

Bassin Loire-Bretagne

Etat des lieux 2019

-

Note méthodologique

Masses d'eau souterraine - Caractérisation des pressions pollutions
diffuses brutes (nitrate et pesticides)



AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ
Établissement public du ministère de l'Environnement



Sommaire

1.	Caractérisation des pressions brutes nitrates et pesticides sur les eaux souterraines	4
1.1.	Pression en nitrates	4
1.2.	Pression en pesticides	9
2.	Méthodologie de caractérisation des pressions pollutions diffuses sur les eaux souterraines	11
2.1.	Méthodologie de caractérisation de la pression en nitrate	11
2.1.1.	Résumé de la méthode	11
2.1.2.	Echelles de travail	11
2.1.3.	Calcul du temps de transfert en zone non saturée	12
2.1.4.	Détermination du surplus azoté recalé (moyenne glissante sur 5 ans) par entité de travail (polygones commune/masse d'eau souterraine)	15
2.1.5.	Pression brute en nitrate	19
2.1.6.	Limites de la méthode	20
2.1.7.	Livrables	21
2.2.	Méthodologie de la caractérisation de la pression en pesticides	22
2.2.1.	Résumé de la méthode	22
2.2.2.	Echelle de travail	22
2.2.3.	Identification de l'usage et de l'aptitude des molécules à transférer	22
2.2.4.	Pression brute en pesticides	24
2.2.5.	Limites de la méthode	26
2.2.6.	Livrables	26
3.	Tendances d'évolution des pressions nitrates et pesticides	27
3.1.	Tendances d'évolution des nitrates	27
3.1.1.	Contexte	27
3.1.2.	Méthode de calcul des tendances	27
3.1.3.	Tendances d'évolution de la pression en nitrates sur la période 2000-2015	28
3.1.4.	Tendances d'évolution de la pression en nitrates sur la période 2015-2027	32
3.1.5.	Synthèse	36
3.2.	Tendances d'évolution des pressions en pesticides	36

Table des cartes

Carte 1 :	Pression nitrate à l'origine de l'état des eaux en 2000	5
Carte 2 :	Pression nitrate à l'origine de l'état des eaux en 2015 (état actuel)	6
Carte 3 :	Pression nitrate à l'origine de l'état des eaux en 2027	6
Carte 4 :	Pression en nitrate à l'origine de l'état des eaux souterraines en 2015 par masse d'eau souterraine de niveau 1	7
Carte 5 :	Pression en nitrate à l'origine de l'état des eaux souterraines en 2027 par masse d'eau souterraine de niveau 1	8
Carte 6 :	Pressions en pesticides sur les eaux souterraines	9
Carte 7 :	Lithologie simplifiée des masses d'eau souterraine	12
Carte 8 :	Carte de l'épaisseur de la zone non saturée agrégée à la masse d'eau souterraine	14
Carte 9 :	Temps de transfert en zone non saturée des masses d'eau souterraine	15
Carte 10 :	Données annuelles et moyenne glissante sur 5 ans des surplus d'azote pour une commune du bassin Loire-Bretagne	16
Carte 11 :	Surplus d'azote recalé (en kgN/ha) à l'origine de l'état 2000 (a), 2015 (b) et 2027 (c)	18
Carte 12 :	Répartition des classes d'IDPR sur le bassin Loire-Bretagne	19
Carte 13 :	Carte des classes de ventes de pesticides par masse d'eau souterraine de niveau 1	24
Carte 14 :	Tendances d'évolution de la pression en nitrate (moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé) et Pente de Sen (en kgN/ha/an) sur la période 2000-2015 par entité de travail (polygones issus du croisement MESO/communes)	30
Carte 15 :	Tendances d'évolution de la pression en nitrate (moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé) et pente de Sen (en kgN/ha/an) sur la période 2000-2015 par Masse d'eau souterraine	32

Carte 16 : Tendances d'évolution de la pression en nitrate (moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé) sur la période 2015-2027 et pente de Sen (en kgN/ha/an) par entité de travail (polygones issus du croisement MESO/communes) ayant un temps de transfert supérieur à 8 ans.....	35
Carte 17 : Tendances d'évolution de la pression en nitrate (moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé) sur la période 2015-2027 et pente de Sen (en kgN/ha/an) par masse d'eau souterraine ayant un temps de transfert en ZNS supérieur à 8 ans.....	36

Table des figures

Figure 1 : Schéma descriptif de l'approche proposée pour l'estimation de la pression en nitrates sur les eaux souterraines selon la méthode nationale (source : Gourcy L, Pinson S., Surdyk N. (2017) – Rapport BRGM/RP-67428-FR).....	11
Figure 2 : Modèle CASSIS_N (source : Université de Tours).....	16
Figure 3 : Part de chacune des tendances d'évolution de la pression en nitrate observées par entité sur la période 2000-2015 (test Mann-Kendall).....	28
Figure 4 : Pourcentage d'entités par région selon les tendances d'évolution de la pression en nitrate sur la période 2000-2015.....	29
Figure 5 : Pourcentage d'entités par type de masses d'eau souterraines selon les tendances d'évolution de la pression en nitrate sur la période 2000-2015.....	29
Figure 6 : Part des tendances d'évolution de la pression en nitrates observées par masse d'eau souterraine sur la période 2000-2015 (test Kendall régional).....	31
Figure 7 : Pourcentage de masse d'eau souterraine par type de masses d'eau souterraine selon les tendances d'évolution de la pression en nitrate sur la période 2000-2015.....	31
Figure 8 : Graphe de résultats HYPE pour une entité pour laquelle la stabilisation du surplus azoté recalé après 2013 ne permet pas de détecter une tendance significative.....	33
Figure 9 : Graphes de résultats pour deux entités pour lesquelles une tendance à la hausse ou à la baisse est détectée malgré la stabilisation du surplus azoté recalé.....	33
Figure 10 : Part de chacune des tendances d'évolution de la pression en nitrate observées par entité sur la période 2015-2027 (test Mann-Kendall) pour les masses d'eau ayant un temps de transfert en ZNS supérieur à 8 ans.....	34
Figure 11 : Part des tendances d'évolution de la pression en nitrates observées par masse d'eau souterraine sur la période 2015-2027 (test Kendall régional) pour les masses d'eau ayant un temps de transfert en ZNS supérieur à 8 ans.....	35

Table des tableaux

Tableau 1 : Pourcentage surfacique des classes de pression en nitrates à l'origine de l'état des eaux en 2000, 2015 et 2027.....	7
Tableau 2 : Nombre de masses d'eau souterraines selon les classes de pression à l'origine de l'état 2015 et 2027.....	8
Tableau 3 : Nombre et pourcentage de masses d'eau souterraine selon les classes de pression en pesticides.....	10
Tableau 4 : Tableau des données d'estimation des vitesses de transfert du nitrate (en m/an) en zone non saturée selon les contextes lithologiques et les régions issues de la littérature (source : Gourcy L, Pinson S., Surdyk N. (2017) – Rapport BRGM/RP-67428-FR).....	13
Tableau 5 : Estimation des vitesses de transfert du nitrate en zone non saturée pour différentes lithologies en Angleterre (Wang et al., 2012).....	13
Tableau 6 : Vitesses de transfert (en m/an) en zone non saturée selon les lithologies dominantes des masses d'eau souterraine.....	14
Tableau 7 : Classes de susceptibilité de transfert.....	19
Tableau 8 : Classes de pressions en nitrates selon le surplus d'azote recalé et l'IDPR.....	20
Tableau 9 : Classes des ventes de pesticides.....	24
Tableau 10 : Classes de susceptibilité de transfert.....	25
Tableau 11 : Classes de pressions en pesticides selon les quantités de pesticides vendus et l'IDPR.....	25

INTRODUCTION

Couplée à l'analyse de l'état des eaux, la caractérisation des pressions permet d'identifier d'une part les masses d'eau qui risquent de ne pas atteindre les objectifs environnementaux d'ici 2027 et d'autre part les causes du risque afin d'orienter les actions du programme de mesures vers les usages ou activités concernées.

Le présent document présente :

- Les résultats des pressions brutes pour les nitrates et pesticides ;
- Les méthodologies appliquées.

Les résultats présentés par la suite concernent uniquement les pressions brutes et non les pressions significatives (pressions à l'origine du risque de non atteinte du bon état). Ainsi il se peut que les données de pression brute et d'état des eaux souterraines ne soient pas toujours corrélées.

C'est l'analyse couplée des pressions brutes et de l'état des eaux qui permettra de définir les pressions significatives à l'origine d'un risque de non-atteinte des objectifs environnementaux d'ici 2027.

Par exemple, il est tout à fait possible qu'une masse d'eau présente une pression en nitrate élevée, tout en ayant un bon état chimique pour ce paramètre. Dans ce cas la pression sera non significative.

1. CARACTÉRISATION DES PRESSIONS BRUTES NITRATES ET PESTICIDES SUR LES EAUX SOUTERRAINES

1.1. PRESSION EN NITRATES

En fonction de sa profondeur et des caractéristiques du sous-sol, l'eau met un temps différent à percoler vers chaque masse d'eau souterraine à travers la zone non saturée. Ainsi, la pression nitrate que subit un aquifère une année n correspond aux pratiques agricoles d'une année antérieure. Dans certains contextes, la pression responsable des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines peut être très ancienne.

La caractérisation de la pression nitrate sur les eaux souterraines à un instant t nécessite ainsi de déterminer l'année de la pression qui arrive à la nappe et qui est susceptible de générer un impact. Pour cela il faut évaluer le surplus azoté dans les sols mais aussi le temps que met la molécule de nitrate à transférer en zone non saturée.

Deux échelles de travail ont été utilisées. Les calculs ont tout d'abord été effectués à une échelle fine basée sur des polygones issus du croisement des masses d'eau souterraine de niveau 1 (premières masses d'eau rencontrées depuis la surface). Puis les résultats ont été agrégés à la masse d'eau souterraine, hors nappes captives, la couverture imperméable sus-jacente n'étant pas prise en compte dans la méthode.

Le calcul de la pression nitrate s'est déroulé en quatre étapes :

- **Détermination du temps de transfert en Zone non Saturée (ZNS)¹ :**

Les temps de transfert en zone non saturée sont issus du travail bibliographique effectué lors de l'élaboration de la méthode nationale².

- **Détermination du surplus azotée recalée c'est-à-dire à l'origine de la concentration en nitrate dans les eaux souterraines à l'instant considéré :**

Le modèle national CASSIS_N développé par l'Université de Tours permet de calculer le surplus d'azote annuel par commune de 1955 à 2015. Le modèle repose sur un bilan sur les sols agricoles des entrées

1

La Zone Non Saturée ou ZNS est la zone du sol non complètement saturée en eau au-dessus de la surface d'une nappe libre et où les écoulements se font de manière verticale.

2

- Description de la méthode appliquée à l'échelle nationale pour l'étude pression-impact du nitrate sur les eaux souterraines - Gourcy L., Pinson S., Surdyk N. (2017) - BRGM/RP-67428-FR.

d'azote (fixation par les légumineuses, déposition atmosphérique, apports organiques et minéraux) et des sorties d'azote (exportation par les cultures).

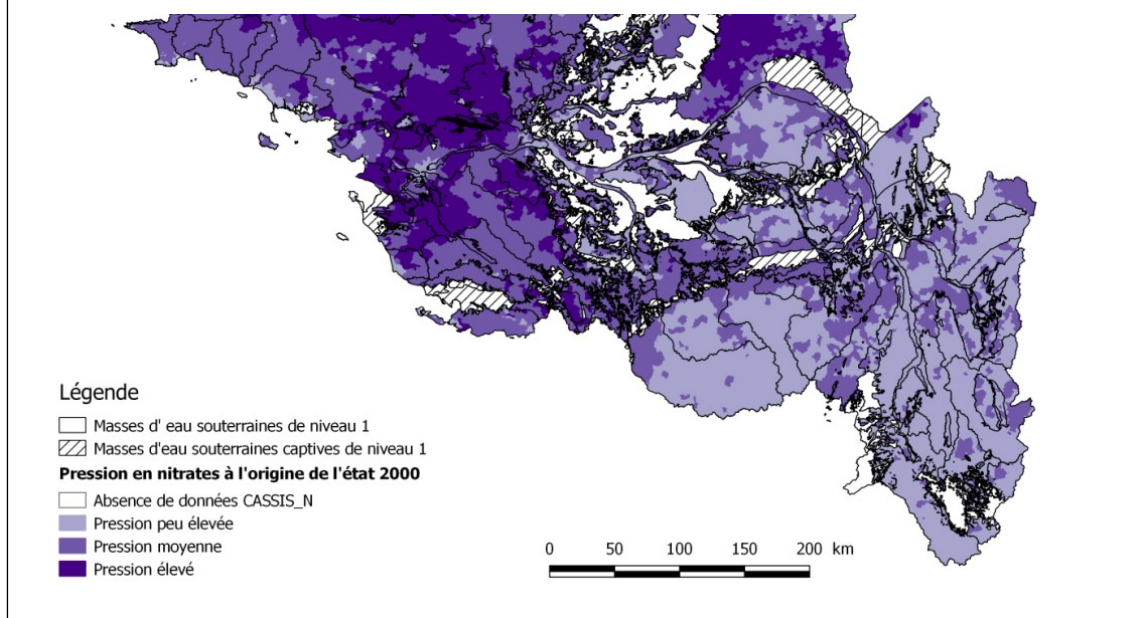
Les surplus d'azote recalés correspondent au surplus d'azote de l'année à l'origine de la pression à l'instant t (retrouvé à l'aide des temps de transfert) moyennés sur 5 ans.

Dans le cas où l'année de la pression, recalée par rapport à l'état, est supérieure à 2013 (dernière année où le calcul d'une moyenne sur 5 ans est possible), il est fait l'hypothèse d'une évolution stable des pressions azotées futures, qui sont alors considérées comme égales à celle de 2013. Pour les années antérieures à 1957 (dernière année où le calcul d'une moyenne sur 5 ans est possible), la pression azotée n'est pas calculée.

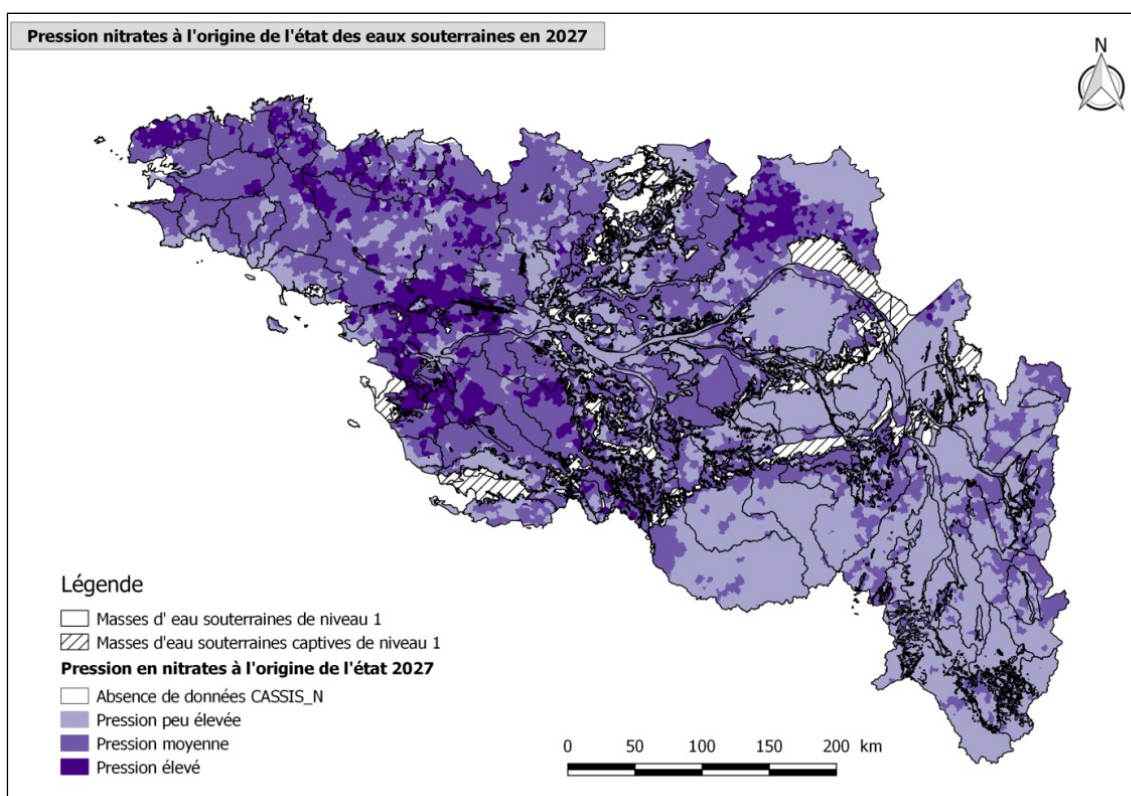
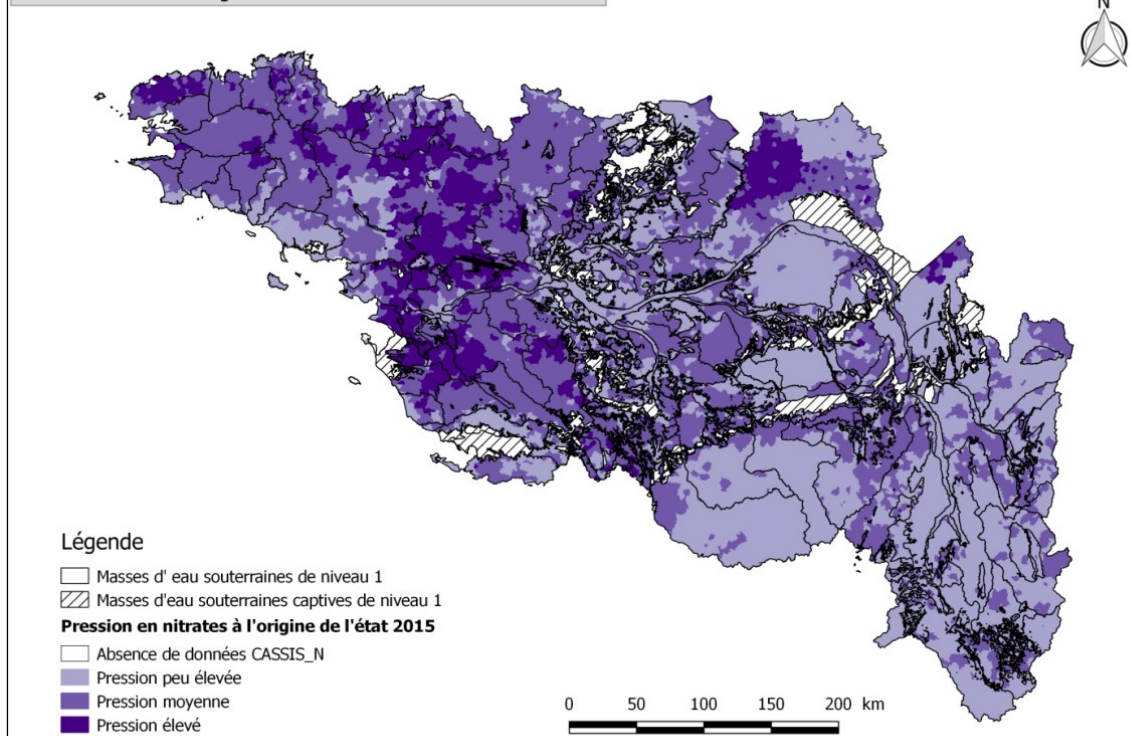
- Caractérisation de la pression brute en nitrate :

Une pression résulte du croisement entre un usage et un risque de transfert. La pression brute en nitrate est donc obtenue par croisement des valeurs de surplus azotés recalés et de la susceptibilité de transfert du milieu, représentée par l'IDPR (Indice de Développement et de Persistance des Réseaux), indicateur caractérisant le ruissellement ou l'infiltration des eaux de surface à travers le sol.

Afin d'identifier les évolutions de la pression en nitrate sur le bassin Loire-Bretagne, le calcul de la pression brute, à l'échelle des polygones communes/masses d'eau, a été réalisé pour trois années d'état : 2000 (état passé) (), 2015 (état actuel) () et 2027 (objectif DCE) ().



Carte 1 : Pression nitrate à l'origine de l'état des eaux en 2000



Carte 3 : Pression nitrate à l'origine de l'état des eaux en 2027

L'analyse de la répartition surfacique de la pression en nitrate à l'échelle des polygones communes/masses d'eau montre que, globalement, la pression en nitrate a diminué depuis 2000. Après 2015, la pression évolue peu, principalement en raison de l'hypothèse de stabilisation des surplus azotés après 2013 (Tableau 1).

Tableau 1 : Pourcentage surfacique des classes de pression en nitrates à l'origine de l'état des eaux en 2000, 2015 et 2027

Pression nitrate	Répartition surfacique des pressions en nitrates (en %)		
	A l'origine de l'état 2000	A l'origine de l'état 2015	A l'origine de l'état 2027
Peu élevée	32 %	45 %	47 %
Moyenne	42 %	44 %	44 %
Elevée	18 %	11 %	8 %
Absence de données	9 %	1 %	1 %

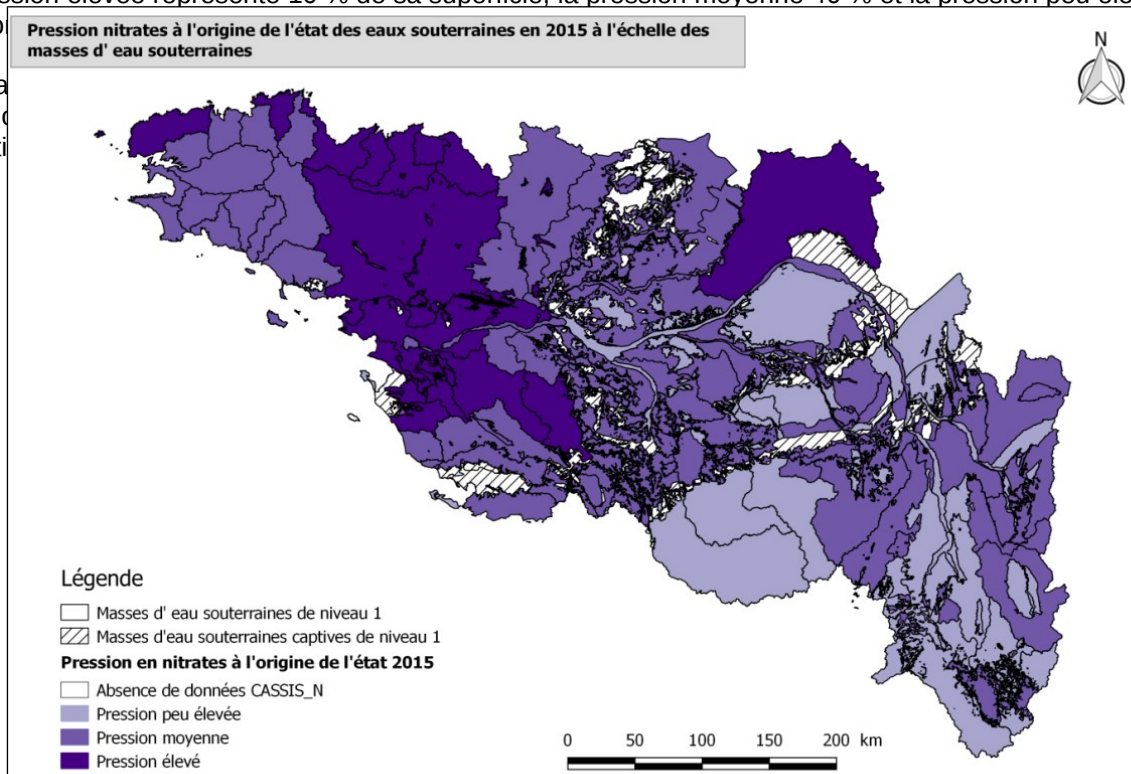
Quelque que soit l'année considérée, des zones à pression moyenne à élevée apparaissent nettement en Bretagne, en particulier le Léon, le Golfe de Saint-Brieuc et l'est du bassin de la Vilaine mais aussi en Vendée et en Loire-atlantique. La Beauce présente également des zones à pression élevée.

La pression est globalement peu élevée à moyenne en Sologne, en Auvergne, dans le Limousin et la Creuse.

- Attribution d'une classe unique de pression à chacune des masses d'eau souterraine :

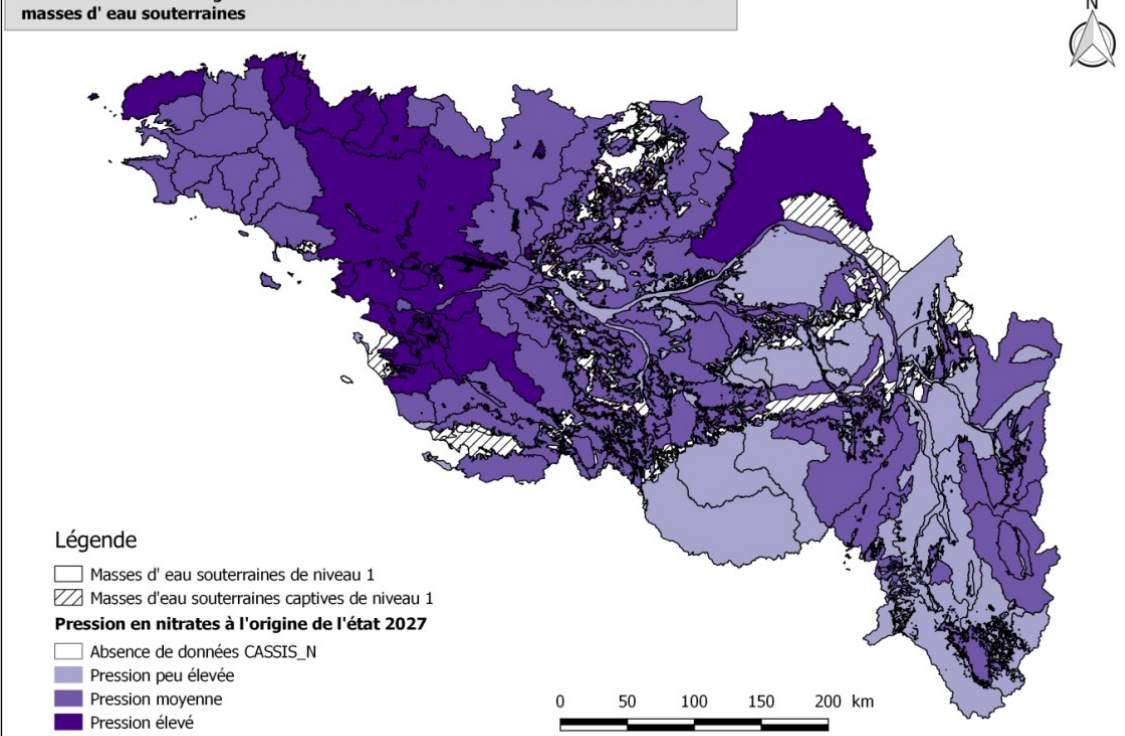
Le passage d'une pression à l'échelle des polygones communes/masses d'eau à une pression à l'échelle des masses d'eau souterraine s'est effectué en considérant, pour chaque masse d'eau, la classe de pression la plus élevée présente sur le territoire de la masse d'eau si celle-ci représente plus de 20 % de sa surface. Par exemple si pour une masse d'eau souterraine, à l'échelle des entités communes/masses d'eau, la pression élevée représente 10 % de sa superficie, la pression moyenne 40 % et la pression peu élevée 50 %, alors la pression attribuée à cette masse d'eau souterraine est la pression moyenne.

Les ca
pressio
objecti



7), la
te des

Carte 4 : Pression en nitrate à l'origine de l'état des eaux souterraines en 2015 par masse d'eau souterraine de niveau 1



Carte 5 : Pression en nitrate à l'origine de l'état des eaux souterraines en 2027 par masse d'eau souterraine de niveau 1

En raison du passage des polygones de croisement communes/masses d'eau aux masses d'eau souterraine, les résultats sont lissés et l'évolution de la pression à l'origine de l'état 2015 et 2027 est peu visible. Toutefois le nombre de masses d'eau en pression peu élevée augmente légèrement (+ 4 masses d'eau) au détriment des pressions moyennes et élevées (Tableau 2).

Tableau 2 : Nombre de masses d'eau souterraines selon les classes de pression à l'origine de l'état 2015 et 2027

Pression nitrate	Nombre de masse d'eau souterraine	
	A l'origine de l'état 2015	A l'origine de l'état 2027
Peu élevée	33	37
Moyenne	69	68
Elevée	23	20
Absence de données	3	3
<i>Nappes captives</i>	18	18
TOTAL	146	146

Ainsi, l'analyse à l'échelle des masses d'eau souterraine montre que la pression en nitrate :

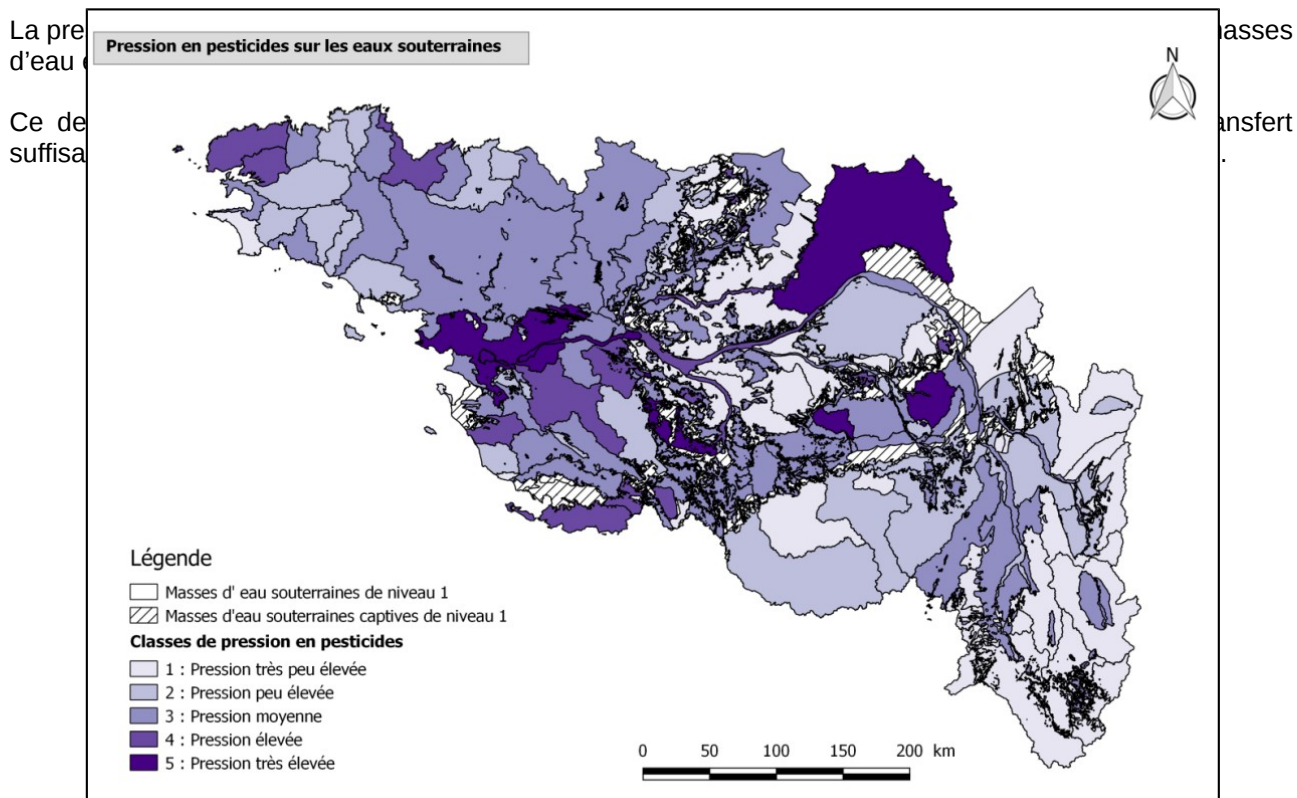
- est peu élevée pour 23 % des masses d'eau pour l'état 2015 et 25 % pour l'état 2027 ;
- est moyenne pour 47 % d'entre elles pour 2015 et 2027 ;
- est élevée pour environ 16% d'entre elles pour l'état 2015 et 14 % pour l'état 2027.

Le calcul n'a pas pu être effectué en raison de l'absence de données ou de la nature captive de la masse d'eau pour 14 % d'entre elles.

1.2. PRESSION EN PESTICIDES

Afin de répondre pleinement à la problématique d'identification des pressions liées aux activités agricoles, L'INRA de Toulouse réalise actuellement un travail sur les rotations culturales basé sur l'exploitation du registre parcellaire graphique et de Corine Land Cover d'une part et, d'autre part, de la spatialisation des ventes de pesticides à la commune de l'acheteur (BNV-d). Les résultats n'étant pas encore disponibles, une méthode simplifiée est élaborée dans le cadre de l'Etat des lieux 2019.

La caractérisation de la pression en pesticides s'est donc attachée, dans un premier temps, à identifier l'usage des substances et leur aptitude à transférer vers les eaux souterraines. Cela permet de sélectionner les pesticides les plus susceptibles d'engendrer une pression sur les eaux souterraines et d'identifier les masses d'eau souterraine pour lesquelles l'usage de ces molécules est le plus conséquent. Dans un second temps, la susceptibilité du milieu à transférer est appréhendée via l'IDPR (Indice de développement et de Persistance des Réseaux), caractérisant la capacité du sol à laisser s'infiltrer ou non les eaux de surface, et via les temps de transfert en zone non saturée, calculée dans le cadre des pressions en nitrates.



Carte 6 : Pressions en pesticides sur les eaux souterraines

La Beauce, l'estuaire de la Loire et la Champagne berrichonne présentent les pressions les plus élevées suivies par le Léon et le golfe de Saint-Brieuc en Bretagne et les bassins versant de la Sèvre Nantaise, du Layon-Aubance, de la Vie Jaunay et l'Aunis. Une gradation de la pression en pesticides est visible pour les alluvions de la Loire l'amont vers l'aval.

Tableau 3 : Nombre et pourcentage de masses d'eau souterraine selon les classes de pression en pesticides

Pression pesticides	Nombre de masses d'eau	Pourcentage de masses d'eau
Très peu élevée	31	21 %
Peu élevée	33	23 %
Moyenne	41	28 %
Elevée	16	11 %
Très élevée	7	5 %
<i>Nappes captives</i>	18	12 %
TOTAL	146	

Ainsi, l'analyse à l'échelle des masses d'eau souterraine montrent que la pression en pesticides (Tableau 3) :

- est « très peu élevée » à « peu élevée » pour 44 % des masses d'eau ;
- est « moyenne » pour 28 % d'entre elles ;
- est « élevée » à « très élevée » pour environ 16 % d'entre elles.

Le calcul n'a pas pu être effectué en raison de la nature captive de la masse d'eau pour 12 % d'entre elles.

2. MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DES PRESSIONS POLLUTIONS DIFFUSES SUR LES EAUX SOUTERRAINES

2.1. MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DE LA PRESSION EN NITRATE

2.1.1. RÉSUMÉ DE LA MÉTHODE

La caractérisation de la pression nitrate sur les eaux souterraines nécessite de déterminer la pression qui arrive à la nappe et qui est susceptible de générer un impact. Pour cela il faut déterminer la pression azotée dans les sols mais aussi le temps de transfert du nitrate en zone non saturée afin de pouvoir restituer dans le temps la pression qui a engendré la dégradation des eaux souterraines à l'instant t. Cela est nécessaire dans les contextes où la pression responsable des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines peut être ancienne.

La méthode utilisée pour le bassin Loire-Bretagne est directement issue de la méthode nationale (Figure 1) ajustée par quelques modifications et adaptations.

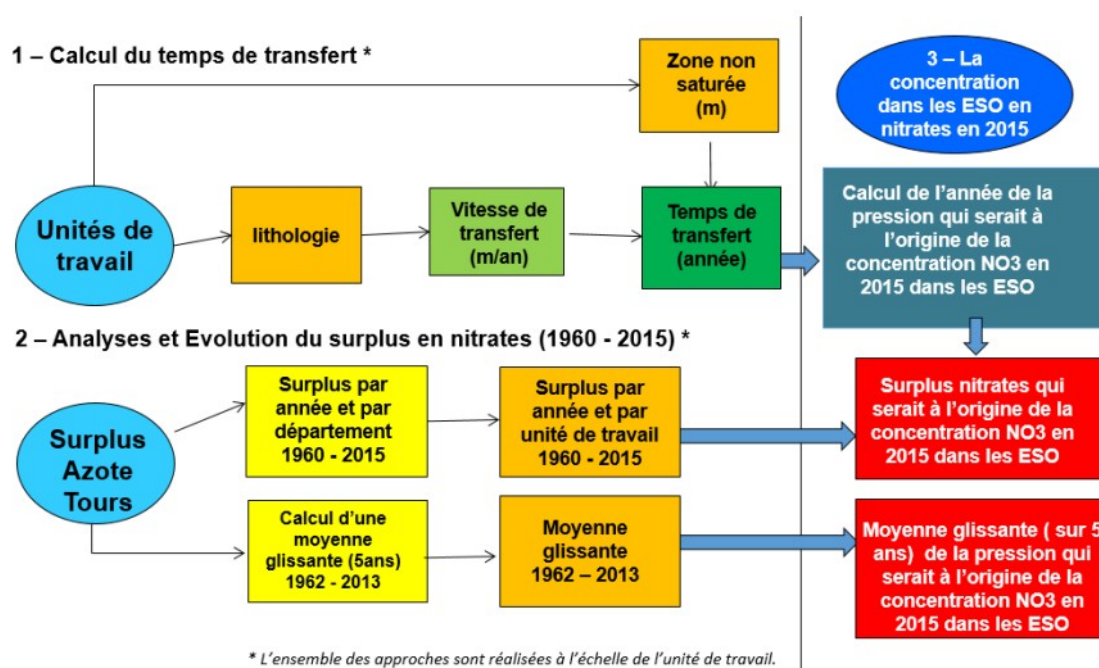


Figure 1 : Schéma descriptif de l'approche proposée pour l'estimation de la pression en nitrates sur les eaux souterraines selon la méthode nationale (source : Gourcy L, Pinson S., Surdyk N. (2017) – Rapport BRGM/RP-67428-FR)

Le calcul de la pression en nitrate s'est donc déroulé en quatre étapes :

- Estimation des temps de transfert en zone non saturée, permettant de calculer l'année de la pression à l'origine de la concentration en nitrate à l'instant considéré ;
- Détermination de la moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé issu du modèle de balance azoté CASSIS_N ;
- Caractérisation de la pression par croisement des valeurs de surplus azoté recalé (moyenne sur 5 ans) et de la susceptibilité de transfert vers les eaux souterraines issue de l'IDPR.

2.1.2. ECHELLES DE TRAVAIL

Contrairement à la méthode nationale pour laquelle les unités de travail choisies sont des polygones issus du croisement entre les entités BDLisa de niveau 3 et les masses d'eau souterraine de niveau 1, les entités de travail choisies dans le cas du bassin Loire-Bretagne sont des polygones issus du croisement des communes et des masses d'eau souterraine de niveau 1.

La raison de ce choix est due aux différentes échelles des données utilisées. En effet, les temps de transfert, dépendant de la lithologie ont été calculés à l'échelle des masses d'eau souterraine alors que les valeurs de

surplus azoté et d'IDPR ont été calculées à une échelle plus fine, celle de la commune. Ainsi 14 762 unités de travail ont été créées.

Pour les nappes captives de niveau 1, le calcul des temps de transfert en zone non saturée ne prend pas en compte la couverture imperméable sus-jacente, sous-estimant ainsi le temps d'arrivée de l'eau de la surface jusqu'à la zone saturée. N'ayant pas d'éléments de connaissance de ces couvertures argileuses, le calcul de la pression pour ces masses d'eau n'a pas été effectué.

Les résultats de pression ont par la suite été agrégés à l'échelle des masses d'eau souterraine.

2.1.3. CALCUL DU TEMPS DE TRANSFERT EN ZONE NON SATURÉE

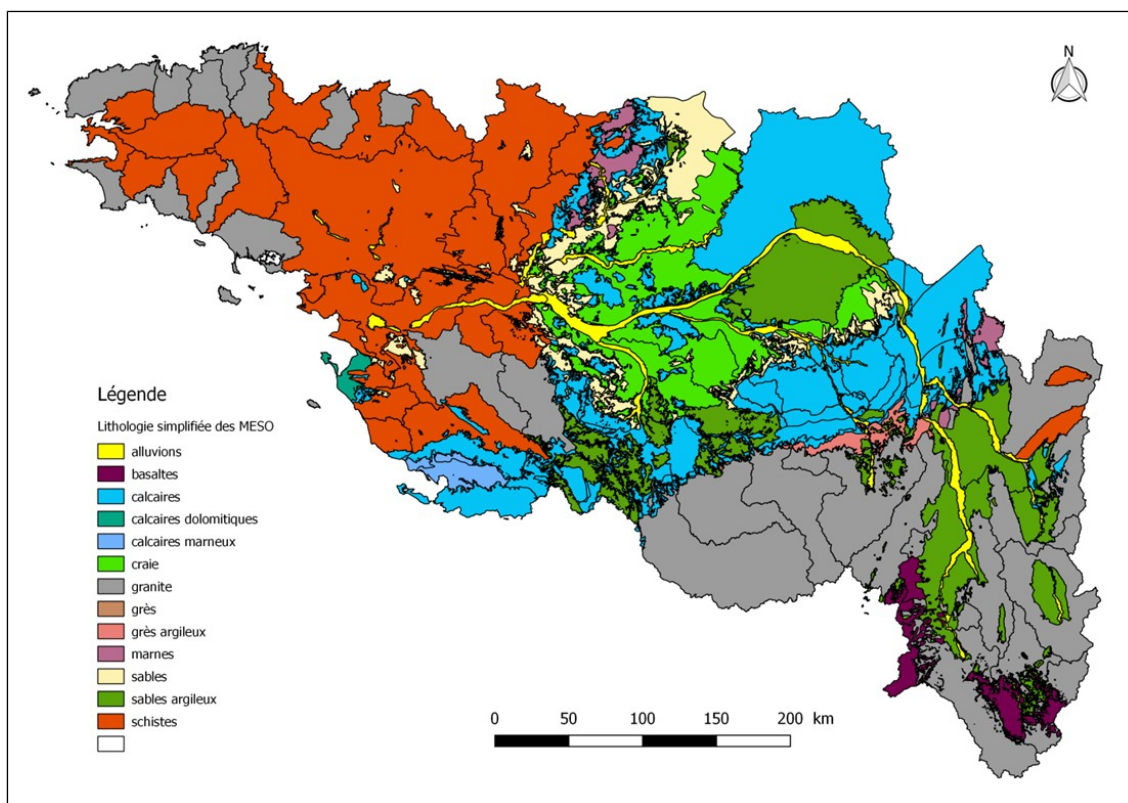
Les temps de transfert en Zone Non Saturée jouent un rôle important pour la compréhension des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines et sont nécessaires dans cette démarche pour estimer l'année de la pression à l'origine de l'état des eaux. Ils peuvent être estimés en considérant des vitesses de transfert issues de la littérature, et l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS³).

Les vitesses de transfert, l'épaisseur de la ZNS et les temps de transfert sont obtenus à l'échelle de la masse d'eau souterraine.

2.1.3.1. Vitesses de transfert en zone non saturée par masses d'eau souterraine

Les vitesses de transfert utilisées sont issues du travail de recherche bibliographique effectué par le BRGM dans le cadre de la méthode nationale. Les résultats de ces recherches ont permis d'attribuer une vitesse de transfert à une lithologie.

Ainsi dans un premier temps une lithologie simplifiée a été attribuée à chaque masse d'eau souterraine du bassin. Les lithologies identifiées sont les suivantes : granites ; schistes ; basaltes ; calcaires ; calcaires marneux et calcaires dolomitiques ; craie ; grès et grès argileux ; sables et sables argileux ; alluvions ; marnes (Carte 7).



Carte 7 : Lithologie simplifiée des masses d'eau souterraine

3

La Zone Non Saturée (ZNS) est la zone du sol non complètement saturée en eau au-dessus de la surface d'une nappe libre et où les écoulements se font de manière verticale.

La méthode nationale propose par la suite un tableau de correspondance entre vitesses de transfert et lithologies en fonction des données de la littérature (Tableau 4).

Tableau 4 : Tableau des données d'estimation des vitesses de transfert du nitrate (en m/an) en zone non saturée selon les contextes lithologiques et les régions issues de la littérature (source : Gourcy L, Pinson S., Surdyk N. (2017) – Rapport BRGM/RP-67428-FR)

	Calcaire	Craie	Loess	Limons	Zone altérée des granites/arénites	Grès	Sables	Dolomies, ignées, méta	Alluvions anciennes et fluvio-glaciaire	Argiles à silex	Référence
Vitesse d'infiltration (m/an)											
Artois-Picardie		0,54 à 1,45		0,4 à 0,5							Surdyk et al., 2014 ; Surdyk et al., 2016 ; Serhal et al., 2006 ; Serhal, 2006 ; Caous et al., 1984 ; Bernard et al. 2005
Somme		0,5 - 0,7									Normand et al.1999
Alsace			0,2 - 0,3								Baran et al. 2007
Champagne-Ardenne		0,27 à 0,7 0,32 à 0,5 (121AN01)									Kerbaul et al. 1979 ; Chabart et Baran, 2005 ; Landreau et Morisot, 1983 ; Balif et Muller, 1983 ; Seguin, 1986 ; Crampon et al., 1993 ; Philippe, 2011
Nord		1,25									Lacherez-Bastin, 2005
Nord-Pas-de-Calais		0,5 à 1,95									Baillon et al. 2001
Bretagne					2 à 3						Limousin, 2006 Legout et al. 2006 ; Molénat et al. 2013
Angleterre	0,6 à 2,5	0,3 à 1,4		0,3		0,6 à 3	3	1		0,2	Binley et al., 2002 Butcher et al., 2008 ; Wang et al. 2012 ; Wang et al., 2013
Belgique		1									Brouyère et al., 2004
Normandie		0,35 à 0,64 Jusqu'à 2,5 lorsque karstification									Arnaud et al., 2009 Crampon et al., 1993 Jauffret et al., 1984
Rhône-Alpes									4,7 à 6,5		Rousseau et al. 2016
Touraine		0,45								0,75	Landreau et Morisot, 1983

La méthode nationale propose alors de considérer les vitesses de transfert suivantes :

Lithologie	Vitesse de transfert (m/an) issue de la littérature
Calcaires	1,5
Craie	0,45
Sables	3
Grès	1,8
Altérites/granite	2,5

Les vitesses de transfert pour les lithologies manquantes (schistes, basaltes et marnes) sont issues de Wang et al. (2012), référence étudiée dans la cadre de la méthode.

Tableau 5 : Estimation des vitesses de transfert du nitrate en zone non saturée pour différentes lithologies en Angleterre (Wang et al., 2012)

Class	Type	Examples	Unsaturated zone flow rate (m year ⁻¹)
Aquifers with significant intergranular flow	Predominantly sands	Crag Group, Bracklesham and Barton Groups, Upper Greensand Formation, Lower Greensand Group, Bridport Sand Formation	3
	Predominantly silts	Solent Group, Lambeth Group, Thanet Sand Formation	0.3
Fractured aquifers	Karstic	Zechstein Group dolomite, Dinantian limestone, Durness Group	10
	Multi-layered Mesozoic aquifers	Corallian Group, Mercia Mudstone Group	1
	All Palaeozoic (except Zechstein Group dolomites and Permian mudstones), igneous and metamorphic rocks	Old Red Sandstone Supergroup, Coal Measures Group, Millstone Grit Group, granite, Lewisian complex	1
Aquitards	Clays (Jurassic and younger)	Thames Group, Kimmeridge Clay Formation, Oxford Clay Formation, Lias Group	0.1
	Permian mudstones		0.1

Ainsi des vitesses de transfert ont été attribuées à chacune des masses d'eau souterraine selon le **Tableau 6**.

Tableau 6 : Vitesses de transfert (en m/an) en zone non saturée selon les lithologies dominantes des masses d'eau souterraine

Lithologies	Vitesses de transfert
Marnes et argiles	0,1 m/an
Craie	0,45 m/an
Calcaires marneux	0,8 m/an (moyenne de 0,1 et 1,5)
Grès argileux	0,95 m/an (moyenne 0,1 et 1,8)
Schistes	1 à 2,5 m/an (selon la présence d'arénites)
Dolomie	1 m/an
Calcaires	1,5 m/an
Sables argileux	1,55 m/an (moyenne 0,1 et 3)
Basaltes	1,75 m/an
Grès	1,8 m/an
Granites	2,5 m/an

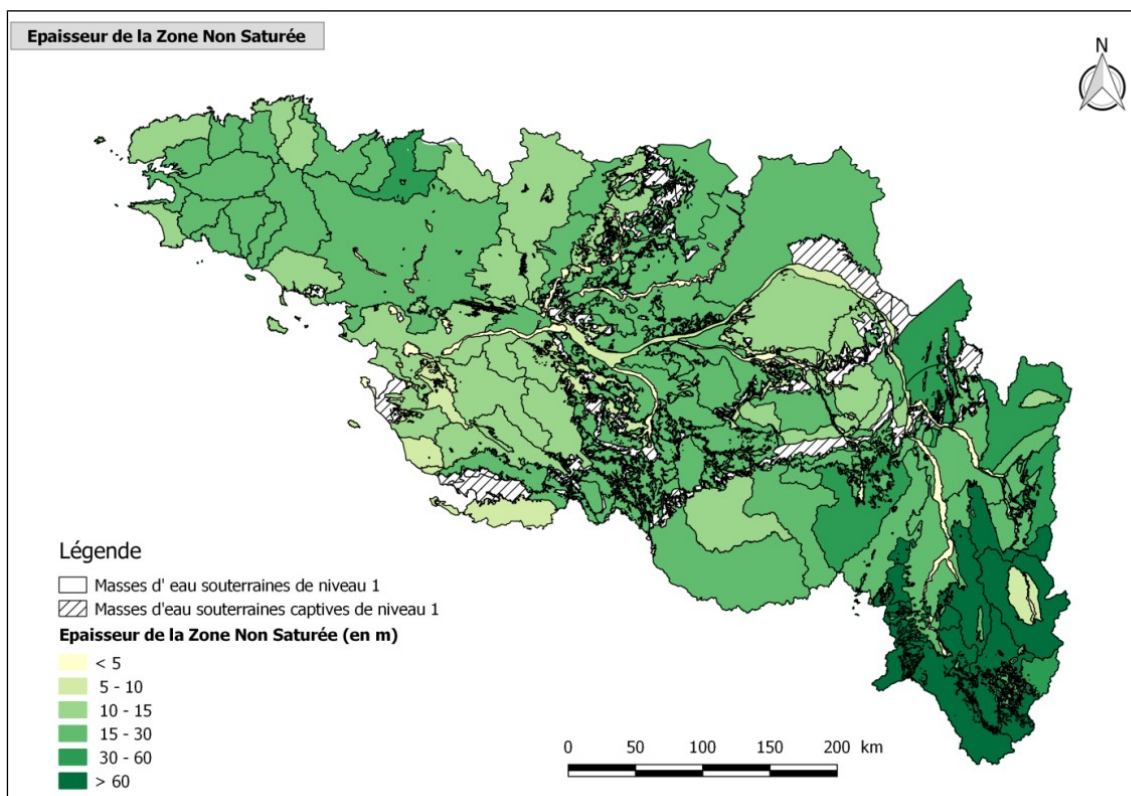
2.1.3.2. Epaisseur de la zone non saturée par masse d'eau souterraine

Pour l'élaboration de la méthode nationale, le BRGM a réalisé une grille d'épaisseur de la ZNS au pas de 50 m. Le calcul de cette grille est issu d'une étude nationale sur les remontées de nappe de 2011 (Allier et al., 2012) et s'est effectué en deux temps :

- Réalisation d'une carte des niveaux moyens des eaux souterraines, exprimés en altimétrie NGF ;
- Calcul de l'épaisseur de la zone non saturée par différence entre ces niveaux moyens des eaux souterraines et l'altitude du sol (obtenue à partir du Modèle Numérique de Terrain).

Le niveau moyen a été déterminé par croisement des données fournies par les cartes piézométriques complétées pour des profondeurs ponctuelles provenant de la banque de données du Sous-Sol (BSS) et des données issues des piézomètres de la banque nationale ADES (base d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines).

Selon la méthode nationale, les données ont été agrégées aux entités BDLisa sous forme de médiane. Ces valeurs par entité BDLisa, fournies par le BRGM, ont été agrégées aux masses d'eau souterraine en une moyenne pondérée par la surface des entités BDLisa par masse d'eau (Carte 8).



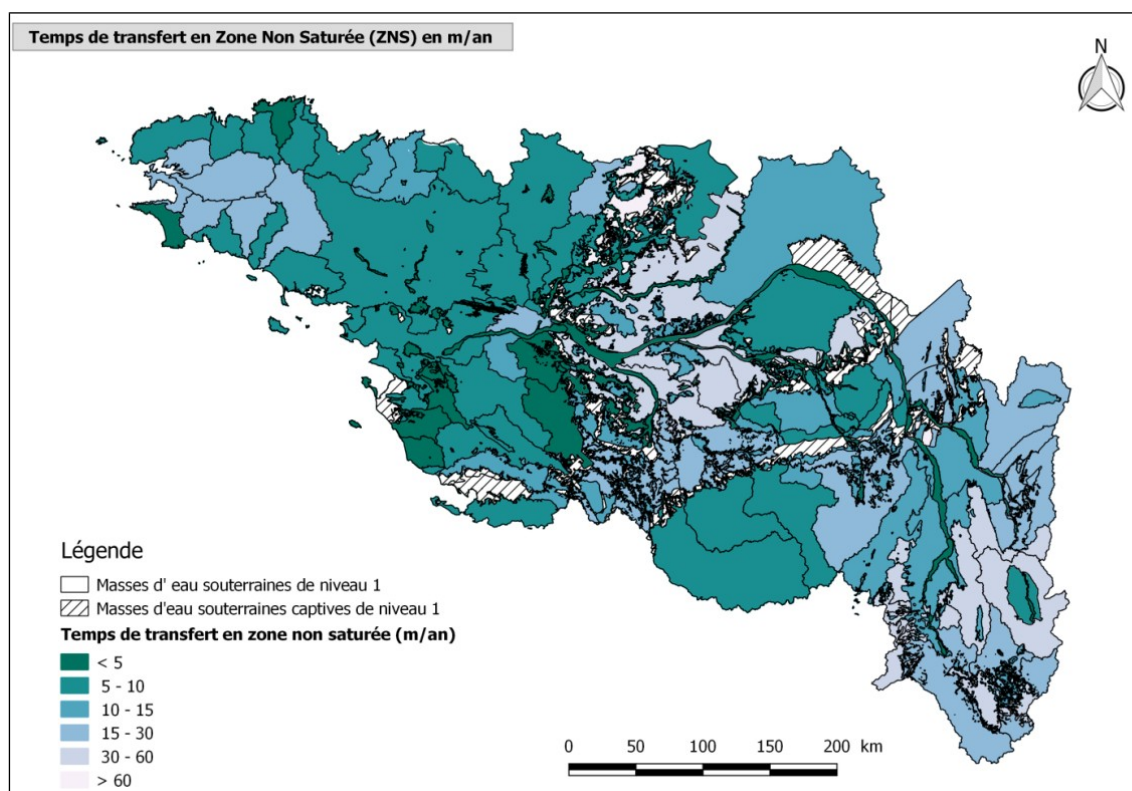
Carte 8 : Carte de l'épaisseur de la zone non saturée agrégée à la masse d'eau souterraine

L'épaisseur de la ZNS est la plus élevée dans le socle et les édifices volcaniques du Massif Central. Les plus faibles épaisseurs de ZNS sont visibles pour les alluvions et les bassins tertiaires du socle armoricain.

2.1.3.3. Temps de transfert en zone non saturée

Les temps de transfert en ZNS ont été obtenus via les vitesses de transfert et les épaisseurs de la ZNS.

La zone non saturée des alluvions étant de faible épaisseur, un temps de transfert de 5 ans a été considéré comme spécifié dans la méthode nationale.



Carte 9 : Temps de transfert en zone non saturée des masses d'eau souterraine

La Craie du Séno-Turonien, les édifices volcaniques et le socle du Massif central présentent les plus longs temps de transfert en zone non saturée.

A l'inverse le transfert est le plus rapide dans les alluvions, les bassins tertiaires du socle armoricain et certaines masses d'eau des Pays de la Loire.

2.1.4. DÉTERMINATION DU SURPLUS AZOTÉ RECALÉ (MOYENNE GLISSANTE SUR 5 ANS) PAR ENTITÉ DE TRAVAIL (POLYGONES COMMUNE/MASSE D'EAU SOUTERRAINE)

2.1.4.1. Modèle Cassis_N et surplus azoté

Les pressions azotées ont été évaluées à l'aide du modèle de balance azotée de surface de sol CASSIS_N, développé par l'Université de Tours. Ce modèle permet de calculer à l'échelle communale les surplus d'azote annuel à l'issue d'une année culturale, de 1955 à 2015.

Le surplus est calculé comme la différence entre les entrées et les sorties d'azote du sol (Figure 2) :

$$\text{Surplus} = N_{\text{Fix}} + N_{\text{Air}} + N_{\text{Min}} + N_{\text{Org}} - N_{\text{Exp}}$$

Où N_{Fix} est l'azote fixé par les légumineuses à partir du diazote atmosphérique, N_{Air} la déposition atmosphérique, N_{Min} et N_{Org} l'azote apporté par la fertilisation minérale et organique respectivement et N_{Exp} la quantité d'azote exportée du sol par les récoltes.

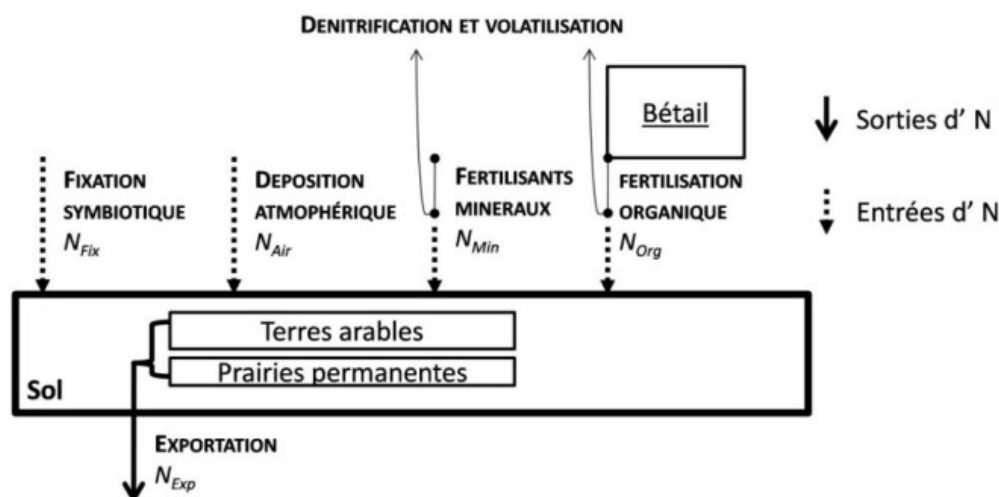


Figure 2 : Modèle CASSIS_N (source : Université de Tours)

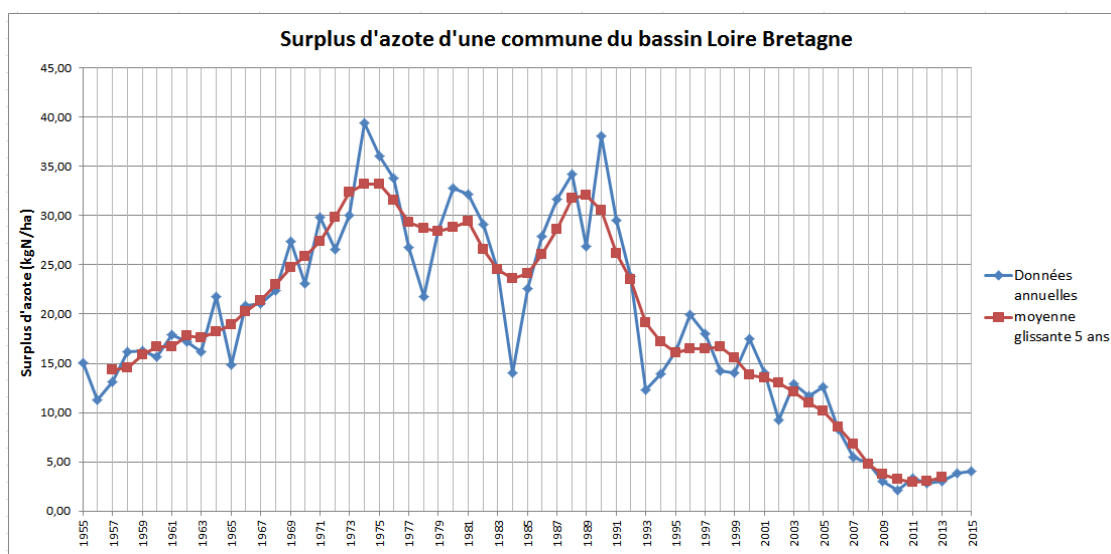
L'université de Tours a développé une interface web (<https://geosciences.univ-tours.fr/cassis/>) permettant de récupérer les résultats du modèle CASSIS_N. Celle-ci permet d'agrégier ces surplus azotés à toute autre échelle définie au préalable par l'utilisateur (cantons, régions agricoles, masses d'eau de surface, masses d'eau souterraine...). Le fichier résultat transmis par l'interface web donne les surplus d'azote en kilogrammes d'azote. Ces valeurs sont converties en kilogrammes d'azote par hectare de surface communale et non par hectare de Surface Agricole Utile (SAU) en raison de l'absence de données sur l'évolution des surfaces de SAU par bassin versant entre 1955 et 2015.

Afin d'avoir une échelle suffisamment fine de la pression en nitrate, les surplus d'azote ont été calculés à l'échelle communale.

2.1.4.2. Surplus azoté recalé (moyenne glissante sur 5 ans)

Une fois le décalage temporel entre pression et état, lié transfert en zone non saturée, calculé, il est nécessaire de définir une année de référence correspondant à l'année d'observation de l'état afin de calculer le surplus azoté « recalé », c'est-à-dire à l'origine de cet état.

Du fait des incertitudes et des fortes variations des surplus annuels calculés par le modèle CASSIS-N, et afin de tenir compte des incertitudes sur l'estimation des temps de transfert, la méthode nationale propose de travailler sur des données de surplus d'azote moyennées sur 5 ans par calcul de la moyenne glissante (Carte 10).

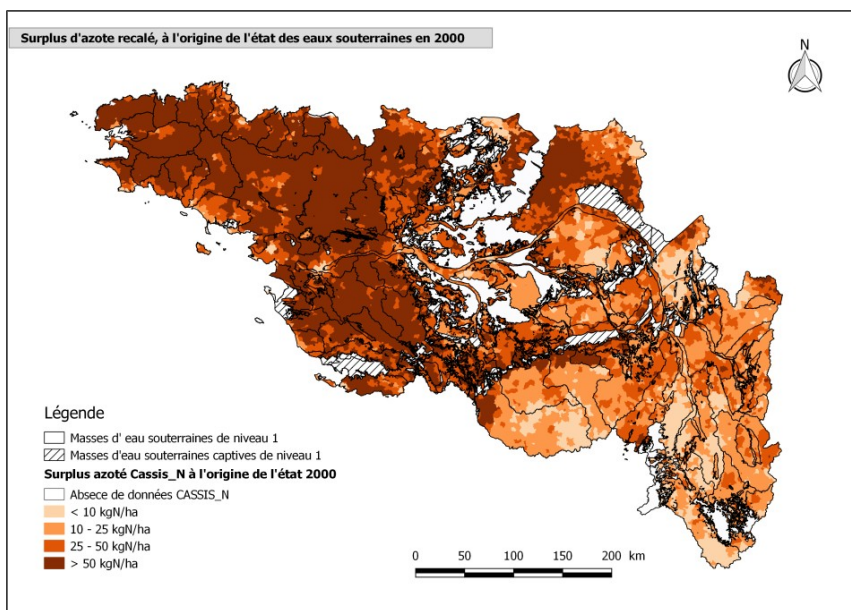


Carte 10 : Données annuelles et moyenne glissante sur 5 ans des surplus d'azote pour une commune du bassin Loire-Bretagne

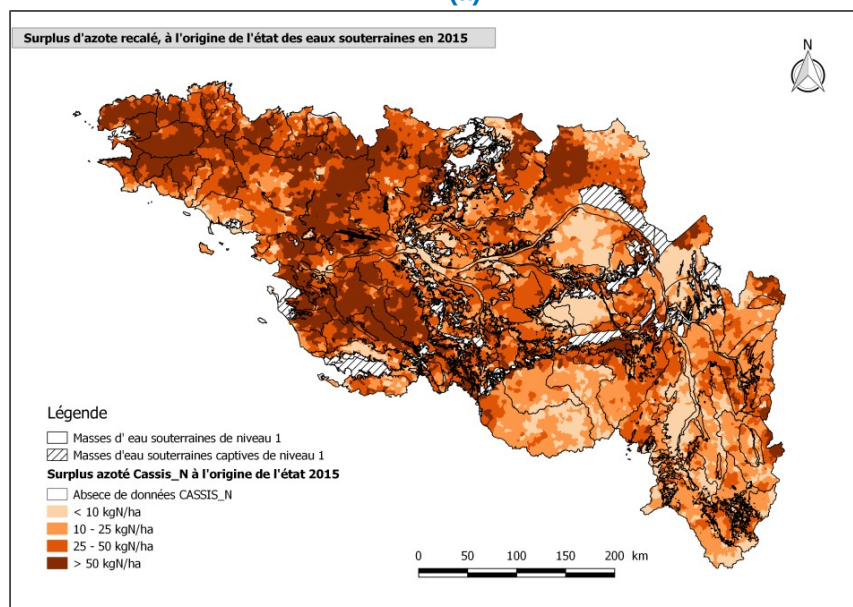
Cette valeur de surplus d'azote recalée et moyennée sur 5 ans est calculée pour chaque entité de travail (polygone issu du croisement communes/masses d'eau souterraine de niveau 1) et est utilisée par la suite pour le calcul de la pression brute.

Le modèle CASSIS_N permet d'obtenir des valeurs annuelles de surplus d'azote de 1955 à 2015. Le calcul des moyennes glissantes sur 5 ans est donc possible sur la période 1957-2013. Lorsque l'année de la pression, recalée par rapport à l'état est supérieure à 2013, il est fait l'hypothèse d'une stabilisation des pressions azotées futures. Dans ce cas la pression recalée sera égale à la moyenne glissante de 2013. Pour les années antérieures à 1957, la pression azotée ne peut pas être calculée.

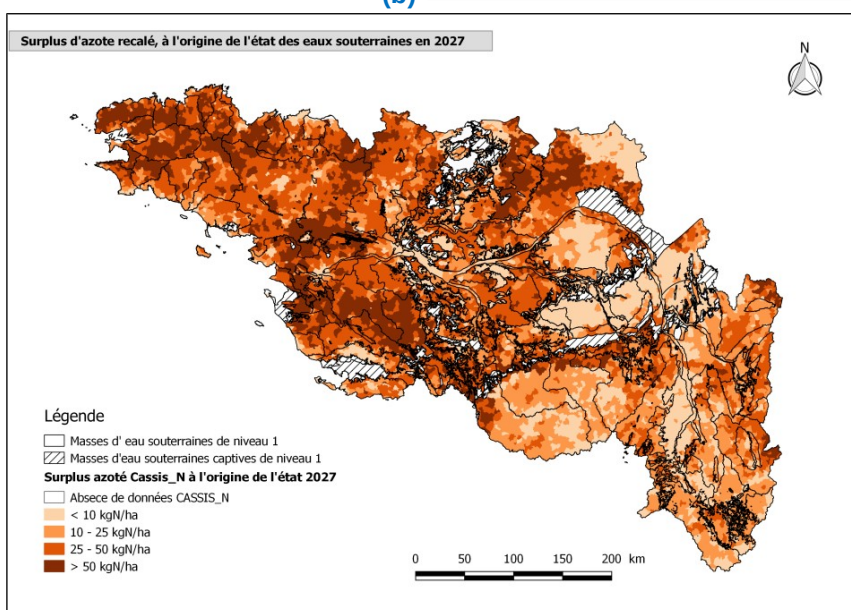
Afin de voir l'évolution des pressions en nitrates sur le bassin Loire-Bretagne, le calcul de la pression brute a été réalisé pour trois années de référence : 2000, 2015 et 2027 (Carte 11).



(a)



(b)



(c)

Carte 11 : Surplus d'azote recalé (en kgN/ha) à l'origine de l'état 2000 (a), 2015 (b) et 2027 (c)

2.1.5. PRESSION BRUTE EN NITRATE

2.1.5.1. Susceptibilité de transfert

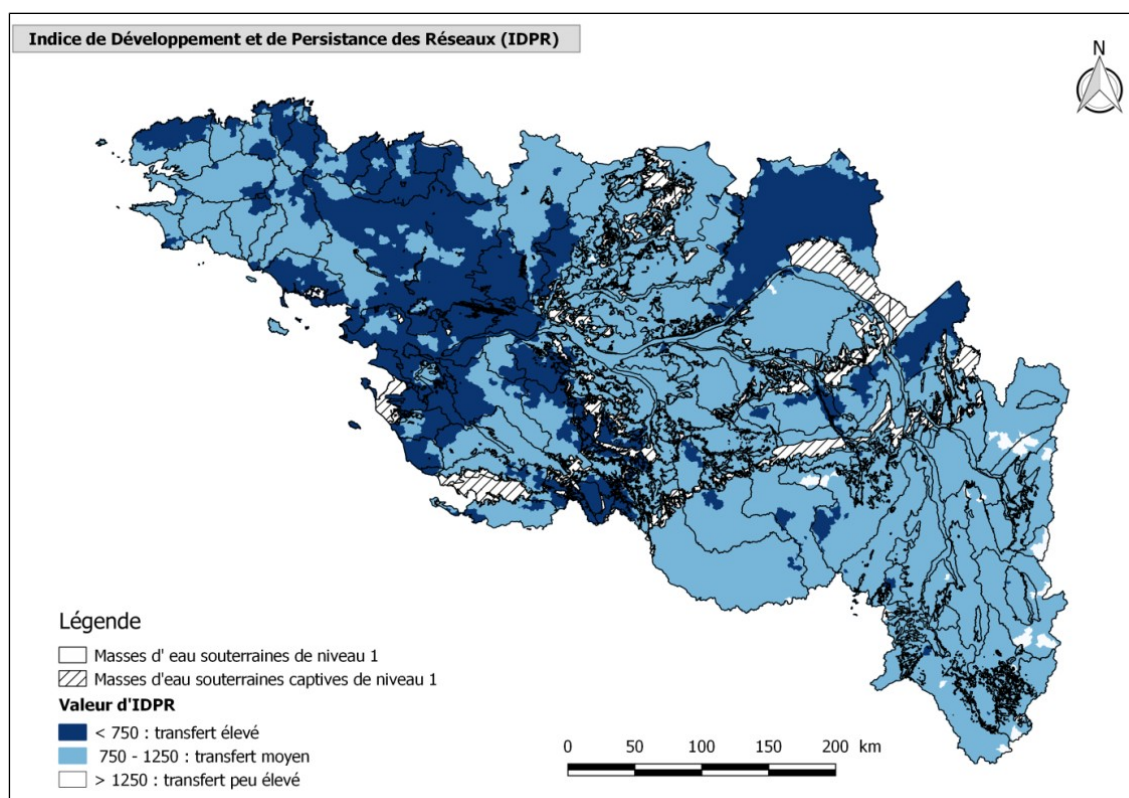
La susceptibilité de transfert des nitrates vers les eaux souterraines est caractérisée via l'IDPR (Indice de Développement et de Persistance des Réseaux), indicateur de l'aptitude des formations du sol et sous-sol à laisser s'infiltrer et/ou ruisseler les eaux de surface.

Le nouvel IDPR calculé en 2016/2017 par le BRGM se présente sous la forme d'une grille au pas de 25 m. Les valeurs d'IDPR ont été agrégées à chaque commune sous forme de médiane.

Trois classes de susceptibilité de transfert, issues de la méthode nationale ont été utilisées.

Tableau 7 : Classes de susceptibilité de transfert

Classe	Infiltration	IDPR
1	Peu élevée	> 1250
2	Moyenne	750 - 1250
3	Elevée	< 750



Carte 12 : Répartition des classes d'IDPR sur le bassin Loire-Bretagne

La susceptibilité de transfert des eaux de surface vers les eaux souterraines est globalement moyenne à l'échelle du bassin. Des zones plus vulnérables sont visibles selon une diagonale de la Vendée au Golfe de Saint-Brieuc, sur le Léon, en Beauce, dans le Nivernais et en Champagne Berrichonne.

2.1.5.2. Pression brute

La pression brute est déterminée pour chaque entité selon une grille de croisement du surplus d'azote recalé (moyenné sur 5 ans) et de la susceptibilité de transfert.

Le Tableau 8 présente la proposition de grille de classes de pression brute en nitrate.

Tableau 8 : Classes de pressions en nitrates selon le surplus d'azote recalé et l'IDPR

		Susceptibilité de transfert		
		IDPR ≤ 750 (transfert élevé)	750 < IDPR ≤ 1250 (transfert moyen)	IDPR > 1250 (transfert faible)
Surplus d'azote recalé (moyenne glissante sur 5 ans)	> 50 kgN/ha	3 : pression élevée	2 : pression moyenne	1 : pression peu élevée
	25 – 50 kgN/ha	2 : pression moyenne	2 : pression moyenne	1 : pression peu élevée
	< 25 kgN/ha	1 : pression peu élevée	1 : pression peu élevée	1 : pression peu élevée

Le passage d'une pression à l'échelle des polygones communes/masses d'eau à une pression à l'échelle des masses d'eau souterraine s'est effectué en considérant pour chaque masse d'eau la classe de pression la plus élevée présente sur le territoire de la masse d'eau si celle-ci représente plus de 20 % de sa surface. Par exemple si pour une masse d'eau souterraine, à l'échelle des entités communes/masses d'eau, la pression élevée représente 10 % de sa superficie, la pression moyenne 40 % et la pression peu élevée 50 %, alors la pression globale attribuée à la masse d'eau sera moyenne.

Ce critère de choix est cohérent avec le calcul de l'état chimique pour lequel une masse d'eau est déclassée pour un paramètre si celui-ci est représentatif de plus de 20 % de sa surface. Il est également cohérent avec la détermination du Risque de Non-Atteinte des Objectifs Environnementaux (RNAOE) pour lequel la pression sera significative si les conditions de pression-vulnérabilité concernent plus de 20 % de la surface de la masse d'eau en coïncidence avec les points d'eau « à risque ».

Les calculs à l'échelle des masses d'eau souterraine ont été effectués uniquement pour 2015 et 2027, la pression à l'origine de l'état 2000 n'étant pas utile pour la caractérisation du risque de non-atteinte des objectifs d'ici 2027.

2.1.6. LIMITES DE LA MÉTHODE

Plusieurs limites peuvent être citées :

- Estimation des vitesses de transfert :

Les vitesses utilisées pour le calcul des temps de transfert en ZNS sont identiques pour les masses d'eau ayant la même lithologie. Les contextes locaux ne sont donc pas pris en compte. La plupart de ces valeurs sont issues de la littérature et d'études non locales et menées hors bassin Loire-Bretagne, excepté pour les arénites et la craie respectivement issues d'études menées en Bretagne et en Touraine.

- Incertitudes liées au modèle CASSIS_N :

Le modèle CASSIS_N utilise des valeurs ayant une part d'incertitude (teneur en azote, valeur d'excrétion, valeurs issues de volumes statistiques) pouvant engendrer une imprécision sur le résultat.

Ces deux limites sont en partie prises en compte dans le calcul de la pression en nitrate puisque que le surplus d'azote recalé utilisé est une moyenne sur 5 ans de façon à lisser les valeurs de surplus d'azote du fait de ces incertitudes.

2.1.7. LIVRABLES

Dans le cadre de la concertation technique, sont livrés :

- un fichier SIG shape file contenant les attributs suivants :
 - o ID_ENTITE : code entité (polygone issu du croisement Masse d'eau souterraine/commune)
 - o MESO_EDL_2019 : code Masse d'eau souterraine
 - o TYPE_MESO : type MESO (A = alluvions ; DS = domaine sédimentaire ; EV = édifice volcanique ; S = socle ; IL = imperméable)
 - o NOM_MESO : nom de la Masse d'eau souterraine
 - o LITHO_SIMP : lithologie dominante de la Masse d'eau souterraine
 - o NATUR_ECOU : Nature de l'écoulement de la Masse d'eau souterraine (1 = libre ; 2 = captif ; 3 = majoritairement libre ; 4 = majoritairement captif)
 - o S_MESO_M2 : surface totale de la Masse d'eau souterraine en m²
 - o INSEE_COM : code INSEE de la commune
 - o NOM_COM : nom de la commune
 - o S_COM_M2 : surface de la commune en m²
 - o S_ENT_M2 : surface de l'entité en m²
 - o ZNS_M : épaisseur de la Zone Non Saturée de la Masse d'eau souterraine en m
 - o V_ZNS_M_AN : vitesse de transfert en Zone Non Saturée en m/an
 - o TPS_ZNS_AN : Temps de transfert en Zone Non Saturée en années
 - o IDPR_MED : IDPR médian calculé à la commune
 - o SUSCEP_TRA : Classes de susceptibilité de transfert (1 = peu élevée ; 2 = moyenne ; 3 = élevée)
 - o SURPLUS_00 : Moyenne glissante sur 5 ans des surplus d'azote à l'origine de l'état 2000, calculée à la commune en kgN/ha (-88888 = Pas de données CASSIS_N; -99999 = Surplus azoté recalé antérieur à 1957)
 - o P_NO3_2000 : Classes de pressions en nitrates à l'origine de l'état 2000 (1 = Pression peu élevée ; 2 = Pression moyenne ; 3 = Pression élevée ; 777=Nappes captives (pas de calcul) ; 999 = absence de données CASSIS_N ou pression antérieure à 1957)
 - o SURPLUS_15 : Moyenne glissante sur 5 ans des surplus d'azote à l'origine de l'état 2015, calculée à la commune en kgN/ha (-88888 = Pas de données CASSIS_N; -99999 = Surplus azoté recalé antérieur à 1957)
 - o P_NO3_2015 : Classes de pressions en nitrates à l'origine de l'état 2015 (1 = Pression peu élevée ; 2 = Pression moyenne ; 3 = Pression élevée ; 777=Nappes captives (pas de calcul) ; 999 = absence de données CASSIS_N ou pression antérieure à 1957)
 - o SURPLUS_27 : Moyenne glissante sur 5 ans des surplus d'azote à l'origine de l'état 2027, calculée à la commune en kgN/ha (-88888 = Pas de données CASSIS_N; -99999 = Surplus azoté recalé antérieur à 1957)
 - o P_NO3_2027 : Classes de pressions en nitrates à l'origine de l'état 2027 (1 = Pression peu élevée ; 2 = Pression moyenne ; 3 = Pression élevée ; 777=Nappes captives (pas de calcul) ; 999 = absence de données CASSIS_N ou pression antérieure à 1957)
- Un fichier excel contenant trois onglets :
 - o Un onglet « LISEZ_MOI » expliquant et décrivant les attributs des deux autres onglets ;
 - o Un onglet « P_NO3_MESO_COM » comprenant les résultats par Entité (polygones issus du découpage masses d'eau souterraines de niveau 1 par les communes). Les attributs sont identiques au fichier SIG shape file décrit ci-dessus ;
 - o Un onglet « P_NO3_MESO » comprenant les résultats par Masses d'eau souterraine.

2.2. MÉTHODOLOGIE DE LA CARACTÉRISATION DE LA PRESSION EN PESTICIDES

2.2.1. RÉSUMÉ DE LA MÉTHODE

La caractérisation de la pression en pesticides sur les eaux souterraines repose sur l'exploitation des données quantitatives de la BNV-d (Banque nationale des ventes pour les distributeurs). Ces données ont permis d'identifier les masses d'eau pour lesquelles les ventes et donc, par hypothèse, l'usage des pesticides sont les plus importantes.

Cependant certaines substances, de par leurs propriétés, sont plus ou moins mobiles et susceptibles d'être retrouvées dans les eaux souterraines. Pour cela, l'utilisation de l'indice GUS (Groundwater Ubiquity Score) des molécules, a permis de sélectionner les molécules les plus mobiles.

Par la suite, afin de corréler l'usage des pesticides aux capacités de transfert vers les eaux souterraines, les ventes en pesticides répertoriées à la commune du distributeur ont été agrégées à la masse d'eau souterraine sous forme de moyenne annuelle et combinées à l'IDPR, caractérisant l'infiltration ou le ruissellement des eaux de surface.

Pour finir, les temps de transfert en zone non saturée de chacune des masses d'eau souterraine ont été comparés au temps de vie demi-vie le plus long des molécules vendues sur le bassin Loire-Bretagne. De cette façon, le temps de transfert minimal au bout duquel les pesticides se seront suffisamment dégradés avant d'atteindre les eaux souterraines a été caractérisé.

L'utilisation des données de la BNV-d ne permet de prendre en compte que les molécules mères autorisées à la vente. Les molécules interdites et les métabolites ne sont donc pas pris en compte dans le calcul de la pression en pesticides.

2.2.2. ECHELLE DE TRAVAIL

Les unités de travail considérées sont les masses d'eau souterraine de niveau 1 du référentiel des masses d'eau souterraine de l'état des lieux 2019. Ce sont donc 145 masses d'eau qui sont concernées.

Tout comme la pression en nitrate, aucune pression en pesticides n'a été calculée pour les nappes captives de niveau 1 en raison de la non-prise en compte de leur couverture imperméable sus-jacente.

2.2.3. IDENTIFICATION DE L'USAGE ET DE L'APTITUDE DES MOLÉCULES À TRANSFÉRER

2.2.3.1. Usage des pesticides

Les données d'usage des pesticides proviennent de la BNV-d (Banque nationale des ventes pour les distributeurs), base de données permettant de récolter les quantités annuelles de pesticides vendues par commune du vendeur.

Cette base est alimentée depuis 2009 par les déclarations des bilans annuels des ventes de produits phytosanitaires des distributeurs agréés auprès des agences de l'eau dans le cadre de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) de décembre 2006 et des dispositions associées en matière de traçabilité.

A ce jour, un travail de spatialisation de la BNV-d est en cours, mené par l'INRA de Toulouse et l'INERIS. En l'absence des résultats de ces travaux, la caractérisation des pressions a reposé sur l'exploitation des données de vente de la BNV-d non spatialisées. Les données annuelles de ventes à la commune du distributeur sont agrégées à l'échelle de la masse d'eau souterraine selon l'hypothèse que les substances sont en totalité utilisées à proximité du point de vente.

Depuis le 1^{er} janvier 2016, le rapportage des données est obligatoire au code postal des acheteurs. Les quantités rattachées à la commune du point de vente sur la période 2008-2015 ont toutefois été utilisées, afin d'avoir un jeu de données suffisant dans le temps.

2.2.3.2. Aptitude des molécules à transférer à travers le sol

Le comportement des pesticides et leur risque de transfert vers les eaux souterraines est représenté par l'indice GUS (Groundwater Ubiquity Score, Gustafon, 1989). Le calcul de cet indice repose sur le coefficient d'adsorption (normalisé à la teneur en carbone organique du sol ; K_{oc}) et la demi-vie dans le sol (DT_{50}) des molécules, propriétés favorisant ou non le transfert vers les eaux souterraines :

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

C'est un indice empirique de lixiviation qui permet de classer les pesticides selon les capacités à transférer vers les eaux souterraines. Les pesticides présentent un risque élevé de lessivage pour un $GUS < 1,8$ et un risque faible de lessivage pour un $GUS > 2,8$. Entre ces deux valeurs, il est difficile de conclure.

Les temps de demi-vie et les coefficients d'adsorption permettant le calcul du GUS sont issus de la base de données SIRIS de 2012, complétées par les données du BRGM. L'indice GUS a pu être calculé pour 490 substances de la BNV-d.

2.2.3.3. Rattachement des ventes communales à l'échelle masse d'eau souterraine

Afin de tenir compte des propriétés de mobilité des molécules, seules les substances ayant un GUS supérieur à 1,8 (molécules moyennement à fortement mobiles) sont considérées pour le calcul de la pression. Les molécules dont le GUS est inférieur à 1,8 sont considérées comme pas assez mobiles pour représenter une pression significative sur les eaux souterraines. 128 pesticides sont sélectionnés selon ce critère.

Néanmoins certaines molécules présentant un risque faible de lessivage ($GUS < 1,8$), peuvent tout de même être retrouvées dans les eaux souterraines en raison d'un usage abondant. C'est notamment le cas du glyphosate. Afin de ne pas écarter de la démarche des molécules pouvant représenter une pression du fait de leur importante utilisation, les quantités vendues à l'échelle du bassin ont été analysées. Ainsi, les substances peu mobiles ($GUS < 1,8$) mais vendues en moyenne à plus de 100 000 kg/an sur l'ensemble du bassin ont également été incluses dans le calcul, soit 13 pesticides supplémentaires.

La caractérisation de la pression en pesticides s'appuie donc sur les ventes de 141 molécules. La liste de ces molécules est donnée en ANNEXE 1.

Est ensuite calculée, pour chaque commune, la quantité annuelle de pesticides vendus (somme des ventes des 141 substances sélectionnées) de 2008 à 2015.

La méthode nationale⁴ propose d'associer les ventes communales à la masse d'eau souterraine dans laquelle la surface communale est la plus grande. Cependant, avec cette méthode, certaines masses d'eau très étroites ou petites ne sont associées à aucune commune.

Afin d'avoir des données sur l'ensemble des masses d'eau souterraine de niveau 1, il a été choisi d'agrèger les ventes au prorata de la surface de chaque commune au sein de la masse d'eau souterraine. Par exemple si une commune possède 30 % de sa surface au droit d'une masse d'eau souterraine et 70 % au droit d'une seconde masse d'eau alors 30 % de ventes de cette commune sont associés à la première masse d'eau et 70 % à l'autre.

2.2.3.4. Classement des masses d'eau souterraine selon la quantité moyenne annuelle de pesticides vendus

Une fois les sommes des ventes de pesticides obtenues par année de 2008 à 2015 et par masse d'eau, les ventes sont divisées par la surface totale de la masse d'eau de façon à avoir des quantités de pesticides vendues en grammes par hectare de masses d'eau.

Dans le cas des pesticides, les conditions de transfert et les réactions en zone non saturée sont complexes et très différentes d'une molécule à l'autre. Contrairement aux nitrates, il n'est ainsi pas possible d'identifier

4

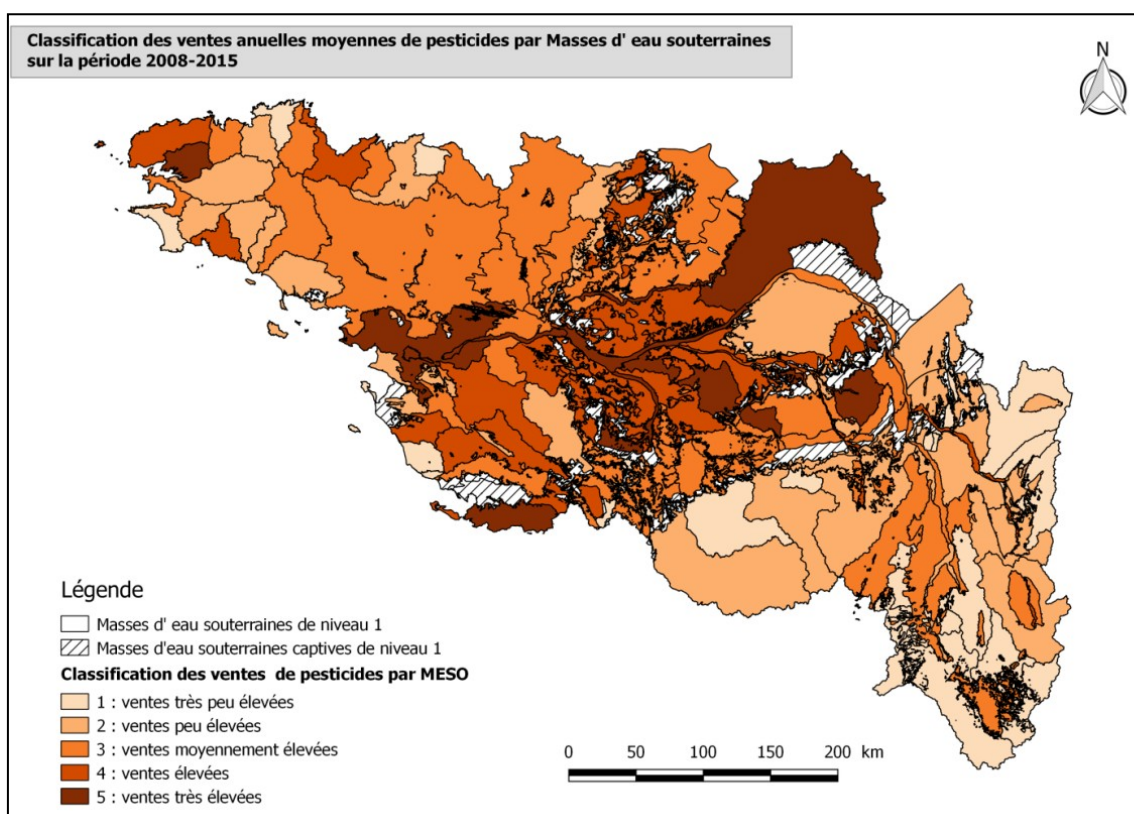
Méthode appliquée à l'échelle nationale pour l'étude pression-impact des substances phytosanitaires sur les eaux souterraines – Auterives C., Baran N. (2017) – BRGM/RP-67453-FR.

l'année de la pression qui est ou sera à l'origine de l'état. Ainsi, c'est la moyenne 2008-2015 des ventes annuelles qui est utilisée par la suite.

Un classement selon des critères statistique a été choisi afin de classer les masses d'eau les unes par rapport aux autres et de mettre en évidence les secteurs où les ventes de pesticides sont les plus importantes (Tableau 9).

Tableau 9 : Classes des ventes de pesticides

Classes des ventes	Critère	Moyenne 2008-2015 des ventes en g/ha	Description
1	< 1 ^{er} quartile	< 100	Ventes très peu élevées
2	1 ^{er} quartile – médiane	100 - 316	Ventes peu élevées
3	Médiane – 3 ^{ème} quartile	316 - 847	Ventes moyennes
4	3 ^{ème} quartile – percentile 90	847 - 1765	Ventes élevées
5	Percentile 90	>1765	Ventes très élevées



Carte 13 : Carte des classes de ventes de pesticides par masse d'eau souterraine de niveau 1

2.2.4. PRESSION BRUTE EN PESTICIDES

2.2.4.1. Susceptibilité de transfert

Comme pour les nitrates, la susceptibilité de transfert est traduite par l'IDPR (Indice de développement et de Persistance des réseaux), indicateur sur le caractère infiltrant ou ruisselant des sols.

Le nouvel IDPR calculé en 2016/2017 par le BRGM se présente sous la forme d'une grille au pas de 25 m, agrégé pour chaque masse d'eau souterraine sous forme de médiane.

En fonction de la répartition des valeurs de l'IDPR médian, quatre classes d'infiltration ont été déterminées (Tableau 10).

Tableau 10 : Classes de susceptibilité de transfert

Classe	Infiltration	IDPR
1	Faible	>1200
2	Moyenne	800 - 1200
3	Elevé	400 - 800
4	Très élevée	< 400

2.2.4.2. Dégradation des pesticides en zones non saturée (ZNS)

Afin d'intégrer les caractéristiques de chaque masse d'eau à laisser transférer ou non les polluants, la vitesse de transfert en ZNS de chaque masse d'eau, calculée dans le cadre du calcul de la pression en nitrates, est réutilisée ici.

Considérer les temps de transfert en ZNS permet d'identifier les masses d'eau souterraine pour lesquelles celui-ci sera suffisamment long pour permettre aux molécules de se dégrader avant que ces derniers n'atteignent la zone saturée. Pour cela les temps de transfert de chacune des masses d'eau souterraine sont comparés aux temps de demi-vie des molécules. Si ce temps de transfert est supérieur à la demi-vie de la molécule considérée alors celle-ci se sera dégradée à plus de 50 % avant d'atteindre les eaux souterraines et ne représentera pas la même pression qu'une substance qui n'aura pas eu le temps de se dégrader.

De façon à simplifier la démarche en évitant de comparer temps de transfert et demi-vie pour chaque molécule vendue sur chacune des masses d'eau, seul le temps de demi-vie le plus long a été pris en compte. Ainsi, un temps de transfert supérieur à cette demi-vie implique que toutes les molécules vendues sur la masse d'eau souterraine considérée se seront dégradées à plus 50 % avant d'atteindre les eaux souterraines.

En considérant l'ensemble des molécules de la BNV-d dont la demi-vie est connue, la demi-vie la plus longue est de 10 000 jours (environ 27 ans) correspondant à une molécule peu vendue et peu mobile. La seconde demi-vie la plus longue est de 4 917 jours (soit environ 13,5 ans) correspondant à une molécule fortement mobile (GUS>2,8).

De façon à être ni trop optimiste, ni trop pessimiste, il est considéré que pour les masses d'eau ayant un temps de transfert supérieur à 27 ans une très grande majorité des pesticides les plus mobiles se seront dégradés avant d'atteindre les eaux souterraines. Ainsi la classe de pression 1 « Pression très peu élevée » est attribuée à ces masses d'eau.

Comme spécifié dans le paragraphe des limites de la méthode, les métabolites ne sont pas pris en compte, faute de connaissance, et la pression brute finale présentée est celles des molécules mères vendues sur le bassin Loire-Bretagne.

2.2.4.3. Pression brute

La pression brute en pesticides est déterminée pour chaque masse d'eau souterraine selon une grille de croisement de la moyenne annuelle des ventes de pesticides et de la susceptibilité de transfert.

Le Tableau 11 présente la proposition de grille de classes de pression brute en pesticides.

Tableau 11 : Classes de pressions en pesticides selon les quantités de pesticides vendus et l'IDPR

Infiltration Ventes annuelles moyennes	4 : très élevée	3 : élevée	2 : moyenne	1 : faible
5 : très importante	5 : pression très élevée	5 : pression très élevée	4 : pression élevée	3 : pression moyenne
4 : importante	5 : pression très élevée	4 : pression élevée	3 : pression moyenne	3 : pression moyenne
3 : moyenne	4 : pression élevée	3 : pression moyenne	3 : pression moyenne	2 : pression peu élevée
2 : faible	3 : pression moyenne	2 : pression peu élevée	2 : pression peu élevée	1 : très faible pression
1 : très faible	2 : pression peu élevée	2 : pression peu élevée	1 : pression très peu élevée	1 : pression très peu élevée

2.2.5. LIMITES DE LA MÉTHODE

Plusieurs limites peuvent être citées :

- **La spatialisation des données de ventes des pesticides :**

En effet, les quantités vendues sont disponibles à la commune du distributeur et il est fait l'hypothèse que les molécules sont utilisées à proximité du point de vente. Les données de ventes à l'échelle de l'acheteur seront intéressantes lorsque plusieurs années de données seront disponibles. De même le travail en cours de spatialisation de la BNV-d par l'INERIS et l'INRA de Toulouse sera un outil plus approprié une fois celui-ci terminé.

- **L'agrégation des ventes communales à la masse d'eau souterraine :**

Pour les masses d'eau peu larges, telles que les alluvions, les ventes sont agrégées à la masse d'eau souterraine au prorata de la surface communale se trouvant au droit de celle-ci. Or, pour les alluvions, les quantités de pesticides vendus sur certaines communes peuvent être attribuées en majorité aux masses d'eau voisines alors que les molécules sont utilisées sur les alluvions. Les pressions peuvent ainsi y être sous-estimées.

- **La non-prise en compte des métabolites :**

L'utilisation des données de la BNV-d ne permet de prendre en compte que les molécules mères autorisées à la vente. Les molécules interdites et les métabolites ne sont donc pas pris en compte dans le calcul de la pression en pesticides.

En effet, l'objectif de la démarche Etat des Lieux est d'identifier les zones prioritaires où la pression est à l'origine du mauvais état afin de mettre en place des actions pour la reconquête de la qualité. Or dans le cas des molécules interdites et de leurs métabolites, l'action en cours est l'interdiction, la seule possibilité désormais est d'attendre que ces molécules disparaissent naturellement. Concernant les métabolites des pesticides autorisés actuellement, en l'absence de connaissances sur leurs caractéristiques et leur comportement dans les sols et les eaux souterraines, le seul levier d'action possible est d'agir sur la molécule mère. C'est pourquoi la prise en compte des métabolites constituerait une amélioration à apporter pour le calcul de la pression en pesticides mais n'a pas été possible dans le cadre de cet Etat des lieux.

2.2.6. LIVRABLES

Dans le cadre de la concertation technique est livré un fichier excel comprenant deux onglets :

- Un onglet « LISEZ_MOI » expliquant et décrivant les attributs des deux autres onglets ;
- Un onglet « P_PEST_MESO » comprenant les résultats des calculs de la pression en pesticides par Masse d'eau souterraine. Les colonnes de cet onglet sont les suivants :
 - o MESO_2019 : code de la masse d'eau souterraine
 - o NOM_MESO : nom de la masse d'eau souterraine
 - o NATUR_ECOUL : Nature de l'écoulement de la masse d'eau souterraine (1 = libre ; 2 = captif ; 3 = majoritairement libre ; 4 = majoritairement captif)
 - o QTE_VENTE_MOY_G_HA : Quantité annuelle de pesticides vendue en moyenne entre 2008 et 2015 par MESO en g/ha
 - o CLASSE_VENTE : Classement des quantités annuelles de pesticides vendues en moyenne par MESO (5 = très importante ; 4 = importante ; 3 = moyenne ; 2 = faible ; 1 = très faible ; 777 = Nappes captives (pas de calcul))
 - o IDPR_MED : IDPR médian par masse d'eau souterraine
 - o CLASSE_IDPR : Classement des masses d'eau souterraines selon la valeur de l'IDPR (4 = IDPR ≤ 400 ; 3 = IDPR compris entre 400 et 750 ; 2 = IDPR compris entre 750 et 1250 ; 1 = IDPR > 1250 ; 777 = Nappes captives (pas de calcul))
 - o TPS_TRANS_AN : Temps de transfert en zone non saturée (en années)
 - o P_PEST : Classe de pressions en pesticides sur les eaux souterraines (5 = Pression très élevée ; 4 = Pression élevée ; 3 = Pression moyenne ; 2 = Pression peu élevée ; 1 = Pression très peu élevée ; 777 = Nappes captives (pas de calcul))

3. TENDANCES D'ÉVOLUTION DES PRESSIONS NITRATES ET PESTICIDES

3.1. TENDANCES D'ÉVOLUTION DES NITRATES

3.1.1. CONTEXTE

La mise à jour de l'état des lieux réalisé en 2013 nécessite de réévaluer les risques de non atteinte des objectifs environnementaux (RNAOE) et notamment le risque de dépassement des valeurs seuils en nitrates. La caractérisation du « risque nitrate » se compose de trois volets distincts :

- l'analyse des pressions reposant sur l'apport des nitrates sur les sols,
- l'évaluation de l'état des masses d'eau (non dépassement de la valeur seuil de 50mg/l),
- le scénario tendanciel (évolution des pressions et tendances des concentrations en nitrates).

Cette note présente les tendances d'évolution des pressions nitrates sur la période 2000-2015 puis 2015-2027.

3.1.2. MÉTHODE DE CALCUL DES TENDANCES

La méthode Mann Kendall

La méthode Mann-Kendall est une méthode statistique permettant de valider ou d'invalider une tendance sur la base d'hypothèses de probabilité. L'avantage d'un test de Mann-Kendall, comparé à des tests classiques de type Student, effectués lors d'une régression linéaire simple, est que ce dernier intègre les variations saisonnières comme composante de la tendance. Il offre comme avantage d'être assez peu sensible aux valeurs extrêmes en ne se focalisant que sur la tendance des points les uns par rapport aux autres.

Le test de Mann-Kendall pose des restrictions de validation forte si la chronique de données est faible et donc invalide des chroniques insuffisantes (moins de 10 données).

Le test de Mann-Kendall ne donne en aucun cas l'orientation de la tendance (hausse ou baisse) mais propose un résultat (appelé p-value) qui évalue la probabilité que la tendance observée soit bien réelle. Classiquement, le seuil de 95 % de confiance est retenu pour valider une tendance.

L'indicateur qui évalue la tendance en elle-même (hausse ou baisse) est la **pente de SEN**.

La pente de SEN

La pente de SEN, consiste à retenir comme valeur de tendance la médiane de l'ensemble des taux d'accroissement qu'il est possible de calculer entre deux points de la chronique. Pour la calculer, il faut donc constituer toutes les paires de points possibles au sein de la chronique (ces points ne correspondant pas nécessairement à deux dates consécutives) puis calculer le taux d'accroissement entre les deux points formant chacune de ces paires. La pente de SEN est couramment utilisée pour les Eaux Souterraines ou encore dans le domaine de l'hydrologie.

Dans le cas du calcul des tendances, la pente de Sen est exprimée en kilogramme d'azote par hectare et par an.

Le test de Kendall Régional

Ce test suit la même logique que le test de Kendall saisonnier, variante du test de Mann-Kendall permettant d'estimer des tendances de séries cycliques saisonnières. Le principe du test de Kendall saisonnier est identique au test de Mann-Kendall à la différence que pour des données mensuelles ayant une saisonnalité de 12 mois, ce n'est pas une tendance globale sur la série qui est recherchée, mais si d'une période à l'autre il y a une tendance.

Le test de le Kendall régional fonctionne sur le même principe, la saison étant remplacée par l'unité spatiale.

Les surplus azotés pour le calcul des tendances

La pression en nitrates est déterminée par croisement des valeurs d'IDPR et de surplus azotés. L'IDPR étant constant dans le temps, l'estimation des tendances de la pression en nitrates est donc basée sur l'évolution du surplus d'azote, seule variable temporelle.

Ainsi, pour chaque année entre 2000 et 2015 puis 2015 et 2027, et pour chaque entité, la moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote, à l'origine de l'état pour l'année correspondante, est calculée. Une tendance est donc calculée pour chacune des 14 762 entités selon une chronique de 16 valeurs annuelles.

Le test de Kendall régional est effectué avec les masses d'eau souterraine comme unité spatiale.

3.1.3. TENDANCES D'ÉVOLUTION DE LA PRESSION EN NITRATES SUR LA PÉRIODE 2000-2015

3.1.3.1. Résultats du test de Mann-Kendall

D'après les résultats du calcul de tendance avec le logiciel Hype (Figure 3) :

- le calcul est impossible pour 3% des entités ;
- 28 % des entités présente une chronique stationnaire ou sans tendance significative ;
- 1 % des entités présente une tendance stable (pente de Sen entre -0,1 et 0,1 kgN/ha/an) ;
- 16 % des entités présente une tendance à la hausse ;
- 52 % des entités présente une tendance à la baisse.

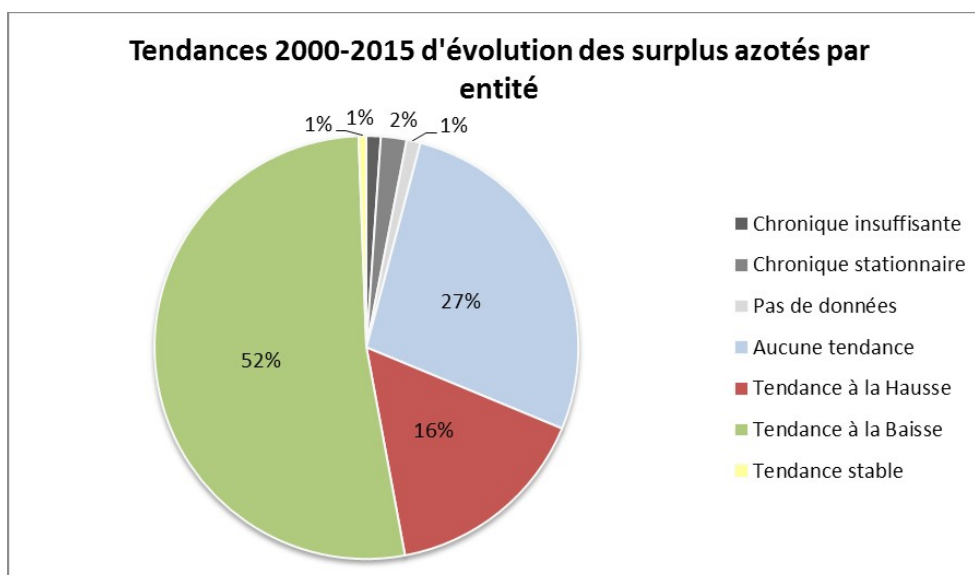


Figure 3 : Part de chacune des tendances d'évolution de la pression en nitrate observées par entité sur la période 2000-2015 (test Mann-Kendall)

Une analyse par région et par type de masse d'eau (Figure 4 et Figure 5) montre que :

- Les entités présentant une tendance à la hausse sont majoritaires par rapport aux autres tendances pour la région Occitanie.
- Les entités présentant une tendance à la baisse sont majoritaires par rapport aux autres tendances pour les régions Bretagne, Centre-Val de Loire, Ile-de-France, Normandie, Nouvelle-Aquitaine et Pays de la Loire.
- Les entités ne présentant aucune tendance significative sont majoritaires dans les régions Auvergne-Rhône-Alpes et Bourgogne-Franche-Comté.
- L'ensemble de type masse d'eau souterraine, excepté les édifices volcaniques présentent en majorité des tendances à la baisse. Les masses d'eau en domaine sédimentaire présentent le pourcentage le plus élevé de tendance à la hausse.
- La région Occitanie possède le pourcentage le plus élevé d'entités en tendance stable.

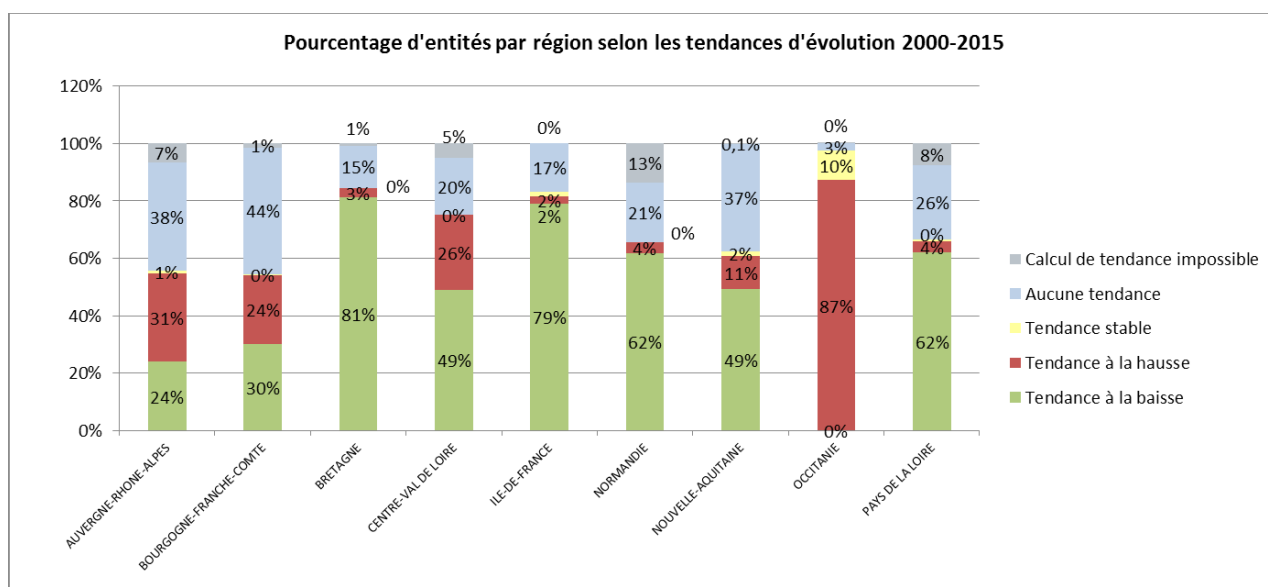


Figure 4 : Pourcentage d'entités par région selon les tendances d'évolution de la pression en nitrate sur la période 2000-2015

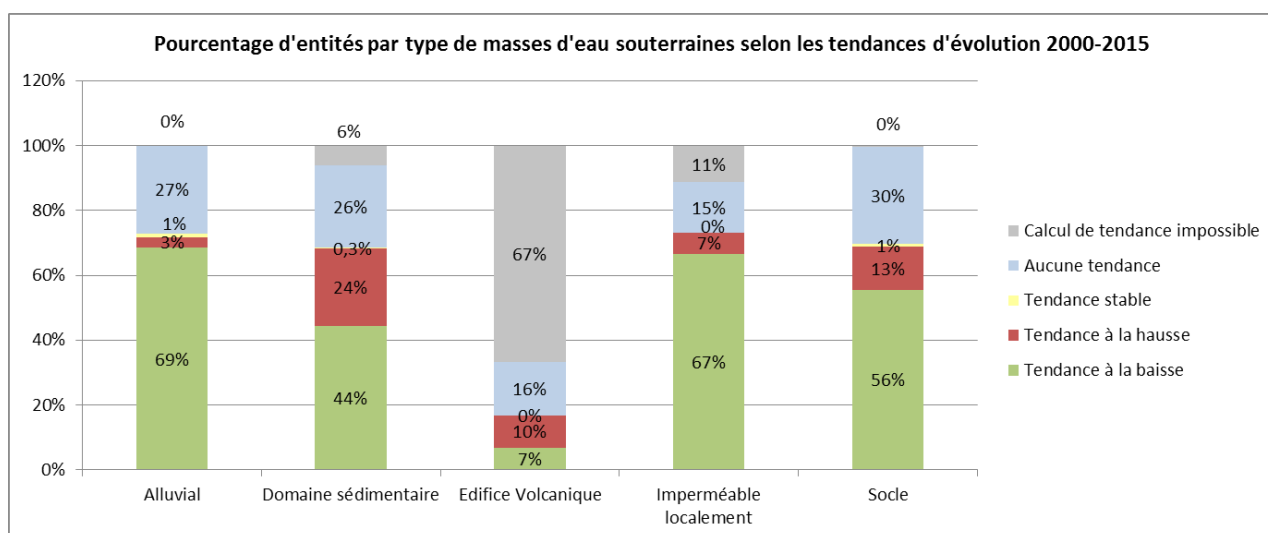
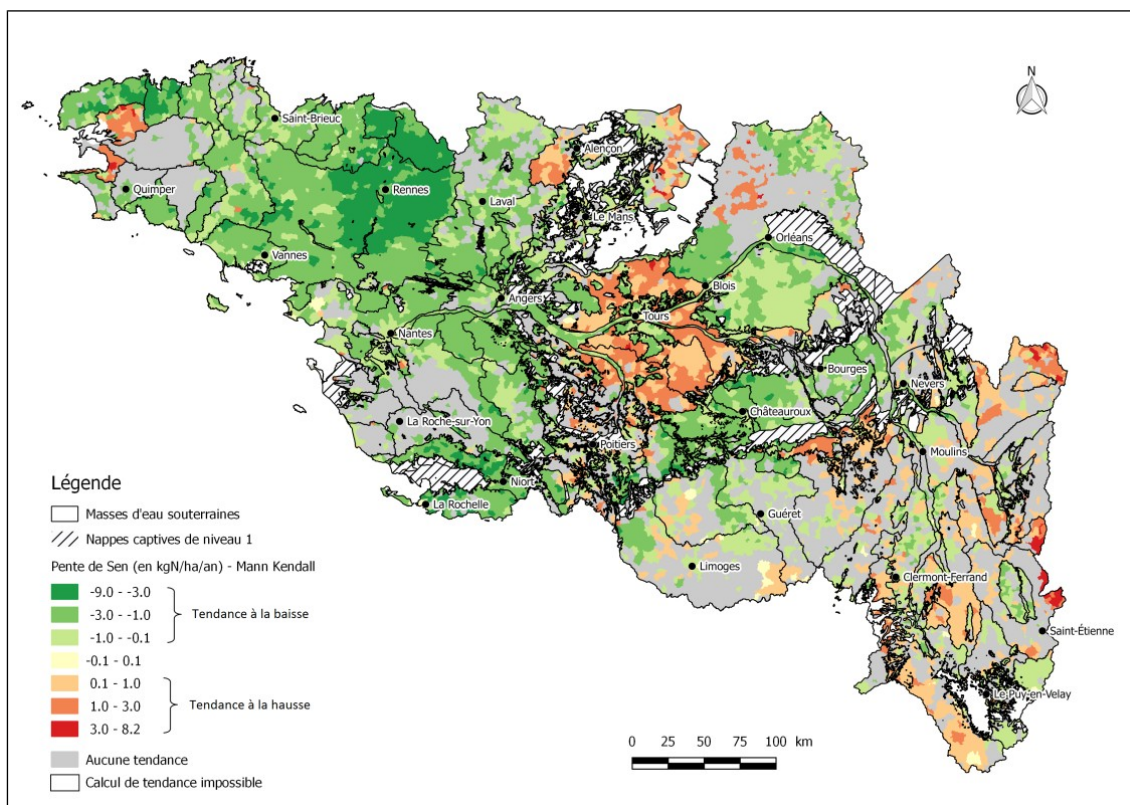


Figure 5 : Pourcentage d'entités par type de masses d'eau souterraines selon les tendances d'évolution de la pression en nitrate sur la période 2000-2015

Seules quelques entités présentent une pente de Sen supérieures à 3 kgN/ha/an. Les tendances à la hausse les plus élevées sont visibles au niveau de la Craie Séno-Turonienne, de la pointe du Finistère, de la Sarthe amont et une partie du socle de la Loire Bourguignonne (Carte 14).

A l'inverse, le centre et l'est de la Bretagne, le sud Vendée, l'Aunis et la Champagne Berrichonne présentent les tendances à la baisse les plus importantes.



Carte 14 : Tendances d'évolution de la pression en nitrate (moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé) et Pente de Sen (en kgN/ha/an) sur la période 2000-2015 par entité de travail (polygones issus du croisement MESO/communes)

3.1.3.2. Résultats du test de Kendall régional

Le test de Kendall régional a été appliqué sur les mêmes chroniques utilisées pour le test de Mann-Kendall, avec pour unité spatiale les masses d'eau souterraine.

Les résultats de ce test montrent que (Figure 5Figure 6) :

- le calcul est impossible pour 6 % des masses d'eau ;
- 6 % ne présente aucune tendance significative ;
- 12 % des masses d'eau souterraine présente une tendance à la hausse ;
- 71 % des masses d'eau souterraine présente une tendance à la baisse
- 4 % des masses d'eau souterraine présente une tendance stable (pente entre -0,1 et 0,1 kgN/ha/an).

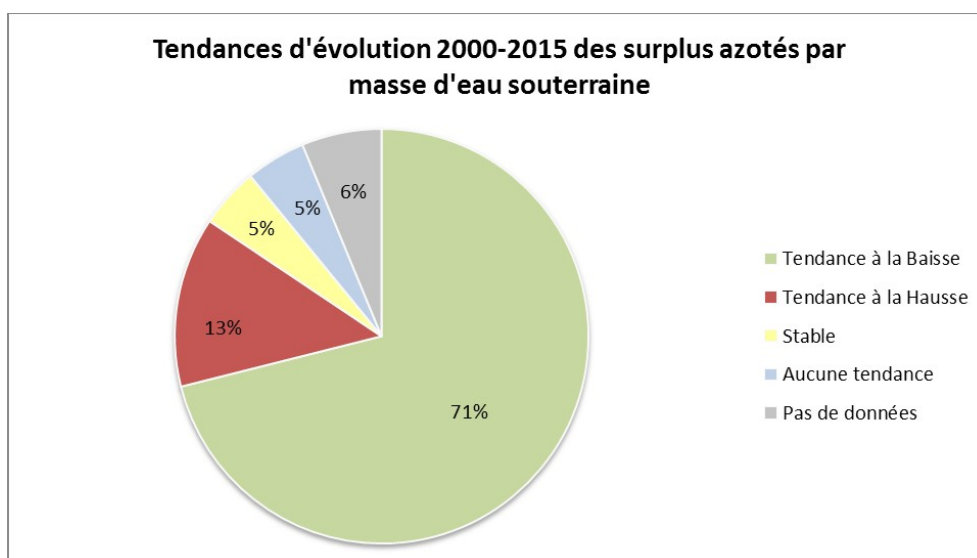


Figure 6 : Part des tendances d'évolution de la pression en nitrates observées par masse d'eau souterraine sur la période 2000-2015 (test Kendall régional)

Ces résultats sont similaires à ceux du test de Mann-Kendall, plus de la moitié du bassin présente une tendance à la baisse et presque 15 % présente une tendance la hausse.

Une analyse par type de masse d'eau du test de Kendall régional montre que (Figure 7) :

- Les masses d'eau alluviales ont toutes une tendance globale à la baisse.
- Les masses d'eau de type sédimentaire, de socle imperméable localement ont majoritairement une tendance globale à la baisse.
- Les types de masses d'eau ayant le plus grand pourcentage de tendance à la hausse sont les édifices volcaniques et le socle.
- Le calcul des tendances est impossible pour une majorité des masses d'eau volcaniques.

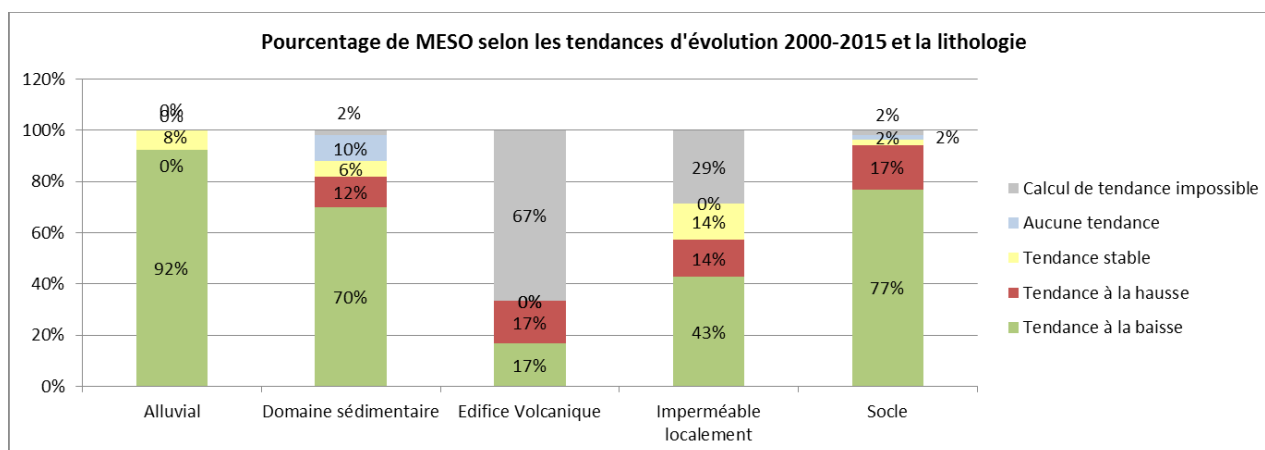
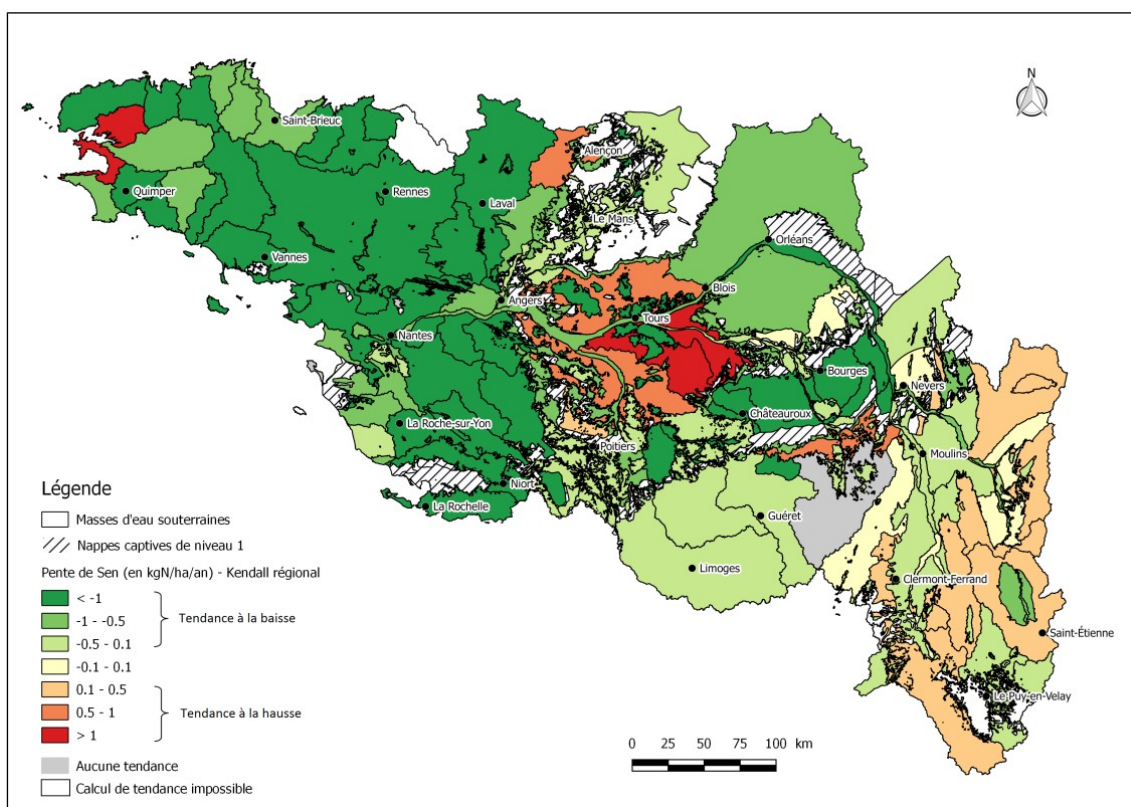


Figure 7 : Pourcentage de masse d'eau souterraine par type de masses d'eau souterraine selon les tendances d'évolution de la pression en nitrate sur la période 2000-2015

Les pentes de Sen calculées à la masse d'eau souterraine lors du test de Kendall régional sont lissées par rapport au test de Mann Kendall. Toutefois on retrouve les mêmes zones évoquées précédemment, la craie du Séno-Turonien et la pointe du Finistère présentent les pentes positives les plus élevées, la diagonale Bretagne/Pays de la Loire et la Champagne Berrichonne les pentes négatives les plus fortes (Carte 15).



Carte 15 : Tendances d'évolution de la pression en nitrate (moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé) et pente de Sen (en kgN/ha/an) sur la période 2000-2015 par Masse d'eau souterraine

3.1.4. TENDANCES D'ÉVOLUTION DE LA PRESSION EN NITRATES SUR LA PÉRIODE 2015-2027

3.1.4.1. Résultats du test de Mann-Kendall

Les résultats de tendances sur la période 2015-2027 doivent être considérés avec prudence. En effet, lorsque le temps de transfert en zone saturée est faible, la moyenne glissante du surplus d'azote recalé considéré pour le calcul de la pression est celle de l'année 2013 soit la valeur la plus récente disponible. Ceci a pour effet la stabilisation de la courbe de surplus azotés pour les masses d'eau souterraines ayant un faible temps de transfert. Ainsi, pour certaines entités appartenant à ces masses d'eau, le calcul d'une tendance ne sera pas possible (Figure 8). Pour d'autres, le calcul sera tout de même possible mais implique une valeur de la pente de Sen fictive (Figure 9).

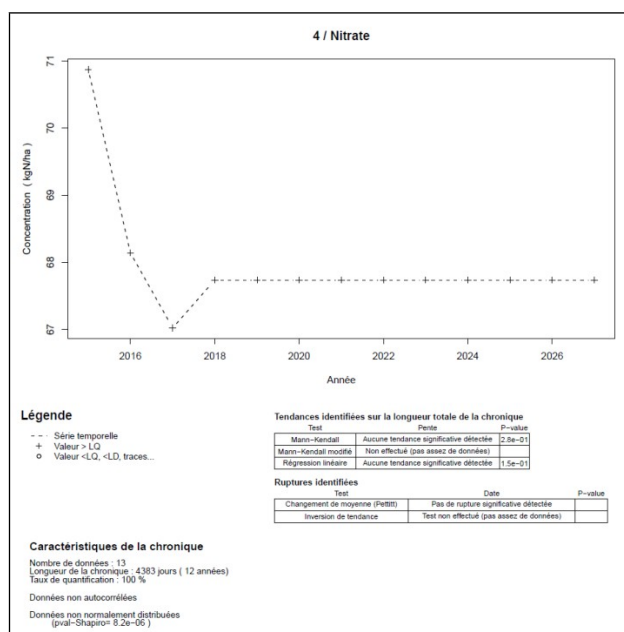


Figure 8 : Graphe de résultats HYPE pour une entité pour laquelle la stabilisation du surplus azoté recalé après 2013 ne permet pas de détecter une tendance significative

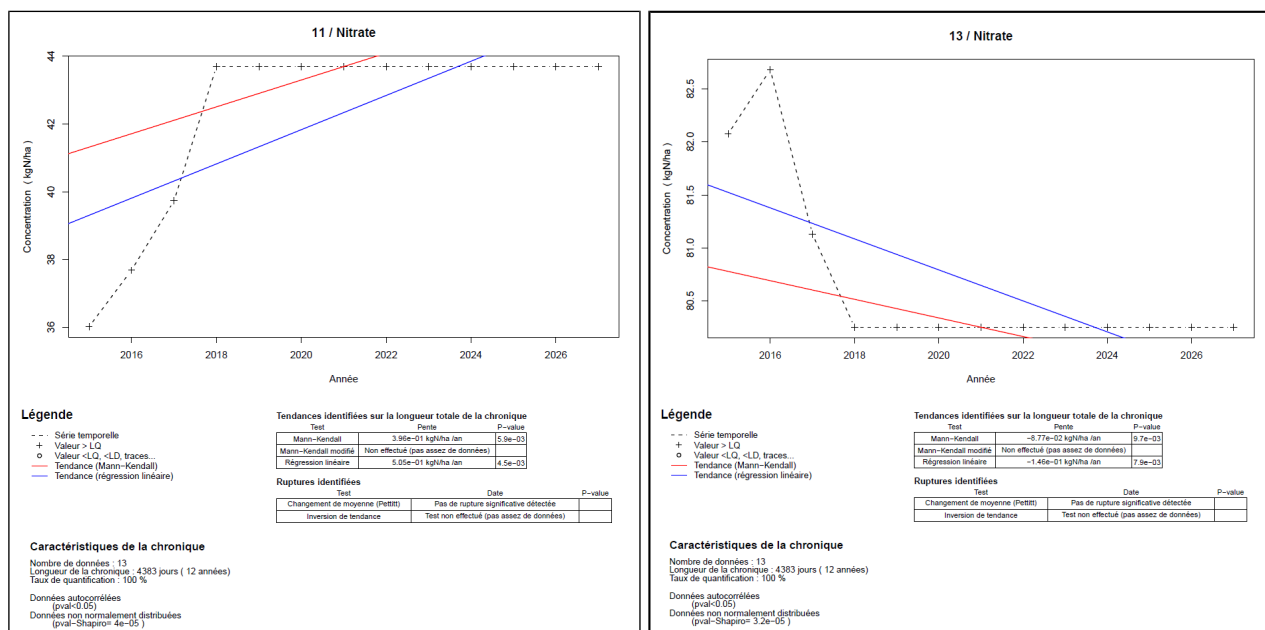


Figure 9 : Graphes de résultats pour deux entités pour lesquelles une tendance à la hausse ou à la baisse est détectée malgré la stabilisation du surplus azoté recalé

Ainsi pour 40 % des entités le calcul d'une tendance est effectué sur une chronique ayant moins de 6 valeurs variables de surplus azotés recalé sur les 12 années considérées pour le test de Mann-Kendall. Les résultats de tendances pour ces entités doivent donc être utilisés avec prudence.

Par la suite il est donc proposé de prendre en compte pour la période 2015-2027, uniquement les tendances calculées avec des chroniques de surplus azotés ayant plus de 6 valeurs variables (soit plus de la moitié de la chronique) soit une tendance moins soumise à l'hypothèse de stabilisation des surplus après 2013.

Avoir une chronique de surplus possédant au moins 6 valeurs variables sur 12 implique d'effectuer le calcul uniquement pour les entités appartenant aux masses d'eau souterraine avec un temps de transfert supérieur à 8 ans.

Pour les entités pour lesquelles une tendance a été retenue pour la période 2015-2027, les résultats du test de Mann-Kendall par Hype montre que (Figure 10) :

- le calcul est impossible pour 1% des entités ;
- 33 % des entités ne présente pas de tendance significative ;
- 2 % des entités présente une tendance stable (pente de Sen entre -0,1 et 0,1 kgN/ha/an) ;
- 24 % des entités présente une tendance à la hausse ;
- 39 % des entités présente une tendance à la baisse.

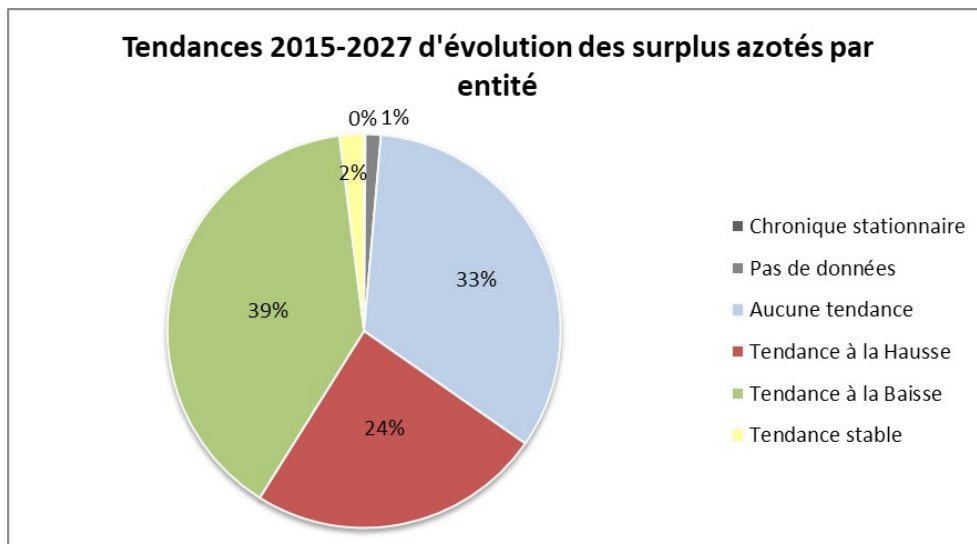
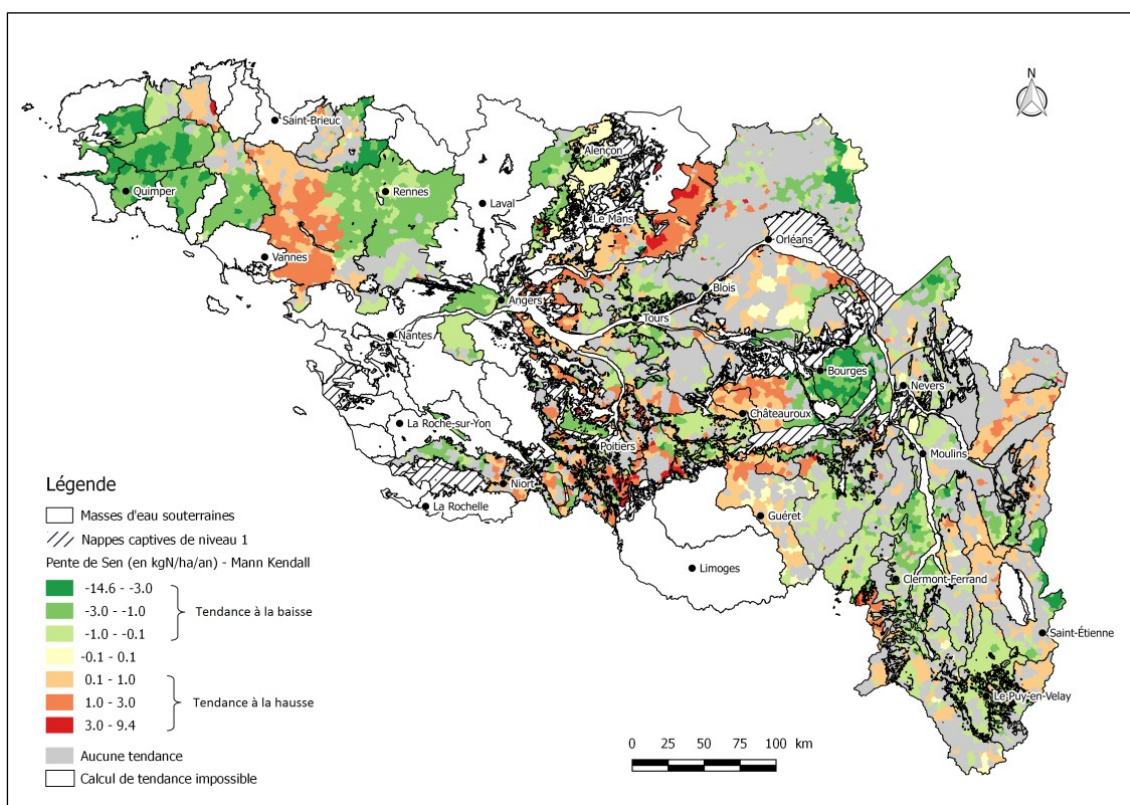


Figure 10 : Part de chacune des tendances d'évolution de la pression en nitrate observées par entité sur la période 2015-2027 (test Mann-Kendall) pour les masses d'eau ayant un temps de transfert en ZNS supérieur à 8 ans.

La tendance à la baisse est là encore majoritaire par rapport aux autres tendances, mais le pourcentage d'entités pour lesquelles la pression en nitrates est en baisse est plus faible que sur la période 2000-2015. A l'inverse, la tendance à la hausse et l'absence de tendance (« aucune tendance ») sont plus élevées.

Les tendances à la hausse les plus élevées sont visibles au niveau de la Craie Séno-Turonienne en particulier l'unité du Loir libre, le bassin du Trégonce-Ringoire, le bassin de la Loire Bourguignonne et la partie ouest du bassin de la Vilaine (Carte 16).

A l'inverse, le centre et la pointe du Finistère, l'est du bassin de la Vilaine et le bassin de Yèvre-Auron présentent les tendances à la baisse les plus importantes.



Carte 16 : Tendances d'évolution de la pression en nitrate (moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé) sur la période 2015-2027 et pente de Sen (en kgN/ha/an) par entité de travail (polygones issus du croisement MESO/communes) ayant un temps de transfert supérieur à 8 ans

3.1.4.2. Résultats du test de Kendall régional

Les résultats du test de Kendall régional montrent que (Figure 11) :

- le calcul est impossible pour 2 % des masses d'eau ;
- 7 % des masses d'eau ne présente aucune tendance significative ;
- 17 % des masses d'eau souterraines présente une tendance stable ;
- 18 % des entités présente une tendance à la hausse ;
- 55 % des entités présente une tendance à la baisse.

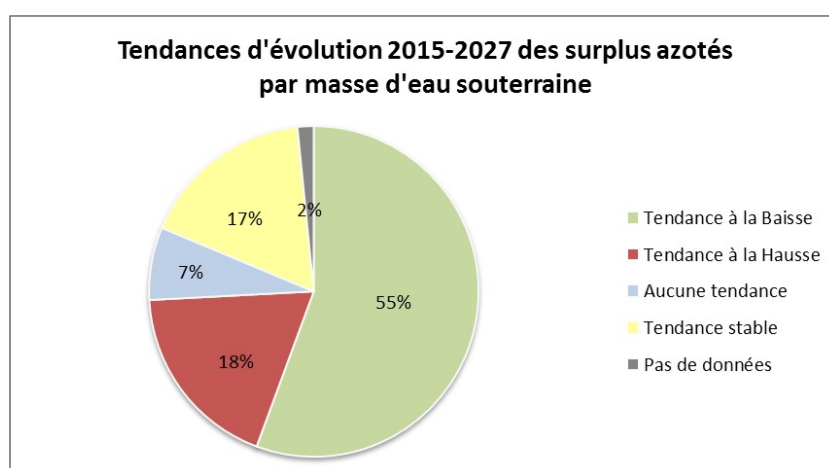
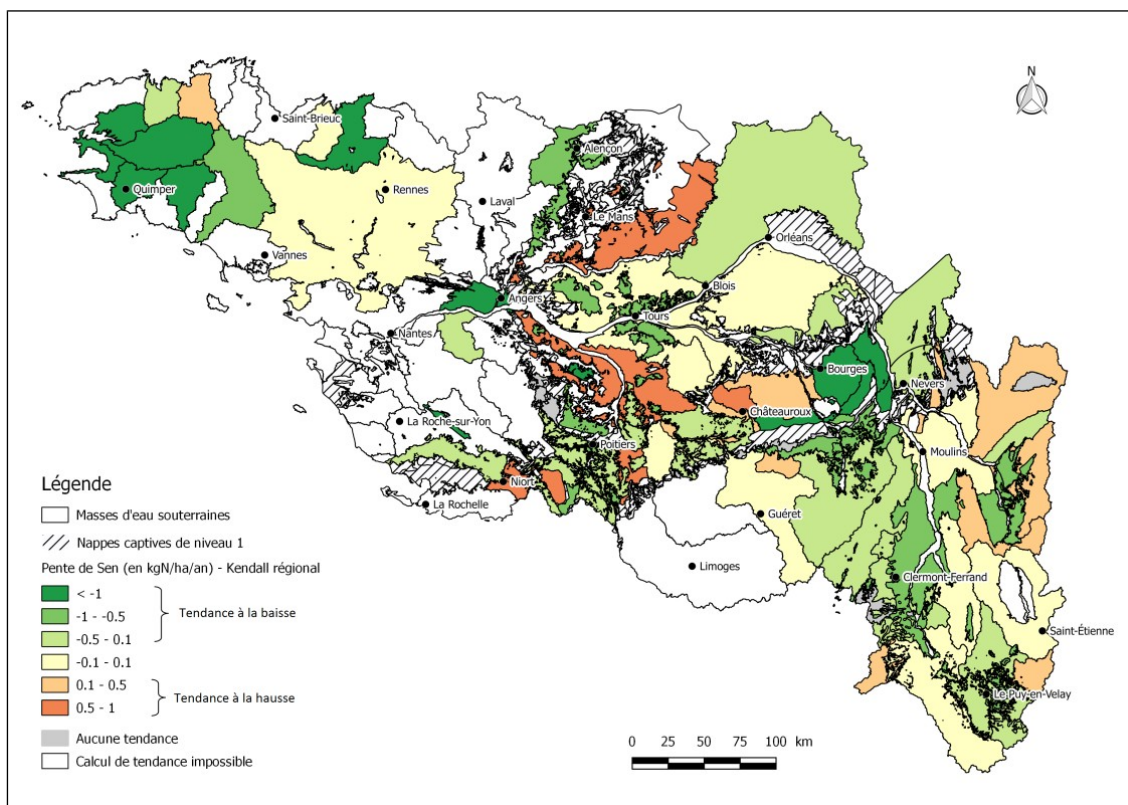


Figure 11 : Part des tendances d'évolution de la pression en nitrates observées par masse d'eau souterraine sur la période 2015-2027 (tes Kendall régional) pour les masses d'eau ayant un temps de transfert en ZNS supérieur à 8 ans.

A l'échelle des masses d'eau souterraine, la Craie Séno-Turonienne apparaît encore avec les pentes à la hausse les plus importantes, la Champagne Berrichonne et le Finistère apparaissent avec les plus fortes baisses de la pression en nitrate sur 2015-2027 (Carte 17).

Une tendance stable ressort sur le bassin versant de la Vilaine du fait qu'il présente à la fois des évolutions à la hausse et à la baisse à l'échelle des entités.



Carte 17 : Tendances d'évolution de la pression en nitrate (moyenne glissante sur 5 ans du surplus d'azote recalé) sur la période 2015-2027 et pente de Sen (en kgN/ha/an) par masse d'eau souterraine ayant un temps de transfert en ZNS supérieur à 8 ans

3.1.5. SYNTHÈSE

A l'échelle globale et quelle que soit la période considérée (2000-2015 ou 2015-2027), la pression en nitrate est majoritairement à la baisse sur l'ensemble du bassin Loire-Bretagne.

L'analyse par lithologie de masse d'eau montre que sur une même période, il n'y a pas d'écarts significatifs des pourcentages d'occupation des différentes tendances d'une lithologie à l'autre. Les tendances à la baisse sont largement majoritaires sur la période 2000-2015, et les tendances à la hausse minoritaires.

Les tendances calculées sur la période 2015-2027 concernent uniquement les masses d'eau souterraines ayant un temps de transfert supérieur à 8 ans. Les résultats pour cette période diffèrent légèrement de ceux de 2000-2015 avec quelques secteurs géographiques passant d'une tendance à la baisse à une tendance à la hausse ou inversement.

3.2. TENDANCES D'ÉVOLUTION DES PRESSIONS EN PESTICIDES

Le logiciel Hype a également été utilisé sur les ventes annuelles moyennes de pesticides par masses d'eau souterraine afin de mettre en évidence d'éventuelles tendances d'évolution des pressions en pesticides.

Néanmoins, n'ayant pas assez de données annuelles disponibles (une valeur par an de 2008 à 2015), le test de Mann-Kendall n'a pas pu être appliqué.

Au vu des données disponibles, il n'est pas possible d'estimer des tendances d'évolution de la pression en pesticides.

ANNEXE 1 : Liste des 141 substances considérées pour le calcul de la pression en pesticides sur les eaux souterraines

Code SANDRE	NUMERO CAS	Libellé de la substance	DT ₅₀ (j)	K _{oc}	GUS
1487	542-75-6	1,3-dichloropropene	9,3	33,7	2,39
2522	94-75-7	2,4-d	10	56	2,25
1142	94-82-6	2,4-db	16	271	1,89
1212	94-74-6	2,4-mcpa	25	74	2,98
1903	34256-82-1	acetochlore	13	203	1,89
5584	86-87-3	acide alpha naphtylacétique (ana)	40	385	2,27
5640	77-06-5	acide gibberellique	4	10	1,81
1688	74070-46-5	aclonifen	80	7126	0,28
2012	120923-37-7	amidosulfuron	21	36	3,23
7580	150114-71-9	aminopyralid	35	8	4,78
1105	61-82-5	aminotriazole / amitrole	18	91	2,56
5592	2302-17-2	asulame	18	25	3,27
	11141-17-6	azadirachtine	26	7	4,46
1951	131860-33-8	azoxystrobine	21	423	1,82
2074	98730-04-2	benoxacor	50	109	3,33
1113	25057-89-0	bentazone	10	52	2,28
	3734-33-6	benzoate de denatonium	45	0,9	6,69
1697	584-79-2	bioallethrine	32	4	5,11
5526	188425-85-6	boscalid	200	809	2,51
1860	116255-48-2	bromuconazole	679	125	5,39
1530	74-83-9	bromure de méthyle	55	39	4,19
1861	41483-43-6	bupirimate	63	516	2,32
1862	69327-76-0	buprofezine	80	1000	1,90
1463	63-25-2	carbaryl	26	417	1,95
1129	10605-21-7	carbendazime	18	223	2,07
1333	16118-49-3	carbetamide	24	89	2,83
1130	1563-66-2	carbofuran	21	22	3,51
7500	500008-45-7	chlorantraniliprole	210	328	3,45
1133	1698-60-8	chloridazone	36	199	2,65
2097	999-81-5	chlormequat chlorure	14	203	1,94
1473	1897-45-6	chlorothalonil	44	850	1,76
1474	101-21-3	chlorprophame	25	340	2,05
1353	64902-72-3	chlorsulfuron	60	35	4,37
1867	2136-79-0	chlorthal	154	4	7,43
1136	15545-48-9	chlortoluron	34	208	2,58
1868	74115-24-5	clofentezine	131	1064	2,06
2017	81777-89-1	clomazone	45	286	2,55
1810	1702-17-6	clopyralid	11	5	3,44
6389	210880-92-5	clothianidine	545	160	4,91
2019	5836-29-3	coumatetralyl	89	453	2,62
1139	57966-95-7	cymoxanil	8	44	2,13
1680	94361-06-5	cyproconazole	48	442	2,28
5597	1596-84-5	daminozide	7	27	2,17
1480	1918-00-9	dicamba	14	13	3,31
1679	1194-65-6	dichlobenil	93	527	2,52
2929	37764-25-3	dichlormide	8	37	2,20
2544	15165-67-0	dichlorprop-p	19	44	3,01

Code SANDRE	NUMERO CAS	Libellé de la substance	DT ₅₀ (j)	K _{oc}	GUS
2546	50563-36-5	dimethachlore	16	63	2,65
1678	87674-68-8	dimethenamide	12	108	2,12
5617	163515-14-8	dimethenamide-p (dmta-p)	7	227	1,39
1175	60-51-5	dimethoate	7	34	2,09
1403	110488-70-5	dimethomorphe	42	408	2,26
1177	330-54-1	diuron	78	920	1,96
1184	26225-79-6	ethofumesate	56	147	3,20
1495	13194-48-4	ethoprophos	16	111	2,35
2009	120068-37-3	fipronil	65	727	2,06
1939	104040-78-0	flazasulfuron	10	65	2,19
2810	145701-23-1	florasulame	8	22	2,40
1940	142459-58-3	flufenacet	33	202	2,57
2023	103361-09-7	flumioxazine	84	1150	1,81
7499	239110-15-7	fluopicolide	271	321,1	3,63
5638	361377-29-9	fluoxastrobine	82	1003	1,91
2565	144740-54-5	flupyrsulfuron-methyle	8	28	2,31
2056	136426-54-5	fluquinconazole	175	829	2,43
1765	69377-81-7	fluroxypyr	51	66	3,72
2008	96525-23-4	flurtamone	56	329	2,59
2985	66332-96-5	flutolanil	4917	781	4,09
1192	133-07-3	folpel	3	304	0,72
5969	68157-60-8	forchlorfenuron	578	1100	2,65
1702	50-00-0	formaldehyde	6	2	2,88
2744	98886-44-3	fosthiazate	13	59	2,48
1506	1071-83-6	glyphosate	32	21699	-0,51
1909	72619-32-0	haloxyfop-r	60	48	4,12
1673	51235-04-2	hexazinone	105	54	4,58
5645	123-33-1	hydrazide maleique	6	45	1,83
5646	10004-44-1	hymexazol	6	19	2,12
2986	114311-32-9	imazamox	14	59	2,55
2860	81335-37-7	imazaquine	11	18	2,86
1877	138261-41-3	imidaclopride	191	225	3,76
6483	144550-36-7	iodosulfuron-methyl-sodium	8	45	2,12
1206	36734-19-7	iprodione	84	372	2,75
2951	140923-17-7	iprovalicarbe	16	106	2,38
1208	34123-59-6	isoproturon	22	122	2,57
1672	82558-50-7	isoxaben	105	354	2,93
1209	330-55-2	linuron	48	436	2,29
1211	8018-01-7	Mancozèbe	0,1	998	-1,00
1214	7085-19-0	mecoprop (mcpp)	8,2	31	2,29
2084	16484-77-8	mecoprop-p (mcpp-p)	21	151	2,41
5533	110235-47-7	mepanipyrim	56	874	1,85
2578	208465-21-8	mesosulfuron-methyl	77	92	3,84
2987	70630-17-0	metalaxyl-m	39	660	1,88
1796	108-62-3	metaldehyde	4	85	1,25
1215	41394-05-2	metamitrone	11	122	1,99
2088	137-42-8	metam-sodium	7	36	2,07
1670	67129-08-2	metazachlore	10	110	1,96
1879	125116-23-6	metconazole	133	1116	2,02
1216	18691-97-9	methabenzthiazuron	130	527	2,70

Code SANDRE	NUMERO CAS	Libellé de la substance	DT ₅₀ (j)	K _{oc}	GUS
1510	2032-65-7	methiocarbe	64	660	2,13
1218	16752-77-5	methomyl	7	25	2,20
5511	161050-58-4	methoxyfenozone	86	402	2,70
1912	139528-85-1	metosulam	25	166	2,49
1225	21087-64-9	metribuzine	12	38	2,61
1797	74223-64-6	metsulfuron-methyl	32	40	3,61
1881	88671-89-0	myclobutanil	35	518	1,99
1519	15299-99-7	napropamide	45	600	2,02
1882	111991-09-4	nicosulfuron	19	21	3,42
1850	23135-22-0	oxamyl	10	17	2,77
2545	76738-62-0	paclobutrazol	272	315	3,66
1234	40487-42-1	pendimethaline	99	15744	-0,39
6394	219714-96-2	penoxsulame	32	94	3,05
1253	67747-09-5	prochloraze	346	2225	1,66
1664	32809-16-8	procymidone	224	378	3,34
1257	60207-90-1	propiconazole	108	1086	1,96
5602	181274-15-7	propoxycarbazone sodium	10	29	2,54
1414	23950-58-5	propyzamide	56	840	1,88
1092	52888-80-9	prosulfocarbe	10	1693	0,77
2534	94125-34-5	prosulfuron	16	17	3,33
5603	178928-70-6	prothioconazole	3	1765	0,36
1259	55512-33-9	pyridate	16	90	2,46
1432	53112-28-0	pyrimethanil	34	360	2,21
1528	23103-98-2	pyrimicarbe	66	290	2,80
7340	422556-08-9	pyroxsulame	10	30	2,52
2087	90717-03-6	quinmerac	18	86	2,59
1892	122931-48-0	rimsulfuron	11	47	2,42
5609	175217-20-6	silthiofam	66	250	2,92
2974	87392-12-9	s-metolachlore	21	226	2,18
1819	7704-34-9	soufre	30	1950	1,05
1662	99105-77-8	sulcotrione	10	36	2,44
2085	141776-32-1	sulfosulfuron	28	33	3,59
1694	107534-96-3	tebuconazole	31	1022	1,48
7086	335104-84-2	tembotrione	30	66	3,22
6390	153719-23-4	thiamethoxam	52	56	3,86
7517	317815-83-1	thiencarbazone-methyl	17	100	2,46
1913	79277-27-3	thifensulfuron-methyle	10	28	2,55
1280	55219-65-3	triadimenol	65	273	2,84
2990	72459-58-6	triazoxide	40	673	1,88
2064	101200-48-0	tribenuron-methyle	10	32	2,49
1288	55335-06-3	triclopyr	46	48	3,86
2096	95266-40-3	trinexapac-ethyl	15	280	1,83
2992	131983-72-7	triticonazole	161	504	2,86
1515	3060-89-7	Métobromuron	30	277	2,30