



**HAL**  
open science

## Interprétation des données de surveillance pour les produits phytopharmaceutiques dans les eaux de surface

Nadia Carluer, C. Malavaud, Claire Lauvernet, G. Le Hénaff, Véronique Gouy

### ► To cite this version:

Nadia Carluer, C. Malavaud, Claire Lauvernet, G. Le Hénaff, Véronique Gouy. Interprétation des données de surveillance pour les produits phytopharmaceutiques dans les eaux de surface. *irstea*. 2016, pp.138. hal-02605477

**HAL Id: hal-02605477**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02605477>**

Submitted on 16 May 2020

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

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



---

## **Convention de Recherche Développement**

Interprétation des données de surveillance pour  
les produits phytopharmaceutiques dans les eaux  
de surface

---

**Nadia Carluer, Cécile Malavaud, Claire Lauvernet, Guy Le Hénaff, Véronique  
Gouy**

Rapport final  
18 novembre 2016



## TABLE DES MATIERES

|       |   |    |
|-------|---|----|
|       | Principales abréviations .....  | 10 |
| 1     | Contexte et présentation de l'étude .....   | 11 |
| 2     | Interprétation des données de surveillance.....   | 14 |
| 2.1   | Les réseaux de surveillance .....   | 14 |
| 2.2   | Travaux préexistants sur les données de surveillance.....   | 14 |
| 2.2.1 | Contexte .....  | 15 |
| 2.2.2 | Données utilisées pour l'étude précédente .....   | 15 |
| 2.2.3 | Regroupement par zone géographique .....  | 15 |
| 2.2.4 | Variabilité des seuils.....   | 15 |
| 2.2.5 | Choix des descripteurs des données .....  | 15 |
| 2.2.6 | Interprétation des données .....  | 16 |
| 2.2.7 | Tests de différents regroupements spatiaux .....  | 16 |
| 2.2.8 | Limites identifiées à l'issue de cette étude préalable et axes à développer .....                                       | 18 |
| 2.3   | Interprétation des données relatives aux substances actives étudiées .....  | 18 |
| 2.3.1 | Les molécules étudiées .....  | 18 |
| 2.3.2 | Acquisition et prétraitement des données .....  | 22 |
| 2.3.3 | Description des données obtenues.....   | 23 |
| 2.3.4 | Regroupement par zone géographique .....  | 28 |
| 2.3.5 | Analyse des données, par substance active .....   | 29 |
| 2.3.6 | La pression phytosanitaire .....  | 68 |
| 3     | Mise en parallèle avec la méthode Arpèges .....   | 71 |
| 3.1   | Rappel du principe et des principales sorties possibles de la méthode ARPEGES.....                                      | 72 |
| 3.1.1 | Description de la méthode ARPEGES .....   | 73 |
| 3.1.2 | Calcul des données d'entrée par bassin versant local de la masse d'eau .....  | 78 |
| 3.1.3 | Types de résultats produits par la méthode ARPEGES.....   | 81 |
| 3.2   | Cartes de vulnérabilité intrinsèque .....   | 83 |
| 3.3   | Cartes de vulnérabilité spécifique (cas de l'isoproturon).....  | 86 |
| 3.4   | Cartes de pression d'usage (cas de l'isoproturon).....  | 88 |
| 3.5   | Carte de potentiel de contamination des eaux de surface (cas de l'isoproturon) .....                                    | 89 |
| 3.6   | Confrontation des cartes ARPEGES avec les données de surveillance : choix préalables .....                              | 90 |
|       | Exemple de résultats pour la confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance : cas de l'isoproturon :..... | 91 |
| 3.7   | Cas du 2-4D.....  | 93 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.7.1  | Cartes de vulnérabilité spécifique pour le 2-4D .....                                    | 93  |
| 3.7.2  | Cartes de pression d'usage pour le 2-4D.....   | 94  |
| 3.7.3  | Cartes de potentiel de contamination pour le 2-4D .....                                  | 95  |
| 3.7.4  | Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le 2-4D .....          | 95  |
| 3.8    | Cas du Chlortoluron .....  | 97  |
| 3.8.1  | Cartes de vulnérabilité spécifique pour le Chlortoluron .....                            | 97  |
| 3.8.2  | Cartes de pression d'usage pour le Chlortoluron.....                                     | 98  |
| 3.8.3  | Cartes de potentiel de contamination pour le Chlortoluron.....                           | 98  |
| 3.8.4  | Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le chlortoluron .....  | 99  |
| 3.9    | Cas du Diflufénicanil .....  | 101 |
| 3.9.1  | Cartes de vulnérabilité spécifique pour le Diflufénicanil .....                          | 101 |
| 3.9.2  | Cartes de pression d'usage pour le Diflufénicanil .....                                  | 102 |
| 3.9.3  | Cartes de potentiel de contamination pour le Diflufénicanil .....                        | 103 |
| 3.10   | Cas du Glyphosate .....  | 104 |
| 3.10.1 | Cartes de vulnérabilité spécifique pour le Glyphosate .....                              | 104 |
| 3.10.2 | Cartes de pression d'usage pour le Glyphosate.....                                       | 104 |
| 3.10.3 | Cartes de potentiel de contamination pour le Glyphosate.....                             | 106 |
| 3.10.4 | Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le Glyphosate .....    | 106 |
| 3.11   | Cas du Métazachlore .....  | 109 |
| 3.11.1 | Cartes de vulnérabilité spécifique pour le Métazachlore .....                            | 109 |
| 3.11.2 | Cartes de pression d'usage pour le Métazachlore.....                                     | 110 |
| 3.11.3 | Cartes de potentiel de contamination pour le Métazachlore.....                           | 110 |
| 3.11.4 | Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le Métazachlore .....  | 111 |
| 3.12   | Cas du Propyzamide .....   | 112 |
| 3.12.1 | Cartes de vulnérabilité spécifique pour le propyzamide .....                             | 112 |
| 3.12.2 | Cartes de pression d'usage pour le propyzamide.....                                      | 113 |
| 3.12.3 | Cartes de potentiel de contamination pour le propyzamide.....                            | 113 |
| 3.12.4 | Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le propyzamide .....   | 114 |
| 3.13   | Cas du S-métolachlore.....   | 116 |
| 3.13.1 | Cartes de vulnérabilité spécifique pour le S-métolachlore.....                           | 116 |
| 3.13.2 | Cartes de pression d'usage pour le S-métolachlore .....                                  | 117 |
| 3.13.3 | Cartes de potentiel de contamination pour le S-métolachlore .....                        | 117 |
| 3.13.4 | Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le S-métolachlore..... | 118 |
| 4      | Conclusion – Perspectives .....  | 120 |
| 5      | Références bibliographiques.....   | 122 |

|  |     |
|--|-----|
| Annexe 1: Différents types de réseaux de suivi et stratégies d'échantillonnage associées en cours d'eau .....  | 123 |
| Annexe 2: Carte des HER de niveau 1.....   | 124 |
| Annexe 3: Etude à l'échelle régionale .....  | 124 |
| Annexe 4: Prétraitement des données.....   | 124 |
| Annexe 5 : Nombre d'analyses par molécule.....   | 126 |
| Annexe 6: Variabilité des seuils de quantification .....   | 127 |
| Annexe 7: Carte du nombre d'analyses totales (sur la période 1997-2012) par HER modifiée .....   | 128 |
| Annexe 8 : Tableaux récapitulatifs des concentrations moyennes et nombres de quinzaines associées pour chaque substance et chaque HER modifiée de 2008 à 2012..... | 129 |
| Annexe 9 : Limites de classes des variables utilisées dans ARPEGES .....   | 132 |
| Annexe 10 : Cartes de vulnérabilité spécifique pour des molécules types, en périodes de Nappe Haute et Nappe Basse. ....   | 134 |
| Annexe 11 : récapitulatif des limites de classes de contamination retenues pour chaque substance étudiée .....   | 138 |
| Annexe 12 : Dynamique de contamination des matières actives étudiées, par HER, pour les années 2007 à 2012.....  | 138 |
| Annexe 13 : Cartes des potentiels de contamination .....   | 138 |

## Table des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : organigramme synthétique de la démarche générale adoptée dans le projet.....                                     | 13 |
| Figure 2: Découpage national en HER modifiées par la prise en compte de l'occupation du sol (OTEX) .....                    | 17 |
| Figure 3 : Position et dénomination des HER modifiées par la prise en compte de l'occupation du sol (OTEX) ..               | 17 |
| Figure 4 : Quantités nationales vendues par substance active (source: BNVD) .....   | 20 |
| Figure 5 : Nombre total d'analyses par an .....   | 23 |
| Figure 6 : Répartition spatiale des points de mesures .....   | 24 |
| Figure 7 : Nombre de points de mesures par année de suivi.....  | 25 |
| Figure 8 : Répartition temporelle intra-annuelle des analyses .....   | 26 |
| Figure 9 : Nombre d'analyses par intervenant.....   | 26 |
| Figure 10: Stratégie d'analyses par agence de l'eau .....   | 27 |
| Figure 11: Proportion de détections/quantifications.....  | 27 |
| Figure 12 : Nombre d'analyses par HER redécoupée rapporté à sa surface totale (unité : nombre d'analyses par hectare) ..... | 28 |
| Figure 13 : Nombre d'analyses par HER2 rapporté à sa surface totale (unité : nombre d'analyses par hectare)                 | 29 |
| Figure 14 : Principe du calcul de l'intégrale sous la courbe du 90ème centile .....   | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Figure 15: Courbe enveloppe pour la période d'étude de l'isoproturon .....  | 31 |
| Figure 16: Dynamique intra-annuelle de la contamination par l'isoproturon .....   | 32 |
| Figure 17: Répartition spatiale des analyses par HER modifiées pour l'isoproturon (numéros des HER détaillées dans le rapport entourés en bleu) .....   | 33 |
| Figure 18 : Dynamique de contamination pour l'isoproturon en Alsace .....   | 34 |
| Figure 19 : Dynamique de contamination pour l'isoproturon en Bretagne .....   | 34 |
| Figure 20 : Dynamique de contamination pour l'isoproturon en Ile de France .....  | 35 |
| Figure 21 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour l'Isoproturon selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f). .... | 37 |
| Figure 22 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du 2,4-D .....   | 38 |
| Figure 23: Dynamique intra-annuelle de la contamination par le 2,4-D.....   | 39 |
| Figure 24: Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le 2,4-D .....   | 39 |
| Figure 25 : Dynamique de contamination pour le 2,4-D pour la HER modifiée plateaux calcaire EST .....   | 40 |
| Figure 26 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le 2,4 D selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a et b) ou le seuil PNEC (carte c). ....     | 41 |
| Figure 27 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du glyphosate .....  | 42 |
| Figure 28 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le glyphosate .....  | 43 |
| Figure 29 : Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le glyphosate .....   | 43 |
| Figure 30: Dynamique de contamination pour le glyphosate de la HER vallée du Rhône-Méditerranée .....   | 44 |
| Figure 31: Dynamique de contamination pour le glyphosate dans le Beaujolais .....   | 44 |
| Figure 32 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le glyphosate selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f). .... | 46 |
| Figure 33: Courbe enveloppe pour la période d'étude de l'AMPA .....   | 47 |
| Figure 34: Dynamique intra-annuelle de la contamination par l'AMPA .....  | 47 |
| Figure 35 : Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour l'AMPA.....   | 48 |
| Figure 36: Dynamique de contamination pour l'AMPA dans l'HER vallée du Rhône-Méditerranée .....   | 49 |
| Figure 37 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour l'AMPA selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f). ....        | 50 |
| Figure 38 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du chlortoluron .....  | 51 |
| Figure 39 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le chlortoluron .....  | 51 |
| Figure 40 : Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le chlortoluron.....  | 52 |
| Figure 41 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en chlortoluron sur le plateau lorrain (HER 22) .....  | 53 |
| Figure 42 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en chlortoluron en Bretagne (HER 32).....  | 53 |
| Figure 43 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le chlortoluron selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f). .. | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Figure 44 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du diflufénicanil .....  | 56 |
| Figure 45 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le diflufénicanil.....   | 56 |
| Figure 46 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le diflufénicanil selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a) ou le seuil PNEC (carte b). ....     | 57 |
| Figure 47 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du métazachlore .....  | 57 |
| Figure 48 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le métazachlore .....  | 58 |
| Figure 49: Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le métazachlore.....   | 58 |
| Figure 50 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en métazachlore en Ile de France (HER 63).....   | 59 |
| Figure 51 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en métazachlore pour les Côteaux Aquitains (HER 41) .....  | 59 |
| Figure 52 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le métazachlore selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a) ou le seuil PNEC (carte b). ....       | 60 |
| Figure 53 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du propyzamide .....   | 61 |
| Figure 54 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le propyzamide .....   | 61 |
| Figure 55: Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le propyzamide.....  | 62 |
| Figure 56 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en propyzamide, en Flandres et Douai-Condé (HER 25).....   | 62 |
| Figure 57 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en propyzamide, dans les tables calcaires du sud Loire et Charentes-Poitou (HER 62) .....  | 63 |
| Figure 58 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le propyzamide selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a) ou le seuil PNEC (carte b). ....        | 64 |
| Figure 59 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du S-Métolachlore .....  | 65 |
| Figure 60 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le S-Métolachlore.....   | 65 |
| Figure 61: Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le S-Métolachlore .....  | 66 |
| Figure 62 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en S-Métolachlore en Ile de France (HER 63).....   | 66 |
| Figure 63 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le S-métolachlore selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f). .... | 68 |
| Figure 64 : Evolution des ventes des substances étudiées, de 2008 à 2012, en kilogrammes. Le glyphosate est porté sur l'axe de droite. (source : BNVD) .....  | 70 |
| Figure 65 : Schéma global de l'évaluation du potentiel de contamination par la méthode ARPEGES. ....  | 73 |
| Figure 66: Illustration de la notion de bassin versant de la masse d'eau (BVME). Données : Agence de l'eau Loire-Bretagne.....  | 74 |
| Figure 67 : Zones climatiques considérées par le modèle ARPEGES par bassin versant local des masses d'eaux. ....  | 75 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure 68 : Graphique du réseau bayésien ARPEGES. En vert les données d'entrée ; en violet, les vulnérabilités intrinsèques ; en orange, les vulnérabilités spécifiques et en bleu, les potentiels de contaminations appelés ici risques de contamination ..... | 77  |
| Figure 69 : Enchaînement des étapes dans la détermination des résultats au sein d'ARPEGES. Les cartes utilisées pour illustrer la démarche correspondent au cas de l'isoproturon en période de Nappe Haute.....   | 82  |
| Figure 70 : Cartes associées aux cartes de résultats ARPEGES .....  | 83  |
| Figure 71 : Cartes de vulnérabilité intrinsèque aux transferts par ruissellement, drainage et écoulements de subsurface, en périodes de Nappe Haute et de Nappe Basse. Cartes de niveau de confiance associées .....  | 86  |
| Figure 72 : Carte de la vulnérabilité spécifique via les transferts rapides (gauche) et les transferts lents (droite) pour l'isoproturon en période de nappe haute. ....  | 88  |
| Figure 73 : Cartes de pression d'usage de l'Isoproturon en 2012. a) Quantité annuelle par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute.....                                 | 89  |
| Figure 74 : Cartes de potentiel de contamination pour l'isoproturon .....   | 90  |
| Figure 75 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour l'isoproturon.....  | 92  |
| Figure 76 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le 2-4D .....  | 94  |
| Figure 77 : Cartes de pression d'usage du 2-4D en 2012. a) Quantité annuelle par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. Pas d'usage en période de Nappe Haute .....   | 94  |
| Figure 78 : Cartes de potentiel de contamination pour le 2-4D.....  | 95  |
| Figure 79 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le 2,4 D.....   | 96  |
| Figure 80 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le Chlortoluron.....   | 97  |
| Figure 81 : Cartes de pression d'usage du chlortoluron en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute.....                              | 98  |
| Figure 82 : Cartes de potentiel de contamination pour le Chlortoluron.....  | 99  |
| Figure 83 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le chlortoluron.....  | 100 |
| Figure 84 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le diflufénicanil. ....  | 101 |
| Figure 85 : Cartes de pression d'usage du diflufénicanil en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute.....                            | 102 |
| Figure 86 : Cartes de potentiel de contamination pour le diflufénicanil .....   | 103 |
| Figure 87 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le Glyphosate.....   | 104 |
| Figure 88 : Cartes de pression d'usage du Glyphosate en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute.....                                | 105 |
| Figure 89 : Cartes de potentiel de contamination pour le Glyphosate .....   | 106 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure 90 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le glyphosate. ....   | 108 |
| Figure 91 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le Métazachlore .....  | 109 |
| Figure 92 : Cartes de pression d'usage du Métazachlore en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. Pas d'usage en période de Nappe Haute.....                  | 110 |
| Figure 93 : Cartes de potentiel de contamination pour le Métazachlore .....   | 110 |
| Figure 94 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le métazachlore. ....   | 111 |
| Figure 95 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le propyzamide. ....   | 112 |
| Figure 96 : Cartes de pression d'usage de Propyzamide en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute..... | 113 |
| Figure 97 : Cartes de potentiel de contamination pour le propyzamide en période de Nappe Haute.....   | 114 |
| Figure 98 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le propyzamide. ....  | 115 |
| Figure 99 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le S-métolachlore.....   | 116 |
| Figure 100 : Cartes de pression d'usage du S-métolachlore en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. Pas d'usage en période de Nappe Haute ....               | 117 |
| Figure 101 : Cartes de potentiel de contamination pour le S-métolachlore en période de Nappe Haute .....  | 117 |
| Figure 102 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le S-métolachlore. ....  | 118 |
| Figure 103 : Vulnérabilité spécifique aux transferts rapides en période de Nappe Haute .....  | 134 |
| Figure 104 : Vulnérabilité spécifique aux transferts lents en période de Nappe Haute .....  | 135 |
| Figure 105 : Vulnérabilité spécifique aux transferts rapides en période de Nappe Basse.....   | 136 |
| Figure 106 : Vulnérabilité spécifique aux transferts lents en période de Nappe Basse.....   | 137 |

## Table des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : Usages autorisés des molécules étudiées (source: e-phy 2014) .....  | 19 |
| Tableau 2 : Caractéristiques environnementales des substances actives étudiées (Agritox, Avril 2014).....   | 21 |
| Tableau 3 : Particularités des bases de données des produits phytosanitaires.....   | 69 |
| Tableau 4 : Evolution des quantités de substances actives vendues, de 2008 à 2012, en kg. (source : BNVD) ...   | 70 |
| Tableau 5 : Correspondances entre les noms abrégés et le nom complet des variables (ou nœuds) intermédiaires et finales et le nom complet. ....   | 78 |
| Tableau 6 : Répartition temporelle des applications de substance active.....  | 80 |
| Tableau 7 : Données spatiales disponibles sur le territoire national utilisées pour évaluer les variables d'entrée d'ARPEGES. (BDGSF : Base de données géographique des sols de France, UCS : Unité cartographique de sol, BNVD : Base nationale des ventes de produits phytopharmaceutiques par les distributeurs agréés, HER : Hydro-écocorégion, OS : Occupation du sol) ..... | 81 |

## Principales abréviations

ARPEGES : Analyse de Risque Pesticides pour la Gestion des Eaux de Surface

DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DOM : Départements d'Outre-Mer

DRAAF : Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DT50 : demi-vie (= durée nécessaire à la dégradation ou à la dissipation de 50% d'une substance)

HER : Hydro-Eco-Région.

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

Koc : Coefficient de partage eau/carbone organique

LD : Limite de Détection

LQ : Limite de Quantification

MES : Matière En Suspension

Otex : Orientations technico-économiques des exploitations

PNEC : Predicted No Effect Concentration

RCS : Réseau de Contrôle de Surveillance

RNB : Réseau National de Bassin

SAU : Surface Agricole Utile

SIG : Systèmes d'Information Géographique

SISE-Eau : base des données analytiques du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine

SOEs : service de l'Observation et des Statistiques, ministère chargé de l'Environnement

# 1 CONTEXTE ET PRESENTATION DE L'ETUDE

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une coopération entre l'ANSES et Irstea. Il est mené afin d'explorer en quelle mesure les méthodologies développées par Irstea en termes d'analyse des données de surveillance de la contamination des eaux de surface par les pesticides et d'évaluation des causes (méthode Arpèges) pourraient contribuer à améliorer l'exploitation de ces données par l'ANSES, notamment dans le cadre de la phytopharmacovigilance. Dans le cadre de cette étude, on se focalise sur un panel de substances en cours de ré-examen, d'intérêt pour l'ANSES : le glyphosate, l'isoproturon, le 2,4 D, le chlortoluron, le S-métolachlore, le diflufénicanil, le métazachlore et le propyzamide.

Deux axes de travail sont menés conjointement afin, (1) d'une part de caractériser l'exposition des eaux de surface aux substances actives d'intérêt, à la fois aux niveaux spatial et temporel, et (2) d'autre part de mieux appréhender les déterminants possibles à la contamination observée, selon le cas (caractéristiques du milieu physique, caractéristiques environnementales de la substance active considérée, pression d'usage de la substance) :

1. Le premier axe s'appuie sur l'adaptation de la méthodologie existante d'interprétation des données de surveillance (1997-2006) de l'état de la contamination des eaux de surface par les pesticides à l'échelle des hydro-écorégions (Gauroy et al. 2012), pour rendre compte des nouvelles données acquises depuis 2007, et en se focalisant sur les substances d'intérêt citées plus haut. Cette étape comprend à la fois l'acquisition, le pré-traitement et l'analyse par substance des données de surveillance nationale mises à jour. Elle doit déboucher sur une meilleure caractérisation des dynamiques spatio-temporelles de contamination<sup>1</sup> des eaux de surface par les substances considérées au travers, notamment, de la production de courbes enveloppes de contamination à l'échelle des hydro-écorégions. Ces courbes permettront d'identifier **des tendances et dynamiques types à cette échelle**, et de donner **des éléments quantitatifs permettant de hiérarchiser** en partie les situations (année et/ou HER) entre elles.
2. Le deuxième axe passe par la mise en œuvre de la méthode ARPEGES<sup>2</sup> (Analyse de Risque Pesticides pour la Gestion des Eaux de Surface) afin d'approfondir l'identification des causes possibles de la contamination. Cette méthode, initialement élaborée pour un mélange de substances est ici envisagée par substance. Ceci permet de dégager des **typologies de transfert**, en fonction des propriétés de chaque substance étudiée et de mettre en regard le potentiel de contamination déterminé par ARPEGES et les concentrations observées via le réseau de surveillance. Cette approche permet ainsi d'identifier les types d'actions correctives pertinents pour limiter les transferts selon les principales voies de contamination en jeu.

L'étude est menée de manière cohérente sur la France entière : l'objectif est de pouvoir discerner les différences majeures sur le territoire national. Ainsi, ce travail n'est pas représentatif de spécificités et discriminations pouvant être mises en évidence à des échelles plus fines. Les résultats obtenus doivent être interprétés dans cette optique. À l'issue de la mise en œuvre de ces deux méthodologies (état de contamination des eaux issu des données d'observation du SOeS versus cartes ARPEGES), une analyse croisée

---

<sup>1</sup> Le terme de contamination est ici entendu au sens d'exposition ou concentration en substance active dans le milieu aquatique (eau de surface), sans préjuger de l'impact de la substance sur les organismes ou l'environnement.

<sup>2</sup> Méthode développée antérieurement à ce projet dans le cadre d'une collaboration entre Irstea et l'Onema et avec le soutien financier du programme Ecophyto.

des résultats obtenus par chacune est proposée afin d'évaluer leur cohérence et éventuellement identifier les besoins d'amélioration de chacune.

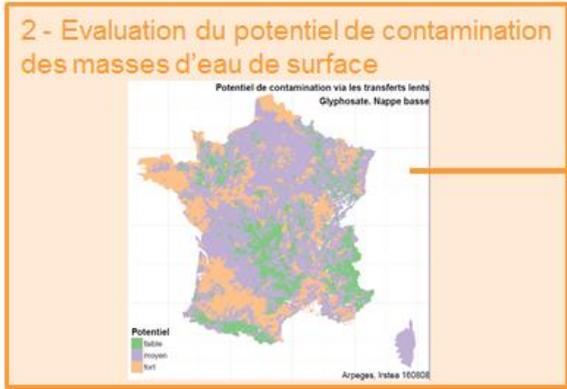
Ce rapport présente dans une première partie les résultats de l'étude des données de surveillance (axe 1 ci-dessus). Les différents réseaux de surveillance dont sont issues les données analysées sont d'abord présentés, ainsi que la méthode d'analyse initiale développée au sein d'Irstea. On décrit ensuite les données actuellement disponibles utilisées dans cette étude : mode d'acquisition, prétraitement et analyse globale de leur contenu. L'interprétation des données relatives à chaque substance active est ensuite rapportée. La méthode initiale a été complétée par le calcul d'une contamination moyenne, par année et par entité géographique d'analyse, qui permet de comparer les situations entre elles, tout en indiquant le degré de confiance que l'on peut attribuer à cette grandeur (reflet de la quantité de données disponibles par entité géographique pour chaque substance étudiée). L'analyse a porté sur les données 2007 à 2012 à l'échelle nationale, et s'est plus particulièrement focalisée sur les années 2011 et 2012 pour l'analyse par entité géographique<sup>3</sup>.

La méthode ARPEGES d'évaluation du potentiel de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires est ensuite présentée dans une deuxième partie, ainsi que les résultats de son application pour chacune des substances actives étudiées dans le cadre de ce projet. La mise en œuvre de cette méthode passe par l'élaboration de cartes intermédiaires : vulnérabilité intrinsèque pour les différents types d'écoulements, selon les caractéristiques du milieu ; vulnérabilité spécifique selon les caractéristiques physico-chimiques des substances actives, carte de pression d'usage des substances. Chacune de ces cartes intermédiaires peut être interprétée en tant que telle, et contribuer à apporter des éléments pour l'identification des principaux facteurs en cause dans le potentiel de transfert final estimé. Le travail a été effectué ici pour l'année 2012 (pour ce qui concerne l'occupation du sol et les usages de produits phytosanitaires). L'échelle de restitution est ici le bassin versant local de la masse d'eau (BVME, environ 9000 sur le territoire métropolitain, cf Figure 66), c'est-à-dire le bassin versant alimentant « spécifiquement » chaque masse d'eau au sens DCE. Compte tenu de la faible résolution spatiale des données relatives aux usages des produits phytosanitaires, les résultats doivent toutefois être interprétés avec précaution à ce niveau de résolution, l'échelle de la HER paraissant plus réaliste.

Pour chaque substance, on confronte alors les résultats issus de l'interprétation des données de surveillance et les cartes de potentiel de contamination issues du modèle ARPEGES. Cette confrontation doit permettre d'identifier les apports et limites de leur mise en œuvre conjointe, et proposer quelques pistes d'amélioration.

---

<sup>3</sup> Ces entités sont les Hydro Eco Régions (HER) telles que définies par Wasson et al (2012) sur la base de critères de géologie, de climat et de relief qui assure une certaine homogénéité de fonctionnement hydrologique au sein d'une HER. Elles sont présentées de façon plus détaillées plus loin.



**3 – Confrontation des résultats des deux méthodes**  
 ⇒ Conclusions, avantages et limites des méthodes, perspectives d'amélioration

Figure 1 : organigramme synthétique de la démarche générale adoptée dans le projet

## 2 INTERPRETATION DES DONNEES DE SURVEILLANCE

### 2.1 Les réseaux de surveillance

Les réseaux de surveillance de la qualité des eaux de surface en France sont multiples. Ils peuvent être séparés en deux catégories : ceux pour le contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine et ceux de suivi général de la qualité des eaux de surface.

**Les eaux destinées à la consommation humaine** sont régulièrement contrôlées par les producteurs et les **DDASS** (direction départementale des affaires sanitaires et sociales), remplacées par les Agences Régionales de Santé depuis 2010. Les données sont collectées et stockées dans la base SISE-eau. La fréquence d'analyses dépend du nombre de personnes alimentées par le captage ; plus celui-ci est important, plus il y a de prélèvements.

Pour les analyses générales de suivi de la qualité des eaux de surface, on peut distinguer deux périodes, pour lesquelles l'organisation des réseaux d'analyses diffère. En effet, ceux-ci ont été réorganisés en 2006 pour répondre aux attentes du suivi de l'état des masses d'eau par la DCE.

**Avant 2007**, chaque Agence de l'Eau gère indépendamment la surveillance au sein du **Réseau National de Bassin (RNB)**. Puis à ce réseau principal, s'ajoutaient des réseaux complémentaires (de bassin, de département ou certains initiés par les conseils généraux...). Les stations de mesure changeaient régulièrement de place et les fréquences d'échantillonnage étaient très hétérogènes.

**À partir de 2007**, différents réseaux ont été mis en place selon les exigences de la DCE. Le **réseau de contrôle de surveillance**, géré par les agences de l'eau, a pour objectif le diagnostic représentatif de la qualité des masses d'eau françaises. Les stations sont fixes afin d'évaluer l'évolution de la contamination dans le temps. Pour les substances prioritaires de la DCE, la fréquence minimale d'analyse est de 12 fois par an. Pour les autres substances elle est de 4 fois par an tous les 3 ans sur 25% des stations du territoire. Le **réseau de contrôle opérationnel** vise le suivi spécifique des masses d'eau dégradées ou à risque. Les analyses sont réalisées pour les paramètres de déclassement ou ceux pour lesquels un risque de non-atteinte du bon état est identifié. Le **réseau de contrôle d'enquête** cible les pollutions accidentelles ou celles dont on ignore la cause. Le **réseau de contrôle additionnel** est dédié à certaines zones protégées lorsque les masses d'eau risquent de ne pas atteindre le bon état. Il reste toujours des **réseaux spécifiques** parallèles qui sont focalisés sur la surveillance vis-à-vis des pesticides et mis en place par les conseils généraux, les DREAL et les DRAAF notamment. L'année 2007 constitue donc une année de transition, où le nouveau réseau a été stabilisé.

Selon le statut de la substance (prioritaire, pertinente ou non), le niveau de suivi des molécules est différent (voir tableau récapitulatif Annexe 1). Une partie des molécules abordées dans cette étude a un statut particulier au niveau national ou européen. Cela assure un suivi plus prononcé de leur présence dans les eaux de surface. Ainsi, le chlortoluron et le 2,4-D font partie des substances spécifiques de l'Etat écologique dans le cadre de la DCE. L'isoproturon fait partie des 33 substances prioritaires définies dans l'annexe 10 de la DCE. Au niveau national, le 2,4-D, le métazachlore, le chlortoluron et le diflufénicanil sont classés comme substances pertinentes, ce qui induit un objectif de réduction de pollution des eaux par la mise en place de programmes nationaux.

### 2.2 Travaux préexistants sur les données de surveillance

Tout au long du rapport, les termes station et point de mesures seront utilisés indifféremment pour décrire un point de cours d'eau où des analyses ont été réalisées.

## 2.2.1 Contexte

Une méthode a été mise au point en 2010 afin d'approfondir l'interprétation des données de surveillance phytosanitaires produites par le SOeS (Gauroy *et al.*, 2009, 2011 et 2012-a). En effet, une approche nouvelle était nécessaire pour répondre aux difficultés d'interprétation dues à la multiplicité des réseaux de surveillance et à leurs limites spécifiques. En particulier, pour chacun d'eux, le nombre de molécules suivies, la nature de celles-ci, la fréquence des analyses, les seuils de quantification et de détections sont très hétérogènes en fonction des régions et des années.

Les objectifs de l'étude menée en 2010 étaient de développer une méthode qui permette, à partir des données d'observation existantes, de mieux caractériser la contamination des eaux de surface et son évolution selon des patrons d'exposition enveloppe types par zone considérée : ces informations peuvent contribuer à discriminer les territoires selon les niveaux et périodes types d'exposition identifiés et, ainsi, à améliorer les plans de surveillance.

## 2.2.2 Données utilisées pour l'étude précédente

La base de données, ayant servi à mettre au point la méthode (Gauroy *et al.*, 2011 et 2012-a), a été réalisée et transmise par le SOeS : elle regroupe les données des réseaux de surveillance de connaissance générale de 1997 à 2006 (les données des DDASS ne sont pas incluses dans la base). Avant de passer à l'analyse, un traitement important a été réalisé pour la préparer. Un constat majeur est que ces données sont très hétérogènes temporellement et spatialement.

## 2.2.3 Regroupement par zone géographique

L'étude préalable a montré que l'analyse station par station n'est pas satisfaisante pour évaluer une dynamique et des tendances car il n'y a pas assez de données par point de mesures et celles-ci sont trop hétérogènes pour conduire à des résultats facilement interprétables. Le regroupement par zone géographique a été envisagé pour pallier ces difficultés. **L'analyse ne vise donc plus à identifier la dynamique de contamination fine et spécifique d'une station donnée mais elle fournit une courbe enveloppe théorique de la zone considérée.** Les facteurs environnementaux principaux dans le transfert des pesticides étant la géomorphologie, le climat, la pédologie et l'hydrologie du milieu, un découpage géographique prenant en compte ces paramètres a été choisi. Les HER (Hydro-EcoRégions) ont été définies dans le cadre d'une approche régionale de la typologie des écosystèmes des cours d'eau afin de caractériser les peuplements invertébrés (Wasson *et al.*, 2002). Ce sont des unités géographiques dont les limites se basent sur la géologie, le relief et le climat (voir carte en annexe 2). Cette maille a donc été choisie, dans un premier temps, comme base de l'analyse.

## 2.2.4 Variabilité des seuils

Pour décrire la contamination, la variabilité des seuils d'analyses en fonction des laboratoires, des molécules et de la période reste un problème. Dans cette étude, il a été choisi de considérer pour toutes les analyses, une concentration de 0 s'il n'y avait pas de détection et la moitié de la valeur du seuil de quantification s'il y avait une détection non quantifiée.

## 2.2.5 Choix des descripteurs des données

Le choix des descripteurs pour les données a été étudié par Gauroy *et al.* (2011 et 2012-a). Préalablement, il a paru pertinent aux auteurs de regrouper les analyses par périodes de 15 jours pour avoir une estimation plus robuste et synthétique. La moyenne n'est pas très sensible aux concentrations élevées car il y a beaucoup de zéro dans les analyses, elle n'a donc pas été conservée. Comme les taux de quantification sont faibles, la médiane ne permet pas de mettre en évidence les contaminations importantes. Des tests ont été menés pour

le 90<sup>ème</sup> centile et le taux de concentrations supérieures à 0,1µg/L. La borne de 0,1µg/L a été choisie car 98% des seuils de quantification sont égaux ou inférieurs à cette valeur. Ce descripteur ne donne cependant pas d'indication sur le niveau de la contamination. Ces deux descripteurs complémentaires (taux de quantifications et 90<sup>ème</sup> centile) sont donc apparus comme pouvant être de bons indicateurs complémentaires pour décrire la contamination. Une cohérence entre ces deux grandeurs a été mise en évidence.

## 2.2.6 Interprétation des données

Dans l'étude précédente, une analyse sur **toutes les molécules** confondues a été menée sur la France à l'échelle de la HER. Le pourcentage de concentrations supérieures à 0,1µg/L est très hétérogène spatialement. Ces résultats restent disparates même quand on retire de l'analyse les zones montagneuses, non concernées par les applications de pesticides. Par ailleurs, les résultats observés reflètent uniquement la contamination pour les molécules les plus recherchées.

Lors d'analyses molécule par molécule, les contaminations observées sont cohérentes avec les usages, notamment certaines évolutions majeures (réduction de dose, interdiction d'usage) et avec les caractéristiques climatiques. En particulier, on note une baisse voire une disparition des détections des substances actives après les interdictions des produits les contenant. Pour les molécules encore autorisées, on peut mettre en évidence des décalages temporels au niveau des pics de contamination entre l'ouest et l'est de la France, qui correspondent à la différence entre les périodes d'applications dues aux variations climatiques.

Une des limites de l'analyse présentée ci-dessus est que certains cours d'eau, dits exogènes, prennent leur source dans une HER différente. Ainsi, la contamination mise en évidence par les analyses n'est pas forcément issue de l'HER étudiée.

Une étude régionale a également été menée, celle-ci est décrite en annexe 3. La démarche est intéressante à approfondir mais les données sont actuellement trop disparates temporellement et spatialement pour obtenir des résultats significatifs et exploitables.

## 2.2.7 Tests de différents regroupements spatiaux

Cette même étude préalable a montré que le découpage en HER était pertinent car il est basé sur les propriétés favorisant le transfert. Cependant, des différences importantes de dynamiques de contamination des eaux à l'intérieur d'une même HER ont été constatées, les plateaux calcaires en sont un exemple. Ceci a été attribué à l'hétérogénéité de l'occupation du sol au sein de certaines HER relativement étendues.

Wasson et al (2012) avaient initialement regroupé les 121 HER de niveau 2 qu'ils avaient identifiées sur le territoire national en 22 HER de niveau 1, suffisamment homogènes pour l'analyse qui les intéressait, et qui portait sur les habitats pour les organismes aquatiques. Ce regroupement n'est toutefois pas apparu complètement satisfaisant pour notre étude, notamment parce que l'occupation du sol pouvait être assez hétérogène à l'intérieur d'une même HER de niveau 1. La maille des HER de niveau 2 étant apparue trop fine pour que le nombre de stations et de prélèvements soit suffisant pour mener les analyses statistiques pour l'ensemble des molécules étudiées, un autre regroupement a été testé pour mieux prendre en compte la pression phytosanitaire que ne le faisaient les HER1 originelles. Il se base sur un regroupement des HER2 adjacentes en fonction des OTEX (orientations technico-économiques des exploitations) majoritaires du territoire. Les OTEX reflètent en grande partie l'occupation du sol et les pratiques agricoles qui leur sont associées, puisqu'elles rendent compte des systèmes de culture dominants. Les analyses s'appuyant sur ce regroupement ont été jugées pertinentes et ce découpage est donc gardé dans la suite de l'étude. Compte tenu de la spécificité des pratiques phytosanitaires en vigne, on a notamment veillé à mettre en exergue les vignobles, quand la carte des OTEX indiquait une forte présence de vignobles sur les HER2 considérées, en ne les regroupant alors pas avec d'autres HER2 aux OTEX moins viticoles. Le nouveau regroupement est illustré sur la carte ci-dessous, qui montre bien l'adéquation HER « nouvelles » et OTEX. La Figure 3 donne les noms associés à ces entités, qui seront dans la suite indifféremment appelées HER modifiées, ou HER.

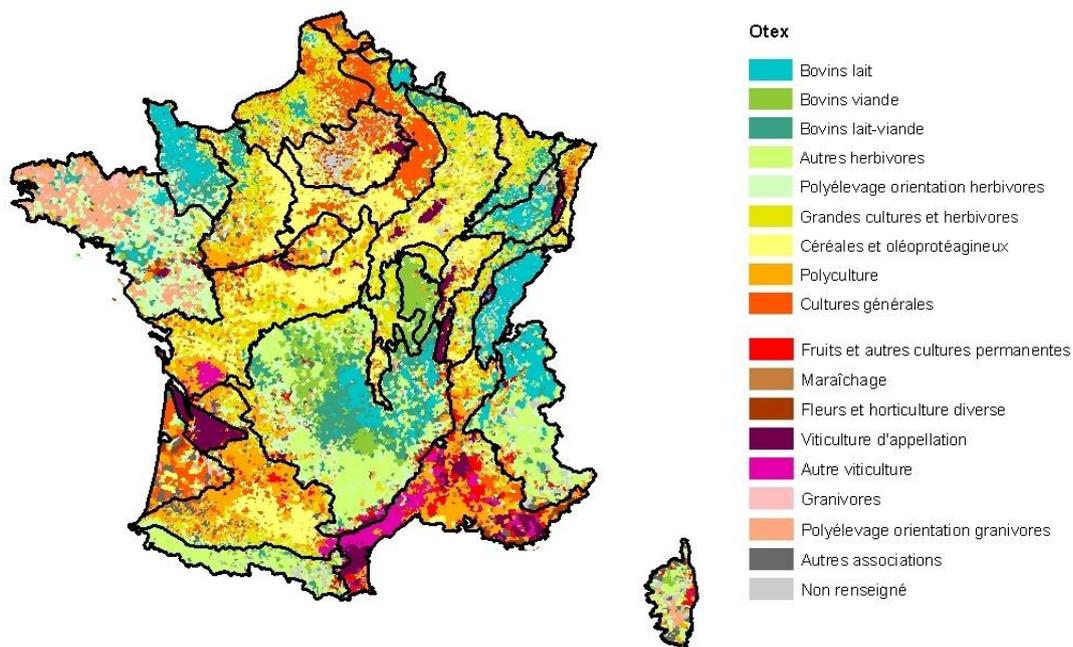


Figure 2: Découpage national en HER modifiées par la prise en compte de l'occupation du sol (OTEX)

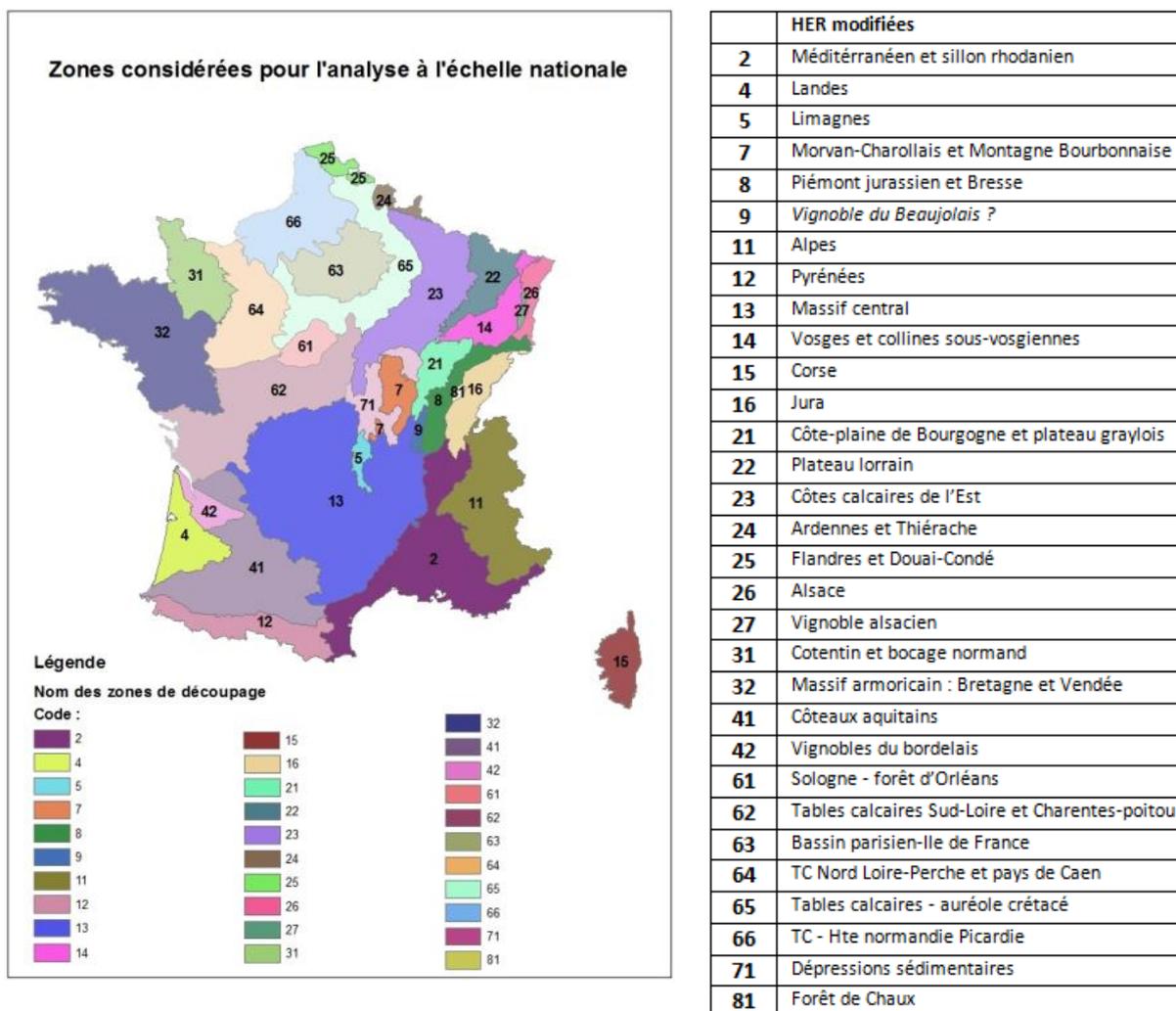


Figure 3 : Position et dénomination des HER modifiées par la prise en compte de l'occupation du sol (OTEX)

## 2.2.8 Limites identifiées à l'issue de cette étude préalable et axes à développer

De nouvelles données ont été collectées depuis le travail décrit ci-dessus, et correspondent à la période postérieure à la mise en œuvre d'un réseau de surveillance stable (post-2007). Il est donc essentiel de les ajouter dans la présente étude, en s'appuyant essentiellement sur le même type de méthode d'analyse, qui a montré son intérêt.

Le regroupement géographique est réalisé à l'échelle de la HER modifiée par la prise en compte de l'occupation du sol (au sens des OTEX), afin que les données incluses dans une unité spatiale d'analyse se rapportent à des caractéristiques du milieu et un usage des phytosanitaires le plus homogènes possible. Par ailleurs, le nombre disparate d'échantillons et de points de surveillance selon les substances, ainsi que la grande palette de leurs propriétés physico-chimiques et d'usages, n'ont pas permis de mettre en exergue des tendances précises sur le potentiel de contamination lié à l'ensemble des molécules utilisées en lien avec les usages dans l'étude de Gauroy et al. La présente étude, ciblée sur quelques substances considérées isolément, doit permettre de dépasser ces limites.

## 2.3 Interprétation des données relatives aux substances actives étudiées

### 2.3.1 Les molécules étudiées

Cette étude porte sur le 2,4 D, le chlortoluron, le diflufénicanil, le glyphosate (et son métabolite l'AMPA), l'isoproturon, le métazachlore, le propyzamide et le S-métolachlore.

L'intégralité des molécules étudiées sont des herbicides. Cette catégorie de substances représentait un peu plus de 40% des analyses effectuées de 1997 à 2006 et environ 90% des quantifications totales (Gauroy *et al.*, 2009, 2011 et 2012-a).

#### 2.3.1.1 Usages autorisés

Les usages agricoles et non agricoles autorisés pour chaque molécule sont divers ; ils sont résumés dans le Tableau 1.

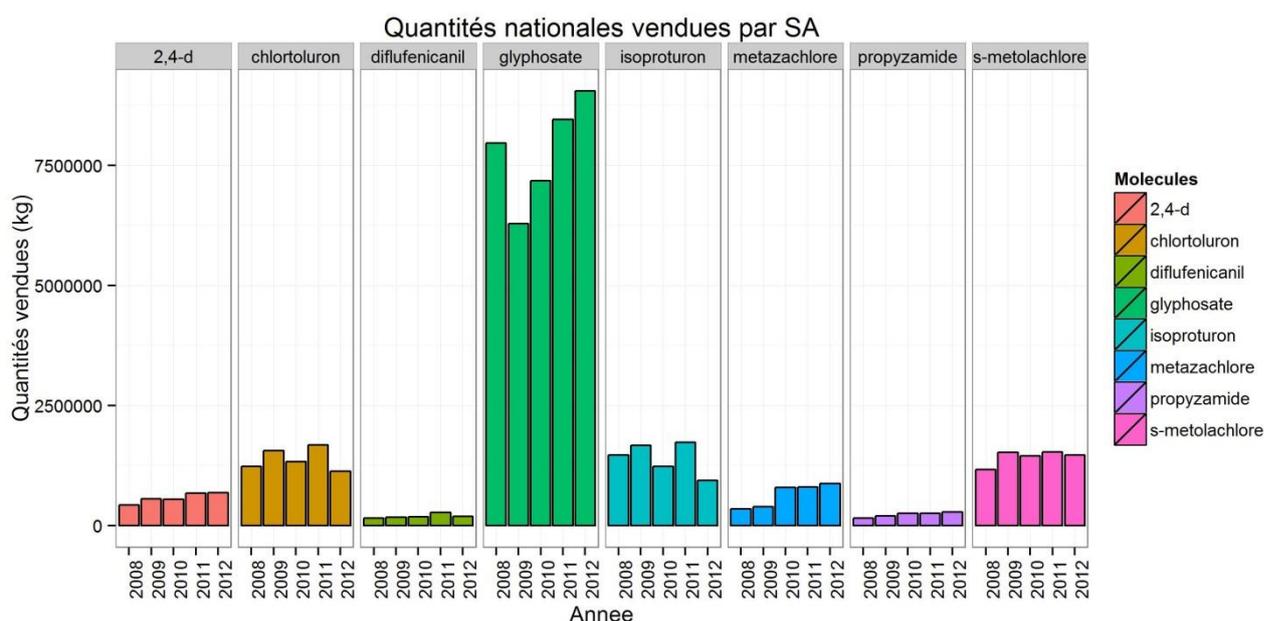
Tableau 1 : Usages autorisés des molécules étudiées (source: e-phy 2014)

| substances actives | usages  |
|--------------------|---|
| 2,4 D              | arboriculture, asperges, avoine, blé, canne à sucre, cultures florales, gazons, maïs, orge, plantes aromatiques, bulbes ornementaux, seigle, sorgho, triticales, traitements généraux   |
| chlortoluron       | blé, orge   |
| diflufénicanil     | blé, triticales, seigle, orge, arbres et arbustes d'ornement, traitements généraux (trottoirs usages amateurs...)   |
| glyphosate         | arboriculture, vigne, jachère, rosier, légumineuse, maïs, traitements généraux (voies publiques, cimetière...), jardins particuliers  |
| isoproturon        | blé, lavande, seigle, orge, triticales, cultures porte-graines mineures   |
| métazachlore       | chou, colza, moutarde, navet rutabaga, tournesol, plantes aromatiques, cultures porte graines mineures  |
| propyzamide        | Colza, arboriculture, artichaut, cardon, chicorée, chou, ciboulette, forêt, cultures florales diverses, culture porte graines mineures, vigne, tournesol, soja, salade, pissenlit, groseilliers, rosiers, luzerne, lentilles, plantes aromatiques |
| S-métolachlore     | ananas, betterave, canne à sucre, cultures porte-graines mineures, haricot, maïs, soja, sorgho, tournesol   |

### 2.3.1.2 Quantités vendues en France

La BNVD (Banque nationale des ventes pour les distributeurs) est une base de données qui recense toutes les ventes soumises à redevance depuis 2008 sur le territoire français. Grâce à celle-ci, il est possible d'obtenir les

quantités vendues des substances actives étudiées, comme illustré ci-dessous :



**Figure 4 : Quantités nationales vendues par substance active (source: BNVD)**

Le glyphosate est la substance la plus vendue (parmi les substances étudiées) sur le territoire national. Ceci peut être expliqué par le fait qu’il possède à la fois des AMM (Autorisations de Mise sur le Marché) pour des usages agricoles et non agricoles. Pour le monde agricole, il est devenu une nécessité compte tenu des nouveaux itinéraires techniques les plus développés, comme le non-labour par exemple. Cette molécule ne rencontre presque aucune résistance, ce qui est un argument favorisant son utilisation.

La quantité vendue des autres molécules étudiées est en moyenne 5 fois inférieure à celle du glyphosate. Le diflufenicanil et la propyzamide sont les substances actives les moins vendues.

Pour ce qui est de l’évolution des quantités annuelles vendues de 2008 à 2012, aucune tendance franche ne se dégage pour la majorité de ces molécules. Parmi les facteurs entrant en jeu pour expliquer la variabilité inter-annuelle des ventes, les effets de stocks de produits et les effets de l’hétérogénéité du climat en fonction des années peuvent avoir une influence non négligeable. En l’absence de prise en considération de ces facteurs, il est donc ardu de tirer des conclusions quant à d’éventuelles tendances. On pourrait tout de même conclure à une légère hausse des quantités vendues de glyphosate mais il faudrait vérifier si cette tendance se confirme dans les années à venir.

### 2.3.1.3 Propriétés des molécules

Les principales caractéristiques environnementales des molécules étudiées sont résumées dans le Tableau 2. Elles permettent d'émettre des hypothèses sur les substances quant à leur devenir dans l'environnement et leur potentialité à rejoindre les eaux de surface.

Tableau 2 : Caractéristiques environnementales des substances actives étudiées (Agritox, Avril 2014)

| Substance      | Solubilité (mg/L) | K <sub>roc</sub> moyen (mL/g) | DT50 moyenne (jours) | PNEC (µg/L) |
|----------------|-------------------|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Glyphosate     | 10 500            | 21 699                        | 19                   | 60          |
| AMPA           | *                 | 8 027                         | 142                  | 898         |
| 2,4-D          | 44 558            | 78.5                          | 20.4                 | 58          |
| Isoproturon    | 70.2              | 122                           | 11.9                 | 4.6         |
| Chlortoluron   | 74                | 183                           | 15                   | 10          |
| S-métolachlore | 480               | 226                           | 14.5                 | 6.7         |
| Diflufénicanil | <0.05             | 3417                          | 128                  | 0.25        |
| Métazachlore   | 450               | 110                           | 6.8                  | 5.6         |
| Propyzamide    | 9                 | 688                           | 42                   | 60          |

\* Donnée non disponible

Le glyphosate et l'AMPA son métabolite ont des propriétés similaires. Ils sont à la fois fortement solubles et adsorbés par les particules du sol. Au vu de cette dernière propriété, le glyphosate devrait surtout être présent dans les eaux de surface dans les secteurs ruisselants, pouvant entraîner des charges particulières (notamment en limons) contaminantes.

Le 2,4-D est très soluble et peu adsorbé sur les particules du sol. D'après ses propriétés, on s'attend à le retrouver dans les eaux de surface. L'isoproturon est également peu adsorbé.

Le diflufénicanil est très peu soluble et a une forte affinité pour les particules du sol. En revanche il est relativement persistant. Il est susceptible d'être mobilisé en très faibles quantités dans les eaux de surface, mais sur une période pouvant dépasser l'année d'application.

### 2.3.1.4 Les métabolites

Après discussion lors du point d'avancement en mars 2014, il a été décidé que le seul métabolite étudié est l'AMPA (métabolite du glyphosate). On peut cependant souligner qu'il existe des données de surveillance pour d'autres métabolites comme par exemple le desméthyl-isoproturon (métabolite de l'isoproturon). Même si ces dernières sont sûrement plus fragmentaires que pour la molécule mère, on peut se poser la question de la pertinence de les prendre aussi en compte afin d'obtenir une évaluation plus complète de son devenir.

### 2.3.1.5 Cas particulier du S-métolachlore

Le métolachlore a été l'un des herbicides les plus épandus dans le monde, principalement pour la culture du maïs. Il est encore fréquemment retrouvé dans les eaux de surface. Cette substance a deux énantiomères R et S présents en proportions équivalentes ; ses propriétés herbicides sont toutefois uniquement liées à la forme S-métolachlore. De ce fait, les anciens produits contenant du métolachlore ont été interdits en France en août 2002, et seuls les produits de synthèse industrielle contenant très majoritairement du S-métolachlore sont

autorisés aujourd'hui. Ils permettent ainsi une diminution des quantités appliquées pour un effet équivalent. Cependant, au niveau des réseaux de surveillance, cette substance est souvent seulement désignée par son nom, sans précision de la forme R ou S considérée. Dans ce cas, il est fort probable que l'on soit en présence d'un mélange des formes R et S car les analyses enquêtant un énantiomère particulier sont plus chères. Il a donc été choisi dans cette étude d'analyser à la fois les données relatives au métolachlore (sans autre précision) et celles relative au S-métolachlore.

## 2.3.2 Acquisition et prétraitement des données

### 2.3.2.1 Acquisition des données

Les données ont été acquises par l'intermédiaire du SOeS, qui est le service statistique du ministère du développement durable. Ce dernier collecte tous les ans les données de surveillance auprès des producteurs, ainsi que les informations sur le référentiel des points de mesure. Les analyses ont été obtenues de 1997 à 2012. Jusqu'à 2006, la base contient les données des Réseaux de Bassins Nationaux ainsi que les réseaux complémentaires spécifiques ponctuels et régionaux. A partir de 2007, les données recueillies sont uniquement celles transmises par les Agences de l'Eau.

### 2.3.2.2 Prétraitement

Les bases ainsi récupérées ont nécessité un important travail de nettoyage et de vérification de la cohérence des données afin de pouvoir être utilisées. Le traitement a été réalisé sur l'ensemble de la période disponible malgré les travaux précédents, pour assurer l'homogénéité du travail.

Dans un premier temps, il a été choisi de garder les réseaux spécifiques régionaux pour augmenter le nombre de données et ainsi obtenir une analyse plus consistante. Une nouvelle base de données a donc été créée, qui ne contient que les informations relatives aux produits phytosanitaires concernés par la présente étude. Les analyses réalisées sur eaux brutes sont les seules à avoir été conservées dans cette base. Comme déjà évoqué plus haut, il y a très peu d'analyses pour le S-métolachlore et les analyses concernant le métolachlore ont donc également été incluses dans la base de données.

#### **Exemples de situations ayant nécessité la réalisation d'un pré-traitement :**

Divers problèmes dans la base de données ont été recensés, comme la présence :

- de doublons,
- de fautes de frappe,
- de stations d'Outre-Mer mélangées aux données métropoles,
- de mauvais systèmes de projections,
- d'intervenants mal renseignés dans la base,
- de stations avec plusieurs jeux de coordonnées (proches ou très éloignés),
- de stations sans coordonnées,
- de valeurs en dessous des limites et quantification ou de détection.

Les problèmes au niveau des coordonnées géographiques ont été les plus importants. Pour fixer un jeu de coordonnées par point de mesure, il a été décidé de partir en priorité de la dernière version du référentiel des stations de mesures des eaux de surface fourni par le SOeS en juillet 2014.

Dans la base de données finale, le résultat qui est donné est une valeur modifiée, comme dans les travaux précédents, selon la règle suivante :

- s'il y a eu une quantification, la valeur affichée est la valeur de la quantification,
- s'il y a eu détection, mais pas de quantification, la valeur affichée est la moitié du seuil de quantification,
- s'il n'y a pas eu de détection, la valeur affichée est 0.

Tous les prétraitements réalisés sont détaillés en Annexe 4.

## 2.3.3 Description des données obtenues

### 2.3.3.1 Description générale

#### 2.3.3.1.1 Nombre d'analyses par an

Il augmente régulièrement de 1997 à 2012. Jusqu'en 2001, le nombre d'analyses est relativement faible. En 2007, la réforme des réseaux de surveillance a été mise en place pour la première année : les mesures ont été faites sur plus de points. Cette initialisation a été suivie par une chute du nombre d'analyses en 2008 et une ré-augmentation ensuite. Par ailleurs, ce fait est généralisé sur la France entière.

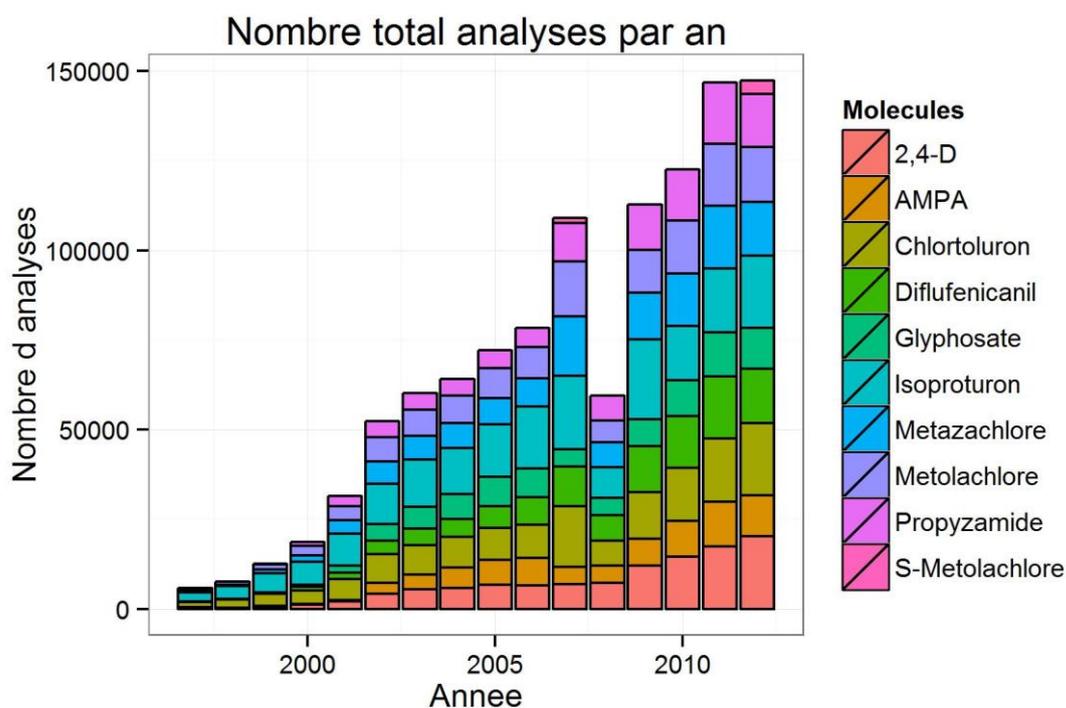


Figure 5 : Nombre total d'analyses par an

L'isoproturon est la molécule la plus recherchée sur le territoire français métropolitain parmi les molécules étudiées : environ 200 000 analyses sur la période concernée. Le glyphosate et l'AMPA sont peu étudiés par rapport aux autres molécules. Cela peut s'expliquer par le fait que ces molécules sont compliquées à analyser, qu'il y a peu de laboratoires qui font ces analyses et que les limites de quantification et de détection sont élevées. Les autres molécules bénéficient du même nombre global de mesures. Le graphique de l'annexe 5 permet de voir explicitement ces résultats.

Comme évoqué précédemment, il n'y a que très peu de données relatives au S-métolachlore et elles sont réparties sur les années 2007 et 2012 uniquement. Les données concernant le métolachlore (sans précision de

forme) sont bien plus nombreuses et présentes tout au long de la période dans des proportions équivalentes à la tendance générale des autres substances.

Partant de l'hypothèse que la désignation « métolachlore » recouvre à la fois les formes R et S et en considérant que la forme R est bien moins **épandue dans l'environnement** depuis 2002 (les deux formes étant stables dans le temps), on peut **donc estimer que les données associées au métolachlore recouvrent principalement la forme S-métolachlore**. En conséquence, **dans la suite de l'étude les analyses pour ces deux substances seront regroupées sous le nom de S-métolachlore**.

### 2.3.3.1.2 Points de mesures

Sur la période étudiée, il y a 12 495 points de mesures sur toute la France. Sur la carte ci-dessous on peut voir que la répartition est hétérogène. En effet, il y a une plus forte densité de points de mesure au niveau des plateaux calcaires de l'Alsace qu'en Limousin ou en Adour-Garonne:

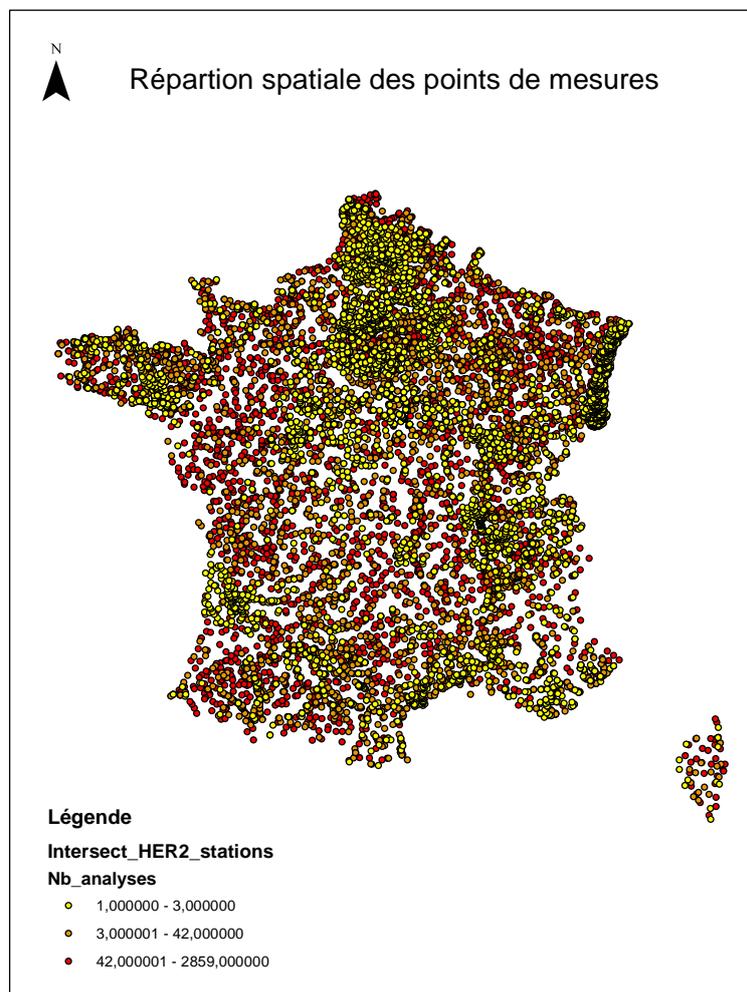


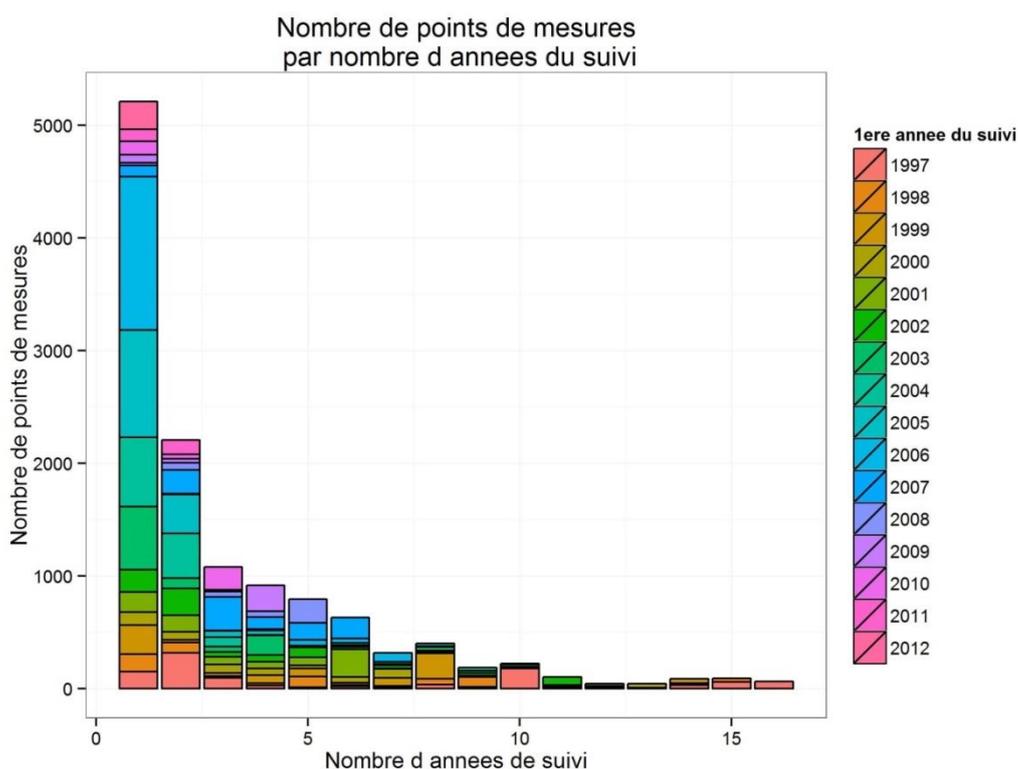
Figure 6 : Répartition spatiale des points de mesures

Les couleurs des points nous permettent de remarquer que le nombre de mesures effectuées par point, qui va de 1 à environ 3 000 analyses, a également une répartition hétérogène. Il faut cependant souligner que les plateaux calcaires, l'Alsace et la Bretagne semblent ne posséder qu'un grand nombre de stations où peu d'analyses sont faites, ce qui n'est pas le cas et est dû à la représentation graphique. En effet, la densité des stations est trop forte sur ces territoires et les points se superposent. On ne voit donc qu'une seule catégorie

alors qu'en ces lieux, la densité est forte pour des stations peu et beaucoup suivies. D'un autre côté, les espaces ayant une faible densité de points de mesures sont caractérisés par des points très suivis.

### 2.3.3.1.3 Suivi temporel des analyses par point de mesure

En plus de la répartition spatiale des stations, le suivi temporel est lui aussi hétérogène. Le suivi est défini par le nombre d'années où il y a réellement eu des analyses sur la station. Dans la plupart des cas, il n'y a pas de suivi continu de la contamination car environ la moitié des points n'ont subi des analyses qu'une seule année. Le graphique ci-dessous montre la première année du suivi d'un point de mesure. On remarque un important nombre de stations suivies une seule année en 2007, ce qui est corrélé avec la mise en place de la réforme des réseaux de surveillance et de l'augmentation du nombre d'analyses cette année-là.



**Figure 7 : Nombre de points de mesures par année de suivi**

Ainsi, les stations ne sont pas suivies tous les ans et en général il y a peu de suivi sur un même point. Il est donc difficile d'évaluer à partir de telles données une évolution de la contamination des eaux. Ce graphique montre l'hétérogénéité temporelle des données recueillies, mais celle-ci est encore plus importante car il existe également une forte variabilité du nombre d'analyses par an réalisées par station.

La répartition temporelle des analyses présente également quelques disparités. En effet il y a un peu moins de mesures réalisées en janvier et décembre. La période la plus dense en analyses se situe de mars à juin.

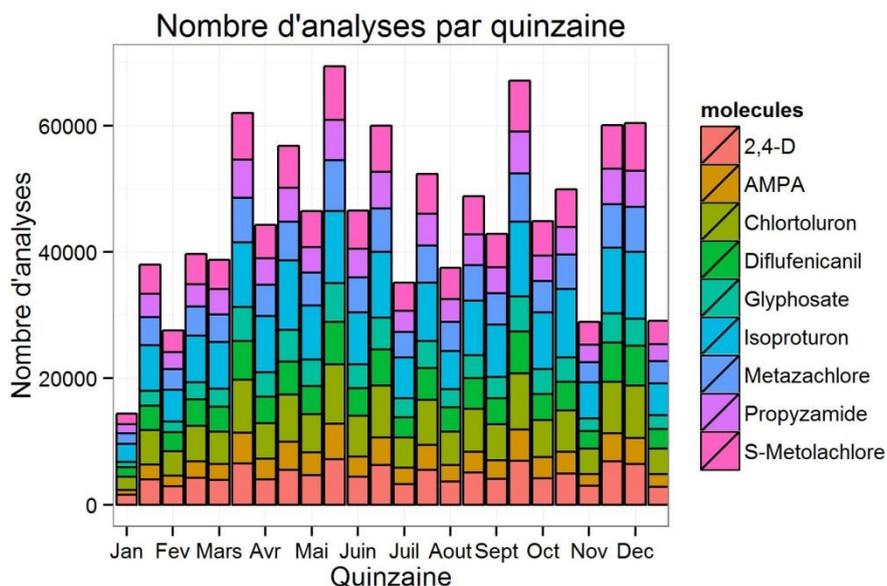


Figure 8 : Répartition temporelle intra-annuelle des analyses

Ce graphique nous montre cependant que les analyses sont réparties de façon homogène sur l'année pour toutes les molécules. Il n'y a pas de période cible par molécule pour les analyses.

#### 2.3.3.1.4 Intervenants

Les intervenants ayant fourni des données lors de la période d'étude sont très variés jusqu'en 2006. En effet, après cette période, les réseaux de surveillance annexes ne sont plus recensés dans les bases transmises. Les agences de l'eau fournissent très majoritairement les données. Les Conseils Généraux, diverses directions départementales et régionales et des gestionnaires de réseaux d'eau potables représentent les principaux acteurs des réseaux spécifiques.

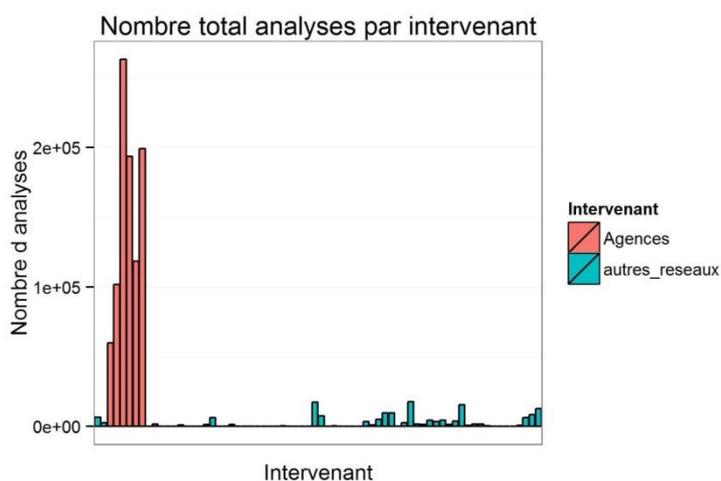


Figure 9 : Nombre d'analyses par intervenant

Par ailleurs, les Agences de l'Eau (Artois-Picardie, Rhin-Meuse, Seine-Normandie, Loire-Bretagne, Adour-Garonne, Rhône-Méditerranée-Corse) ont leur propre stratégie d'échantillonnage comme illustré ci-dessous :

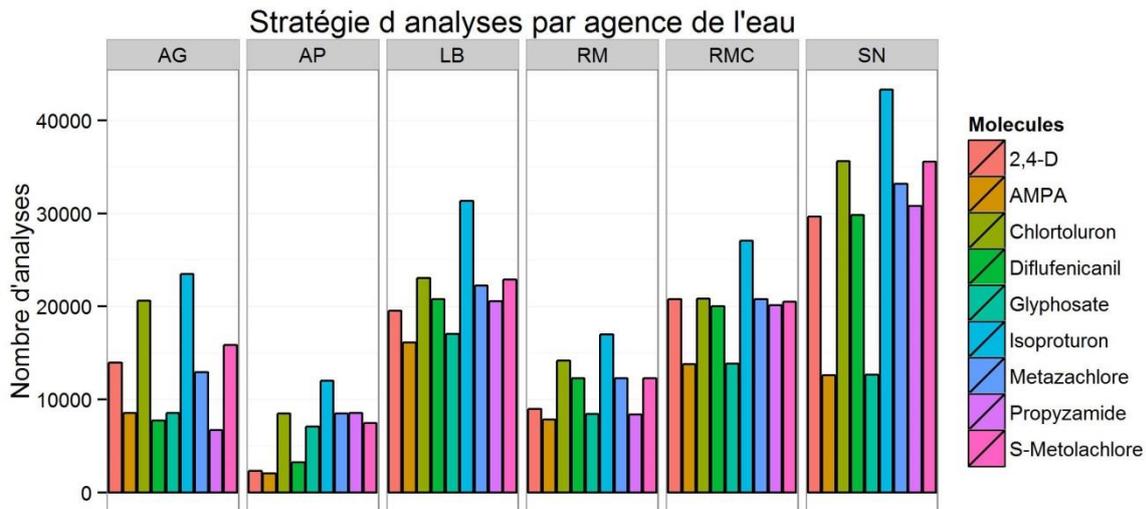


Figure 10: Stratégie d'analyses par agence de l'eau

Le nombre d'analyses réalisées par agence est assez variable, cela explique une partie de l'hétérogénéité spatiale des données collectées. Les stratégies par molécule sont également différentes mais on retrouve la tendance nationale avec l'isoproturon en tête et le glyphosate et l'AMPA qui sont les molécules les moins recherchées.

### 2.3.3.1.5 Proportion des détections et quantifications en fonction des molécules

Les détections et quantifications ne sont pas réparties de la même façon en fonction des molécules.

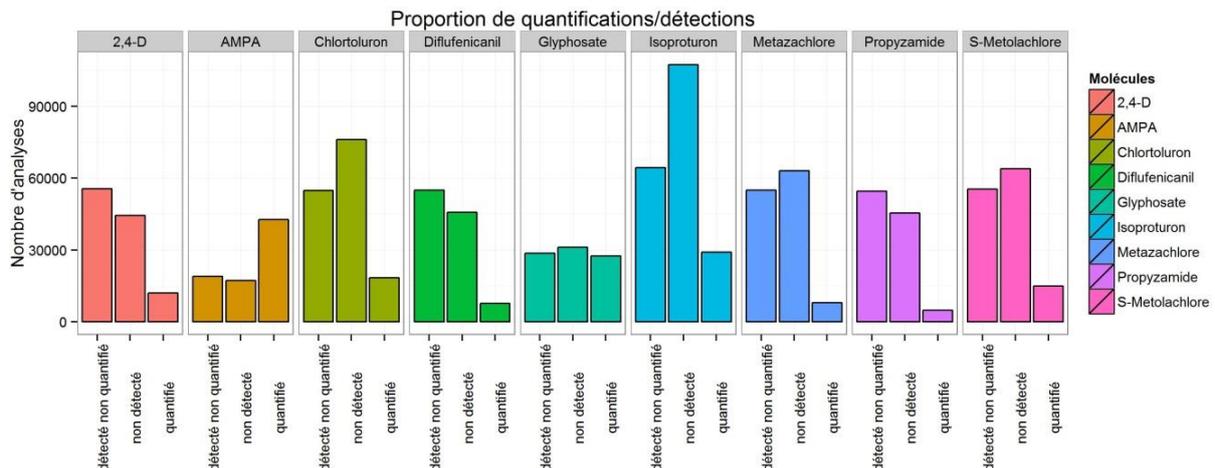


Figure 11: Proportion de détections/quantifications

Le glyphosate est autant détecté et quantifié que non retrouvé alors que l'isoproturon est dans la moitié des cas non retrouvé, et quand il est retrouvé il est quantifié environ une fois sur 3. L'AMPA est la seule molécule qui est quantifiée une fois sur 2.

Les autres molécules ont grossièrement le même profil : elles sont la majorité du temps soit détectées (et non quantifiées) soit non détectées dans les eaux de surface, et, donc, rarement quantifiées.

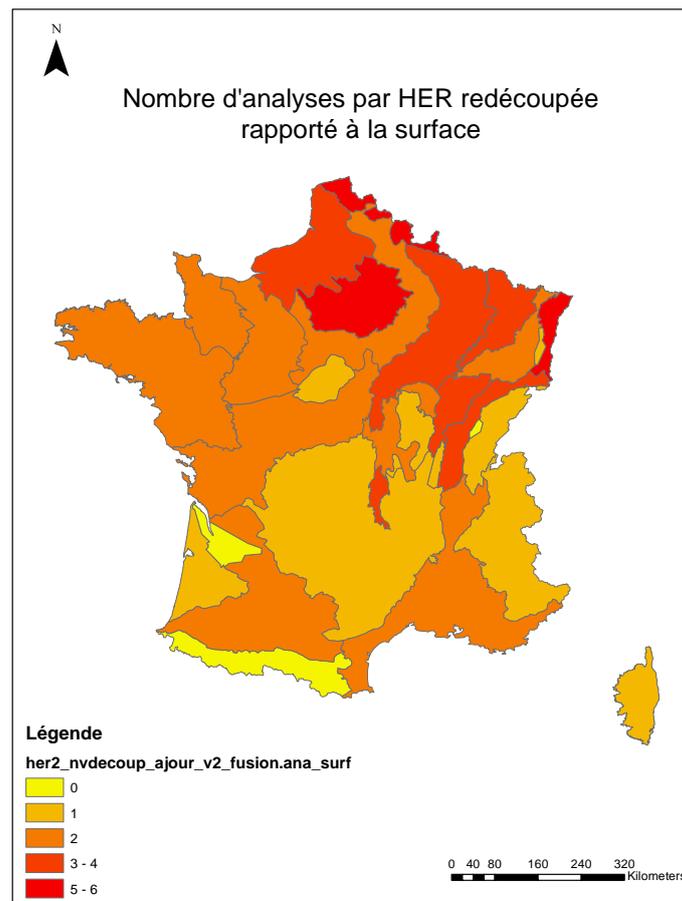
Les descripteurs tels que les fréquences de détection et de quantification donnent une première approche qualitative des niveaux de contamination des eaux mais ne permettent pas de les caractériser. En effet, les seuils de quantification sont variables, comme illustré dans le graphique en annexe 6. Celui-ci montre pour chaque molécule (ligne), l'évolution des seuils de quantification au cours du temps, et ce pour chaque agence de l'eau, afin de mettre en évidence les disparités spatiales. Afin d'illustrer les variations des seuils, les valeurs extrêmes supérieures à 5µg/l ont été supprimées. Celles-ci étaient présentes en 2010 pour le métazachlore, l'isoproturon et le glyphosate (10µg/l) et en 2011 pour le 2,4-D, et réparties sur toutes les agences.

**En conclusion :**

- La moyenne des seuils de quantification est variable en fonction des molécules,
- les seuils de quantification sont variables au cours du temps,
- ils sont également variables selon les bassins.

### 2.3.4 Regroupement par zone géographique

Afin de mener l'étude, un regroupement géographique des points de mesures a été réalisé, comme expliqué précédemment, sur les HER de niveau 2 regroupées en fonction des Orientations Technico-économiques des Exploitations. Ceci permet de disposer d'un nombre plus représentatif de mesures par unité spatiale. En effet, il y a au moins 3000 analyses (toutes substances et années étudiées (1997 à 2012) confondues) par HER modifiée (Annexe 7).



**Figure 12 : Nombre d'analyses par HER redécoupée rapporté à sa surface totale (unité : nombre d'analyses par hectare)**

En rapportant le nombre d'analyses à la surface, l'hétérogénéité spatiale de l'effort d'analyse (Eaux de surface) est mise en évidence. En effet, les surfaces des HER sont très disparates. Ces résultats sont corrélés à la répartition des points de mesure vue à la partie 2.3.3.1.2.

La même étude a été réalisée pour les HER de niveau 2. Ces unités spatiales, étant plus petites, sont plus représentatives d'un type homogène de fonctionnement hydrologique que les HER de niveau 1 modifiées. Ce niveau d'analyse permet de plus de mettre en évidence les zones de montagne, a priori moins traitées et nécessitant moins d'analyses. Cependant, le nombre d'analyses effectuées sur chacune d'elles est plus faible : il en découle que l'étude nationale n'a pas pu être réalisée à cette maille car pour certaines le nombre d'analyses est trop faible.

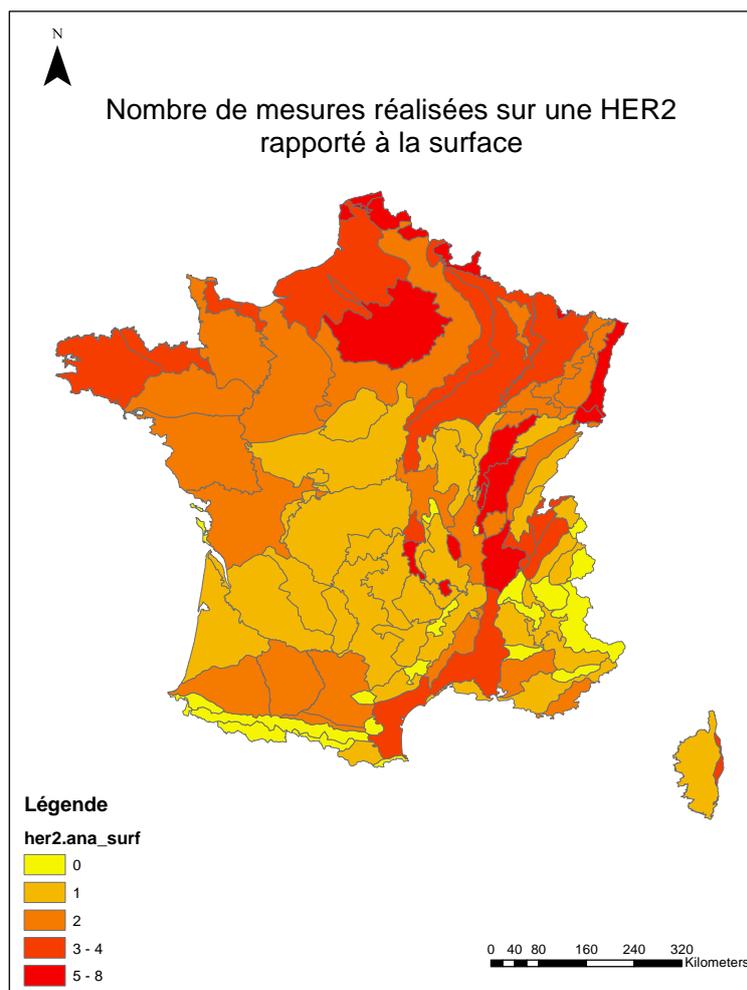


Figure 13 : Nombre d'analyses par HER2 rapporté à sa surface totale (unité : nombre d'analyses par hectare)

### 2.3.5 Analyse des données, par substance active

À partir de cette partie, les analyses sont réalisées et présentées molécule par molécule, pour répondre aux besoins de l'étude. On rappelle qu'on se base sur les données prétraitées sur la période 1997 à 2012 regroupées par HER modifiées (HER2 regroupées en fonction des Orientations Technico-économiques des Exploitations (Figure 3)).

### 2.3.5.1 Méthode utilisée

Le calcul du 90<sup>ème</sup> centile des résultats obtenus permet d'obtenir des courbes enveloppes de la contamination pour une substance. Il est réalisé à l'échelle nationale pour évaluer la dynamique de contamination temporelle générale de la substance de 1997 à 2012, en regroupant les données collectées par quinzaine. Il est ensuite réalisé à l'échelle de la HER modifiée, pour les années 2007 à 2012, afin d'identifier les dynamiques intra-annuelles ainsi que les tendances locales (en fonction des périodes d'application des produits phytosanitaires et du climat, en particulier) en lien avec les particularités éventuelles (notamment météorologiques) de l'année considérée. L'ensemble de ces résultats figure en annexe 12, pour chaque molécule, le corps du rapport n'aborde que quelques HER où les résultats sont particulièrement marqués. **Sur ces figures, la moyenne des centiles est figurée en ligne jaune épaisse quand les données étaient suffisantes pour la calculer sur chaque quinzaine, en mauve épais sinon.**

Afin de permettre une représentation spatiale de la contamination par HER modifiée, nous avons choisi de nous baser sur la **valeur moyenne annuelle de la courbe enveloppe de la pression d'exposition** dans le milieu exprimée en µg/L et assimilable à une concentration moyenne annuelle (relative au 90<sup>ème</sup> centile). Pour estimer cette dernière, l'aire sous la courbe de chaque courbe de 90<sup>ème</sup> centile a été calculée pour chaque année de 2008 à 2012, et rapportée à la durée sur laquelle elle peut être calculée (exprimée en nombre de quinzaines de jours pour lesquelles on a une valeur observée). En effet, sur certaines HER et pour certaines substances, le nombre de données disponibles ne permet pas toujours de calculer le 90<sup>ème</sup> centile des concentrations observées pour chaque période de quinze jours chaque année : dans ce cas, l'intégrale n'est calculée que sur les périodes où elle a effectivement un sens, comme cela est représenté sur la Figure 14 : la valeur de la moyenne calculée, assimilable à une concentration moyenne (relative au 90<sup>ème</sup> centile) est ainsi associée au nombre de quinzaines sur lequel elle porte (entre 1 et 26), ce qui permet, en quelque sorte, de qualifier la « confiance » en terme de représentativité que l'on peut accorder à la valeur de concentration moyenne calculée, compte tenu du nombre de données disponibles.

Cette valeur moyenne par HER est cartographiée au niveau national, pour illustrer la variabilité spatiale et temporelle de la pression d'exposition liée à la substance étudiée de 2008 à 2012. Pour le choix des limites de classes de concentrations, on s'est basé, d'une part, sur les seuils de potabilité et de potabilisation par substance active et, d'autre part, sur la PNEC. Par souci de cohérence avec les périodes prépondérantes de transfert des substances, le calcul de la concentration moyenne a été effectué par année civile pour les substances dont les applications de l'année n sont observées comme majoritairement transférées sur l'année n (2,4 D, glyphosate, AMPA, S-métolachlore). Pour les substances dont les applications de l'année n semblent plutôt principalement migrer durant l'automne-hiver des fins d'année n et début d'année n+1, le calcul a été effectué sur un cycle hydrologique de transfert (de début septembre de l'année n à fin août de l'année n+1) (chlortoluron, isoproturon, métazachlore, propyzamide). Quant au diflufenicanil, il montre des concentrations en général faibles et qui peuvent être réparties sur toute l'année. On a donc gardé le calcul sur l'année civile pour cette substance.

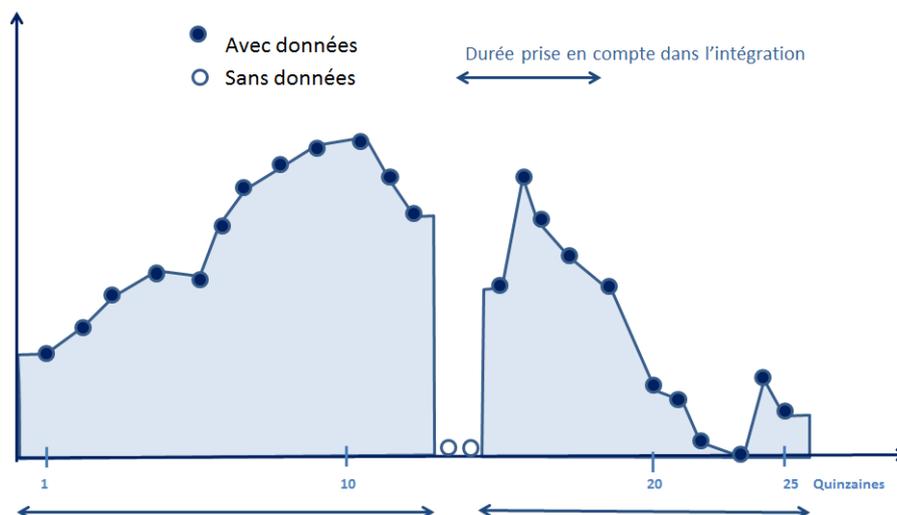


Figure 14 : Principe du calcul de l'intégrale sous la courbe du 90<sup>ème</sup> centile

## 2.3.5.2 Isoproturon

### 2.3.5.2.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination

La Figure 15 illustre l'évolution du 90<sup>ème</sup> centile des concentrations en isoproturon sur la période 1997-2012 sur la France entière, alors que la Figure 16 représente la même courbe, en individualisant les années 2007 à 2012.

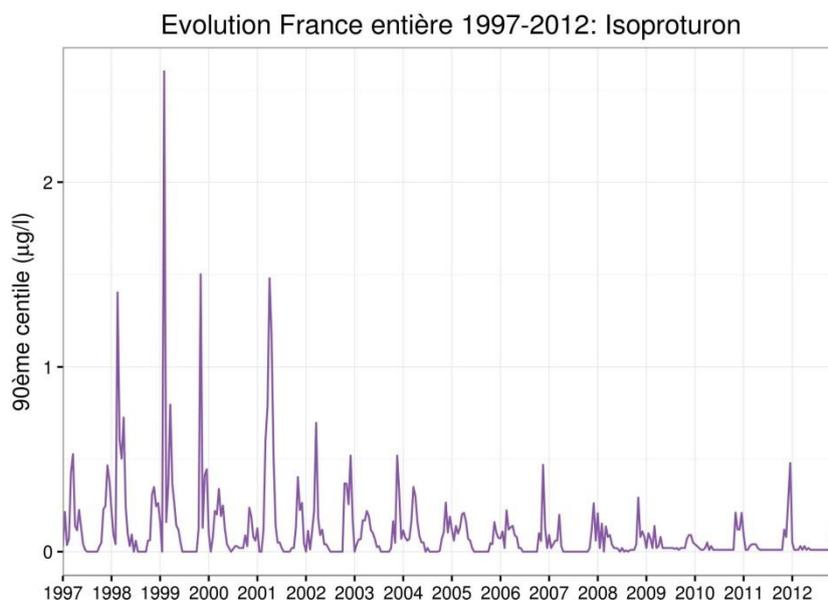


Figure 15: Courbe enveloppe pour la période d'étude de l'isoproturon

Deux pics de contamination sont bien identifiables chaque année pour l'isoproturon. L'amplitude de ceux-ci a diminué au cours de la période étudiée. Ils semblent en effet plus faibles à partir de 2003. Il est important de préciser qu'il y a eu une diminution des doses autorisées d'utilisation de cette molécule en 2004 et que l'année 2003 fut une année très sèche.

Une dynamique intra-annuelle est donc bien visible pour cette molécule, avec deux périodes où les tendances de contamination sont plus fortes, de mi-janvier à mi-mai et de mi-octobre à fin décembre. L'usage de l'isoproturon est caractéristique des cultures de céréales à pailles. La contamination de fin d'année correspondrait aux traitements post semis et post levée de ces cultures, et les traitements de début d'année à

la reprise de la végétation du printemps. En 2011, l'automne a été sec, les substances ont toutes été transférées lors des premiers écoulements fin décembre, ce qui pourrait expliquer le pic observé.

L'examen de la Figure 16 montre qu'à partir de 2008 (non inclus), les valeurs inférieures à la limite de quantification n'ont plus été gérées de la même façon : elles sont maintenant assimilées à LQ/2 alors qu'elles étaient auparavant considérées comme nulles. Ceci n'a pas d'incidence pour notre étude qui se focalise plutôt sur les valeurs élevées (90<sup>ème</sup> centile) mais doit être gardé en tête. Le constat est similaire pour les autres substances étudiées.

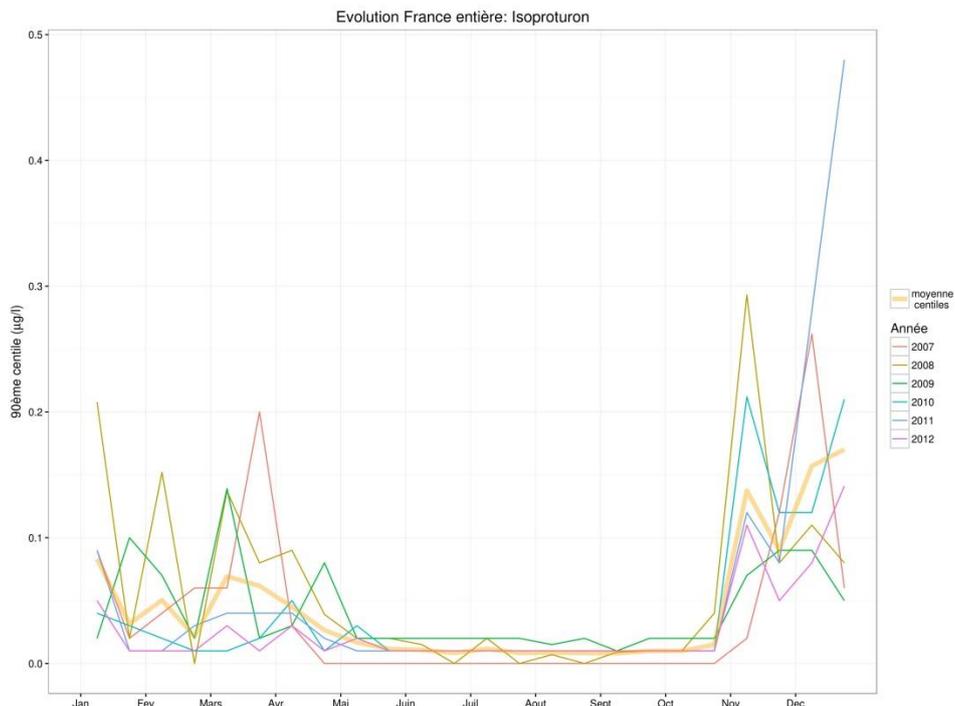
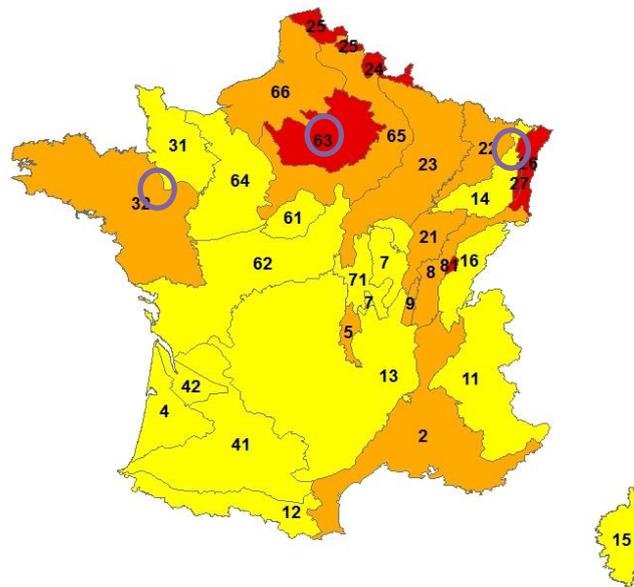


Figure 16: Dynamique intra-annuelle de la contamination par l'isoproturon

### 2.3.5.2.2 Analyse spatialisée à l'échelle des HER modifiées

#### Répartition géographique des analyses

La carte ci-dessous montre le nombre d'analyses rapporté à la surface de la HER modifiée afin de mettre en évidence les territoires où l'interprétation des résultats est a priori plus pertinente. On remarque une fois de plus que la répartition des analyses est hétérogène sur l'espace métropolitain français.



**Nombres d'analyses par HER modifiée**  
**Nombre par milliers d'ha**



**Figure 17: Répartition spatiale des analyses par HER modifiées pour l'isoproturon (numéros des HER détaillés dans le rapport entourés en bleu)**

L'isoproturon, comme vu précédemment, présente une dynamique intra-annuelle globale marquée. Cependant, on peut noter des différences significatives à l'échelle locale, qui pourraient être expliquées par les différents usages liés aux contrastes climatiques français. Trois exemples vont être développés pour illustrer cette hypothèse sur les HER 26, 32 et 63.

La HER 26 est l'Alsace, qui présente une importante culture de céréales à paille en dehors des zones de plaine proches du Rhin et à maïsiculture dominante. On peut noter la même dynamique générale intra-annuelle sur les trois HER. Cependant, le pic de début d'année est plus tardif sur la HER 26. En effet la reprise de la végétation est plus tardive dans cette région. En raison des contraintes climatiques et des nombreux semis de blé après un précédent maïs grain, les traitements majoritaires sont réalisés en fin d'année, ce qui pourrait expliquer que la tendance de contamination des eaux soit plus importante vers la fin de l'année, comme cela est visible sur le graphique suivant :

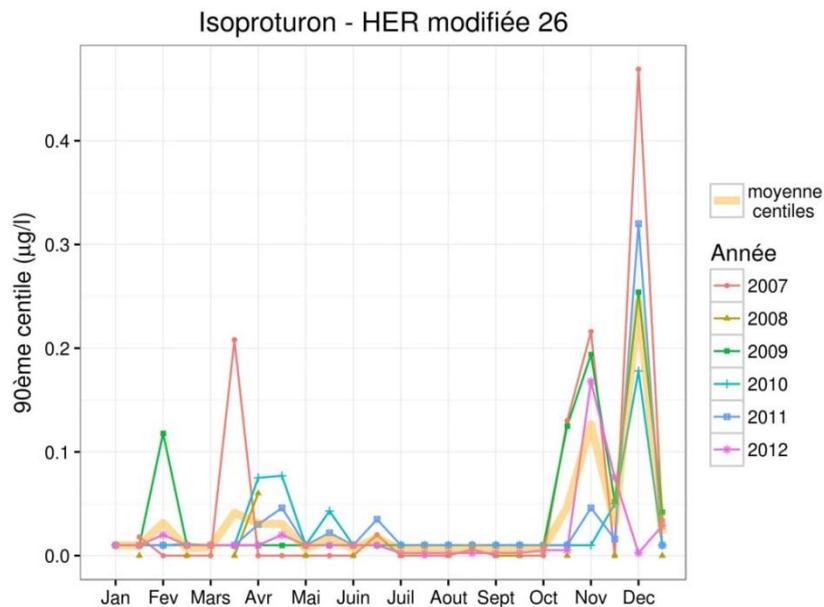


Figure 18 : Dynamique de contamination pour l'isoproturon en Alsace

L'HER 32 est la Bretagne. La reprise de la végétation étant plus précoce qu'en Alsace, les traitements le sont aussi ce qui pourrait expliquer le décalage dans le temps du pic de début d'année. Ces traitements de sortie d'hiver étant les principaux pour cette région, l'amplitude de la tendance de contamination est plus importante pour cette période que pour la fin de l'année.

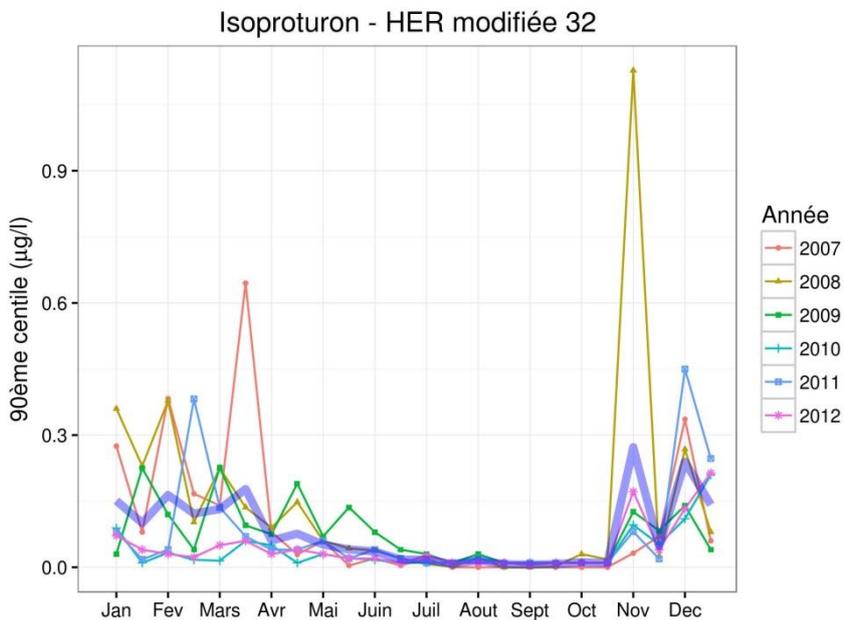
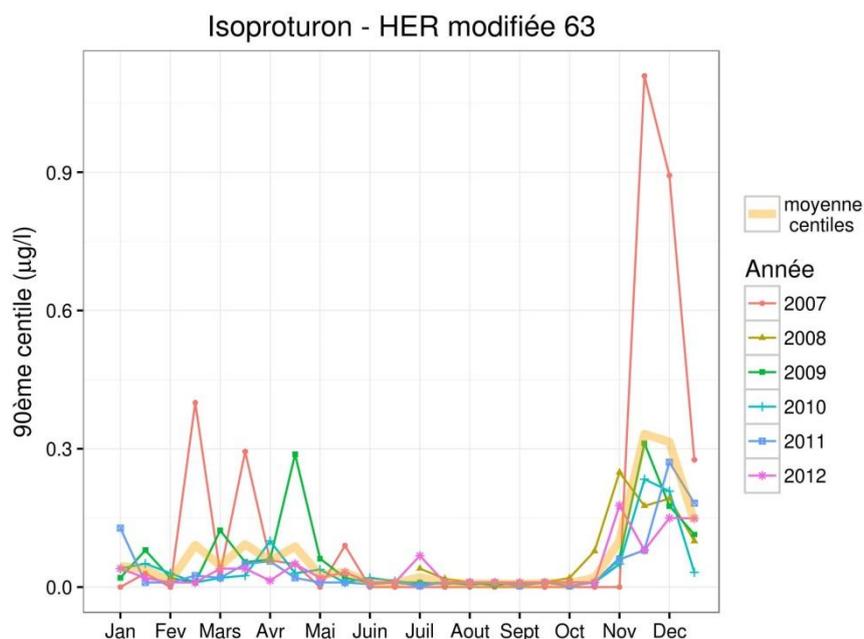


Figure 19 : Dynamique de contamination pour l'isoproturon en Bretagne

L'HER 63 est située autour de l'Île de France et présente des tendances intermédiaires entre les 2 exemples précédemment expliqué comme on peut le voir sur le graphique suivant. Cela traduit deux périodes d'application dans cette région aux sols porteurs permettant des applications durant la « mauvaise » saison : la fin de l'automne (stade trois feuilles des céréales) et la reprise de végétation.



**Figure 20 : Dynamique de contamination pour l'isoproturon en Ile de France**

En conclusion, l'isoproturon a une dynamique de contamination inter annuelle marquée qui semble diminuer depuis 2003. La dynamique intra-annuelle est très spécifique des usages de cette substance, et elle est influencée par les contrastes climatiques à l'intérieur du territoire français, voire même par la répartition au sein d'une campagne des séquences pluvieuses durant la phase semis-stade épi 1cm. Les pics plus importants pourraient être expliqués par les dates d'applications ou la présence d'évènements à hauts risques de transfert ou par la combinaison de ces deux facteurs.

### 2.3.5.2.3 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en Isoproturon

Afin de mieux mettre en évidence la variabilité spatiale et temporelle de la contamination résultante à l'échelle des HER modifiées, on a représenté la distribution des concentrations moyennes annuelles calculées, comme expliqué précédemment, en divisant l'aire sous chaque courbe enveloppe de la contamination annuelle par le nombre de quinzaines pour lesquelles on dispose d'une mesure. Pour cette représentation graphique, on s'est basé sur des limites de classes de contamination relatives à l'eau potable ou potabilisable, d'une part, et à la PNEC, d'autre part (Figure 21). Sur les cartes présentées, le nombre de quinzaines utilisées pour calculer la concentration moyenne annuelle est affiché pour chaque HER. Il donne une indication de la confiance à attribuer au résultat obtenu selon les HER, un faible nombre de quinzaines reflétant un résultat a priori moins représentatif.

On rappelle que pour l'obtention de ces cartes, on a réalisé une intégration annuelle en optant pour l'année civile dans le cas des substances dont les transferts s'effectuent principalement sur une année civile et l'année hydrologique pour les substances dont les transferts s'effectuent principalement sur une année hydrologique (de septembre de l'année n à août de l'année n+1), afin de rendre compte au mieux de la contamination issue des usages de l'année n.



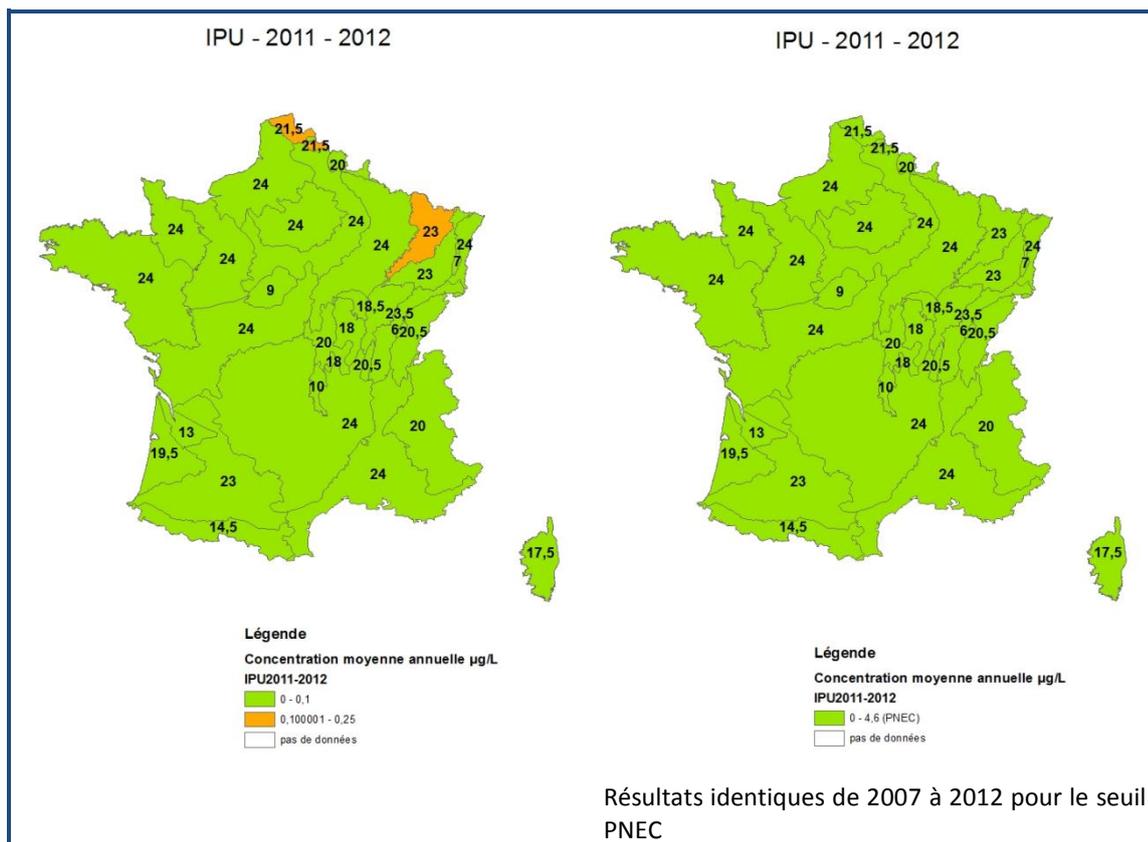
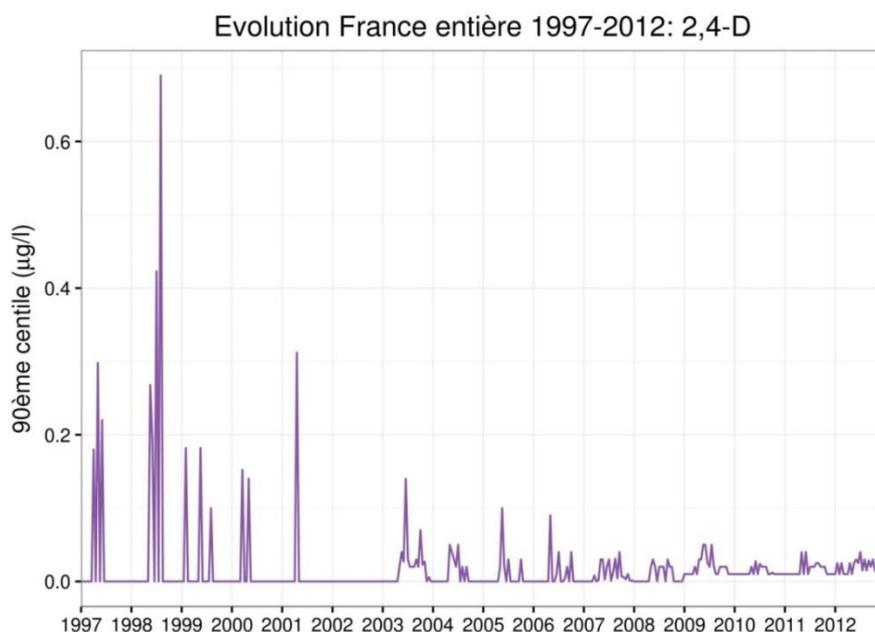


Figure 21 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour l'Isoproturon selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f).

### 2.3.5.3 2,4-D

L'analyse est maintenant menée sur le 2,4-D.

#### 2.3.5.3.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination



**Figure 22 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du 2,4-D**

Les niveaux de contamination du 2,4-D ne sont pas très élevés, mais sont présents tous les ans. Cette substance a été très employée en désherbage sur céréales puis son utilisation a diminué. Depuis quelques années, elle est autorisée sur chaume avec le glyphosate, ce qui correspond à des applications en juillet. Elle est également utilisée pour les traitements généraux et notamment comme débroussaillant associé à du dichlorprop-p ou du triclopyr. Il n'y a donc pas d'usage spécifique qui pourraient conduire à une période de contamination préférentielle. C'est un herbicide à action hormonale qui agit spécifiquement lorsqu'il fait doux (« temps poussant »). Cela peut expliquer une tendance intra-annuelle de la contamination des eaux renforcée d'avril à octobre, comme exposé par la Figure 23. On voit bien pour cette substance l'évolution de la gestion des résultats où la molécule est détectée mais à une valeur inférieure à la limite de quantification après 2007-2008.

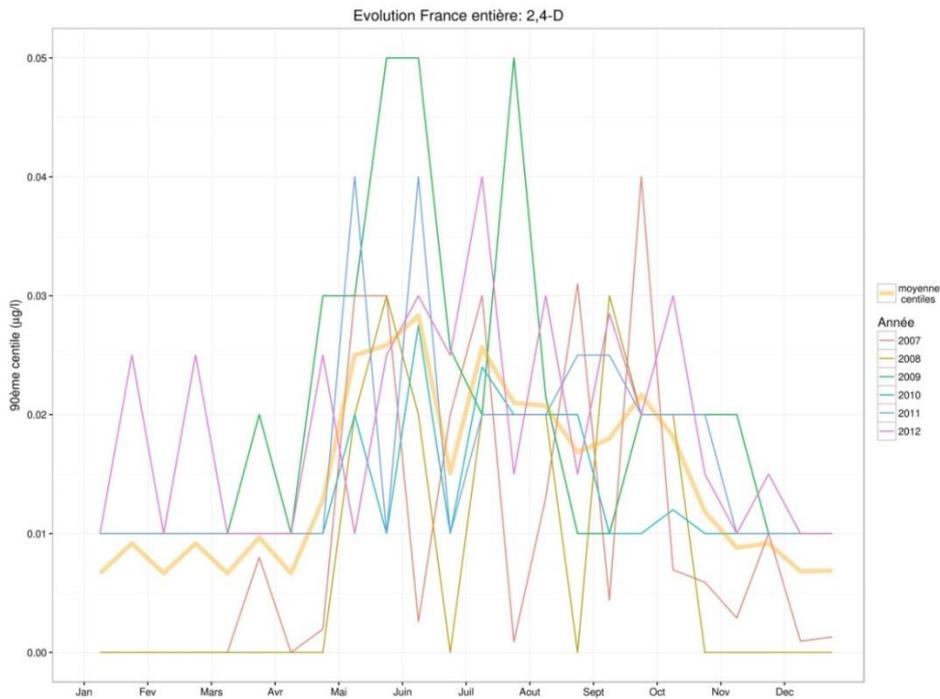


Figure 23: Dynamique intra-annuelle de la contamination par le 2,4-D

### 2.3.5.3.2 Analyse spatialisée à l'échelle des HER modifiée

La carte ci-dessous montre le nombre d'analyses rapporté à la surface de la HER modifiée afin de mettre en évidence les territoires les plus pertinents à étudier.

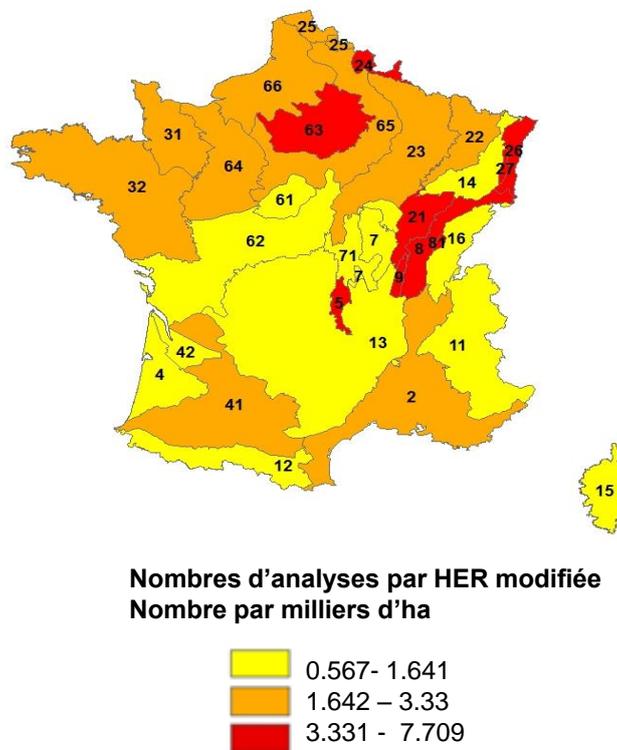
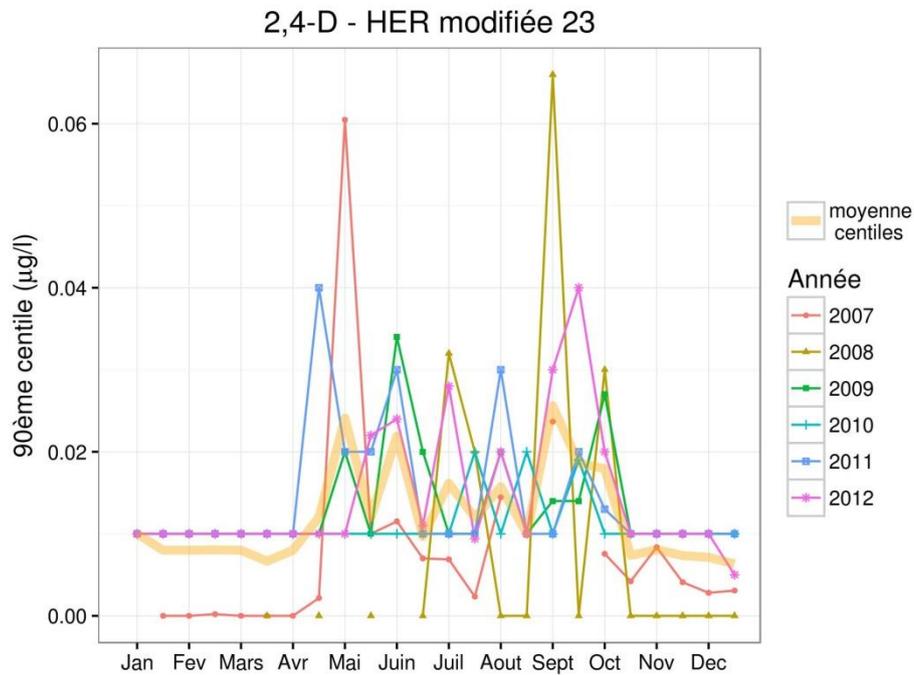


Figure 24: Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le 2,4-D

Les dynamiques locales ne sont pas très variées. Certaines HER modifiées présentent une tendance de contamination similaire à la tendance nationale, comme dans l'exemple ci-dessous des côtes calcaires de l'Est où l'effet des usages sur chaume est assez net : HER modifiée 23, ci-dessous .D'autres HER ne présentent pas de contamination marquée.



**Figure 25 : Dynamique de contamination pour le 2,4-D pour la HER modifiée plateaux calcaire EST**

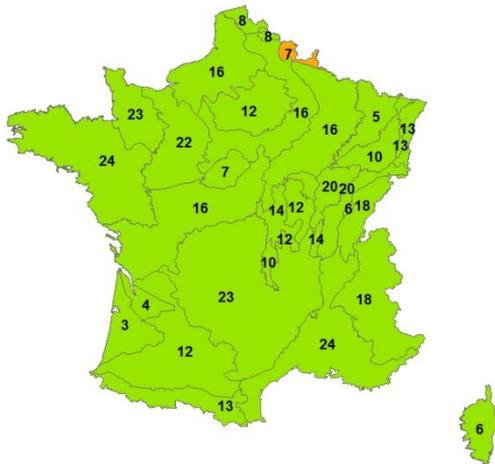
En conclusion, le 2,4-D présente globalement des tendances de contamination faible, centrées sur la période d'avril à octobre. Il y a cependant des territoires où localement il ne semble pas y avoir de problème de contamination pour cette substance.

### 2.3.5.3.3 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en 2,4-D

Les cartes de contamination au 2,4 D par HER modifiée sont présentées dans la Figure 26.

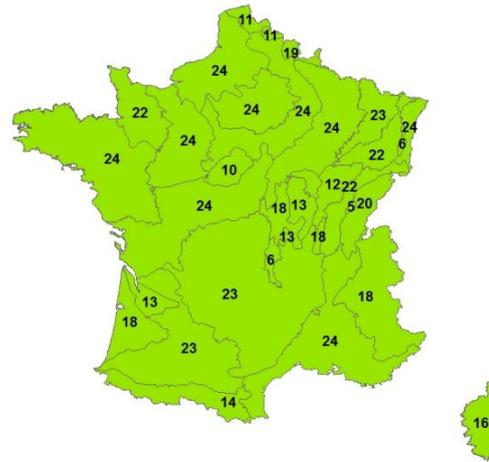
**a. Seuils eau potable et potabilisable**

2,4-D - 2008



**b. Seuils eau potable et potabilisable**

2,4-D - 2012



Résultats identiques de 2009 à 2012

**c. Seuil PNEC**

2,4-D - 2012



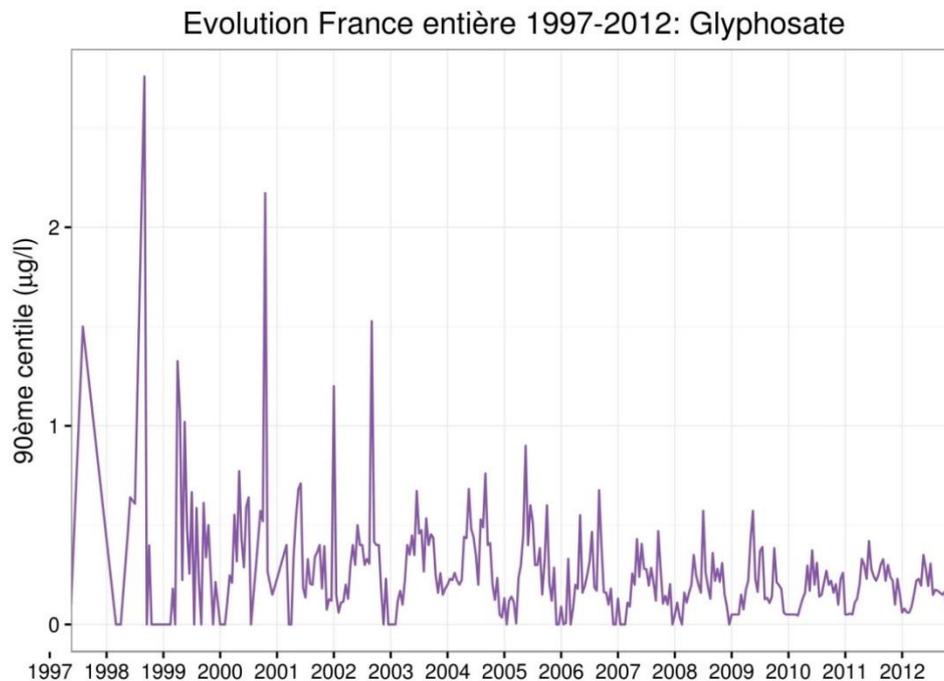
Résultats identiques de 2008 à 2012

Figure 26 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le 2,4 D selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a et b) ou le seuil PNEC (carte c).

### 2.3.5.4 Glyphosate

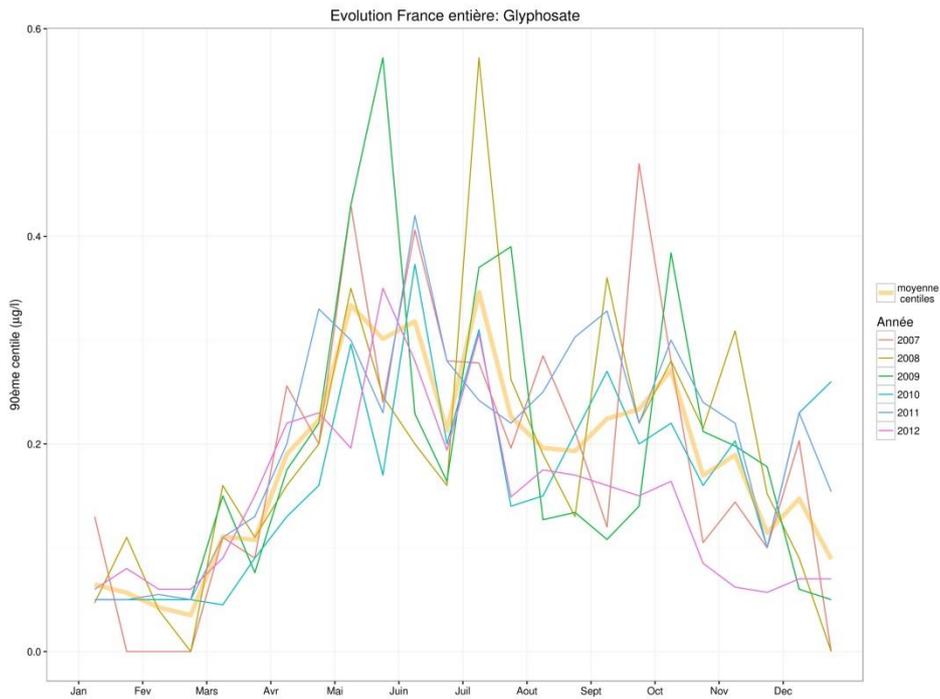
L'analyse est maintenant menée sur le glyphosate qui est la molécule la plus utilisée, mais également la moins analysée vues les contraintes de méthodes analytiques développées précédemment. Le cas de l'AMPA, son métabolite, est analysé au paragraphe suivant.

#### 2.3.5.4.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination



**Figure 27 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du glyphosate**

Le glyphosate présente une contamination permanente et importante tout au long de l'année. Il semble qu'il y ait une diminution de l'amplitude des contaminations détectées à partir de 2007. Ceci peut être lié à la réforme des réseaux de surveillance, à un avis glyphosate en 2004, fixant des doses maximales d'application, à l'interdiction locale du désherbage des fossés depuis 2005 et à la mise en place puis la généralisation à partir de 2009 des bandes enherbées pour protéger les cours d'eau classés « BCAE » .

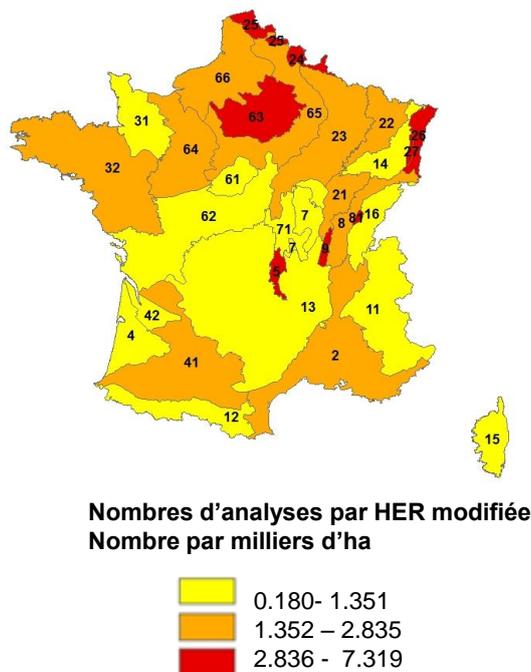


**Figure 28 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le glyphosate**

La contamination est importante tout au long de l'année, les concentrations peuvent être très élevées ponctuellement, mais plus particulièrement d'avril à octobre (voire novembre).

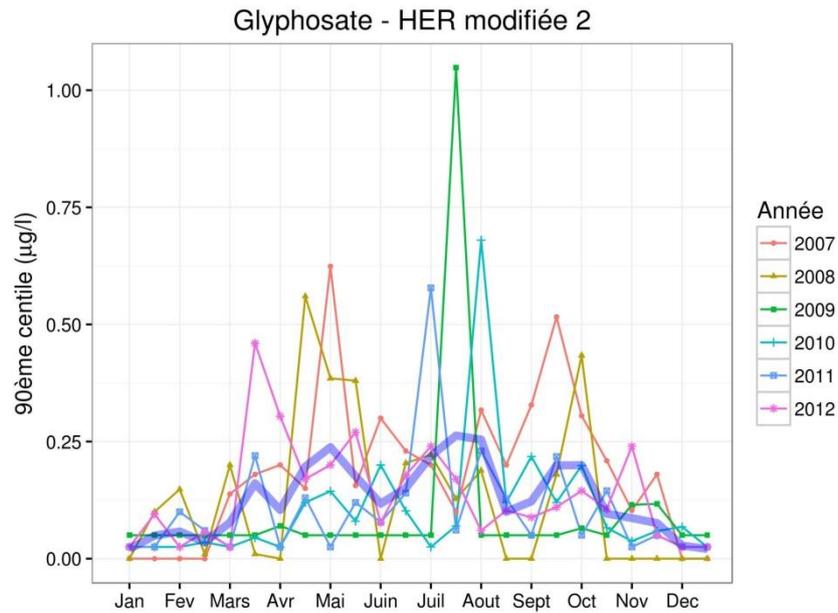
#### 2.3.5.4.2 Analyse spatialisée à l'échelle des HER modifiée

La carte ci-dessous montre le nombre d'analyses rapporté à la surface de la HER modifiée afin de mettre en évidence les territoires les plus pertinents à étudier.



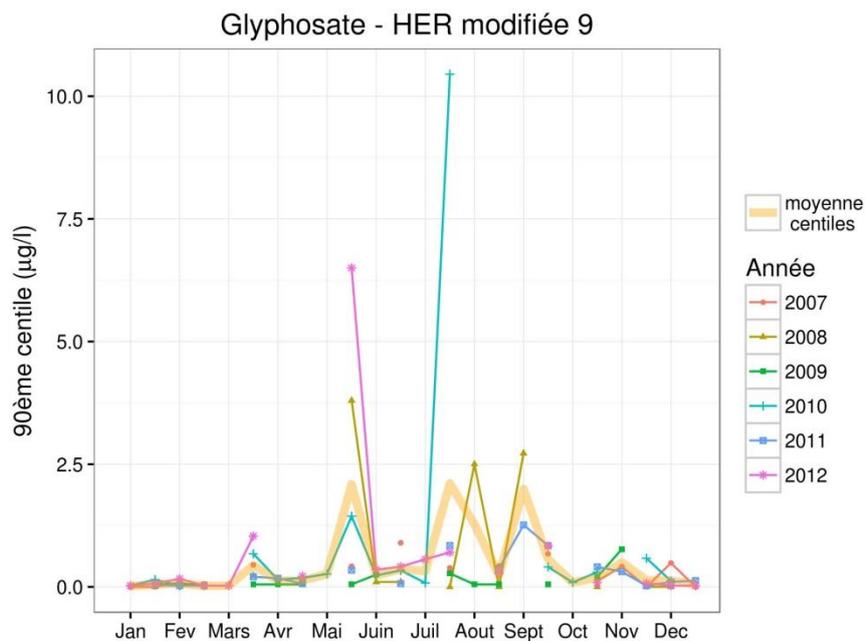
**Figure 29 : Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le glyphosate**

Les contaminations locales sont homogènes sur toute la France. Ci-dessous deux exemples de la vallée du Rhône-Méditerranée (HER modifiée 2) et du Beaujolais (HER modifiée 9) sont développés :



**Figure 30: Dynamique de contamination pour le glyphosate de la HER vallée du Rhône-Méditerranée**

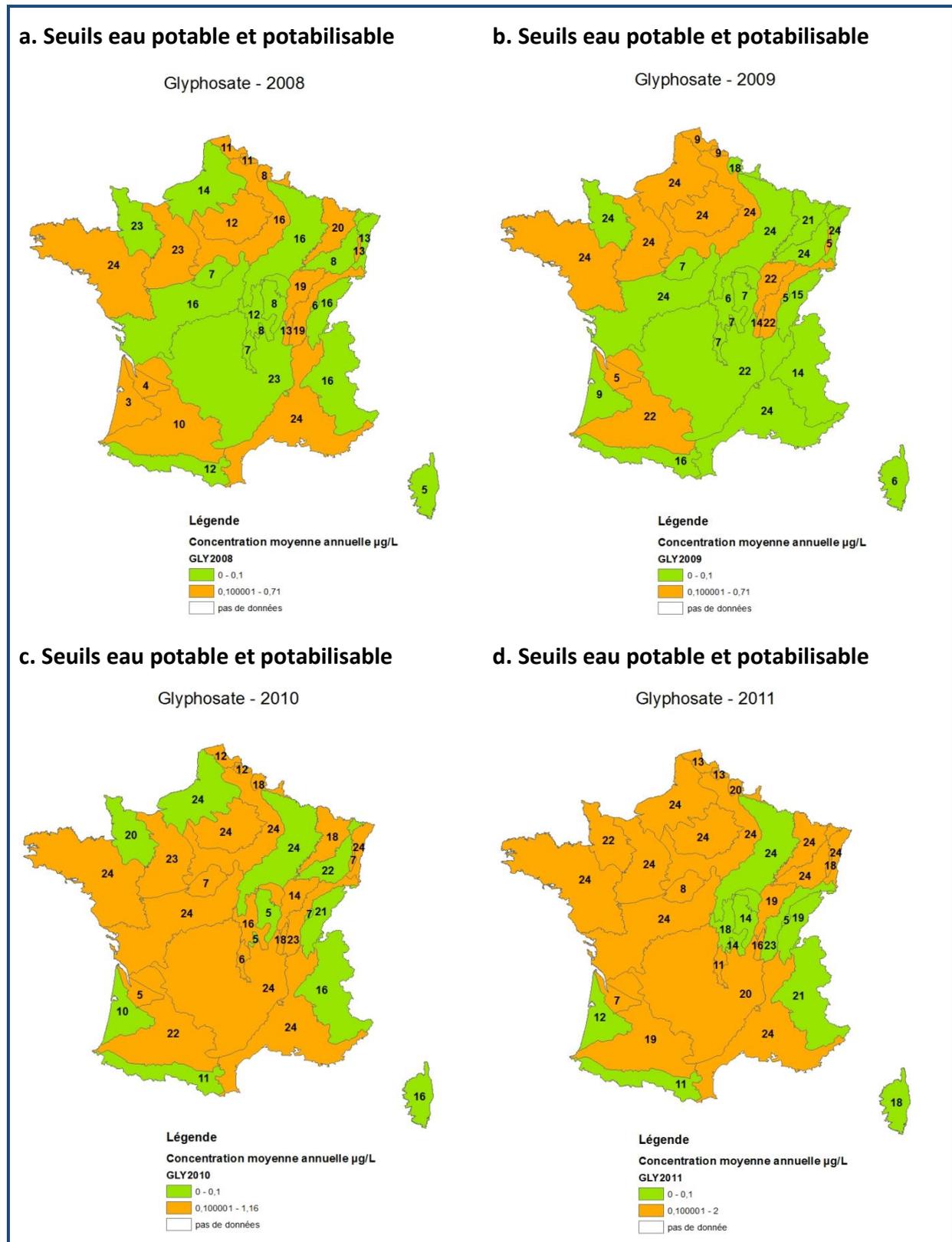
Les dynamiques de contamination sont similaires dans les deux cas. L'amplitude est plus importante pour certaines années dans le Beaujolais. Il y a peu de cas où il n'y a pas de détection de cette molécule, comme on l'a vu précédemment. Elle est présente en permanence. On peut malgré tout distinguer les périodes d'activité agricole (et non agricole) et attribuer sans trop de risques les pics à certains usages majeurs : destruction des CIPAN et préparation du semis maïs et tournesol en mars-avril, application en viticulture, arboriculture et ZNA en mai, désherbages des chaumes et rattrapages en viticulture en été, préparation des semis de céréales en octobre.



**Figure 31: Dynamique de contamination pour le glyphosate dans le Beaujolais**

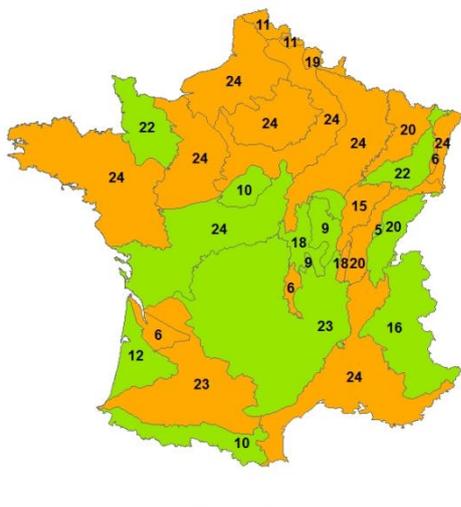
### 2.3.5.4.3 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en glyphosate

Les cartes de contamination au glyphosate par HER modifiée sont présentées dans la Figure 32.



### e. Seuils eau potable et potabilisable

Glyphosate - 2012

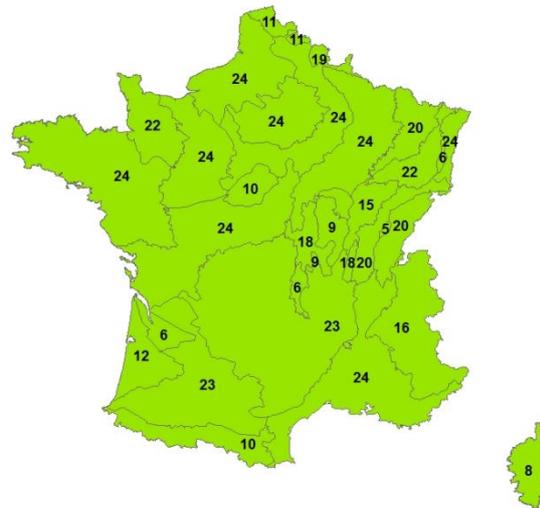


#### Légende

Concentration moyenne annuelle µg/L  
GLY2012  
0 - 0,1  
0,100001 - 0,5  
pas de donnée

### f. Seuil PNEC

Glyphosate - 2012



#### Légende

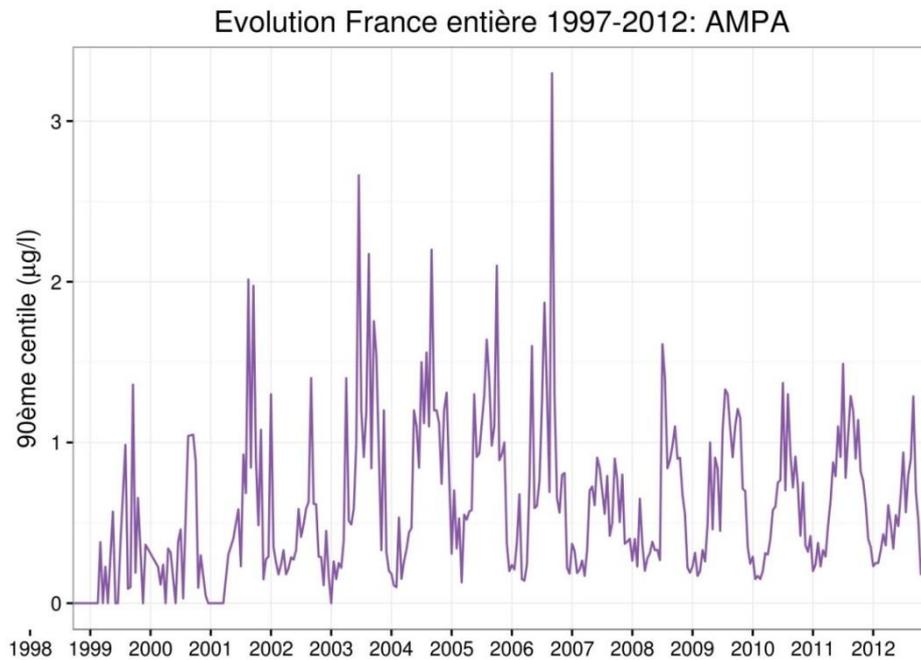
Concentration moyenne annuelle µg/L  
GLY2012  
0 - 60 (PNEC)  
pas de données

Résultats identiques de 2008 à 2012 pour les seuils PNEC

Figure 32 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le glyphosate selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f).

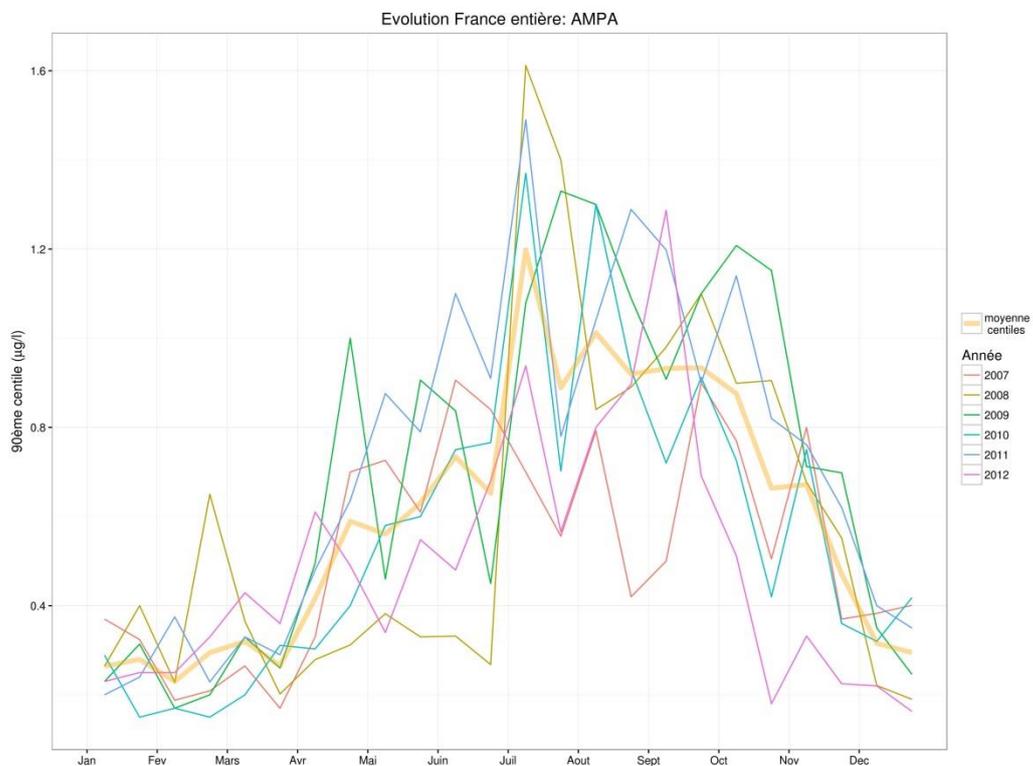
## 2.3.5.5 AMPA

### 2.3.5.5.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination



**Figure 33: Courbe enveloppe pour la période d'étude de l'AMPA**

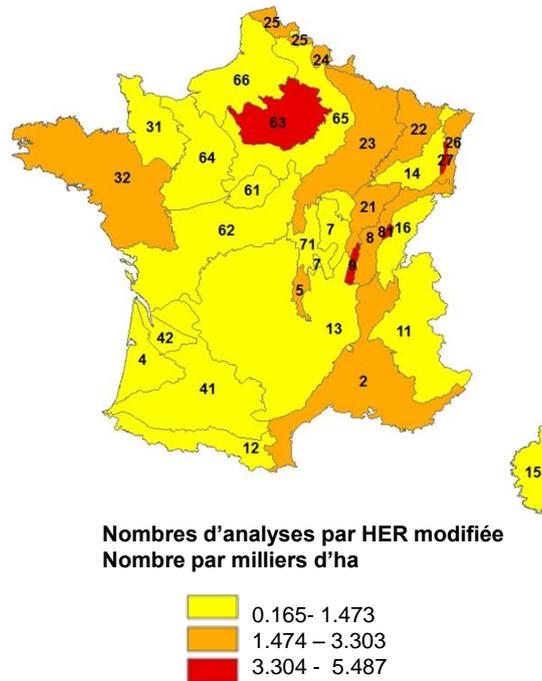
Le métabolite du glyphosate est présent en permanence dans les eaux de surface. Sa dynamique de contamination est très similaire à celle obtenue pour le glyphosate, mais les concentrations sont globalement plus importantes. Il y a également une diminution de l'amplitude de la contamination à partir de 2007.



**Figure 34: Dynamique intra-annuelle de la contamination par l'AMPA**

La dynamique intra-annuelle est similaire au glyphosate bien qu'un peu décalée dans le temps. L'AMPA est une molécule plus rémanente. Cette substance peut également provenir d'autres sources, mais on ne sait pas distinguer les parts venant des traitements phytosanitaires et des usages domestiques en situation d'occupation des sols complexes : agricole et urbain.

### 2.3.5.5.2 Analyse spatialisée à l'échelle des HER modifiées



**Figure 35 : Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour l'AMPA**

Un exemple pour l'HER modifiée 2 (déjà présentée ci-dessus pour le glyphosate) a été développé ci-dessous pour souligner que les contaminations observées pour l'AMPA sont bien corrélées avec celles du glyphosate. On retrouve en effet les pics aux mêmes années, mêmes périodes. Les concentrations en AMPA sont supérieures à celles en glyphosate et sont moins liées aux périodes d'application de la molécule mère.

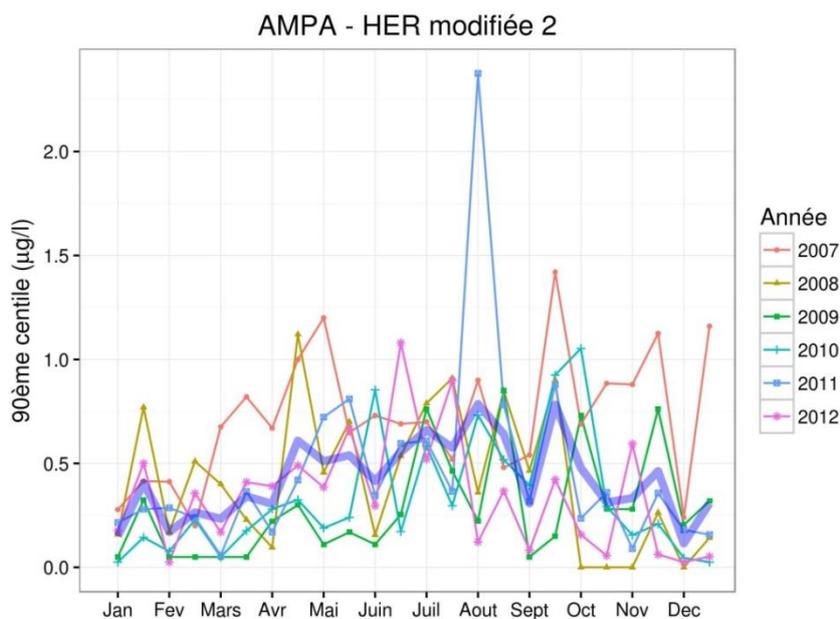
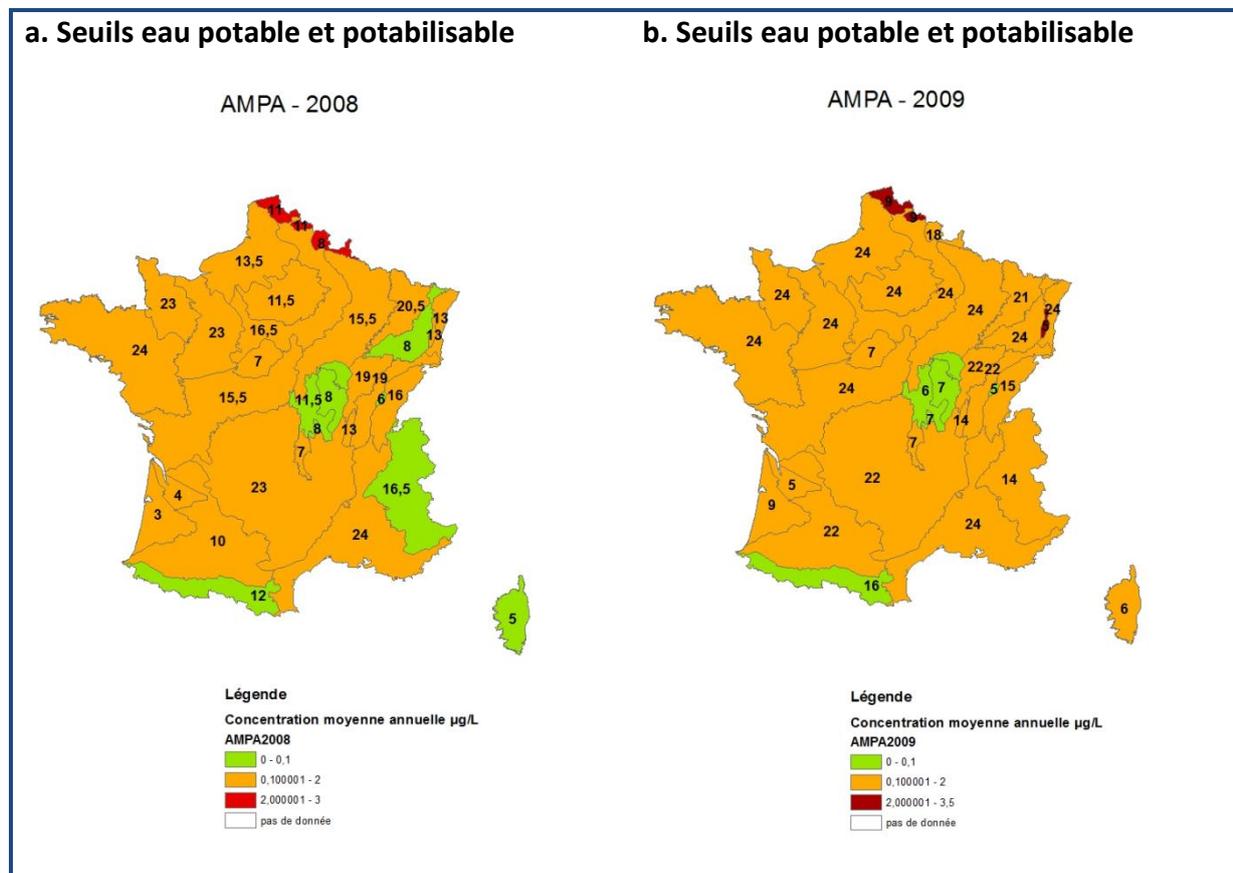


Figure 36: Dynamique de contamination pour l'AMPA dans l'HER vallée du Rhône-Méditerranée

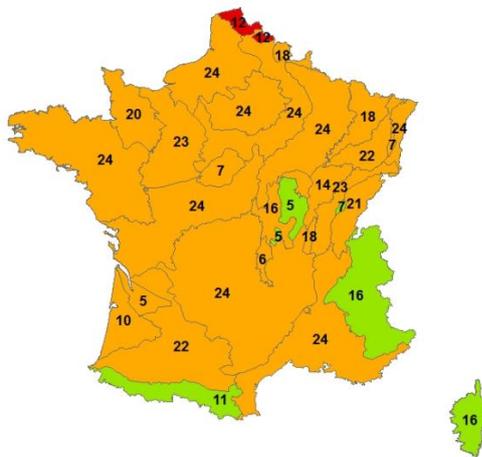
#### 2.3.5.5.3 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en AMPA

Les cartes de contamination à l'AMPA par HER modifiée sont présentées dans la Figure 37.



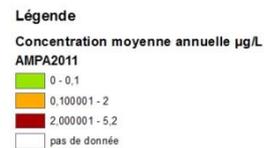
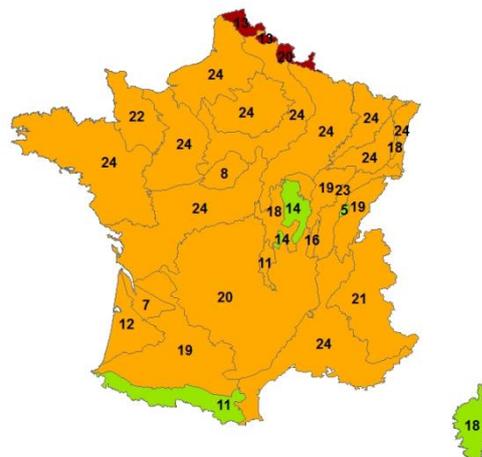
**c. Seuils eau potable et potabilisable**

AMPA - 2010



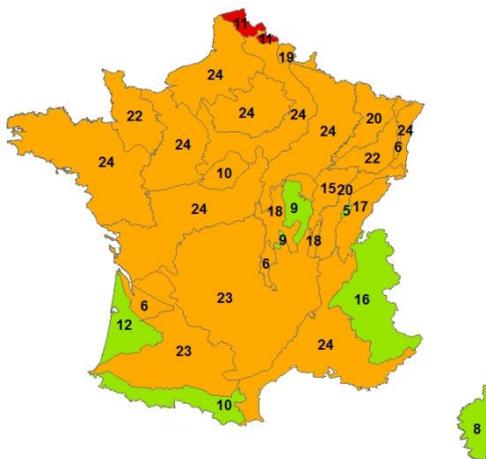
**d. Seuils eau potable et potabilisable**

AMPA - 2011



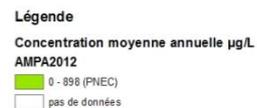
**e. Seuils eau potable et potabilisable**

AMPA - 2012



**f. Seuil PNEC**

AMPA - 2012



Résultats identiques de 2008 à 2012 pour les seuils PNEC

Figure 37 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour l'AMPA selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f).

## 2.3.5.6 Chlortoluron

### 2.3.5.6.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination

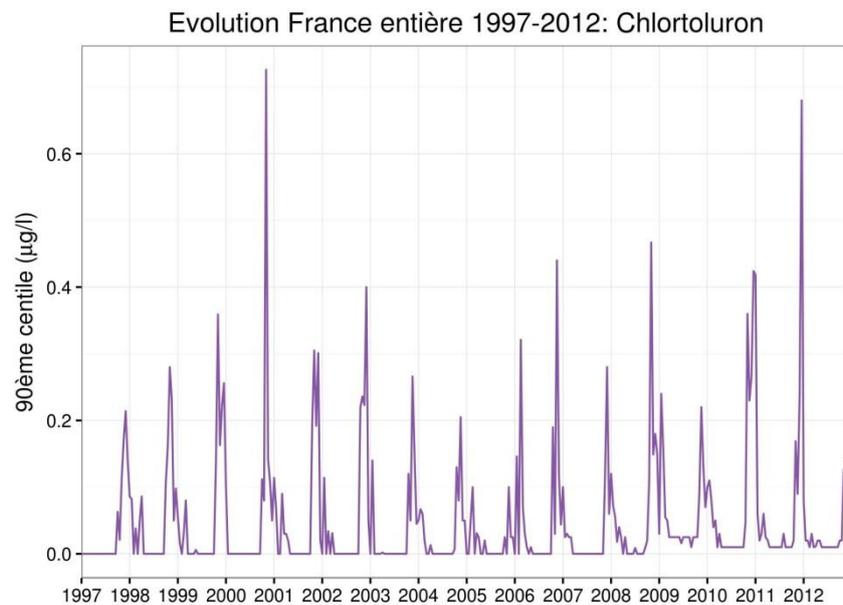


Figure 38 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du chlortoluron

Le chlortoluron, herbicide utilisé sur blé et sur orge, est significativement présent dans les eaux de surface en hiver, essentiellement entre novembre et février. Comme pour l'isoproturon, soumis à une dynamique similaire, le mois de décembre de l'année 2011 a vu un pic de contamination. Au niveau inter-annuel, La contamination des eaux de surface en chlortoluron semble relativement stable au fil des ans.

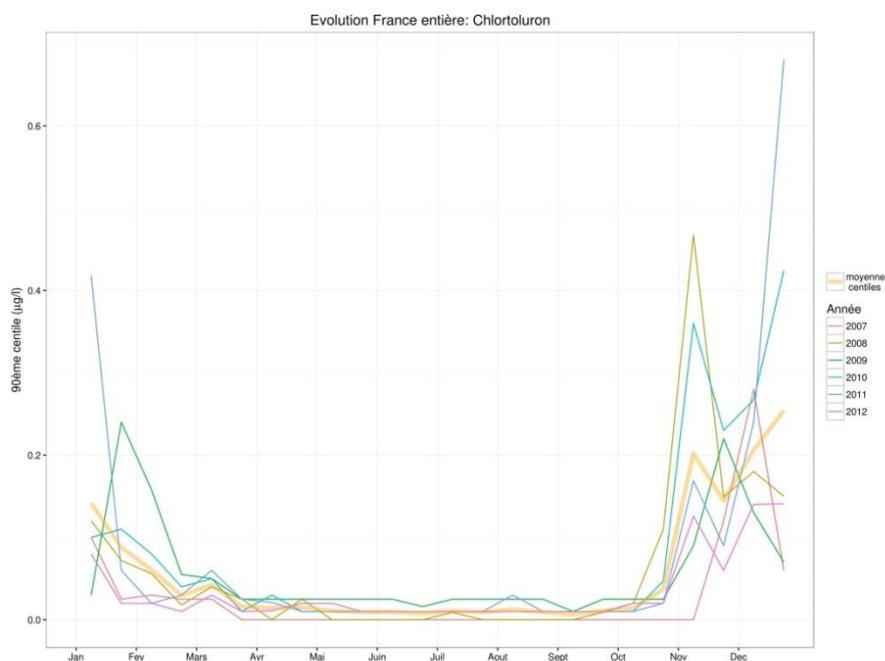
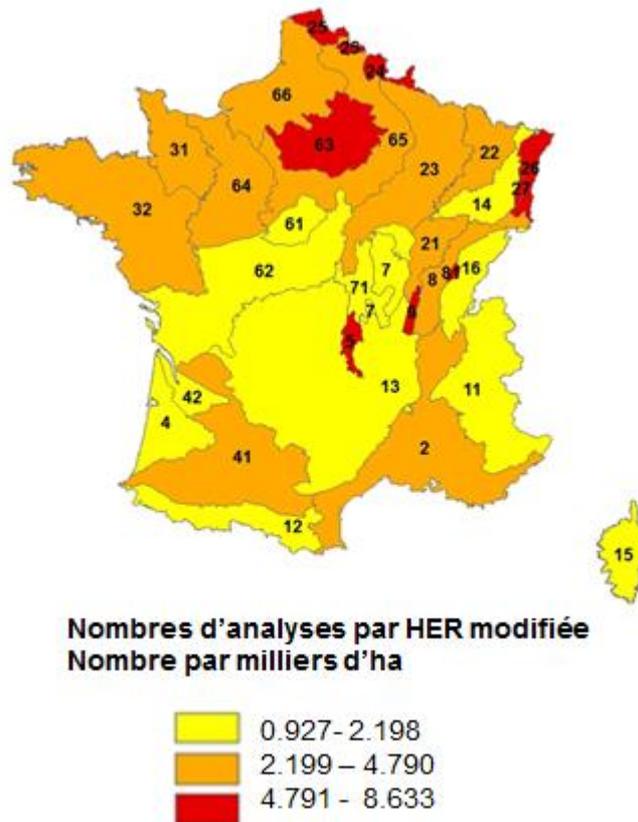


Figure 39 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le chlortoluron

### 2.3.5.6.2 Analyse spatialisée à l'échelle des HER modifiée



**Figure 40 : Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le chlortoluron**

La répartition temporelle des concentrations est assez similaire d'une HER à l'autre, comme l'illustrent les Figure 41 et Figure 42 pour le plateau lorrain (HER 22) ou la Bretagne (HER 32), avec des 90<sup>èmes</sup> centiles qui peuvent atteindre des niveaux significatifs ( $> 1 \mu\text{g/L}$ ) certaines années dans les HER de l'est. Cette molécule est essentiellement un herbicide d'automne (pré-levée et post-levée), moins sujette aux applications de fin d'hiver que l'isoproturon. Ceci explique une relative similitude entre HERs, avec toutefois un petit décalage de quelques semaines dû aux décalages des dates de semis.

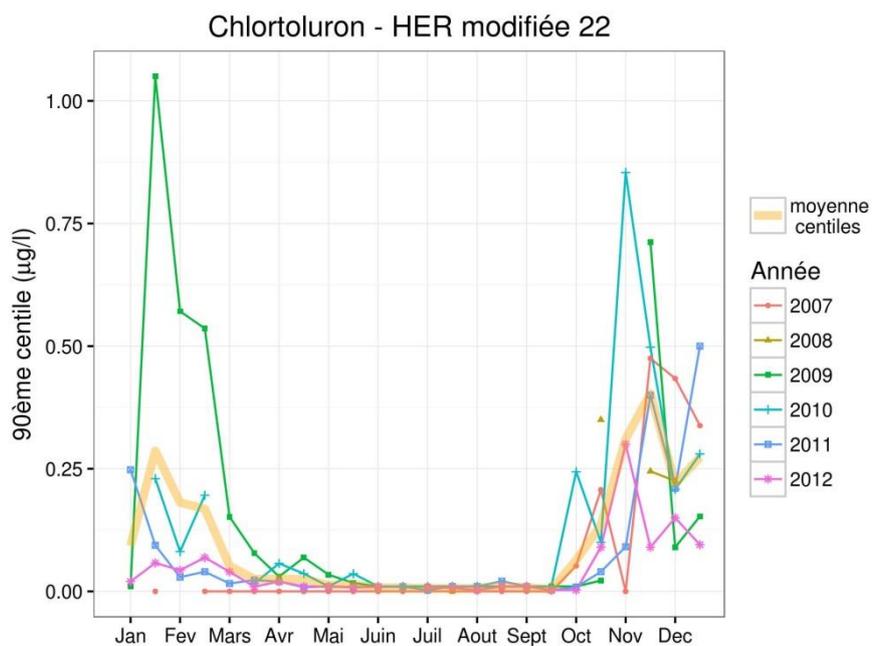


Figure 41 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en chlortoluron sur le plateau lorrain (HER 22)

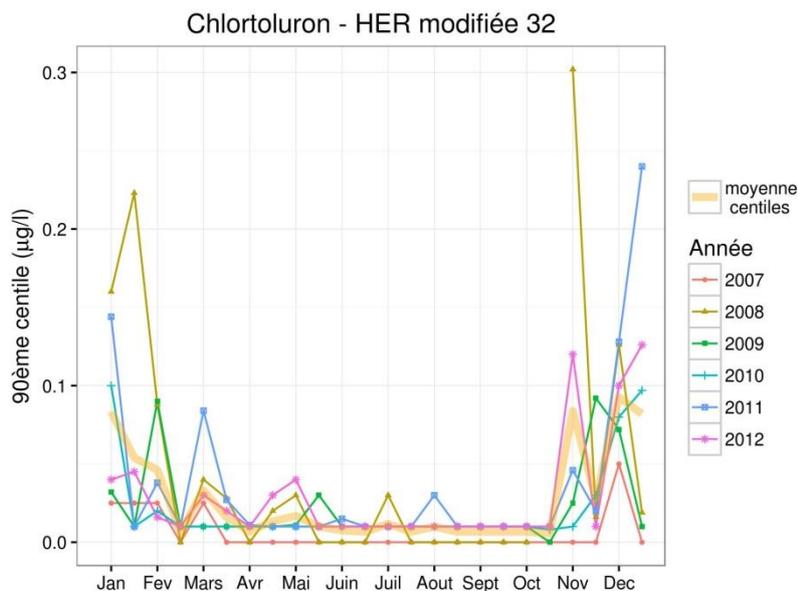
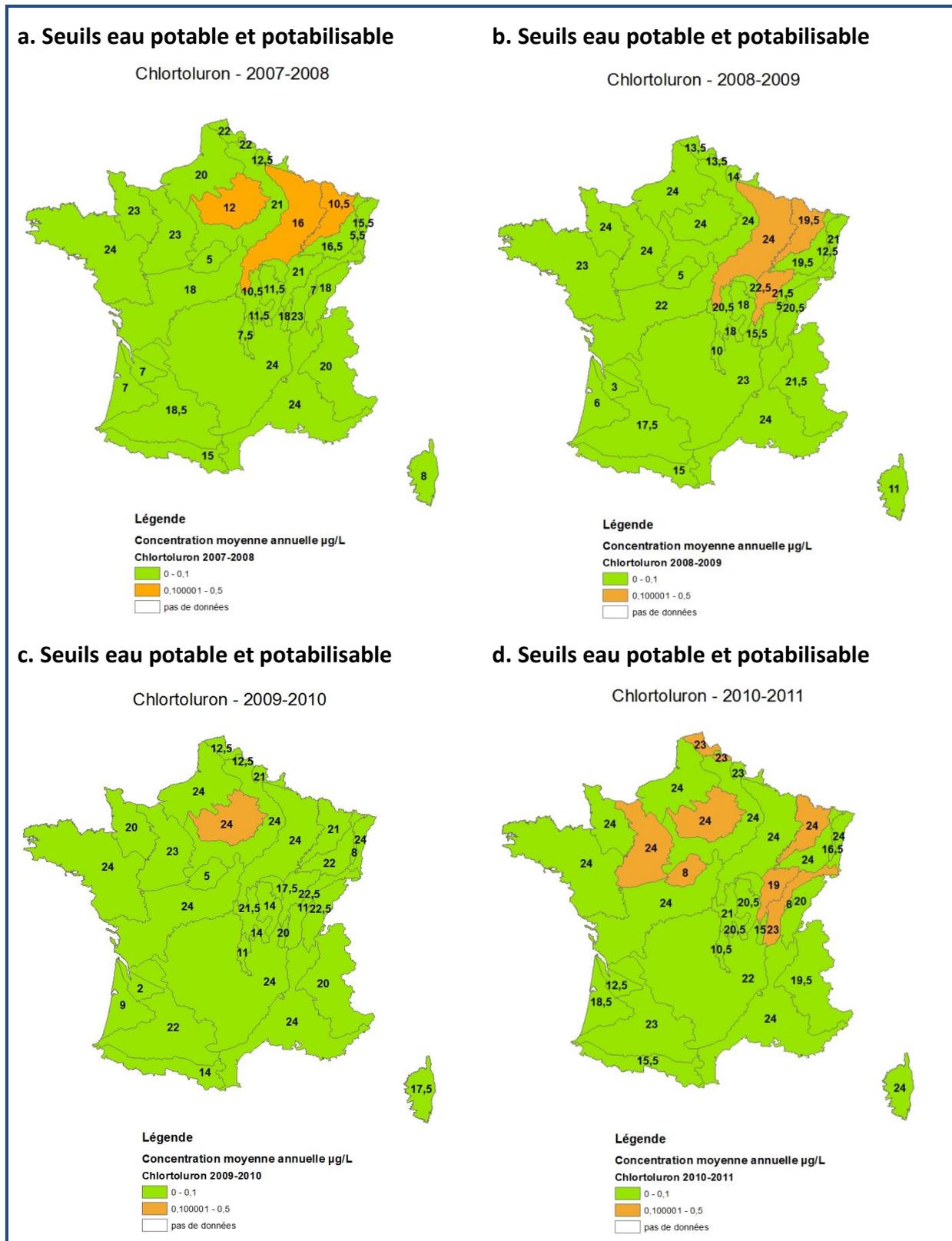


Figure 42 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en chlortoluron en Bretagne (HER 32)

### 2.3.5.6.3 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en chlortoluron

Les cartes de contamination au chlortoluron par HER modifiée sont présentées dans la Figure 43.



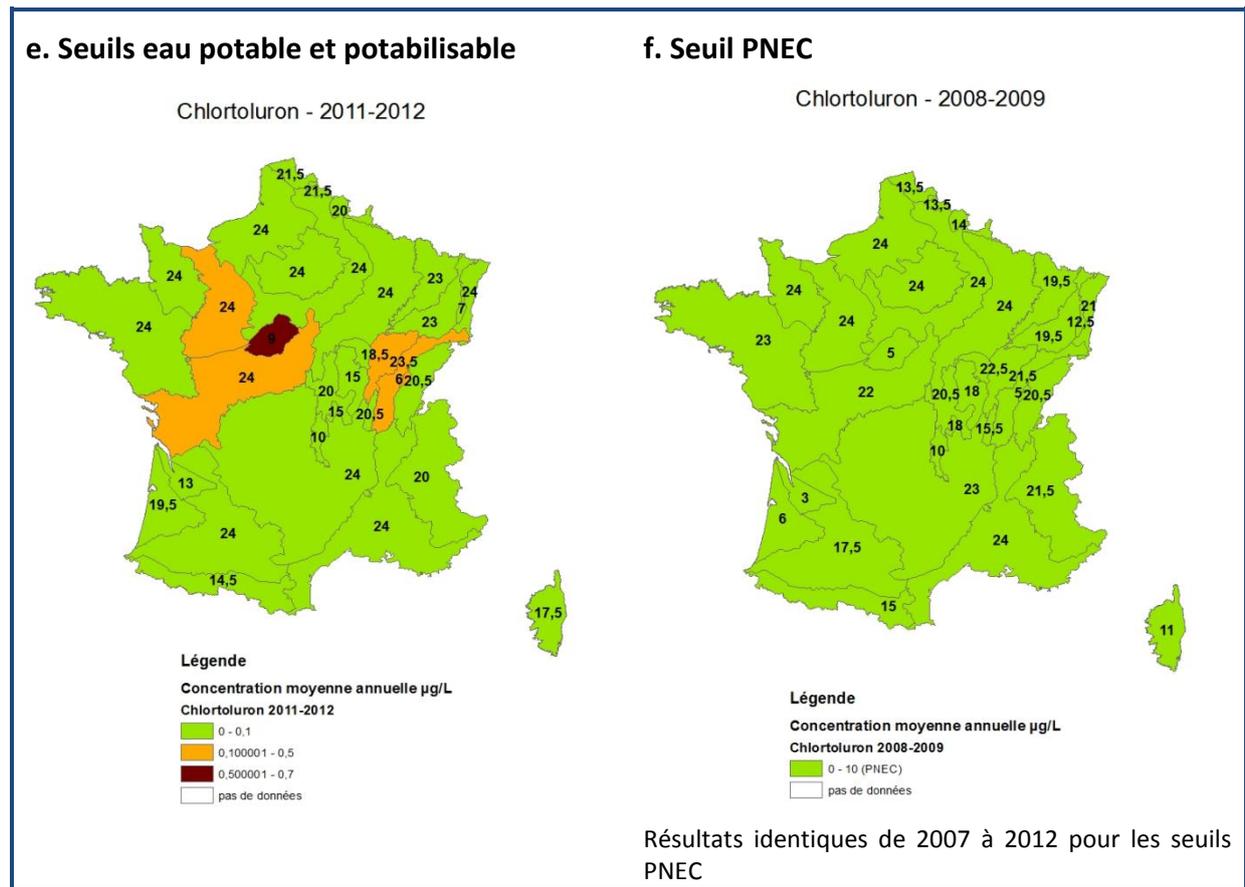


Figure 43 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le chlortoluron selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f).

## 2.3.5.7 Diflufénicanil

### 2.3.5.7.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination

Le diflufénicanil, herbicide à usages variés en zone agricole mais également en zones non agricoles, s'adsorbe fortement. Ceci explique sans doute en grande partie le fait qu'il ne soit que très peu retrouvé, bien que soumis à un effort d'analyse assez fort, le 90<sup>ème</sup> centile est presque tout le temps égal à la moitié de la limite de quantification. L'analyse à l'échelle des HER conduit à une conclusion similaire, et n'est donc pas poussée plus avant dans le cadre de ce rapport car elle n'aurait pas grand sens. Les résultats sont toutefois accessibles dans l'annexe 12

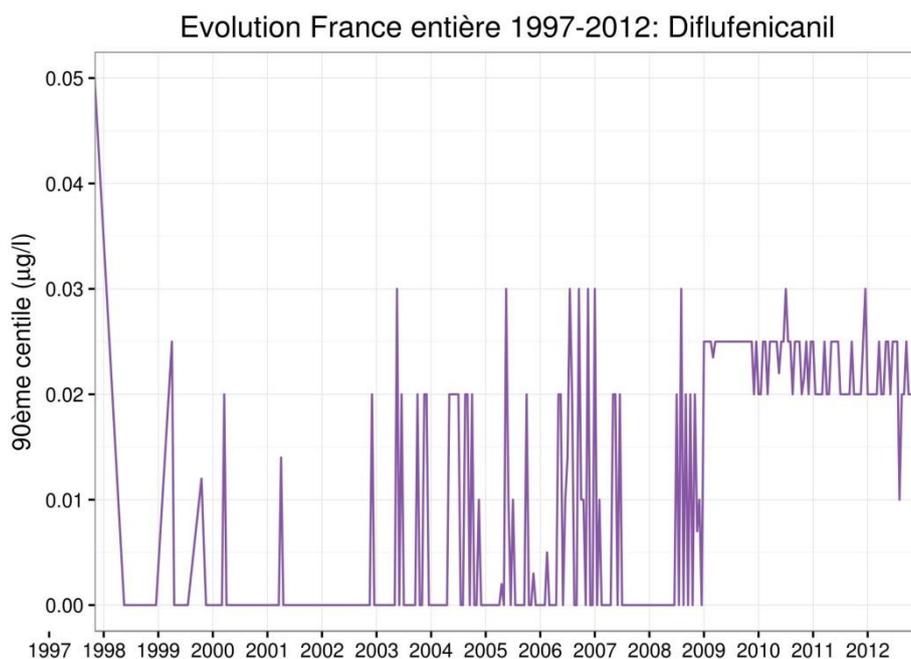


Figure 44 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du diflufenicanil

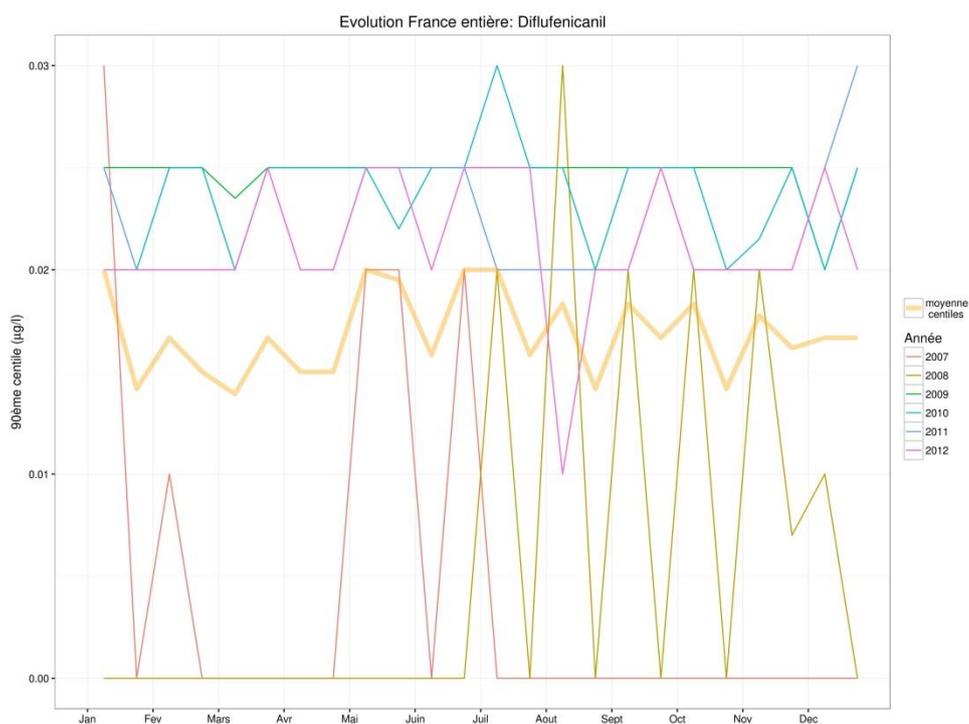


Figure 45 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le diflufenicanil

### 2.3.5.7.2 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en diflufenicanil

Les cartes de contamination au diflufenicanil par HER modifiée sont présentées dans la Figure 46Figure 43.

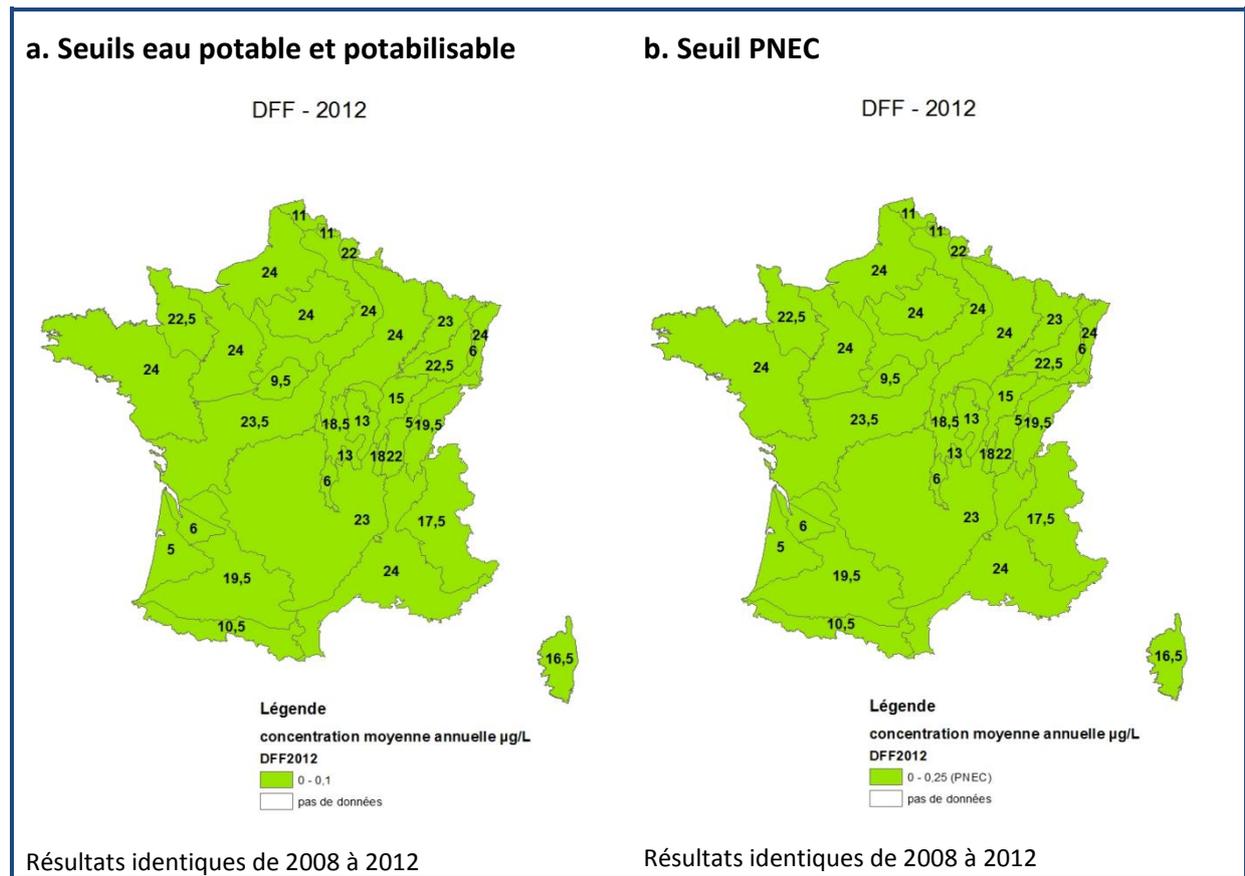


Figure 46 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le diflufenicanil selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a) ou le seuil PNEC (carte b).

### 2.3.5.8 Métazachlore

#### 2.3.5.8.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination

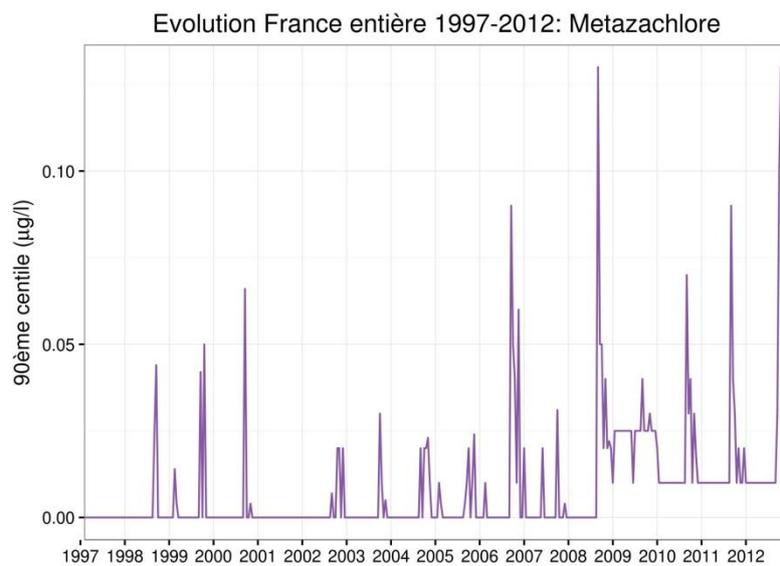


Figure 47 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du métazachlore

Le métazachlore, molécule utilisée sur crucifères, navet, tournesol et plantes aromatiques montre un niveau d'exportation stable, voire croissant sur la période. La période d'exportation semble très réduite. Elle intervient essentiellement après les implantations de colza de fin d'été et est concentrée sur septembre-octobre, voire novembre en 2012. Les niveaux de concentrations restent relativement faibles, et le 90<sup>ème</sup> centile est souvent assimilable à la moitié de la limite de quantification.

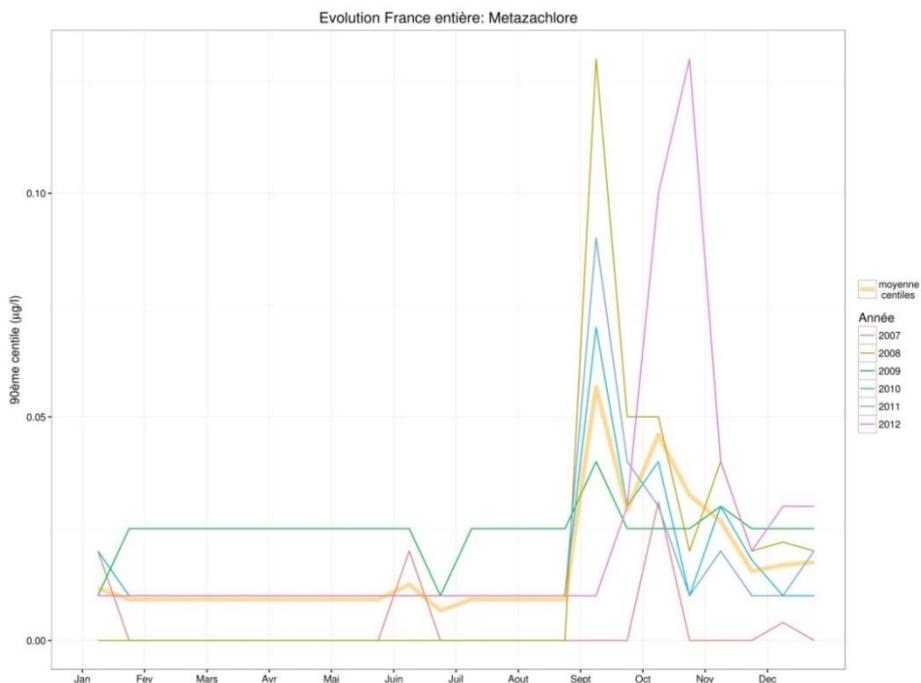


Figure 48 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le métazachlore

### 2.3.5.8.2 Analyse spatialisée à l'échelle des HER modifiée

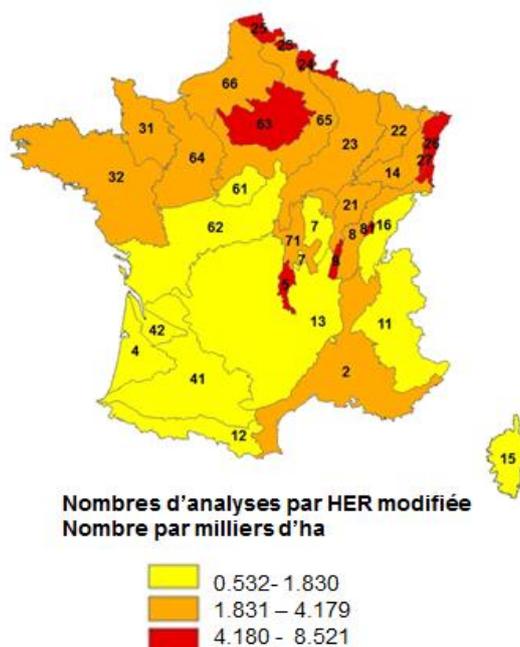


Figure 49: Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le métazachlore

L'effort d'analyse est hétérogène en fonction des HER pour cette molécule. Ceci pourrait expliquer pour partie que sur certaines HER, la molécule ne soit quasiment jamais mesurée à une concentration supérieure à la limite de quantification. En effet, pour celles où elle est quantifiée, les transferts sont très concentrés dans le temps, en général en septembre-octobre, en lien avec les usages sur colza (HER 63 à 66 par exemple - Cf Figure 50 pour la HER 63-, Ile de France). Quelques HERs, comme le Plateau Lorrain (HER 22) ou les Côteaux Aquitains (HER 41) montrent des contaminations printanières non négligeables, comme l'illustre la Figure 51. Pour le plateau lorrain, secteur très argileux et fortement drainé, la contamination observée est également très probablement liée aux usages sur colza : on peut supposer un décalage dans le transfert de la molécule, lié au fonctionnement du drainage. Cette hypothèse serait toutefois à consolider. Pour les Côteaux Aquitains, la contamination printanière est liée aux usages sur tournesol.

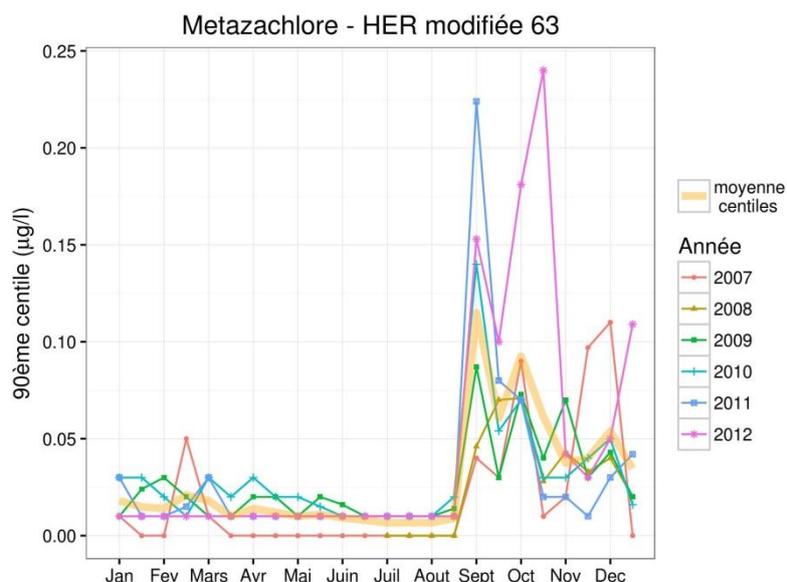


Figure 50 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en métazachlore en Ile de France (HER 63)

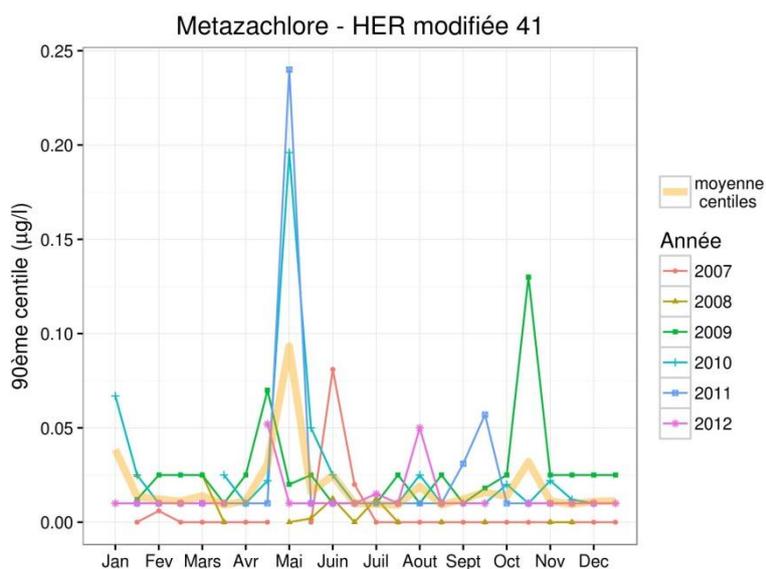


Figure 51 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en métazachlore pour les Côteaux Aquitains (HER 41)

### 2.3.5.8.3 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en métazachlore

Les cartes de contamination au métazachlore par HER modifiée sont présentées dans la Figure 52.

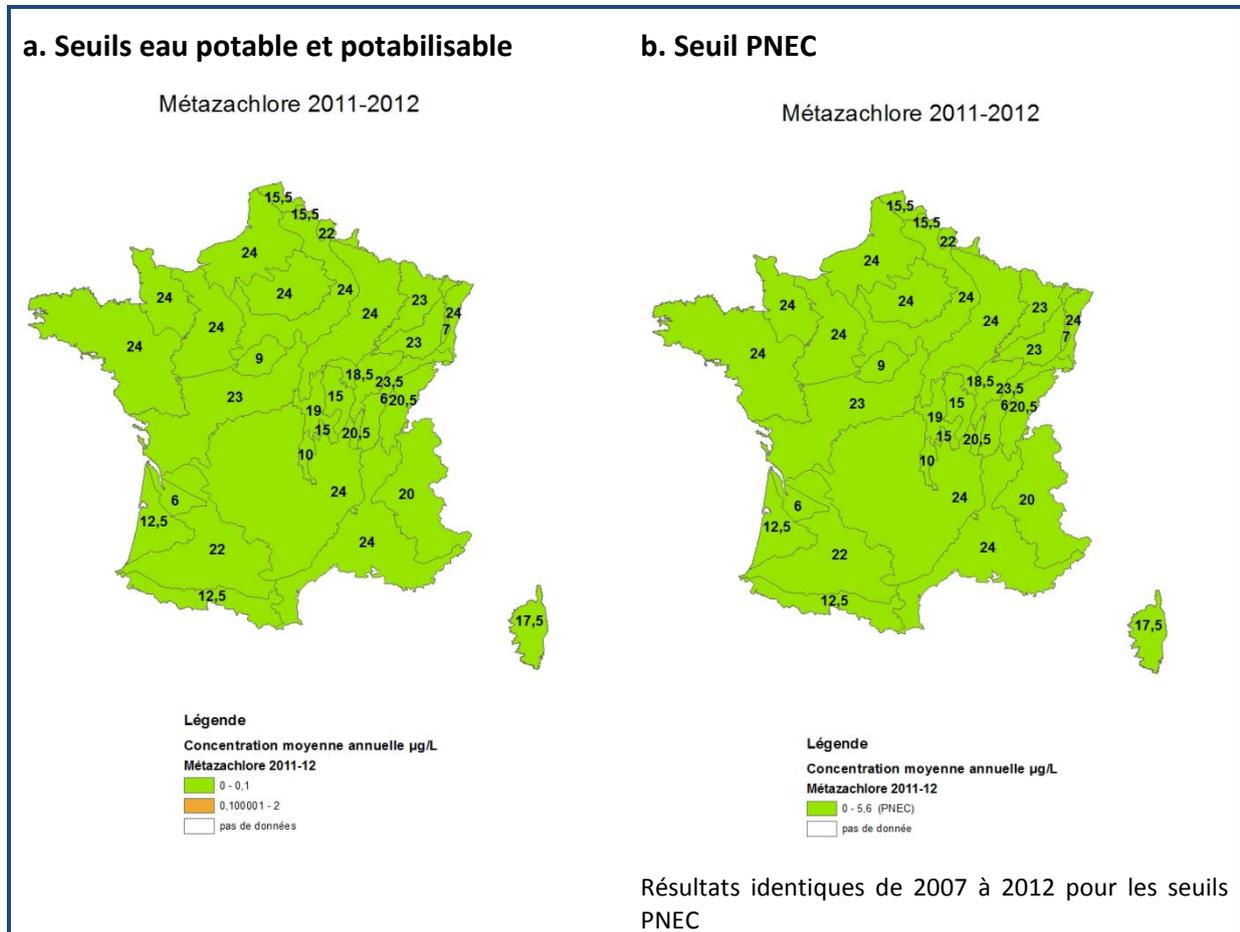


Figure 52 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le métazachlore selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a) ou le seuil PNEC (carte b).

## 2.3.5.9 Propyzamide

### 2.3.5.9.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination

Le propyzamide est une molécule aux usages très variés, assez peu soluble, et qui s'adsorbe assez significativement ( $K_{foc}$  de 688 mL/g), avec une durée de vie relativement longue (42 jours). Elle n'est que très peu retrouvée (recherchée surtout à partir de 2000), avec des détections essentiellement en décembre-janvier. À noter toutefois un niveau de contamination qui semble croître légèrement ces dernières années, en lien vraisemblablement avec une augmentation des usages notamment en herbicide sur colza : l'emploi de cette molécule en fin d'automne entre dans la stratégie de gestion des graminées résistantes au niveau de la rotation.

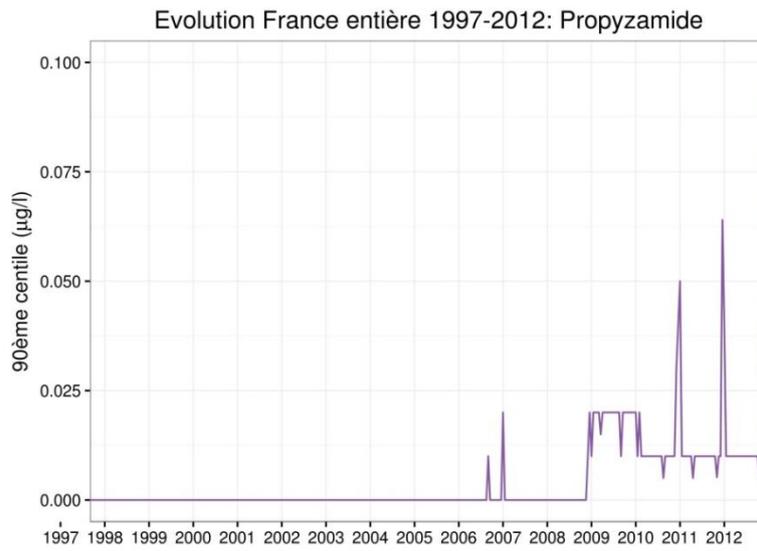


Figure 53 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du propyzamide

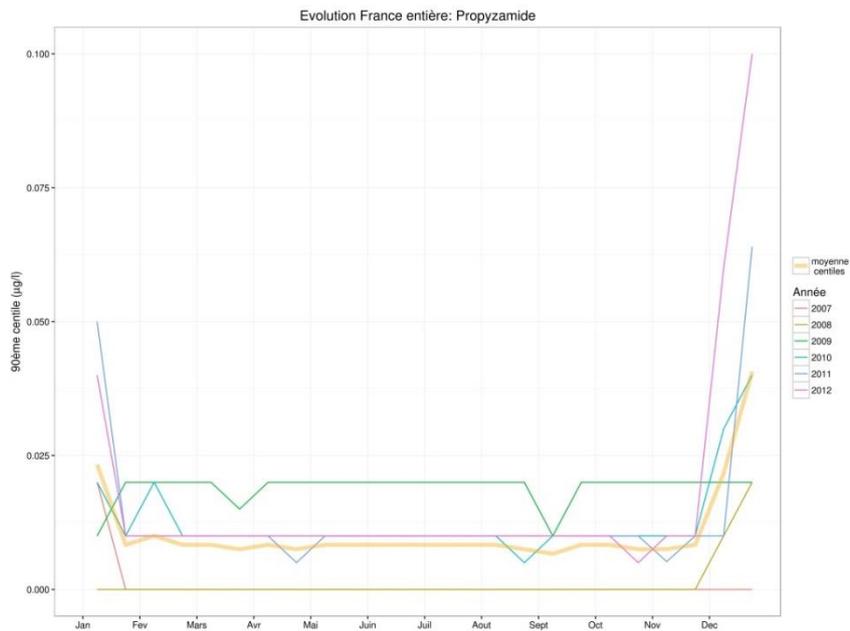
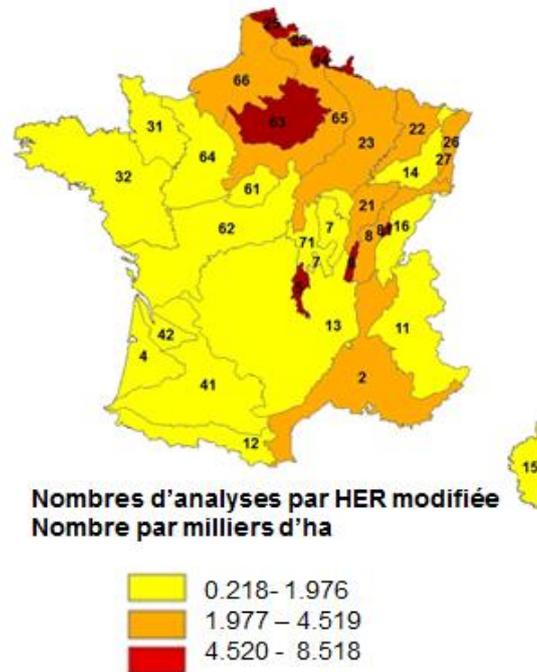


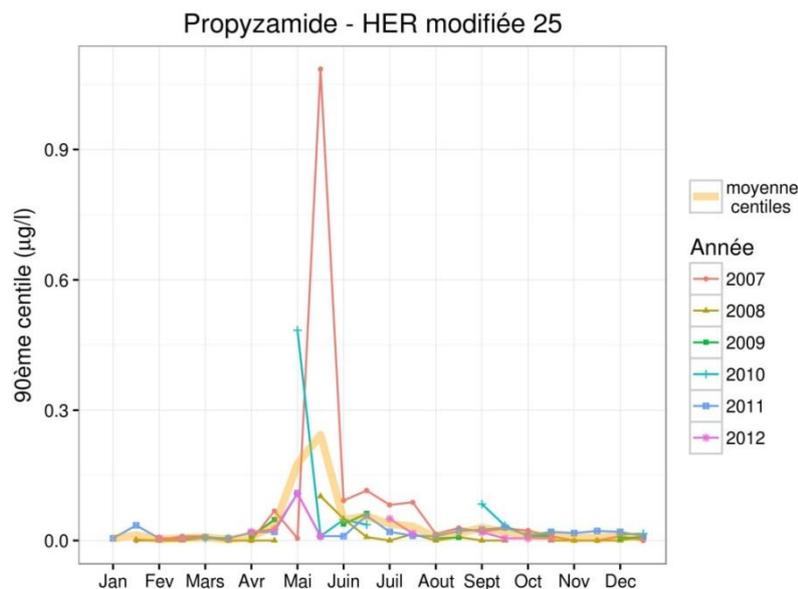
Figure 54 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le propyzamide

### 2.3.5.9.2 Analyse spatialisée à l'échelle des HER modifiée



**Figure 55: Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le propyzamide**

L'analyse de la dynamique temporelle des 90<sup>ème</sup> centiles à l'échelle de la HER fait apparaître des pics de contamination en été (pour les HER de l'est essentiellement, 21 à 25, mais aussi pour la Bretagne HER 32) qui disparaissent quand les statistiques sont menées à l'échelle nationale. Cette contamination est probablement à mettre en lien avec des usages printaniers sur légumes de plein champ : endives, choux, artichauts, laitues. Une contamination plus tardive comme observée pour les tables calcaires du sud Loire et Charente Poitou -HER 62- par exemple (cf Figure 57) correspond probablement à des applications de propyzamide sur colza en novembre. La culture de colza d'hiver est en effet très présente dans cette zone d'argilo-calcaires à faible réserve utile.



**Figure 56 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en propyzamide, en Flandres et Douai-Condé (HER 25)**

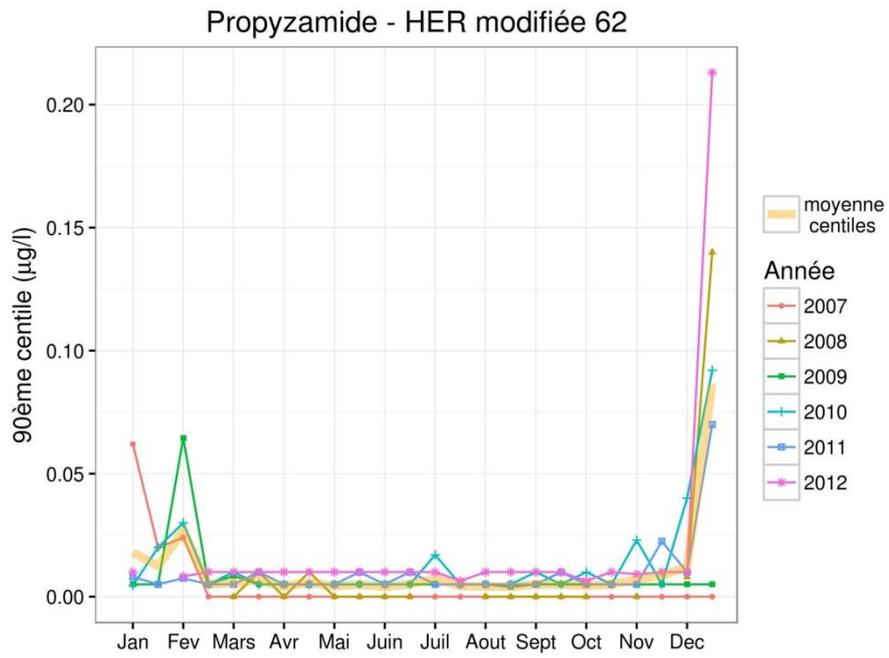


Figure 57 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en propyzamide, dans les tables calcaires du sud Loire et Charentes-Poitou (HER 62)

### 2.3.5.9.3 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en propyzamide

Les cartes de contamination au propyzamide par HER modifiée sont présentées dans la Figure 58.

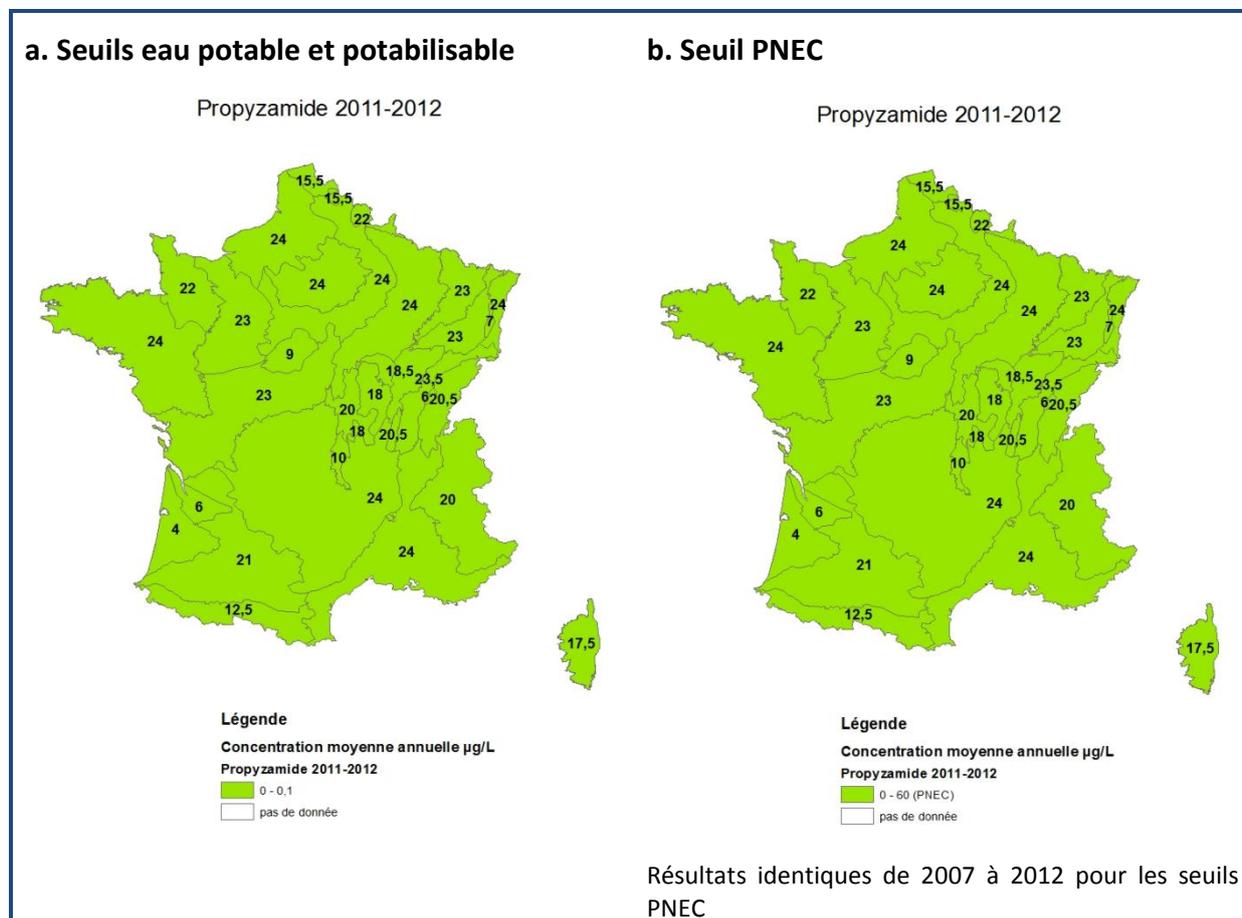


Figure 58 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le propyzamide selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a) ou le seuil PNEC (carte b).

### 2.3.5.10 S-Métolachlore

#### 2.3.5.10.1 Courbe enveloppe nationale et variabilité temporelle de la contamination

Le S-métolachlore s'adsorbe modérément et a une durée de vie limitée (14.5 jours). Ses usages majeurs en métropole sont variés : betterave, maïs, soja, tournesol. Les applications sur ces différentes cultures ont toutes lieu au printemps. On remarque sur la Figure 59 que la courbe enveloppe diminue progressivement de 1997 à 2007, pour croître ensuite significativement. La décroissance observée doit refléter l'interdiction du mélange R-Métolachlore et S-métolachlore en 2002 (se traduisant par une réduction de la dose totale de métolachlore à l'ha), alors que la croissance relevée à partir de 2007 doit refléter une augmentation du recours à cette molécule suite à l'arrêt de l'alachlore (juin 2008). La contamination plus marquée en 2012 peut être reliée à une pluviométrie plus importante. Les transferts se font très majoritairement entre mai et juillet, et sont étroitement dépendants de la météo, comme l'illustre la variabilité interannuelle constatée sur la Figure 60, avec par exemple l'année très sèche de 2003 qui présente un faible niveau de contamination.

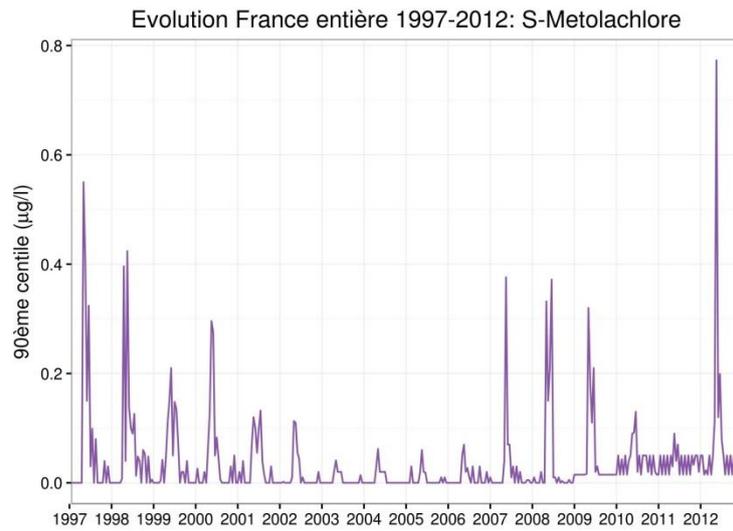


Figure 59 : Courbe enveloppe pour la période d'étude du S-Métolachlore

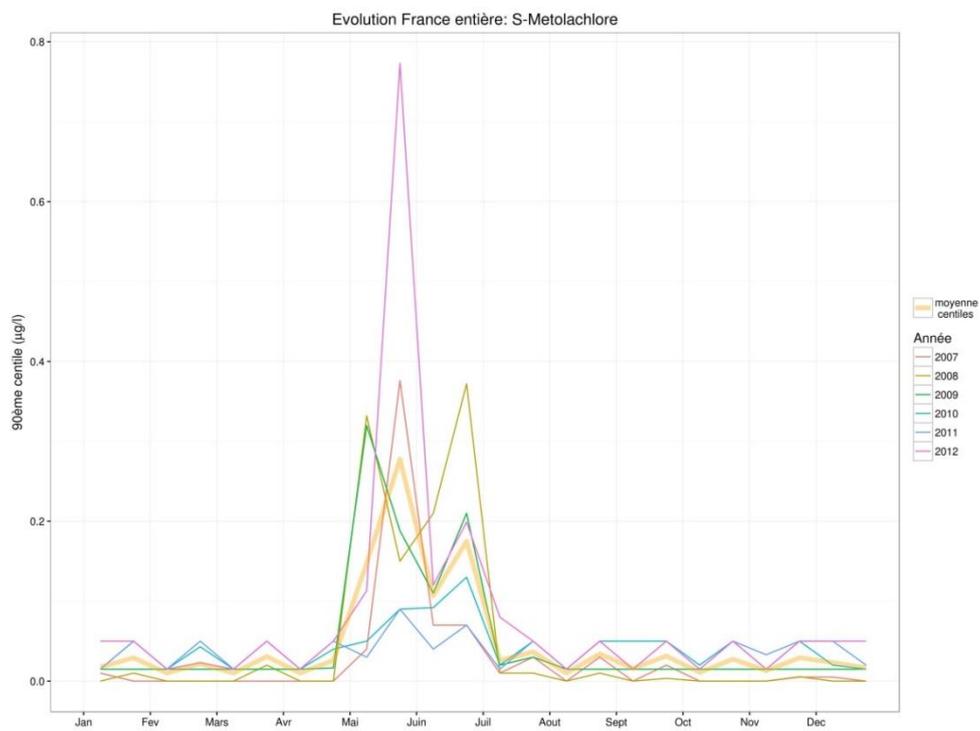


Figure 60 : Dynamique intra-annuelle de la contamination par le S-Métolachlore

### 2.3.5.10.2 Analyse spatialisée à l'échelle des HER modifiée

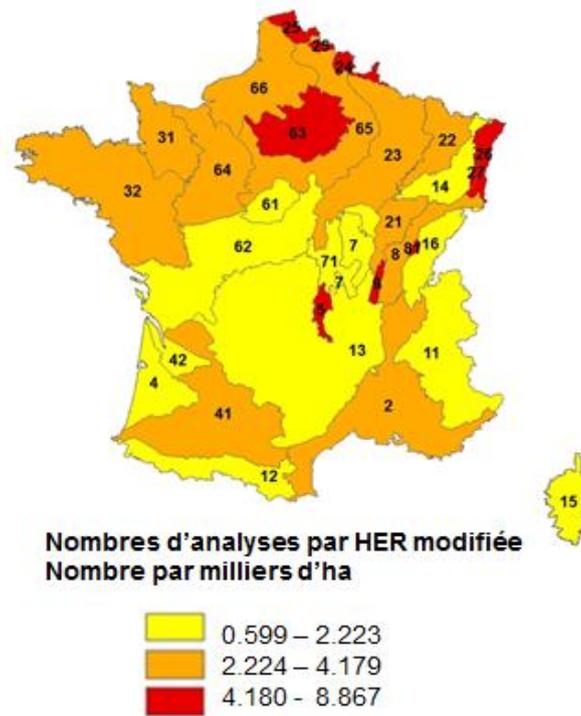


Figure 61: Répartition spatiale des analyses par HER modifiée pour le S-Métolachlore

La Figure 62, concerne l'Île de France et illustre la dynamique typique de la courbe enveloppe pour le S-Métolachlore, et la relative variation interannuelle, probablement liée à la variabilité des précipitations (occurrence, lame précipitée, intensité) et des dates semis et donc de traitement.

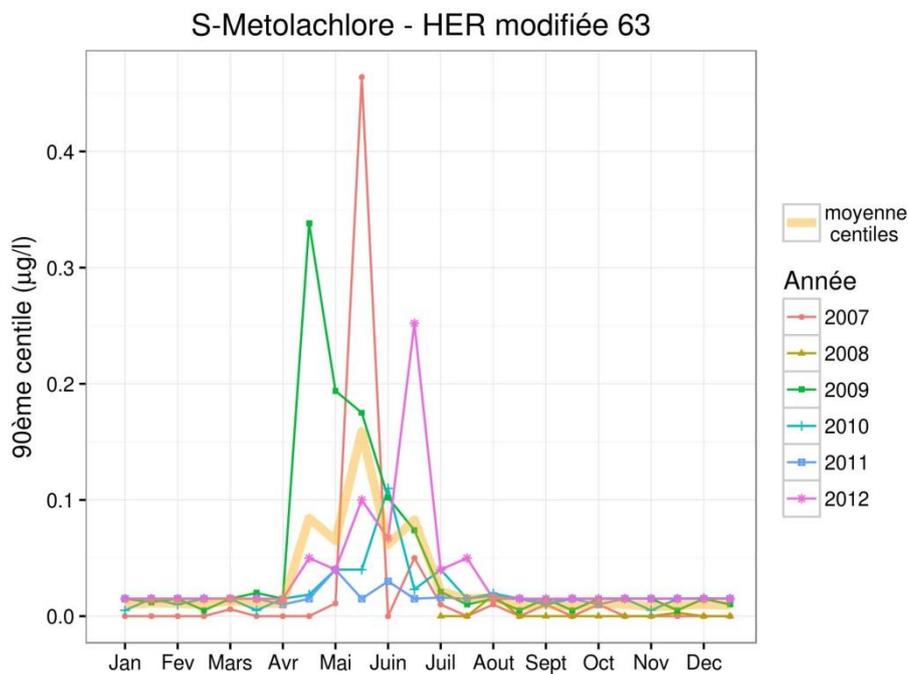
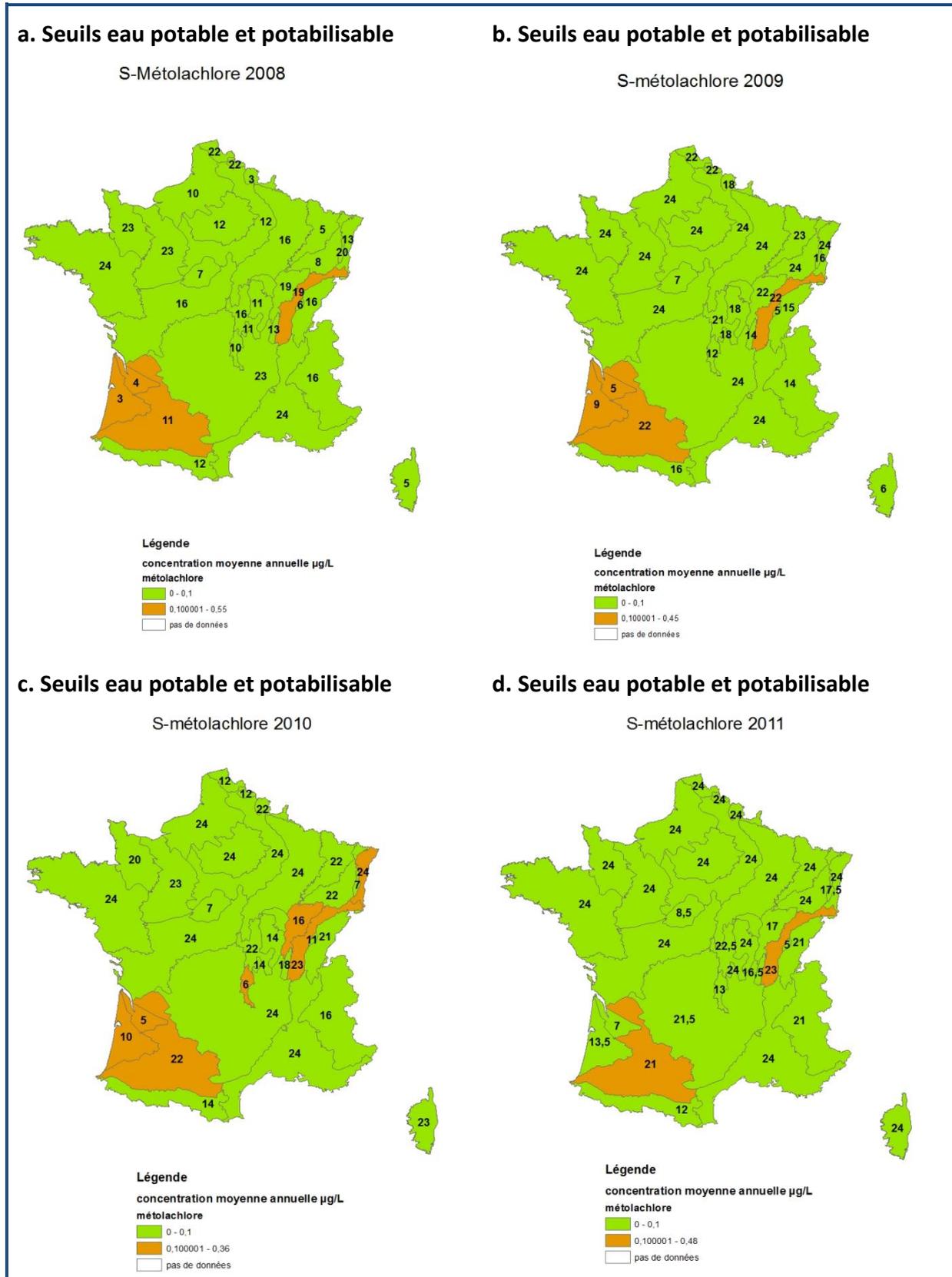


Figure 62 : Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en S-Métolachlore en Ile de France (HER 63)

### 2.3.5.10.3 Dynamique spatiale et temporelle de la pression de contamination en S-Métolachlore

Les cartes de contamination au S-métolachlore par HER modifiée sont présentées dans la Figure 63.



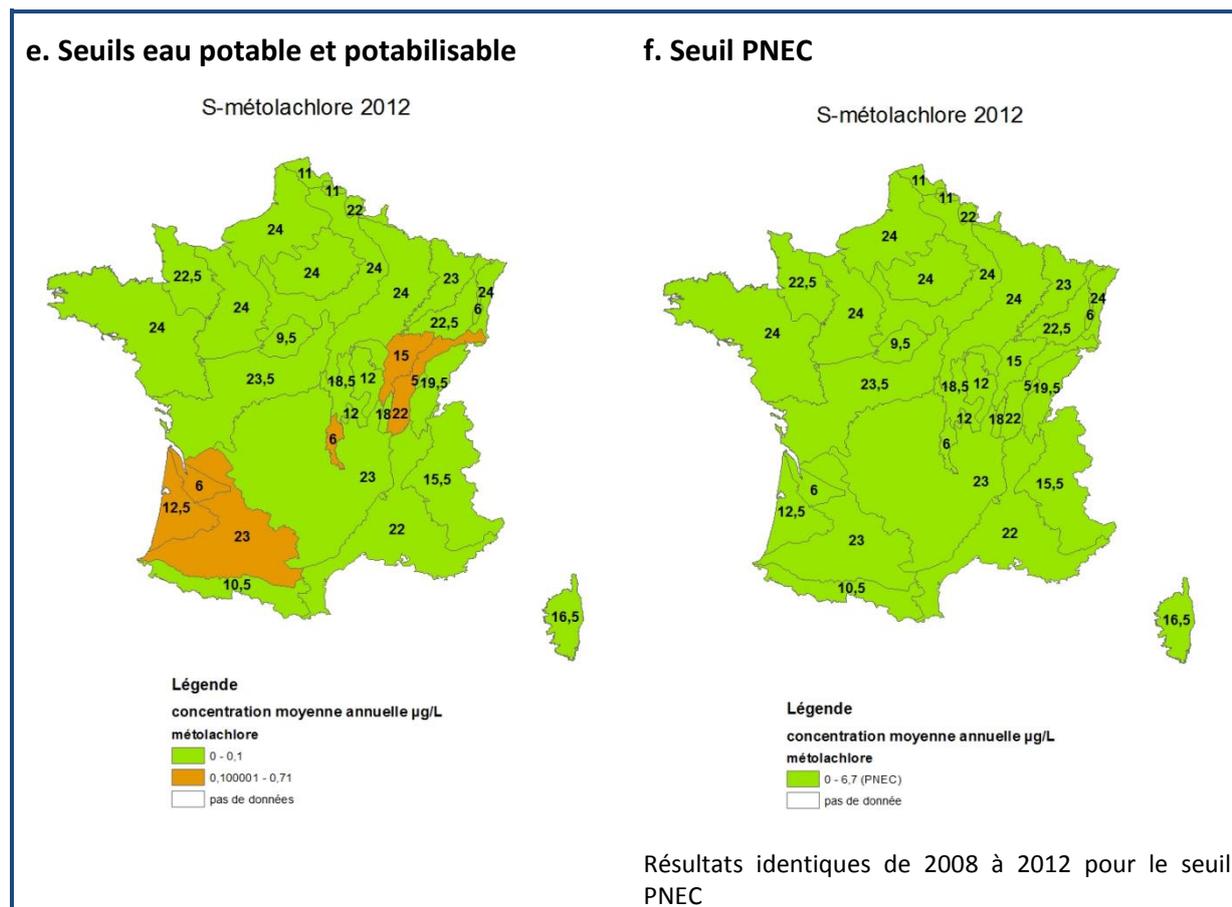


Figure 63 : Contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée à partir des données d'observation pour le S-métolachlore selon les seuils eau potable et de potabilisation (cartes a à e) ou le seuil PNEC (carte f).

### 2.3.6 La pression phytosanitaire

La pression phytosanitaire est délicate à évaluer. En effet, plusieurs sources de données sont disponibles, chacune ne concernant, en général, qu'une partie des usages des produits phytosanitaires (agricoles, non agricoles, professionnels, amateurs). Par ailleurs, la distribution spatiale des informations n'est pas toujours compatible avec une analyse à l'échelle des hydro-écorégions. Il n'existe donc aucune base de données adaptée et exhaustive pour représenter à cette échelle les doses appliquées sur le territoire national.

Les bases nationales sont :

- **le RICA** : Réseau National Comptable Agricole. La dépense globale en produits phytosanitaires des agriculteurs, fournie par le Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA), est exhaustive pour les usages agricoles mais, en revanche, elle est peu informative, puisque ne donnant pas accès au « mélange » de substances actives utilisées sur chaque exploitation : elle fournit une indication du niveau de pression mais sans indiquer quelles molécules ont été utilisées, à quelles doses et sur quelles cultures. Cette information est disponible à l'échelle des régions administratives et a été rapportée à l'échelle des petites régions agricoles.
- **les Enquêtes Pratiques Culturelles (EPC)** : Les enquêtes « pratiques culturelles » réalisées dans le cadre d'Agreste (ministère en charge de l'agriculture) ont l'avantage d'être précises quant aux substances et doses utilisées, surfaces traitées et dates d'application, pour des exploitations « type ». Ces enquêtes n'ont toutefois pas été conduites pour toutes les cultures : elles peuvent être utilisées pour évaluer les risques liés à quelques usages ou quelques molécules particulières.

- **la BNVD** : Banque Nationale des Ventes des Distributeurs. La base nationale des ventes de produits phytopharmaceutiques par les distributeurs agréés (BNV-d) contient les quantités de chaque substance vendues à chaque point de vente, par année, depuis 2008. La limite de cette base est l'échelle géographique à laquelle elle peut être exploitée. En effet, la localisation du point de vente ne présage pas toujours de la localisation des utilisations, les distributeurs ayant des aires de vente plus ou moins étendues (notamment à cause de la vente par correspondance).

Les particularités de chacune de ces bases sont résumées dans le Tableau 3.

**Tableau 3 : Particularités des bases de données des produits phytosanitaires**

| Source                        | RICA   | EPC   | BNVD                                |
|-------------------------------|--|---|-------------------------------------|
| <b>Nature des données</b>     | Coût des produits appliqués  | Quantités de produits appliqués   | Quantités de produits vendus        |
| <b>Produits couverts</b>      | Tous produits confondus  | Par produit   | Par produit commercial / substance  |
| <b>Usages ouverts</b>         | Tout usage agricole  | Grandes cultures, prairies et viticulture   | Tout usage agricole et non agricole |
| <b>Type d'échantillonnage</b> | Echantillon d'exploitations représentatif par région, par Otex et par Cdex         | Pour chaque culture, échantillon de parcelles dans les départements où les surfaces de cette culture sont importantes | France entière                      |
| <b>Périodicité</b>            | Annuelle   | Ponctuel (dernier 2011)   | Annuelle (depuis 2008)              |
| <b>Détenteur des données</b>  | Service de la Statistique et de la Prospective (SSP) du Ministère de l'Agriculture | Service de la Statistique et de la Prospective (SSP) du Ministère de l'Agriculture                                    | Onema                               |
| <b>Accessibilité</b>          | Publiées par région, données individuelles confidentielles                         | Publiées par région, données individuelles confidentielles  | Données confidentielles             |

Il existe également des bases régionales plus précises qui pourront être utilisées dans le cas d'études locales.

Dans la suite du travail, on se basera essentiellement sur la BNVD, plus facilement accessible et dont la couverture est nationale. Les quantités vendues sont pour l'instant rattachées à la commune du distributeur, et non à la commune de l'acheteur, ce qui induit certains biais pour la représentation spatiale des ventes au niveau de la masse d'eau. Toutefois, cette base devrait progressivement évoluer vers une meilleure résolution spatiale (travaux de l'INRA en cours pour améliorer la pertinence de la désagrégation spatiale et enregistrements futurs des ventes au code postal de l'acheteur). Dans cette partie, les quantités de substance ont été agrégées par HER pour éviter les effets de bord. Il faut également souligner que cette base recense les produits vendus, et non nécessairement appliqués, du moins pas dans la campagne suivant l'achat : les agriculteurs peuvent avoir constitué leurs stocks et ne pas les utiliser entièrement si la pression adventice ou fongique s'avère moindre que prévu compte tenu d'une météo clémente. Le Tableau 4 résume les quantités de matière active vendues de 2008 à 2012 pour les molécules étudiées.

Tableau 4 : Evolution des quantités de substances actives vendues, de 2008 à 2012, en kg. (source : BNVD)

| Année/Molécule        | 2008      | 2009      | 2010      | 2011      | 2012      |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>2,4-D</b>          | 434 220   | 555 549   | 550 949   | 674 298   | 684 592   |
| <b>Chlortoluron</b>   | 1 235 555 | 1 559 250 | 1 333 221 | 1 679 888 | 1 129 935 |
| <b>Diflufénicanil</b> | 158 513   | 178 383   | 181 194   | 278 870   | 193 042   |
| <b>Glyphosate</b>     | 7 966 828 | 6 291 752 | 7 182 001 | 8 462 526 | 9 051 638 |
| <b>Isoproturon</b>    | 1 472 858 | 1 670 238 | 1 231 323 | 1 733 490 | 946183    |
| <b>Métazachlore</b>   | 349 450   | 396 412   | 793 538   | 806 715   | 875 953   |
| <b>Propyzamide</b>    | 157 471   | 207 913   | 255 743   | 255 272   | 288 994   |
| <b>S-Metolachlore</b> | 1 172 156 | 1 523 159 | 1 457 564 | 1 538 449 | 1 473 020 |

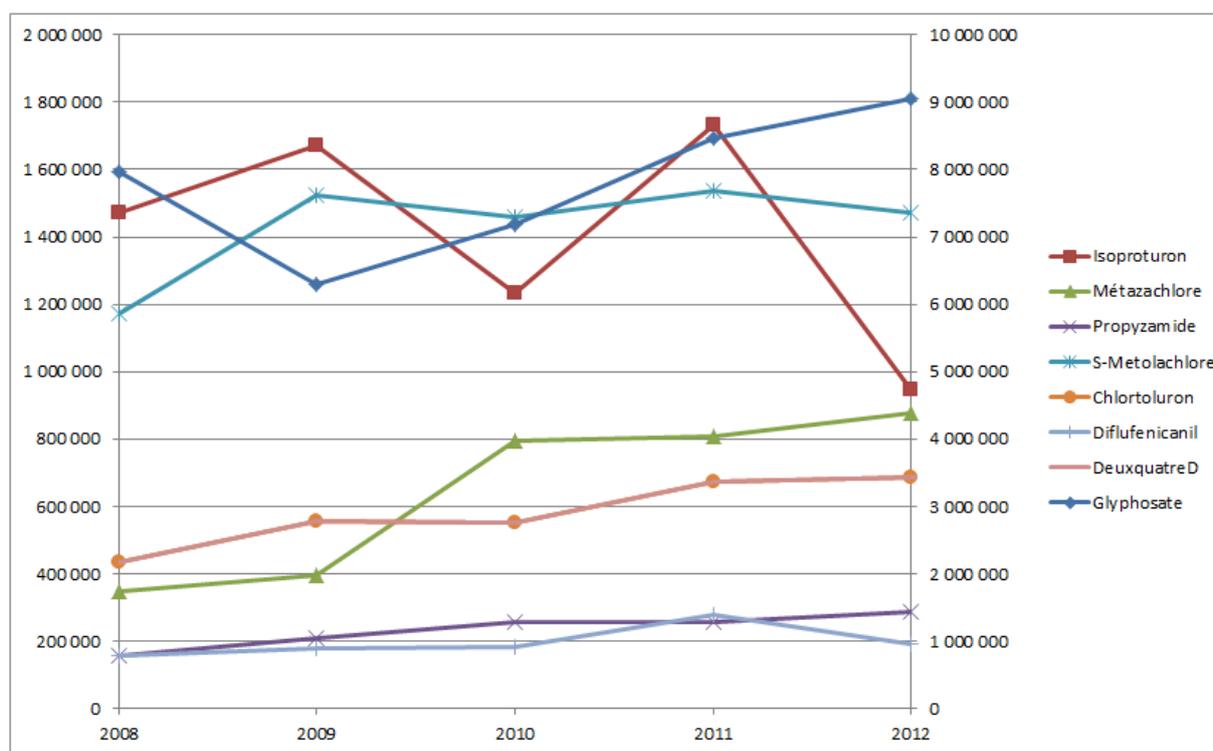


Figure 64 : Evolution des ventes des substances étudiées, de 2008 à 2012, en kilogrammes. Le glyphosate est porté sur l'axe de droite. (source : BNVD)

### 3 MISE EN PARALLELE AVEC LA METHODE ARPEGES

**Rappels sur les transferts hydriques de produits phytosanitaires. Intérêt de la méthode ARPÈGES dans le cadre de cette étude.**

Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement, et notamment leur transfert vers le milieu aquatique, est déterminé par un ensemble de processus complexes, et qui interagissent de façon non linéaire entre eux. En effet, les molécules phytosanitaires ont la particularité d'interagir avec le milieu, et en particulier de pouvoir être dégradées, ou adsorbées, c'est-à-dire retenues sur les particules de sol (notamment matière organique ou argile) après avoir été appliquées et avant de rejoindre le milieu aquatique par transfert hydrique.

Le devenir d'une substance va donc dépendre à la fois :

- Des caractéristiques physiques du milieu (climat, sol, géologie, relief) qui vont conditionner les écoulements dominants susceptibles d'entraîner les molécules vers le milieu aquatique. On conçoit en effet que des produits entraînés par ruissellement auront moins d'opportunité d'être dissipés (dégradés ou adsorbés) que des produits transitant lentement dans le sol.
- Des caractéristiques propres de la molécule. On caractérise notamment le comportement d'une molécule phytosanitaire dans l'environnement par sa facilité à être dégradée (DT50, ou demie vie, exprimée en jours ; d'autant plus forte que la molécule se dégrade lentement) et à être adsorbée (Koc ou coefficient de partage sol/eau, exprimée en mL/g ; d'autant plus fort que la molécule s'adsorbe facilement, et est donc moins mobile).
- De la façon dont la molécule est utilisée : période, doses et lieux d'application.

La méthode ARPÈGES est basée sur ce constat, et rend compte des connaissances expertes (réseau bayésien) mobilisables sur le devenir des pesticides dans l'environnement et leur transfert hydrique vers les eaux de surface, en fonction de ces trois ensembles de déterminants (Figure 65). ARPEGES permet ainsi de **croiser la vulnérabilité du milieu** au transfert des produits phytosanitaires et la **pression d'usage exercée par ces substances** sur le territoire français métropolitain. Cette méthode est basée sur la construction d'un **modèle de connaissance des processus de transfert**. Elle a été élaborée pour fournir un potentiel de contamination du milieu pour l'ensemble des substances actives utilisées, à partir des différentes variables influençant ces phénomènes. Elle distingue les processus se produisant en automne-hiver (nappes hautes, réserves en eau des sols remplies) et au printemps-été (nappe basse, réserves en eau des sols plus faibles). Les processus en jeu sont complexes et les **données imparfaites à l'échelle nationale**. Afin de fournir une indication du niveau de confiance associé au résultat, le **croisement** des données se fait de façon **probabiliste** à l'aide d'un **système bayésien**. Au total, 18 variables sont agrégées pour obtenir le potentiel de contamination. L'échelle d'étude est le **Bassin Versant de Masse d'Eau (BVME)** défini dans le cadre de la DCE (environ 9000 BVME sur le territoire métropolitain). **On rappelle que le terme de contamination est ici utilisé dans le sens d'exposition du milieu, sans préjuger des risques écotoxicologiques associés.**

L'application de cette méthode permettrait donc de connaître les causes potentiellement majoritaires dans la contamination observée et de proposer une première orientation générale de types d'actions pour réduire ce phénomène, selon les voies prépondérantes du transfert.

Dans le cadre du projet actuel, certains ajustements ont été réalisés sur la méthode ARPEGES :

- **La méthode initialement conçue pour un mélange de substances actives a été adaptée à l'étude d'une seule molécule.** On a en particulier recherché une donnée plus précise et spatialisée pour la pression d'utilisation phytosanitaire que celle utilisée initialement pour élaborer la méthode. Par ailleurs, l'approche par substance a permis la confrontation avec les données de surveillance présentées en première partie de ce rapport et ainsi : 1) de tester la cohérence des résultats des cartes de potentiel de contamination d'ARPEGES avec les cartes de contamination observées et, 2) de donner un ordre de grandeur des niveaux de concentration moyenne auxquels les limites de classes de potentiel de potentiel d'ARPEGES pouvaient être confrontées.
- L'examen des premiers résultats a montré la nécessité **d'isoler l'influence sur les résultats de la dérive de pulvérisation.** En effet, il est rapidement apparu que cette voie de transfert telle qu'elle était considérée dans la version initiale de la méthode gommait l'effet des autres voies de transfert et, donc, l'effet des propriétés des substances et du milieu. La contribution de ce type de transfert au potentiel de contamination n'a donc plus été considérée dans la suite, pour permettre de différencier le potentiel de transfert lié aux transferts hydriques. Cette décision s'appuie également sur le fait qu'il existe des outils de réduction de la dérive (buses ou matériel de pulvérisation adaptés, restrictions d'usage et bandes enherbées en bordure de cours d'eau) non pris en compte dans ARPEGES. Les résultats présentés ici excluent cette voie de transfert et se concentrent sur le potentiel de contamination des eaux par voies hydriques (ruissellement, drainage et sub-surface).

On rappelle que **la maille de la méthode d'interprétation des données de surveillance est la HER modifiée alors qu'il s'agit du bassin versant de la masse d'eau dans le cas de la méthode ARPEGES.** Ces éléments seront donc importants à prendre en considération lors de la confrontation des résultats.

On précise en complément qu'en parallèle de ce travail « thématique », un travail de programmation visant à faciliter la mise en œuvre et la reproductibilité des résultats de la méthode ARPEGES (écriture et mise en œuvre de routines de préparation des données pour le croisement dans l'outil Netica) a été réalisé avec l'appui d'Yves-Marie PERES (CDD dans l'équipe mixte Onema-Irstea).

## 3.1 Rappel du principe et des principales sorties possibles de la méthode ARPEGES

La démarche proposée est basée sur une approche descriptive et experte des bassins versants dans leur fonctionnement global. Elle repose sur une hiérarchisation des causes d'altération de l'état des cours d'eau liées à la pression globale exercée par les pesticides, en considérant les aspects essentiels de la contamination : la vulnérabilité du milieu aux transferts, les usages (ou pression phytosanitaire), et les propriétés des substances utilisées. Chacun de ces aspects est décrit à partir d'informations spatialisées, structurées et croisées à l'aide des méthodes bayésiennes. Ces informations, agrégées aux échelles d'intérêt à partir de techniques SIG, sont issues des données disponibles sur l'ensemble du territoire métropolitain pour assurer l'homogénéité de la méthode. La modélisation bayésienne, probabiliste, repose sur l'expression de l'état d'une ou plusieurs variables en fonction de l'état d'autres variables, dites explicatives, via l'expression de probabilités conditionnelles. Par exemple : « Sachant que les sols sont très battants sur un bassin versant et que les bords de rivière ne sont pas protégés par une ripisylve ou des zones tampons enherbées, alors il y a de fortes chances que le ruissellement hortonien advienne fréquemment et atteigne la rivière ». La probabilité d'occurrence du ruissellement est dans ce cas de figure considérée comme plus élevée.

### 3.1.1 Description de la méthode ARPEGES

#### 3.1.1.1 Prise en compte de la vulnérabilité et de la pression pour l'évaluation du potentiel de contamination

La méthode ARPEGES s'appuie sur la démarche générale de diagnostic proposée par le Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement (CORPEN). Celui-ci définit le potentiel de contamination comme résultant d'une **conjonction** entre la **vulnérabilité des masses d'eau** et **l'utilisation de produits phytosanitaires** (« pression phytosanitaire »). Dans cette logique, le potentiel de transfert de substances actives est déterminé en caractérisant les voies de circulation de l'eau dans le milieu, et en tenant compte de leur comportement dans ces différentes voies, compte tenu de leurs caractéristiques propres. En effet, dans des conditions de transfert similaires, les substances ne seront pas mobilisées de la même façon suivant leurs propriétés : une substance active s'adsorbant fortement sera significativement mobilisée si le milieu est vulnérable au ruissellement **et** érosif ; une substance s'adsorbant peu sera de toute façon fortement mobilisée par voie hydrique si le ruissellement est important, que le milieu soit érosif ou non. De même, dans un milieu vulnérable à une contamination via les écoulements de sub-surface, les molécules rémanentes seront plus problématiques que les autres.

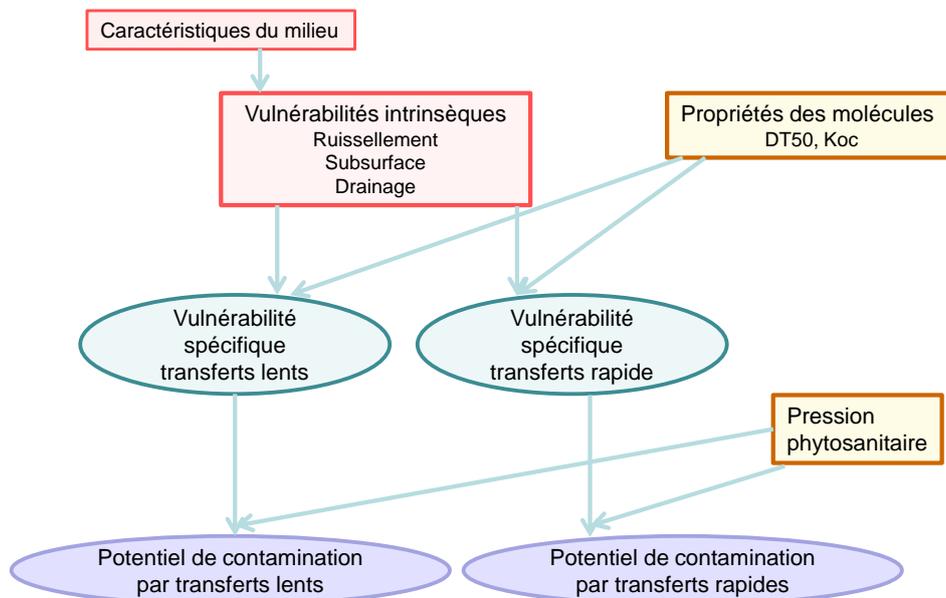


Figure 65 : Schéma global de l'évaluation du potentiel de contamination par la méthode ARPEGES.

Dans ce sens, la méthode ARPEGES consiste d'abord en une évaluation de la **vulnérabilité dite « intrinsèque »** car liée au milieu physique (modifié ou non par les aménagements anthropiques que sont par exemple les réseaux de drainage ou la végétalisation des berges). La vulnérabilité intrinsèque est déclinée selon les trois **grandes voies de transfert** contribuant à la contamination des eaux de surface : **ruissellement, drainage agricole et écoulements latéraux subsurface**. Ceux-ci correspondent aux écoulements saturés qui peuvent advenir quand une couche de moindre perméabilité dans le sol limite la percolation de l'eau en profondeur, et conduit à des écoulements latéraux, suivant la pente de cette rupture de perméabilité. Ces écoulements sont en général lents et leur occurrence s'accompagne souvent de saturation en eau du profil de sol, qui peut conduire à la mise en place d'un drainage par tuyaux enterrés. L'occurrence et l'importance de ces différents types d'écoulement sont décrites, pour chaque situation, en fonction notamment des caractéristiques du sol et du sous-sol, de la présence ou non de protection des cours d'eau (ripisylve et zones tampons enherbées), ainsi que des caractéristiques de la zone climatique considérée (caractérisées par les cumuls de pluie, ainsi que la fréquence et l'intensité des pluies).

Ensuite, on évalue la **vulnérabilité dite « spécifique »** (Figure 65), en combinant ces vulnérabilités intrinsèques avec les propriétés des substances actives : la vulnérabilité intrinsèque va plus ou moins s'exprimer en fonction des propriétés de la substance active considérée. Les propriétés prises en compte sont celles classiquement considérées dans les méthodes d'évaluation de risque : la demi-vie (DT50), le coefficient d'adsorption sur le carbone organique (Koc). Pour mieux rendre compte du fonctionnement hydrologique du milieu, on distingue les transferts advenant pendant ou juste après un événement pluvieux (qualifiés de **transferts rapides**, et générés par ruissellement et drainage en période d'écoulement intense) et les transferts advenant en période de récession (qualifiés **de transferts lents**, et qui englobent les 3 types d'écoulements : ruissellement, drainage et écoulements de subsurface).

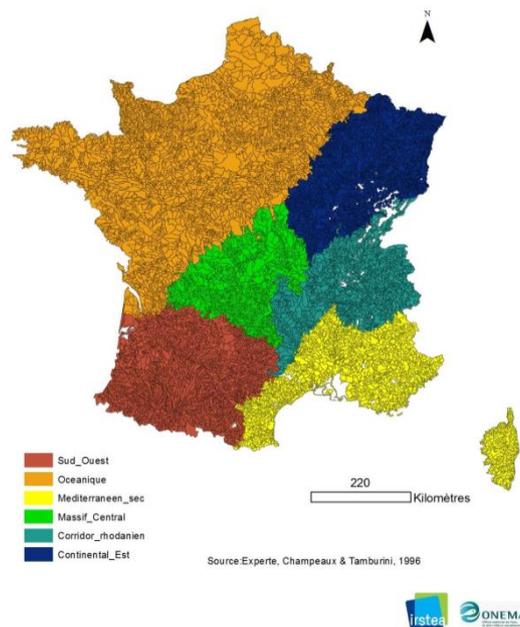
Enfin, le potentiel de contamination résulte du croisement entre la vulnérabilité spécifique et les quantités de substances utilisées (pression phytosanitaire): la probabilité de transfert au cours d'eau sera d'autant plus forte que la substance est utilisée, bien que la relation ne soit pas linéaire. La **pression phytosanitaire** est donc prise en compte à deux niveaux : de façon qualitative (propriétés des substances) et de façon quantitative.

L'échelle de restitution est celle du bassin versant local de la masse d'eau, défini comme le bassin versant de son exutoire, amputé des bassins versants des masses d'eau amont (Figure 66).



**Figure 66: Illustration de la notion de bassin versant de la masse d'eau (BVME). Données : Agence de l'eau Loire-Bretagne**

Les zones climatiques considérées sont au nombre de 6 ; elles ont été définies par expertise en s'appuyant sur un découpage du territoire métropolitain proposé par Champeaux et Tamburini (Champeaux and Tamburini 1996) et basé sur l'analyse des séries de pluies journalières. Le découpage retenu intègre également des considérations relatives à la fréquence, l'intensité et la saisonnalité des événements pluvieux, vues d'un point de vue « agronomique ». Ces zones sont présentées sur la Figure 67.



**Figure 67 : Zones climatiques considérées par le modèle ARPEGES par bassin versant local des masses d’eaux.**

Cette segmentation présente l’avantage de proposer une typologie simple du paysage climatique et agricole métropolitain en un nombre restreint de zones qui, au vu des échelles utilisées par ailleurs, est suffisante et évite la prise en compte de processus spécifiques très localisés.

### 3.1.1.2 Quatre types de potentiel de contamination évalués par bassin versant local

La méthode élaborée dans le cadre du projet ARPEGES a pour objectif d’évaluer le potentiel relatif de contamination d’une masse d’eau de surface suite aux applications réalisées sur son bassin versant local : la contribution des masses d’eau amont n’est ainsi pas prise en compte. L’avantage est double : fournir une note de potentiel de contamination par bassin versant de la masse d’eau permet de s’affranchir des problèmes d’estimation de la dilution des concentrations provenant des masses d’eau amont et cela permet par ailleurs de cibler les zones où instaurer en priorité des plans d’actions. En contrepartie, la confrontation avec les données de surveillance pour les stations situées sur les grands cours d’eau peut ne pas être pertinente.

La méthode étant basée en partie sur une caractérisation des voies de transfert de l’eau, le potentiel de contamination est décliné en deux saisons afin de tenir compte du fonctionnement différencié des bassins versants entre période de nappe basse (printemps-été-début d’automne) et de nappe haute (fin d’automne-hiver), en lien notamment avec la recharge des nappes, le niveau de remplissage de la réserve utile des sols et les caractéristiques des pluies. Les limites de ces périodes peuvent varier en fonction de l’année (plus ou moins pluvieuse) et de la zone climatique considérée (par exemple, l’automne est plus tardif et le printemps plus précoce dans la zone océanique que dans la zone continentale Est) : comme le raisonnement est basé sur le fonctionnement hydrologique des sols, et que la période d’application des produits phytosanitaires dépend également en général de l’état hydrique du sol, cette façon de procéder ne pose pas de problème.

Dans la même logique, on distingue le potentiel de **contamination par transferts rapides** du potentiel de **contamination par transferts lents**. En effet, là encore, les processus en jeu ne sont pas les mêmes. Le potentiel de contamination par transferts rapides et le potentiel de contamination par transferts lents sont obtenus respectivement à partir de la vulnérabilité spécifique aux transferts lents ou aux transferts rapides. Il en résulte l’évaluation du potentiel de contamination selon quatre composantes pour chaque bassin versant local.

### 3.1.1.3 Construction d'un réseau de probabilité bayésien

Cette structure de modèle a été traduite en un réseau de probabilités bayésien (cf. encadré 1). Dans le cadre de la méthode ARPEGES, la sélection des variables pertinentes, la discrétisation des variables continues, l'établissement des relations entre les variables et des tables de probabilité conditionnelle associées ont été effectués par expertise. Le processus s'est avéré itératif :

- pour finaliser la structure du modèle, finalement assez éloigné du schéma initial CORPEN, car les réseaux bayésiens permettent des nuances que ne permettait pas la stricte approche déterministe utilisée dans la démarche CORPEN,
- pour fixer les limites des classes d'état et les valeurs des tables de probabilité, en vérifiant que les cartes obtenues pour les variables intermédiaires (par exemple vulnérabilité intrinsèque à un type de transfert pour une saison donnée) correspondaient bien à la connaissance que les experts avaient du milieu.

Ainsi, à titre d'exemple, la vulnérabilité intrinsèque au ruissellement est estimée à partir :

- de l'IDPR (Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (Van Genuchten, Leij et al. 1991)), qui donne une indication sur le partage de l'eau entre réseau de surface et eaux souterraines et donc sur l'importance des écoulements de surface et proche subsurface ;
- de la sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance, qui augmente le potentiel de ruissellement hortonien ;
- de la présence d'hydromorphie et de la valeur de la réserve utile, qui influent sur le ruissellement par saturation ;
- de la présence de ripisylves ou de bandes enherbées, qui peuvent atténuer le ruissellement avant son arrivée au réseau hydrographique ;
- de la zone climatique et de la saison, qui influencent la fréquence, le volume et l'intensité des pluies.

Ce travail a été mené en tenant compte des données disponibles pour pouvoir appliquer la méthode dès à présent. Le réseau obtenu est présenté sur la Figure 68 et le Tableau 5 donne les correspondances entre les noms abrégés utilisés pour les nœuds, c'est-à-dire les variables aléatoires et leurs noms complets.

Les limites de classes des variables considérées sont données en annexe 9.

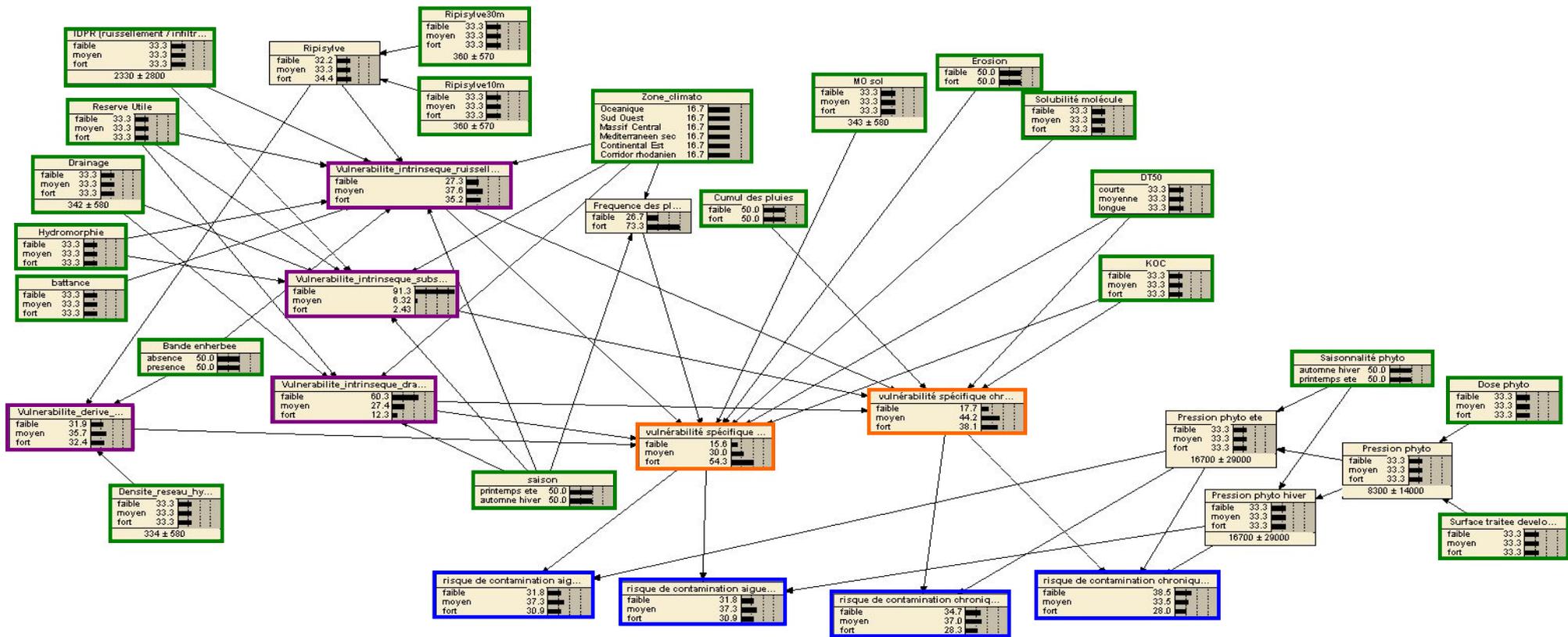


Figure 68 : Graphique du réseau bayésien ARPEGES. En vert les données d'entrée ; en violet, les vulnérabilités intrinsèques ; en orange, les vulnérabilités spécifiques et en bleu, les potentiels de contaminations appelés ici risques de contamination

**Tableau 5 : Correspondances entre les noms abrégés et le nom complet des variables (ou nœuds) intermédiaires et finales et le nom complet.**

| Nom abrégé                | Nom complet  |
|---------------------------|--|
| IDPR                      | Indice de Développement et de Persistance des réseaux (partage infiltration / ruissellement) |
| Zone_climato              | Zone climatique  |
| Vulnérabilité_dérive_atmo | Vulnérabilité intrinsèque dérive atmosphérique   |
| Densite_reseau_hydro      | Densité réseau hydrographique  |
| Risque_chron_été          | Potential de contamination par transferts lents, période de nappe basse                      |

#### Encadré 1 : les réseaux de probabilité bayésiens

Les réseaux de probabilité bayésiens reposent sur une représentation graphique de variables aléatoires (les nœuds) liées entre elles par des relations de cause à effet probabilisées (les flèches). Ce sont des variables aléatoires et leurs valeurs ne sont donc pas considérées comme une quantité unique certaine ; on décrit au contraire leur distribution de probabilités, c'est-à-dire la probabilité qu'a cette variable de prendre chacune de ses valeurs potentielles, ou d'appartenir à un intervalle de valeur donné dans le cas des variables continues.

La création d'un réseau bayésien nécessite plusieurs étapes :

- Choix des variables d'intérêt. Par exemple, la vulnérabilité spécifique chronique, la pression phytosanitaire et le potentiel de contamination chronique.
- Choix des états qu'elles peuvent prendre (valeurs ou intervalles de valeurs ; définition des limites de classe en cas de variables continues). Par exemple :
  - la vulnérabilité spécifique chronique peut être faible, moyenne ou forte,
  - la pression phytosanitaire (dépense en € / ha) peut être faible, moyenne ou forte. Les limites de classe correspondantes qui ont été choisies sont [0-10 €/ha de bassin versant] ; [10-30 €/ha] et > 30 €/ha].
  - le risque de contamination chronique peut être faible, moyen ou fort
- Etablissement des relations entre les variables et expression des tables de probabilités conditionnelles pour chaque nœud. Le risque de contamination chronique dépend de la vulnérabilité spécifique et de la pression. Par exemple, si la vulnérabilité et la pression sont faibles, alors le risque de contamination aura une probabilité de 100 % d'être faible. Si la pression est faible et la vulnérabilité est moyenne, alors le risque de contamination aura une probabilité de 70 % d'être faible et de 30 % d'être moyen. Ainsi de suite pour chaque combinaison possible.

Compte tenu de la méthode de construction de ces tables, qui intègre à la fois les relations de causalités connues et l'incertitude que l'on peut avoir sur les données d'entrée (considérées comme des variables aléatoires), un réseau bayésien permet d'assortir les résultats d'un niveau de confiance, permettant de qualifier l'incertitude sur le résultat acquis.

### 3.1.2 Calcul des données d'entrée par bassin versant local de la masse d'eau

Le modèle ARPEGES demande en entrée 18 variables au total afin d'évaluer *in fine* le potentiel de contamination des masses d'eaux de surface par les pesticides provenant de leur bassin versant local, unité spatiale du modèle. Le Tableau 7 résume les caractéristiques des données spatiales (disponibles sur l'ensemble du territoire métropolitain) sélectionnées pour évaluer chacune de ces variables.

La France métropolitaine comporte environ 10 000 masses d'eau et les bassins versants locaux ont en moyenne une superficie de 5 320 ha (4 fois la superficie moyenne d'une commune). L'échelle spatiale des données

disponibles est très variable. Les entités des données peuvent être comprises dans les bassins versants locaux (exemple : mailles de l'IDPR), les entités et les bassins versants peuvent se recouper (cantons ou unités cartographiques de sol par exemple) ou les entités peuvent être largement plus grandes que les bassins (zones climatiques par exemple). Nous avons donc fait appel aux méthodes couramment utilisées pour aborder ces changements d'échelle (Vernier, Zahm et al. 2009) et ainsi permettre le croisement de l'ensemble des informations aux échelles adéquates. En particulier, compte tenu de la résolution des données actuellement disponibles au niveau national, on estime que la maille minimale d'analyse est aujourd'hui la Petite Région Agricole pour l'évaluation des vulnérabilités intrinsèques<sup>4</sup>. Cette limite pourra toutefois évoluer avec la disponibilité, et notamment la résolution, des données disponibles

Les données peuvent prendre des valeurs différentes selon la saison hydrologique, comme par exemple le cumul de pluie.

### **Cas particulier des données de pression des substances actives**

La caractérisation de l'usage des produits phytosanitaires est difficile, tant du point de vue des substances utilisées selon les cultures et les zones considérées que des quantités appliquées. Le caractère lacunaire des données d'usage constitue souvent un facteur limitant des études du potentiel de contamination. Pour l'application d'ARPEGES de surcroît, il est préférable de disposer de données acquises de manière homogène pour tout le territoire. Dans le cadre de cette étude, le choix a été fait de s'appuyer sur les données de la BNVD, agrégées à l'échelle de la HER. Pour chaque substance active considérée, les cultures sur lesquelles elles peuvent être utilisées sont recensées, avec les doses associées. Les surfaces correspondantes pour chaque bassin versant (BVME) sont alors calculées en se basant sur le Référentiel Parcellaire Graphique de 2012. La quantité de substance vendue sur la HER est ensuite répartie sur chaque BVME, au prorata des surfaces concernées. Pour certaines HER et certaines substances actives, il peut arriver que la BNVD indique que la substance a été vendue sur la HER l'année considérée, alors que le référentiel parcellaire graphique ne fournit pas de culture associée à la substance sur cette HER. La HER apparaît alors en blanc ou gris sur les cartes de pression, et le potentiel de contamination associé n'est pas correct. C'est le cas par exemple pour l'isoproturon sur la Corse ou les Pyrénées (Figure 73) : on se heurte ici aux limites imposées par la structure actuelle de la BNVD.

Cette approche fait l'hypothèse forte que les pratiques culturales sont homogènes à l'échelle de la HER et les doses utilisées les mêmes quelle que soit la culture considérée pour une substance donnée. Il s'agit toutefois de l'approche qui nous a semblé la plus pertinente en attendant la spatialisation de la BNVD à une résolution plus fine.

La mise en œuvre de la méthode ARPEGES suppose également de répartir les applications de substances entre période de nappe basse et période de nappe haute. Pour les cultures de printemps/été, toute la substance est appliquée en période de nappe basse. Pour les cultures d'automne/hiver (typiquement les céréales d'hiver), les agriculteurs essaient dans la majorité des cas d'appliquer les produits (notamment herbicides) le plus tard possible en automne, et le plus tôt possible en sortie d'hiver, pour obtenir le meilleur compromis entre efficacité du traitement et risque d'exportation des molécules. Les applications sont donc en général effectuées typiquement juste avant que le drainage ne soit actif, ou juste après qu'il se soit tari. Ce raisonnement a conduit à la répartition temporelle des applications donnée dans le Tableau 6.

---

<sup>4</sup> INSEE, 1946 : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/lesregionsagricoles.pdf>

**Tableau 6 : Répartition temporelle des applications de substance active**

| Substance      | Nappe haute | Nappe Basse |
|----------------|-------------|-------------|
| 2,4-D          | 0           | 100         |
| Chlortoluron   | 20          | 80          |
| DFF            | 30          | 70          |
| Glyphosate     | 20          | 80          |
| Isoproturon    | 30          | 70          |
| Metazachlore   | 0           | 100         |
| Propyzamide    | 30          | 70          |
| S-métolachlore | 0           | 100         |

Par ailleurs, en cas de donnée non connue (ce qui peut être le cas pour la pression phytosanitaires), le modèle bayésien remplace la donnée manquante par un triplet équiprobable : le potentiel de pression associé à ces zones, dans l'étape suivante, est ainsi calculé en utilisant un triplet de probabilités de pression (faible : 33% ; moyen : 33, forte : 33%) sur les BVME correspondant. Le niveau de confiance associé est dans ce cas faible.

Enfin, notons que les limites des classes faible/moyen/fort de pression sont calculées sur la base des 33 et 66<sup>ème</sup> centiles des valeurs des pressions (en g/ha) sur l'ensemble des BVME, pour les deux saisons nappe basse et nappe haute : on a donc la même répartition entre les classes faible, moyen et fort pour toutes les substances actives étudiées, quel que soit le tonnage effectivement appliqué pour chaque molécule ; la pression est considérée en termes relatifs. Il y aura lieu de revenir sur ce point plus loin.

**Tableau 7 : Données spatiales disponibles sur le territoire national utilisées pour évaluer les variables d'entrée d'ARPEGES. (BDGSF : Base de données géographique des sols de France, UCS : Unité cartographique de sol, BNVD : Base nationale des ventes de produits phytopharmaceutiques par les distributeurs agréés, HER : Hydro-écorégion, OS : Occupation du sol)**

| Variables   |                    | Données   |                       |                                    |           |
|---|--------------------|---|-----------------------|------------------------------------|-----------|
| Nom complet   | Nom abrégé         | Nom   | Source                | Unité spatiale ou échelle spatiale | Date      |
| Ratio Ruissellement/infiltration  | IDPR               | IDPR (indice de développement et de persistance des réseaux)      | V. Mardhel, BRGM      | 1/50 000                           | 2010      |
| Réserve utile   |                    | BDGSF   | GIS Sol               | UCS                                | 1998      |
| Drainage (pourcentage de la surface agricole qui est drainée)                         |                    | Recensement agricole  | Agreste               | Canton                             | 2000      |
| Hydromorphie (pourcentage de sols hydromorphes)                                       |                    | Carte de l'hydromorphie   | P. Lagacherie, INRA   | Petite région naturelle            | 1987      |
| Battance (sensibilité à la formation d'une croûte de battance)                        |                    | BDGSF   | GIS Sol               | UCS                                | 2002      |
| Ripisylve 30 m (pourcentage de surface occupée par de la forêt dans une bande de 30m) |                    | BDOPO®  | IGN                   | 1/ 25 000                          | 2010      |
| Ripisylve 10 m (pourcentage de surface occupée par de la forêt dans une bande de 10m) |                    | BDOPO®  | IGN                   | 1/ 25 000                          | 2010      |
| Bande enherbée (pourcentage de linéaire de cours d'eau qui porte un nom)              |                    | BDOPO®  | IGN                   | 1/ 25 000                          | 2010      |
| Densité du réseau hydrographique  | Densité_res_hydro  | BD Carthage®  | Sandre                | 1/ 25 000                          | 2010      |
| Zones climatiques   | Zone_climato       | Zonage basé sur les séries de précipitations                      | Champeaux & Tamburini | -                                  | 1996      |
| Cumul de pluies   |                    | Normales mensuelles AURELHY                                       | Météo France          | Mailles de 1 km²                   | 1971-2000 |
| Matière Organique (teneur en carbone organique du sol)                                | MO sol             | Base de données des analyses de terre                             | GIS Sol               | Cantons                            | 2000-2004 |
| Alea d'érosion  | Erosion            | MESALES (modèle d'évaluation spatiale de l'alea érosion des sols) | INRA                  | Zone hydrographique                | 2002      |
| Solubilité molécule   |                    |   |                       |                                    |           |
| DT 50   |                    | Agritox 2014  | ANSES                 | HER*OS                             | 2014      |
| Koc   |                    |   |                       |                                    |           |
| Pression phytosanitaire   | Pression phyto     | BNVD  | Onema                 | Distributeurs/HER                  | 2012      |
| Saisonnalité de la pression phytosanitaire  | Saisonnalité phyto |   | Expertise             |                                    |           |

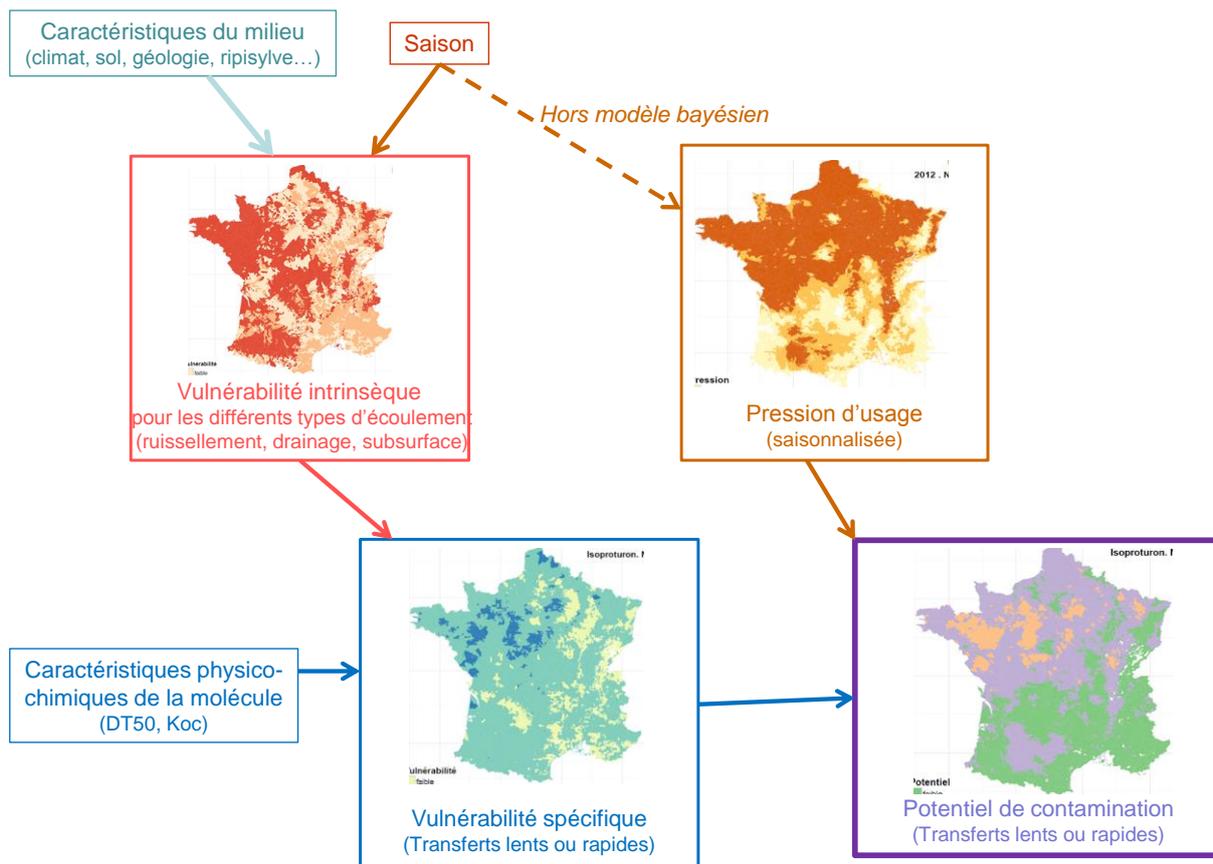
### 3.1.3 Types de résultats produits par la méthode ARPEGES

Comme on l'a vu précédemment, la méthode ARPEGES permet de produire différents types de cartes. En plus des cartes de pression et de potentiels de contamination :

- par transferts rapides en conditions de nappe haute,
- par transferts lents en conditions de nappe haute,
- par transferts rapides en conditions de nappe basse,
- par transferts lents en conditions de nappe basse,

Il est aussi possible d'accéder facilement :

- aux cartes de vulnérabilité intrinsèque pour chaque voie de transfert hydrique (ruissellement, drainage, sub-surface),
- à la carte de vulnérabilité spécifique par substance qui résulte du croisement des vulnérabilités intrinsèques et des propriétés physico-chimiques de la substance considérée.



**Figure 69 : Enchaînement des étapes dans la détermination des résultats au sein d'ARPEGES. Les cartes utilisées pour illustrer la démarche correspondent au cas de l'isoproturon en période de Nappe Haute.**

Notons que, pour l'ensemble des cartes issues du modèle ARPEGES, chaque carte peut être accompagnée d'une carte exprimant le degré de confiance accompagnant chaque résultat (c), ou encore une carte représentant la probabilité d'avoir un potentiel de contamination donné (b). À titre d'exemple, la Figure 70 illustre ces cartes pour la vulnérabilité intrinsèque au ruissellement en période de nappe haute (a), pour la probabilité d'avoir un potentiel de contamination fort (b). Ainsi, la carte (a) exprime le niveau de probabilité dominant, c'est-à-dire le résultat qui nous intéresse en général : cartographie de la probabilité de vulnérabilité intrinsèque au ruissellement de chaque BVME en période de nappe haute : faible, moyen ou fort. La carte (b) exprime, pour chaque BVME, la probabilité que la vulnérabilité intrinsèque au ruissellement soit forte. Cette donnée peut être utile si l'on cherche non le potentiel de contamination dominant (carte a), mais la chance d'avoir un potentiel de contamination fort. Enfin, la carte (c) permet de visualiser le niveau de confiance attribué au résultat dominant exprimé sur la carte (a), pour chaque BVME : plus il est élevé, et plus les experts s'accordent pour dire que c'est bien ce niveau de vulnérabilité qui s'exprime sur ce BVME. La consultation de ces cartes est très utile pour l'interprétation des résultats, notamment pour garder en tête la confiance que l'on peut attribuer aux résultats, et permettre le cas échéant de relativiser l'importance à attribuer à certains résultats qui peuvent paraître surprenants de prime abord.

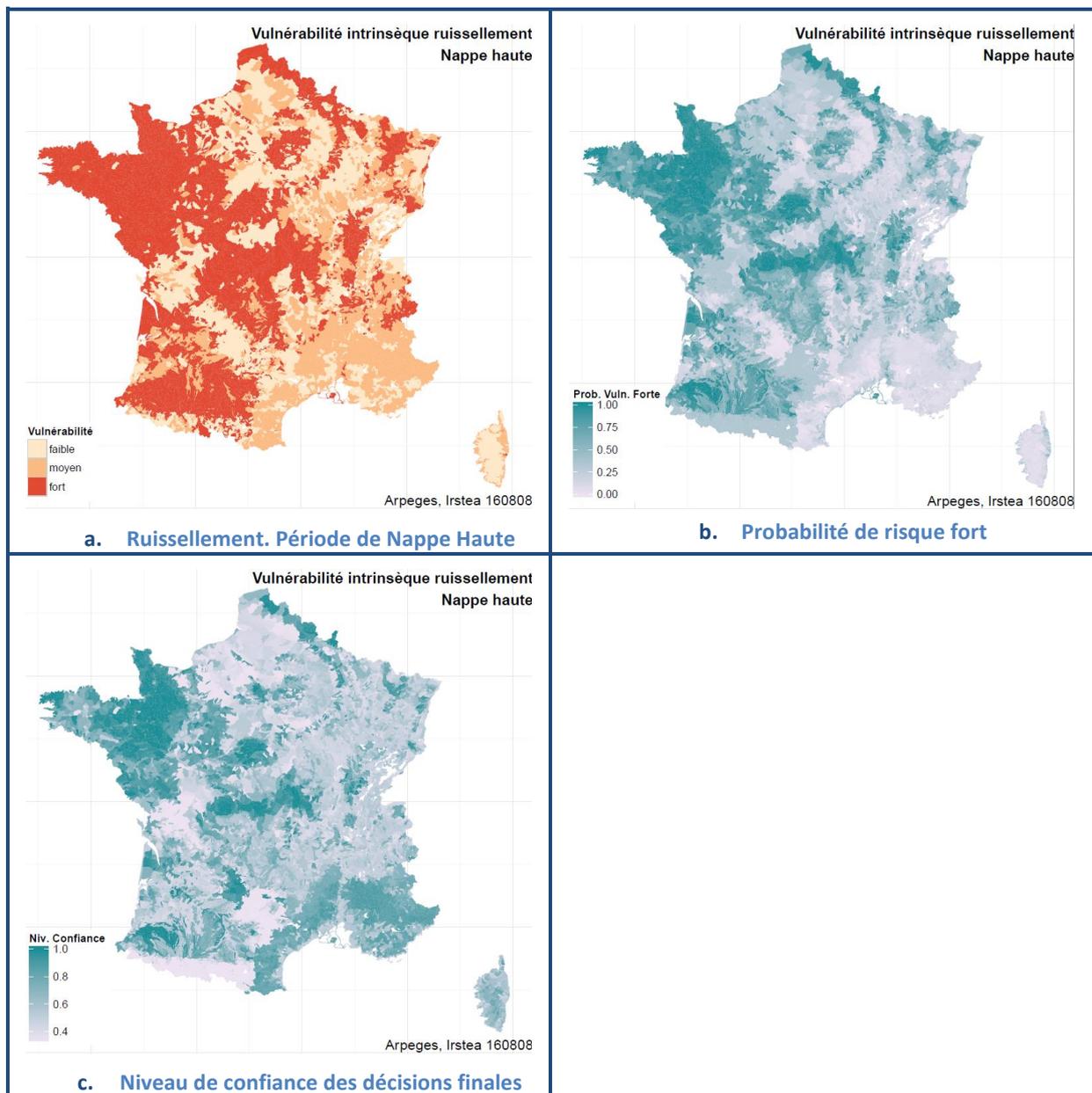
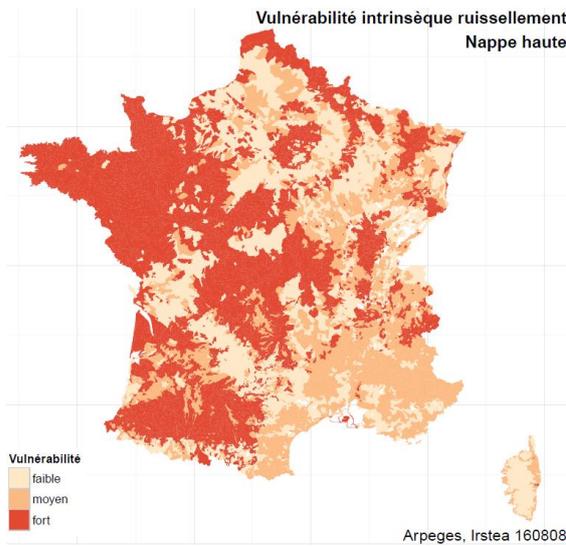


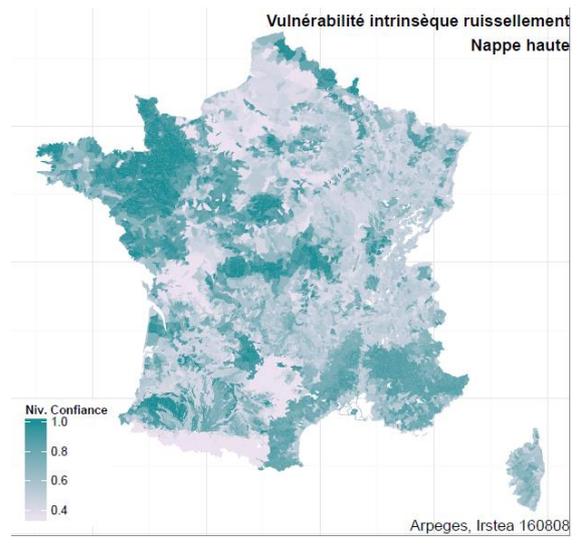
Figure 70 : Cartes associées aux cartes de résultats ARPEGES

### 3.2 Cartes de vulnérabilité intrinsèque

Les cartes de vulnérabilité intrinsèque sont présentées pour chaque saison (nappe haute / nappe basse) et chaque type de transfert, hormis pour la dérive, qui a été écartée de l'analyse, comme cela a été explicité plus haut. La vulnérabilité du milieu dépend de ses seules caractéristiques : elle ne dépend donc pas des caractéristiques de la molécule considérée. Ces cartes sont donc valables pour toutes les molécules. Chaque carte de vulnérabilité intrinsèque est accompagnée de la carte de niveau de confiance qui lui est associée.

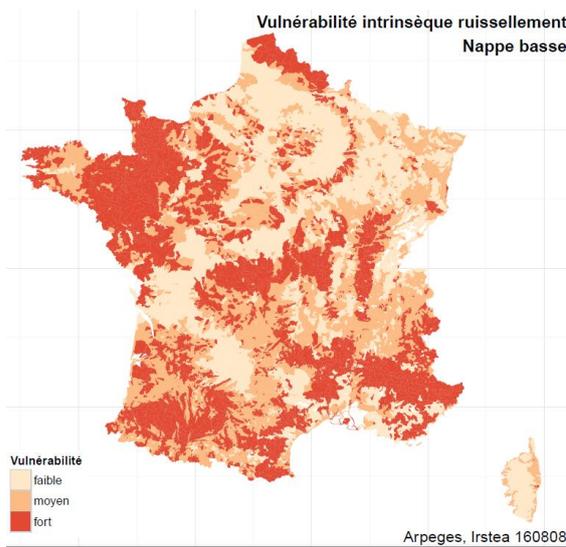


Classe de vulnérabilité

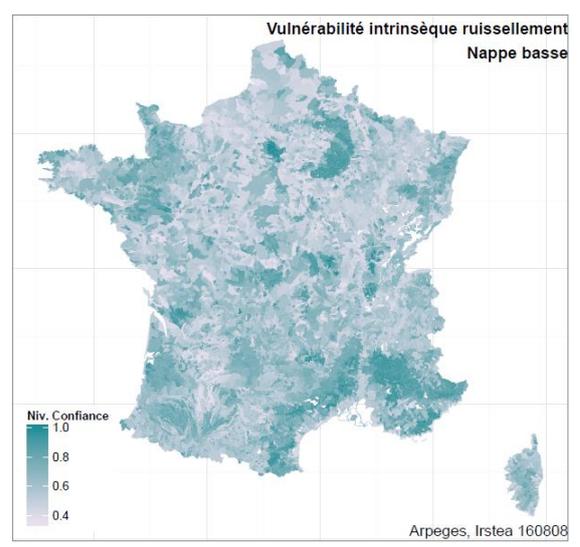


Niveau de confiance

**Ruissellement. Période de Nappe Haute**

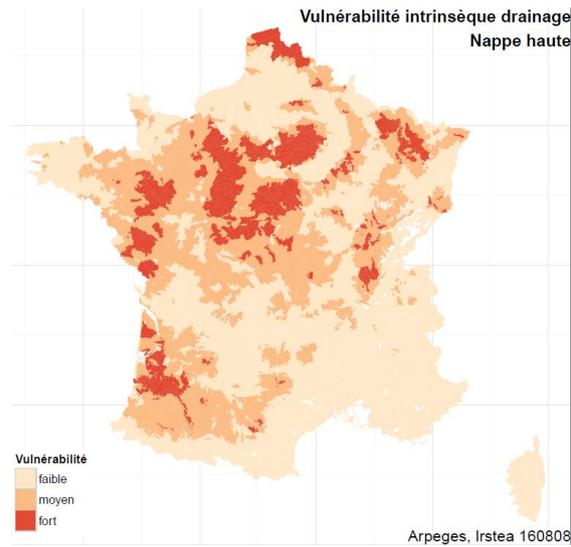


Classe de vulnérabilité

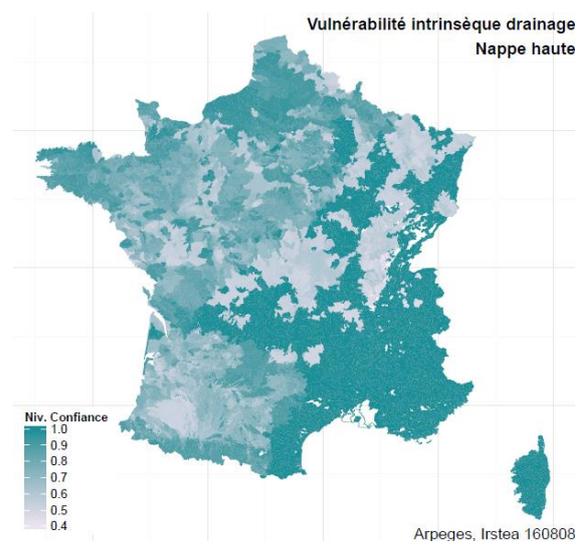


Niveau de confiance

**Ruissellement. Période de Nappe Basse**

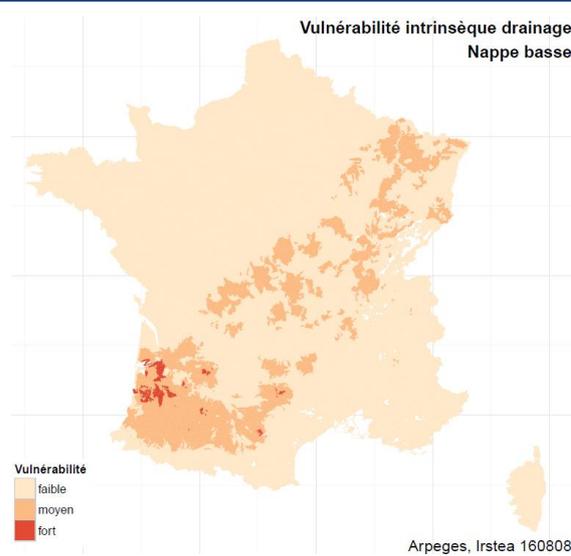


Classe de vulnérabilité

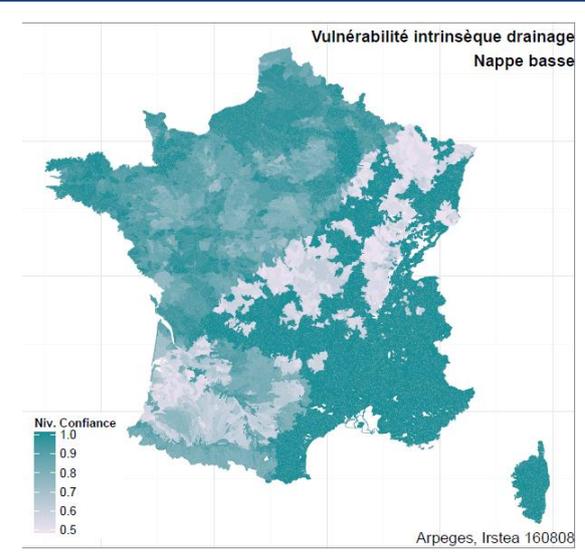


Niveau de confiance

Drainage. Période de Nappe Haute



Classe de vulnérabilité



Niveau de confiance

Drainage. Période de Nappe Basse

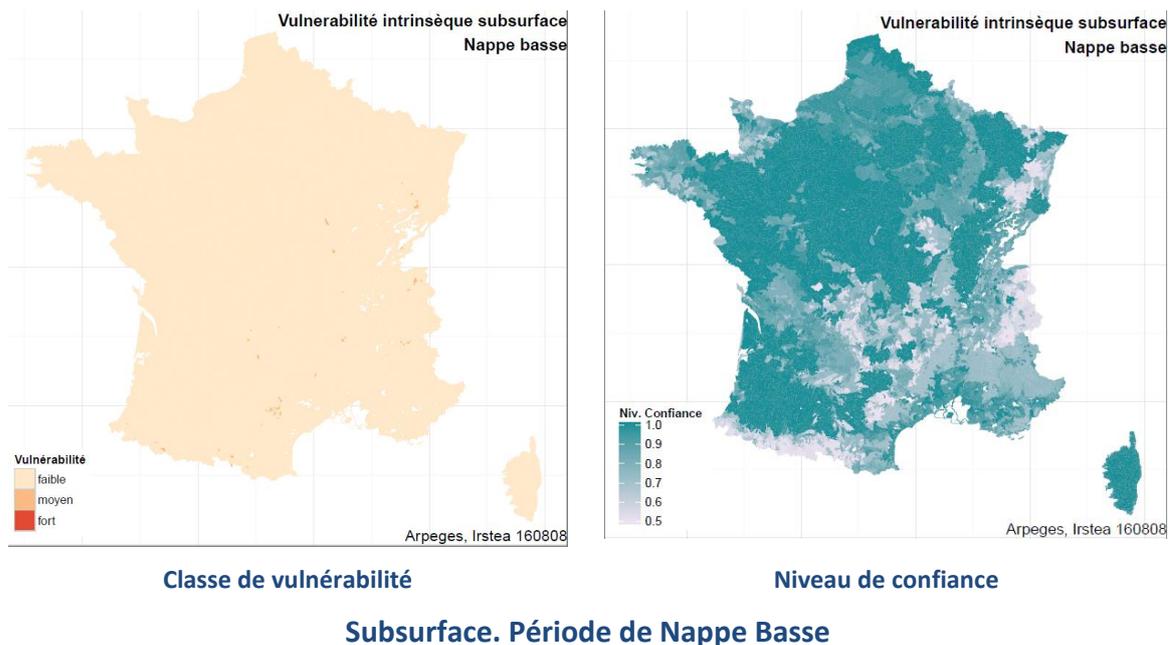
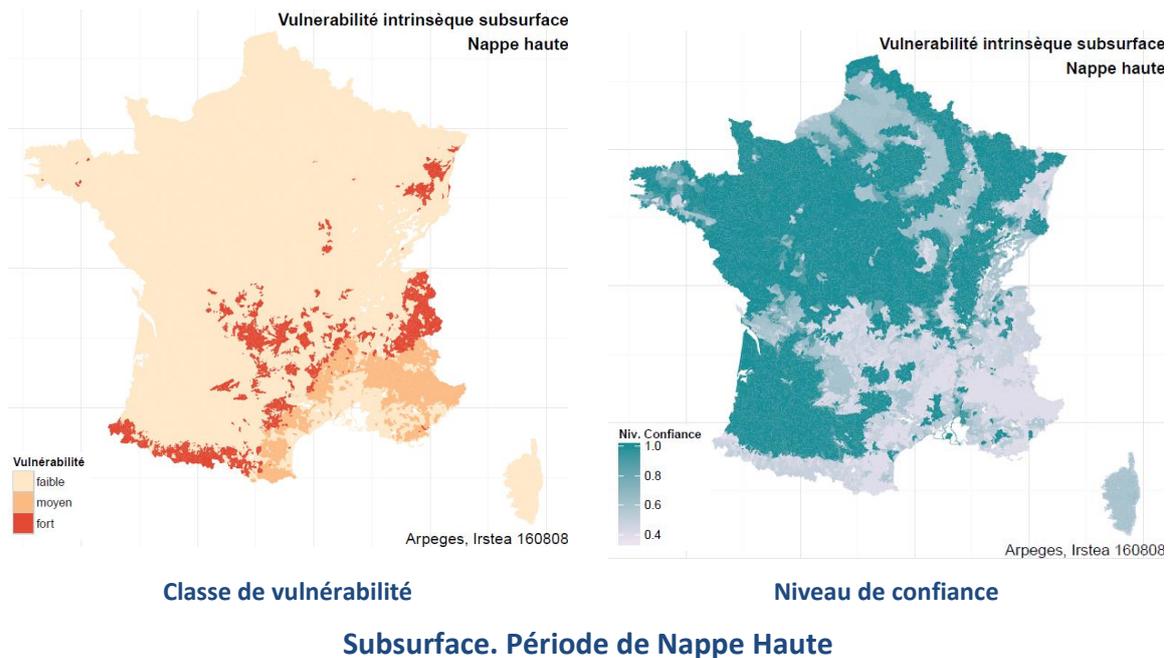


Figure 71 : Cartes de vulnérabilité intrinsèque aux transferts par ruissellement, drainage et écoulements de subsurface, en périodes de Nappe Haute et de Nappe Basse. Cartes de niveau de confiance associées

### 3.3 Cartes de vulnérabilité spécifique (cas de l'isoproturon)

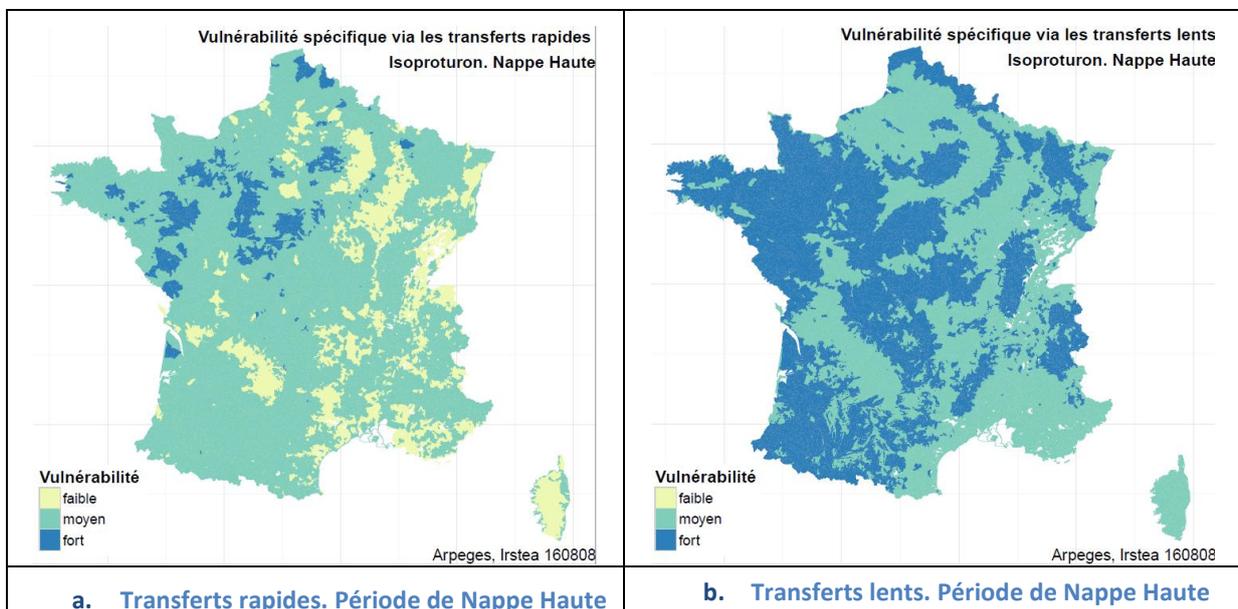
A partir de ce niveau les cartes deviennent dépendantes des substances considérées. C'est pourquoi, on se base ici sur l'exemple de l'isoproturon pour illustrer les résultats.

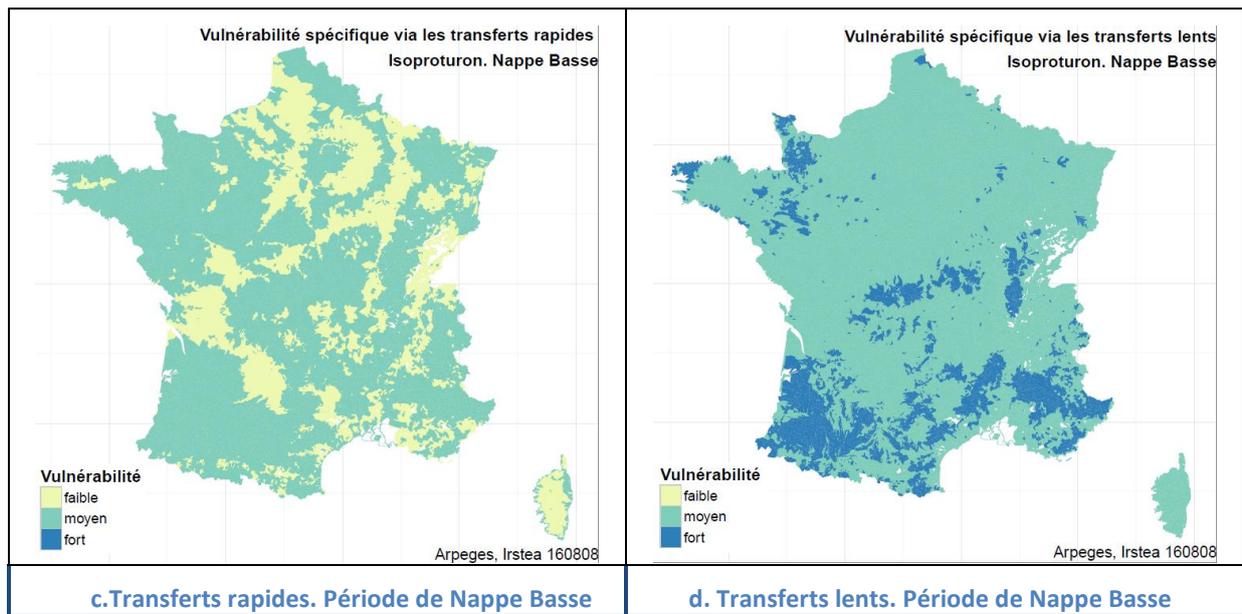
La méthode ARPEGES permet également de déterminer le risque de vulnérabilité spécifique en période de Nappe Haute ou de Nappe Basse, par transferts rapides ou par transferts lents, pour un ensemble de molécules types, déterminées par leur Koc (faible, moyen, fort) et leur DT50 (faible, moyen, fort). Les limites de classes sont respectivement de 8 et 30 jours pour la DT50 et de 100 et 1000 mL/g pour le Koc suivant le système de classification de l'outil SIRIS-pesticides. Notons que les seuils considérés sont assez bas pour la DT50, au regard de ceux qui sont utilisés en évaluation du risque (où une substance est considérée comme persistante si sa DT50 au laboratoire est supérieure à 60 jours, et très persistante si sa DT90 dépasse un an). Les seuils utilisés par SIRIS-pesticides sont fondés sur le lien fait entre les caractéristiques des molécules et le constat de leur fréquence d'occurrence dans le milieu aquatique : leur choix intègre ainsi pour partie l'interaction entre caractéristiques des molécules et processus de transfert.

On obtient ainsi 2 périodes\*2 types de transfert\*3 types de Koc\*3 types de DT50 = 36 cartes représentant l'ensemble des cartes de vulnérabilité spécifique. Celles-ci sont regroupées en annexe 10.

On rappelle que les transferts qualifiés de lents ou de rapides ne sont pas exclusifs d'une seule composante de l'écoulement : les transferts rapides sont composés des transferts par ruissellement et drainage intenses advenant juste après un événement pluvieux, alors que les transferts lents sont induits par les transferts par ruissellement, drainage ou écoulement latéral subsurfacique advenant en récession. Pour les cartes de vulnérabilité spécifique -et a fortiori pour les cartes de potentiel de contamination- un résultat appartenant à une classe « forte » ne peut donc être directement interprété comme étant lié un type d'écoulement particulier : il faut remonter aux cartes de vulnérabilités intrinsèques pour identifier le ou les type(s) d'écoulement ayant engendré cette vulnérabilité « forte »

À titre d'exemple, la Figure 72 représente les cartes de vulnérabilité aux transferts rapides et lents respectivement en période de nappe haute, pour l'isoproturon (DT50 moyenne, Koc moyen) et en période de nappe basse.



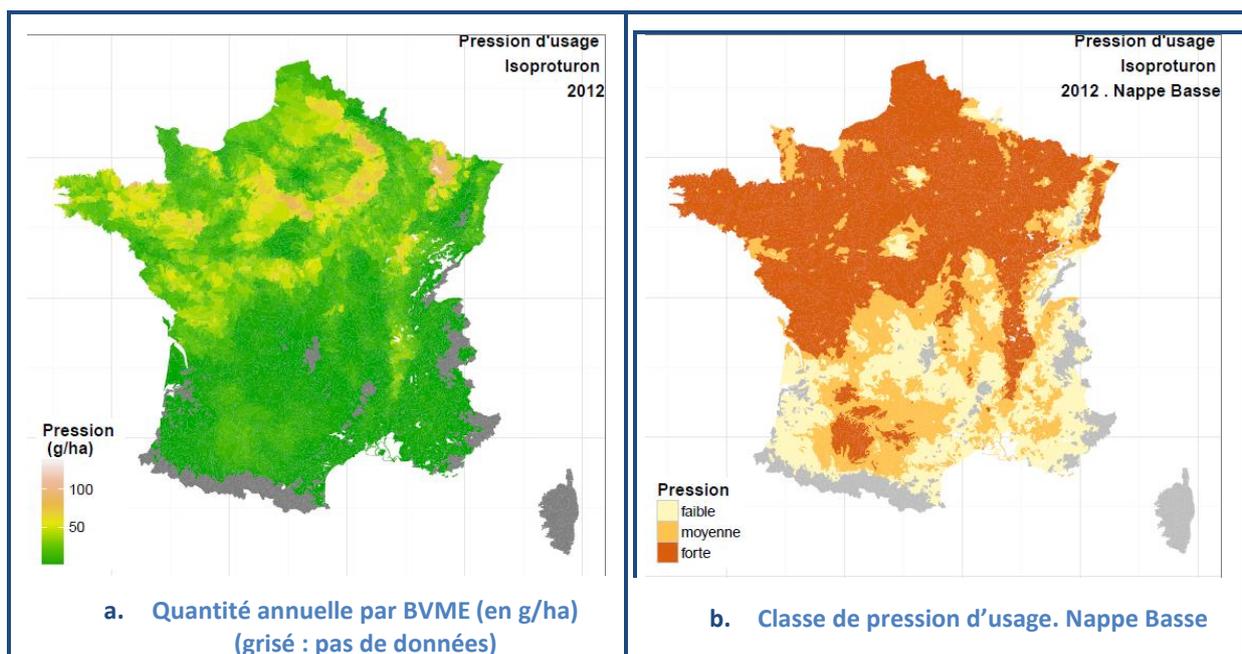


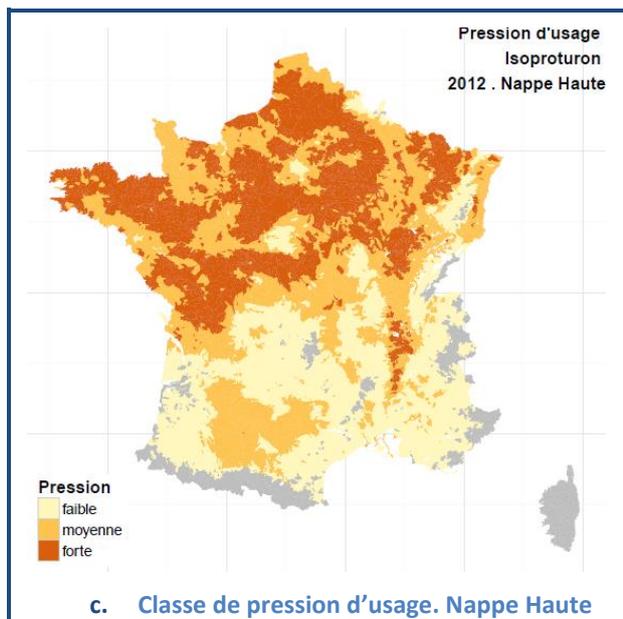
**Figure 72 : Carte de la vulnérabilité spécifique via les transferts rapides (gauche) et les transferts lents (droite) pour l'isoproturon en période de nappe haute.**

Notons que, par exemple dans le cas de l'isoproturon, si l'on utilisait les seuils utilisés en évaluation du risque, il serait considéré comme peu persistant, et les cartes de vulnérabilité spécifique qui lui sont associées significativement différentes (pas de BVME en classe de vulnérabilité forte, quel que soit le type de transfert et le niveau de nappe considérés), comme le montrent les cartes présentées dans l'annexe 10.

Pour l'isoproturon, ARPEGES indique, avec un niveau de confiance élevé, une vulnérabilité spécifique importante via les transferts lents avec une discrimination cohérente des régions et petites régions agricoles connues comme très sensibles aux transferts hydriques: massif armoricain, Lorraine, Bresse et Dombes, limons hydromorphes (sur argiles à silex) du Bassin Parisien.

### 3.4 Cartes de pression d'usage (cas de l'isoproturon)





**Figure 73 : Cartes de pression d'usage de l'Isoproturon en 2012. a) Quantité annuelle par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute**

Pour le croisement avec la pression d'utilisation, on s'est basé sur les usages les plus récents disponibles dans le cadre de cette étude et permettant une confrontation avec les données observées, à savoir ceux de l'année 2012. Les usages considérés sont ceux pour lesquels l'usage de l'isoproturon est autorisé, regroupés selon les 28 groupes de culture du Registre Parcellaire Graphique (orge, blé, fourrage prairies permanentes, plantes à fibres, prairies temporaires, protéagineux, autres oléagineux, autres cultures industrielles, autres céréales, légumes fleurs, autres gels) et la méthode utilisée pour spatialiser la pression est celle indiquée plus haut. On a considéré que les applications avaient essentiellement lieu en période de nappe basse (70 % en période de nappe basse, 30 % en période de nappe haute, cf Tableau 6.

Tableau 6 : Répartition temporelle des applications de substance active). On rappelle que pour spatialiser la pression d'usage des substances actives, la quantité de substance vendue au niveau de chaque HER modifiée (à partir des données issues de la BNVD 2012, disponible pour chaque distributeur, et agrégée par HER) est répartie de façon égale sur l'ensemble des cultures susceptibles de recevoir la substance (Cf Tableau 1). Dans le cas de l'isoproturon, on voit par exemple que la BNVD conduit à considérer que la molécule a été vendue en Corse et dans les Pyrénées, mais que le RPG ne trouve pas de culture associée à la substance : ces zones apparaissent donc en grisé sur la carte de quantité annuelle appliquée, et en blanc sur les cartes de pression d'usage par saison.

Le recours à l'isoproturon en 2012 est surtout important en Lorraine (augmentation de l'emploi de cette matière active compte tenu des problèmes importants de résistance du vulpin aux herbicides foliaires), sur les sols limoneux (développés sur substrats calcaires) du Bassin Parisien, et sur une partie du massif armoricain (Maine, bassin Rennais et Côtes d'Armor). Dans une moindre mesure on trouve Poitou-Charentes, les limons du sud de la région Centre et la vallée de la Saône.

### 3.5 Carte de potentiel de contamination des eaux de surface (cas de l'isoproturon)

L'application d'ARPEGES conduit alors aux cartes finales de potentiel de contamination suivantes pour la période de Nappe Haute et la période de Nappe Basse :

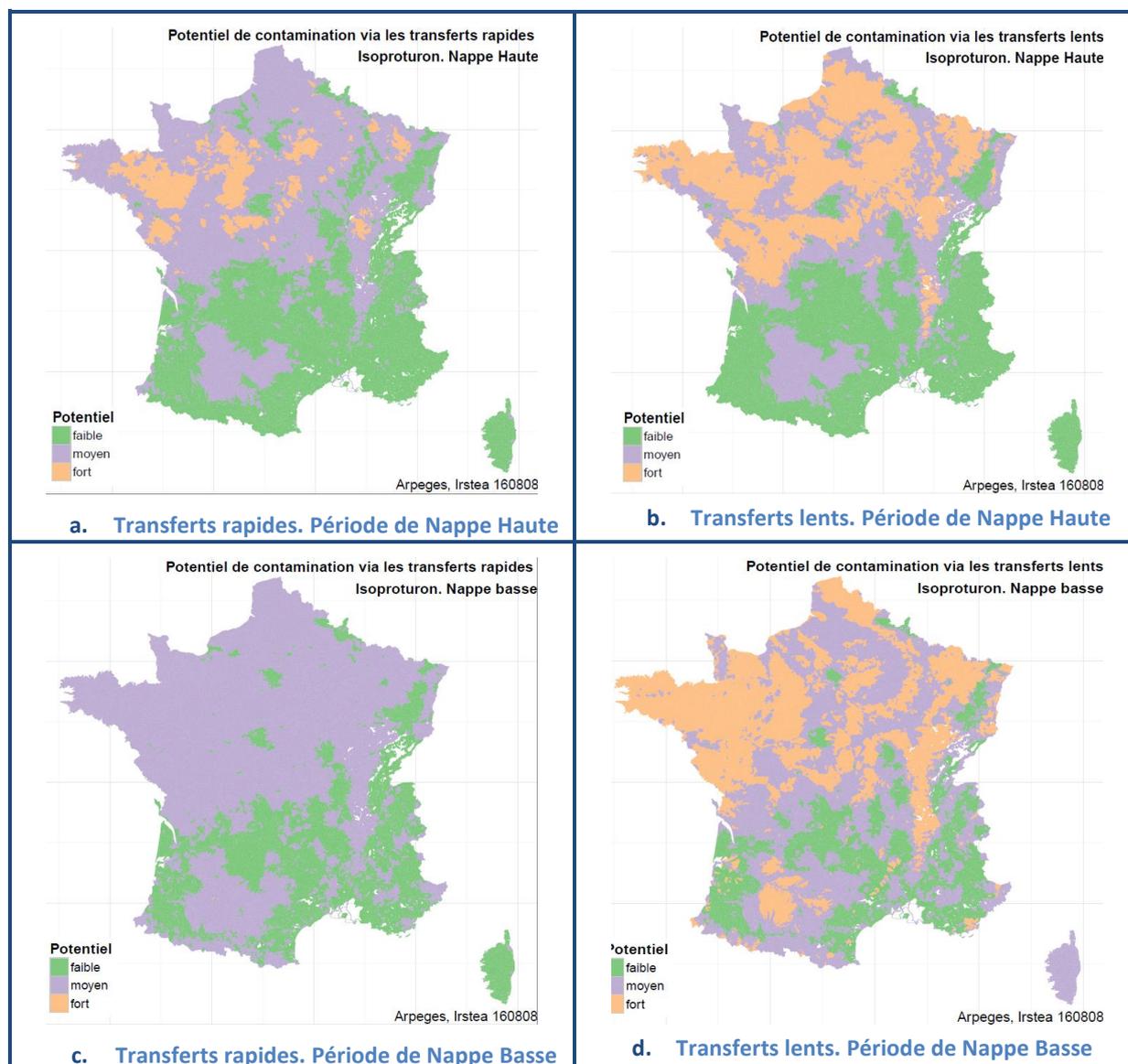


Figure 74 : Cartes de potentiel de contamination pour l'isoproturon

L'ensemble des cartes associées aux cartes de potentiel de contamination, c'est-à-dire les cartes de potentiel de contamination, les cartes des niveaux de confiance associés aux résultats, et les cartes des probabilités de potentiel de contamination fort figure en Annexe 13 (fichier joint au rapport).

Les potentiels de contaminations forts sont dominants via les transferts lents. En nappe haute les pressions d'usage jouent un rôle très net (Figure 73, c). En nappe basse, on observe un lien très fort avec la vulnérabilité spécifique aux transferts par ruissellement et drainage des différentes régions en potentiel fort de contamination (Figure 72, c)).

## 3.6 Confrontation des cartes ARPEGES avec les données de surveillance : choix préalables

On a souhaité dans cette étude mettre en évidence la cohérence des cartes ARPEGES, en termes d'estimation du potentiel de transfert de chaque substance, avec les données de surveillance regroupées à la HER modifiée. Pour cela, on a cherché à attribuer des limites de valeurs de concentrations observées aux limites des classes de potentiel de transfert d'ARPEGES. Cependant, on souligne, qu'on ne cherche pas ici à se caler par rapport à des seuils réglementaires, cet aspect ayant été traité plus haut pour interpréter les données de surveillance (partie 2.3.5). Pour cette confrontation, on a fait le choix :

- de comparer les **contaminations moyennes issues des observations** au **potentiel de contamination par transfert lent plus représentatifs d'une contamination "moyenne" sur l'année**. On rappelle que la concentration moyenne issue des observations a été estimée pour chaque HER selon la méthode explicitée plus haut, en partie méthodologique (Interprétation des données relatives aux substances actives étudiées, Analyse des données par substance active) ce qui permet de disposer d'une représentation spatiale de la contamination à cette échelle au niveau national.
- de se baser sur l'année 2012 : les cartes ARPEGES ayant été élaborées à partir **des usages de l'année 2012**, c'est cette dernière qui a été choisie pour la confrontation. Ce travail constitue une première étape de validation des cartes de potentiel de contamination d'ARPEGES. Pour aller plus loin, il serait utile d'explorer d'autres années de comparaison, compte tenu notamment, de la variabilité interannuelle des conditions climatiques qui vont fortement influencer sur la réalisation ou non des transferts potentiels.
- de reporter les cartes ARPEGES de potentiel de contamination **en période de nappe haute ou basse** selon celle qui semble la (ou les) plus pertinente(s) à comparer aux observations en fonction des **périodes privilégiées de transfert** de chaque substance. Certaines molécules peuvent être transférées essentiellement en période de nappe haute, alors qu'elles sont appliquées essentiellement en période de nappe basse : bien que paradoxal au premier abord, ce constat s'explique par le fait que certains mécanismes de transfert sont effectivement activés en période de nappe haute et peuvent mobiliser des substances qui ont été appliquées auparavant.

Les limites de classes des concentrations moyennes issues des observations sont ajustées « manuellement » aux limites de classes de potentiel de transfert d'ARPEGES en cherchant dans un premier temps à discriminer les HER qui sont nettement identifiables comme appartenant aux extrêmes (plus faible ou plus forte contamination), puis ces seuils sont ajustés de façon à aboutir, dans la mesure du possible, à des cartes comparables aux cartes issues d'Arpèges. Des hypothèses sont avancées pour tenter d'expliquer les différences observées. On trouvera en annexe 11 le récapitulatif des limites de classes finales retenues pour chaque substance étudiée. On rappelle que l'analyse par rapport aux seuils réglementaires a été conduite dans la première partie du rapport. Il ne s'agit pas ici de déterminer s'il y a un risque pour l'environnement mais de comparer les résultats obtenus par ARPEGES à l'analyse faite des données de surveillance, pour fournir des éléments sur la validité de l'approche.

### Exemple de résultats pour la confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance : cas de l'isoproturon :

A titre d'exemple, le type de confrontation obtenu est présenté ici pour l'isoproturon. Pour cette substance, les périodes de contamination principales se situent en période de nappe haute (Figure 16). La Figure 75 présente les résultats obtenus pour cette molécule. On constate une bonne cohérence d'ensemble entre la carte de potentiel de contamination estimé par la méthode ARPEGES et la carte des

concentrations moyennes annuelles observées en 2012. On rappelle que le détail des cartes ARPEGES ne peut intrinsèquement pas être rendu par la carte des observations qui sont regroupées à l'échelle des HER. Par exemple, les différences observées pour les HER 2 (Méditerranéen et sillon rhodanien) au niveau de la vallée du Rhône et HER 41 (Coteaux aquitains) au niveau du sud de l'Aquitaine, peuvent en partie être reliées aux **échelles d'intégration différentes** (*Masses d'eau / HER modifiées*). Par ailleurs, les HER 8 (Piémont jurassien et Bresse), 25 (Flandres et Douai-Condé) et 71 (Dépressions sédimentaires) sont les HER présentant les contaminations observées les plus élevées au sein de la classe forte alors qu'elles appartiennent à la classe moyenne de potentiel de contamination en nappe haute d'ARPEGES. On peut expliquer cette différence en faisant référence à la carte de potentiel de contamination en nappe basse (Figure 74, d). Selon les HER (et sans doute les conditions météorologiques), les périodes de contribution à la contamination (nappe haute ou basse) peuvent donc varier. On remarque cependant que la HER 63 (Bassin parisien – Ile de France) et la HER 23 (Côtes calcaires de l'Est) montrent dans tous les cas une contamination observée plus élevée que ce que leur potentiel de contamination laisserait supposer. Pour un secteur très composite comme le sillon rhodanien, les potentiels de contamination forts localement identifiés ne ressortent pas au niveau de la grande HER modifiée qui englobe également le pourtour méditerranéen.

On note que l'interprétation de ces cartes gagnerait à mettre en parallèle les conditions pluviométriques réparties par HER. Par ailleurs, l'affinement des limites de classe mériterait d'être consolidé, notamment en réalisant la confrontation pour d'autres années hydrologiques, afin de limiter l'influence des conditions météorologiques.

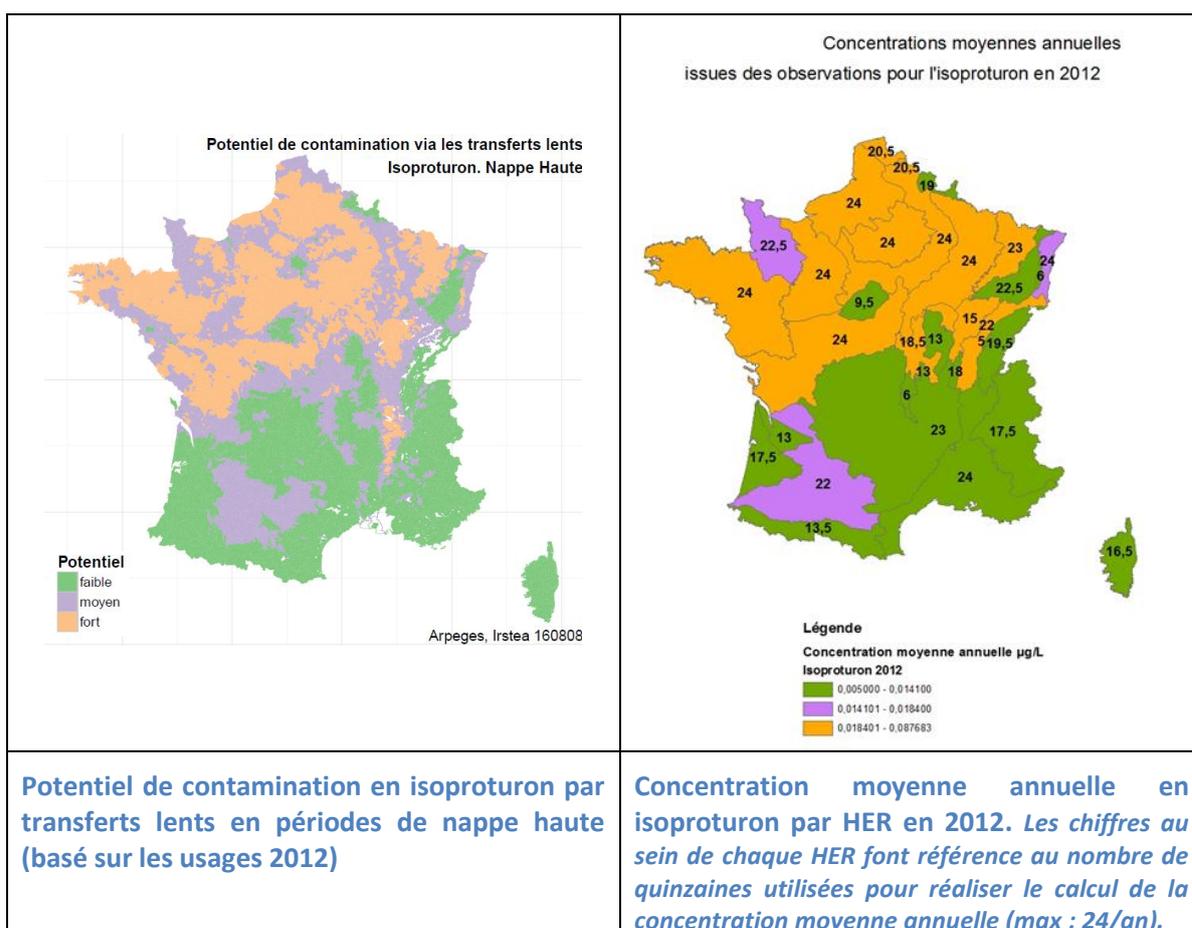


Figure 75 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour l'isoproturon.

Il est important, également, de remarquer que les limites de classes des potentiels de contamination faible, moyen, fort sont en général très faibles (ce sera le cas pour la plupart des autres molécules étudiées ci-après). On rappelle qu'elles correspondent à des valeurs de concentrations moyennes annuelles calculées par HER à partir des valeurs mesurées (partie Interprétation des données relatives aux substances actives étudiées, Analyse des données par substance active) : on ne peut donc pas les comparer à des Limites de Quantification. Ces faibles valeurs montrent en particulier la sensibilité de la méthode ARPEGES pour rendre compte de concentrations moyennes annuelles à l'échelle des HER.

L'isoproturon suit les voies de transferts majoritaires : ruissellement et drainage. Pour cette matière active surtout utile en sols limoneux, des mesures de gestion utiles seraient :

- la réduction de dose,
- l'atténuation du ruissellement,
- des actions d'atténuation en sortie de drainage.

Ces grands types d'actions seraient à mettre en œuvre en priorité sur les zones de classe de potentiel de transfert fort mises en avant par ARPEGES mais, compte tenu de la maille d'analyse de l'outil (masse d'eau), un diagnostic plus fin serait requis localement sur ces zones pour mieux orienter les lieux et types d'action à privilégier. Cette remarque concerne également les propositions d'action émises pour les autres substances étudiées ci-après.

L'arrêt d'utilisation de l'isoproturon en 2017 va bien sûr résoudre les problèmes liés à cette molécule. Mais il est important de garder la mémoire des territoires qui ont montré une grande sensibilité aux contaminations par cette dernière. Il s'agit en effet le plus souvent des territoires de grandes cultures les plus sensibles aux transferts hydriques des pesticides.

Après le cas particulier de l'isoproturon, donné précédemment à titre d'exemple, les parties suivantes décrivent les cartes obtenues pour les autres substances étudiées<sup>5</sup> en abordant, comme pour l'isoproturon, la succession des cartes de vulnérabilité spécifique, pression d'usage et potentiel de contamination, avant de réaliser la confrontation de ces dernières avec les cartes de contamination moyenne annuelle observée, estimée par HER modifiée.

---

<sup>5</sup> Excepté pour l'AMPA, produit de dégradation du glyphosate pour laquelle on ne dispose pas de données de pression d'usage et donc pas de carte de potentiel de contamination non plus.

## 3.7 Cas du 2-4D

### 3.7.1 Cartes de vulnérabilité spécifique pour le 2-4D

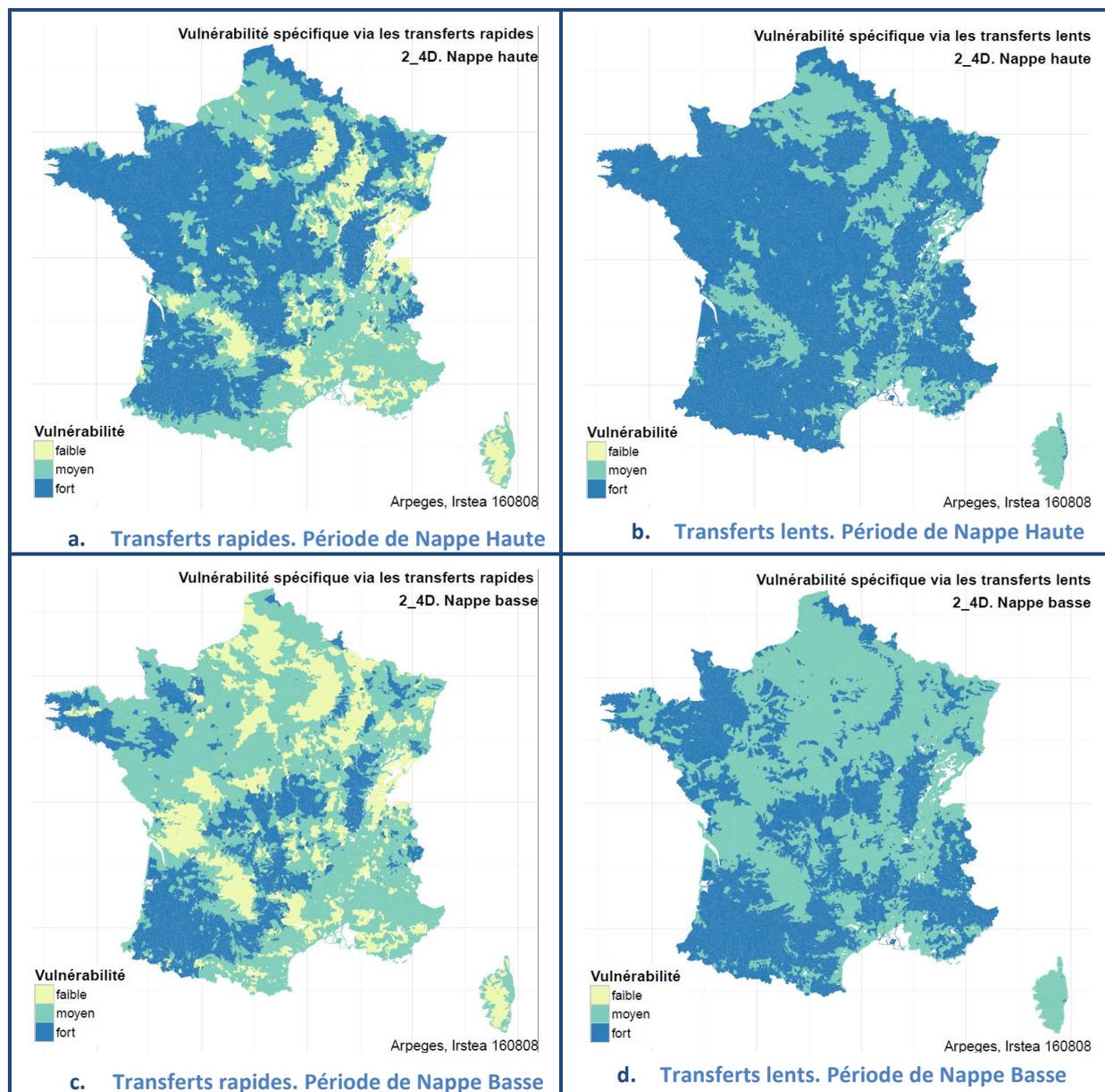


Figure 76 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le 2-4D

### 3.7.2 Cartes de pression d'usage pour le 2-4D

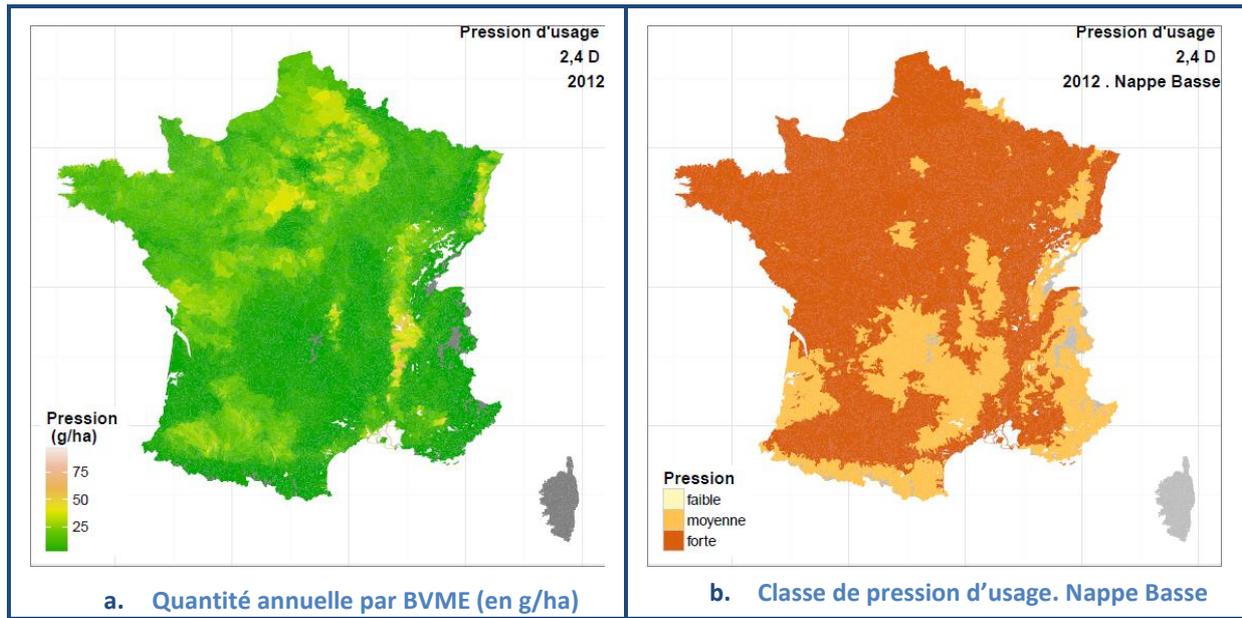


Figure 77 : Cartes de pression d'usage du 2-4D en 2012. a) Quantité annuelle par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. Pas d'usage en période de Nappe Haute

### 3.7.3 Cartes de potentiel de contamination pour le 2-4D

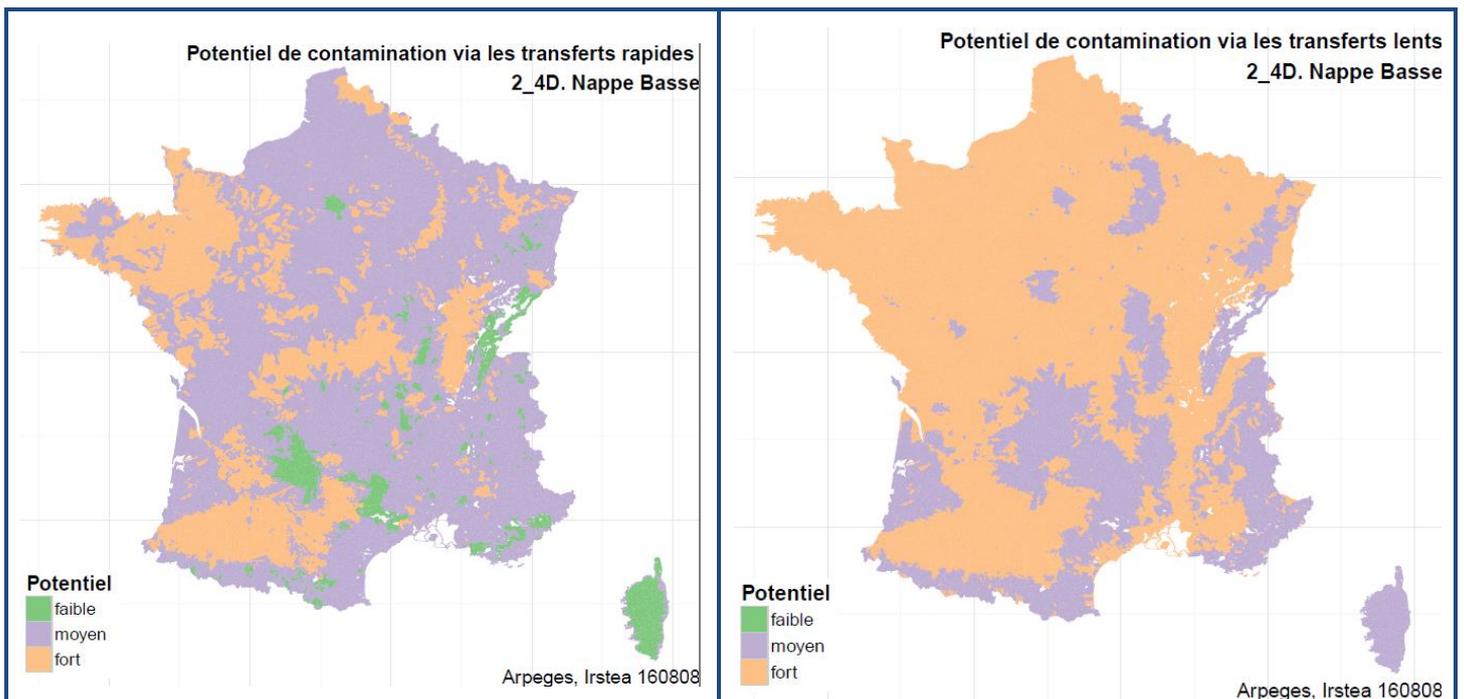


Figure 78 : Cartes de potentiel de contamination pour le 2-4D

### 3.7.4 Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le 2-4D

Pour le 2,4 D les périodes de contamination privilégiée se situent en nappe basse (Figure 23). La Figure 79 présente les résultats obtenus pour cette molécule. Pour les HER caractérisées par les niveaux de contamination les plus élevés, on constate une certaine cohérence d'ensemble entre les cartes de potentiel de contamination estimé par la méthode ARPEGES et la carte des concentrations moyennes annuelles observées en 2012. Toutefois, un certain nombre d'autres HER (dont par exemple les HER 2, 23, 31, 62, 64, 65) apparaît dans la classe moyenne des observations alors que le potentiel de contamination estimé par ARPEGES les affecte à la classe forte. Il serait utile d'explorer si les conditions météorologiques (et l'incertitude sur les usages) pourraient contribuer à expliquer les moindres concentrations observées sur ces HER en 2012.

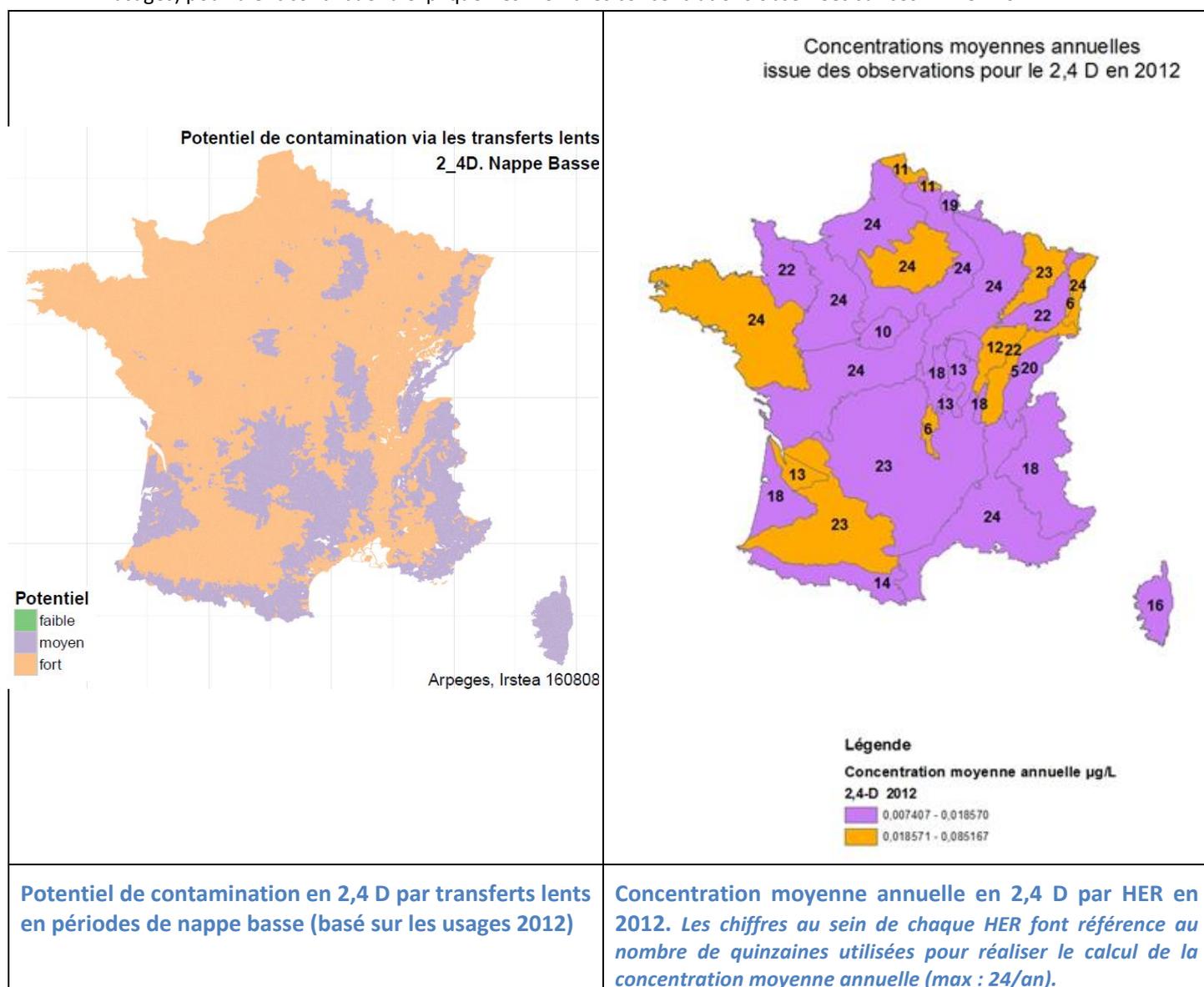


Figure 79 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le 2,4 D.

Pour le 2-4 D, molécule très soluble et mobile, les usages sont variés et les dates d'applications elles aussi étalées sur plusieurs saisons mais toujours en nappe basse (figure 25), il semble surtout utile d'avoir des mesures de gestion réduisant les transferts par ruissellement comme par exemple :

- pas de traitement à proximité des fossés,
- réduction de la dose, atténuation du ruissellement en parcelle (et notamment sur chaumes)
- actions d'atténuation en bordure de parcelles : bandes enherbées, gestion des entrées de parcelles,....

## 3.8 Cas du Chlortoluron

### 3.8.1 Cartes de vulnérabilité spécifique pour le Chlortoluron

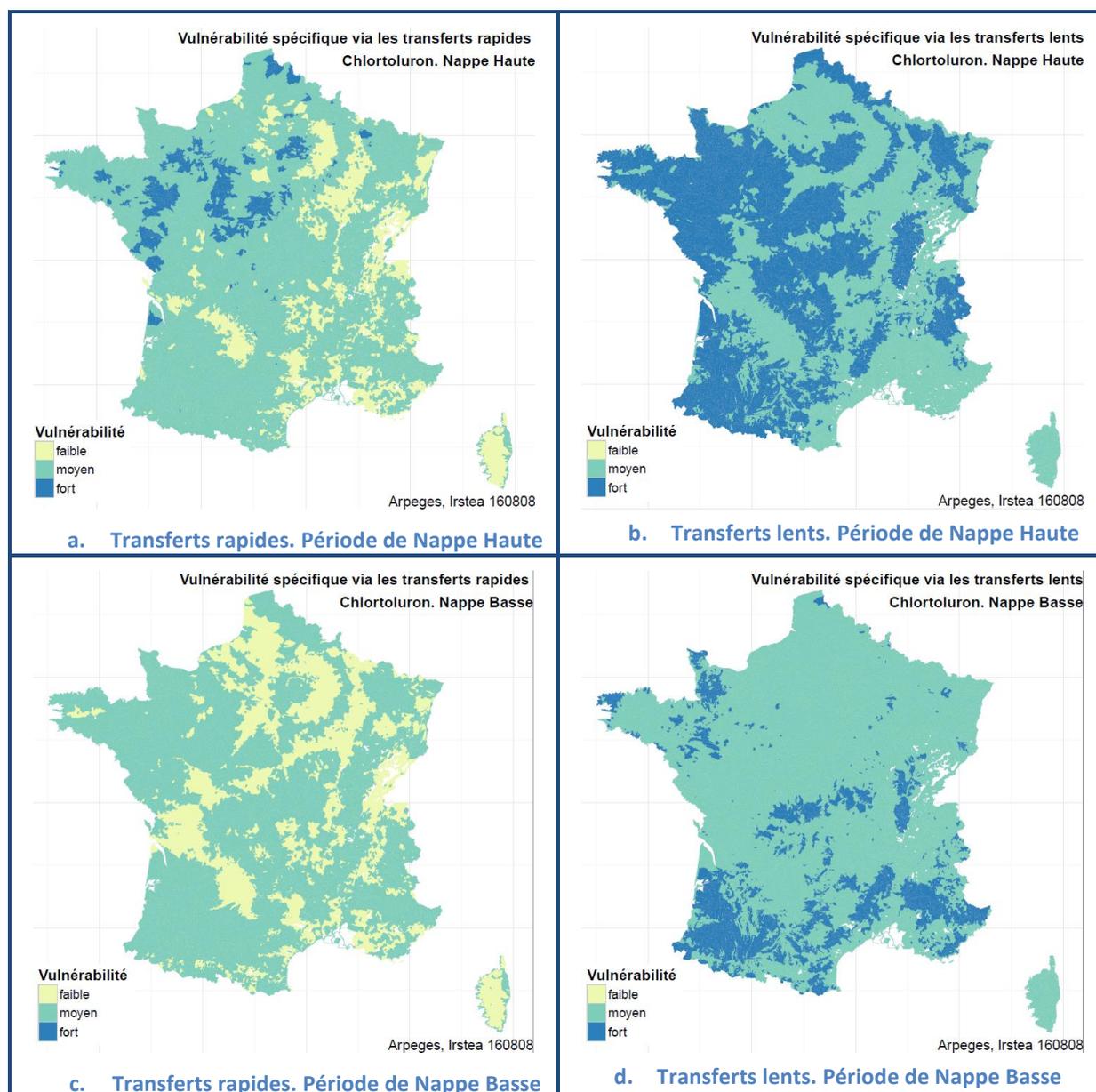


Figure 80 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le Chlortoluron.

### 3.8.2 Cartes de pression d'usage pour le Chlortoluron

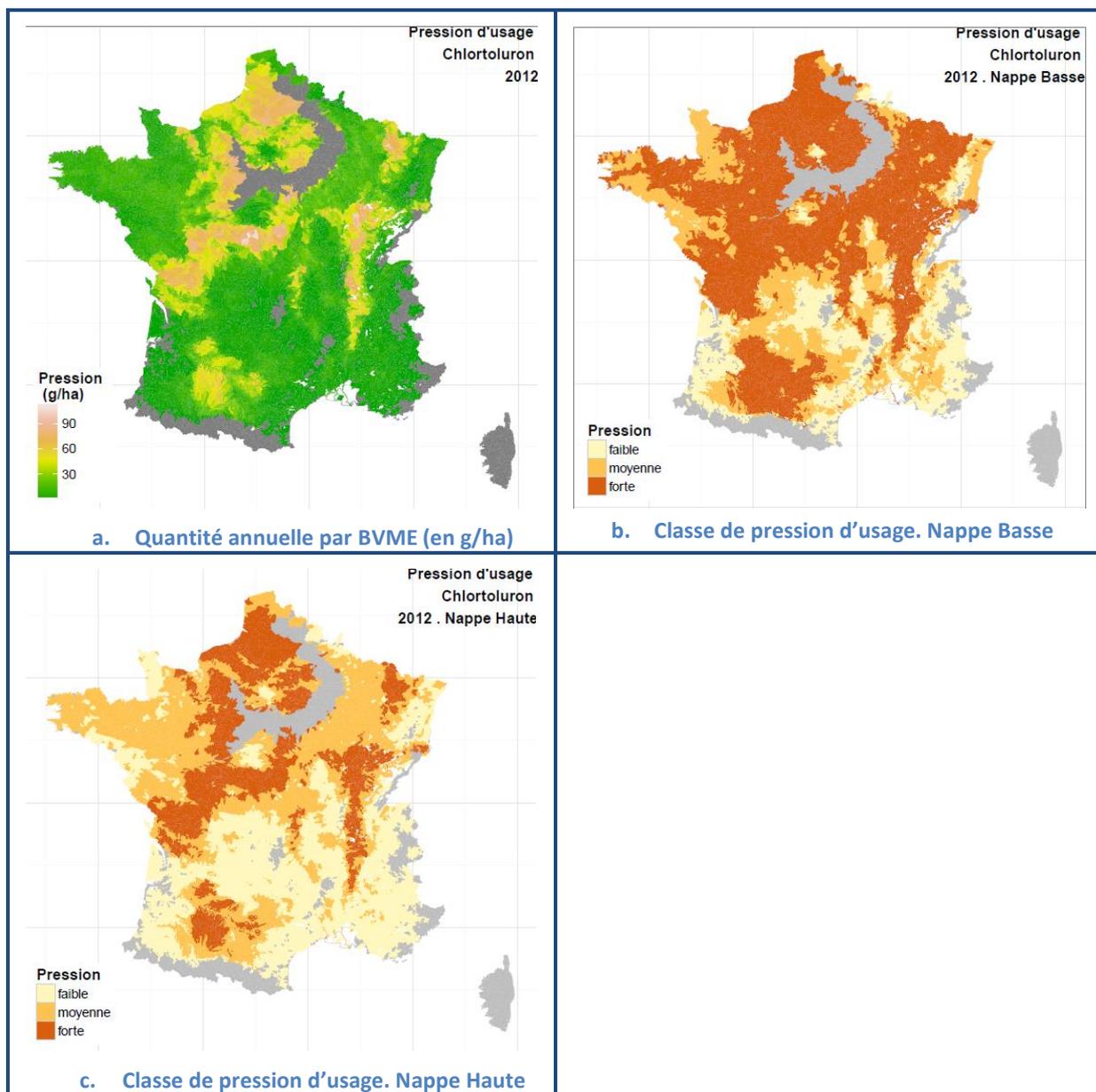


Figure 81 : Cartes de pression d'usage du chlortoluron en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute

### 3.8.3 Cartes de potentiel de contamination pour le Chlortoluron

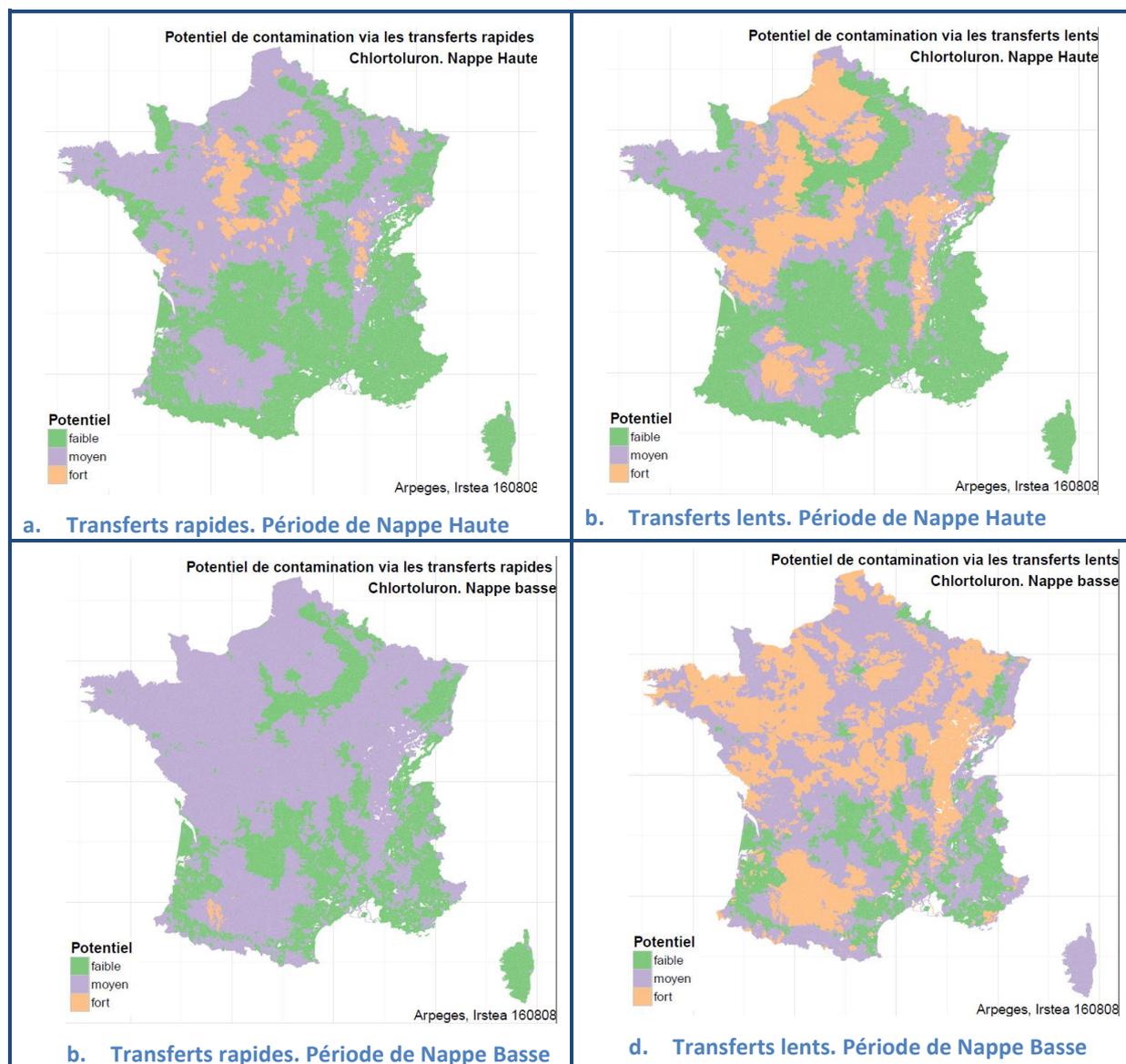


Figure 82 : Cartes de potentiel de contamination pour le Chlortoluron

### 3.8.4 Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le chlortoluron

Pour le chlortoluron, les périodes de contamination privilégiée se situent en nappe haute (Figure 39). La Figure 83 présente les résultats obtenus pour cette molécule. On constate une certaine cohérence d'ensemble entre les cartes de potentiel de contamination estimé par la méthode ARPEGES et la carte de concentrations moyennes annuelles observées en 2012. Notamment les HER affectées en classes de concentrations observées faible et forte correspondent bien, respectivement, aux classes de potentiel de contamination faible et fort d'ARPEGES, avec l'exception toutefois de la HER 61 (Sologne – forêt d'Orléans) qui est affectée d'un potentiel de contamination faible à moyen par ARPEGES et se positionne en classe forte de concentration observée. Par ailleurs, la classe moyenne des concentrations observées regroupe des HER qui sont affectées d'un potentiel de contamination faible à fort par ARPEGES. Pour les HER 2 (Méditerranéen et sillon rhodanien) et 41 (Coteaux aquitains), l'hypothèse de l'échelle d'intégration peut encore être avancée. Pour ce qui est des HER 62 (Tables calcaires Sud-Loire et Charente Poitou) et 66 (TC – Haute Normandie et Picardie), les concentrations observées

les rangent en classe moyenne alors que le potentiel de contamination estimé par ARPEGES est fort. La prise en compte des conditions météorologiques et de l'incertitude sur les usages serait utile pour aller plus loin dans l'interprétation.

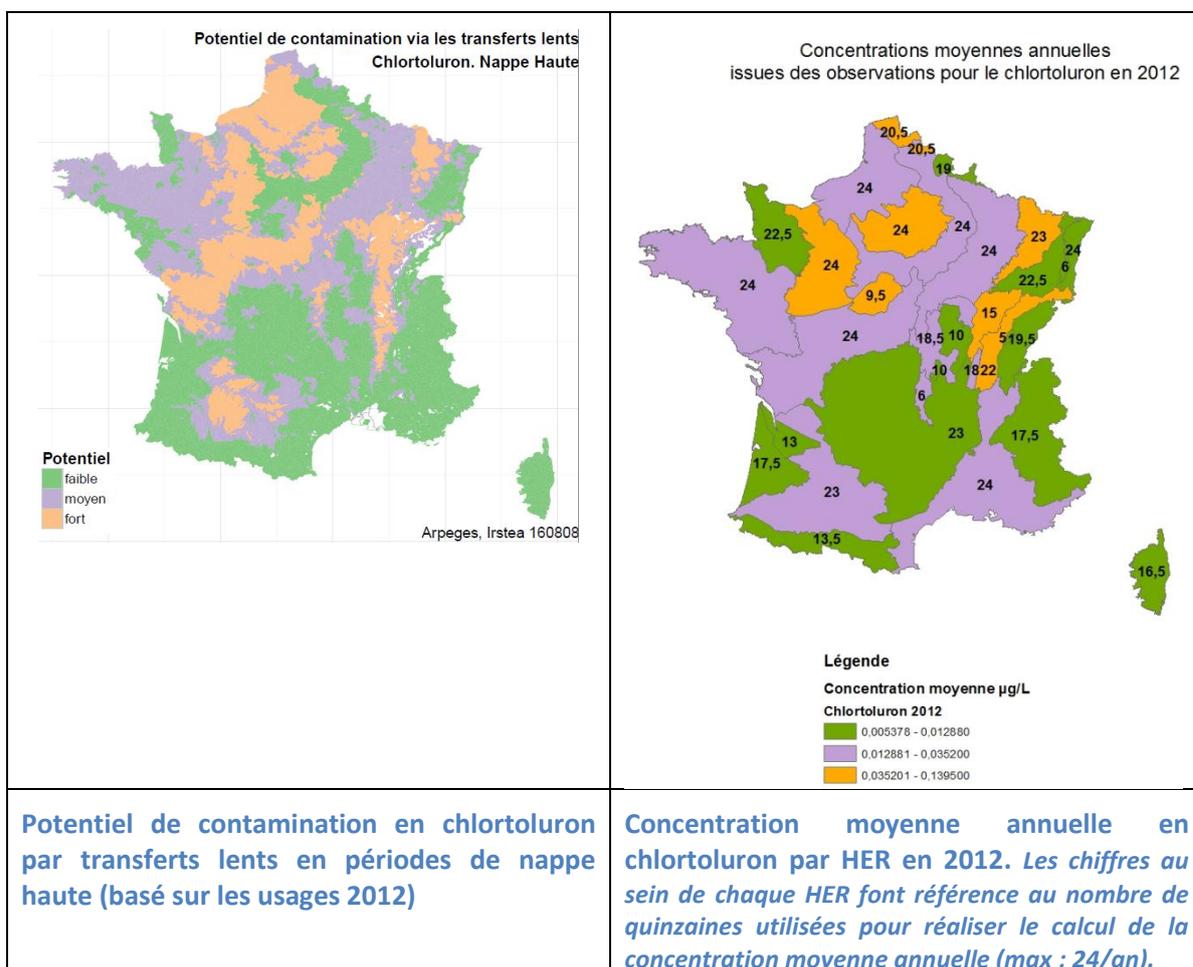


Figure 83 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le chlortoluron.

Le chlortoluron, urée substituée plus adsorbée et plus rémanente que l'isoproturon, suit également les voies de transferts hydriques majoritaires : ruissellement et drainage. Pour cette matière active surtout utilisée en sols limoneux, et maintenant majoritairement non autorisée sur sols drainés, les mesures de gestion mobilisables sont par exemple :

- la réduction de dose avec mélange à une autre matière active si les taux d'argile le nécessitent,
- l'atténuation du ruissellement en parcelles,
- la présence de dispositifs tampons permettant d'atténuer les transferts et notamment les transferts rapides.

## 3.9 Cas du Diflufénicanil

### 3.9.1 Cartes de vulnérabilité spécifique pour le Diflufénicanil

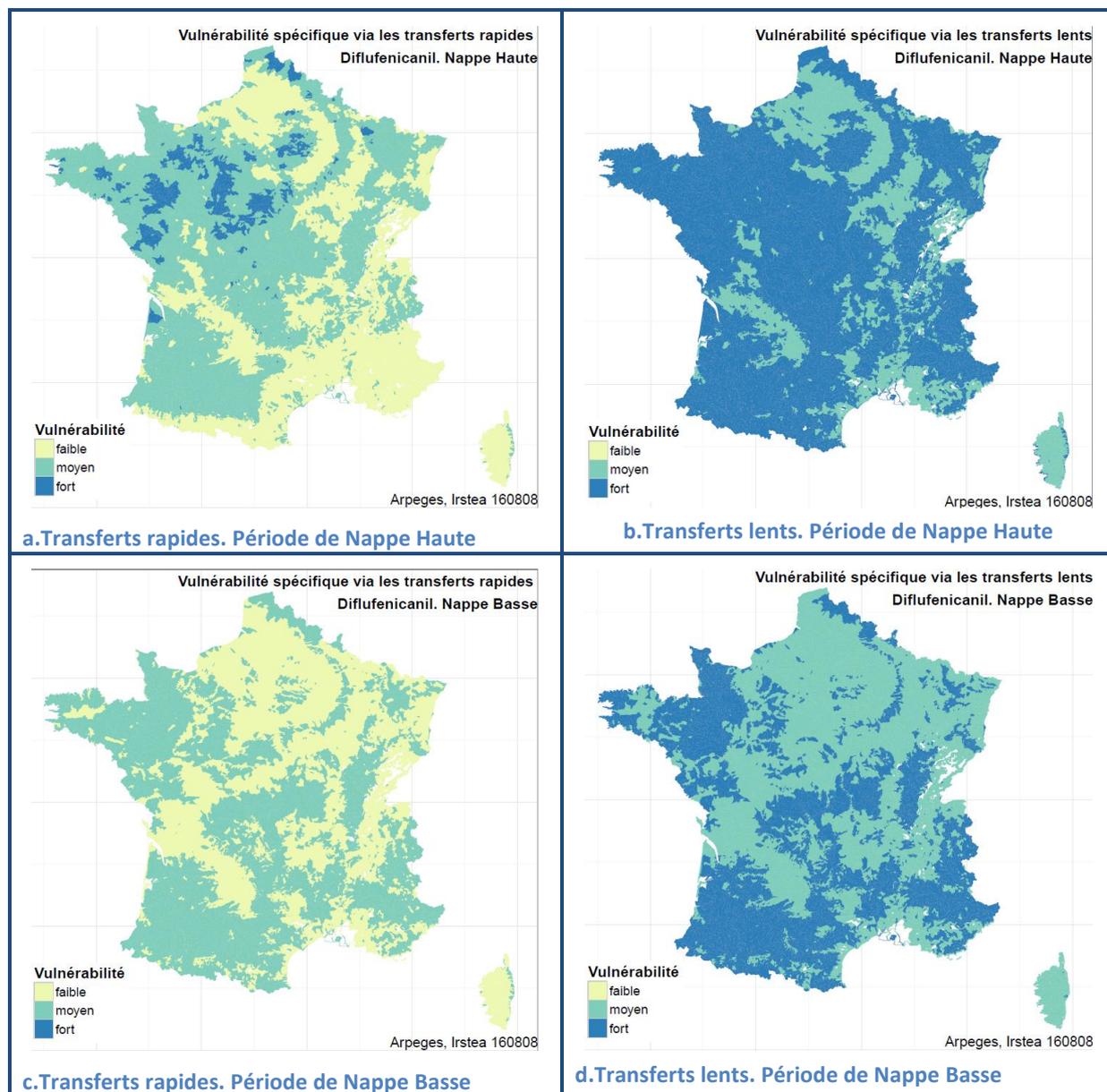


Figure 84 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le diflufénicanil.

### 3.9.2 Cartes de pression d'usage pour le Diflufénicanil

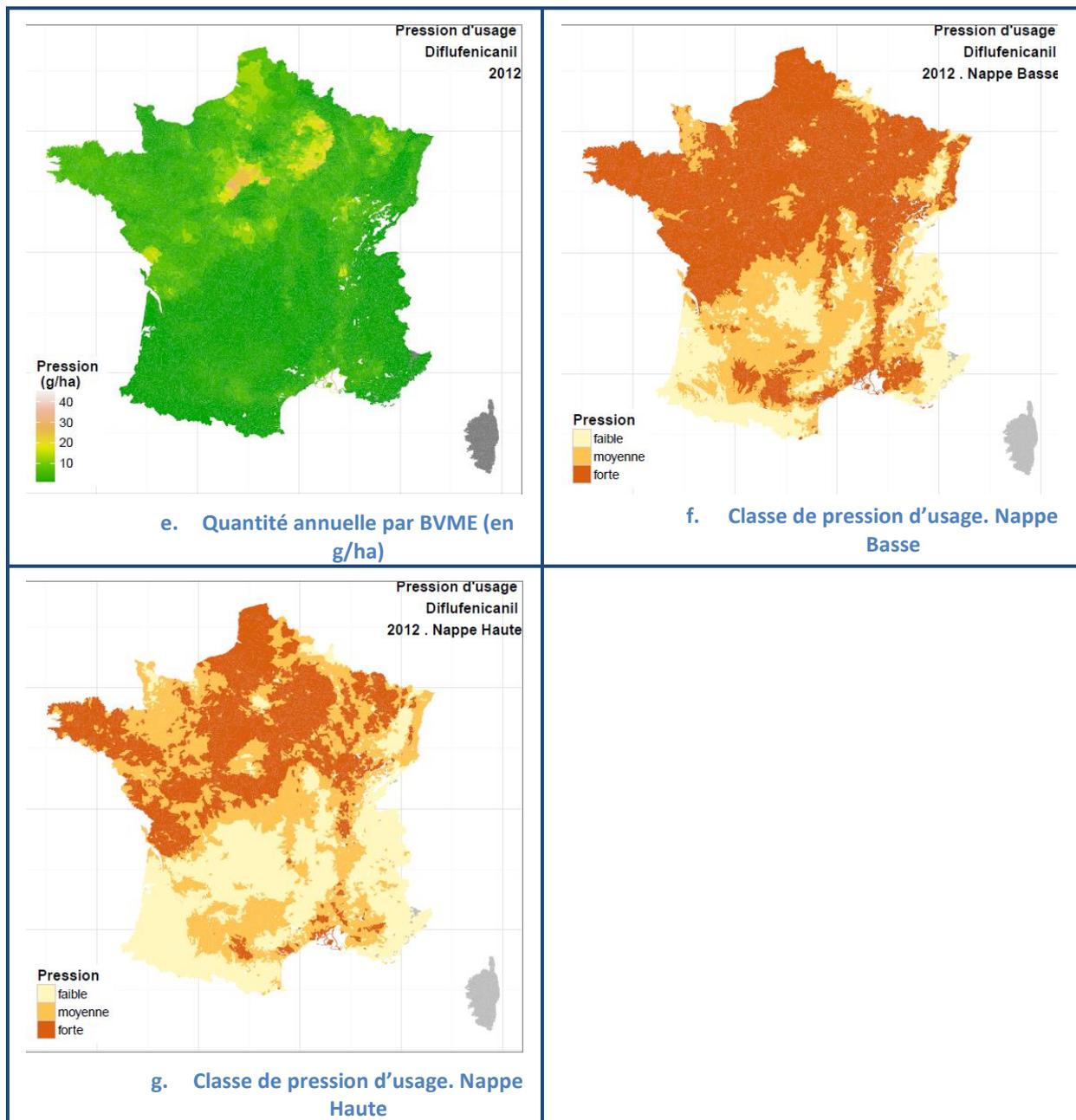


Figure 85 : Cartes de pression d'usage du diflufénicanil en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute

### 3.9.3 Cartes de potentiel de contamination pour le Diflufénicanil

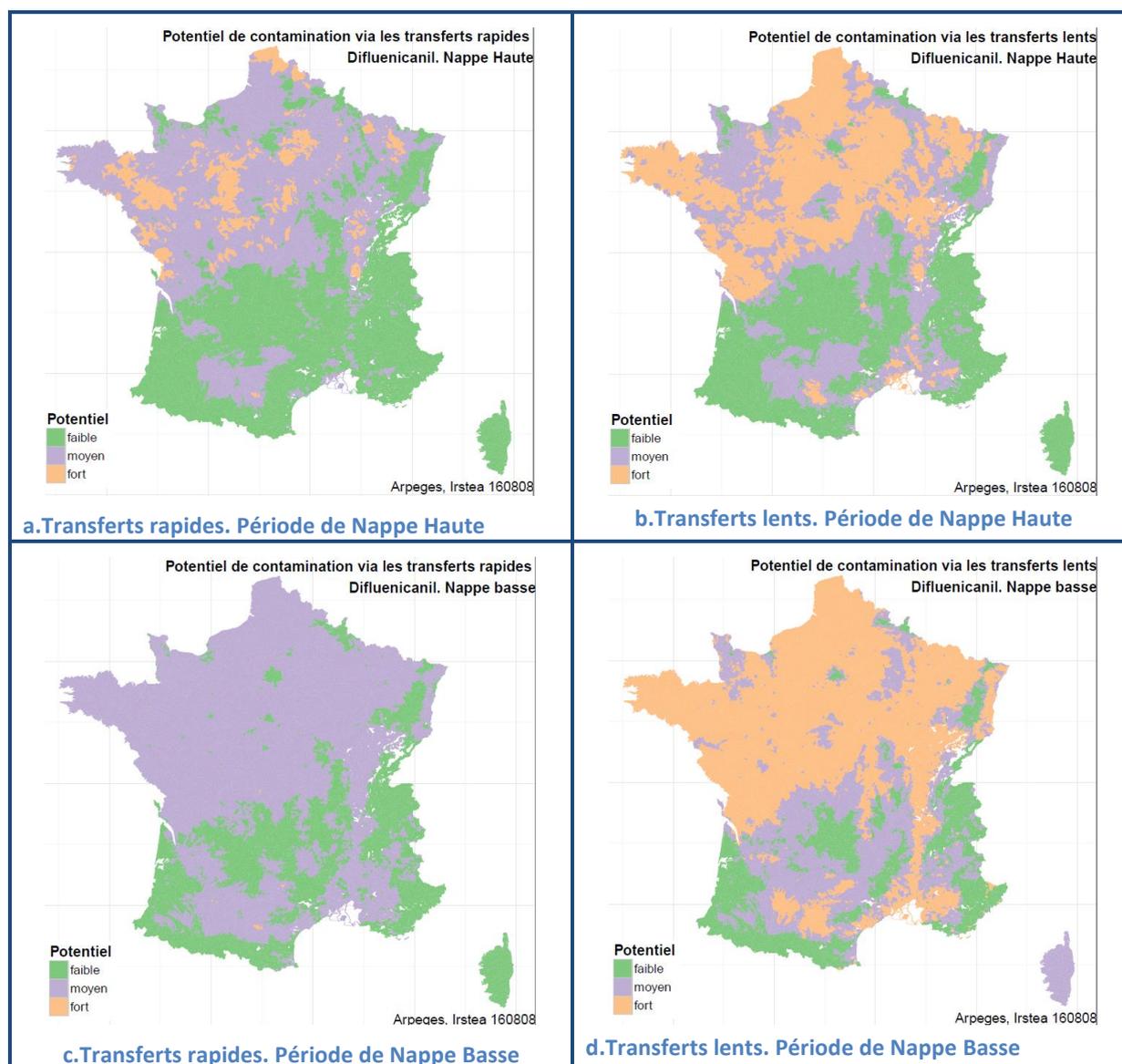


Figure 86 : Cartes de potentiel de contamination pour le diflufénicanil

On rappelle que cette molécule est très peu retrouvée, bien que soumise à un effort d'analyse assez fort : le 90ème centile des données observées regroupées par HER modifiée est presque tout le temps égal à la moitié de la limite de quantification. De ce fait la confrontation des données observées avec les résultats de potentiel de transfert d'ARPEGES n'a pas été jugée pertinente.

Le diflufénicanil suit également les voies de transferts hydriques majoritaires : ruissellement, mais aussi drainage (de nombreuses spécialités ont d'ailleurs des restrictions d'usage sur sols drainés). Les mesures de gestion mobilisables sont par exemple :

- la réduction de dose,
- l'atténuation du ruissellement en parcelles,
- la présence de dispositifs tampons permettant d'atténuer les transferts en recherchant une gestion aussi optimale que possible pour l'interception des sédiments.

## 3.10 Cas du Glyphosate

### 3.10.1 Cartes de vulnérabilité spécifique pour le Glyphosate

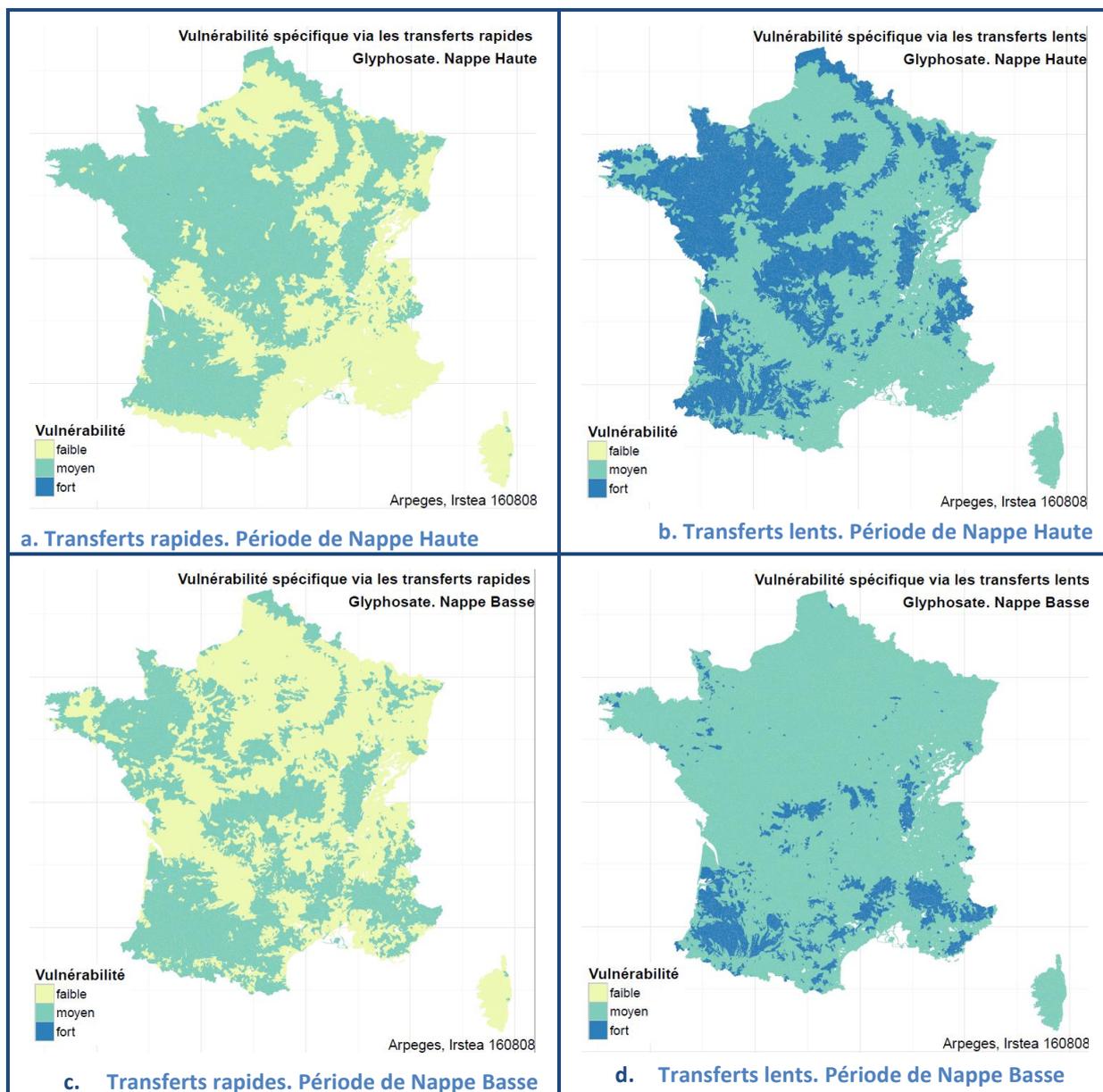


Figure 87 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le Glyphosate.

### 3.10.2 Cartes de pression d'usage pour le Glyphosate

L'examen de la carte des usages Glyphosate montre des zones où la pression est très forte (> 10 kg/ha !) ce qui semble excessif. L'explication tient certainement en partie aux groupes de cultures considérées comme pouvant être concernées par son application. Ils sont sans doute trop restreints (par exemple, pas de céréales d'hiver, pour lesquelles il est pourtant utilisé sur les CIPAN installées après les moissons notamment). Il en résulte que la surface susceptible de recevoir des applications de glyphosate prise en compte pour l'estimation de la pression est certainement sous-estimée. Cette carte doit donc être considérée avec précaution. La légende utilisée pour la carte de pression d'usage annuelle a d'ailleurs été adaptée par rapport à celle utilisée pour les autres substances étudiées (5 classes de valeurs fixées manuellement ici, plutôt qu'un gradient

« libre »). Les fortes valeurs auxquelles on aboutit sur certaines masses d'eau rendait sinon cette carte peu lisible.

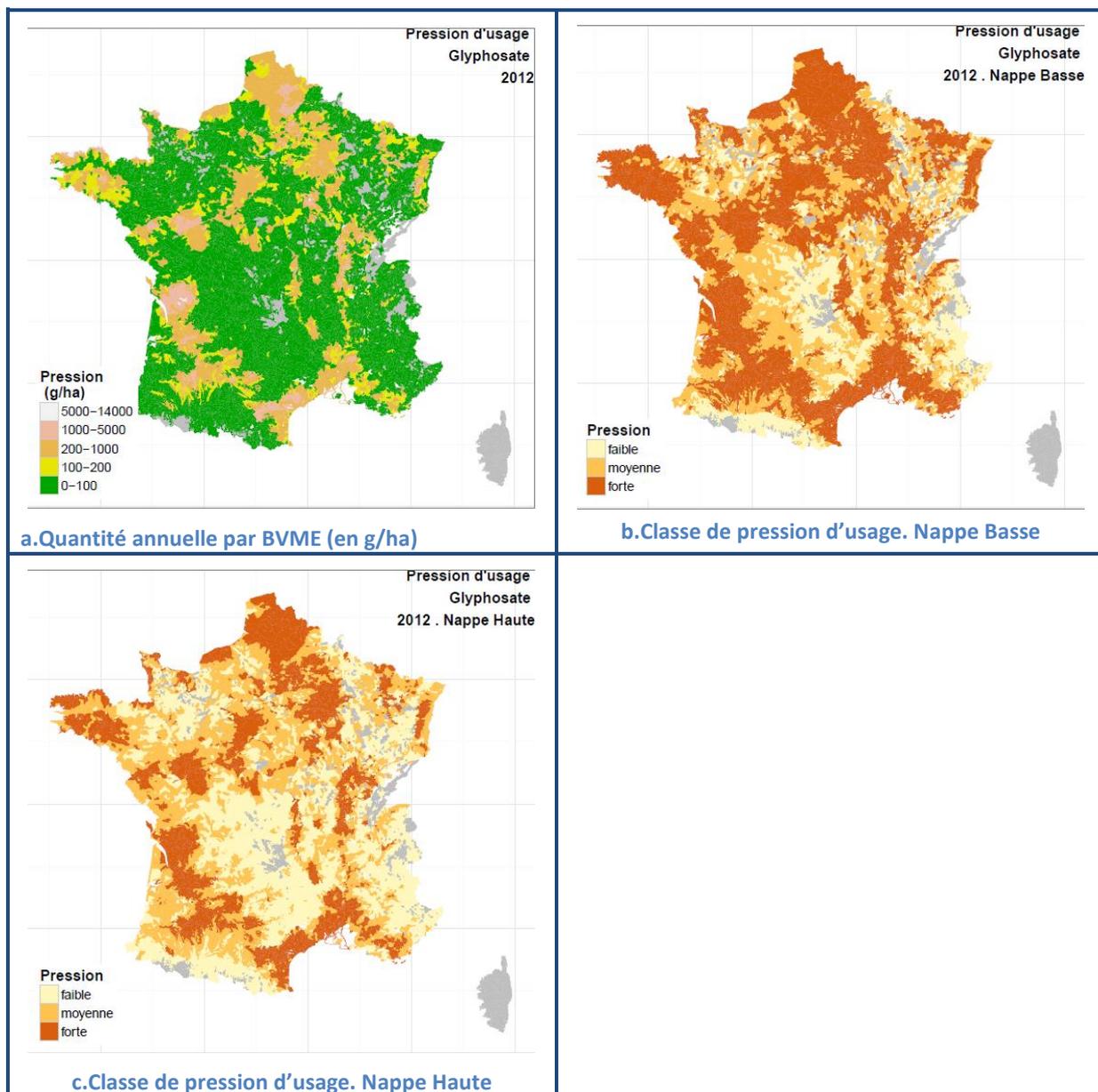


Figure 88 : Cartes de pression d'usage du Glyphosate en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute

### 3.10.3 Cartes de potentiel de contamination pour le Glyphosate

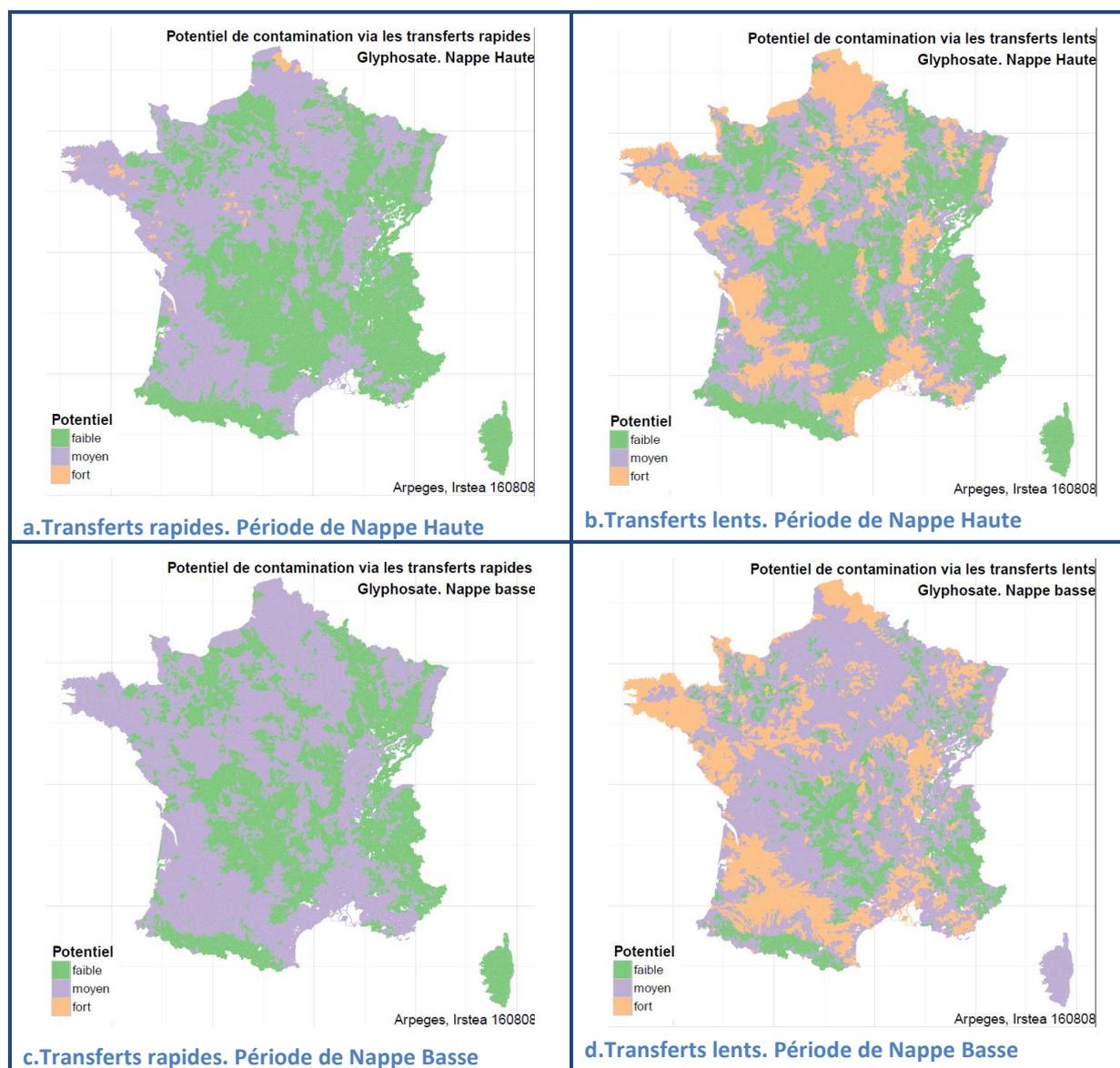
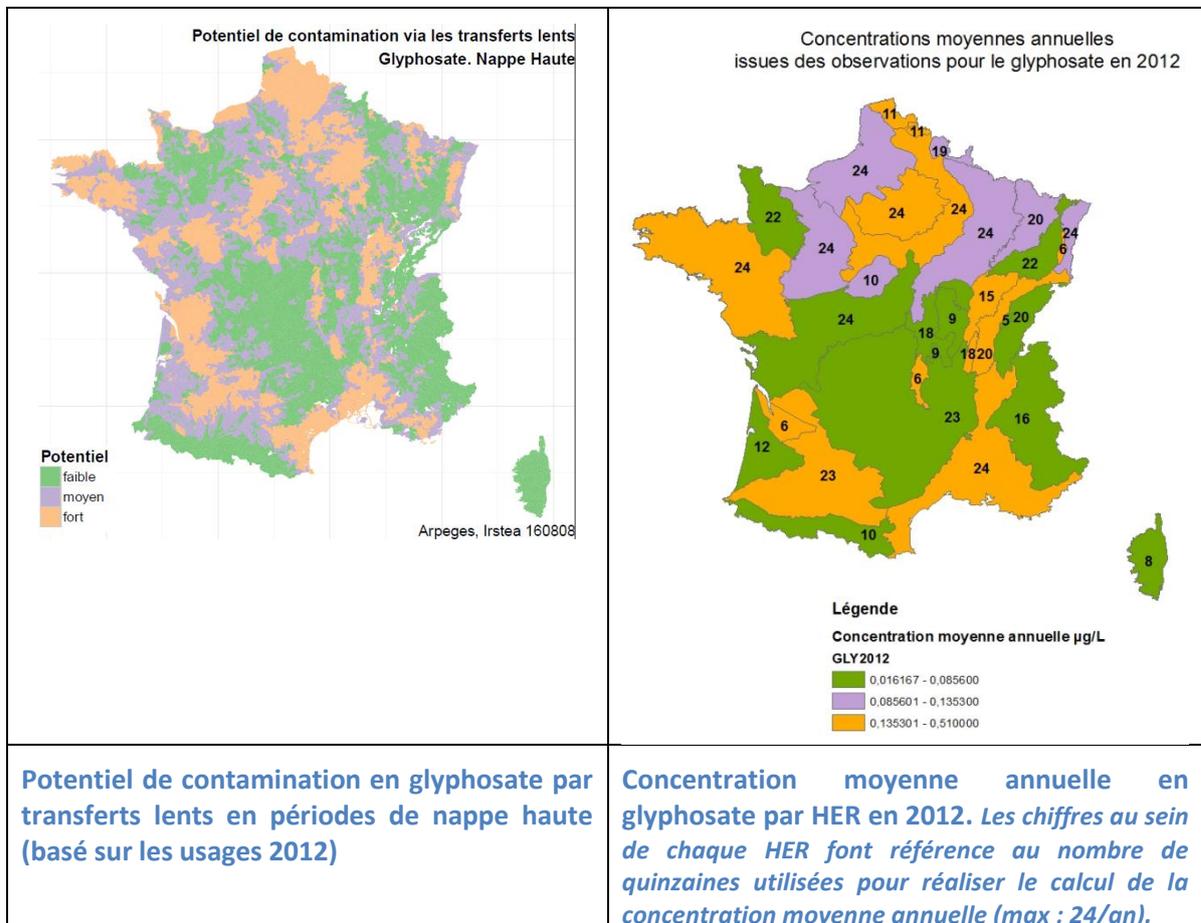


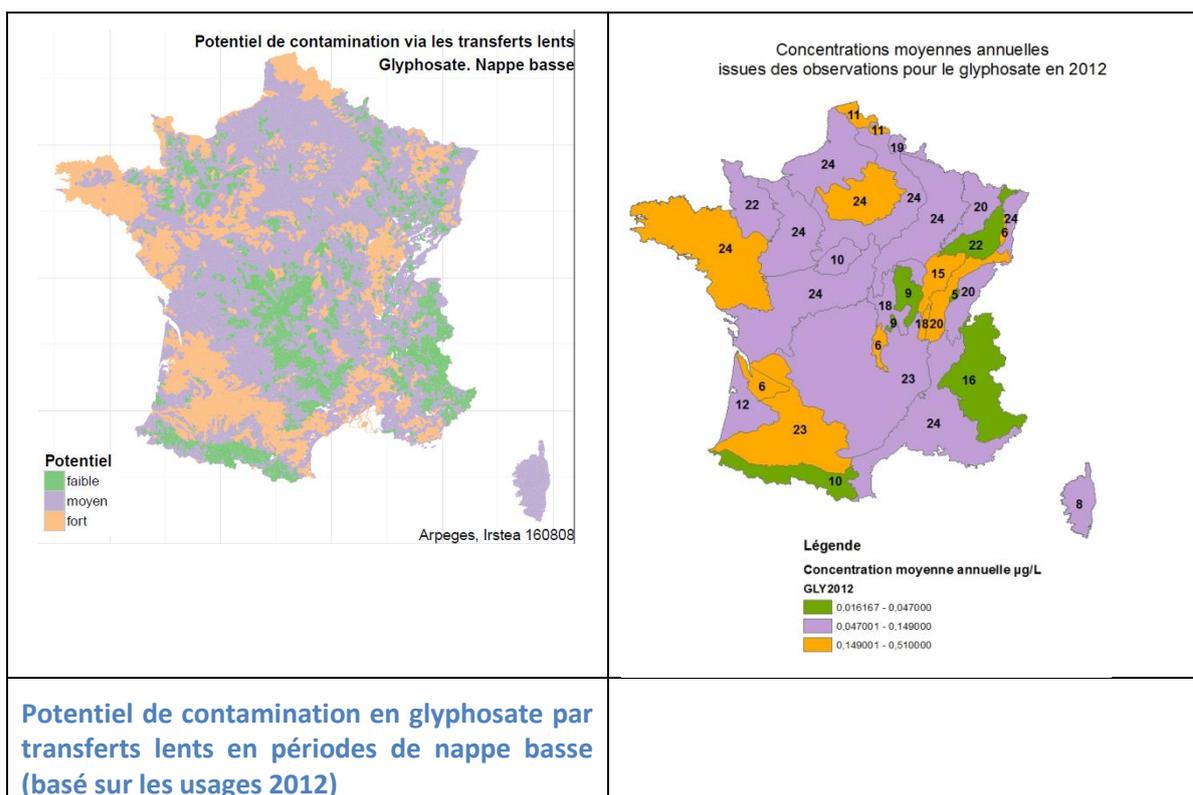
Figure 89 : Cartes de potentiel de contamination pour le Glyphosate

### 3.10.4 Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le Glyphosate

Pour le glyphosate, les périodes de contamination se répartissent sur toute l'année avec des présences plus marquées en période de nappe basse (Figure 28). La Figure 90 présente les résultats obtenus pour cette molécule. Pour rendre compte de la présence sur toute l'année du glyphosate, on a tenté de réaliser deux cartes des concentrations moyennes annuelles observées afin d'identifier si on peut mettre en évidence une meilleure cohérence avec les cartes de potentiels de contamination estimés par ARPEGES en périodes de nappe haute (carte en haut à gauche) ou basse (carte en bas à gauche). Pour cela, on a ajusté les seuils de classe des concentration moyennes annuelles observées de façon à identifier si on trouvait une meilleure cohérence avec la carte de potentiel de contamination ARPEGES en nappe haute ou en nappe basse. Cela a, en

conséquence, conduit à définir des seuils de classes différents pour chaque carte des concentrations moyennes observées. On constate que pour expliquer les contaminations observées, les deux cartes de potentiel de contamination ARPEGES sont complémentaires. On note que la HER 63 (bassin parisien – Ile de France) apparait dans la classe supérieure des contaminations observées alors que les cartes ARPEGES indiquent des potentiels de contamination faible, moyen et fort au niveau des bassins de masses d'eau constitutifs de cette HER. Cela peut mettre en évidence l'effet d'usages non agricoles, très importants compte tenu de l'urbanisation autour de Paris, non pris en compte dans la méthode ARPEGES.





**Figure 90 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le glyphosate.**

En zones agricoles, le potentiel de contamination par le glyphosate peut être assimilé à une résultante entre la vulnérabilité spécifique et la pression d'usage. Les mesures de gestion passeraient très utilement par des mesures généralisées d'atténuation des ruissellements, celles mobilisables sont par exemple :

- la réduction de dose avec mélange à une autre matière active,
- l'atténuation du ruissellement en parcelles, y compris en parcelles sans labour,
- la présence de dispositifs tampons permettant d'atténuer les transferts et notamment les transferts rapides,
- un point important concerne les dispositifs réduisant les eaux de ruissellement en sortie de parcelles : aménagement des entrées de champs, enherbement des coins de parcelles, ... ,
- une attention particulière sera donc portée aux parcelles de bordures de points d'eau (interdiction en bordure de fossés ?) et aux parcelles à faibles distances hydrauliques du réseau hydrographique.

Notons que comme on ne dispose pas de données de pression d'usage pour l'AMPA et qu'on ne connaît pas la trajectoire de dissipation/transformation en métabolite du glyphosate, il a paru peu pertinent de confronter ici les cartes de potentiel de contamination obtenues pour le glyphosate aux cartes de contamination observées pour l'AMPA.

## 3.11 Cas du Métazachlore

### 3.11.1 Cartes de vulnérabilité spécifique pour le Métazachlore

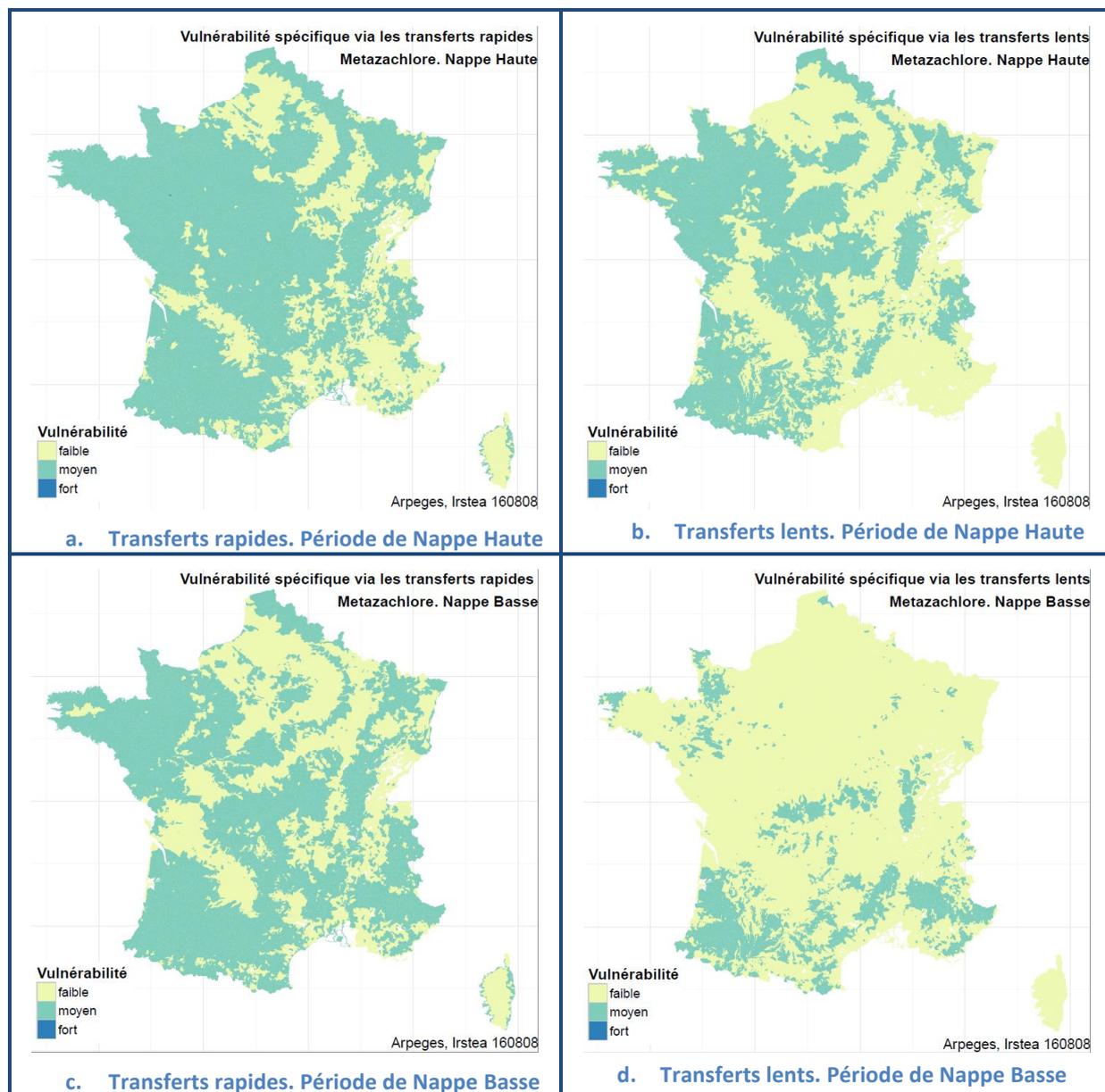


Figure 91 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le Métazachlore

### 3.11.2 Cartes de pression d'usage pour le Métazachlore

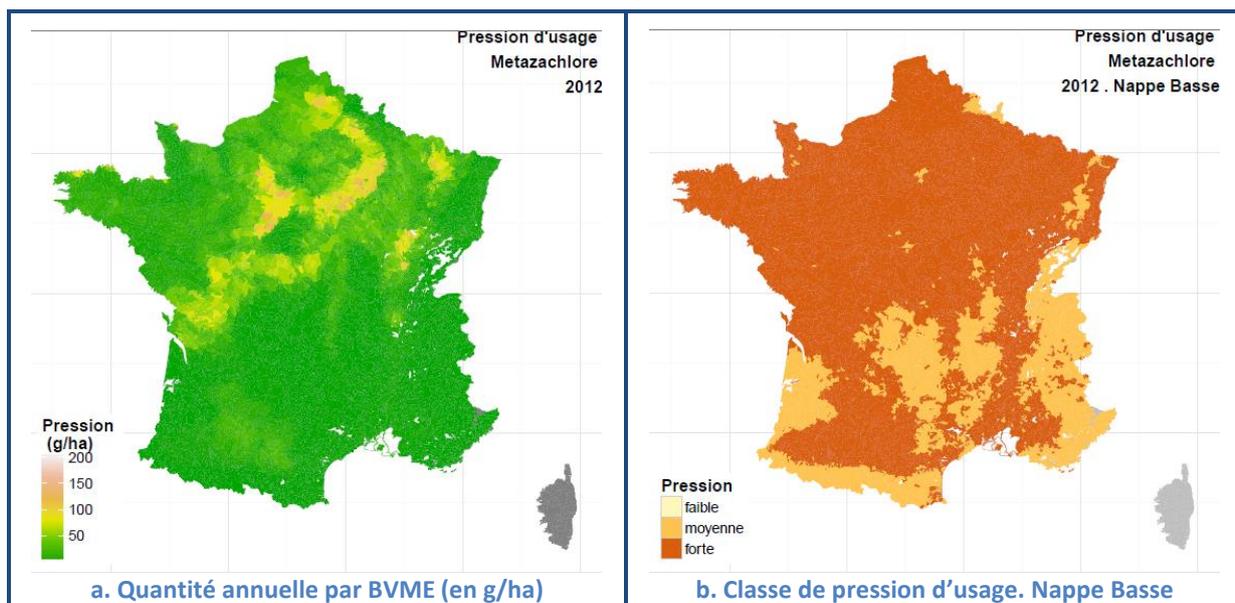


Figure 92 : Cartes de pression d'usage du Métazachlore en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. Pas d'usage en période de Nappe Haute

### 3.11.3 Cartes de potentiel de contamination pour le Métazachlore

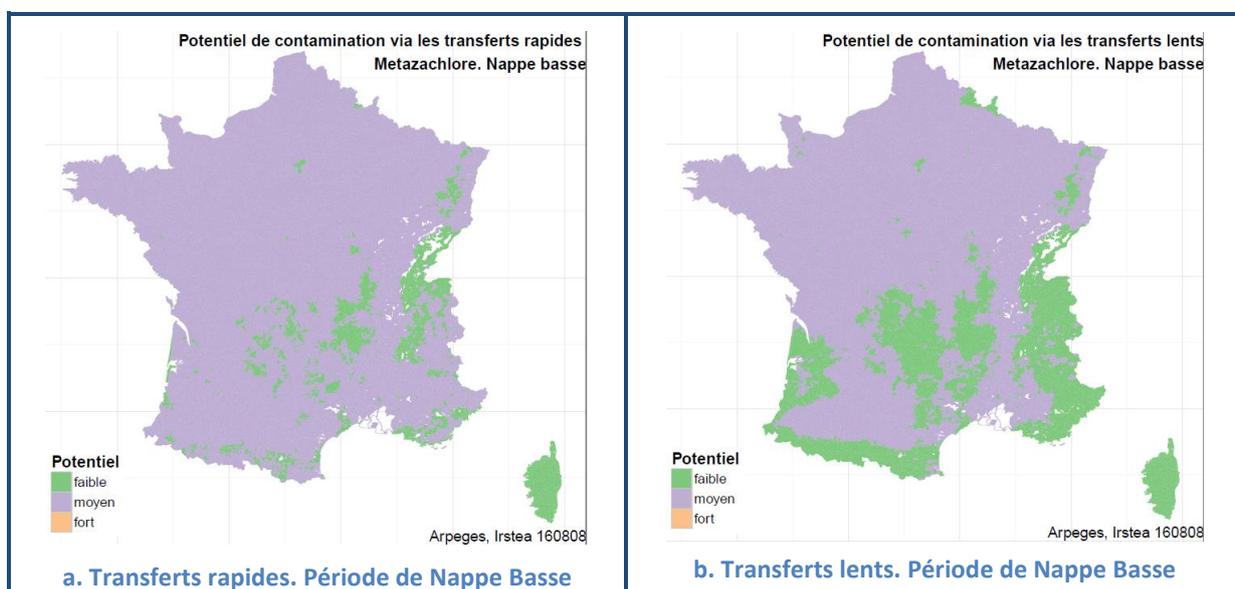


Figure 93 : Cartes de potentiel de contamination pour le Métazachlore

### 3.11.4 Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le Métazachlore

Pour le métazachlore, les périodes de contamination privilégiée observées se situent en nappe haute alors que les usages ont plutôt lieu en nappe basse (Figure 48). Mais, on peut faire l'hypothèse que les applications de post-levée sur colza de septembre sont plutôt mobilisées à la reprise des écoulements en novembre et décembre. Ce cas de figure est plus délicat à prendre en compte dans ARPEGES. La Figure 94 présente les résultats obtenus pour cette molécule en considérant les applications et les transferts en nappe basse. On constate une bonne cohérence d'ensemble entre les cartes de potentiel de contamination estimé par la méthode ARPEGES et la carte de concentrations moyennes annuelles observées en 2012.

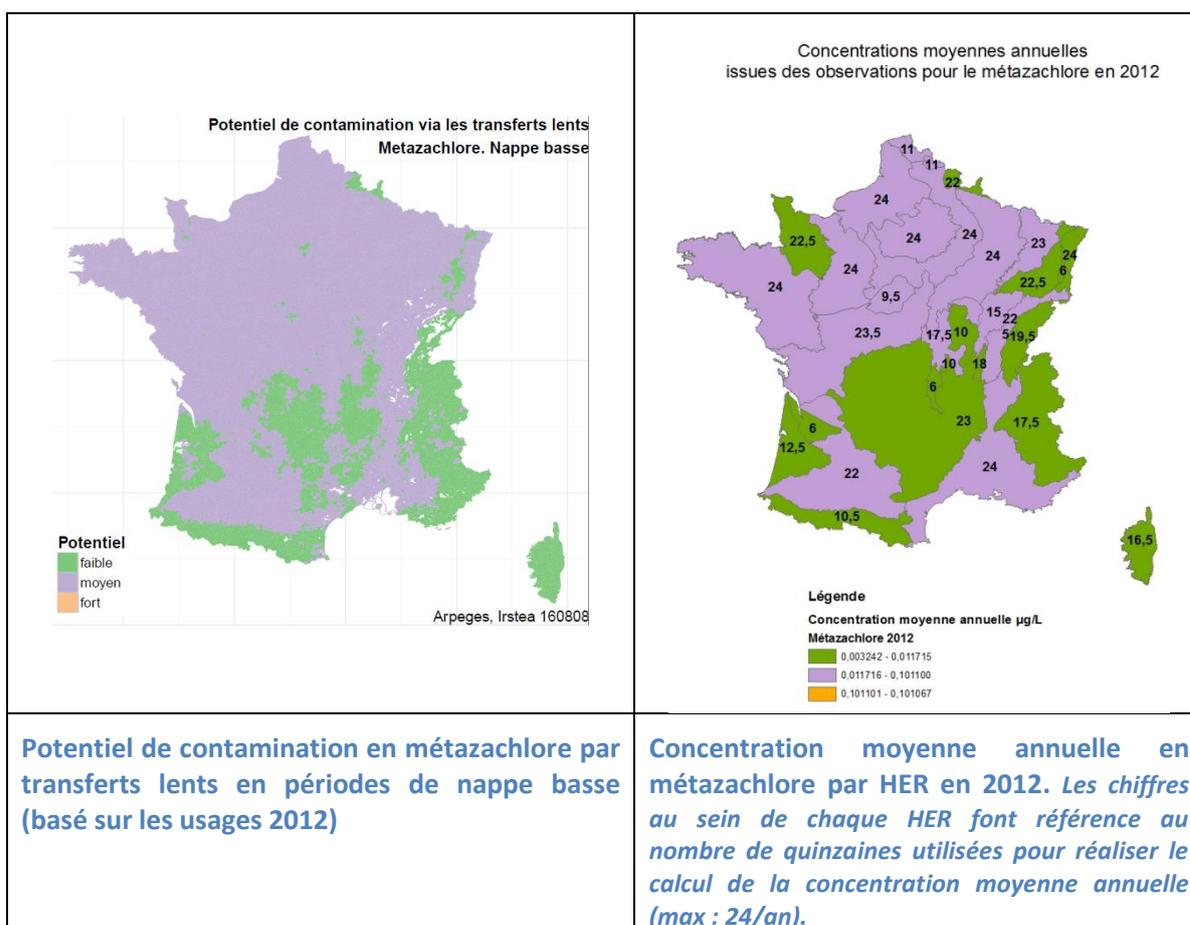


Figure 94 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le métazachlore.

Pour le métazachlore, il paraît important de réfléchir aux évolutions de pratiques compte tenu de la tendance observée depuis 2007 vers une progression des contaminations.

Compte tenu des contaminations décalées en automne suite aux interventions de fin d'été sur colza, les mesures de gestion mobilisables sont par exemple :

- en premier lieu la réduction de dose dans le cadre d'un programme herbicide,
- l'atténuation du ruissellement en parcelles,

- l'interception des premiers écoulements fortement contaminés de surface ou de drainage et l'atténuation de la concentration de ces premiers transferts automnaux (via des zones tampons adaptées notamment).

## 3.12 Cas du Propyzamide

### 3.12.1 Cartes de vulnérabilité spécifique pour le propyzamide

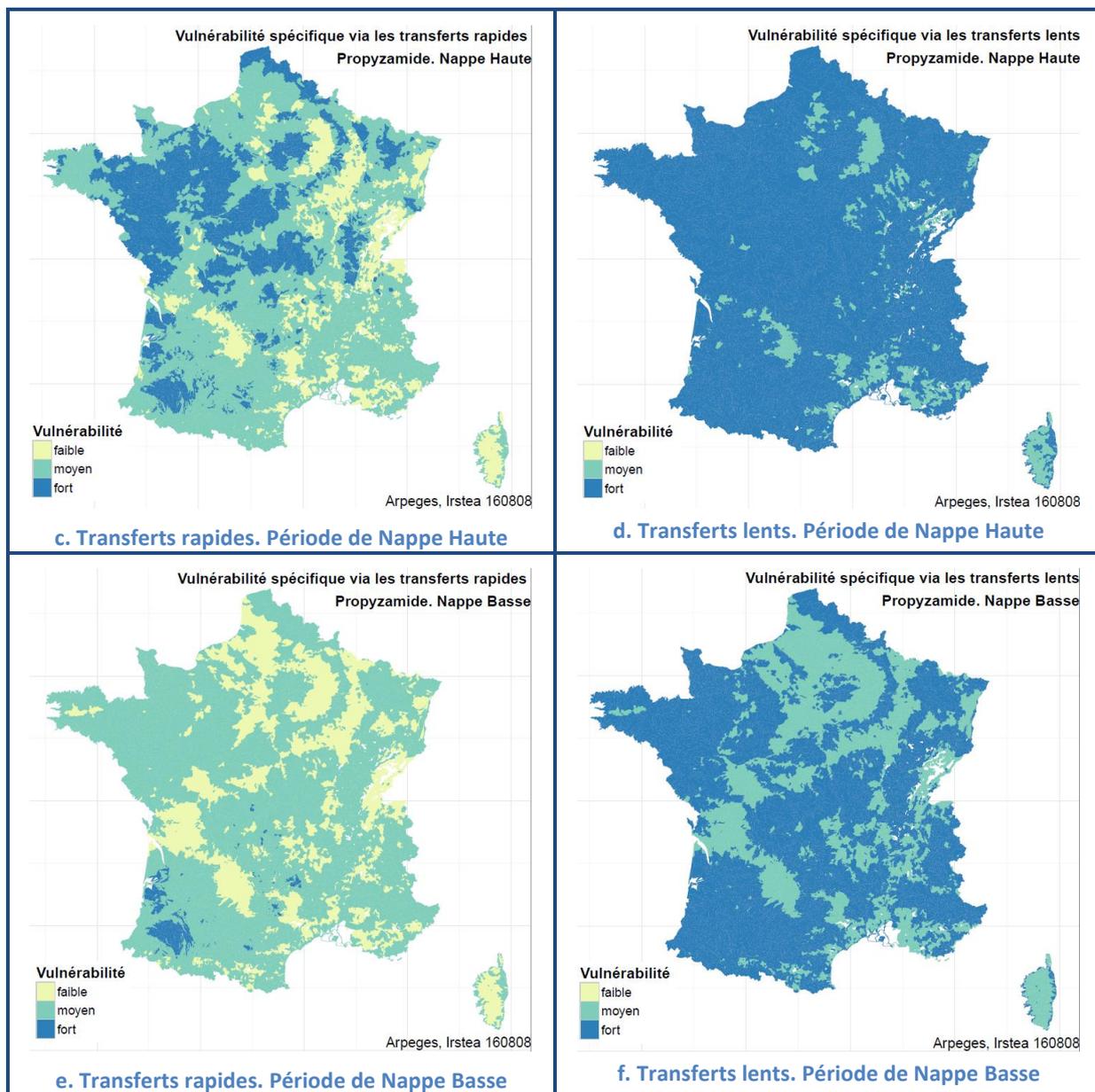


Figure 95 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le propyzamide.

### 3.12.2 Cartes de pression d'usage pour le propyzamide

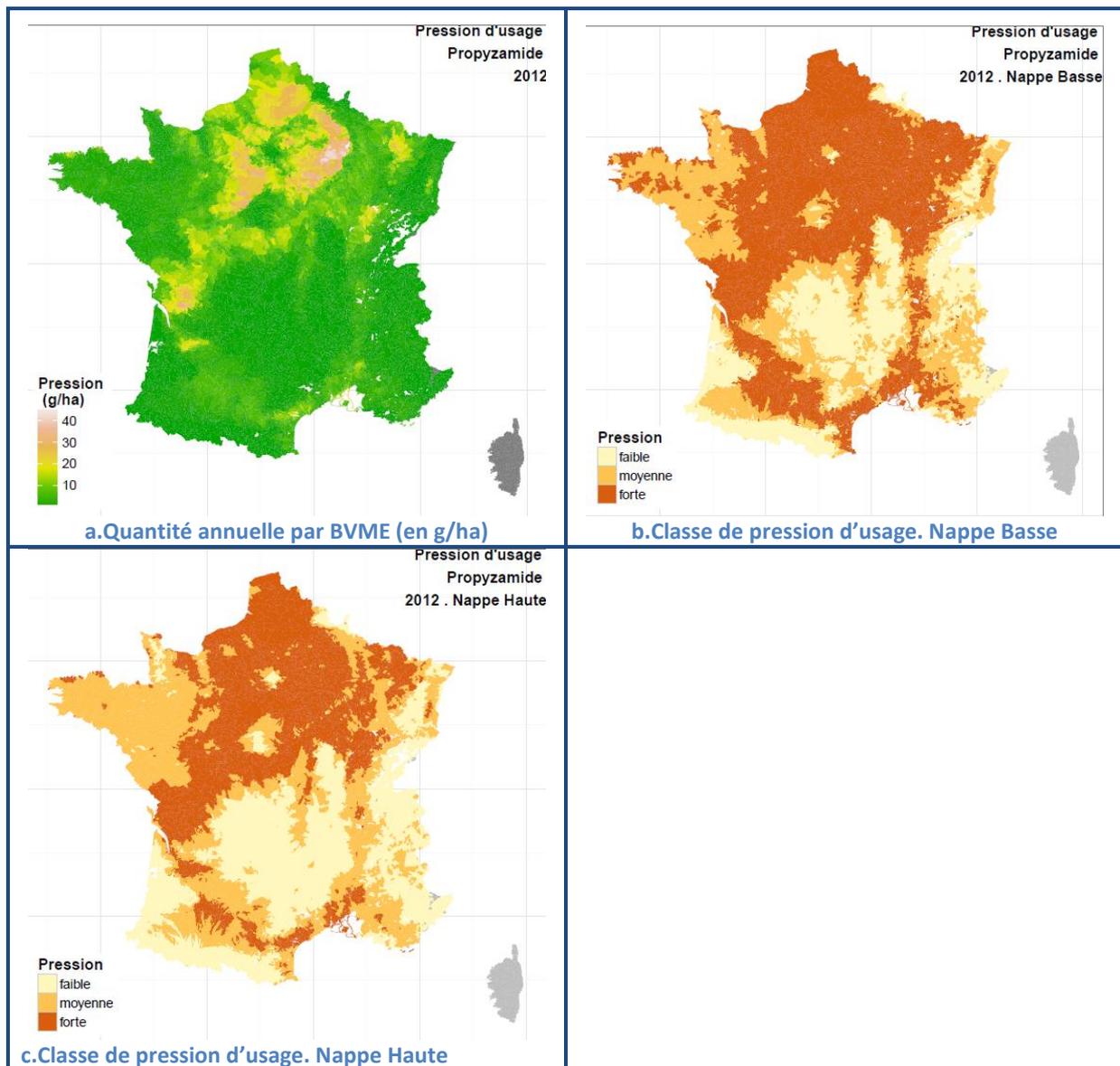


Figure 96 : Cartes de pression d'usage de Propyzamide en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. c) Classe de pression d'usage en période de Nappe Haute

### 3.12.3 Cartes de potentiel de contamination pour le propyzamide

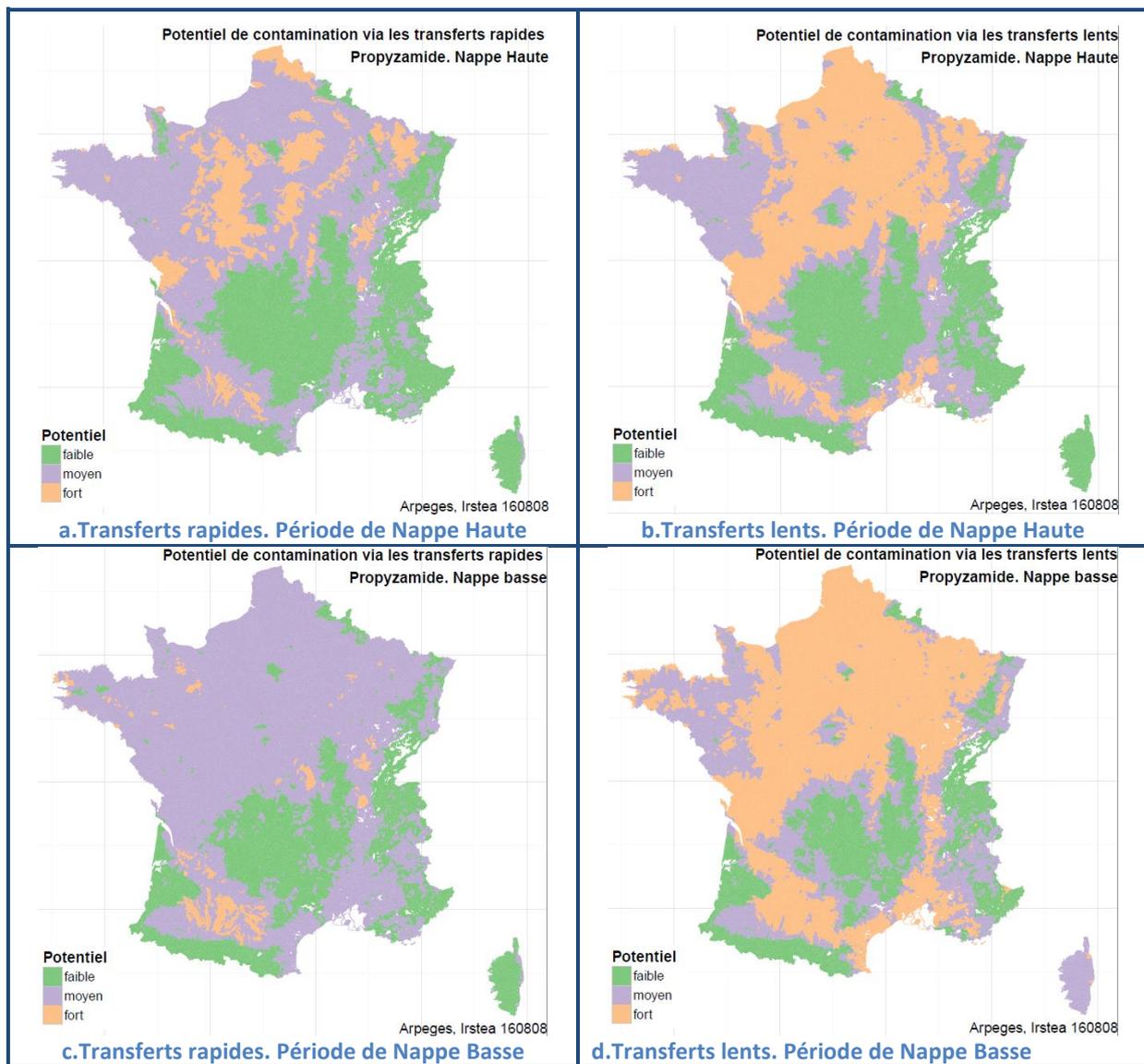


Figure 97 : Cartes de potentiel de contamination pour le propyzamide en période de Nappe Haute

### 3.12.4 Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le propyzamide

Pour le propyzamide, les périodes de contamination privilégiée se situent en nappe haute (Figure 54). La Figure 98 présente les résultats obtenus pour cette molécule. On observe une certaine cohérence d'ensemble avec toutefois quelques différences. Notamment la HER 61 (Sologne – forêt d'Orléans) apparaît encore dans une classe de concentrations observées élevée alors que le potentiel de contamination estimé par ARPEGES est faible à moyen. De même la HER 4 (Landes) montre un potentiel de contamination faible alors qu'elle se positionne dans la classe de concentrations observées moyennes. Pour ces deux HER, on peut éventuellement incriminer le faible nombre d'observations (5 quinzaines pour la HER 4 et 9,5 pour la HER 61) qui peut biaiser le calcul de la concentration moyenne. On peut aussi faire l'hypothèse d'une sous-estimation des transferts en sol sableux. En revanche, les HER 2 (Méditerranéen et sillon rhodanien) et 66 (TC – Haute Normandie Picardie) montrent des concentrations moyennes observées plus faibles que ce que laisserait présager leur potentiel de contamination estimé par ARPEGES. Il serait intéressant de croiser ces résultats avec les données météorologiques de 2012 et avec l'incertitude sur les assez nombreux usages de cette molécule, notamment sur arbres fruitiers, pour aller plus loin dans l'interprétation.

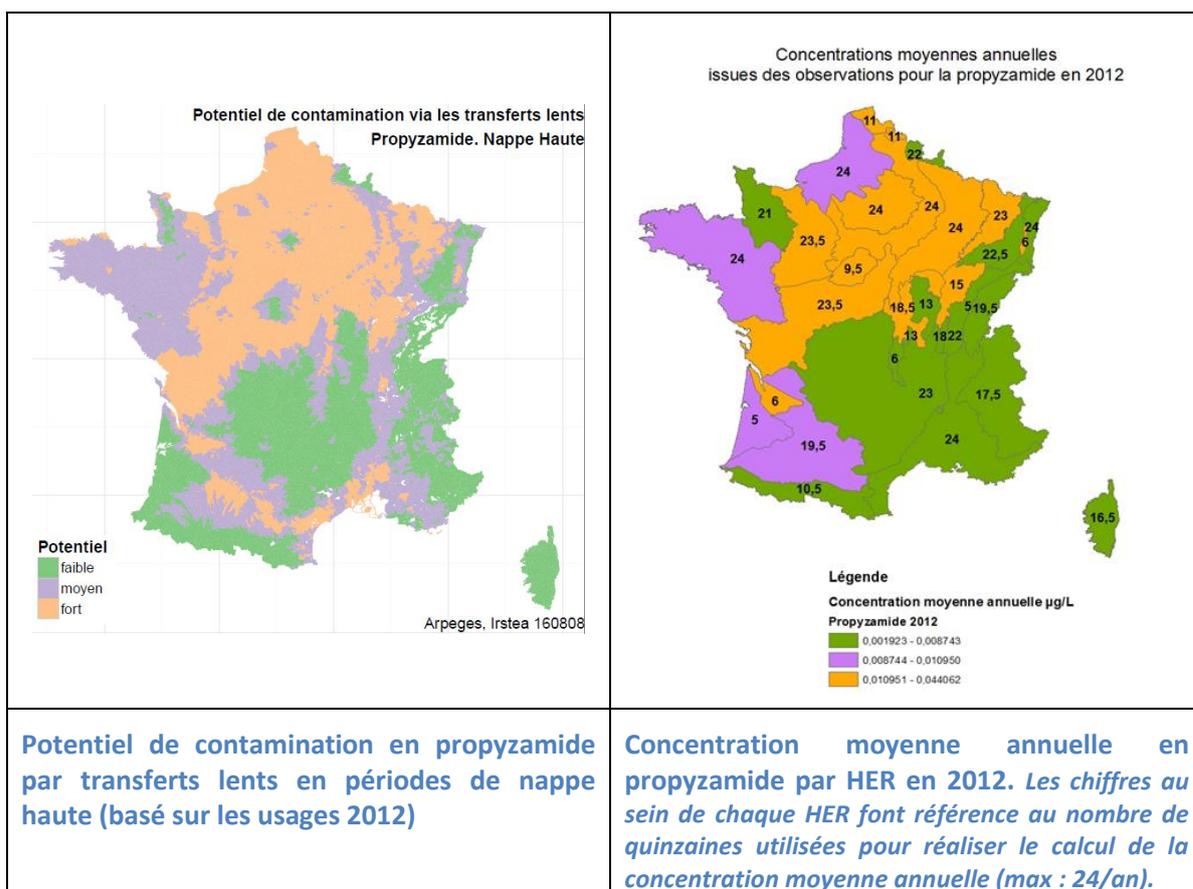


Figure 98 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le propyzamide.

Pour le propyzamide, il paraît également important de réfléchir aux évolutions de pratiques compte tenu de la tendance observée depuis 2007 vers une progression des applications et des contaminations. En effet cette molécule devient un pilier de la lutte contre les résistances des graminées aux herbicides en système céréales-colza à rotations courtes (de 2-4 ans).

Compte tenu des applications sur colza décalées en automne sur sols humides, les mesures de gestion mobilisables sont par exemple :

- Le recours aux pratiques culturales réduisant les stocks semenciers (faux semis, dates de semis décalées, binage,...),
- l'atténuation du ruissellement en parcelles,
- l'interception des écoulements contaminés de surface ou de drainage faisant suite aux applications et l'atténuation de la concentration de ces transferts automnaux de propyzamide (via des zones tampons adaptées, notamment),
- en secteurs légumiers (Flandres, ceinture légumière bretonne...), les mesures d'atténuation des transferts vers le réseau hydrographique seront bien sûr importantes.

## 3.13 Cas du S-métolachlore

### 3.13.1 Cartes de vulnérabilité spécifique pour le S-métolachlore

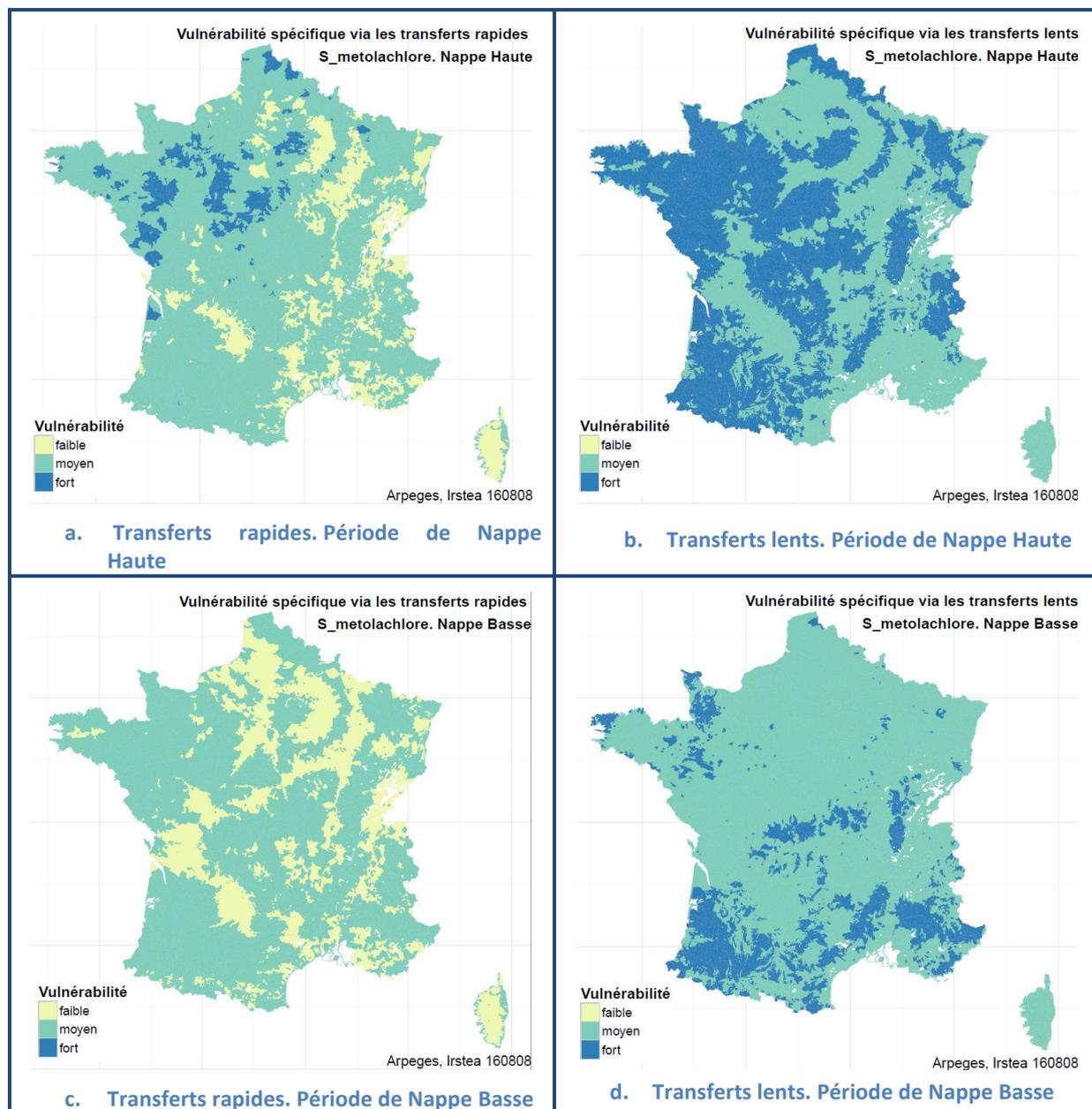


Figure 99 : Carte de vulnérabilités spécifiques pour le S-métolachlore.

### 3.13.2 Cartes de pression d'usage pour le S-métolachlore

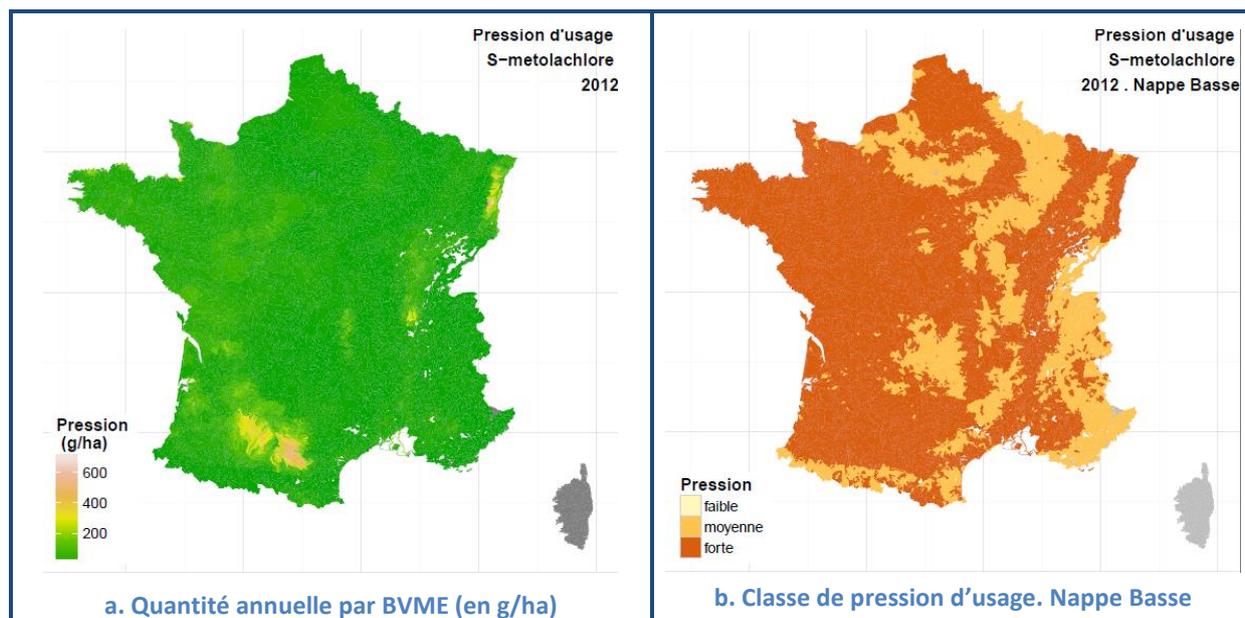


Figure 100 : Cartes de pression d'usage du S-métolachlore en 2012. a) Quantité annuelle par par BVME (en g/ha). b) Classe de pression d'usage en période de Nappe Basse. Pas d'usage en période de Nappe Haute

### 3.13.3 Cartes de potentiel de contamination pour le S-métolachlore

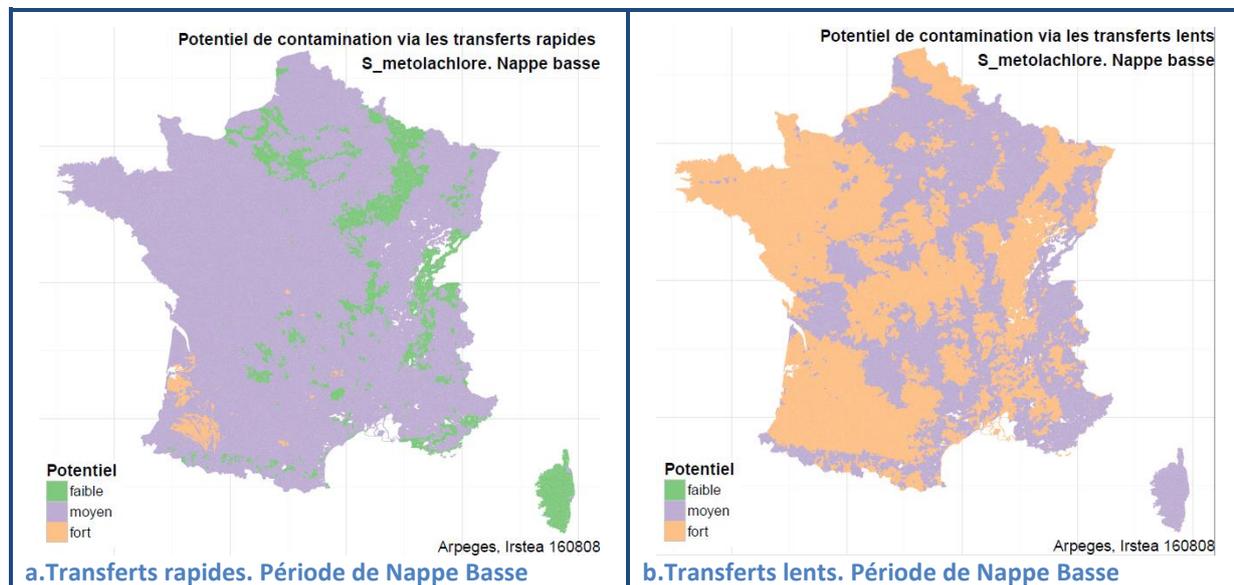


Figure 101 : Cartes de potentiel de contamination pour le S-métolachlore en période de Nappe Haute

### 3.13.4 Confrontation des cartes ARPEGES aux données de surveillance pour le S-métolachlore

Pour le S-métolachlore, les périodes de contamination privilégiée se situent en nappe basse (Figure 60). La Figure 102 présente les résultats obtenus pour cette molécule. On observe une certaine cohérence d'ensemble surtout pour les HER montrant les niveaux de contamination les plus élevés. En particulier, on retrouve bien toutes les zones à maïs grain, excepté l'Alsace où les écoulements de surface ont plus tendance à s'infiltrer vers les eaux souterraines, et ont donc, possiblement, une influence atténuée sur les cours d'eau. Cependant, certaines HER (dont les HER 22 (Plateau lorrain), HER 25 (Flandres et Douai-Condé), HER 31 (Cotentin et bocage normand) et HER 32 (Massif armoricain – Bretagne et Vendée) ou 64 (TC Nord Loire-Perche et pays de Caen)) présentent une contamination observée moindre que celle que leur potentiel de contamination estimé par ARPEGES laisserait supposer. La météorologie, la présence de zones bocagères dont l'effet a pu être sous-estimé dans ARPEGES et l'incertitude sur les usages mériteraient d'être prises en considération pour aller plus loin dans l'interprétation.

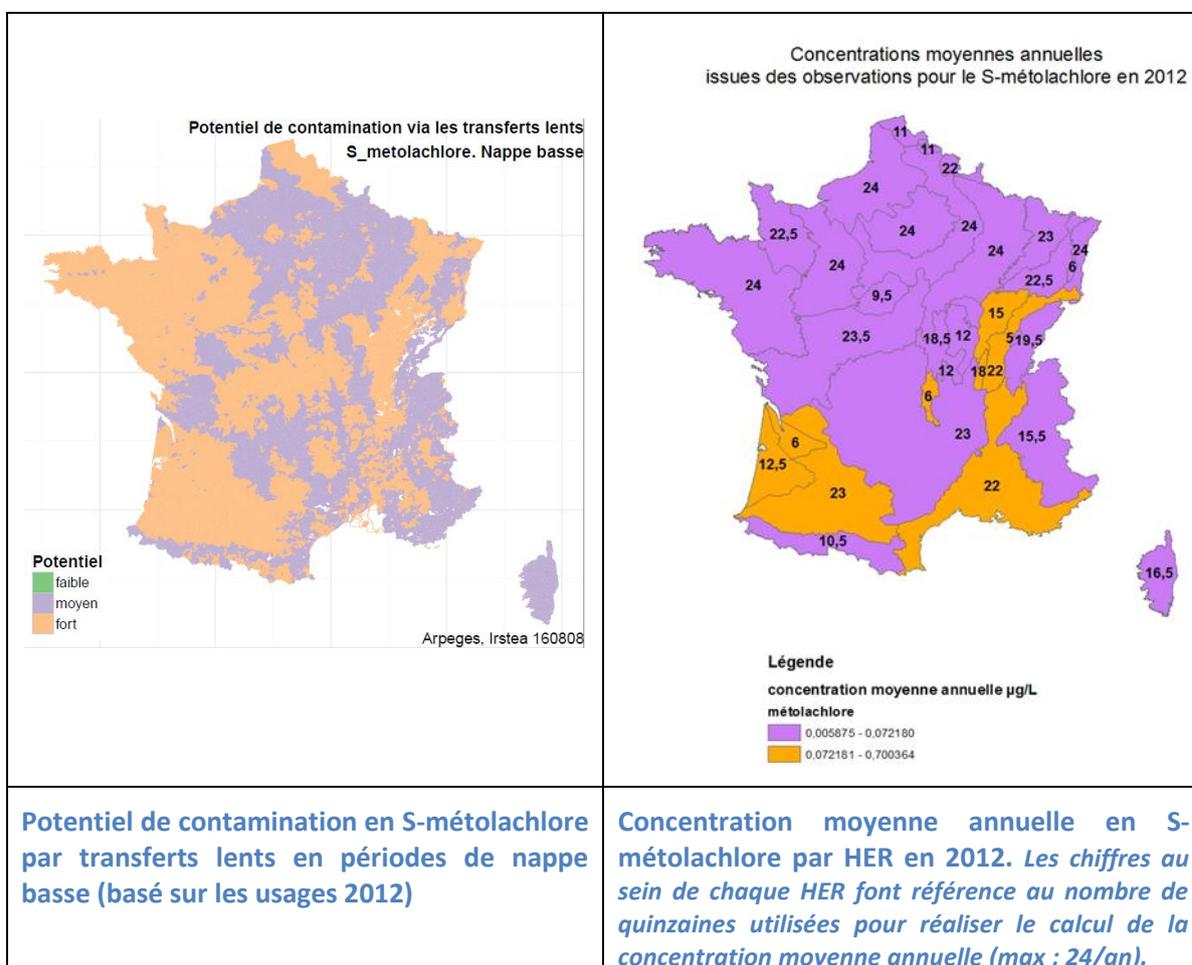


Figure 102 : Confrontation des résultats ARPEGES à la contamination moyenne annuelle estimée par HER modifiée pour le S-métolachlore.

Pour le S-métolachlore, il est nécessaire de suivre l'évolution de l'emploi de cette molécule compte tenu de l'interdiction de l'acétochlore. En année pluvieuse les contaminations printanières sont très nettes.

Pour cette molécule utilisable sur de nombreuses cultures de printemps et qui suit plusieurs voies de contaminations hydriques, les mesures de gestion mobilisables seront plutôt classiques, par exemple :

- en premier lieu la réduction de dose au sein d'un programme
- l'atténuation du ruissellement en parcelles
- l'interception des premiers écoulements fortement contaminés de surface ou de drainage : cela implique la présence de dispositifs tampons pérennes capables d'intercepter les écoulements lors des printemps humides.

## 4 CONCLUSION – PERSPECTIVES

La première partie de cette étude est basée sur l'application d'une méthode relativement originale d'interprétation des données de surveillance Eaux de Surface. Celles-ci utilisent le regroupement des données par HER et quinzaines de jours, et permet la détermination d'une « courbe enveloppe » de la contamination, à partir du calcul du 90<sup>ème</sup> centile des données observées. Cette courbe permet de qualifier à **l'échelle des HER des tendances temporelles interannuelles** et des grands types **de dynamique de contamination intra-annuelle** pour une molécule donnée. L'analyse des résultats obtenus montre en effet que cette méthode s'avère pertinente pour rendre compte de la dynamique annuelle de contamination, souvent similaire d'une année à l'autre pour une HER donnée. Pour une substance donnée, elle montre aussi **des différenciations spatiales de la contamination entre HER**, par la représentation d'une concentration moyenne annuelle. On rappelle que cette dernière est calculée à partir des concentrations observées sous la courbe enveloppe relative 90ème centile de chaque HER : elle ne correspond donc pas à une mesure mais constitue un indicateur de contamination moyenne par HER. Cet indicateur peut être interprété en regard des seuils de potabilité et des seuils PNEC des substances étudiées. Le calcul des aires sous la courbe, pour ces courbes enveloppes, permet d'objectiver le niveau de contamination moyen sur une année, pour une substance et une HER donnée. De plus, la moyenne ainsi obtenue est associée à la fraction de l'année sur laquelle le calcul de l'aire a été possible, en fonction du nombre de données disponibles, par quinzaine, sur chaque HER : ce nombre permet de juger du degré de confiance à accorder au résultat en termes de représentativité.

Enfin, cette analyse permet également de mettre en évidence une **variabilité interannuelle**, qui semble en première approche liée au climat et à la modification des usages pour certaines molécules. Pour aller plus loin, il serait utile de rendre compte de l'influence de la pluviométrie ce qui supposerait, par exemple, de calculer des pluies cumulées annuelles à l'échelle des HER. Les données SAFRAN pourraient être utilisées en ce sens mais une telle analyse sortait du cadre de la présente étude.

Globalement, cette méthode permet donc de mieux caractériser le niveau de contamination liée à une molécule, à la fois aux niveaux spatial et temporel que ne le font les méthodes d'interprétation habituelles. Les résultats obtenus doivent, cependant, être considérés avec une certaine prudence : ils ne représentent pas une chronique de contamination mesurée en une station donnée mais une courbe théorique de contamination « intégrée » à l'échelle de la HER modifiée. Ils peuvent toutefois permettre d'éclairer les décisions quant au niveau de présence et à l'évolution annuelle et interannuelle des différentes molécules étudiées, à cette échelle. Ils pourraient également permettre de mieux préciser les périodes où renforcer le suivi de la contamination des eaux de surface, selon les molécules considérées.

Outre la confrontation des résultats obtenus aux données de pluies annuelles, cette méthode pourrait être améliorée sur deux points : i) la maille d'analyse peut sans doute être réduite pour certaines molécules et certaines HER. Il faut toutefois veiller à ce que le nombre de données par maille soit suffisant. Le coefficient pondérant les aires sous la courbe évoqué plus haut doit pouvoir servir d'indicateur en ce sens ; ii) une solution reste à trouver pour le traitement des cours d'eau exogènes (qui traversent plusieurs HER).

La deuxième partie de l'étude a porté sur l'application de la méthode ARPEGES aux molécules d'intérêt. La méthode était habituellement appliquée pour un mélange de substances actives, et son application à une substance unique a demandé quelques adaptations. Elle a en retour permis d'envisager la confrontation des résultats d'ARPEGES appliqué à une molécule aux données de contamination observées. La méthode ARPEGES permet de disposer **de cartes de vulnérabilité intrinsèque** (liées uniquement au milieu et au climat) pour les principaux types d'écoulements alimentant directement les eaux de surface –ruissellement, drainage par tuyaux enterrés, écoulements latéraux de subsurface-, **de cartes de vulnérabilité spécifique** (qui tiennent à la fois compte des caractéristiques propres du milieu et des propriétés de mobilité et de dissipation des substances) et **de cartes de potentiels de transfert**.

La plus grande limite de l'approche réside actuellement dans l'accessibilité à des données de pression plus précises et mieux réparties spatialement à l'échelle des masses d'eau. L'évolution prévue de la résolution de la Banque Nationale de Vente des Distributeurs ou, plus localement, l'utilisation de dire d'experts pour mieux décrire les pratiques phytosanitaires (enquêtes, expertise des chambres d'agriculture ou des distributeurs) devraient permettre de progresser sur ce point. Il a également été délicat de rendre compte des situations où on a des applications en période de nappe basse et des transferts prépondérants au cours de la saison de nappe haute suivante. De façon générale cela pose la question de l'amélioration des tableaux de répartition des pressions phytosanitaires entre les saisons de nappe basse et nappe haute : ces tableaux ont été définis à dire d'experts, avec une vision statistique de la période des applications. Toutefois les applications réalisées juste avant ou après la transition période de Nappe Basse/période de Nappe Haute ont plus de chance de conduire à des transferts significatifs en période de nappe haute, comme le montrent les cartes de vulnérabilité spécifiques Nappe Haute. Ce risque est réalisé ou non en fonction de la chronique météorologique de l'année considérée. Ce point complique la validation des résultats relatifs au potentiel de contamination Nappe Basse pour les substances appliquées à proximité de cette transition et a souvent conduit à considérer également les transferts observés en période de nappe haute pour valider la méthode Arpeges pour les substances appliquées en limite des deux périodes. Le recours à un modèle de simulation, capable de rendre compte de la dynamique des processus semble toutefois nécessaire pour dépasser cette limite. De même, on ne voit pas pour l'instant comment intégrer la question du **devenir des métabolites** des substances étudiées dans Arpeges, l'intégration d'une composante dynamique paraissant nécessaire.

**La confrontation des résultats d'ARPEGES avec les données observées** retraitées en concentrations moyennes annuelles par HER montre la sensibilité de la méthode et une bonne cohérence globale pour les substances étudiées, ce qui met en avant la pertinence d'avoir recours à cette méthode pour évaluer le potentiel de transfert des substances au niveau national. L'étape de confrontation des résultats d'Arpeges avec les données d'observation regroupées au niveau des HER modifiées a permis de définir les valeurs de concentration en lien avec les limites de classes de potentiel de transfert définies dans le réseau bayésien. Une difficulté pour pousser plus loin cette analyse réside dans le fait que dans l'application d'Arpeges qui a été faite ici, les données de pression d'usages relatives à chaque substance ont été réparties en 3 classes équiprobables, quel que soit le tonnage réellement appliqué pour cette substance : la définition de classes de pression d'usages absolues (au moins par famille de molécules), et non relatives à chaque molécule permettraient sans doute de dépasser cette limite. Par ailleurs, pour les substances appliquées en période de nappe haute, une interprétation des données observées sur l'année/saison hydrologique pertinente plutôt que sur l'année civile.

La possibilité d'accéder aux cartes intermédiaires de vulnérabilité, aux cartes des niveaux de confiance associés aux résultats ainsi qu'aux cartes de probabilités de potentiel de contamination fort, renforce les possibilités d'interprétation des résultats. Outre son intérêt pour mieux cerner les **zones à plus fort potentiel de contamination**, selon les substances étudiées, la connaissance des vulnérabilités intrinsèques et spécifiques sous-jacentes permet d'émettre des **consignes générales à l'échelle des masses d'eau pour l'atténuation de la contamination**. On souligne toutefois qu'indépendamment de la limitation actuelle liée à la faible précision spatiale des données d'usage phytosanitaires, la méthode Arpeges est par essence construite à l'échelle du bassin versant de masse d'eau : ce n'est qu'à cette échelle qu'elle peut donner des indications pertinentes sur le potentiel de contamination lié à une molécule ou une famille de molécules et permettre de repérer les régions et secteurs où une attention particulière doit être portée vis-à-vis de molécules très employées ou avec une utilisation croissante (chloroacétamides : s-métolachlore et métazachlore, chlortoluron, propyzamide) : renforcement de la surveillance, adaptation des mesures de gestion, informations et communication vis-à-vis des acteurs de l'eau et du monde agricole. Pour cibler au mieux les lieux et types d'action à privilégier, et définir des plans d'action pertinents, il sera nécessaire de compléter cette approche globale par des diagnostics locaux.

Les résultats de ce travail, et notamment la dernière étape portant sur les potentiels de contamination, seront très utiles pour aborder la gestion du risque et être en capacité de construire des plans d'actions pertinents pour la protection ou la reconquête de la qualité des masses d'eau.

## 5 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Champeaux, J.-L. and A. Tamburini (1996). "Zonage climatique de la France à partir des séries de précipitations (1971-1990) du réseau climatologique d'état." La météorologie. 8ème série **14**(Juin 1996): 45-54.

Gauroy, C. (2009). Surveillance des produits phytosanitaires dans les eaux de surface : Interprétation des données. Rapport scientifique Cemagref, 88 p.

Gauroy, C. and N. Carluet (2011). "Interpretation of data about pesticides residues in surface water in France by grouping data within homogeneous spatial units." *KMAE* 04(400).

Gauroy, C., V. Gouy, et al. (2012)-a. "Interprétation des données de surveillance de la contamination des eaux de surface par les pesticides par hydro-écorégion." *Sciences Eaux et Territoires (Hors-série 8)*: 11.

Gauroy, C., T. Tormos, et al. (2012)-b. ARPEGES : Analyse de Risque Pesticides pour la Gestion des Eaux de Surface. Evaluation du risque de contamination par les produits phytosanitaires des masses d'eau de surface. Rapport Irstea-Onema, 103 p.

Van Genuchten, M. T., F. J. Leij and S. R. Yates (1991). The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, Version 1.0, EPA Report 600/2-91/065, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.

Vernier, F., F. Zahm, F. Saudubray, K. Petit and G. Bousquet (2009). "Une méthode de spatialisation des activités agricoles au service des politiques agri-environnementales (RA-SPACE); Application au calcul d'un indicateur pesticide spatialisé sur le bassin Adour-Garonne dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau." Ingénieries-EAT: 39-54.

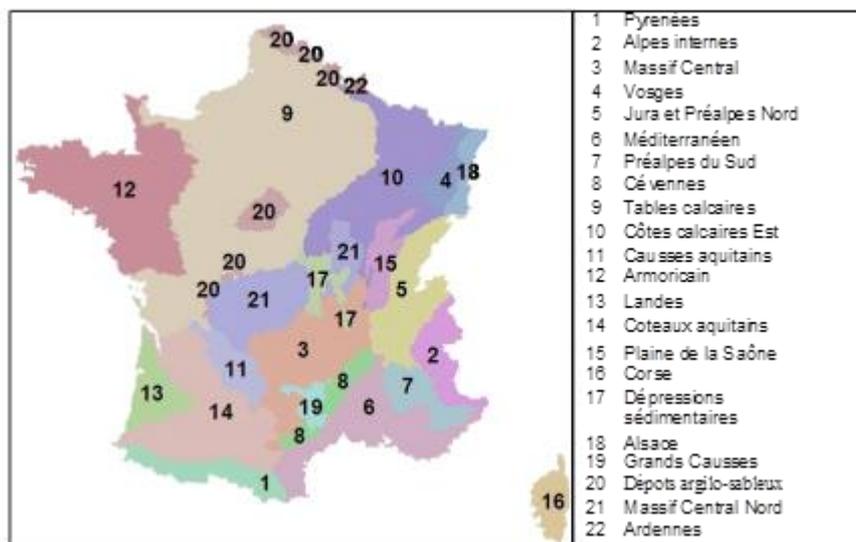
Vidal, J.-P., Martin, E., Franchistéguy, L., Baillon, M. and Soubeyroux, J.-M. (2010), A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *International Journal of Climatology*,30 : 1627–1644. doi : 10.1002/joc.2003

Wasson, J. G., A. Chandesris, H. Pella and L. Blanc (2002). *Les hydro-écorégions de France métropolitaine, approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés* Cemagref. Juin 2002.

## Annexe 1: Différents types de réseaux de suivi et stratégies d'échantillonnage associées en cours d'eau

|                                      | Réseau de contrôle de surveillance  |  | Réseau opérationnel  |   | Etude diagnostic « pesticides »   |
|--------------------------------------|---|--|--|---|---|
| Finalité                             | qualifie un « état »  |  | qualifie un état vis-à-vis d'un problème   |   | explique et mesure un problème lié aux pesticides   |
| Caractéristiques générales           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- doit couvrir tous les types de cours d'eau</li> <li>- suivi de tous les paramètres DCE (physico-chimie, végétaux, invertébrés, poissons, macrophytes, toxiques)</li> <li>- protocole de suivi homogène sur tous les sites</li> <li>- même système d'interprétation</li> <li>- pérennité</li> <li>- information synthétique : un état de qualité (très bon, bon, moyen, mauvais, très mauvais)</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- inclut les masses d'eau ne répondant pas aux objectifs</li> <li>- suivi des paramètres reflétant le problème : suivi ciblé</li> <li>- protocole de suivi adapté aux problématiques locales</li> <li>- doit permettre de se prononcer sur évolution de l'état vis-à-vis du problème</li> <li>- durée = jusqu'à ce que l'objectif soit atteint</li> <li>- information synthétique : un état de qualité</li> </ul> |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- couvre les cours d'eau concernés par le problème,</li> <li>- suivi des paramètres reflétant le problème : suivi ciblé sur une gamme de substances pesticides</li> <li>- protocole de suivi adapté aux problématiques locales</li> <li>- doit permettre de diagnostiquer les causes et solutions adaptées, voire estimer l'efficacité de changement de pratiques phytosanitaires</li> <li>- durée = jusqu'à ce que l'objectif soit atteint</li> </ul> |
| Type de substances chimiques suivies | Liste des substances prioritaires   | Liste des substances pertinentes pour l'état écologique  | Liste des substances prioritaires  | Liste des substances pertinentes pour l'état écologique   | Liste complète de pesticides ou liste ciblée en fonction des enjeux locaux  |
| Fréquence de suivi                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Points de suivi : 25% des points du RCS</li> <li>- Périodicité de suivi : 2 fois / plan de gestion (= 1 fois tous les 3 ans, dès 2008)</li> <li>- Fréquence de suivi minimum réglementaire : 12 fois / an</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Points de suivi : 25% des points du RCS</li> <li>- Périodicité de suivi : 2 fois / plan de gestion (= 1 fois tous les 3 ans, dès 2008)</li> <li>- Fréquence de suivi minimum réglementaire : 4 fois / an</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Points de suivi : un groupe de points représentatif d'un groupe de masses d'eau (typologie naturelle x typologie de pression)</li> <li>- Périodicité de suivi : tous les ans</li> <li>- Fréquence de suivi : minimum réglementaire : 4 fois / an)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Points de suivi : un groupe de points représentatif d'un groupe de masses d'eau (typologie naturelle x typologie de pression)</li> <li>- Périodicité de suivi : tous les ans</li> <li>- Fréquence de suivi : minimum réglementaire : 4 fois / an)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Points de suivi : un groupe de points représentatif du problème (croisement milieu, occupation des sols, pression pesticides,</li> <li>- Périodicité de suivi : en général, a minima en début et fin d'étude</li> <li>- Fréquence de suivi selon les sites : de 4 à 12/an,</li> <li>- les échantillons sont, soit réalisés en aveugle, soit ciblés sur les périodes d'application et de transfert</li> </ul>   |

## Annexe 2: Carte des HER de niveau 1



## Annexe 3: Etude à l'échelle régionale

Une étude a été menée en Rhône-Alpes afin de se baser sur des informations plus précises que celles disponibles au niveau national et comparer celle-ci avec la pression phytosanitaire exercée sur le territoire. Cependant, seules les quantités vendues par distributeurs étaient disponibles et non les dates d'application : l'interprétation n'a donc pas été possible, même si la démarche est pertinente. Par ailleurs, un test pour comparer deux stations a été effectué mais comme les molécules recherchées sont différentes, aucune interprétation n'a été possible. Ce constat met en avant le besoin d'acquérir des données plus complètes sur les pratiques et plus cohérentes au niveau du suivi aux échelles d'intérêt, pour aller plus loin.

## Annexe 4: Prétraitement des données

La première étape est constituée de la :

- Suppression des analyses concernant les eaux souterraines
- Suppression des analyses qui ne sont pas sur les pesticides dissous dans l'eau
- Suppression des analyses hors métropole (grâce aux codes intervenants notamment)
- Homogénéisation des codes intervenants pour les agences de l'eau, entre la période avant et après 2006.
- Calcul de la valeur définitive prise par les concentrations en pesticides car lorsqu'il y a détection et pas de quantification possible la valeur prise est celle du seuil de quantification. Il est recommandé dans le cadre de la DCE de prendre, 0 lorsqu'il n'y a pas de détection, la moitié de la valeur du seuil de quantification lorsqu'il y a détection mais pas de quantification, et la valeur quantifiée lorsqu'elle est directement donnée. C'est ce qui a été réalisé dans la base de données préparée pour l'étude.

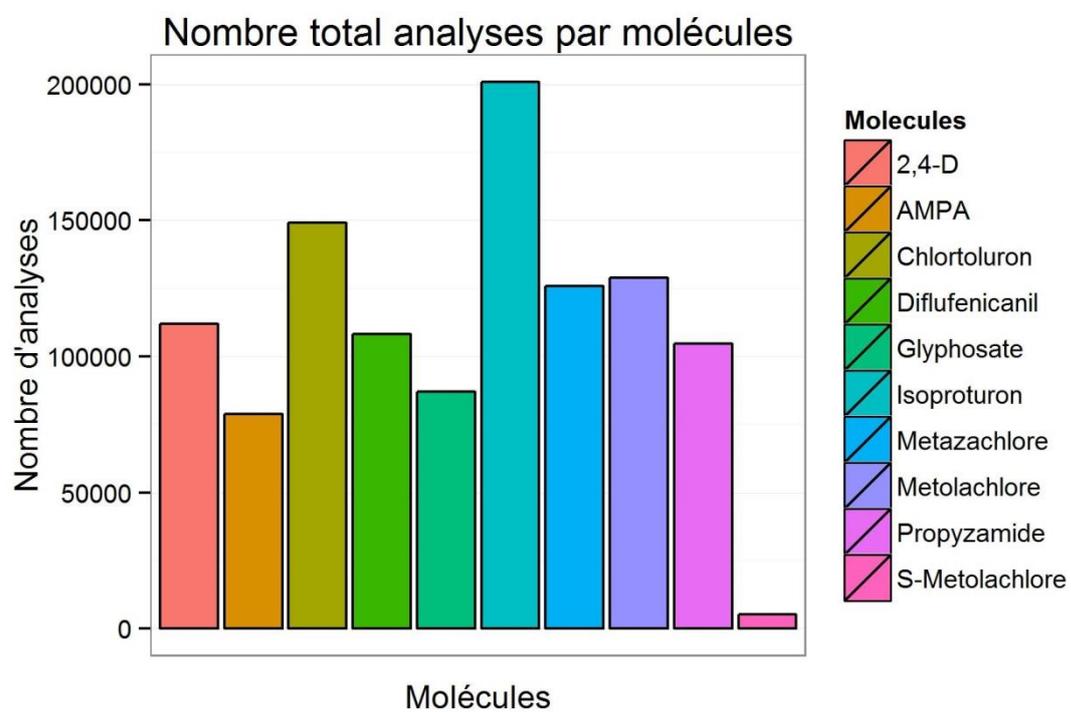
- Pour les coordonnées des points de mesures, la projection en Lambert 93 est utilisée dans le référentiel transmis par le SoeS, elle sera donc utilisée dans tout le traitement géographique.

Le problème majeur et le plus long à traiter a été la multiplicité des jeux de coordonnées pour un même identifiant national. Les coordonnées X, Y peuvent varier d'une année sur l'autre pour un même point (identifié par son code) : soit parce que le point a été déplacé (difficulté d'accès par exemple), soit parce que les coordonnées ont été réévaluées avec plus de précision...

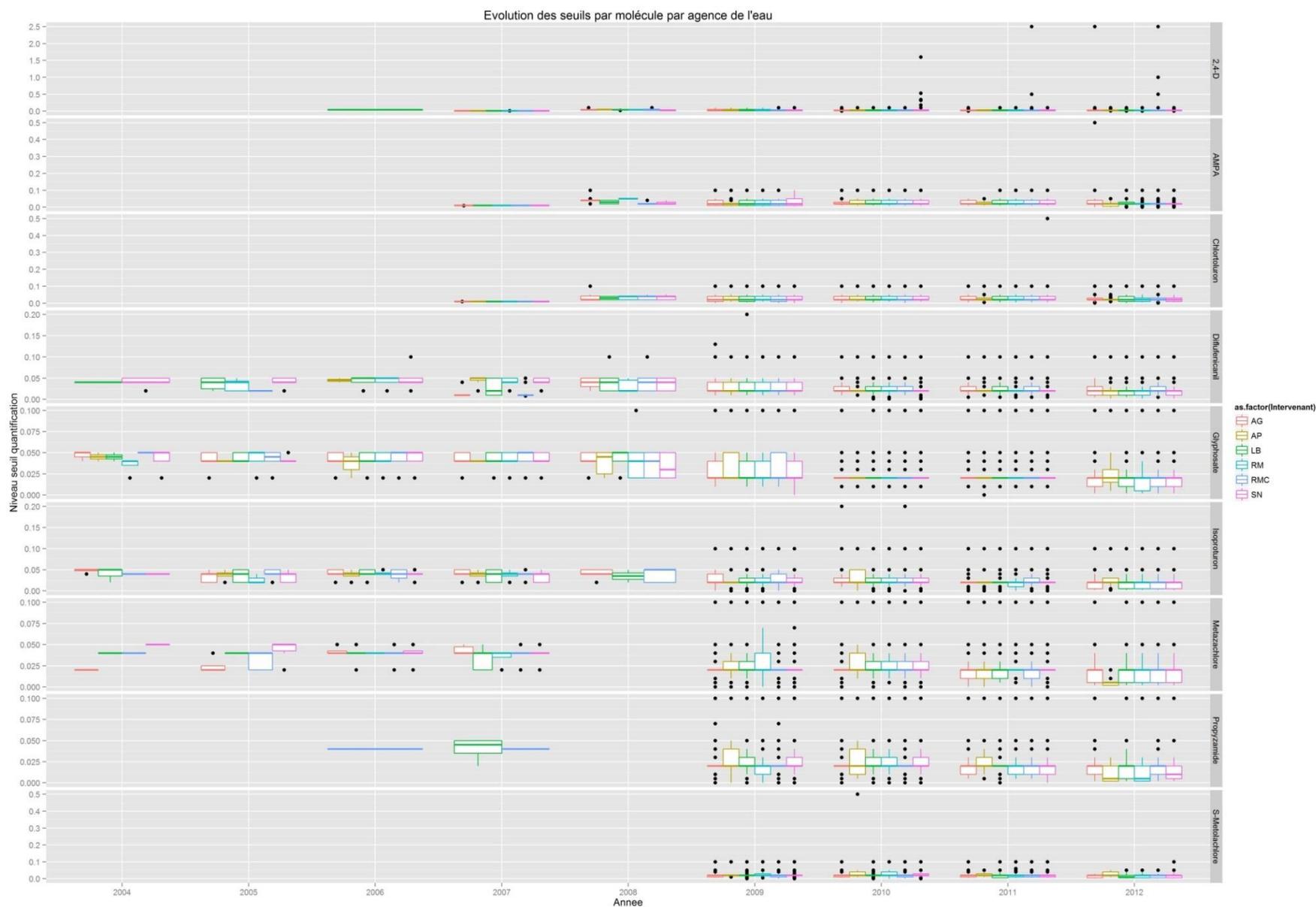
Il a été choisi de le résoudre de la manière suivante :

- s'il y a une correspondance entre le codant de la base de donnée et le référentiel du SOeS, les coordonnées du référentiel sont choisies, le SOeS considère dans son référentiel la dernière livraison de coordonnées pour consolider sa base, en utilisant le code national de la station comme identifiant.
- sinon le référentiel du SANDRE a été utilisé,
- pour le reste des stations 2 catégories ont été définies :
- lorsque les jeux de coordonnées étaient près (moins de 300m), un seul jeu de coordonnées a été gardé (celui avec le x minimal),
- lorsque les jeux de coordonnées étaient éloignés (jusqu'à plus de 100km entre 2 points ayant un même identifiant national) on ne peut pas considérer que c'est la même station car il y a potentiellement des intersections de cours d'eau et autres phénomènes pouvant influencer la contamination entre ces 2 points, des nouveaux identifiants ont été attribués et les différents jeux de coordonnées ont été gardés,
- pour les stations sans coordonnées, le centroïde de la commune a été utilisé.

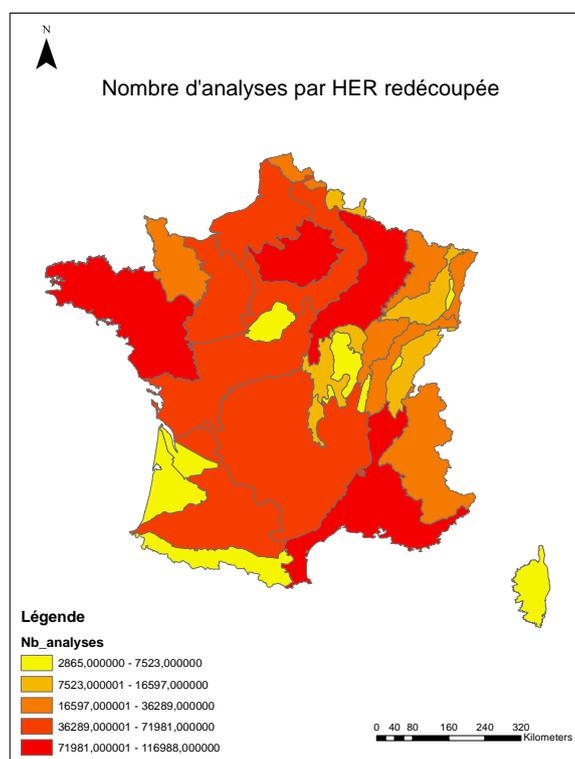
## Annexe 5 : Nombre d'analyses par molécule



## Annexe 6: Variabilité des seuils de quantification



## Annexe 7: Carte du nombre d'analyses totales (sur la période 1997-2012) par HER modifiée



## Annexe 8 : Tableaux récapitulatifs des concentrations moyennes et nombres de quinzaines associées pour chaque substance et chaque HER modifiée de 2008 à 2012

| Isoproturon    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71     | 81    |
| Cmoy 2008 µg/L | 0,002 | 0,003 | 0,000 | 0,002 | 0,040 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,024 | 0,000 | 0,006 | 0,076 | 0,082 | 0,086 | 0,066 | 0,035 | 0,007 | 0,003 | 0,045 | 0,142 | 0,002 | 0,003 | 0,006 | 0,033 | 0,078 | 0,103 | 0,045 | 0,047 | 0,0202 | 0,000 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 10    | 16    | 23    | 17    | 22,5  | 15    | 24    | 15    | 13    | 21,5  | 23    | 5     | 15,5  | 8     | 21,5  | 13    | 20    | 23    | 24    | 18    | 4     | 7     | 16,5  | 11,5  | 23    | 20,5  | 20    | 13,5   | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,020 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,091 | 0,020 | 0,022 | 0,010 | 0,011 | 0,019 | 0,020 | 0,021 | 0,039 | 0,066 | 0,038 | 0,023 | 0,056 | 0,040 | 0,013 | 0,044 | 0,077 | 0,020 | 0,009 | 0,033 | 0,030 | 0,062 | 0,075 | 0,046 | 0,045 | 0,026  | 0,020 |
| NbreQ 2009     | 24    | 14    | 12,5  | 17,5  | 24    | 18,5  | 23    | 18,5  | 24    | 24    | 12    | 21,5  | 24    | 23    | 24    | 18,5  | 9     | 24    | 15,5  | 24    | 24    | 22,5  | 12    | 13    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21     | 5     |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,017 | 0,017 | 0,010 | 0,010 | 0,058 | 0,016 | 0,010 | 0,017 | 0,011 | 0,015 | 0,010 | 0,011 | 0,057 | 0,078 | 0,064 | 0,014 | 0,129 | 0,026 | 0,010 | 0,023 | 0,038 | 0,013 | 0,023 | 0,055 | 0,040 | 0,041 | 0,081 | 0,051 | 0,027 | 0,031  | 0,010 |
| NbreQ 2010     | 24    | 12    | 6     | 13,5  | 23    | 18,5  | 16,5  | 15    | 24    | 21,5  | 23    | 21    | 15,5  | 21,5  | 24    | 19,5  | 15,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 22    | 6     | 7     | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 22     | 11    |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,016 | 0,013 | 0,007 | 0,014 | 0,108 | 0,023 | 0,011 | 0,010 | 0,018 | 0,017 | 0,010 | 0,013 | 0,036 | 0,134 | 0,049 | 0,042 | 0,190 | 0,029 | 0,134 | 0,037 | 0,076 | 0,027 | 0,009 | 0,072 | 0,080 | 0,042 | 0,094 | 0,074 | 0,048 | 0,028  | 0,010 |
| NbreQ 2011     | 24    | 19    | 13    | 24    | 23    | 16,5  | 23    | 12    | 21,5  | 24    | 24    | 21    | 19    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 24    | 24    | 22,5  | 9     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21,5   | 5     |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,014 | 0,011 | 0,005 | 0,011 | 0,067 | 0,011 | 0,011 | 0,007 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,019 | 0,088 | 0,042 | 0,012 | 0,081 | 0,018 | 0,011 | 0,018 | 0,045 | 0,014 | 0,011 | 0,013 | 0,025 | 0,041 | 0,039 | 0,025 | 0,019 | 0,020  | 0,010 |
| NbreQ 2012     | 24    | 17,5  | 6     | 13    | 22    | 18    | 17,5  | 13,5  | 23    | 22,5  | 16,5  | 19,5  | 15    | 23    | 24    | 19    | 20,5  | 24    | 6     | 22,5  | 24    | 22    | 13    | 9,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 18,5   | 5     |

| 2,4 D          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71    | 81    |
| Cmoy 2008 µg/L | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,038 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,054 | 0,010 | 0,010 | 0,142 | 0,045 | 0,000 | 0,028 | 0,015 | 0,014 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,014 | 0,010 | 0,014 | 0,021 | 0,002 | 0,000 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 10    | 12    | 20    | 14    | 17,5  | 13    | 23    | 10    | 6     | 18    | 20    | 5     | 15,5  | 7     | 8     | 13    | 13    | 23    | 24    | 12    | 4     | 7     | 16,5  | 11,5  | 22    | 16,5  | 15,5  | 13,5  | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,013 | 0,033 | 0,010 | 0,015 | 0,062 | 0,021 | 0,012 | 0,017 | 0,021 | 0,011 | 0,010 | 0,018 | 0,059 | 0,014 | 0,013 | 0,048 | 0,048 | 0,010 | 0,005 | 0,027 | 0,028 | 0,060 | 0,056 | 0,010 | 0,011 | 0,019 | 0,016 | 0,018 | 0,022 | 0,017 | 0,010 |
| NbreQ 2009     | 24    | 11    | 4     | 14,5  | 22,5  | 16    | 23    | 15,5  | 22,5  | 24    | 10    | 21,5  | 22,5  | 22    | 24    | 17,5  | 9     | 24    | 5     | 24    | 24    | 22,5  | 7     | 3     | 24    | 24    | 24    | 24    | 16    | 5     |       |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,011 | 0,018 | 0,033 | 0,016 | 0,096 | 0,012 | 0,010 | 0,012 | 0,015 | 0,021 | 0,010 | 0,012 | 0,024 | 0,021 | 0,011 | 0,020 | 0,049 | 0,008 | 0,004 | 0,011 | 0,012 | 0,016 | 0,005 | 0,010 | 0,010 | 0,018 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 0,010 |       |
| NbreQ 2010     | 24    | 12    | 6     | 11    | 23    | 18,5  | 16,5  | 15    | 24    | 21,5  | 23    | 21    | 15,5  | 21,5  | 24    | 19,5  | 11,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 22    | 6     | 7     | 24    | 24    | 24    | 24    | 16    | 11    |       |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,016 | 0,010 | 0,051 | 0,017 | 0,025 | 0,023 | 0,010 | 0,010 | 0,015 | 0,011 | 0,010 | 0,022 | 0,038 | 0,048 | 0,014 | 0,022 | 0,039 | 0,044 | 0,016 | 0,026 | 0,019 | 0,042 | 0,033 | 0,010 | 0,012 | 0,014 | 0,011 | 0,014 | 0,018 | 0,015 | 0,010 |
| NbreQ 2011     | 24    | 19    | 6     | 24    | 23    | 16,5  | 23    | 12    | 20    | 24    | 24    | 21    | 19    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 24    | 24    | 22,5  | 9     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 20    | 5     |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,012 | 0,010 | 0,031 | 0,008 | 0,054 | 0,012 | 0,010 | 0,007 | 0,019 | 0,010 | 0,010 | 0,013 | 0,028 | 0,021 | 0,015 | 0,017 | 0,044 | 0,074 | 0,085 | 0,015 | 0,020 | 0,048 | 0,019 | 0,013 | 0,013 | 0,029 | 0,018 | 0,016 | 0,016 | 0,014 | 0,010 |
| NbreQ 2012     | 24    | 17,5  | 6     | 13    | 22    | 18    | 17,5  | 13,5  | 23    | 22,5  | 16,5  | 19,5  | 12    | 23    | 24    | 19    | 11    | 24    | 6     | 22,5  | 24    | 23    | 13    | 9,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 18,5  | 5     |

| AMPA           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71    | 81    |
| Cmoy 2008 µg/L | 0,416 | 0,170 | 0,123 | 0,040 | 0,420 | 0,506 | 0,062 | 0,006 | 0,180 | 0,097 | 0,039 | 0,123 | 0,244 | 0,735 | 0,107 | 2,858 | 2,231 | 0,107 | 0,337 | 0,177 | 0,695 | 0,615 | 0,216 | 0,122 | 0,229 | 1,349 | 0,272 | 0,458 | 0,344 | 0,083 | 0,028 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 7     | 8     | 19    | 13    | 16,5  | 12    | 23    | 8     | 5     | 16    | 19    | 20,5  | 15,5  | 8     | 11    | 13    | 13    | 23    | 24    | 10    | 4     | 7     | 15,5  | 11,5  | 23    | 16,5  | 13,5  | 11,5  | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,284 | 0,133 | 0,123 | 0,095 | 0,448 | 0,335 | 0,211 | 0,054 | 0,232 | 0,265 | 0,118 | 0,156 | 0,661 | 1,046 | 0,388 | 0,664 | 2,164 | 0,379 | 3,118 | 0,199 | 1,124 | 0,267 | 0,508 | 0,122 | 0,275 | 1,116 | 0,409 | 0,504 | 0,581 | 0,040 | 0,050 |
| NbreQ 2009     | 24    | 9     | 7     | 7     | 22,5  | 14    | 14,5  | 15,5  | 22,5  | 24    | 6     | 15    | 22,5  | 21    | 24    | 17,5  | 9     | 24    | 5     | 24    | 24    | 22,5  | 5     | 7     | 24    | 24    | 24    | 24    | 6     | 5     |       |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,333 | 0,202 | 1,077 | 0,048 | 0,528 | 0,624 | 0,066 | 0,030 | 0,194 | 0,186 | 0,027 | 0,205 | 0,271 | 0,487 | 0,186 | 0,801 | 2,254 | 0,249 | 0,659 | 0,248 | 0,711 | 0,334 | 0,508 | 0,789 | 0,338 | 0,873 | 0,332 | 0,356 | 0,443 | 0,170 | 0,025 |
| NbreQ 2010     | 24    | 10    | 6     | 5     | 23    | 17,5  | 16,5  | 11    | 24    | 21,5  | 16,5  | 21    | 14,5  | 18,5  | 24    | 17,5  | 11,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 22    | 5     | 7     | 24    | 24    | 23    | 24    | 16,5  | 7     |       |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,467 | 0,110 | 1,034 | 0,097 | 0,456 | 0,897 | 0,125 | 0,048 | 0,383 | 0,584 | 0,037 | 0,153 | 0,623 | 1,539 | 0,566 | 3,234 | 5,167 | 0,522 | 0,539 | 0,330 | 0,823 | 0,779 | 0,655 | 1,013 | 0,397 | 0,842 | 0,446 | 0,373 | 0,572 | 0,238 | 0,036 |
| NbreQ 2011     | 24    | 12,5  | 11    | 14    | 23    | 16,5  | 21    | 11    | 20,5  | 24    | 17,5  | 19    | 19    | 23,5  | 24    | 20,5  | 13    | 24    | 17,5  | 22,5  | 24    | 19    | 7     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 5     |       |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,346 | 0,081 | 0,861 | 0,073 | 0,511 | 0,502 | 0,085 | 0,033 | 0,275 | 0,213 | 0,052 | 0,124 | 0,427 | 0,662 | 0,197 | 0,957 | 2,726 | 0,229 | 0,318 | 0,111 | 0,535 | 0,523 | 0,567 | 0,303 | 0,165 | 0,932 | 0,242 | 0,367 | 0,521 | 0,146 | 0,032 |
| NbreQ 2012     | 24    | 12,5  | 6     | 9     | 20,5  | 18    | 16,5  | 10,5  | 23    | 22,5  | 8     | 17    | 15    | 20    | 24    | 19    | 11    | 24    | 6     | 22,5  | 24    | 23    | 6     | 9,5   | 23,5  | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 5     |

**Chlortoluron**

| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71    | 81    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cmoy 2008 µg/L | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,045 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,012 | 0,000 | 0,012 | 0,063 | 0,120 | 0,123 | 0,002 | 0,011 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,040 | 0,018 | 0,000 | 0,009 | 0,019 | 0,133 | 0,097 | 0,063 | 0,059 | 0,078 | 0,000 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 10    | 12    | 20    | 14    | 17,5  | 13    | 23    | 10    | 6     | 18    | 20    | 5     | 15,5  | 8     | 21,5  | 13    | 20    | 23    | 23    | 12    | 4     | 7     | 15,5  | 11,5  | 23    | 20,5  | 20    | 13,5  | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,027 | 0,016 | 0,020 | 0,013 | 0,054 | 0,025 | 0,025 | 0,020 | 0,017 | 0,029 | 0,025 | 0,025 | 0,097 | 0,142 | 0,063 | 0,021 | 0,046 | 0,019 | 0,010 | 0,012 | 0,021 | 0,024 | 0,007 | 0,009 | 0,048 | 0,108 | 0,070 | 0,047 | 0,056 | 0,052 | 0,032 |
| NbreQ 2009     | 24    | 9     | 12,5  | 17,5  | 22,5  | 16    | 23    | 15,5  | 24    | 24    | 10    | 21,5  | 22,5  | 23    | 24    | 18,5  | 9     | 24    | 15,5  | 24    | 24    | 22,5  | 5     | 7     | 24    | 24    | 24    | 24    | 21    | 5     |       |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,026 | 0,018 | 0,010 | 0,013 | 0,147 | 0,022 | 0,010 | 0,010 | 0,012 | 0,032 | 0,010 | 0,014 | 0,198 | 0,135 | 0,095 | 0,011 | 0,115 | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,021 | 0,030 | 0,005 | 0,351 | 0,081 | 0,121 | 0,095 | 0,085 | 0,055 | 0,082 | 0,016 |
| NbreQ 2010     | 24    | 12    | 6     | 12,5  | 23    | 18,5  | 16,5  | 15    | 24    | 21,5  | 23    | 21    | 15,5  | 21,5  | 24    | 19,5  | 15,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 22    | 6     | 7     | 24    | 24    | 23    | 24    | 24    | 22    | 11    |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,018 | 0,011 | 0,008 | 0,018 | 0,316 | 0,036 | 0,011 | 0,010 | 0,013 | 0,024 | 0,010 | 0,014 | 0,085 | 0,076 | 0,055 | 0,023 | 0,105 | 0,010 | 0,010 | 0,016 | 0,038 | 0,018 | 0,009 | 0,497 | 0,146 | 0,113 | 0,109 | 0,105 | 0,063 | 0,053 | 0,010 |
| NbreQ 2011     | 24    | 19    | 13    | 24    | 23    | 16,5  | 23    | 12    | 21,5  | 24    | 24    | 21    | 19    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 24    | 24    | 22,5  | 9     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21,5  | 5     |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,020 | 0,011 | 0,020 | 0,010 | 0,140 | 0,021 | 0,012 | 0,007 | 0,010 | 0,013 | 0,010 | 0,011 | 0,058 | 0,046 | 0,035 | 0,009 | 0,088 | 0,010 | 0,008 | 0,005 | 0,029 | 0,022 | 0,009 | 0,049 | 0,028 | 0,134 | 0,066 | 0,031 | 0,027 | 0,030 | 0,012 |
| NbreQ 2012     | 24    | 17,5  | 6     | 10    | 22    | 18    | 17,5  | 13,5  | 23    | 22,5  | 16,5  | 19,5  | 15    | 23    | 24    | 19    | 20,5  | 24    | 6     | 22,5  | 24    | 23    | 13    | 9,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 18,5  | 5     |

**Diflufénicanil**

| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71    | 81    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cmoy 2008 µg/L | 0,001 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,013 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,018 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,033 | 0,004 | 0,009 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 10    | 12    | 20    | 14    | 17,5  | 13    | 23    | 10    | 6     | 18    | 20    | 5     | 15,5  | 8     | 21,5  | 22,5  | 20    | 23    | 24    | 12    | 4     | 7     | 15,5  | 11,5  | 23    | 20,5  | 20    | 13,5  | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,010 | 0,010 | 0,021 | 0,020 | 0,020 | 0,011 | 0,010 | 0,013 | 0,020 | 0,025 | 0,011 | 0,013 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,024 | 0,020 | 0,025 | 0,025 | 0,020 | 0,019 | 0,014 | 0,011 | 0,000 | 0,016 | 0,028 | 0,023 | 0,021 | 0,021 | 0,020 | 0,010 |
| NbreQ 2009     | 24    | 5     | 12,5  | 17,5  | 22,5  | 16    | 23    | 15,5  | 24    | 24    | 10    | 21,5  | 22,5  | 23    | 24    | 18,5  | 9     | 24    | 15,5  | 24    | 24    | 19,5  | 5     | 7     | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21    | 5     |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,020 | 0,010 | 0,013 | 0,020 | 0,022 | 0,019 | 0,020 | 0,021 | 0,022 | 0,025 | 0,020 | 0,023 | 0,019 | 0,032 | 0,023 | 0,025 | 0,035 | 0,025 | 0,025 | 0,013 | 0,012 | 0,026 | 0,011 | 0,014 | 0,014 | 0,029 | 0,018 | 0,021 | 0,021 | 0,021 | 0,020 |
| NbreQ 2010     | 24    | 5     | 6     | 13,5  | 23    | 18,5  | 16,5  | 14    | 24    | 21,5  | 23    | 21    | 15,5  | 21,5  | 24    | 21,5  | 11,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 19,5  | 5     | 7     | 24    | 24    | 23    | 24    | 24    | 22    | 11    |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,020 | 0,025 | 0,017 | 0,020 | 0,021 | 0,025 | 0,019 | 0,023 | 0,022 | 0,017 | 0,020 | 0,020 | 0,023 | 0,015 | 0,021 | 0,027 | 0,041 | 0,012 | 0,010 | 0,020 | 0,015 | 0,025 | 0,018 | 0,019 | 0,018 | 0,025 | 0,024 | 0,023 | 0,022 | 0,019 | 0,020 |
| NbreQ 2011     | 24    | 4     | 13    | 24    | 23    | 16,5  | 23    | 12    | 21,5  | 24    | 24    | 21    | 19    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 24    | 24    | 21    | 7     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21,5  | 5     |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,019 | 0,025 | 0,018 | 0,007 | 0,020 | 0,026 | 0,019 | 0,022 | 0,021 | 0,015 | 0,020 | 0,020 | 0,019 | 0,010 | 0,011 | 0,029 | 0,043 | 0,010 | 0,010 | 0,009 | 0,023 | 0,024 | 0,023 | 0,014 | 0,015 | 0,024 | 0,011 | 0,016 | 0,016 | 0,009 | 0,020 |
| NbreQ 2012     | 24    | 5     | 6     | 13    | 22    | 18    | 17,5  | 10,5  | 23    | 22,5  | 16,5  | 19,5  | 15    | 23    | 24    | 22    | 11    | 24    | 6     | 22,5  | 24    | 19,5  | 6     | 9,5   | 23,5  | 24    | 24    | 24    | 24    | 18,5  | 5     |

**Glyphosate**

| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71    | 81    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cmoy 2008 µg/L | 0,131 | 0,117 | 0,040 | 0,021 | 0,172 | 0,704 | 0,006 | 0,012 | 0,057 | 0,055 | 0,060 | 0,021 | 0,131 | 0,161 | 0,065 | 0,226 | 0,322 | 0,000 | 0,395 | 0,063 | 0,213 | 0,368 | 0,180 | 0,030 | 0,087 | 0,463 | 0,132 | 0,153 | 0,097 | 0,029 | 0,000 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 7     | 8     | 19    | 13    | 16,5  | 12    | 23    | 8     | 5     | 16    | 19    | 20,5  | 15,5  | 8     | 11    | 13    | 13    | 23    | 24    | 10    | 4     | 7     | 15,5  | 11,5  | 23    | 16,5  | 13,5  | 11,5  | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,099 | 0,047 | 0,040 | 0,025 | 0,124 | 0,162 | 0,067 | 0,040 | 0,096 | 0,058 | 0,057 | 0,056 | 0,706 | 0,060 | 0,098 | 0,084 | 0,459 | 0,097 | 0,240 | 0,084 | 0,278 | 0,212 | 0,316 | 0,030 | 0,079 | 0,447 | 0,212 | 0,185 | 0,136 | 0,034 | 0,050 |
| NbreQ 2009     | 24    | 9     | 7     | 7     | 22,5  | 14    | 14,5  | 15,5  | 22,5  | 24    | 6     | 15    | 22,5  | 21    | 24    | 17,5  | 9     | 24    | 5     | 24    | 24    | 22,5  | 5     | 7     | 24    | 24    | 24    | 24    | 6     | 5     |       |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,106 | 0,097 | 0,763 | 0,025 | 0,116 | 1,158 | 0,058 | 0,045 | 0,144 | 0,064 | 0,049 | 0,039 | 0,159 | 0,105 | 0,058 | 0,169 | 0,397 | 0,144 | 0,289 | 0,097 | 0,257 | 0,158 | 0,316 | 0,332 | 0,165 | 0,257 | 0,143 | 0,176 | 0,091 | 0,139 | 0,025 |
| NbreQ 2010     | 24    | 10    | 6     | 5     | 23    | 17,5  | 16,5  | 11    | 24    | 21,5  | 16,5  | 21    | 14,5  | 18,5  | 24    | 17,5  | 11,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 22    | 5     | 7     | 24    | 24    | 23    | 24    | 24    | 16,5  | 7     |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,107 | 0,027 | 1,942 | 0,037 | 0,092 | 0,315 | 0,034 | 0,038 | 0,125 | 0,142 | 0,026 | 0,044 | 0,204 | 0,151 | 0,083 | 0,137 | 0,550 | 0,225 | 0,277 | 0,124 | 0,239 | 0,898 | 0,433 | 0,400 | 0,223 | 0,287 | 0,194 | 0,137 | 0,120 | 0,081 | 0,025 |
| NbreQ 2011     | 24    | 12,5  | 11    | 14    | 23    | 16,5  | 21    | 11    | 20,5  | 24    | 17,5  | 19    | 19    | 23,5  | 24    | 20,5  | 13    | 24    | 17,5  | 22,5  | 24    | 19    | 7     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 5     |       |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,135 | 0,074 | 0,486 | 0,016 | 0,190 | 0,501 | 0,047 | 0,037 | 0,086 | 0,039 | 0,060 | 0,051 | 0,181 | 0,102 | 0,125 | 0,129 | 0,464 | 0,114 | 0,175 | 0,053 | 0,149 | 0,426 | 0,192 | 0,087 | 0,065 | 0,459 | 0,129 | 0,142 | 0,107 | 0,064 | 0,025 |
| NbreQ 2012     | 24    | 12,5  | 6     | 9     | 20,5  | 18    | 16,5  | 10,5  | 23    | 22,5  | 8     | 19,5  | 15    | 20    | 24    | 19    | 11    | 24    | 6     | 22,5  | 24    | 23    | 6     | 9,5   | 23,5  | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 5     |       |

**Métazachlore**

| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71    | 81    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cmoy 2008 µg/L | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,050 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,023 | 0,020 | 0,107 | 0,005 | 0,022 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,000 | 0,020 | 0,031 | 0,008 | 0,029 | 0,012 | 0,031 | 0,000 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 10    | 12    | 20    | 14    | 17,5  | 13    | 23    | 10    | 6     | 18    | 20    | 5     | 15,5  | 8     | 21,5  | 22,5  | 20    | 23    | 24    | 12    | 4     | 7     | 15,5  | 11,5  | 23    | 20,5  | 20    | 13,5  | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,025 | 0,019 | 0,010 | 0,010 | 0,026 | 0,025 | 0,025 | 0,018 | 0,016 | 0,022 | 0,025 | 0,025 | 0,028 | 0,010 | 0,017 | 0,011 | 0,015 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,027 | 0,005 | 0,000 | 0,012 | 0,027 | 0,011 | 0,017 | 0,011 | 0,025 | 0,025 |
| NbreQ 2009     | 24    | 9     | 12,5  | 17,5  | 22,5  | 16    | 23    | 15,5  | 24    | 24    | 10    | 21,5  | 22,5  | 23    | 24    | 18,5  | 9     | 24    | 15,5  | 24    | 24    | 22,5  | 5     | 7     | 24    | 24    | 24    | 24    | 21    | 5     |       |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,012 | 0,019 | 0,010 | 0,012 | 0,048 | 0,018 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,028 | 0,031 | 0,029 | 0,010 | 0,055 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,012 | 0,027 | 0,005 | 0,019 | 0,012 | 0,030 | 0,015 | 0,022 | 0,014 | 0,014 | 0,010 |
| NbreQ 2010     | 24    | 10    | 6     | 13,5  | 23    | 18,5  | 16,5  | 14    | 24    | 21,5  | 23    | 21    | 15,5  | 21,5  | 24    | 21,5  | 11,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 22    | 5     | 7     | 24    | 24    | 23    | 24    | 24    | 22    | 11    |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,014 | 0,013 | 0,006 | 0,010 | 0,012 | 0,011 | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,009 | 0,010 | 0,010 | 0,019 | 0,023 | 0,029 | 0,010 | 0,016 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,011 | 0,024 | 0,010 | 0,010 | 0,011 | 0,029 | 0,020 | 0,027 | 0,015 | 0,017 | 0,010 |
| NbreQ 2011     | 24    | 13,5  | 13    | 24    | 23    | 16,5  | 23    | 12    | 21,5  | 24    | 24    | 21    | 19    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 24    | 24    | 21    | 7     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21,5  | 5     |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,013 | 0,010 | 0,003 | 0,007 | 0,026 | 0,011 | 0,012 | 0,010 | 0,010 | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,101 | 0,031 | 0,031 | 0,010 | 0,023 | 0,006 | 0,010 | 0,011 | 0,015 | 0,013 | 0,010 | 0,016 | 0,018 | 0,044 | 0,025 | 0,032 | 0,016 | 0,012 | 0,010 |
| NbreQ 2012     | 24    | 12,5  | 6     | 10    | 22    | 18    | 17,5  | 10,5  | 23    | 22,5  | 16,5  | 19,5  | 15    | 23    | 24    | 22    | 11    | 24    | 6     | 22,5  | 24    | 22    | 6     | 9,5   | 23,5  | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 5     |

**Propyzamide**

| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71    | 81    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cmoy 2008 µg/L | 0,003 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,015 | 0,005 | 0,005 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,015 | 0,011 | 0,005 | 0,003 | 0,006 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 10    | 12    | 20    | 14    | 17,5  | 13    | 23    | 10    | 6     | 18    | 20    | 5     | 15,5  | 7     | 20,5  | 22,5  | 16    | 13,5  | 23    | 12    | 4     | 7     | 15,5  | 11,5  | 22,5  | 21    | 20    | 13,5  | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,020 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,014 | 0,012 | 0,018 | 0,031 | 0,020 | 0,023 | 0,015 | 0,013 | 0,010 | 0,021 | 0,011 | 0,012 | 0,005 | 0,025 | 0,015 | 0,018 | 0,015 | 0,008 | 0,008 | 0,016 | 0,009 | 0,006 | 0,005 | 0,020 |
| NbreQ 2009     | 24    | 5     | 12,5  | 17,5  | 22,5  | 16    | 23    | 15,5  | 24    | 24    | 10    | 21,5  | 22,5  | 23    | 24    | 18,5  | 11,5  | 24    | 15,5  | 24    | 24    | 19,5  | 5     | 7     | 23    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21    | 5     |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,007 | 0,005 | 0,010 | 0,005 | 0,007 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,009 | 0,010 | 0,005 | 0,025 | 0,015 | 0,022 | 0,015 | 0,009 | 0,043 | 0,010 | 0,010 | 0,005 | 0,009 | 0,013 | 0,018 | 0,021 | 0,014 | 0,020 | 0,015 | 0,014 | 0,009 | 0,010 | 0,005 |
| NbreQ 2010     | 24    | 5     | 6     | 13,5  | 23    | 17,5  | 16,5  | 14    | 24    | 21,5  | 23    | 21    | 15,5  | 21,5  | 24    | 21,5  | 11,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 19,5  | 5     | 7     | 24    | 24    | 23    | 24    | 24    | 22    | 11    |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,009 | 0,010 | 0,005 | 0,005 | 0,008 | 0,006 | 0,006 | 0,008 | 0,008 | 0,017 | 0,005 | 0,005 | 0,007 | 0,039 | 0,027 | 0,009 | 0,021 | 0,010 | 0,010 | 0,005 | 0,012 | 0,010 | 0,014 | 0,010 | 0,010 | 0,027 | 0,016 | 0,012 | 0,010 | 0,005 | 0,005 |
| NbreQ 2011     | 24    | 4     | 13    | 24    | 23    | 16,5  | 23    | 12    | 21,5  | 24    | 24    | 21    | 19    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 24    | 24    | 21    | 7     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21,5  | 5     |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,008 | 0,010 | 0,005 | 0,002 | 0,006 | 0,006 | 0,007 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,005 | 0,005 | 0,012 | 0,033 | 0,013 | 0,005 | 0,022 | 0,006 | 0,012 | 0,007 | 0,010 | 0,010 | 0,016 | 0,015 | 0,018 | 0,044 | 0,039 | 0,011 | 0,009 | 0,017 | 0,005 |
| NbreQ 2012     | 24    | 5     | 6     | 13    | 22    | 18    | 17,5  | 10,5  | 23    | 22,5  | 16,5  | 19,5  | 15    | 23    | 24    | 22    | 11    | 24    | 6     | 21    | 24    | 19,5  | 6     | 9,5   | 23,5  | 24    | 23,5  | 24    | 24    | 18,5  | 5     |

**S-métolachlore**

| HER modifiée   | 2     | 4     | 5     | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 31    | 32    | 41    | 42    | 61    | 62    | 63    | 64    | 65    | 66    | 71    | 81    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cmoy 2008 µg/L | 0,008 | 0,271 | 0,006 | 0,004 | 0,116 | 0,026 | 0,002 | 0,000 | 0,005 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,018 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,018 | 0,008 | 0,003 | 0,017 | 0,035 | 0,333 | 0,534 | 0,017 | 0,036 | 0,002 | 0,043 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 0,000 |
| NbreQ 2008     | 24    | 3     | 10    | 11    | 19    | 13    | 16,5  | 12    | 23    | 8     | 5     | 16    | 19    | 5     | 15,5  | 3     | 22    | 13    | 20    | 23    | 24    | 11    | 4     | 7     | 15,5  | 11,5  | 23    | 11,5  | 10,5  | 15,5  | 6     |
| Cmoy 2009 µg/L | 0,015 | 0,169 | 0,066 | 0,016 | 0,134 | 0,012 | 0,010 | 0,038 | 0,016 | 0,010 | 0,010 | 0,013 | 0,091 | 0,011 | 0,015 | 0,010 | 0,018 | 0,010 | 0,010 | 0,061 | 0,045 | 0,412 | 0,353 | 0,017 | 0,054 | 0,047 | 0,028 | 0,030 | 0,017 | 0,016 | 0,012 |
| NbreQ 2009     | 24    | 9     | 12,5  | 17,5  | 22,5  | 14    | 14,5  | 15,5  | 24    | 24    | 6     | 15    | 22,5  | 23    | 24    | 17,5  | 22    | 24    | 15,5  | 24    | 24    | 22,5  | 5     | 7     | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 21    | 5     |
| Cmoy 2010 µg/L | 0,061 | 0,274 | 0,117 | 0,016 | 0,276 | 0,045 | 0,019 | 0,029 | 0,021 | 0,031 | 0,026 | 0,039 | 0,121 | 0,011 | 0,015 | 0,017 | 0,038 | 0,221 | 0,010 | 0,018 | 0,020 | 0,250 | 0,353 | 0,016 | 0,018 | 0,021 | 0,022 | 0,016 | 0,015 | 0,029 | 0,031 |
| NbreQ 2010     | 24    | 10    | 6     | 13,5  | 23    | 17,5  | 16,5  | 14    | 24    | 21,5  | 23    | 21    | 15,5  | 21,5  | 24    | 21,5  | 11,5  | 24    | 7     | 19,5  | 24    | 22    | 5     | 7     | 24    | 24    | 23    | 24    | 24    | 22    | 11    |
| Cmoy 2011 µg/L | 0,046 | 0,070 | 0,057 | 0,015 | 0,159 | 0,048 | 0,025 | 0,030 | 0,026 | 0,024 | 0,030 | 0,025 | 0,080 | 0,019 | 0,015 | 0,015 | 0,017 | 0,028 | 0,013 | 0,022 | 0,014 | 0,472 | 0,027 | 0,013 | 0,015 | 0,016 | 0,017 | 0,015 | 0,015 | 0,024 | 0,047 |
| NbreQ 2011     | 24    | 13,5  | 13    | 24    | 23    | 16,5  | 21    | 12    | 21,5  | 24    | 24    | 21    | 17    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 17,5  | 24    | 24    | 21    | 7     | 8,5   | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 22,5  | 5     |
| Cmoy 2012 µg/L | 0,072 | 0,224 | 0,406 | 0,006 | 0,700 | 0,091 | 0,034 | 0,036 | 0,037 | 0,026 | 0,026 | 0,033 | 0,189 | 0,018 | 0,014 | 0,018 | 0,025 | 0,027 | 0,009 | 0,018 | 0,022 | 0,664 | 0,319 | 0,019 | 0,022 | 0,036 | 0,032 | 0,017 | 0,012 | 0,030 | 0,047 |
| NbreQ 2012     | 22    | 12,5  | 6     | 12    | 22    | 18    | 15,5  | 10,5  | 23    | 22,5  | 16,5  | 19,5  | 15    | 23    | 24    | 22    | 11    | 24    | 6     | 22,5  | 24    | 23    | 6     | 9,5   | 23,5  | 24    | 24    | 24    | 24    | 18,5  | 5     |

## Annexe 9 : Limites de classes des variables utilisées dans ARPEGES

### Hydromorphie :

| Code_classe | Description                                      | CE             |
|-------------|--|----------------|
| 1           | 50 % hydromorphe                                 | HYDROM_forte   |
| 2           | 20-50 % hydromorphe                              | HYDROM_forte   |
| 3           | moins de 20 % hydromorphe (+ de 5000 ha)         | HYDROM_moyenne |
| 4           | moins de 20 % hydromorphe (engorgement ponctuel) | HYDROM_moyenne |
| 5           | moins de 20 %                                    | HYDROM_faible  |

### Réserve utile :

| Code_classe | Description                     | CE         |
|-------------|---------------------------------|------------|
| 0           | pas de Réserve Utile (non sols) | RU_faible  |
| 1           | < 50 mm                         | RU_faible  |
| 2           | 50 - 100 mm                     | RU_faible  |
| 3           | 100 - 150 mm                    | RU_moyenne |
| 4           | 150 - 200 mm                    | RU_forte   |
| 5           | >= 200 mm                       | RU_forte   |

### Battance :

| Code_classe | Description      | CE          |
|-------------|------------------|-------------|
| 0           | non sol          | BAT_faible  |
| 1           | très faible (2%) | BAT_faible  |
| 2           | faible (21 %)    | BAT_faible  |
| 3           | modérée (34%)    | BAT_moyenne |
| 4           | forte (24%)      | BAT_forte   |
| 5           | très forte (20%) | BAT_forte   |

### Pourcentage de la SAU drainée :

| seuil_max_faible | seuil_min_fort |
|------------------|----------------|
| 5                | 20             |

### IDPR :

| seuil_faible | seuil_fort |
|--------------|------------|
| 800          | 1200       |

### Présence de ripisylve :

| seuil_faible | seuil_fort |
|--------------|------------|
| 20           | 60         |

### Densité de réseau hydrographique :

| seuil_faible | seuil_fort |
|--------------|------------|
| 0,8          | 1,15       |

**Teneur du sol en matière organique :**

| seuil_faible ▾ | seuil_fort ▾ |
|----------------|--------------|
| 10             | 20           |
|                |              |

**Aléa érosion :**

| Code_classe ▾ | Description ▾    | CE ▾       |
|---------------|------------------|------------|
| 1             | très faible (2%) | ERO_faible |
| 2             | faible (21 %)    | ERO_faible |
| 3             | modérée (34%)    | ERO_forte  |
| 4             | forte (24%)      | ERO_forte  |
| 5             | très forte (20%) | ERO_forte  |
| 10            | zones urbaines   | ERO_faible |
| 11            | hautes montagnes | ERO_faible |
| 12            | zones humides    | ERO_faible |
| 13            | no data          | ERO_faible |

## Annexe 10 : Cartes de vulnérabilité spécifique pour des molécules types, en périodes de Nappe Haute et Nappe Basse.

### 5.1.1.1 Période de Nappe Haute. Transferts rapides

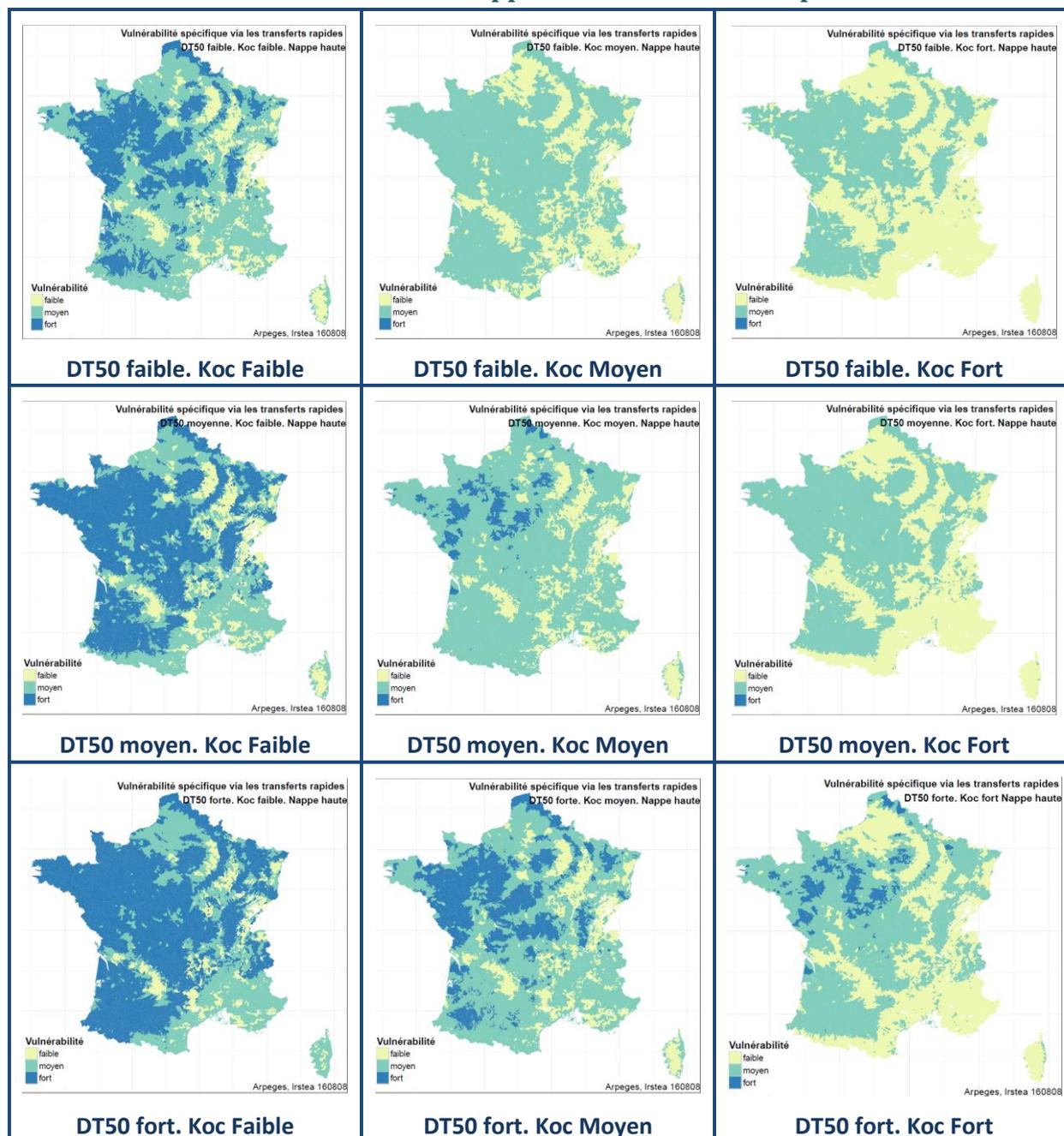


Figure 103 : Vulnérabilité spécifique aux transferts rapides en période de Nappe Haute

### 5.1.1.2 Période de Nappe Haute. Transferts lents

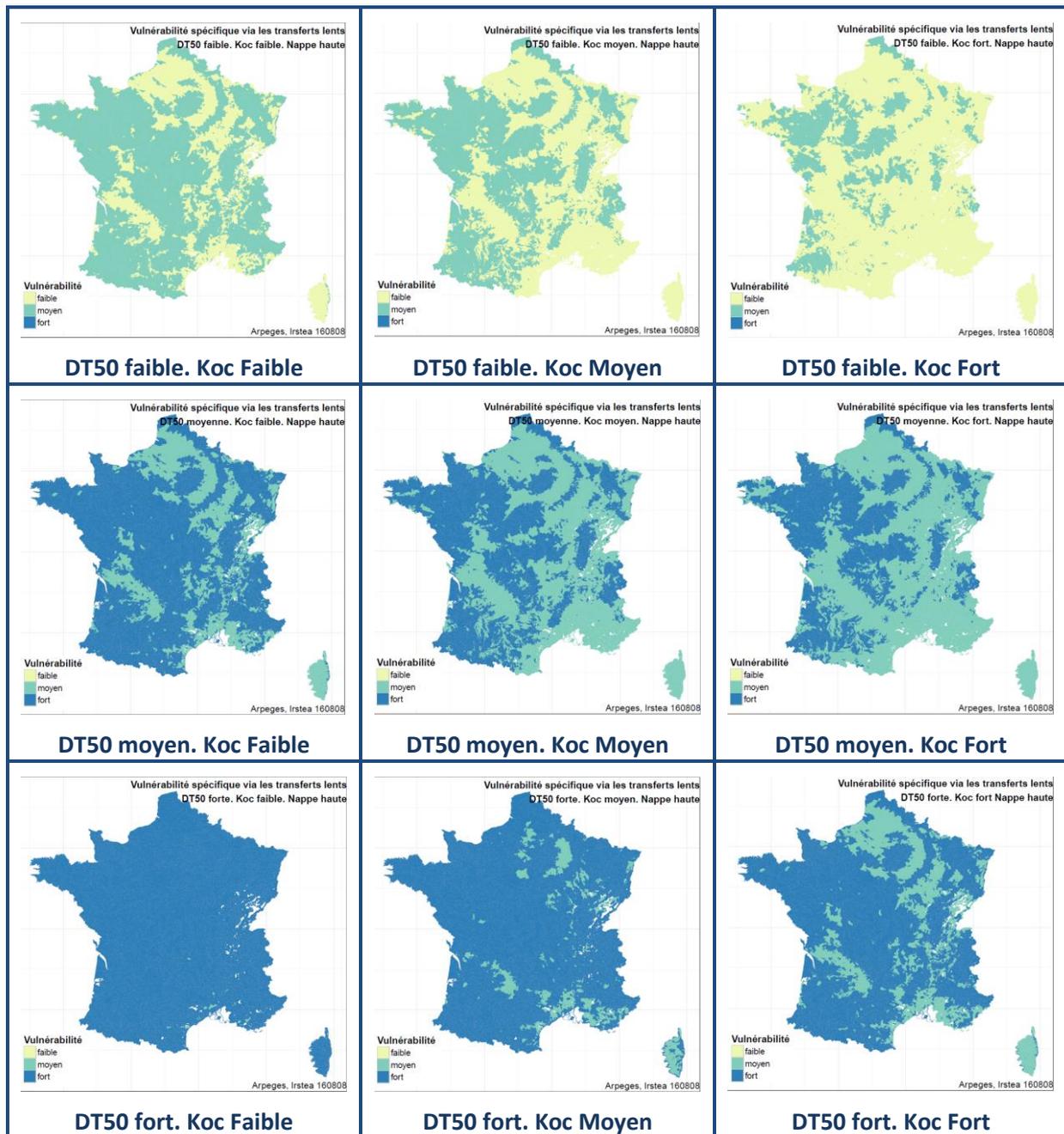


Figure 104 : Vulnérabilité spécifique aux transferts lents en période de Nappe Haute

### 5.1.1.3 Période de Nappe Basse. Transferts rapides

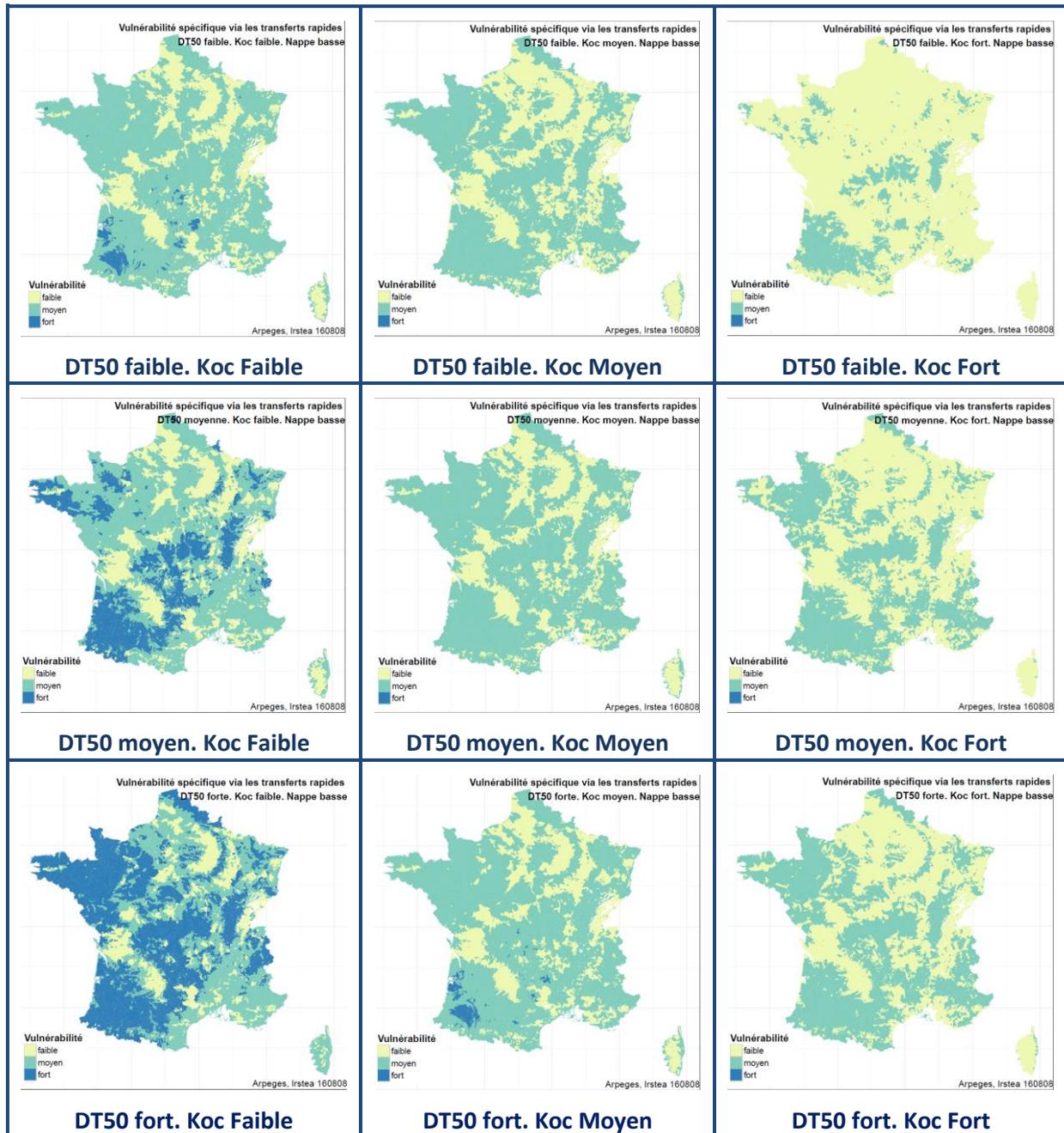


Figure 105 : Vulnérabilité spécifique aux transferts rapides en période de Nappe Basse

### 5.1.1.4 Période de Nappe Basse. Transferts lents

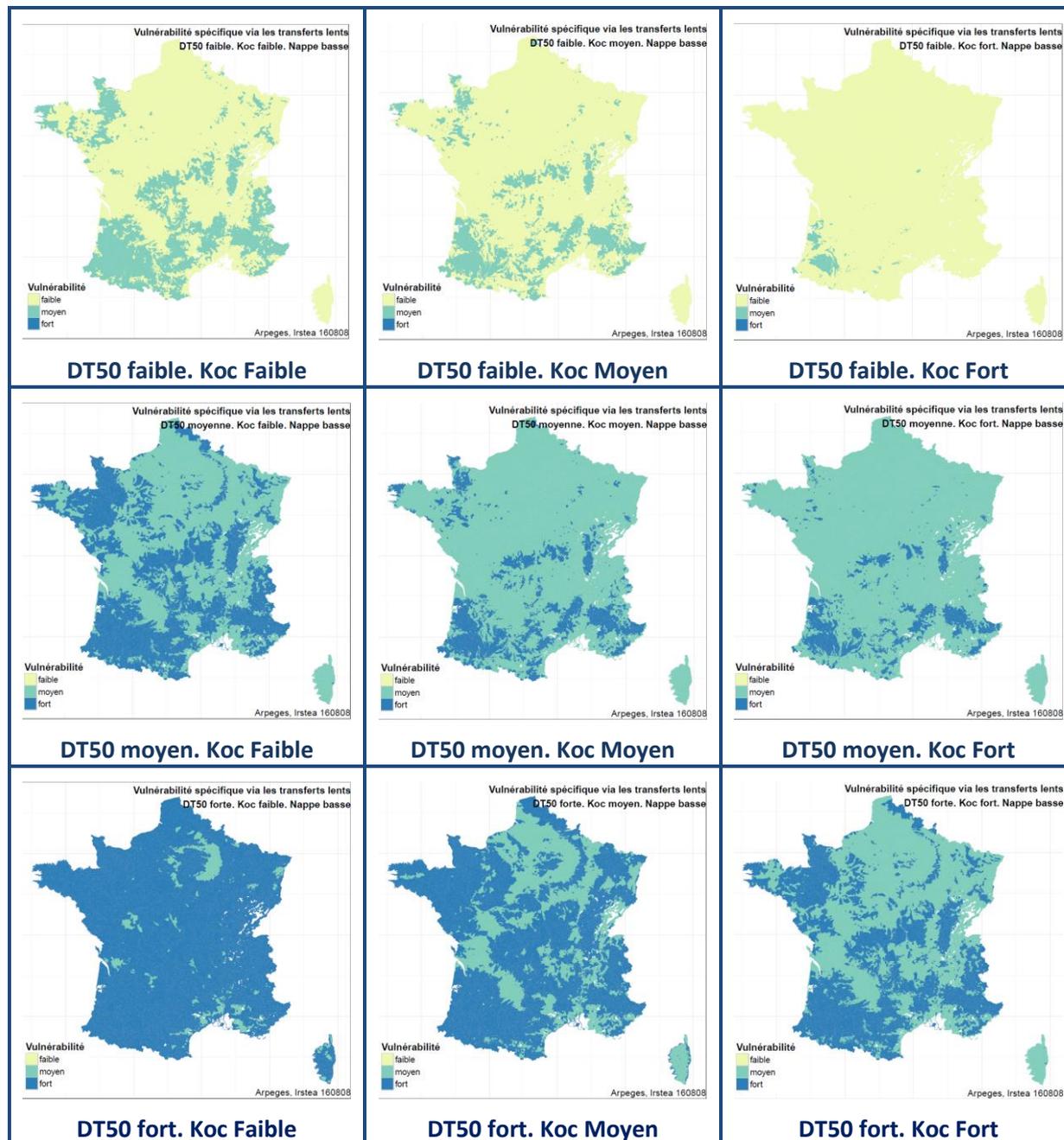


Figure 106 : Vulnérabilité spécifique aux transferts lents en période de Nappe Basse

## Annexe 11 : récapitulatif des limites de classes de contamination retenues pour chaque substance étudiée

| Molécule               | limite max µg/L                            |                |            |             |              |              | K <sub>roc</sub> moyen<br>mL/g | DT50 | Quantités<br>appliquées, kg |
|------------------------|--|----------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------------------------|------|-----------------------------|
|                        | classe basse                               | classe moyenne |            |             | classe forte |              |                                |      |                             |
| S-métolachlore         | (pas de valeur inférieure observée) 0,0058 | c < 0,018      | < c < 0,03 | < c < 0,072 |              | < c < 0,7    | 226                            | 14,5 | 1 473 020                   |
| 2,4 D                  | (pas de valeur inférieure observée) 0,007  |                |            | < c < 0,013 | < c < 0,018  | < c < 0,085  | 78,5                           | 20,4 | 684 592                     |
| Propyzamide            | 0 < c < 0,008                              | < c < 0,0087   |            | < c < 0,011 |              | < c < 0,0441 | 688                            | 42   | 288 994                     |
| Isoproturon            |  | 0 < c < 0,014  |            | < c < 0,018 | < c < 0,05   | < c < 0,087  | 122                            | 11,9 | 946183                      |
| Chlortoluron           |  | 0 < c < 0,013  |            | < c < 0,035 |              | < c < 0,139  | 183                            | 15   | 1 129 935                   |
| Métazachlore           |  | 0 < c < 0,012  |            | < c < 0,101 |              | < c < 0,1011 | 110                            | 6,8  | 875 953                     |
| Glyphosate Nappe Basse |  | 0 < c < 0,047  |            | < c < 0,149 |              | < c < 0,51   | 21 699                         | 19   | 9 051 638                   |
| Glyphosate Nappe Haute |  | 0 < c < 0,085  |            | < c < 0,135 |              | < c < 0,51   | 21 699                         | 19   | 9 051 638                   |

Les couleurs des cases correspondent aux couleurs utilisées pour la confrontation des cartes de potentiel de contamination ARPEGES aux cartes de contamination observées (intégration des courbes de 90<sup>ème</sup> centile par HER).

## Annexe 12 : Dynamique de contamination des matières actives étudiées, par HER, pour les années 2007 à 2012.

L'ensemble des résultats (90<sup>ème</sup> centile des concentrations, par quinzaine) est rassemblé dans le fichier : Annexe12\_90eme\_centil\_par\_HER\_et\_SA.pdf, joint au rapport.

## Annexe 13 : Cartes des potentiels de contamination

L'ensemble des cartes des potentiels de contamination, des niveaux de confiance associés et des probabilités de potentiel de contamination fort est regroupé dans le fichier : Annexe13\_160808\_pot\_cont\_SAetudies .pdf

### 5.1.1.5 13a : Isoproturon

### 5.1.1.6 13b : 2-4D

### 5.1.1.7 13c : Chlortoluron

### 5.1.1.8 13d : Diflufenicanil

### 5.1.1.9 13e : Glyphosate

### 5.1.1.10 13f : Métazachlore

### 5.1.1.11 13g : Propyzamide

### 5.1.1.12 13h : S-métolachlore