtenue pour les différents scénarios testés.

La PEC_{GW} est estimée pour la substance active et pour les métabolites en considérant un transfert sous forme dissoute. Les résultats sont pris en compte pour autoriser ou non la substance active au niveau européen et au niveau national pour les demandes d'autorisation de mises sur le marché (AMM) des produits phytosanitaires.

Cet indicateur PEC_{GW} permet d'aller plus loin que l'indice GUS en prenant en compte par exemple les usages, mais il ne prend pas en compte les caractéristiques de l'aquifère ; il est basé sur les résultats du modèle.

Les informations reportées dans le tableau de synthèse permettent de voir le nombre de scénarios pour lesquels la PEC_{GW} est supérieure à 0.1 ou 1 µg/L, ces deux valeurs seuils étant jugées informatives sur le risque de transfert vers les eaux souterraines et l'importance des flux. Ces informations sont examinées aussi par comparaison de métabolites issus d'une même substance active (colonne « commentaires »). Les commentaires s'appuient sur des considérations d'occurrence possible avec une notion de concentrations et ne prennent pas en compte des critères toxicologiques ou écotoxicologiques.

Source des informations compilées dans le tableau

Les informations sur la dégradation dans le sol (DT_{50}), l'adsorption (K_{OC} et $1/n$ associé), le nombre de scénarios supérieurs à 0.1 et 1 µg/L reportées dans les dossiers sur le comportement des substances actives et métabolites sont issues des documents produits lors de l'approbation des substances actives au niveau européen (documents EFSA). La valeur du GUS est celle mentionnée dans la base de données PPDB (Pesticide Properties Database <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>) (extraction septembre à décembre 2023 selon les substances actives).

Les données d'achats pour la région Pays de la Loire sont extraites de la BNV-D Traçabilité pour l'année 2021 (extraction décembre 2023).

L'occurrence dans les eaux souterraines est donnée à titre d'information, sur la base de la recherche et de la présence des composés. La base nationale ADES a été consultée en décembre 2023. Le nombre d'analyses effectuées, le nombre de points d'eau concernés, le nombre de dépassement des valeurs 0,1 et 1 µg/L (par analogie avec les valeurs seuils retenues pour les PEC_{GW}), les dates des premières mesures et des dernières mesures bancarisées (à l'échelle nationale) ont été indiquées.

A titre d'information pour apprécier le fait que les composés soient déjà recherchés ou non par ailleurs, la liste des composés de la campagne menée par le laboratoire d'hydrologie de Nancy et des informations sur l'occurrence a été consultée. Les données eau de surface et eau souterraine ne sont pas distinguées dans le rapport publié en 2023 (intitulé « *Campagne nationale de mesure de l'occurrence de composés émergents dans les eaux destinées à la consommation humaine Pesticides et métabolites de pesticides – Résidus d'explosifs – 1,4-dioxane - Campagne 2020-2022* ») ; une analyse plus fine n'est donc pas possible. Pour l'étranger, des informations provenant de campagnes menées à l'international (PLAP au

Danemark, Angleterre, réseau NAQUA en Suisse) sont reprises (via la Publication de Baran *et al.*, 2022 (doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156696) et pour les Etats Unis d'Amérique, publication de Bexfield *et al.*, 2021). Ces données ont été retenues du fait de leur disponibilité mais aussi car il s'agit de pays dans lesquels des campagnes d'analyses assez exhaustives sont réalisées y compris pour les métabolites.

Enfin, la pertinence des métabolites de pesticides dans les eaux destinées à la consommation humaine établie suivant la méthodologie définie par la Saisine n°2015-SA-0252 est précisée, le cas échéant (statut en décembre 2023). La référence à la saisine pour chaque métabolite évalué est rappelée.

6. Conclusion

La présence de substances actives de pesticides et de leurs métabolites dans les eaux souterraines et les eaux de surface dégrade la qualité de la ressource en eau. Ainsi l'atteinte du Bon Etat (chimique et/ou écologique) tel qu'attendu dans le cadre de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau peut être compromis. De la même façon, la situation dégradée de la ressource peut, dans certains secteurs, impacter la qualité de l'eau distribuée et donc l'usage de l'eau potable.

Pour accompagner les acteurs locaux sur la mise en place de plans d'actions de reconquête de la qualité sur les aires d'alimentation de captage, l'ARS, la DREAL et la DRAAF des Pays de la Loire ont souhaité s'associer au BRGM pour i) proposer un état des lieux régional de la qualité des eaux brutes destinées à la production d'eau potable vis-à-vis des pesticides et de leurs métabolites portant à la fois sur les eaux de surface et souterraines et ii) apporter des éléments complémentaires (limités à la problématique eau souterraine) utiles au diagnostic territorial (usages des substances actives, évolutions des concentrations, valeurs guides afférentes, et information pédagogique sur le devenir et comportement de certaines substances).

Les choix méthodologiques et techniques retenus dans cette étude de recherche et développement partagée ont été guidés par la volonté de développer une approche reproductible, adaptable et actualisable sur d'autres territoires ou pour d'autres substances actives. Ces travaux s'appuient sur de précédents travaux et ont été menés en synergie avec le projet concomitant MELASSES (Auterives *et al.*, 2023). Des développements spécifiques ont été menés pour répondre aux enjeux de la Région Pays de la Loire.

L'impact d'une substance active considère à la fois la substance active mais aussi ses métabolites (lorsqu'ils sont surveillés).

Etat des lieux de la qualité des eaux brutes (de surface et souterraines) à l'échelle régionale : des données statistiques et des représentations cartographiques

Identification des molécules d'intérêt régional : Un premier traitement statistique des données existantes de la qualité des eaux souterraines et de surface (ADES, Naïades) et d'autres données (achats de produits phytosanitaires, dépassement dans les eaux distribuées, etc.), a conduit à l'établissement d'une liste de 81 molécules, encore appelés paramètres (dont 39 substances actives). Pour chacun de ces paramètres d'intérêt régional, le taux de quantification et la fréquence de dépassement de la valeur 0,1 µg/L sont calculés par station hydrologique pour les eaux de surface et par qualitomètre pour les eaux souterraines sur 3 périodes distinctes : 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020.

Ressource cartographique : Pour faciliter l'appropriation des résultats et leur exploitation à une échelle territoriale, des représentations cartographiques sont proposées pour 11 substances actives et métabolites associés (faisant l'objet d'une surveillance) via l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG). Les données transmises aux partenaires et exploitables via le logiciel QGIS, libre et open-source permettent de visualiser, modifier et analyser des données géospatiales. A ce stade, le fond cartographique retenu pour la publication d'atlas est celui de la carte géologique mais il pourrait être aisément modifié.

Les indicateurs d'impact retenus : Le taux de quantification (indicateur qualitatif) qui représente la présence d'une molécule dans les eaux souterraines ou de surface, et la fréquence de dépassement de 0,1 µg/L (indicateur quantitatif représenté sous forme de classes) qui représente son impact sont deux indicateurs jugés d'intérêt complémentaire pour estimer l'ampleur de la contamination. Le défi était donc de représenter, par point d'eau (surface et souterraine), ces 2 indicateurs pour plusieurs molécules devant être considérées conjointement : substance active et métabolites associés. Si dans l'esprit, la même méthodologie a été utilisée pour chacune des

11 substances actives, en pratique le travail de symbologie a dû être adapté notamment pour l'atrazine compte-tenu du nombre important (cinq) de métabolites surveillés. Pour faciliter la lecture des cartes, le travail de représentation n'a pu donc être complètement automatisé.

Les périodes considérées : Le travail a été réalisé pour 3 périodes distinctes 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020 afin de prendre en compte l'évolution temporelle de la qualité des eaux. Le choix de ces périodes a été notamment guidé par la disponibilité des données et leur significativité ; il sera explicité pour la prise en compte des pressions.

Pour les 11 substances actives, les 66 cartes produites offrent, pour la première fois, une vision globale et conjointe de l'impact des pesticides et de leurs métabolites sur les eaux de surface et les eaux souterraines à l'échelle de la région Pays de la Loire. Ces cartes sont livrées sous forme de deux atlas au format pdf. Les données de base constituant le SIG sont également livrées permettant une actualisation et/ou la production d'autres cartes.

Estimation de la pression potentielle en prenant en compte l'évolution temporelle et les hétérogénéités spatiales.

Faute de données disponibles, à l'échelle de la région et pour plusieurs années, sur les usages réels des substances actives, une estimation des usages potentiels – représentant la pression potentielle, est réalisée. Les données de ventes/achats sont accessibles via la base de données OAPP (2008-2012) et la BNVD-traçabilité (2013-2020) à différentes échelles selon les données considérées.

Une spatialisation basée sur des usages potentiels sur les cultures principales ayant des usages autorisés. A l'instar de MELASSES, la spatialisation des usages potentiels est basée sur la répartition des cultures principales ayant (ou ayant eu) des usages autorisés pour les substances actives considérées. L'hypothèse est faite que la substance active ayant un usage autorisé sur une culture a été utilisée sur ces cultures. Cette hypothèse maximise les surfaces d'application potentielle des molécules.

S'agissant de répondre aux enjeux régionaux des Pays de la Loire, un travail spécifique d'identification des cultures principales et leur lien avec les usages des substances actives jugées d'intérêt à cette échelle régionale, a été mené.

L'échelle spatiale d'agrégation des données de pression potentielle : Dans l'étude nationale MELASSES, l'agrégation des données de pression potentielle est effectuée à l'échelle de l'entité BDLISA. Dans cette étude régionale, l'agrégation des données est de manière préférentielle celle de l'aire d'alimentation de captage ou des zones de protection de l'aire d'alimentation des captages (si définie), à défaut celle du périmètre de protection (si défini) ou enfin du bassin topographique (pour les eaux de surface et si le traitement SIG effectué dans cette étude a permis de le déterminer). Le choix de cette échelle est lié au choix des indicateurs d'impact retenus qui sont « au point d'eau ». Du fait de l'évolution de la géométrie des îlots cultureux notamment et pour des capacités de calcul, chaque polygone (ilot) de la couche issue du registre parcellaire graphique a dû être converti en « raster » pour des mailles de 250 m x 250 m, autorisant ainsi une agrégation temporelle pour la période souhaitée, à l'échelle géographique souhaitée.

Les périodes considérées : En 2018, les achats de produits phytosanitaires ont fortement augmenté à la suite de l'annonce d'une hausse de la redevance pour pollution diffuse au 1^{er} janvier 2019. Pour lisser de tels effets et ne pouvant pas être certain que les achats d'une année correspondent à un usage la même année, le choix de travailler par période plutôt que par année s'est imposé. Le choix des 3 périodes distinctes 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020 a été le résultat de la prise en compte de cet « effet redevance », de la disponibilité des données d'achats, etc. L'existence de données historiques issues de l'Observatoire des achats de produits phytosanitaires au code postal de l'acheteur pour l'ensemble de la Région, permet d'enrichir l'approche en élargissant la période d'étude 2008-2012. Il s'agit là d'une spécificité (et une

richesse) de l'étude car de tels jeux de données ne sont probablement pas disponibles dans d'autres secteurs géographiques.

Un besoin d'affiner l'estimation de la pression potentielle rendue possible par l'utilisation des données d'achats : Pour aller plus loin dans le diagnostic et notamment pour travailler à une échelle plus fine que celle de la région ou du département (celle de l'AAC par exemple), les données d'achat de la BNV-D ont été considérées. Après un travail de mise en concordance des codes postaux et des codes INSEE, les quantités de substances actives achetées ont été spatialisées en reprenant en compte les cultures susceptibles de recevoir cette substance active. Ainsi, 117 rasters achats (9 substances actives ; 13 années 2008-2020) ont été produits correspondant aux achats en kg de substance active par maille de 250 m X 250 m à l'échelle de la région Pays de la Loire.

Éléments d'intérêt pour le diagnostic territorial

Pour faciliter le diagnostic, des informations sur les différentes valeurs guides de références (valeur sanitaire maximum, norme de qualité environnementale, valeur seuil, valeur guide de l'OMS, PNEC⁵⁸) de 25 substances ont été regroupées dans un document unique. En effet, les données d'origine sont accessibles via différents portails et sources d'information. De la même façon, une fiche pédagogique explicitant le devenir et la mobilité vers les eaux souterraines des substances actives et leur(s) métabolite(s) été produite ; elle est accompagnée de données clés pour 14 substances actives et 51 métabolites associés (compilées dans un fichier tableur permettant une visualisation d'ensemble).

La prise en compte du type d'aquifère a mis en évidence que les captages en contexte de nappe alluviale apparaissent plus impactés que les captages en contexte de socle ou sédimentaire. Les travaux sur la vulnérabilité des eaux souterraines montrent les hétérogénéités à l'échelle de la région Pays de la Loire mais cet indicateur ne permet pas de faire le lien entre la présence des produits phytosanitaires dans les eaux souterraines à l'échelle de l'AAC et/ou du périmètre de protection. Des perspectives de mises à jour de l'indicateur de vulnérabilité à partir des travaux les plus récents de calcul de l'épaisseur de la ZNS (Pinson *et al.*, 2019) et de l>IDPR (Mardhel *et al.*, 2021) serait une piste à explorer.

Pour les eaux souterraines, un examen plus détaillé des données disponibles est réalisé de manière à mieux appréhender la variabilité spatiale et temporelle de la contamination des eaux souterraines et de voir si des tendances et/ou l'identification de facteurs explicatifs se dégagent. Cet examen exploratoire, répondant à des objectifs de vision à l'échelle de la région, n'a pas vocation à remplacer des études plus fines à l'échelle d'un captage ou d'une aire d'alimentation de captage mais à communiquer des informations structurantes. Ainsi sont repris les informations portant sur i) les usages autorisés ou ayant été autorisés (cultures concernées, date d'approbation des produits phytosanitaires), ii) les quantités vendues/achetées et leurs évolutions temporelles, iii) des propriétés physico-chimiques permettant d'apprécier *a priori* et de manière simplifiée le risque de transfert vers les eaux souterraines, iv) des informations sur les taux de quantification des molécules en considérant une évolution entre années et une évolution saisonnière. Au-delà de l'analyse qualitative, une analyse statistique est réalisée entre l'indicateur de pression et les 2 indicateurs d'impact pour la même période.

Recommandations opérationnelles pour la mise en œuvre de la méthode et pour le diagnostic territorial

L'approche développée correspond à une version régionalisée de la méthode nationale MELASSES (Auterives, 2023). Les modifications et améliorations proposées permettent d'aborder des problématiques régionales en déterminant des indicateurs d'impact déterminés au

⁵⁸ Predicted No Effect Concentration

point d'eau et une pression potentielle spatialisée et temporalisée suivant des rasters par molécule, rasters dont la maille a été fixée à 250 m X 250 m. Les données exploitées et les outils employés sont accessibles librement et peuvent donc être utilisés afin de compléter cette étude pour d'autres molécules ou de transposer l'approche à d'autres régions.

Le croisement des indicateurs d'impact et de pression a été réalisé à différentes échelles spatiales (AAC, ZPAAC, Périmètre de Protection ou bassin versant selon leur disponibilité) et temporelles, pour différentes périodes, pour 9 substances actives. Globalement, ce croisement n'a pas permis de mettre en évidence de lien très clair et systématique entre l'évolution de la pression et celle de l'impact. Cela pose la question des incertitudes associées aux différentes données utilisées, leur impact sur l'évaluation menée et les pistes d'amélioration possibles.

Les incertitudes majeures portent sur :

- *les usages réels de substances actives* : Quelle confiance peut être accordée à la pression potentielle estimée via le croisement (culture x substance activée autorisée), même si elle est pondérée par des données d'achat ? En l'absence de données réelles d'usage permettant une comparaison avec l'estimation de la pression, il est difficile de l'évaluer. Toutefois, on peut présumer que cette incertitude est d'autant plus grande que le secteur géographique considéré est petit (par exemple impact du secret statistique des achats sur une commune conduisant à un manque d'information). Ainsi techniquement, le passage aux rasters permet de définir des mailles de dimension réduite (ici 250 m x 250 m) mais l'échelle d'agrégation doit être adaptée. Les interprétations doivent prendre en compte cette incertitude.

⇒ **Seules des données réelles d'usage (via des enquêtes) permettraient de lever les incertitudes sur la pression et son évolution temporelle.** Cette connaissance est d'autant plus primordiale que la zone géographique de travail est petite.

Depuis 2019, les données des parcelles déclarées en agriculture biologique et en conversion lors des demandes d'aides de la Politique Agricole Commune (PAC) sont accessibles. La prise en compte de ces données dans cette démarche affinerait, de manière alternative aux enquêtes, l'estimation de la pression potentielle en produits phytosanitaires.

- *les propriétés des substances et leur devenir*. Les données de demi-vie dans les sols et d'adsorption permettant de décrire, en première approche et de manière simplifiée, le risque de transfert vers les eaux souterraines sont issues d'études réalisées, de manière standardisée, lors de l'approbation des substances actives ou d'autres études scientifiques. L'importance de ces processus est liée aux caractéristiques du sol lui-même.

⇒ Une détermination de ces propriétés (sorption, dégradation) sur les sols de la région d'étude permettrait d'affiner le diagnostic.

Plus largement, y compris dans la littérature scientifique internationale, certains processus sont peu décrits. Par exemple, les cinétiques de relargage sur le long terme des composés depuis le sol ou la zone non saturée où la sorption des composés sur des matériaux géologiques constituant la zone non saturée des aquifères restent à étudier.

⇒ Des travaux de recherche doivent être conduits pour acquérir des nouvelles connaissances sur le comportement à long terme des molécules : comprendre les processus, décrire les cinétiques, etc. A l'échelle des AAC, des approches « simplifiées » peuvent être envisagées pour apporter des éléments de réponse (par exemple suivi des teneurs dans des eaux de drainage agricole ou via l'installation de lysimètres).

- *Temps de transfert dans la zone non saturée et temps de renouvellement des eaux souterraines* : La pression potentielle a été déterminée pour 3 périodes et comparées à différentes périodes d'impact. Faute d'une connaissance fine des fonctionnements hydrogéologiques au niveau des points d'eau souterraine, il ne peut pas être exclu que les temps de transfert sont plus longs que la période d'étude considérée et qu'ainsi, les changements ayant eu lieu en surface ne soient pas déjà perceptibles sur la qualité de l'eau. A l'inverse pour des

aquifères très réactifs, les périodes considérées pourraient être trop longues et masquer des variations à plus courts pas de temps. En effet, dans certains cas, des variations saisonnières sont observées.

⇒ Une meilleure connaissance du fonctionnement hydrogéologique (fluctuations piézométriques, temps de résidence moyen de l'eau, ...), notamment à l'échelle d'AAC, permettrait de lever les incertitudes en adaptant les durées des périodes à comparer ou encore en ciblant mieux les périodes à comparer.

- *Zone géographique considérée pour le croisement des indicateurs* : Les indicateurs de pression ont été calculés à l'échelle de l'AAC ou de la ZPAAC, à défaut celui du périmètre de Protection. L'aire géographique supposée représenter l'aire d'influence au niveau du captage a donc des degrés de fiabilité variable.

⇒ Une meilleure connaissance du fonctionnement hydrogéologique et une détermination précise des aires d'alimentation de l'ensemble des captages permettraient de réduire les incertitudes.

- *Les données de qualité d'eaux souterraines* : Pour certains aquifères et certaines substances, des variations saisonnières qui pourraient être associées aux périodes de recharge/décharge des nappes et /ou aux périodes d'utilisation des substances actives semblent se dessiner.

⇒ Des chroniques avec une fréquence de mesures élevées seraient bienvenues pour les décrire et mieux comprendre la dynamique de contamination. Dans certains secteurs, des analyses d'autosurveillance sont réalisées à haute fréquence mais ces données ne sont pas facilement accessibles et/ou bancarisées de manière plus ou moins rigoureuse. Une gestion adaptée des données, de toute nature, acquises en lien avec les captages doit être mise en place.

- Les informations collectées sur le devenir et comportement de certaines substances actives montrent que *la surveillance n'est pas toujours exhaustive* vis-à-vis des métabolites à risque de transfert vers les eaux souterraines (non inclus dans la liste de surveillance, pas de disponibilité immédiate de méthodes analytiques permettant cette recherche, ...).

⇒ Une évolution de la liste des substances à rechercher permettrait d'avoir une vision plus élargie de l'impact (au sens défini dans cette étude) sur la qualité des eaux souterraines (en tant que ressource) liés aux usages des produits phytosanitaires. Les données de pression spatialisées peuvent permettre, le cas échéant, d'adapter localement la liste des substances à rechercher. En complément d'analyses ciblées classiquement mises en œuvre, le recours à des méthodes d'analyse innovantes comme les analyses non ciblées par spectrométrie de masse haute résolution (généralement mises en œuvre par des laboratoires de recherche) peuvent apporter des informations complémentaires sur l'ensemble des composés présents dans les eaux.

7. Bibliographie

- Agence de l'eau Loire-Bretagne. 2019. Etats des Lieux du bassin Loire Bretagne. Documents du SDAGE 2022-2027 <https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/files/live/mounts/midas/Donnees-et-documents/EDL2019-Erratum.pdf>
- Agreste. 2014. Agreste, les dossiers. Enquête Pratiques culturales 2011. Principaux résultats. Juillet 2014, N° 21. <https://www.agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Dos21/Dos21.pdf>
- Agreste., 2020. Agreste, chiffres et données. Enquête pratiques culturales en grandes cultures et prairies 2017. Principaux résultats. Octobre 2020, N° 9. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2009/cd2020-9%20PK%20_GC2017b.pdf
- Agreste. 2023. Recensement agricole 2020, l'irrigation dans les Pays de la Loire. Novembre 2023, N° 10. https://draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/etudes_2023_ra2020_irrigation.pdf
- Auterives C., Baran N. 2017. Méthode appliquée à l'échelle nationale pour l'étude pression – impact des substances phytosanitaires sur les eaux souterraines. BRGM/RP-67453-FR. <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-67453-FR.pdf>
- Auterives, C., Laurencelle M., Rambourg D., Surdyk N., Baran N. 2023. MELASSES : Mieux exploiter la surveillance des eaux souterraines. BRGM/RP-71997-FR <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-71997-FR.pdf>
- Baran N., Gourcy L. 2017. Etude des transferts des pesticides et du nitrate dans les alluvions anciennes du couloir de Meyzieu : synthèse des résultats. BRGM/RP-66990-FR. <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-66990-FR.pdf>
- Baran N., Berho C., Devau N., Gourcy L., Gremont M., Gutierrez A., Hérivaux C., Le Guern C., Lucassou F., Neverre N., Ollivier P., Petelet-Giraud E., Portal A., Schroëtter J.-M., Sidoli P., Surdyk N., Thiery D., Koch F., Lefèvre Y., Maurice B. 2020. Qualité des eaux souterraines (nitrates et produits phytosanitaires) du bassin Loire-Bretagne : des approches expérimentales aux outils de gestion. BRGM/RP-69499-FR <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-69499-FR.pdf>
- Baran N., Surdyk N., Auterives C. 2021. Pesticides in groundwater at a national scale (France): Impact of regulations, molecular properties, uses, hydrogeology and climatic conditions. *Science of The Total Environment*. Vol 791. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148137>
- Barriuso E., Koskinen W.C. 1996. Incorporating Nonextractable Atrazine Residues into Soil Size Fractions as a Function of Time. *Soil Science Society of America Journal*. Vol 60 (1), p 150-157, <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000010024x>
- Canard S. 2003. Devenir de l'atrazine dans l'environnement : étude bibliographique. Médecine vétérinaire et santé animale. 2003. dumas-04643979 <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04643979>
- Chrétien P., Le Guern C. 2019. Recherche de l'origine de pesticides dans l'aire d'alimentation des captages de Longué-Jumelles (Maine-et-Loire). BRGM/RP-68469-FR, <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-68469-FR.pdf>
- DREAL, Centre Val de Loire. 2019. Etat des lieux du bassin Loire-Bretagne établi en application de la directive cadre sur l'eau. Version adoptée le 12 décembre 2019. <https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/files/live/mounts/midas/Donnees-et-documents/EDL2019-Erratum.pdf>
- DREAL, Pays de la Loire. 2016. Contamination des eaux superficielles par les pesticides, Synthèse régionale, période 2002-2014. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/le-suivi-des-pesticides-dans-les-cours-d-eau-a4415.html>

Fischer I.J., Phillips P.J., Bayraktar, B.N., Chen, S., McCarthy B.A., Sandstrom M.W. 2021. Pesticides and their degradates in groundwater reflect past use and current management strategies, Long Island, New York, USA. *Science of The Total Environment* vol 752 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141895>

Ghestem J.P., Bristeau S. 2022. Travaux AQUAREF sur l'identification des phytosanitaires, Listes des paramètres phytopharmaceutiques, biocides et métabolites de la base SANDRE [Aquaref 2019 E2.1b Note SANDRE liste usage phyto.pdf](#)

Gustafson, D.I. 1989. Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry* 8:339-357

IGN, 2018. RPG version 1.0 Registre Parcellaire Graphique, descriptif du contenu et livraison. [RPG Version 1.0 - Descriptif de contenu et de livraison \(ign.fr\)](#) (juillet 2018)

IGN, 2020. RPG version 2.0 Registre Parcellaire Graphique, descriptif du contenu et livraison. [RPG Version 2.0 - Descriptif de contenu et de livraison \(ign.fr\)](#) (août 2020).

Lopez B., Auterives C., Baran N., Togola A., Baierer C. 2021. Appui scientifique du BRGM pour l'interprétation des données de l'inventaire transfrontalier ERMES – phase 2. BRGM/RP-70183-FR. <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-70183-FR.pdf>

Mardhel V., Gravier A. 2006. Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Loire-Bretagne. BRGM/RP-54553-FR. <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-54553-FR.pdf>

Mardhel V., Pinson S., Allier D. 2021. Description of an indirect method (IDPR) to determine spatial distribution of infiltration and runoff and its hydrogeological applications to the french territory. *Journal of Hydrology*, 10.1016/j.jhydrol.2020.125609, 2021.

Pinson S., Bault V. 2019. Profondeur des entités Hydrogéologiques et évaluation des cOntraintes à l'infiltration des Eaux pluviales urBaines sUr le territoire de RenneS Métropole - Projet PHOEBUS. BRGM/RP-68599-FR. <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-68599-FR.pdf>

Szewczyk R., Różalska S., Mironenka J., Bernat P. 2020. Atrazine biodegradation by mycoinsecticide *Metarhizium robertsii*: Insights into its amino acids and lipids profile, *Journal of Environmental Management*. Vol 262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110304>



Annexe 1. Usages autorisés par substance active

Les données sont extraites de la base E-Phy <https://ephy.anses.fr/>. Les dates portent sur les autorisations de mise sur le marché des produits phytosanitaires commercialisés ayant ou ayant eu des usages en France. Les informations sont synthétisées par produit contenant la substance active (dont les dates d'approbation au niveau européen peuvent être différentes).

NC = non concerné à date

Alachlore

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Maïs	01/12/1968	18/06/2008	20/06/2007
Maïs doux	01/12/1975	18/06/2008	28/04/2007
Soja	01/12/1968	18/06/2008	28/04/2007

Atrazine

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Ananas	01/12/1962	07/02/2003	07/02/2003
Asperge	01/12/1974	07/02/2003	07/02/2003
Bananier	01/12/1962	07/02/2003	07/02/2003
Canne à sucre	01/12/1962	07/02/2003	07/02/2003
Fruits à pépins	01/12/1960	07/02/2003	07/02/2003
JEVI	01/12/1975	05/11/1999	08/12/2003
Légumes racines et tubercules tropicaux	01/12/1983	08/07/2002	08/07/2002
Maïs	01/12/1960	07/02/2003	17/05/2014
Maïs doux	01/12/1974	07/02/2003	07/02/2003
Sorgho	01/12/1960	07/02/2003	17/05/2014

Bentazone

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Avoine	01/12/1972	30/11/2020	NC
Blé	01/12/1972	30/11/2020	NC
Fines Herbes	01/04/1997	NC	NC
Graines protéagineuses	01/12/1974	NC	NC
Graminées fourragères	00/01/1900	NC	NC
Haricots	01/12/1974	28/06/2023	NC
Haricots et Pois écosés			
frais	01/04/1997	NC	NC
Haricots et pois non	01/04/1997	NC	NC

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

écossés frais			
Légumineuses			
fourragères	00/01/1900	NC	NC
Légumineuses			
potagères (sèches)	17/09/2012	NC	NC
Lin	01/12/1974	NC	NC
Maïs	00/01/1900	NC	NC
Maïs doux	00/01/1900	NC	NC
Orge	01/12/1972	30/11/2020	NC
Pois écossés frais	01/12/1974	12/11/2019	12/11/2018
Porte graine	01/04/1997	NC	NC
PPAM - non			
alimentaires	01/04/1997	NC	NC
PPAMC	01/04/1997	28/06/2023	NC
Riz	01/12/1972	30/05/2009	NC
Seigle	01/12/1972	30/11/2020	NC
Soja	01/12/1974	NC	NC
Sorgho	00/01/1900	NC	NC

Diméthénamide et diméthénamid-P

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (à défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Betterave industrielle et fourragère	07/12/2001	NC	NC
Chicorées - Production de racines	07/12/2001	NC	NC
Choux à inflorescence	01/08/2009	NC	NC
Choux feuillus	01/08/2009	NC	NC
Choux pommés	01/08/2009	NC	NC
Crucifères oléagineuses	00/01/1900	NC	NC
Gazons de graminées	01/02/1996	22/06/2008	28/04/2007
Maïs	01/10/1992	NC	NC
Maïs doux	07/12/2001	NC	NC
Navet	01/08/2009	NC	NC
Poireau	01/08/2009	28/02/2022	NC
Porte graine - PPAMC, Florales et Potagères	01/08/2009	NC	NC
Sorgho	07/12/2001	NC	NC
Tournesol	01/08/2009	NC	NC

Glyphosate

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (à défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Agrumes	01/10/1986	NC	NC
Arbres et arbustes	00/01/1900	NC	NC
Avocatier	12/04/2002	NC	NC
Avoine	00/01/1900	31/12/2017	01/07/2016
Bananier	01/12/1992	NC	NC
Blé	00/01/1900	NC	NC
Bulbes ornementaux	01/06/1989	11/08/2006	17/08/2006
Céréales	00/01/1900	30/09/2021	NC
Cultures florales et plantes vertes	01/06/1989	11/08/2006	17/08/2006
Cultures fruitières	00/01/1900	NC	NC
Cultures légumières	01/12/1979	15/06/2019	15/12/2018
Cultures ornementales	21/12/2016	01/09/2021	01/09/2020
Figuier	01/10/1986	09/06/2005	09/06/2005
Forêt	00/01/1900	NC	NC
Fraisier	01/12/1979	31/10/2007	12/11/2009
Fruits à coque	01/10/1986	NC	11/10/2018
Fruits à noyau	00/01/1900	29/11/2020	29/11/2019
Fruits à pépins	00/01/1900	NC	29/11/2019
Gazons de graminées	01/06/1989	NC	NC
Jachères et cultures intermédiaires	00/01/1900	NC	NC
Jardin d'amateur	00/01/1900	15/12/2018	15/12/2018
JEVI	00/01/1900	NC	NC
Légumineuses fourragères	01/01/2012	29/11/2020	29/11/2019
Lin	01/08/2012	NC	NC
Maïs	01/12/1992	15/06/2019	29/11/2019
Olivier	01/10/1986	NC	29/11/2019
Orge	00/01/1900	NC	NC
Petits fruits	01/12/1992	17/08/2006	17/08/2006
Porte graine	30/07/2001	NC	NC
Porte graine - Légumineuses fourragères	30/07/2001	NC	NC
Prairies	01/04/1997	NC	NC
Rosier	01/06/1989	NC	NC
Seigle	00/01/1900	31/12/2017	01/07/2016
Traitements généraux	00/01/1900	NC	NC
Vigne	00/01/1900	NC	NC

Métolachlore et S-métolachlore

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (à défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Ananas	07/12/2001	NC	NC
Betterave industrielle et fourragère	01/12/1982	NC	NC
Canne à sucre	07/12/2001	NC	NC
Choux	01/10/1993	08/12/2003	08/12/2003
Haricots et Pois écosés frais	07/12/2001	NC	NC
Haricots et pois non écosés frais	07/12/2001	NC	NC
Maïs	01/12/1974	NC	NC
Maïs doux	01/04/1990	NC	NC
Pomme de terre	01/04/1992	08/12/2003	08/12/2003
Porte graine	07/12/2001	NC	NC
Soja	01/12/1982	NC	NC
Sorgho	01/12/1977	29/11/2021	NC
Tournesol	01/12/1982	NC	NC

Métaldéhyde

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (à défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Cultures légumières	18/05/2018	NC	NC
Grandes cultures	18/05/2018	NC	NC
Traitements généraux	01/10/1991	NC	NC

Pendiméthaline

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (à défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Arbres et arbustes	04/06/1998	31/03/2020	05/03/2020
Blé	01/12/1978	NC	NC
Canne à sucre	01/12/1983	NC	NC
Carotte	01/12/1986	NC	NC
Céleris	01/10/1989	NC	NC
Choux	01/10/1989	NC	NC
Crucifères oléagineuses	01/02/2009	NC	NC
Cucurbitacées à peau non comestible	01/10/1989	NC	NC
Cultures florales et	01/10/1989	NC	NC

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

plantes vertes

Fruits à pépins	01/10/1989	NC	NC
Gazons de graminées	01/12/2000	30/09/2010	01/06/2008
Graines protéagineuses	00/01/1900	NC	NC
Haricots	01/12/1975	01/02/1992	01/02/1992
Haricots et Pois écosés frais	01/10/1989	NC	NC
Haricots et pois non écosés frais	16/02/2021	NC	NC
JEVI	30/10/2002	31/03/2020	05/03/2020
Kiwi	00/01/1900	01/02/2001	14/08/2018
Légumes racines et tubercules tropicaux	01/12/1983	08/07/2002	08/07/2002
Légumineuses fourragères	01/02/2009	NC	NC
Légumineuses potagères (sèches)	01/10/1989	NC	NC
Maïs	01/12/1975	NC	NC
Maïs doux	01/10/1992	28/06/2006	28/06/2006
Oignon	00/01/1900	NC	NC
Orge	01/12/1978	NC	NC
Poireau	00/01/1900	NC	NC
Pois écosés frais	00/01/1900	28/02/2020	14/08/2018
Pomme de terre	16/02/2021	NC	NC
Porte graine	01/10/1989	NC	NC
Porte graine - Légumineuses fourragères	06/10/2000	NC	NC
PPAMC	01/10/1989	NC	NC
Riz	06/10/2003	10/04/2015	NC
Rosier	15/08/2009	28/02/2020	14/08/2018
Salsifis	01/10/1989	NC	NC
Seigle	01/12/1978	NC	NC
Soja	01/10/1989	NC	NC
Sorgho	01/10/1989	NC	NC
Tabac	00/01/1900	NC	NC
Tomate - Aubergine	00/01/1900	NC	NC
Tournesol	00/01/1900	NC	NC
Vigne	01/10/1989	NC	NC

Prosulfocarbe

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (à défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Arbres et arbustes	25/04/2019	NC	NC

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

Artichaut	04/04/2003	30/06/2015	30/06/2015
Blé	01/02/1995	NC	NC
Carotte	04/04/2003	NC	NC
Céleris	04/04/2003	30/06/2015	30/06/2015
Fraisier	25/04/2019	NC	NC
Oignon	04/04/2003	NC	NC
Orge	01/02/1995	NC	NC
Pavot	04/04/2003	NC	NC
Poireau	04/04/2003	30/06/2015	30/06/2015
Pomme de terre	04/04/2003	NC	NC
Porte graine - Graminées fourragères et à gazons	25/04/2019	NC	NC
Porte graine - PPAMC, Florales et Potagères	25/04/2019	NC	NC
PPAMC	01/06/2010	NC	NC
Seigle	01/02/1995	NC	NC

Propyzamide

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (à défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Arbres et arbustes	00/01/1900	NC	NC
Artichaut	00/01/1900	NC	NC
Chicorées - Production de racines	00/01/1900	NC	NC
Choux	00/01/1900	NC	NC
Choux à inflorescence	25/02/2011	NC	NC
Crucifères oléagineuses	00/01/1900	NC	NC
Cultures florales et plantes vertes	00/01/1900	26/11/2014	NC
Fines Herbes	00/01/1900	NC	NC
Forêt	00/01/1900	30/06/2020	30/06/2019
Fruits à coque	00/01/1900	07/01/2023	NC
Fruits à noyau	00/01/1900	07/01/2023	NC
Fruits à pépins	00/01/1900	07/01/2023	NC
Graines protéagineuses	00/01/1900	NC	NC
JEVI	01/12/1976	01/10/1991	01/10/1991
Laitue	00/01/1900	NC	NC
Légumineuses fourragères	00/01/1900	NC	NC
Légumineuses potagères (sèches)	00/01/1900	NC	NC
Oignon	01/12/1972	01/10/1988	06/02/2004
Petits fruits	00/01/1900	07/01/2023	NC

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

Porte graine	00/01/1900	NC	NC
PPAMC	00/01/1900	NC	NC
Rosier	00/01/1900	31/12/2017	31/12/2016
Salsifis	00/01/1900	07/01/2023	NC
Soja	00/01/1900	07/01/2023	NC
Tournesol	00/01/1900	07/01/2023	NC
Vigne	00/01/1900	NC	NC

Tébuconazole

Cultures (E-Phy)	Date de première autorisation (produit)	Date fin usage (à défaut date fin produit)	Date de retrait (produit)
Amandier	00/01/1900	NC	NC
Arbres et arbustes	01/11/2009	01/03/2022	01/09/2020
Asperge	01/06/1988	NC	NC
Avoine	00/01/1900	NC	NC
Blé	00/01/1900	NC	NC
Céleris	01/04/1992	28/09/2018	NC
Céréales à paille	01/10/1993	26/11/2010	26/11/2010
Cerisier	00/01/1900	NC	NC
Chataignier	00/01/1900	NC	NC
Chicorées - Production de racines	15/03/2009	NC	NC
Choux	01/04/1992	28/09/2018	NC
Choux à inflorescence	15/03/2009	NC	NC
Choux pommés	15/03/2009	NC	NC
Crucifères oléagineuses	01/06/1988	NC	NC
Cucurbitacées à peau non comestible	15/03/2009	NC	NC
Cultures florales et plantes vertes	01/11/2009	01/03/2022	01/09/2020
Fruits à pépins	00/01/1900	NC	NC
Gazons de graminées	01/04/1997	NC	NC
Graines protéagineuses	01/04/1992	NC	NC
Légumineuses fourragères	01/04/1992	28/09/2018	NC
Légumineuses potagères (sèches)	15/05/2010	NC	NC
Lin	01/04/1992	NC	NC
Maïs	04/12/2020	NC	NC
Maïs doux	04/12/2020	NC	NC
Noisetier	00/01/1900	NC	NC
Noyer	00/01/1900	NC	NC
Oignon	01/04/1992	28/09/2018	NC
Orge	00/01/1900	NC	NC

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

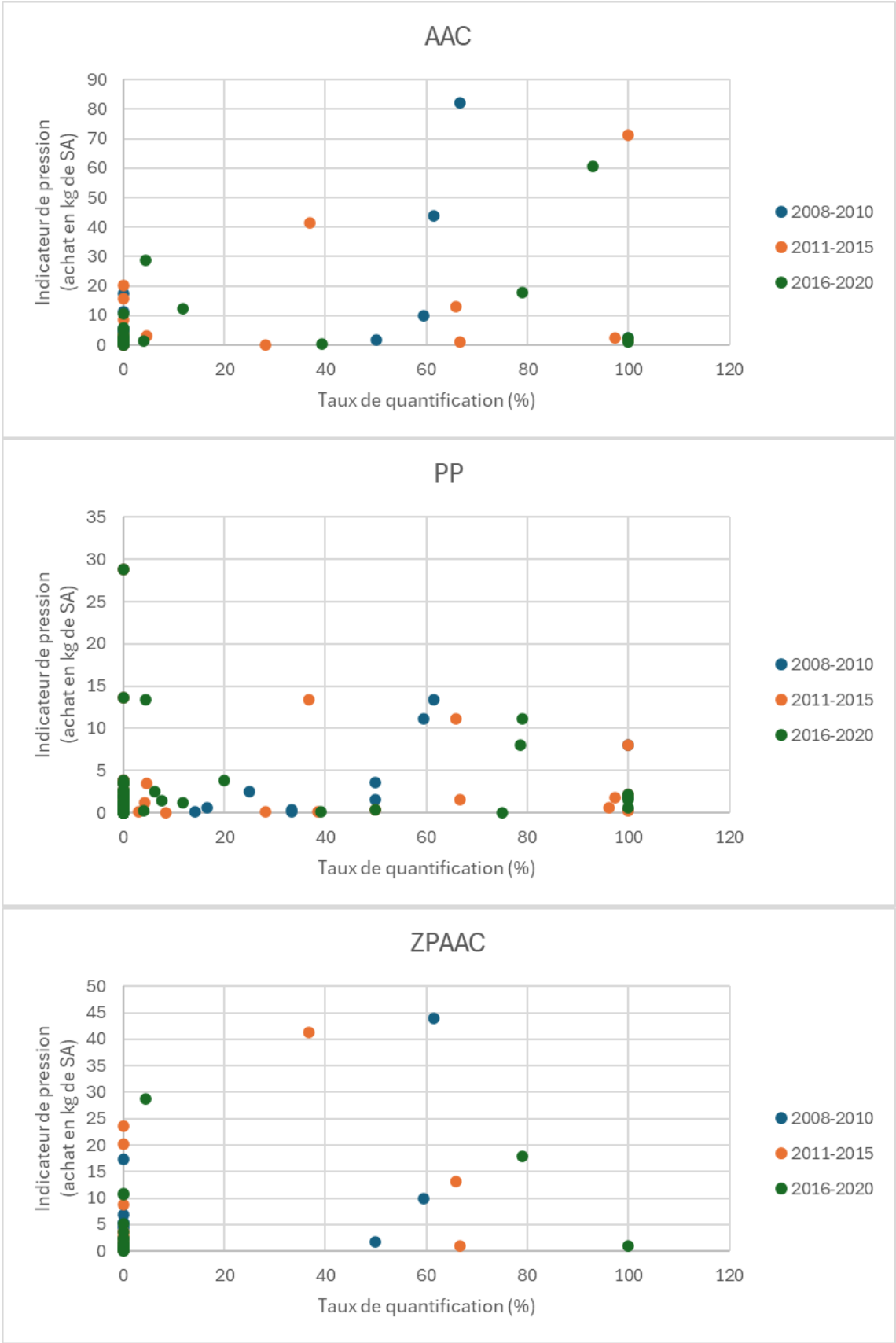
Pavot	01/04/1992	28/09/2018	NC
Pêcher - Abricotier	00/01/1900	NC	NC
Poireau	01/04/1992	NC	NC
Pois	15/05/2010	31/01/2012	NC
Poivron	01/02/2015	01/03/2022	01/09/2020
Porte graine	01/04/1992	NC	NC
Porte graine - Graminées fourragères et à gazons	01/04/1992	NC	NC
Porte graine - Légumineuses fourragères	01/04/1992	NC	NC
Porte graine - Maïs	15/12/2013	NC	NC
Porte graine - PPAMC, Florales et Potagères	01/04/1992	NC	NC
PPAM - non alimentaires	01/04/1992	28/09/2018	NC
PPAMC	01/02/1995	31/08/2015	26/09/2014
Prunier	00/01/1900	NC	NC
Rosier	01/11/2009	01/03/2022	01/09/2020
Seigle	00/01/1900	NC	NC
Tomate - Aubergine	01/02/2015	01/03/2022	01/09/2020
Vigne	01/06/1993	NC	NC

Annexe 2. Indicateur de pression potentielle (indicateur d'achat) en fonction du taux de quantification

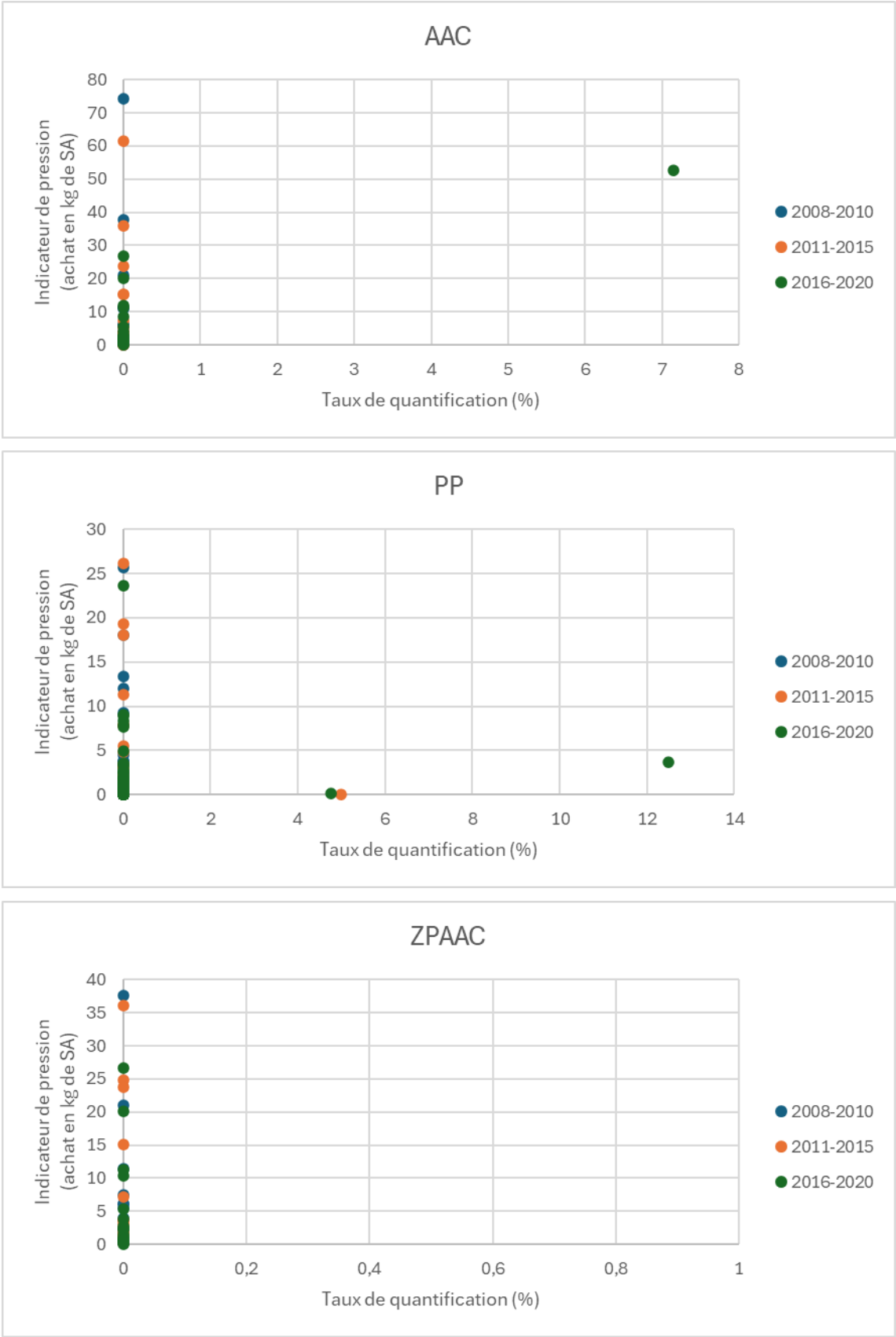
Pour chaque substance active, indicateur de pression potentielle (indicateur d'achat en kg) calculés à l'échelle de l'Aire d'Alimentation de Captage (AAC), du Périmètre de Protection (PP) ou de la Zone de Protection des Aires d'Alimentation de Captages (ZPAAC) en fonction du taux de quantification (%) pour chacune des 3 périodes (2006-2010, 2011-2015, 2016-2020)

Pour la 1^{ère} période, le taux de quantification est calculé sur 2006-2010 et l'indicateur d'achat sur 2008-2010

Bentazone

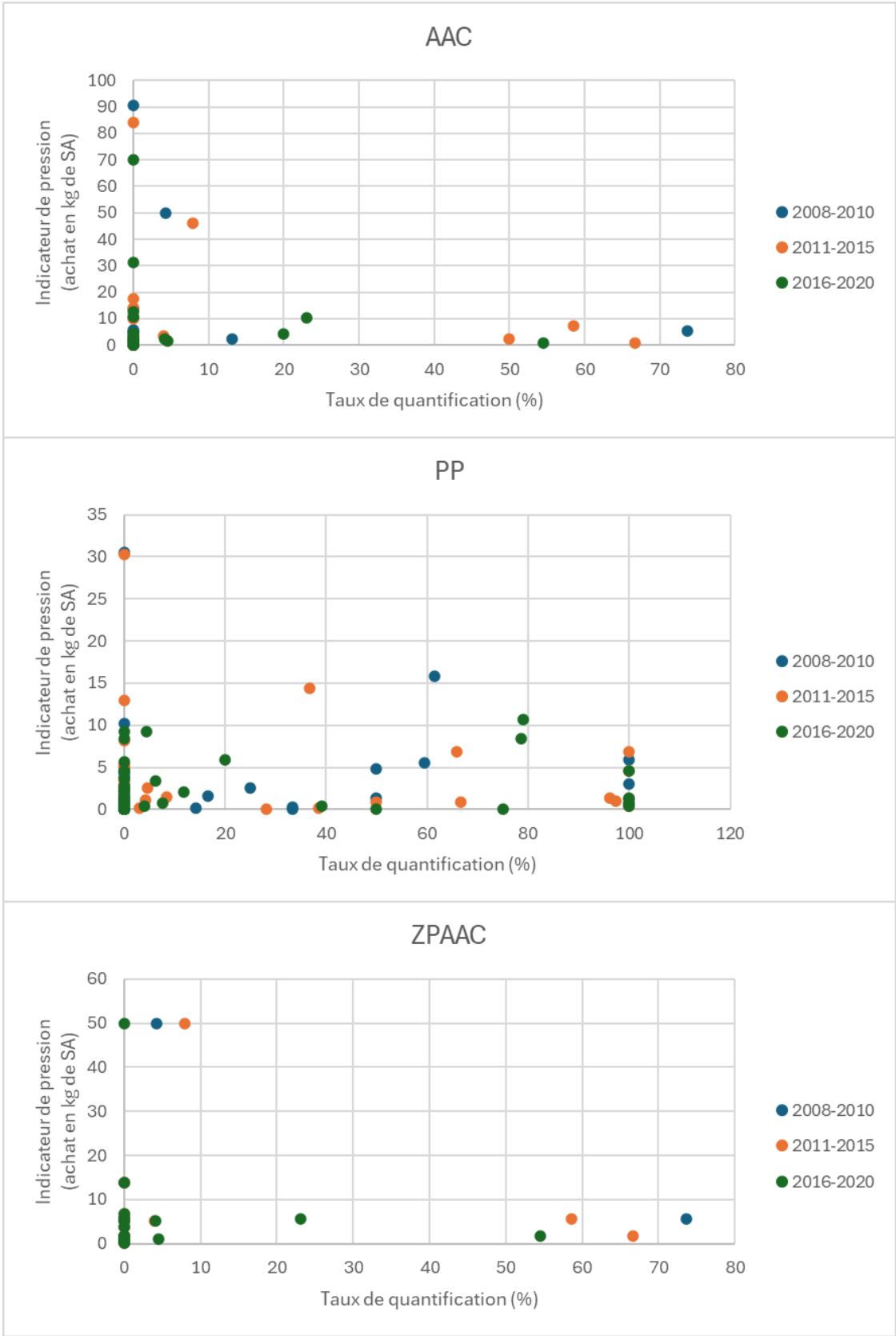


Prosulfocarbe



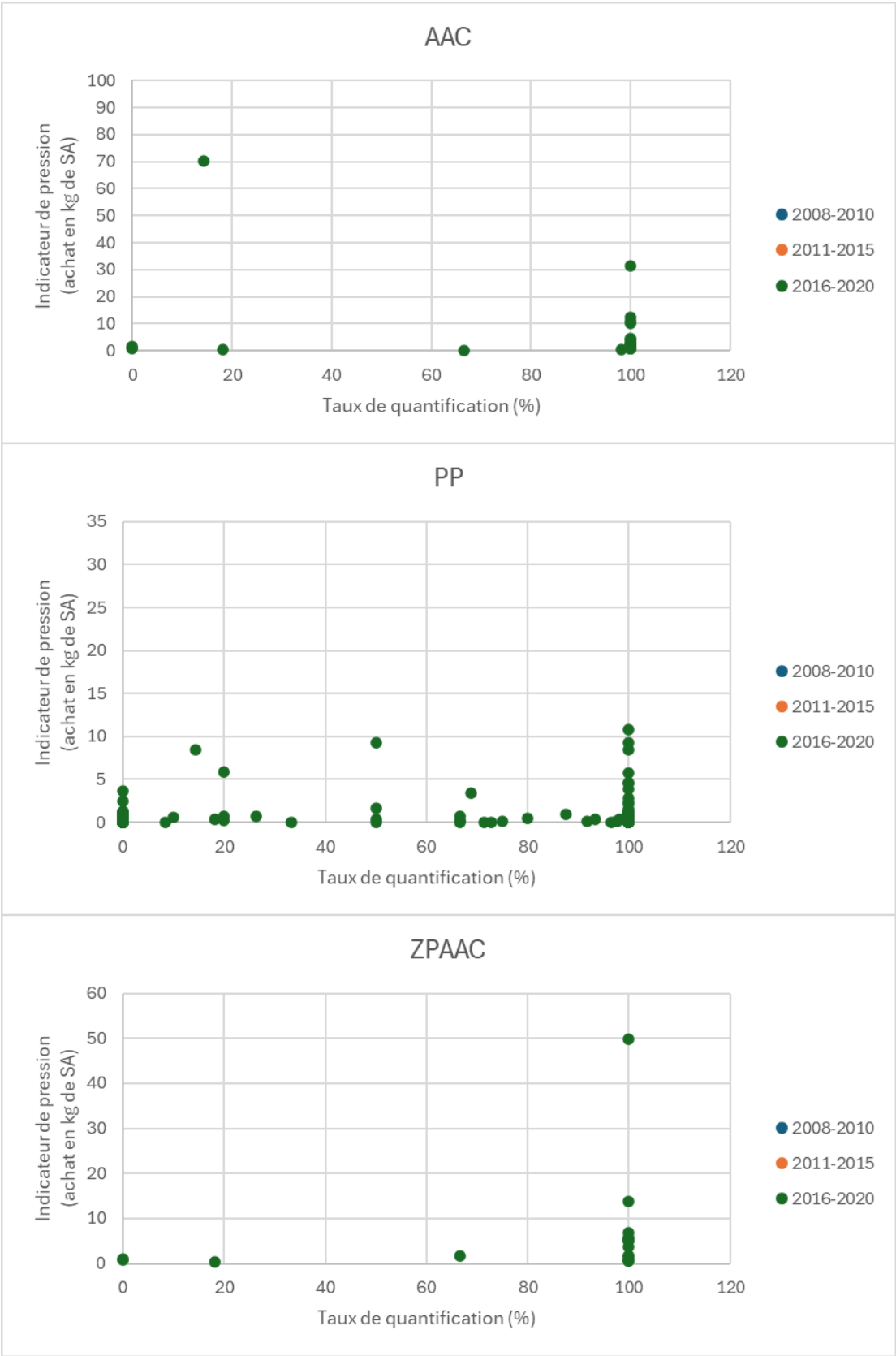
Métolachlore

Indicateur d'achat du S-métolachlore et taux de quantification en métolachlore total



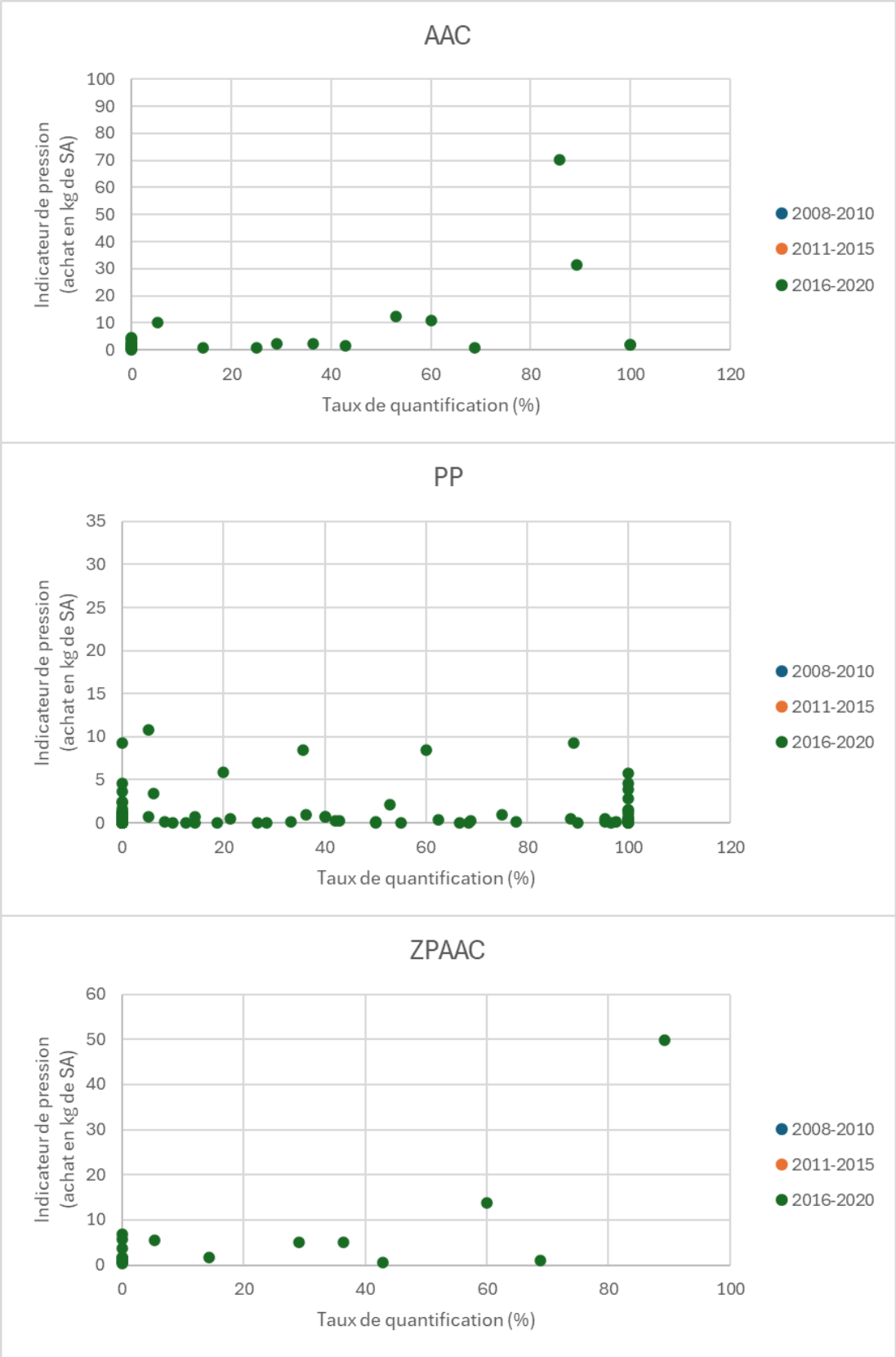
ESA-métolachlore

Indicateur d'achat du S-métolachlore et du taux de quantification en ESA-métolachlore

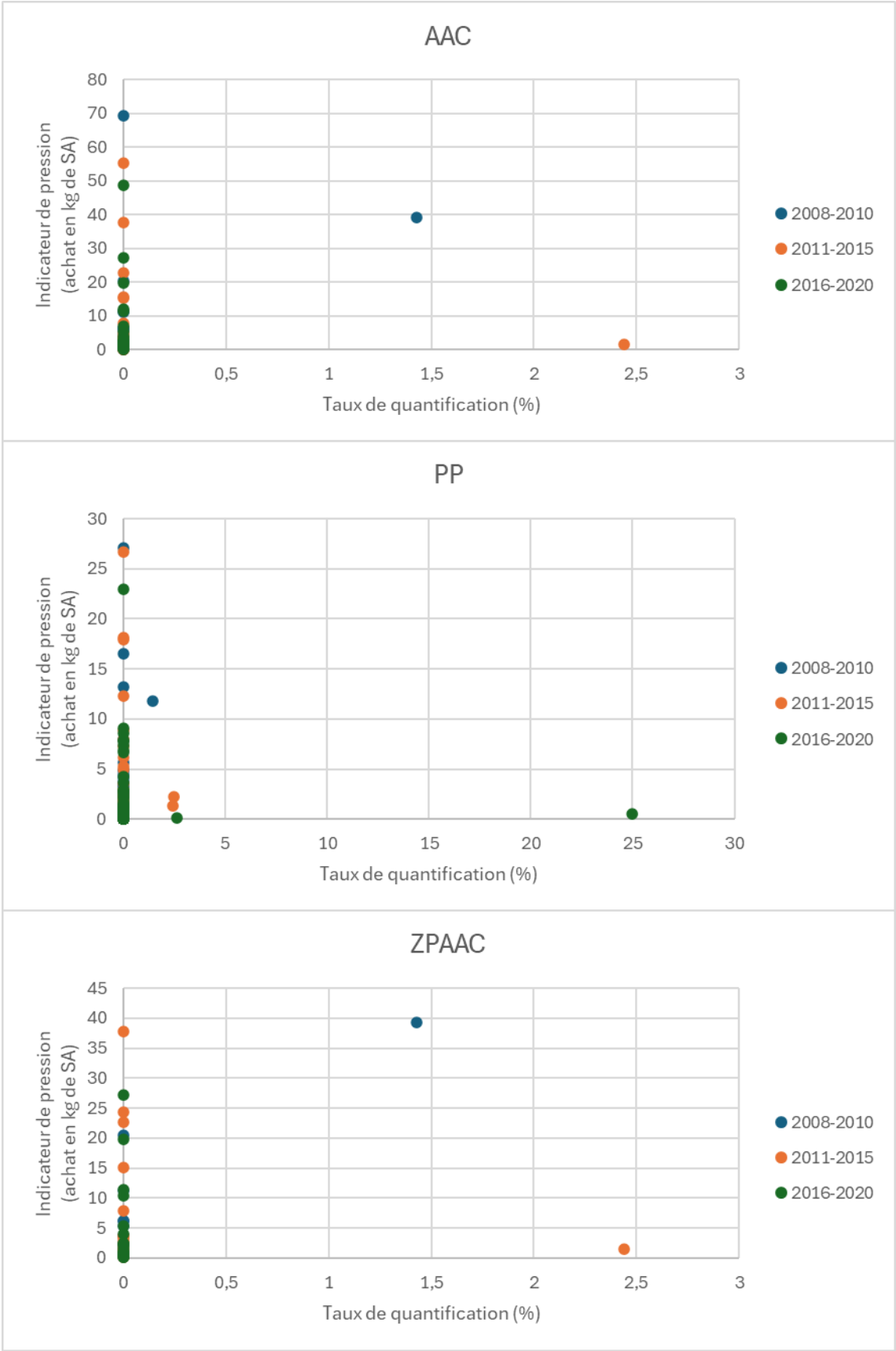


OXA-métolachlore

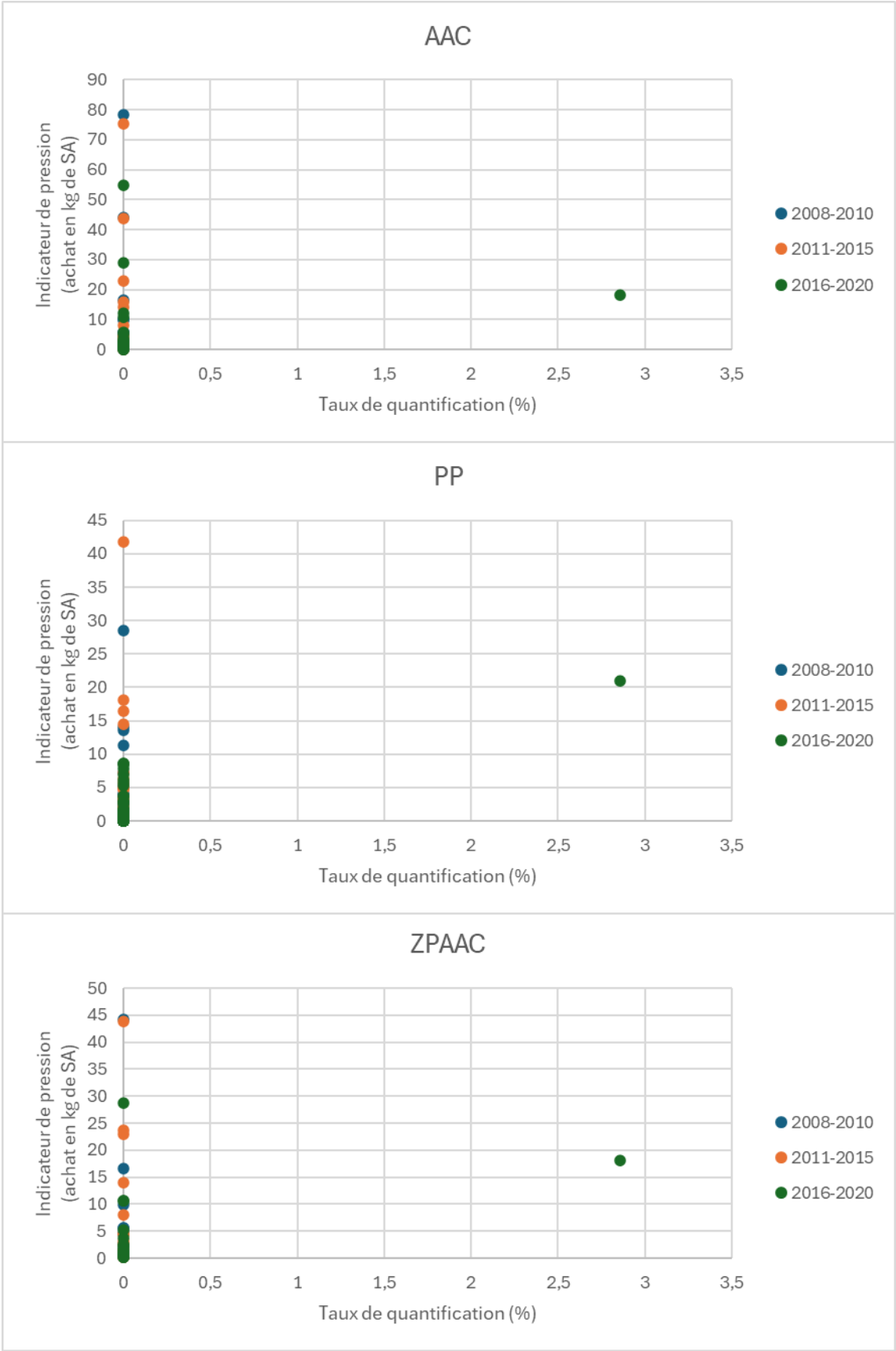
Indicateur d'achat du S-métolachlore et du taux de quantification en OXA-métolachlore



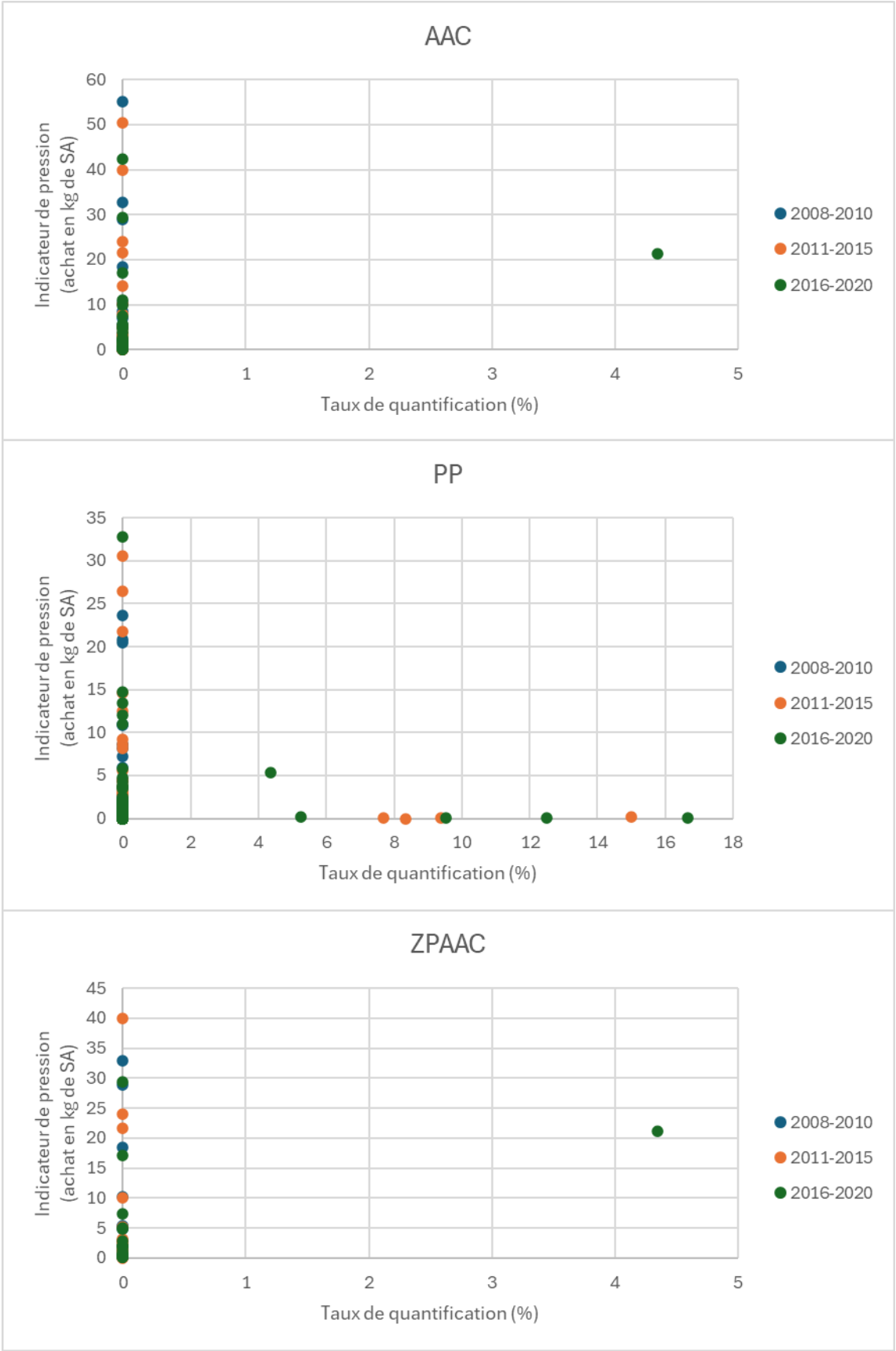
Tébuconazole



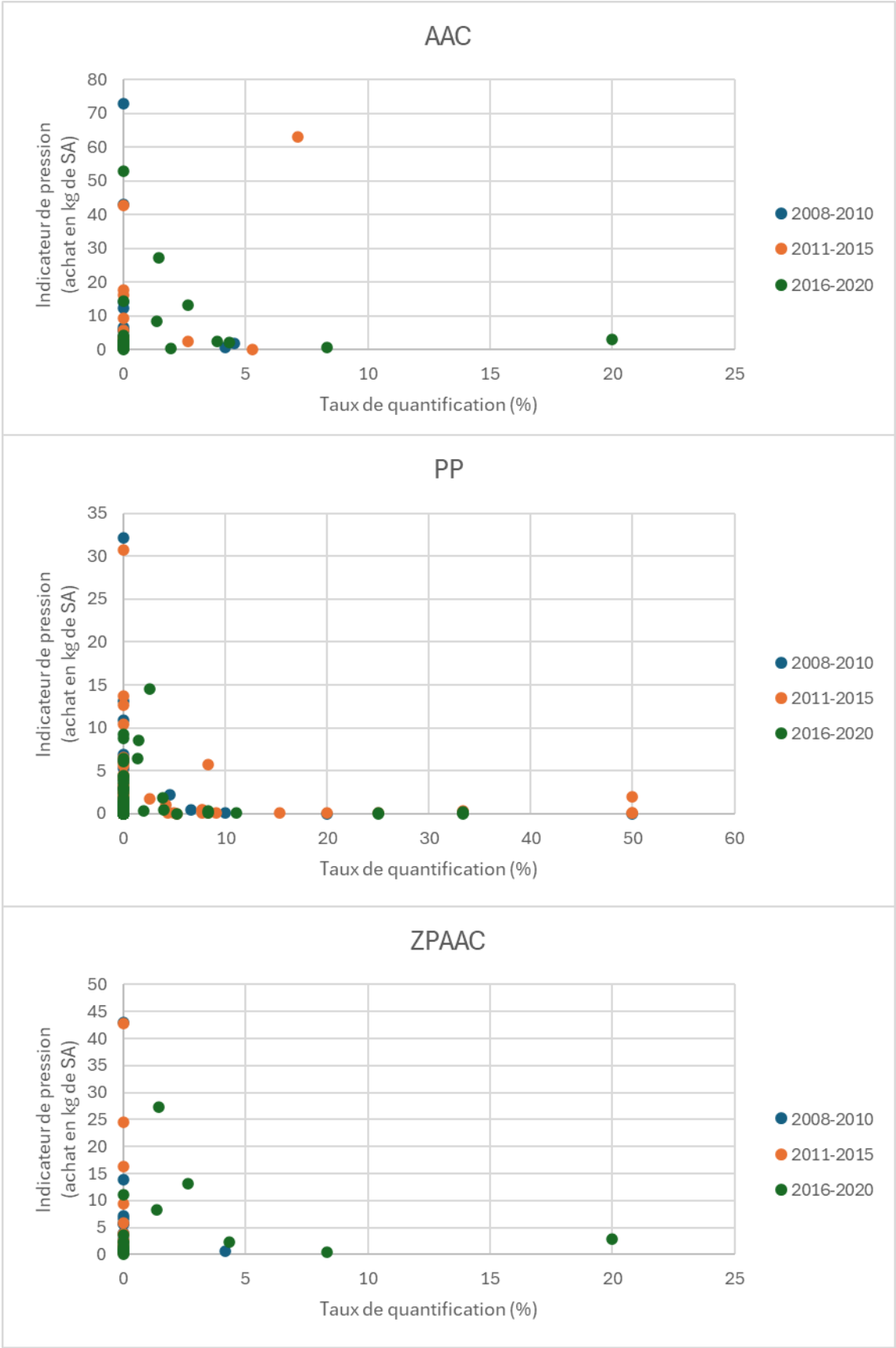
Pendiméthaline



Propyzamide

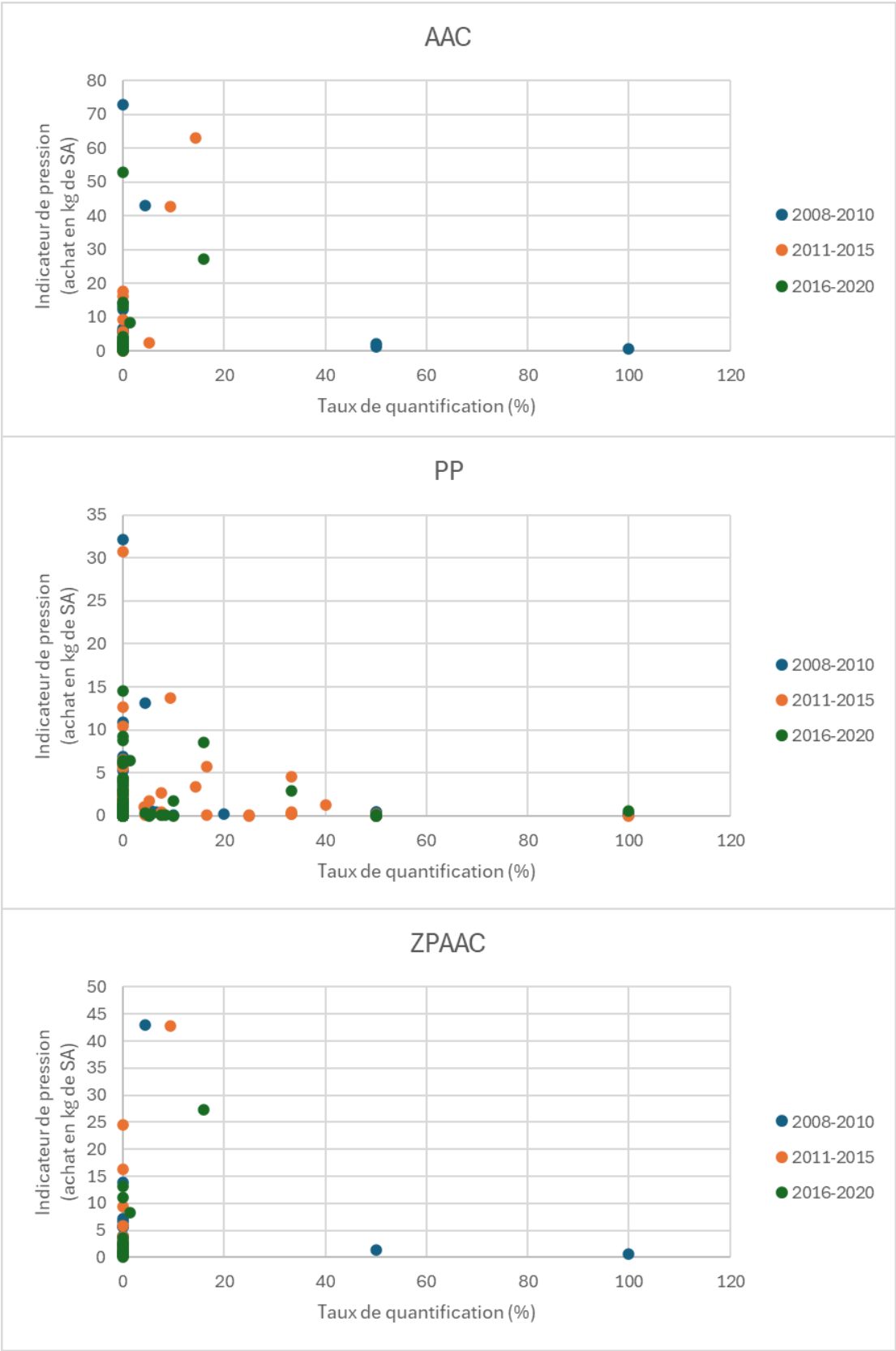


Glyphosate



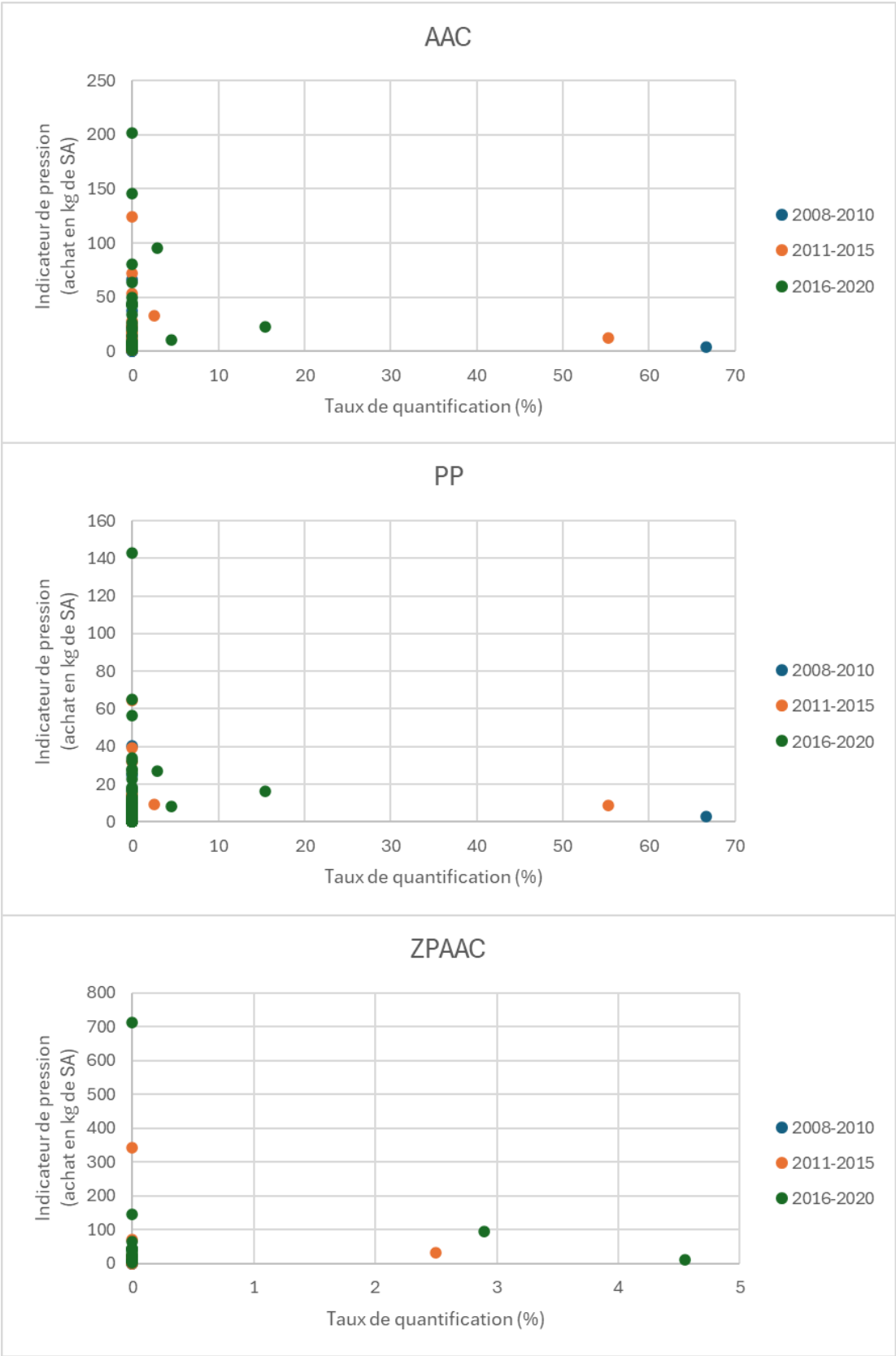
AMPA

Indicateur d'achat du glyphosate et taux de quantification de l'AMPA



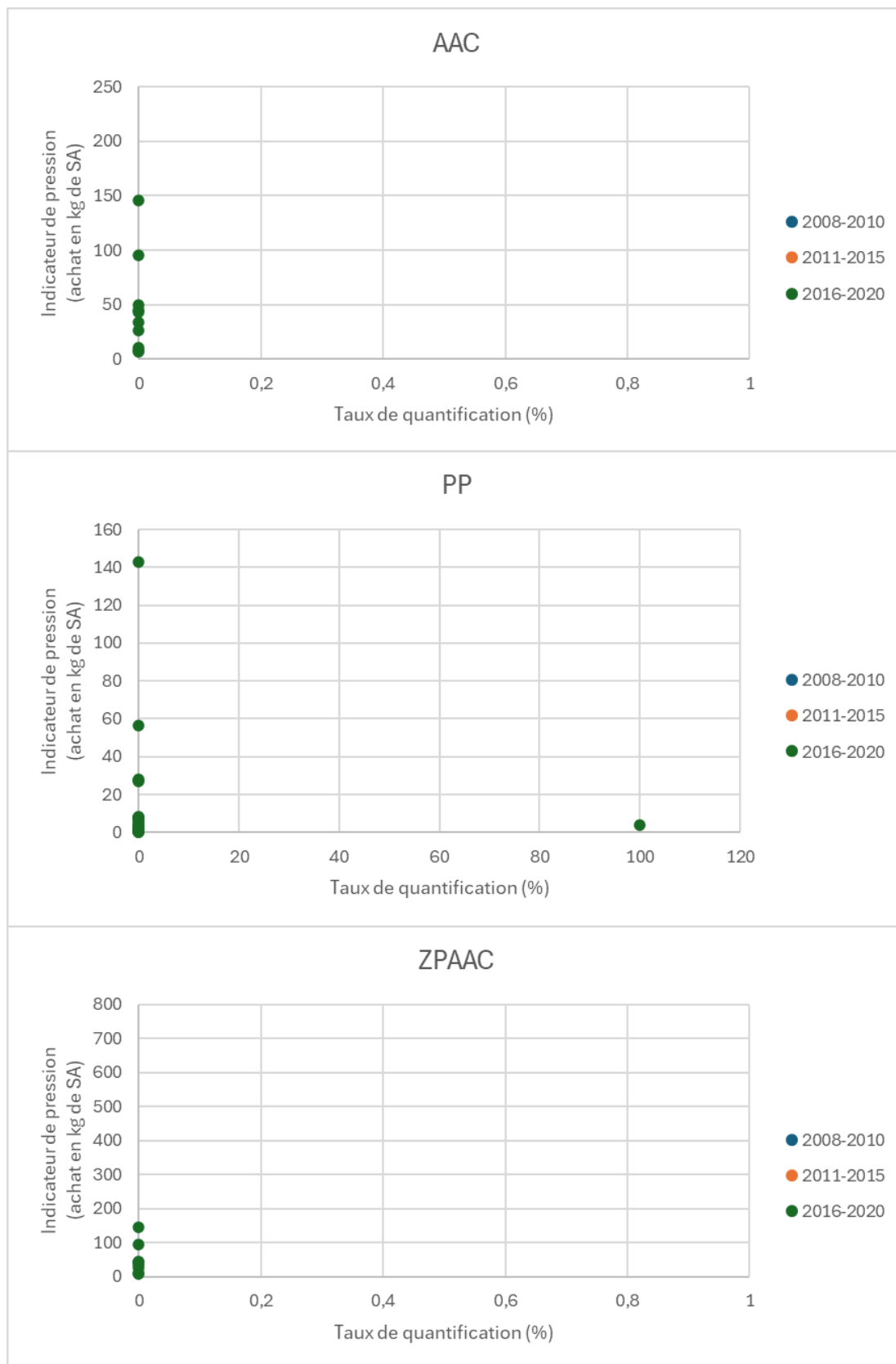
Diméthénamide

Indicateur d'achat en diméthénamide-P et taux de quantification en diméthénamide



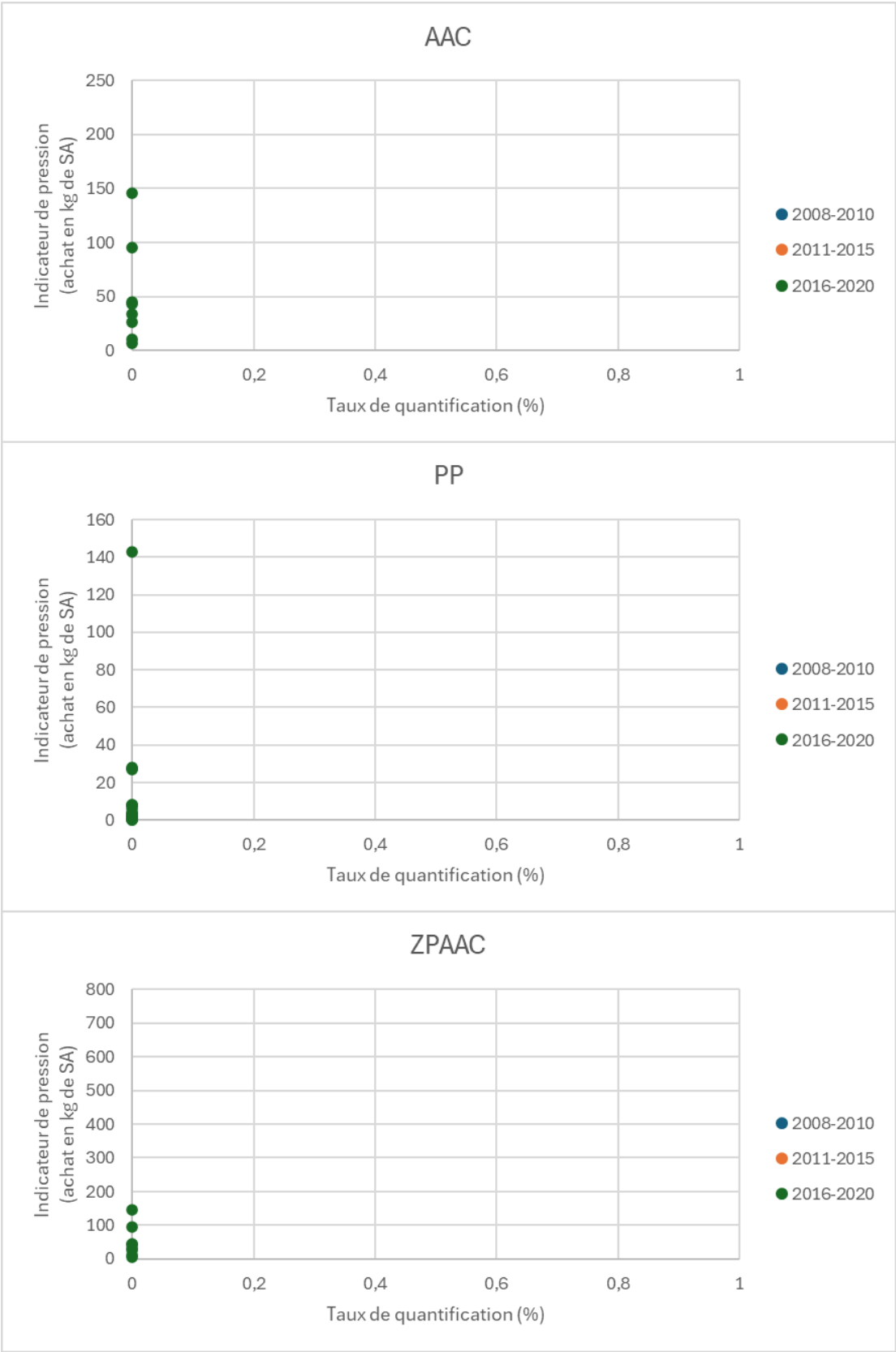
Diméthénamide-ESA

Indicateur d'achat en diméthénamide-P et taux de quantification en diméthénamide-ESA

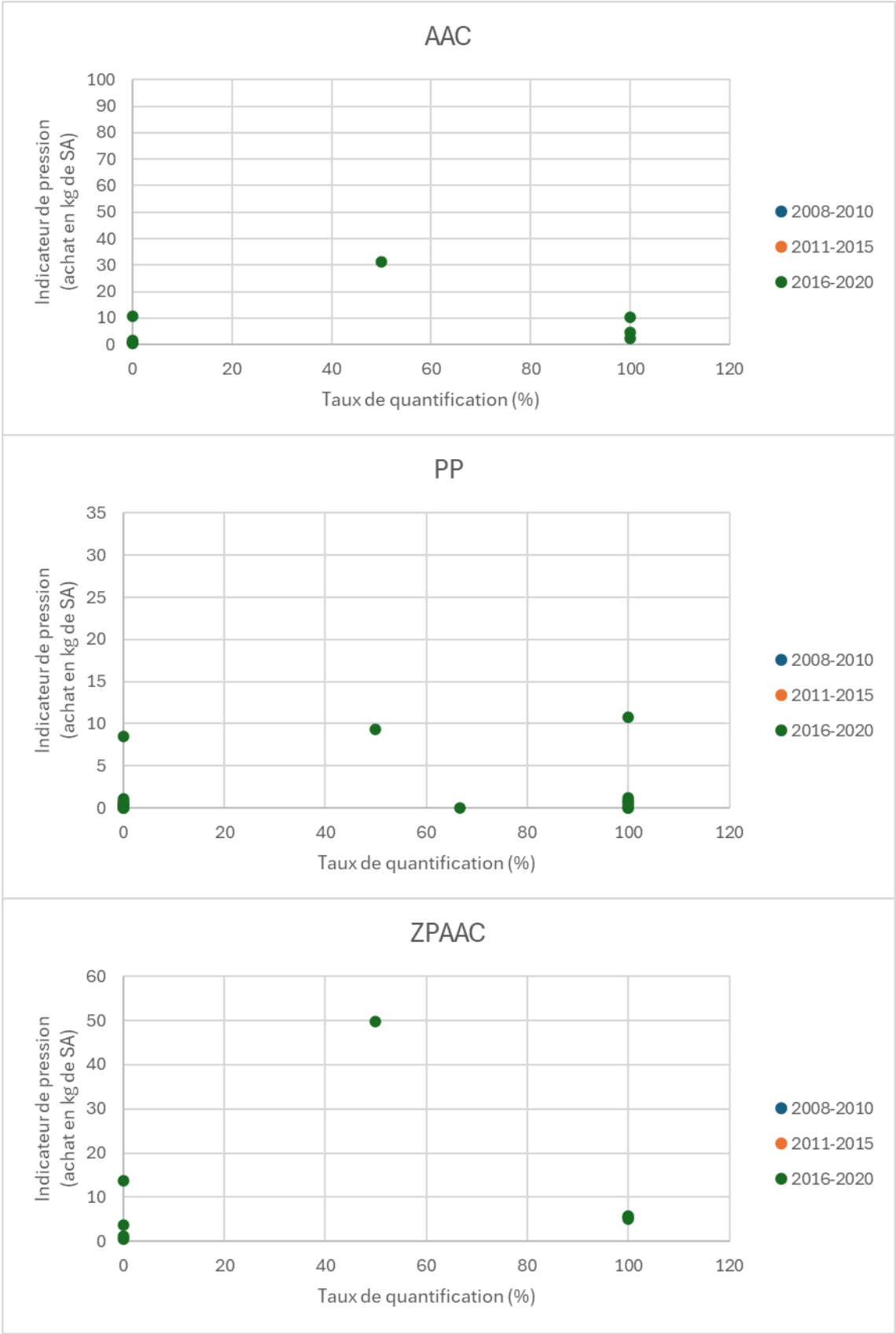


Diméthénamide-OXA

Indicateur d'achat en diméthénamide-P et taux de quantification en diméthénamide-OXA



Métaldéhyde



Annexe 3. Note sur la démarche à destination des collectivités / PRPDE

Contexte et objectifs

Le présent état des lieux régional de la qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine (EDCH) vis-à-vis des pesticides et de leurs métabolites, par le BRGM en collaboration avec la DREAL, la DRAAF et l'ARS, vise à fournir des éléments utiles au diagnostic territorial pour accompagner les acteurs locaux dans la mise en place de plans d'actions de reconquête de la qualité des eaux des aires d'alimentation des captages (AAC).

Principe général de la démarche

L'approche propose de rechercher un lien entre la pression (diagnostic d'usage d'une substance active) et l'impact (diagnostic de présence) de cette même substance active et/ou ses métabolites. Cette démarche, pour un ensemble de molécules d'intérêt régional (sélectionnées en concertation entre les partenaires), est une première à l'échelle régionale.

Cette étude apporte sur la région des Pays de la Loire :

- Un diagnostic de présence (impact) des substances actives et de leurs métabolites (81 molécules, cf. 2.1.1e) et Illustration 6) dans les eaux souterraines et les eaux de surface, à l'échelle des qualitomètres (forages d'eau souterraine) et des stations hydrologiques (captage d'eau de surface) de la région ;
- Un diagnostic des usages (pression) (11 substances actives, cf. 2.1.1 f) et Illustration 7) reposant sur les autorisations d'application de substances actives de produits phytosanitaires, les cultures identifiées dans l'emprise de l'AAC et les achats de produits phytosanitaires par commune ;
- Une recherche de lien entre la pression et l'impact à l'échelle du captage en prenant en compte les propriétés de transfert de la substance active et des métabolites associés (11 substances actives).

Détail de la démarche

Evaluation de l'impact

Les données qualité sont issues du portail ADES <https://ades.eaufrance.fr/> pour les eaux souterraines et du portail Naiades <https://naiades.eaufrance.fr/> pour les eaux de surface (39 substances actives et leurs métabolites soit 81 molécules sélectionnées, Illustration 6).

Trois périodes sont considérées : 2006-2010, 2011-2015 et 2016-2020.

Deux indicateurs d'impact sont calculés (cf. 2.2.1) :

- (1) le **taux de quantification** qui traduit la présence et par conséquent le transfert de la molécule vers les eaux souterraines ou les eaux de surface
- (2) la **fréquence de dépassement** de la valeur seuil 0,1 µg/L qui traduit l'importance de l'impact sur les eaux souterraines ou les eaux de surface.

Taux de quantification et fréquence de dépassement sont calculés par molécule pour chaque période, pour chaque point d'eau souterraine et chaque station eau de surface.

Pour 11 substances actives, un travail de mise en forme cartographique a abouti à la réalisation de 66 cartes (11 substances actives, 3 périodes, eau de surface et eau souterraine) traduisant la présence des produits phytosanitaires à l'échelle de la région des Pays de la Loire.

Evaluation de la pression (chapitre 3)

La démarche a été développée en synergie avec le projet de recherche MELASSES menés par le BRGM en collaboration avec l'ANSES, tout en approfondissant certains aspects.

Pour une substance active donnée, le portail **E-Phy** renseigne sur les **autorisations d'applications** et permet d'identifier (par année) les cultures pour lesquelles l'utilisation de la substance active est autorisée.

A l'aide du RPG Registre Parcellaire Graphique, sont identifiées par année les parcelles des cultures pour lesquelles la substance active sélectionnée est autorisée. Cela permet d'établir une carte des **surfaces d'application potentielle** de la substance active représentant la surface maximum sur laquelle la substance active peut être appliquée.

Pour affiner ce diagnostic, sont intégrées les données d'achat de produits phytosanitaires. Ces données d'achat proviennent de la base de données OAPP (2008-2012) transmises par les partenaires (DRAAF, DREAL) et de la BNV-D (2013-2020) <https://ventes-produits-phytopharmaceutiques.eaufrance.fr/>. Les achats sont distribués sur les surfaces d'application potentielle de la substance active sélectionnée. Les données d'achats sont référencées au code postal de l'acheteur. Il a été nécessaire de faire le lien entre le code postal et le/les code(s) INSEE des communes. Des cartes des quantités achetées distribuées sur des surfaces potentielles d'application ont ainsi été générées au format raster⁵⁹ avec une carte par année et par substance active à l'échelle de toute la région des Pays de la Loire. Ensuite, les rasters annuels sont sommés pour une période donnée (2006-2010, 2011-2015, 2016-2020).

A l'échelle d'un captage, il est nécessaire d'avoir une surface de référence représentative du point de captage (cf. 3.5.1). Les surfaces de référence utilisées dans cette démarche sont les aires de protection des captages (AAC), les zones de protection des aires d'alimentation des captages (ZPAAC) ou les périmètres de protection des captages (PPC). L'indicateur d'achat (cf. 3.5.2) est calculé à partir des rasters précédents sur les surfaces de références des captages. Il est ensuite comparé aux indicateurs d'impact (taux de quantification et fréquence de dépassement) des captages pour les eaux souterraines pour rechercher un lien entre pression et impact.

La recherche du lien entre pression et impact pour les eaux de surface était en dehors des objectifs de cette étude.

Recherche du lien pression - impact

Le lien pression – impact à l'échelle du captage et à l'échelle de la région Pays de la Loire a été interprété en prenant en compte les propriétés des molécules (substance active et métabolites), les périodes au cours de l'année d'application des substances actives, l'évolution des achats de produits phytosanitaires :

- Pour certaines substances actives, on observe une correspondance entre les périodes d'application et les périodes de plus fortes quantifications dans les eaux souterraines (ex. : prosulfocarbe – Illustration 27 ; bentazone – Illustration 37 ; métolachlore – Illustration 41) ;
- L'évolution des achats de produits phytosanitaires montre le lien entre les usages et l'impact sur les eaux souterraines ;
- Les propriétés des molécules (DT_{50} , K_{oc}) renseignent sur leur transfert vers les eaux souterraines et vont expliquer leur présence ou non dans les eaux souterraines ;
- Les propriétés du milieu souterrain jouent également un rôle ; une substance active comme l'atrazine, interdite depuis 2003 et dont l'application est arrêtée,

⁵⁹ Raster : Grille où chaque cellule est un pixel unique portant une information (valeur)

montre qu'elle peut être encore présente dans les eaux souterraines mais de façon hétérogène d'un captage à l'autre en lien avec le milieu (propriétés du sol, épaisseur de la zone non saturée, inertie de la nappe).

Pour identifier les molécules les plus à risque de transfert vers les eaux souterraines, il est nécessaire de prendre en considération les usages mais cette étude a révélé que la pression telle qu'évaluée à partir des usages potentiels n'est pas suffisamment précise à l'échelle locale des captages AEP.

Les données disponibles permettent une première évaluation pertinente de la pression à l'échelle de la région mais l'incertitude est trop importante à l'échelle locale. A l'échelle de l'AAC, il est recommandé de favoriser la connaissance des applications réelles : quelle molécule est réellement appliquée.

La démarche proposée maximise les surfaces d'application puisqu'on suppose que la substance active est appliquée sur toutes les cultures où l'application est autorisée. La connaissance des parcelles en agriculture biologique améliorerait la localisation des applications. Il s'agirait d'identifier les zones « sans application potentielle » et de distribuer les achats sur les autres parcelles. A l'échelle d'une AAC, il est envisageable de mener une enquête sur des pratiques réelles d'application de produits phytosanitaires.

La démarche proposée permet d'identifier les cultures sur l'emprise de l'AAC et de faire le lien avec les substances actives autorisées sur ces cultures. Cela permet de vérifier si la surveillance des eaux souterraines au captage AEP est en cohérence avec les pratiques agricoles sur l'AAC.

Apports de l'étude

L'ensemble de la démarche et la méthode de construction du lien entre pression (utilisation de substances actives) et impact (présence de substance active ou de métabolites) dans les eaux souterraines à partir de données disponibles à l'échelle nationale représentent les principaux apports de cette étude.

Elle fait le lien entre produits phytosanitaires vendus, substances actives surveillées dans les eaux souterraines et les métabolites associés pour 11 substances actives (prosulfocarbe, alachlore, atrazine, bentazone, métolachlore, pendiméthaline, propyzamide, glyphosate, diméthénamide, tébuconazole, métaldéhyde).

Documents disponibles

- Ces cartes annuelles (2006-2020) de surface d'application potentielle disponibles au format raster pour 9 substances actives (l'atrazine et l'alachlore n'étant plus autorisées à la vente sur cette période) à l'échelle de toute la région Pays de la Loire. Ces cartes sont utilisables directement. Pour d'autres substances actives, la démarche décrite en Annexe 4 du rapport (Auterives et Baran, 2025) est reproductible.
- Ces cartes annuelles (2006-2020) de distribution des achats de produits phytosanitaires sur les surfaces potentielles d'application disponibles au format raster. Ces cartes sont utilisables directement dans des outils SIG (QGIS) sur tout le territoire de la région Pays de la Loire pour visualiser les pressions potentielles ou calculer des indicateurs de pression à l'échelle de surface comme l'AAC ou le bassin versant.
- Valeurs guides environnementales (cf. 2.4). Une synthèse est proposée pour les 11 substances actives et leurs métabolites. Pour toute autre substance, le tableur fournit un guide sur les valeurs à rechercher et donne les sources et sites internet où trouver ces informations.

- Etat de l'art (cf. chapitre 5) mené sur la capacité de transfert des molécules pour 14 substances actives permet de guider quant à l'interprétation des propriétés des molécules pour leur transfert vers les eaux souterraines.

Données exploitées pour l'analyse pression-impact

Les données suivantes ont été exploitées :

- Qualité des eaux souterraines ADES <https://ades.eaufrance.fr/>
- Qualité des eaux de surface Naïades <https://naiades.eaufrance.fr/>
- Achats de produits phytosanitaires BNV-D traçabilité <https://ventes-produits-phytopharmaceutiques.eaufrance.fr/> (avant 2012 données OAPP)
- Propriétés des molécules PPDB <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>
- Catalogue de produits phytopharmaceutiques pour les usages <https://ephy.anses.fr/>
- Pour la surface de référence du captage, le plus pertinent est l'AAC, à défaut le périmètre de protection éloignée ou rapprochée peut être utilisé
- Les données lorsqu'elles sont disponibles concernant les propriétés de l'aquifère exploité pour l'AEP (perméabilité, porosité, temps de transfert, datation, etc.) (source : ADES, rapport BRGM, Etude spécifique)
- Données du registre parcellaire graphique RPG <https://geoservices.ign.fr/rpg>

Ce qui n'a pas été utilisé dans cette étude compte-tenu de l'échelle de travail mais qui serait pertinent à l'échelle locale sont les données réelles des pratiques culturales sur les parcelles agricoles, notamment les molécules réellement appliquées, les périodes et les quantités associées. La prise en compte des données récentes concernant les parcelles agricoles en agriculture biologique serait également pertinente.

Annexe 4. Note technique explicitant la méthodologie mise en œuvre

Cette note a pour objectif de décrire la démarche d'une réflexion pression – impact à l'échelle d'un captage AEP pour une substance active donnée.

Les travaux menés reposent sur des données publiques exploitées avec des outils en Open Source. Ce choix de démarche permet de réaliser l'état des lieux pour toute autre substance active sur le territoire d'une AAC ou toute autre surface considérée comme représentative du point de captage.

La démarche pour évaluer le potentiel transfert d'une substance active (SA) ou de ses métabolites (M) vers les eaux souterraines comprend 4 étapes :

- (1) Identifier la SA, ses éventuels métabolites (M1, M2, M3, etc.) et les propriétés des molécules ;
- (2) Etablir le diagnostic de présence de la SA et de ses métabolites : taux de quantification et fréquence de dépassement ;
- (3) Etablir le diagnostic de pression de la SA ;
- (4) Synthétiser les propriétés du milieu.

L'échelle de travail est le captage AEP et l'aire d'alimentation du captage AEP lorsque celle-ci est définie, à défaut le périmètre de protection du captage peut être une alternative.

(1) Identification de la SA, de ses métabolites et propriétés de transfert

Pour 11 substances actives (Illustration 7 : nicosulfuron ; prosulfocarbe ; métaldéhyde ; pendiméthaline ; tolylflumide ; diméthénamid-P ; captane ; chlorothalonil ; mesotrione ; cyazofamide ; diflufenican ; prothioconazole ; flufenacet ; propyzamide) le travail d'identification des métabolites et des propriétés de transfert fait dans le cadre de cette étude est disponible dans le fichier [Tableau Etat de l'art PdL.xlsx](#)

Pour toute autre molécule :

- 1- Identifier la substance active (SA)
- 2- Consulter le site <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/> pour rechercher cette SA

<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm> recherche alphabétique

<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/search.htm> recherche par nom ou code CAS

Une alternative à la PPDB est la consultation des publications *EFSA journal*.
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/journal/18314732>

- 3- Identifier les propriétés de la SA :
 - [Degradation](#) soil degradation : DT₅₀ ;
 - [Soil adsorption and mobility](#) K_{oc} ;
 - [Fates indices](#) GUS leaching property index.
- 4- Identifier les éventuels métabolites (M1, M2, etc.)
 - Known metabolites*
 - Known soil metabolites*
 - Known groundwater metabolites*
 - Other known metabolites*

- 5- Sur la page de chaque métabolite identifié, extraire les propriétés DT₅₀, K_{oc} et GUS pour M1, M2, M3, etc.
- 6- Pour évaluer les capacités de transfert des molécules, interpréter les valeurs de DT₅₀, K_{oc} et GUS en fonction des valeurs décrites dans le chapitre 5 - Etat de l'art sur la capacité de transfert vers les eaux souterraines ;

Molécule		DT ₅₀ (typical)		K _{oc} (typical)		GUS	
Nom	SA / M	Valeurs (jours)	Interprétation	Valeurs (mL g ⁻¹)	Interprétation	Valeurs	Interprétation
Substance active SA	SA						
Métabolite M1	M						
Métabolite M2	M						

(2) Diagnostic de présence (évaluation de l'impact) pour une SA (cf. chapitre 2.2)

- 1- Télécharger toutes les mesures de concentration disponibles pour la SA et les métabolites identifiés :
 - ADES <https://ades.eaufrance.fr/> pour les eaux souterraines
 - Naïades <https://naiades.eaufrance.fr/acces-donnees#/physicochimie> pour les eaux de surface
 - Période de référence à choisir (2006-2020 retenue pour cette étude)
 - Captage AEP
 - Autres points complémentaires : stations hydrologiques amont/aval ; autres qualimètres de l'AAC du captage AEP.

Pour le cas particulier des Pays de la Loire, pour cette étape, l'ensemble de ces données sont à disposition sur le site DataLab'Eau (<https://www.datalabeau.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/connaissance-de-la-qualite-des-eaux-r39.html>) pour les pesticides

- 2- Calculer les deux indicateurs de présence :
 - Pour chaque qualimètre (ESO) et/ou station hydrologique (ESU)
 - Pour la SA et chaque métabolite identifié
 - Sur la ou les périodes de référence choisies (2006-2010, 2011-2015, 2016-2020 retenues pour cette étude)

$$\text{Taux de quantification} = \frac{\text{Nombre d'analyses} > LQ}{\text{Nombre d'analyses total}} \times 100$$

$$\text{Fréquence de dépassement} = \frac{\text{Nombre d'analyses} > 0,1}{\text{Nombre d'analyses total}} \times 100$$

Outils : Access, Excel ou tableur Open Office

Choix de la période : La période de 5 ans peut être modifiée et choisie en fonction des connaissances sur l'évolution des pratiques sur l'AAC. Par exemple un changement dans les pratiques agricoles peut conduire à choisir une période avant et après ce changement pour mesurer l'efficacité des actions ou mesures réglementaires. La période choisie peut être commune pour le diagnostic d'usages et le diagnostic de présence mais peut différer si on dispose d'arguments pertinents pour le justifier notamment des connaissances sur les temps de transfert.

Le taux de quantification témoigne du transfert de la/des molécules. La fréquence de dépassement a été établie par rapport à la valeur seuil 0,1 µg/L. Cette valeur peut être adaptée en fonction de la substance active considérée et/ou en fonction du compartiment (eau souterraine ou de surface). Les valeurs guides environnementales peuvent également être utilisées (Tableau_Valeur_Guides_PdL.xlsx).

Le tableau des valeurs guides environnementales est valable à date de ce rapport. Pour mettre à jour ces valeurs, consulter le site de l'Ineris (<https://substances.ineris.fr/actualite/mise-jour-du-tableau-recapitulatif-ineris-des-vge-et-nge>).

- 3- Cartographier les indicateurs calculés (chapitre 2.2.2) en fonction de la période considérée, à partir des coordonnées des points de surveillance (qualitomètre ou station hydrologique). Le modèle de tableau ci-après synthétise les données à acquérir pour cela
Outil : QGIS ou autre logiciel d'exploitation pour mise en place du système d'informations géographiques et production des cartes.

Nom	ESO/ESU	Coordonnées		Période 1		Période 2		Période 3	
		X_L93	Y_L93	Taux 1	Freq 1	Taux 2	Freq 2	Taux 3	Freq 3
BSS 1	ESO								
BSS 2	ESO								
BSS 3	ESO								
Station hydro 1	ESU								
Station hydro 2	ESU								

La carte de localisation des stations ESU (cf. atlas cartographique ESU) et des points de surveillance ESO (cf. atlas cartographique ESO) permet de visualiser les points d'eau bénéficiant d'une surveillance des eaux souterraines et de surface et d'identifier les éventuelles lacunes (point d'eau non surveillé ou données manquantes). Les cartes de l'indicateur d'impact (taux de quantification ou fréquence de dépassement) permettent d'avoir une première vision spatio-temporelle de l'impact en comparant plusieurs périodes de manière visuelle. Le choix des périodes peut être adapté (modification des doses d'application ; mise en place de mesure de gestion ; évolution de la législation avec interdiction d'usages d'une substance ; etc.)

4- Indicateurs complémentaires

Evolution des concentrations en fonction du temps (ex. Illustration 73)

En fonction de l'historique de données disponibles, il est pertinent également de regarder l'évolution des concentrations au cours du temps ce qui peut donner un indicateur complémentaire d'évolution de l'impact. Ce graphique peut être réalisé pour le captage AEP et pour les éventuels autres qualitomètres présents sur le territoire de l'AAC.

Outil : outil graphique ADES (en ligne) pour les eaux souterraines ou outil graphique (excel, open office) pour représenter la concentration en fonction du temps ([concentration] = f(temps)) pour toute autre donnée.

Le graphique ainsi réalisé permet de visualiser l'évolution des concentrations au cours du temps, au droit du captage AEP et de tout autre point d'eau au sein de l'emprise de l'AAC.

Périodes les plus fréquentes de quantification (ex. Illustration 26, 27, 28, 29)

Sur une période donnée, dénombrer le nombre de quantification et/ou de dépassement d'une valeur seuil par mois. L'objectif est de regarder s'il existe une certaine saisonnalité dans la détection de la substance active et/ou de ses métabolites et de faire éventuellement le lien avec l'inertie de la nappe, les périodes de recharge et/ou les périodes d'application de la substance active.

(3) Diagnostic d'usage (évaluation de la pression) pour une SA (chapitre 3)

- 1- Identifier les usages autorisés sur <https://ephy.anses.fr/> pour chaque produit
 Pour les produits non autorisés, identifier les usages et la date de retrait des produits
 Pour les produits autorisés, identifier les cultures pour lesquelles l'application est autorisée

Exemple de la bentazone : Substance active approuvée

Deux exemples de produit contenant la substance active bentazone :

Nom	Autorisation	Date de 1 ^{ère} autorisation	Date de retrait du produit	Usages
BASAGRAN SG	✓	01/04/1997		Graines protéagineuses*Désherbage Haricots et Pois écosés frais*Désherbage Haricots et pois non écosés frais*Désherbage Fines Herbes*Désherbage Oignon*Désherbage Lin*Désherbage Maïs*Désherbage Maïs doux*Désherbage Porte graine*Désherbage PPAM - non alimentaires*Désherbage Soja*Désherbage
BENTA 480 SL	✗		19/01/2024	Graminées fourragères*Désherbage Légumineuses fourragères*Désherbage Maïs*Désherbage Maïs doux*Désherbage Sorgho*Désherbage
...				

Retracer l'historique des usages des doses d'application nécessite un travail de recherche bibliographique (Index Acta Phytosanitaire).

- 2- Télécharger les données du RPG <https://geoservices.ign.fr/rpg> sur la période concernée (2006-2020 retenue pour cette étude par exemple) sur le territoire concerné (région Pays de la Loire retenu pour cette étude par exemple)
 Sélectionner les cultures de chaque millésime sur le territoire de l'AAC concernée
 Outil : QGIS
- 3- A partir des cultures identifiées (cf. précédent tableau), identifier les cultures dans la nomenclature du RPG :
 - https://geoservices.ign.fr/sites/default/files/2021-07/DC_DL_RPG_1-0.pdf
Annexe B pour les millésimes antérieurs à 2015
 - https://geoservices.ign.fr/sites/default/files/2021-07/DC_DL_RPG_2-0.pdf
Annexe A pour les millésimes à partir de 2015

L'objectif est de sélectionner les cultures sur lesquelles la SA est autorisée d'usage en prenant en compte les années, si les usages ont évolué sur la période de référence.

- 4- Dans l'outil cartographique SIG, générer les rasters (un par année, maille 250 m X 250 m) des cultures où l'application de la SA est autorisée
S'il y a plusieurs cultures autorisées pour une même substance, il faut les compiler en un seul raster « cultures autorisées » pour n'avoir qu'un raster par année
Outil : QGIS 3 - Python Scripting (PyQGIS) - Model Graph

Résultats intermédiaires : un raster par culture et par année

- Raster culture 1 année 1 ; raster culture 2 année 1 ; raster culture 3 année 1 etc.
- Raster culture 2 année 1 : raster culture 2 année 2 ; raster culture 2 année 3 etc.
- Raster culture 3 année 1, etc.

Résultats finaux : un raster R par année qui somme les différentes cultures autorisées (culture 1 + culture 2 + culture 3, outil calculatrice raster)

- Raster R1 « cultures autorisées » année 1 = raster culture 1 année 1 + raster culture 2 année 1 + raster culture 3 année 1 ;
- Raster R2 « cultures autorisées » année 2 = raster culture 1 année 2 + raster culture 2 année 2 + raster culture 3 année 2
- Etc.

Les rasters produits dans le cadre de cette étude (région Pays de la Loire, période 2008-2020) sont disponibles et peuvent être utilisés directement. Les rasters produits dans le cadre du projet MELASSES (Auterives, 2023) à l'échelle de toute la France pour 46 substances actives et 37 métabolites sont également disponibles auprès du BRGM sous réserve d'accord de l'ANSES.

- 5- Télécharger les données de ventes/achats de produits phytosanitaires (source OAPP 2008-2012 et/ou BNV-D <https://ventes-produits-phytopharmaceutiques.eaufrance.fr/> à partir de 2013) sur la période concernée.
- 6- Télécharger la base officielle des codes postaux pour à l'échelle du territoire de l'AAC faire le lien entre code postal et code insee des communes
<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-officielle-des-codes-postaux/>

Code Postal	Code Insee	Communes
49000	49007	Angers
49000	49129	Ecouflant
49070	49020	Beaucouzé
49070	49298	Saint-Léger-de-Linières
49070	49294	Saint-Lambert-la-Potherie
49080	49035	Bouchemaine
...		

La correspondance entre code postal et code Insee sur le référentiel des communes le plus récent est aisé. Cependant le code postal dans la BNV-D n'est pas toujours bien renseigné et peut nécessiter des corrections manuelles. Le référentiel des communes évolue et parfois le code postal est ancien et n'existe plus, nécessitant là encore un traitement manuel de la donnée.

- 7- Distribuer les achats/ventes d'un territoire code postal pour une année donnée sur les cultures de l'emprise des communes concernée

(4) Connaître les propriétés du milieu

- **Carte de vulnérabilité** (Illustration 11) du territoire concerné, à défaut d'étude locale plus récente, utiliser les travaux de Gravier et Mardhel (2006).
- **Propriétés de l'aquifère sous-jacent** : Pour connaître les propriétés de l'aquifère concerné, il est nécessaire d'effectuer un travail de recherche bibliographique. Le site Infoterre ([Visualiseur InfoTerre](#)) peut permettre de localiser les différents ouvrages BSS et les différents points d'eau pour rechercher des données telles que les propriétés hydrogéologiques, le type d'aquifère, la perméabilité, la porosité, l'épaisseur de la zone non saturée, etc. Il est également nécessaire de rechercher les études antérieures existantes sur l'AAC ou à proximité, les rapports d'expertise, etc. qui peuvent être également sources d'informations pertinentes.
- **Temps de transfert et datation** : il n'existe aucune base de données qui collecte et met à disposition ce type d'informations, il est également nécessaire d'effectuer une recherche bibliographique d'études antérieures à l'échelle locale ou à l'échelle plus large de l'aquifère sous-jacent.

Les informations recherchées sont :

- Type d'aquifère
- Propriétés de perméabilité et/ou de porosité
- Informations sur des chemins préférentiels d'écoulement, hétérogénéité hydrogéologique (faille, conduits karstiques, etc.)
- Données de datation, de temps de transfert ou d'épaisseur de la zone non saturée

Tous ces éléments peuvent à l'échelle locale aider à l'interprétation des données quant au transfert de produits phytosanitaires (cf. chap. 5) et leurs métabolites vers les eaux souterraines et par conséquent les captages AEP.

Tous les éléments ainsi collectés permettent :

- (1) De vérifier la cohérence entre les substances actives et métabolites surveillés dans les eaux souterraines et les substances actives potentiellement utilisées sur le territoire de l'AAC ;
- (2) De réaliser des représentations cartographiques de l'impact (cf. atlas cartographique ESO, ex. : Illustration 8 et 9) et de la pression (ex. : Illustration 16 et 19) ; et de voir s'il y a une cohérence ou une incohérence entre les deux et de chercher les facteurs explicatifs ;
- (3) De réaliser des représentations graphiques de l'évolution temporelle de l'impact (ex. : Illustration 26) et de la pression (ex. : Illustration 24) ; et de voir s'il y a des périodes clefs (augmentation, diminution, présence spécifique à une période de l'année) et là encore de chercher des facteurs explicatifs ;
- (4) De réaliser des représentations graphiques de l'évolution temporelle de l'impact et de l'évolution de la nappe (ex. : Illustration 73) ; et de voir si la fréquence de suivi de la qualité des eaux vis-à-vis des substances actives est adaptée, et d'essayer d'identifier le rôle des fluctuations de la surface libre dans la détection de phytosanitaires dans les eaux souterraines.

L'objectif général est d'identifier les facteurs explicatifs à la présence de produits phytosanitaires dans les eaux souterraines pour pouvoir proposer des mesures de gestion pertinentes et adaptées. Une des premières mesures pourrait être d'adapter la surveillance pour avoir une meilleure connaissance de la dynamique des phytosanitaires dans les eaux souterraines.

Pesticides et leurs métabolites dans les eaux destinées à la production d'eau potable : état des lieux régional et pistes d'action

Un autre objectif de surveillance est d'identifier d'éventuelles tendances à la hausse et de proposer des mesures de gestion avant le dépassement des valeurs seuils.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale des Pays de la Loire

1, rue des Saumonières

BP 92342

44323 Nantes Cedex 3

www.brgm.fr