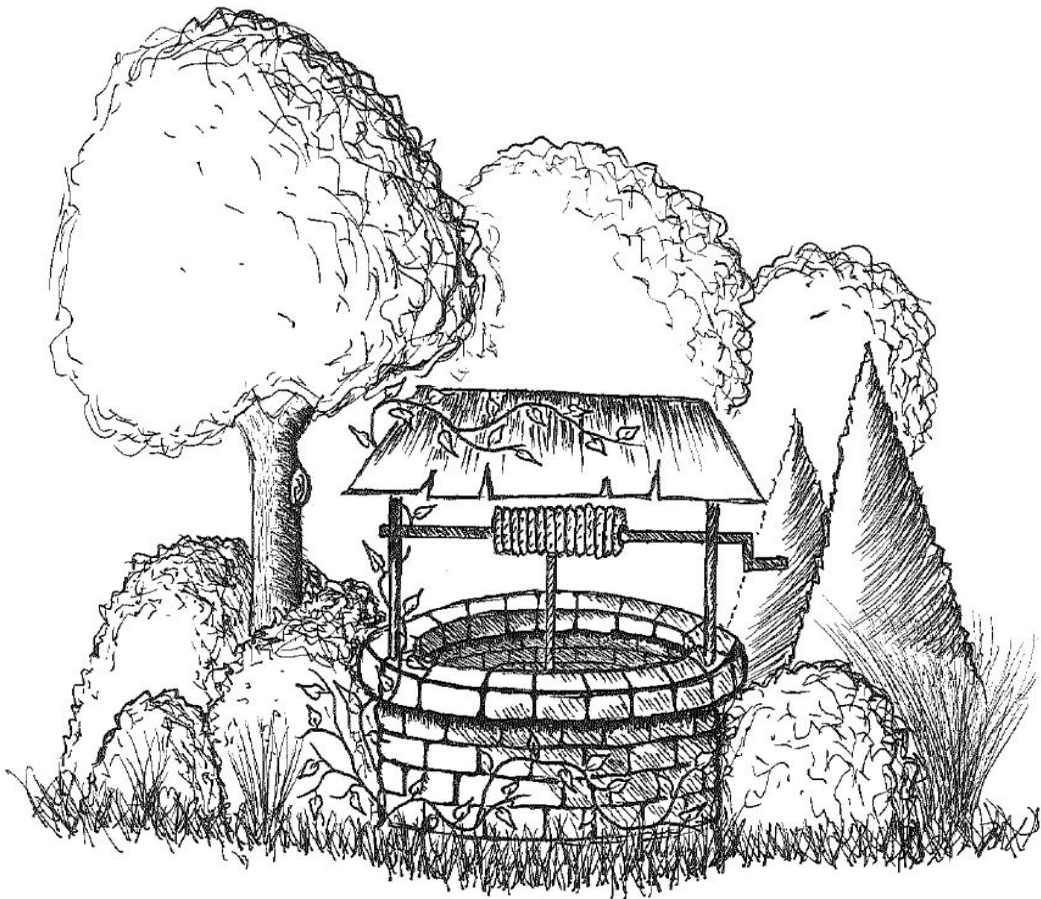




MEMOIRE DE STAGE

Réalisation de la carte piézométrique des plateaux calcaires du Nivernais et caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques.



Clément DONEY
Maître de stage

Pierre-Antoine DAUBIGNEY
2014-2015

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps mon maître de stage, Clément Doney pour sa patience, ses conseils et sa bonne humeur. Je remercie également Dominique Jauffret de m'avoir guidé dans l'étude de la vulnérabilité intrinsèque. Une pensée particulière à François Pinard, pour son accueil chaleureuse au sein de sa Direction régionale en Bourgogne et à Alain Longet pour sa joie de vivre et sa passion du métier. Enfin, je remercie Aglaë Guisado pour avoir finalisé la carte piézométrique et Félix Lepers pour la bonne ambiance au travail.

Présentation du BRGM

<u>Introduction</u>	<u>1</u>
---------------------	----------

Chapitre 1 : L'information piézométrique dans l'étude de la vulnérabilité des aquifères

<u>1) Définition d'une carte piézométrique</u>	<u>2</u>
<u>2) Vulnérabilité des aquifères</u>	<u>2</u>
<u>2.1) Définition d'un aquifère</u>	<u>2</u>
<u>2.2) Définition de la vulnérabilité intrinsèque</u>	<u>3</u>
<u>3) Méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque</u>	<u>3</u>
<u>3.1) Caractérisation des critères</u>	<u>5</u>
<u>3.2) Calcul de l'indice global de vulnérabilité</u>	<u>8</u>
<u>3.3) Apport de la piézométrie</u>	<u>9</u>

Chapitre 2 : Réalisation de la carte piézométrique

<u>1) Présentation de la zone d'étude</u>	<u>10</u>
<u>1.1) Masse d'eau 3217 (FR GO 217)</u>	<u>11</u>
<u>1.2) Masse d'eau 4061 (FR GO 061)</u>	<u>12</u>
<u>2) Elaboration de la carte piézométrique</u>	<u>14</u>
<u>2.1) Préparation de la campagne terrain</u>	<u>14</u>
<u>2.2) Campagne de terrain</u>	<u>16</u>
<u>2.3) Présentation des points de mesure</u>	<u>17</u>
<u>2.4) Résultat</u>	<u>19</u>

Chapitre 3 : Etude de la vulnérabilité intrinsèque des pollutions diffuses

1) La vulnérabilité intrinsèque	21
2) Présentation de la zone d'étude	21
3) Matériel et méthode	22
3.1) Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère lié au critère R	23
3.2) Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère lié au critère I	26
3.3) Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère lié au critère S	27
3.4) Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère lié au critère K	29
3.5) Cartographie de la vulnérabilité globale	32
4) Discussion	34

Conclusion	40
------------	----

Table des matières

Liste des illustrations

Illustration 1 : Présentation de la méthode RISKE, page 4.

Illustration 2 : Localisation de la zone d'étude faisant l'objet des mesures piézométriques (SIG-ArcGis-BRGM), page 10.

Illustration 3 : Cartographie du maillage permettant de sélectionner les points de mesure pertinent (SIG-ArcGis-BRGM), page 15.

Illustration 4 : Photographie d'un puits et de la sonde piézométrique lors de la campagne terrain, page 17.

Illustration 5 : Photographie de la mesure d'un niveau d'eau grâce au ruban métrique de la sonde piézométrique et du repère, page 17.

Illustration 6 : Résultat cartographique de la campagne piézométrique des plateaux calcaires du Nivernais (Guisado A, 2015), page 19.

Illustration 7 : Cartographie de la localisation du secteur d'étude pour la vulnérabilité intrinsèque (SIG-ArcGis-BRGM), page 21.

Illustration 8 : Cartographie de la géologie de la zone d'étude (SIG-ArcGis-BRGM), page 23.

Illustration 9 : Représentation des réseaux karstiques dans les calcaires sous argile à silex (BRGM), page 24.

Illustration 10 : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du critère R (SIG- ArcGis), page 25.

Illustration 11 : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du critère I (SIG-ArcGis), page 26.

Illustration 12 : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du critère S (SIG-ArcGis), page 29.

Illustration 13 : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du critère K (SIG-ArcGis), page 31.

Illustration 14 : Résultat cartographique global de la vulnérabilité intrinsèque (SIG-ArcGis), page 32.

Illustration 15 : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de la Zone Non Saturée (SIG-ArcGis), page 35.

Illustration 16 : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du critère érosif (SIG-ArcGis), page 36.

Illustration 17 : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque globale avec les critères ZNS et érosif (SIG-ArcGis), page 37.

Illustration 18 : Cartographie globale finale de la vulnérabilité intrinsèque en prenant en compte l'occupation du sol (SIG-ArcGis), page 39.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classement du degré de la vulnérabilité intrinsèque du critère R, page 5.

Tableau 2 : Classement du degré de la vulnérabilité intrinsèque du critère I, page 6.

Tableau 3 : Classement des sols en fonction de la texture et de la pierrosité, page 7.

Tableau 4 : Classement de la vulnérabilité intrinsèque des sols en fonction de la nature et de l'épaisseur du sol, page 7.

Tableau 5 : Classement du degré de la vulnérabilité intrinsèque du critère K, page 8.

Tableau 6 : Caractérisation du degré de la vulnérabilité intrinsèque des formations affleurantes, page 24.

Tableau 7 : Classement des sols en fonction de la texture et de la pierrosité, page 28.

Tableau 8 : Caractérisation du degré de la vulnérabilité intrinsèque des sols en fonction de la nature et de l'épaisseur du sol, page 28.

Tableau 9 : Caractérisation du degré de la vulnérabilité des phénomènes karstiques, page 30.

Tableau 10 : Caractérisation finale de la vulnérabilité intrinsèque par rapport au classement de l'indice global, page 32.

Tableau 11 : Classement de la lithologie de la Zone Non Saturée, page 34.

Tableau 12 : Caractérisation du degré de la vulnérabilité intrinsèque de la zone non saturée, page 35.

Liste des annexes

Annexe 1 : Contexte géologique de la zone d'étude

Annexe 2 : Carte piézométrique au format A3

Annexe 3 : Carte géologique simplifiée au 1/50 000ème

Annexe 4 : Coupe géologique

Annexe 5 : Test 2 de la méthode RISKE

Annexe 6 : Test 3 de la méthode RISKE

Annexe 7 : Test 4 de la méthode RISKE

Annexe 8 : Test 5 de la méthode RISKE

Présentation du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Le BRGM est un établissement public à caractère industriel et commercial. Il a été créé en 1959 et est placé sous la tutelle du Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, du Ministère de l'Écologie, du Ministère du Développement Durable et de l'Énergie, du Ministère de l'Économie et du Ministère de l'Industrie et du Numérique.

Il est considéré comme le Service géologique national français de référence dans les applications des Sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sous-sol. Il emploie environ 1100 personnes dont plus de 750 chercheurs et ingénieurs (géologues, hydrogéologues, géophysiciens, géochimistes, modélisateurs, informaticiens,...), dans ses 32 implantations régionales métropolitaines et Outre-mer. A l'international, il développe ses activités dans plus de 40 pays.

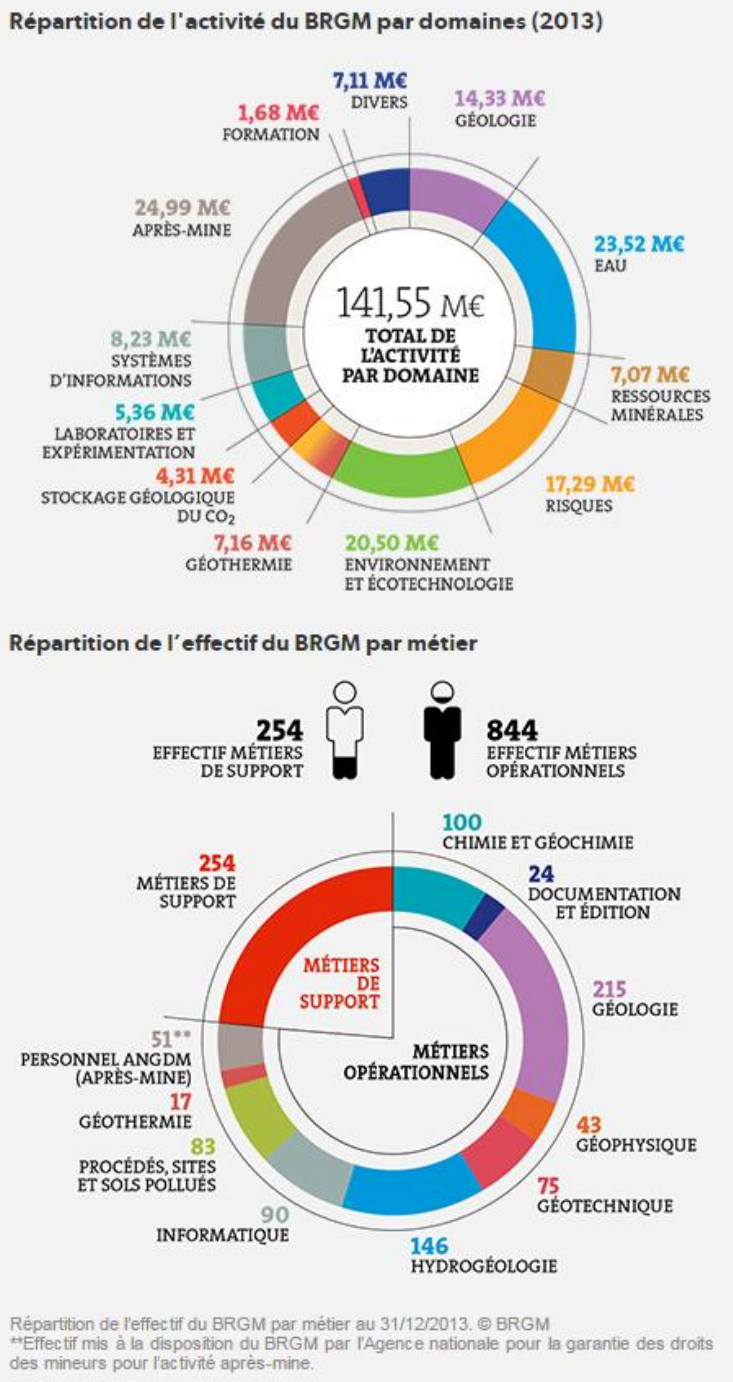
Les objectifs du BRGM s'articulent autour de 5 missions :

- **La recherche scientifique** : amélioration de la connaissance géologique et de la compréhension des phénomènes liés au sol et au sous-sol par l'observation et la modélisation des changements globaux ; notamment sur le changement climatique, la raréfaction des ressources minérales, aux besoins énergétiques, aux risques naturels, aux pollutions des sols et de l'eau.
- **Appui aux politiques publiques** : elle regroupe des actions d'expertise, de surveillance, d'observation, de formation et de diffusion des savoirs à l'Etat, aux collectivités territoriales, aux agences et les établissements publics.
- **Coopération internationale** : le BRGM diffuse son savoir-faire et son expertise afin de protéger les populations et leur environnement et d'assurer la pérennité et la qualité des ressources naturelles en eau, ressources minérale et énergie.
- **Sécurité minière** : elle regroupe des missions de surveillance, de mise en sécurité et de gestion de sites miniers. Les fonctions opérationnelles de ces missions ont été confiées au Département de Prévention et de Sécurité Minière (DPSM) créé en avril 2004 par le BRGM.
- **Formation** : En 2009, l'École nationale d'application des géosciences (Enag) a été créé au sein du BRGM pour assurer la diffusion des connaissances auprès des universités et des grandes écoles.

Ces missions touchent 10 domaines d'activités répertoriés de la manière suivante :

- **La géologie** : amélioration de la connaissance géologique à travers des bases de données, des cartes et des modèles 3D, à l'usage des industriels, des administrations, des aménageurs, des enseignants en France et à l'international.
- **Ressource minérale** : gestion des matières premières : économie, évaluation des réserves, cycle de vie des substances, expertise des sites, maîtrise des processus.
- **Géothermie** : amélioration des techniques de l'Énergie Renouvelable puisée dans la chaleur naturelle de la Terre.
- **Stockage géologique du Co2** : la recherche de technique visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le contexte du changement climatique.
- **Risques** : évaluer l'évolution des aléas d'origine naturelle pour anticiper, prévenir et gérer les risques naturels et anthropiques du sol et du sous-sol.
- **Après mine** : Prévenir les risques miniers en apportant une gestion technique de surveillance.
- **Eau** : élaboration de solution durable pour l'eau en lien avec l'impact du changement climatique.

- **Environnement et écotechnologie** : mettre en œuvre des procédés propres de développement majeur dans la gestion et la prévention des atteintes à l'environnement.
- **Système d'information** : diffusion de la connaissance grâce à des outils technologiques d'information et de communication.



Introduction

Dans le cadre de la politique nationale de gestion des eaux souterraines en France, en accord avec la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE) de 2000, la Direction Régionale du BRGM a proposée à l'Agence de l'eau Seine-Normandie de réaliser une cartographie piézométrique :

- De la masse d'eau souterraine 4061 (FR_GO_061) correspondant à l'aquifère des calcaires et des marnes du Dogger-Jurassique supérieur du Nivernais nord ;
- Des calcaires du Jurassique supérieur de la masse d'eau 3217 (FR_GO_217) correspondant à l'aquifère de l'Albien-Néocomien entre Loire et Yonne.

L'objectif de ce projet est d'acquérir des données de mesure afin d'obtenir une cartographie de l'état piézométrique des deux masses d'eau. Cette cartographie permettra de prendre connaissance de la situation et du fonctionnement des aquifères afin de permettre aux Agences de l'eau de planifier la gestion de leur bassin dans leur Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) dans un souci de cohérence de leurs actions. La réalisation et l'interprétation de la carte piézométrique répondent à l'ambition d'obtenir en 2015 « le bon état écologique » sur les deux tiers des cours d'eau et sur un tiers des eaux souterraines.

Grâce aux informations récoltées lors de l'étude piézométrique, le BRGM a pris l'initiative de compléter ce rapport par une cartographie de la vulnérabilité intrinsèque sur une partie de l'aquifère des calcaires et des marnes du Dogger-Jurassique supérieur du Nivernais Nord. Cette étude répond à la directive européenne, visant à réduire les pollutions de la ressource en eau par les nitrates d'origine agricole, effective depuis 1996 dans le département de la Nièvre.

L'agriculture intensive prédominante résulte d'un risque important de voir apparaître sur les masses d'eau sous-jacentes des pollutions diffuses. Les captages en eau potable dispersés autour doivent donc faire l'objet de mesure de protection. Cette protection passe par cette étude de vulnérabilité qui à son échelle est un premier travail de hiérarchisation afin de permettre à l'agence de l'eau de définir leur périmètre de protection plus facilement mais aussi de prévenir sur les éventuelles installations agricoles ou industrielles polluantes.

Ce projet essaiera de répondre aux problématiques suivantes : Comment réaliser une carte piézométrique et son interprétation ? Comment calculer le degré de vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère ? La méthode de calcul est-elle pertinente ? Représente-t-elle la réalité du terrain ? Et quel changement peut-on lui attribuer ?

Cette présente étude entre complètement dans les missions du BRGM d'appui aux politiques publiques en matière de compréhension du fonctionnement des hydrosystèmes complexes. La carte piézométrique et l'étude sur la vulnérabilité intrinsèque pourront servir de base à la préparation du SDAGE et du programme de mesure 2016-2020.

Chapitre 1 : L'information piézométrique dans l'étude de la vulnérabilité des aquifères

1) Définition d'une carte piézométrique

Une carte piézométrique est une représentation cartographique de la surface de la nappe phréatique (appelé niveau statique) libre ou captive. Les niveaux statiques sont définis comme sur les cartes topographiques, c'est-à-dire avec des courbes de niveau appelé isopièzes qui correspondent aux altitudes de la nappe au moment de la mesure piézométrique. La carte piézométrique nous renseigne donc sur le niveau statique, mais également sur la situation de la nappe (zone de recharge, de décharge), sur le sens des écoulements des eaux (perpendiculaire aux isopièzes) et le gradient de la nappe.

Les isopièzes sont variables au cours de l'année, à la sortie de la période hivernale, les précipitations et la fonte des glaces rechargent les nappes d'eau, la carte piézométrique réalisée à cette période de l'année est qualifiée en « hautes eaux ». Par ailleurs, pendant la période estivale, les fortes chaleurs abaissent le niveau statique, la carte piézométrique réalisée est alors qualifiée en « basses eaux ». Quant à la précision de la carte, elle dépend du nombre de points de mesure, de la répartition spatiale de ces points, du matériel utilisé et des méthodes d'interpolation informatique.

Pour réaliser cette carte, un long travail bibliographique et de terrain est nécessaire, il se caractérise par :

- une sélection des points de mesure pertinents (forage, source, puits...) situés dans la zone d'étude. Chaque point sélectionné doit permettre de relever le niveau statique de la nappe d'eau dans la formation géologique souhaitée ;
- une campagne terrain sur une courte période pour effectuer les mesures de niveaux sur les points sélectionnés. En cas de forte précipitation, les mesures seront faussées si la campagne terrain est trop longue, les nappes se rechargent et ne sont plus représentatives des mesures effectuées les premiers jours ;
- un traitement des résultats ; chaque mesure doit être vérifiée, certaine mesure définisse le point sélectionné comme un ouvrage ne représentant pas le niveau de la nappe d'eau (exemple : une citerne à la place d'un puits, un pompage régulier, etc.)
- une interprétation et tracé des courbes isopièzes grâce à un logiciel d'interpolation de données.

2) Vulnérabilité des aquifères

2.1) Définition d'un aquifère

Un aquifère est une formation géologique perméable ayant la capacité de laisser passer l'eau verticalement et horizontalement et de l'emmagasiner dans le sol. Il se présente sous deux formes distinctes :

Un aquifère libre, il se compose :

- d'une zone non saturée, elle est située au-dessus du niveau piézométrique. Lors des précipitations, l'eau s'infiltré dans la porosité du sol en direction de la nappe.
- d'une zone saturée, elle est située en dessous du niveau piézométrique, la porosité de la roche est quant à elle complètement occupée par l'eau. On l'appelle aussi la nappe d'eau, masse d'eau ou réservoir. L'eau dans cette zone s'écoule lentement et horizontalement.

Un aquifère captif, il se compose :

- d'une couche imperméable (argile, marne...) recouvrant la nappe d'eau souterraine ;
- d'une zone saturée, l'eau retenue dans la couche imperméable est sous pression. Lorsqu'un forage traverse la couche imperméable de l'aquifère, l'eau sous pression remonte dans le forage et peut jaillir en surface.

2.2) Définition de la vulnérabilité intrinsèque

Pour répondre aux missions du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SADGE) du bassin Seine-Normandie, il a été décidé de réaliser en plus de la carte piézométrique, une carte de la vulnérabilité intrinsèque sur une partie de la surface ayant fait l'objet des mesures piézométriques. Cette carte pourra être ajoutée à la cartographie de la vulnérabilité globale du bassin Seine-Normandie.

La vulnérabilité d'un aquifère correspond à la capacité d'un sol à retenir ou à laisser passer un polluant en direction de la nappe d'eau. Elle prend en compte plusieurs facteurs, influençant sur la vitesse de propagation d'un polluant à traverser le sol. Toute masse d'eau présente un risque plus ou moins important face aux pollutions de surface qui varient selon les caractéristiques suivantes :

- Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques (la nature lithologique de la zone saturé et non saturé, système karstique, conductivité, transmissivité, fissuration, tectonique...);
- Caractéristiques des formations superficielles (pédologie, épaisseur de la zone non saturé, conductivité hydraulique et propriété d'adsorption);
- Les directions et les vitesses d'échange entre les eaux de pluie et de surface et les eaux souterraines (temps d'infiltration).

La notion de vulnérabilité est apparue dans le cadre de l'action européenne COST 620 (2003). Deux types de vulnérabilité ont été définis:

- la vulnérabilité intrinsèque : elle prend en compte les caractéristiques citées ci-dessus sans considérer les propriétés toxiques, rémanentes et comportementales d'un polluant ;
- la vulnérabilité spécifique : elle intègre les propriétés d'un seul polluant en plus des caractéristiques de la vulnérabilité intrinsèque.

Dans ce présent rapport, nous aborderons seulement la vulnérabilité intrinsèque.

3) Méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

Il existe plusieurs méthodes de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque (Dörfliger N. et al. (2004)), elle se différencie selon les propriétés de l'aquifère (par exemple un système karstique ou non karstique) mais également selon l'échelle spatiale choisie (masse d'eau, BAC, bassin versant ou surface indépendante). La première idée était d'utiliser la méthode PaPRIKa (Dörfliger N., Plagnes V. (2009)), destinée spécifiquement au aquifère karstique. L'objectif en utilisant cette méthode était d'utiliser la carte piézométrique pour répondre au critère de la Zone Non Saturée (ZNS). Cependant, cette méthode multicritère à index avec système de pondération, développée à partir de la méthode RISKE, se distingue par des critères qui définissent précisément le fonctionnement hydrogéologique du sous-sol. Nous n'avons pas pu utiliser la méthode PaPRIKa car le critère Karstification est défini entre autre par les caractéristiques relatives à la fonctionnalité du système karstique (analyse des courbes de récession, vitesse et taux de restitution des essais de traçage, variabilité temporelle du débit et des paramètres physico-chimiques) difficilement mesurable sans aller sur le terrain. Nous avons donc décidé d'utilisé dans le cadre de ce travail, une méthode à index avec pondération des critères appelé méthode RISK(E). Elle a été développée à partir de la méthode EPIK (Dorliger, 1999) et permet d'évaluer la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques selon 5 critères : Roche aquifère, Infiltration, Sol, Karstification et (Epikarst).

Par ailleurs, au vu de la réalisation de la carte piézométrique, le critère de la ZNS sera pris en compte en fin de rapport dans l'étude de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques. Ce choix a pour objectif d'évaluer l'importance du critère ZNS mais également la pertinence des critères de la méthode RISKE. Un autre critère sera également défini et ajouté au système de pondération.

La méthode RISKE se déroule en 3 phases :

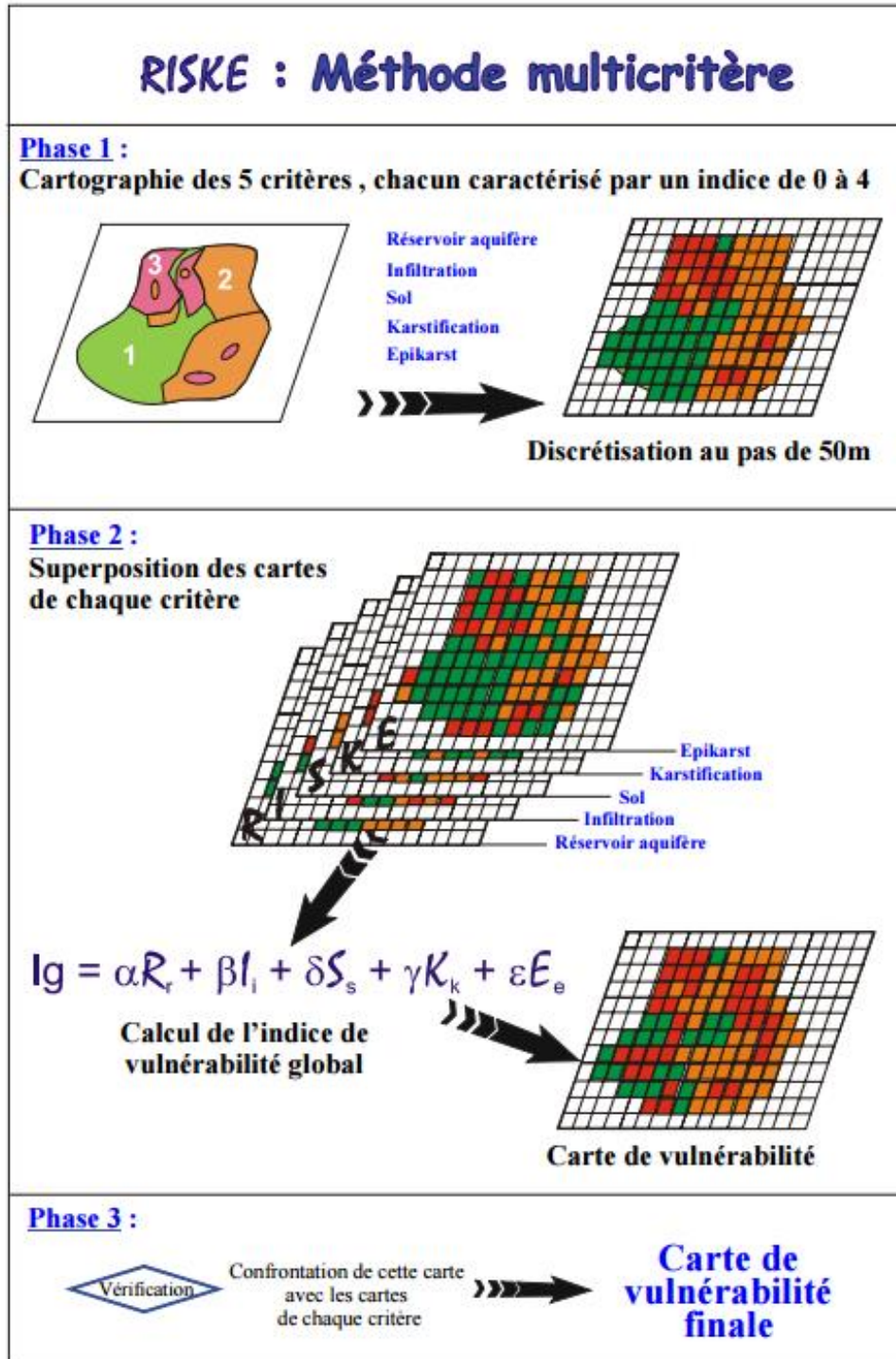


Illustration 1 : Présentation de la méthode RISKE (Dörfliger N. et al. (2004))

La réalisation de ces 3 grandes phases se définit en 5 étapes essentielles :

- Cartographie des 5 critères : Roche, Infiltration, Sol, Karstification, (Epikarst), chaque critère est décomposé et classé selon un indice traduisant le degré de vulnérabilité. Le choix de l'échelle dépend des données disponibles sur la zone étudiée ;

- Discrétisation des cartes : le découpage et la justification des classes sont guidés par le pas du Modèle Numérique de Terrain (MNT), obtenu à partir de logiciel SIG (Système d'Information Géographique). Le pas du MNT dans ce rapport est défini par les pixels d'une taille de maille de 50 m.
- Calcul de l'indice de vulnérabilité global **I_g** : l'indice affecté aux classes de chaque critère est multiplié par un facteur de pondération appelé aussi poids. La valeur des poids est définie selon l'importance des critères vis-à-vis de la vulnérabilité. La valeur finale des 5 critères indexés est ensuite additionnée pour obtenir l'indice de la vulnérabilité globale et la représentation cartographique de la répartition de l'indice **I_g**.
- Etape de régionalisation : La superposition des cartes des critères multipliés à leur poids décompose la vulnérabilité en 5 classes. Ces classes définissent les zones sensibles du domaine d'étude face aux contaminations naturelles et anthropiques.
- Etape de vérification : la carte de vulnérabilité globale est comparée avec les cartes de chaque critère indexé afin de localiser les incohérences existantes.

3.1) Caractérisation des critères

Chaque critère est caractérisé par des éléments d'information qui leur sont propres. Ces éléments d'information, plus ou moins importants pour qualifier le degré de vulnérabilité de l'aquifère, sont classés par des indices allant de 0 à 4, respectivement du moins vulnérable au plus vulnérable.

Dans la méthode RISK(E), le critère Epikarst peut être facultatif. Ce critère ne sera pas abordé dans ce présent travail car les données sur les formations epikarst sont inexistantes sur le milieu étudié.

- **Critère Roche aquifère = R**

Le critère R concerne la nature des formations géologiques présentes sur le domaine d'étude. Les étages sédimentaires, de par leurs éléments structuraux, influencent différemment la circulation de l'eau et des polluants à l'intérieur d'un aquifère. Les formations géologiques retenues sont celles qui ont un potentiel aquifère, une sélection préalable à l'aide de recherche bibliographique doit donc être effectuée. Les formations superficielles dans ce critère sont affectées à l'indice Sol décrit ci-dessous. Les formations géologiques affleurantes sont décrites sur les cartes géologiques françaises au 1/50 000^e édité par le BRGM.

Les caractéristiques et les indices de vulnérabilité, affectées au critère R, sont les suivants :

Critère	Caractéristique	Indice
Nature de la Roche aquifère	Marneuse – Peu ou pas d'écoulement	0
	Marno-calcaire – Faible écoulement	1
	Calcaire avec intercalation de marne – Ecoulement moyen	2
	Calcaire massif sans fracture ou calcaire peu épais avec fracture – Ecoulement facile et rapide	3
	Calcaire massif avec fracture et/ou karstification – Ecoulement fort et rapide.	4

Tableau 2 : Classement du degré de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique lié au critère R

- **Critère condition d'infiltration = I**

Le critère I ne représente pas la quantité d'eau infiltrée dans l'aquifère mais la manière dont elle s'infiltré. Deux types d'infiltration peuvent être distingués : l'infiltration diffuse et l'infiltration ponctuelle. Ici, les éléments d'informations retenues pour caractériser la vulnérabilité sont la pente qui favorise le ruissellement et les pertes qui avantagent l'écoulement direct en direction de l'aquifère. Ces pertes peuvent être localisées sur les cartes topographiques.

Comme le critère R, le critère I est divisé en 4 classes, elles sont définies de la manière suivante :

Critère	Caractéristique	Indice
Condition d'infiltration	Très forte pente < 50% - Ruissellement très important, faible infiltration	0
	Forte pente < 15-50% - Ruissellement important	1
	Pente modérée 5-15% - Ruissellement limité	2
	Faible pente 0-5% - Infiltration forte	3
	Infiltration concentrée au niveau des pertes	4

Tableau 2 : Classement du degré de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère lié au critère I

- **Critère Sol – Couverture protectrice = S**

La couverture protectrice est la première couche de l'aquifère à être en contact avec l'eau. Il s'agit des premiers centimètres de sol avant la roche mère. Il est donc important de connaître les éléments structuraux mais également l'épaisseur de cette couche pour évaluer son pouvoir protecteur et/ou régulateur vis-à-vis des polluants potentiels. Deux paramètres sont donc essentiels à retenir, la texture et la pierrosité (teneur en cailloux). Ces deux paramètres sont ensuite croisés au paramètre « épaisseur du sol » afin de connaître la vulnérabilité finale.

La texture : la différenciation des textures d'un sol est définie à partir d'un triangle des textures, couramment utilisé en pédologie. Par le manque d'informations précises, il a été décidé de reprendre l'approche retenue par Dörflinger N. et al. (2004), qui avaient retenu 3 classes dans leur étude de vulnérabilité par la méthode RISKE :

- Classe 1 : texture à dominante d'argile
- Classe 2 : texture à dominante de limon
- Classe 3 : texture à dominante de sable

Les textures se différencient par leur granulométrie, c'est-à-dire par la grosseur des particules de chaque texture. Les argiles grâce à leur particule fine ont plus de mal à laisser s'infiltrer l'eau que les limons ou les sables. Ces derniers, avec leur granulométrie plus importante, offrent une porosité dans le sol beaucoup plus accessible à l'eau. Le sable est la texture où l'eau s'infiltré le plus rapidement.

La pierrosité (teneur en cailloux) : Le taux de cailloux dans le sol est importants pour évaluer la vulnérabilité, comme expliqué pour les textures, les cailloux par leur forte granulométrie augmentent la porosité dans le sol et favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol. Comme pour la texture, la même approche utilisée par Dörflinger N., et al. (2004) a été retenue :

- Classe 1 : teneur en cailloux : 0 – 15%
- Classe 2 : teneur en cailloux : 15 – 60%
- Classe 3 : teneur en cailloux : > 60%

On retrouve ces informations sur des cartes pédologiques de l'INRA ou dans les études pédologiques régionales.

Le croisement de ces deux paramètres définit le paramètre « nature du sol » indispensable à la détermination du critère Sol. Il est défini selon la matrice suivante :

		Texture		
		Argile	Limon	Sable
Cailloux %	0 – 15%	1	1	2
	15 – 60%	1	2	3
	>60%	2	3	3

Tableau 3 : Classement des sols en fonction de la texture et de la pierrosité

Enfin, la détermination du paramètre Sol est défini par le croisement du paramètre « nature de sol » avec l'épaisseur de celui-ci. Il est défini selon la matrice suivante :

		Nature du sol			
		Inconnue	1	2	3
Epaisseur du sol	>100cm	S1	S1	S2	S3
	20 – 100cm	S2	S2	S3	S4
	0 – 20cm	S3	S3	S4	S4
	Nulle	S4	S4	S4	S4

Tableau 4 : Classement de la vulnérabilité intrinsèque des sols en fonction de la nature et de l'épaisseur du sol

Le classement de S1 à S4 représente la vulnérabilité, respectivement du moins vulnérable au plus vulnérable.

• Critère développement Karstique = K

La karstification est la fonction de l'eau à dissoudre une roche soluble. Généralement, les formations géologiques affectées sont les carbonates comme le calcaire, la craie ou la dolomie. En milieu souterrain karstique, la dissolution et l'élargissement des fissures par l'eau assurent une propagation hétérogène de celle-ci. Les volumes peu pénétrables (cavité, porosité) autour de ces réseaux de propagation ont une fonction de stockage.

Le développement karstique est un paramètre important lors de l'évaluation de la vulnérabilité d'un aquifère. En effet, plus le karst est fonctionnel, plus la vitesse d'infiltration dans la roche en direction de la nappe d'eau est importante. La présence de karst est difficile à démontrer mais plusieurs méthodes permettent d'appréhender et de mesurer l'importance de ces formations karstiques. Il s'agit de déterminer si l'aquifère présente une structure karstique mais également un fonctionnement karstique. Pour déterminer ces systèmes les méthodes utilisées sont :

- La présence de réseaux souterrains explorés par des spéléologues ;

- La direction et la vitesse des écoulements souterrains mises en évidence par les essais de traçage artificiels ;
- La présence de formations endokarstiques comme des grottes, des gouffres... ;
- La présence de pertes dans les ruisseaux existants, localisés sur les cartes topographiques;
- L'analyse des hydrogrammes de crues à condition de disposer d'une chronique de débits des sources et des précipitations sur une longue période.

Pour déterminer le degré de vulnérabilité d'un aquifère, les indications pour définir la karstification peuvent être classées de la façon suivante :

Critère	Caractéristique		Indice
Karstification	K0	Karst non fonctionnel (pas de récupération de traceurs ou très faible dilution, plus ou moins fissuré)	0
	K1	Karst peu fonctionnel (vitesse de traçage lente, formation fissurée mais sans karstification)	1
	K2	Karst moyennement fonctionnel (variation de débit, vitesse de traçage plus ou moins rapide, formation peu développée ou mal connecté avec la surface,	2
	K3	Karst fonctionnel (formation développée avec présence de petits drains collecteurs connectés à la surface, vitesse de traçage rapide)	3
	K4	Karst très fonctionnel (formation très développée avec présence de gros drains collecteurs connectés à la surface, vitesse de traçage très élevée)	4

Tableau 5 : Classement du degré de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique lié au critère K

3.2) Calcul de l'indice global de vulnérabilité

Après avoir soigneusement défini les caractéristiques des 4 critères, un système de pondération est effectué pour calculer l'indice global de vulnérabilité. Il est calculé grâce à la formule suivante :

$$I_g = \alpha K + \beta R + \delta I + \gamma S$$

- **I_g** = Indice global de vulnérabilité
- **γ, δ, β, α** = Poids de chacun des critères
- **K, R, I, D** : Valeur des critères indexés

La valeur des poids de chacun des critères doit être égale à 1. Les poids de chaque critère ne sont pas fixes et peuvent changer en fonction du degré d'importance de chaque critère. Le choix de chaque poids est défini

par l'appréciation de l'expert chargé de l'étude. Différents tests peuvent donc être réalisés afin de calculer la vulnérabilité la plus représentative du milieu.

Le total du calcul de l'indice global de vulnérabilité donne des valeurs entre 0 et 4 correspondant respectivement à une vulnérabilité de la moins importante vers la plus importante.

3.3) Apport de la piézométrie

Dans l'étude de la vulnérabilité, la piézométrie est nécessaire pour

- connaître le champ de perméabilité d'un aquifère ;
- repérer les écoulements préférentiels souterrains de la zone d'étude ;
- repérer la direction d'un polluant infiltré dans le sol ainsi que les zones présentant une plus ou moins forte transmissivité ;
- savoir si un cours d'eau a des échanges avec la nappe (nappe alimente ou est alimentée par le cours d'eau) ou si celle-ci est indépendante de la rivière ;
- repérer les changements géomorphologiques (élargissement d'une fissure ou karst en développement) sur plusieurs années. Ceci requiert la réalisation de carte piézométrique sur plusieurs années, ce seront les sens d'écoulements qui seront impactés ;
- nous informer sur la fluctuation du niveau d'eau et ainsi de connaître la recharge naturelle de la nappe, à condition de créer plusieurs cartes piézométriques à différentes périodes saisonnières ;
- surveiller le niveau d'eau autour du captage quand la nappe est exploitée, cela permet ainsi de mieux gérer la ressource en estimant son débit ;
- définir la Zone Non Saturé (ZNS) grâce au niveau statique de la piézométrie croisé avec le Modèle Numérique de Terrain (MNT= topographie) à condition d'avoir une quantité suffisante de points de mesure (forages, puits, sources...).

Lors de la conception de la carte piézométrique, l'hydrogéologue apporte son expertise en intégrant ces paramètres physiques imputé à l'aquifère.

Chapitre 2 : Réalisation de la carte piézométrique

1) Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude jouxte les départements de l'Yonne et de la Nièvre, elle est délimitée au Nord par les plateaux calcaires se prolongent dans le département de de l'Yonne par ceux du Vézélien. Au Sud par une limite horizontale reliant la commune de St Révérien à la commune d'Arthel, à l'Ouest par une ligne verticale reliant la commune d'Entrains sur Nohain à la commune d'Arthel et à l'Est par la limite d'affleurement des formations des calcaires du jurassique et du Lias.

D'un point de vue hydrographique, notre zone d'étude compte sur son territoire de nombreux ruisseaux et rivières situés dans les fonds de vallée. On remarque le Beuvron qui traverse horizontalement la partie Sud Est du domaine d'étude avec ses différents affluents comme le Corneau, le ruisseau d'Arthel, le Canard, le ruisseau de Trinay, la Sauzay, l'Ouanne, etc. Il vient se jeter au niveau de Clamecy dans l'Yonne. Au Sud, dans le département de l'Yonne, les ruisseaux que l'on rencontre sont le Loing, le Branlin, le ruisseau de St Bonnet, de Vallan, de Baulche, etc.

Cependant, le réseau hydrographique de notre périmètre d'étude est peu présent par rapport au reste des deux départements. La réalisation de la carte piézométrique est donc importante afin de connaître le fonctionnement du système souterrain, de rechercher et d'analyser les autres écoulements afin d'apporter les connaissances nécessaires pour prévenir et sécuriser les éventuels risques polluants naturels ou anthropiques.

Au niveau du sous-sol, notre zone d'étude présente deux masses d'eaux distinctes qui sont :

- une partie de la masse d'eau 4061 (Fr_GO_061) qui correspond à l'aquifère des calcaires et des marnes du Dogger-Jurassique supérieur du Nivernais nord ;
- une partie de la masse d'eau 3217(FR_GO_217) qui correspond à l'aquifère de l'Albien-Néocomien entre Loire et Yonne.

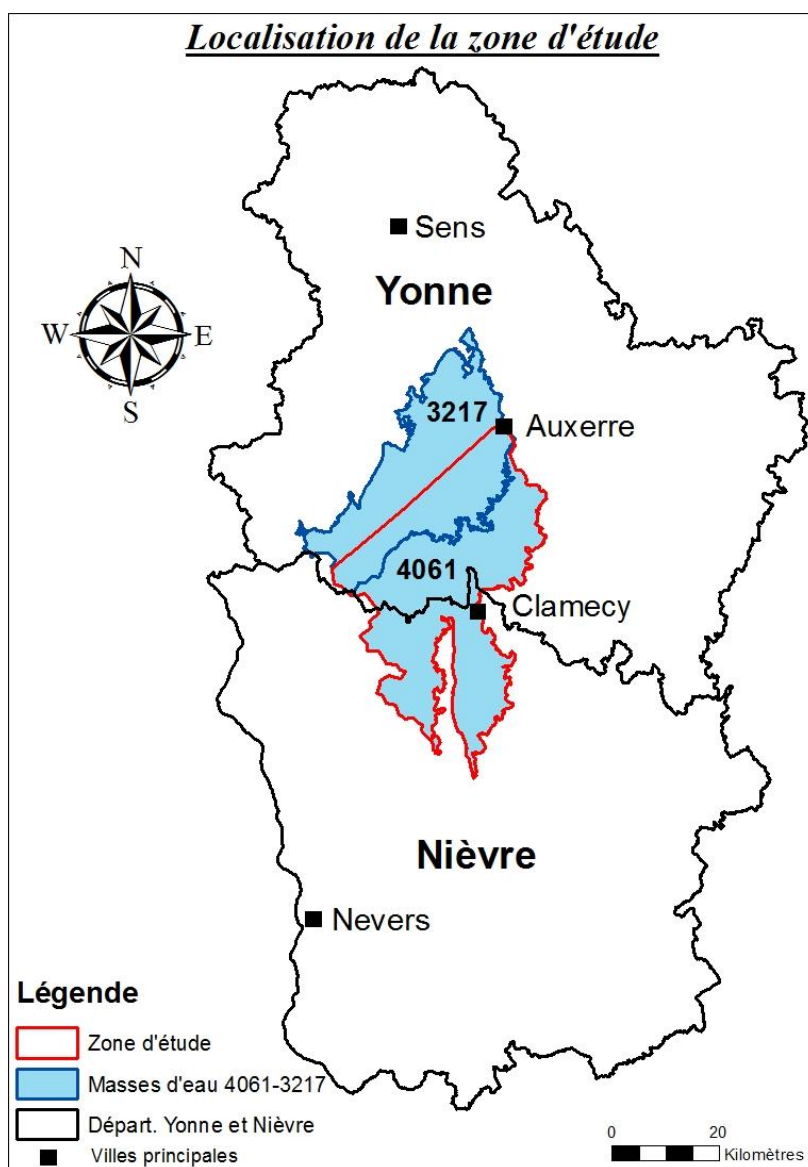


Illustration 2 : Localisation de la zone d'étude faisant l'objet des mesures piézométriques (SIG-ArcGis-BRGM)

1.1) Masse d'eau 3217 (FR_GO_217)

- **Localisation de la zone d'étude.**

La zone d'étude située dans la masse d'eau 3217 s'étend à l'ouest de la Bourgogne, au Sud-Centre du département de l'Yonne. Elle est délimitée au Nord-Est par la ville d'Auxerre et au Sud-Ouest par la commune de Treigny. La limite Sud de la masse d'eau passe par les communes de Taingy, Migé et Coulanges la Vineuse pour rejoindre Auxerre. Cette petite partie de la masse d'eau correspond à la surface des plateaux calcaires du Jurassique.

- **Géologie.**

La géologie se présente par une majorité de formations calcaires. La description de la géologie de cette masse d'eau a été réalisée avec la carte géologique d'Auxerre au 1/50000^{ème}. Elle est constituée de plusieurs séries sédimentaires alternant des faciès calcaires et marneux. On retrouve du plus ancien au plus récent :

- L'étage sédimentaire du Kimméridgien inférieur ;
- L'étage sédimentaire du Kimméridgien moyen et supérieur ;
- L'étage sédimentaire du Portlandien.

Vous retrouverez la description des étages sédimentaires ci-dessus en annexe 1

- **Hydrologie.**

Le chevelu hydrographique est très faible sur la zone d'étude car le substratum calcaire très perméable laisse l'eau s'infiltrer dans le sol. Les principaux cours d'eau sont le Loing et l'Ouanne, dans lesquels viennent se jeter de petits ruisseaux. L'Ouanne se jette dans le Loing à Conflans-sur-Loing et le Loing est un affluent de la rive gauche de la Seine. Une petite partie de l'Yonne, à proximité d'Auxerre, se trouve également dans la zone d'étude.

La pluviométrie annuelle d'Auxerre est d'environ 650 mm, ce qui est inférieur à la moyenne nationale.

- **Hydrogéologie.**

Grâce aux informations stratigraphiques et lithologiques, on peut distinguer plusieurs formations aquifères :

- Les calcaires du Kimméridgien inférieur qui ont une perméabilité moyenne et une karstification plus ou moins développée. Ils affleurent dans la vallée de l'Yonne où ils forment le réservoir principal. Ailleurs, cet aquifère est relativement peu développé.
- Les calcaires et marnes du Kimméridgien moyen et supérieur sont imperméables et forment donc le substratum de la nappe des calcaires du Portlandien. Cependant, les niveaux calcaires placés entre deux niveaux marneux forment de petites nappes cloisonnées.
- Les calcaires du Portlandien sont perméables et renferment une nappe libre très importante. Cette nappe est formée dans un karst, ce qui explique sa forte perméabilité.

Les aquifères de la région sont des aquifères karstiques.

1.2) Masse d'eau 4061 (FR GO 061):

- **Localisation :**

La masse d'eau s'étend sur les plateaux du Nivernais correspondant à l'aquifère des calcaires et des marnes du Dogger-Jurassique supérieur du Nivernais Nord. Elle est délimitée au Nord par l'Albien libre, à l'Est par l'affleurement des marnes du Lias que constitue le Bazois, au Sud par les dépôts tertiaire et à l'Ouest par la délimitation du bassin Seine-Normandie.

- **Géologie :**

La géologie du domaine d'étude a influencée la topographie. Le relief étant vallonné, les activités agricoles sont essentiellement de l'élevage et l'habitat est dispersé le long des plaines alluviales. Les principales villes que l'on retrouve sur le domaine d'étude sont Clamecy et Varzy.

La description de la géologie de cette masse d'eau a été réalisée avec les cartes géologiques de Clamecy (N°465) et de Vermenton (N°435) au 1/50 000. Elle est constituée de plusieurs séries sédimentaires alternant des faciès calcaires et marneux. On y retrouve du plus ancien au plus récent :

- L'étage sédimentaire du Toarcien ;
- L'étage sédimentaire du Bajocien ;
- L'étage sédimentaire du Bathonien moyen et inférieur ;
- L'étage sédimentaire du Bathonien supérieur ;
- L'étage sédimentaire du Callovien ;
- L'étage sédimentaire de l'Oxfordien moyen et supérieur ;
- L'étage sédimentaire de l'Oxfordien supérieur ;
- L'étage sédimentaire du Kimméridgien.

Vous retrouverez la description des étages sédimentaires ci-dessus en annexe 1.

- **Hydrologie :**

Notre zone d'étude connaît un climat différent entre l'Est et l'Ouest. Par exemple, le Val de Loire subit un climat à influence océanique avec des précipitations moyennes de 600 à 800 mm par an tandis que le Morvan subit une influence semi-continentale dont la pluviométrie moyenne est de 1000 à 1500 mm par an.

Le chevelu hydrographique sur le domaine d'étude est peu présent. Cela s'explique par la nature géologique du sous-sol qui est calcaire et fortement impacté par des failles favorisant le développement de karst. De ce fait, l'eau s'infiltre très rapidement dans ce milieu perméable ne favorisant pas le développement d'un réseau hydrographique dense. Le cours d'eau principale qui traverse la masse d'eau 4061 est l'Yonne, affluent de la Seine. D'autres ruisseaux comme le Beuvron, l'Ouagne, le Sauzay, la rivière de Druy, l'Oisy, dont les sources, se situant principalement en fond de vallée, prennent naissance dans les formations calcaires. Ce sont les eaux circulant dans les aquifères calcaires qui soutiennent le débit des cours d'eau notamment lors des périodes estivales et en absence de précipitations.

- **Hydrogéologie**

Différentes formations aquifères sont intercalées entre des formations aquiclude. On distingue les aquifères dans les étages sédimentaires suivants :

- Le Bajocien inférieur : ce niveau contient un aquifère au contact des marnes et des argiles toarciennes. A l'affleurement, cet aquifère donne une ligne de source souvent captée pour l'eau potable (Oisy).

- Le Bajocien supérieur, Bathonien inférieur et moyen : ce niveau peu perméable, par ces intercalations de faciès marneux, renferme à certains endroits des aquifères captifs.
- Le Bathonien supérieur : ce niveau constitue un aquifère libre connecté à certains endroits avec celui de l'Oxfordien lorsqu'il présente un faciès calcaire. Il donne naissance à de nombreuses sources à débit assez importants et souvent captées pour AEP (Corvol - l'Orgueilleux).
- Le Callovien, l'Oxfordien moyen et supérieur, Kimméridgien inférieur : ces niveaux, presque entièrement calcaire, forment un aquifère unique grâce aux réseaux karstiques situés entre les étages sédimentaires.
- Le Kimméridgien supérieur : ce niveau, composé de quelques niveaux marneux, peut donner quelques sources.
- Dans les alluvions de l'Yonne on distingue également, des petites nappes aquifères retenues par les couches marneuses.

Les circulations karstiques affectent la masse calcaire du Bathonien au Kimméridgien. Elles mettent en évidence des « rivières souterraines » dans les calcaires du Callovien, du Bajocien et du Bathonien. Elles peuvent, à certains endroits, s'étendre sur 3 km de long (Bassin du Sauzay, commune de Corvol l'Orgueilleux). Il est possible que certaines formations karstiques mettent en relations différents aquifères entre eux mais il est difficile de le démontrer.

L'eau stockée dans les nappes des calcaires est restituée par des sources, permettant ainsi le maintien d'un débit dans les cours d'eau que sont notamment le Mazou, le Nohain, le Sauzay, la Nièvre et la Colâtre, etc.

La masse d'eau 4061 est classée zone à risque du fait d'un milieu souterrain très fissuré et des activités humaines très importantes.

2) Elaboration de la carte piézométrique

Dans cette partie du rapport, les différentes étapes ayant permis le tracé de la carte piézométrique des deux masses d'eau 4061 et 3217 sont présentés. Il sera abordé les moyens et les méthodes utilisées à l'organisation de la campagne terrain, à la réalisation des mesures des niveaux statiques de plus de 300 points ainsi qu'à l'utilisation des logiciels cartographiques. Une interprétation des résultats viendra conclure ce chapitre.

La méthode de travail, utilisée lors de la première campagne en « hautes eaux » est réalisée de la même manière pour la deuxième campagne en « basses eaux ».

Les documents qui permettent d'apprécier le travail réalisé sont disponibles en annexe. Vous retrouverez les cartes piézométriques au format A3 (annexe 2) ainsi qu'une carte simplifiée de la géologie locale (annexe 3).

2.1) Préparation de la campagne terrain

- **Rassemblement des données existantes sur la zone d'étude :**

La première étape est de rassembler les données historiques et les sources d'informations présentes dans la base de données du sous-sol (BSS) du BRGM et auprès des différentes administrations liées à l'environnement (DREAL Bourgogne, DDT, Agences de l'Eau). Il a été également demandé aux Mairies de localiser les forages, les sources et les puits présents sur leur commune respective. Et enfin de rechercher les informations sur le contexte hydrologique et les études éventuelles disponibles sur le secteur concerné.

- **Extraction de la BSS :**

La Banque du Sous-Sol (BSS) est l'ensemble des travaux souterrains. Elle contient des informations brutes géologiques et techniques relatives à des ouvrages souterrains : localisation, objet, description géologique, équipement technique des forages.

Une extraction de la BSS a permis d'obtenir une liste de 1047 ouvrages localisés dans le secteur d'étude. Cependant, de nombreux ouvrages ne sont pas utilisables pour une campagne piézométrique (comme les sondages géotechniques par exemple). Ces forages ont été éliminés de la base de données de la campagne terrain.

- **Sélection des points de mesure et préparation du matériel :**

La pertinence des points sélectionnés a été déduite par rapport à leur localisation géologique et géographique. En effet, le nombre total de points mesurés étant de 300 points maximum pour une superficie maximale de 1068 km², le maillage établi représente donc un point tous les 3,5 km². L'objectif étant de rechercher une répartition géographique la plus homogène possible des ouvrages à mesurer.

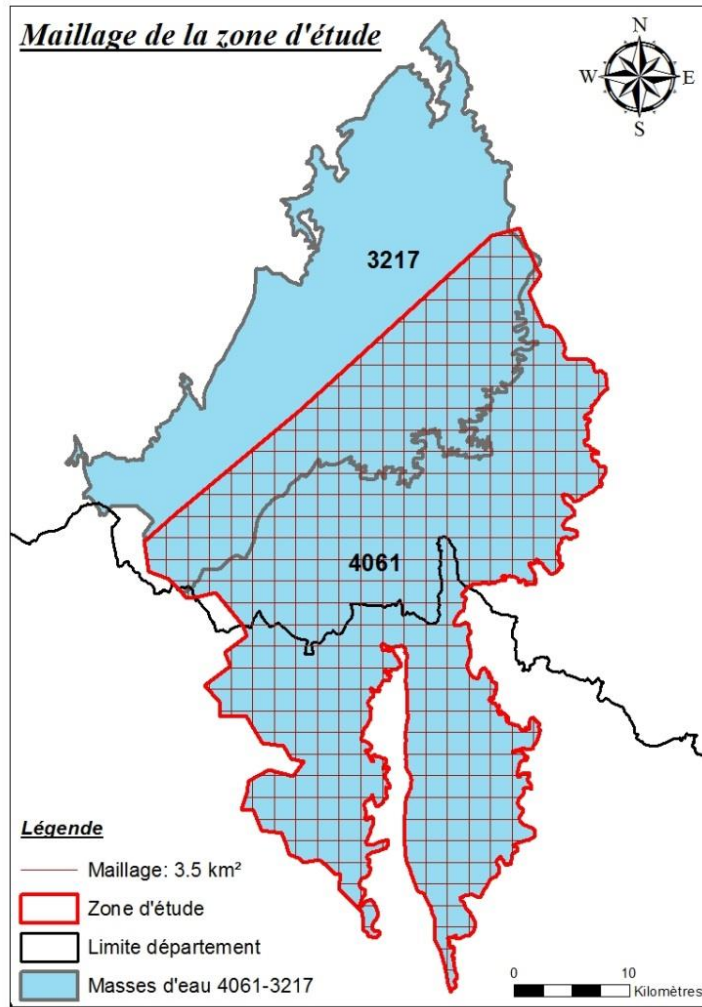


Illustration 3 : Cartographie du maillage permettant de sélectionner les points de mesure pertinent (SIG-ArcGis-BRGM)

Après avoir sélectionné les points de mesures pertinents captant la nappe du Jurassique supérieur et moyen, des feuilles de route ont été établies avant la campagne terrain pour chaque point sélectionné. Elles décrivent les aspects suivants :

- Contexte géologique, hydrologique et hydrogéologique des secteurs concernés ;
- Définitions des points et commentaires sur leur choix (densité du réseau, localisation, suivi historique, etc.) ;
- Description sommaire des ouvrages retenus sous forme de fiches des stations (photos, type, accès, état, usage,...) ;
- Localisations précise des ouvrages et production de cartes d'accès aux points de mesures sélectionnés.

Les points choisis pour la mesure piézométrique captent la première nappe, plus précisément, là où les calcaires du Jurassique moyen et supérieur sont affleurant. Afin de s'assurer de la pertinence des points, nous avons relevé la profondeur de chaque points afin de déterminer l'aquifère capté à l'aide d'une carte géologique. Un fichier Excel présente les informations de chaque point mesurable.

Pour chaque équipe d'intervenants, le matériel utilisé est :

- Carte de localisation des ouvrages
- Sonde piézométrique manuelle
- Equipement de sécurité

- Appareil photo, téléphone portable...
- Contact avec les gestionnaires des points pour l'accès aux ouvrages
- Lettre de recommandation destinée à faciliter le travail de terrain des intervenants auprès des autorités locales.

2.2) Campagne de terrain

• **Organisation du travail de terrain**

La campagne terrain a nécessité l'intervention de 6 agents répartis en 3 équipes. Trois zones ont été définies, représentant environ 354 km² par équipe (rappel de la surface totale : 1068 km²). Chaque équipe s'est vue attribuer une zone d'investigation ainsi que la liste des points correspondant et le matériel nécessaire à la bonne conduite de cette étape (sonde piézométrique, GPS de terrain, outils, etc.)

La campagne en hautes eaux s'est déroulée en 11 jours ouvrés, du 13 au 24 avril 2015. La charge de travail correspondante à la préparation de cette campagne représente pour une équipe de deux personnes une durée de 4 semaines.

• **Méthode de mesure**

Les niveaux statiques de chaque ouvrage sont mesurés grâce à une sonde piézométrique. Celle-ci est constituée d'une sonde attachée à un ruban métrique conducteur. Au contact de l'eau, la sonde émet une alarme sonore qui nous permet, grâce au ruban métrique, de mesurer la hauteur de la surface de la nappe d'eau par rapport à la surface du sol ou d'un repère dont la hauteur par rapport au sol est connue. Un repère de mesure au sol est préalablement défini afin d'effectuer la même mesure pendant les deux campagnes par exemple, en hautes eaux et en basses eaux. Chaque mesure a été reportée sur un cahier de terrain sur lequel une carte d'accès et les informations de chaque ouvrage sélectionnées étaient présentes.

Afin d'avoir une bonne représentativité de l'état « naturel » de la nappe en condition de hautes et basses eaux, il est primordial de s'assurer que les ouvrages ne font pas l'objet d'un pompage particulier. Les mesures prises ont donc été relevées en régime statique.

Une grande majorité des points mesurés appartenait au domaine public. Les ouvrages appartenant au domaine privé ont fait l'objet, pour leur propriétaire (agriculteurs et particuliers), d'un important travail de communication et de médiation.

Pour chaque ouvrage, les opérations suivantes pour les deux campagnes hautes eaux et basses eaux ont été effectuées :

- Mesure manuelle du niveau statique à partir d'un repère pérenne sur les points sélectionnés accessibles et en état.
- Mesure de la profondeur de l'ouvrage depuis le repère ; ce qui permettra de vérifier si celui-ci capte bien l'aquifère souhaité ;
- Mesure du niveau du repère par rapport au sol ;
- Prise de photo numérique de l'ouvrage dans son environnement et du repère choisi pour la mesure ; les photos sont fournies au format JPG et intégreront le code BSS de l'ouvrage concerné (codebss_a : ouvrage ; codebss_b : repère) ;

- Repérage des coordonnées et de nivellement à partir de la carte IGN à 1/25 000 ;
- Création d'une fiche signalétique avec attribution d'un indice BSS au nouveau point pour les ouvrages non déclarés en BSS.



Illustration 4 : Photographie d'un puits et de la sonde piézométrique lors de la campagne.



Illustration 5: Photographie de la mesure d'un niveau d'eau grâce au ruban métrique de la sonde piézométrique et du repère.

Les informations pour chaque ouvrage constituent une liste, utilisable pour d'autres futures campagnes de mesure.

2.3) Présentation des points de mesure

- **Dépouillement, validation et saisie de données :**

La liste des points de mesure et les informations recueillies pour chaque ouvrage ont fait l'objet d'une vérification et d'une validation par un hydrogéologue régional. Ces vérifications sont basées sur des études antérieures ainsi que sur des connaissances de terrain portées sur la zone d'étude. D'autres éléments d'information ont permis de connaître des données essentielles au traçage de la carte piézométrique, ils concernent l'altitude des ouvrages définis avec le MNT, la hauteur des repères par rapport au sol, les coordonnées géographiques, etc.

Toutes ces informations ont été insérées dans la BSS, elles ont été complétées par des éléments indispensables pour retrouver facilement les ouvrages lors d'un éventuel retour sur le terrain (coordonnées, repères, environnement de l'ouvrage, photos, matériel nécessaire à l'accès du point d'eau, etc). Certains points, déjà connus dans la BSS ont fait l'objet d'une mise à jour, permettant ainsi d'apprécier leurs évolutions dans le temps. Il est à noter que certains ouvrages localisés dans la BSS n'ont pas été retrouvés sur le terrain.

- **Réalisation de la carte piézométrique :**

A l'issue de chaque campagne de mesure, les cartes piézométriques présentes en annexe sont réalisées à l'échelle 1/100 000 avec tracé des isopièzes tous les 20 mètres voire 10 mètres le cas échéant.

Les éventuelles lignes de crêtes piézométriques sont représentées ainsi que les principaux axes d'écoulement.

Le traitement des données, suite à la campagne de mesures, est réalisé en prenant en compte :

- La représentativité et la fiabilité de la mesure ;
- La nappe captée par l'ouvrage ;
- La comparaison de l'altitude de chaque point mesuré par rapport à un modèle numérique de terrain (pas de 30 m) ;
- La comparaison de l'altitude de la nappe par rapport au sol (épaisseur de la zone non saturée) ;
- La validation des données permettant de retirer les données aberrantes (niveaux dynamiques etc...).

Un fichier Excel est constitué pour chaque campagne, il contient les informations suivantes :

- « CODE_BSS » du point de mesure ou nom du talweg ;
- « NATURE » du point de mesure (puits, forage, piézomètre, source, talwegs...)
- « COMMUNE » ;
- « DEPT », département ;
- « XL93, YL93 » coordonnées X et Y en Lambert 93 ;
- « Z_SOL », altitude sol en m NGF ;
- « DATE » de mesure du niveau piézométrique ;
- « NP_REP », profondeur du niveau d'eau (en m/repère) ;
- « Z_REP_NGF », altitude du repère (en m NGF)
- « ORIGINE » de la mesure avec nom du producteur de données ;
- « MESURE » effectuée ou déduite.

- **Etablissement et analyse de la carte**

Un tracé automatique de la carte piézométrique est réalisé à partir du logiciel GDM (Géological Data Management) développé par le BRGM. Comme ArcMap ou ArcGis, il modélise des données sous forme de graphiques vecteur et de vues 3D dynamiques. Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour cartographier des données mais dans ce présent rapport nous utiliserons l'interpolation par krigeage avec modèle de variogramme.

Après avoir réalisé le tracé de la carte piézométrique, une vérification de chaque point est nécessaire afin de représenter au mieux la réalité du domaine d'étude. Pour cela, les opérations suivantes sont réalisées :

- Préparation des documents cartographiques (cartes de report des points) ;
- Carte des relevés bruts (identification et localisation des mesures) ;
- Tracé des isovaleurs et contrôle de cohérence de la carte par un hydrogéologue pouvant entraîner des corrections ;
- Détermination des sens d'écoulements de nappe (gradients, relations hydrauliques inter-aquifères et/ou avec réseau superficiel, sources, etc.) ;
- Caractérisation de la piézométrie par rapport à l'état moyen (environnement, pluviométrie,...).

2.4) Résultat

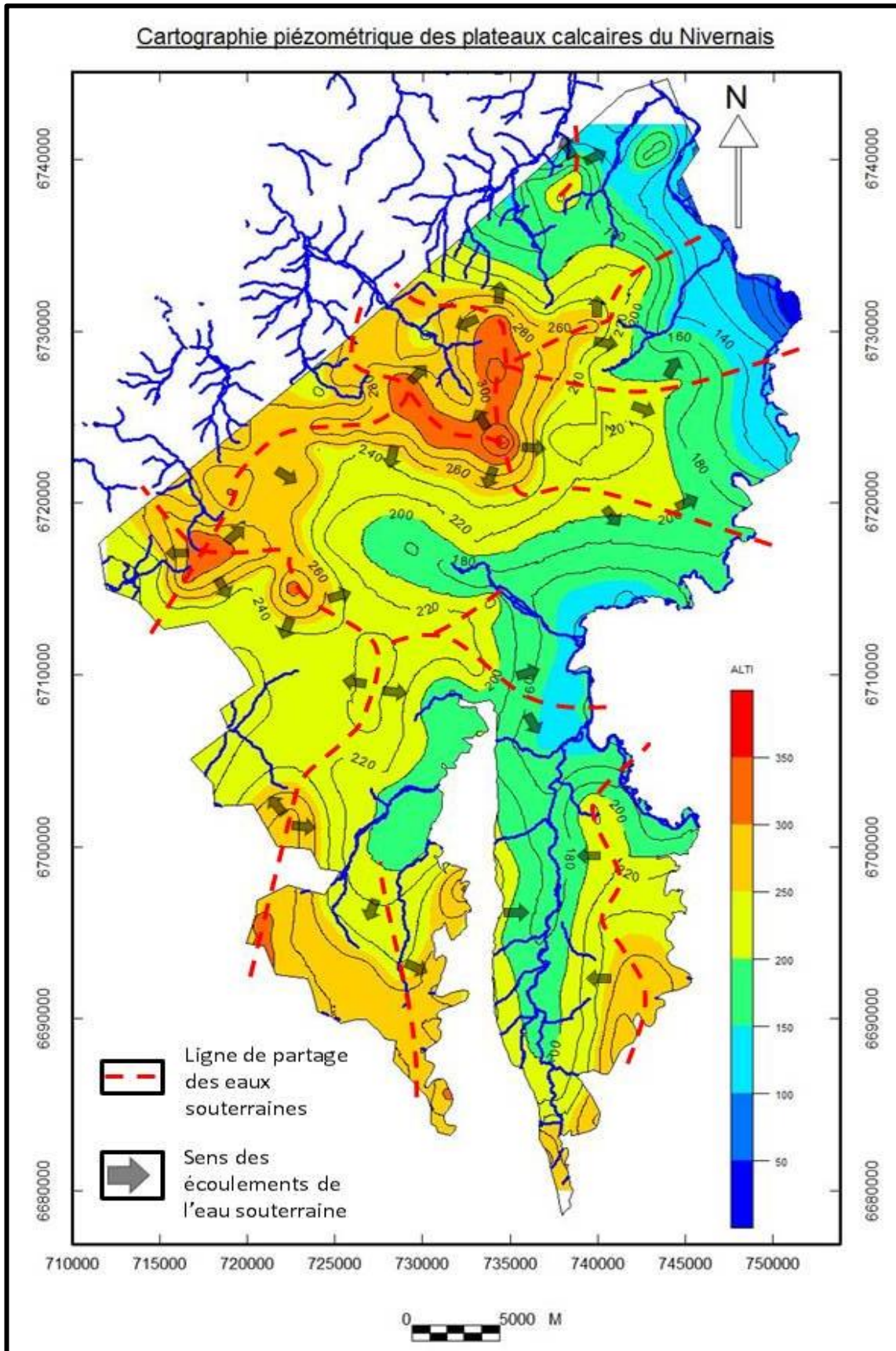


Illustration 6: Résultat cartographique de la campagne piézométrique des plateaux calcaires du Nivernais.

De nombreuses lignes de partage d'eau sont présentes sur la carte piézométrique. Ces lignes partagent l'écoulement des eaux souterraines dans deux directions différentes. Elles représentent les limites géographiques qui divisent un territoire en un ou plusieurs bassins versants. Les sens d'écoulements sont eux aussi variés, la plupart d'entre eux se dirigent vers les fonds de vallée pour rejoindre les rivières et ruisseaux qui drainent la nappe en période de hautes eaux. Les mouvements d'eau permettent à l'Agence de l'eau Seine-Normandie de connaître le nombre de bassin versant présent sur la zone d'étude. Chaque bassin versant pourra être examiné en vue des programmes d'action de 2016-2021 prévu par la DCE. **Vous retrouverez la carte piézométrique au format A3 en annexe 2.**

Chapitre 3 : Etude de la vulnérabilité intrinsèque des pollutions diffuses

1) La vulnérabilité intrinsèque

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique élaborée grâce à la méthode RISKE demande une récolte importante d'information d'un point de vue géologique, hydrologique, hydrogéologique et pédologique. La réalisation de la carte piézométrique, son analyse et les études antérieures sur notre domaine d'étude permettent de rassembler une quantité importante d'information permettant de caractériser la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère étudié. Cependant, la répartition de l'information n'est pas homogène à toute la zone, nous avons donc choisi d'évaluer la vulnérabilité intrinsèque sur une partie de l'aquifère correspondant à la masse d'eau 4061, là où la donnée est suffisante.

Après avoir évalué la vulnérabilité intrinsèque sur une partie de l'aquifère karstique nous allons également évaluer dans ce rapport la pertinence de la méthode RISKE. En effet, les 5 critères utilisés semblent suffisants au vu des hydrogéologues pour caractériser la vulnérabilité intrinsèque du milieu. Cependant, nous verrons que d'autres critères peuvent être pris en compte dans la méthode RISKE et que l'insertion de ces nouveaux critères peut ou non impliquer des changements dans le calcul et l'indice de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique.

2) Présentation de la zone d'étude

La partie de l'aquifère concernée par la vulnérabilité intrinsèque se trouve dans le département de la Nièvre, délimitée au Nord par la limite du département au niveau de la ville de Clamecy et de Surgy, à l'Ouest par un axe vertical reliant la commune de St-Pierre-du-Mont et Parigny-la-Rose, au Sud par la commune de St-Révérien et à l'Est par un axe vertical reliant Tannay à Clamecy. Géologiquement la zone est située et limitée par les calcaires récifaux à l'Ouest, délimitée par le Lias à l'Est et couvre toute la zone affleurante des calcaires et des marnes du Dogger-Jurassique supérieur du Nivernais Nord. Au centre de la zone d'étude coule le Beuvron et ses affluents.

La zone d'étude pour la vulnérabilité a été choisie parce qu'elle présente une quantité d'information (nombre de point d'eau, rapport d'étude, bonne représentativité de la piézométrie) plus importante que le reste de la carte piézométrique.

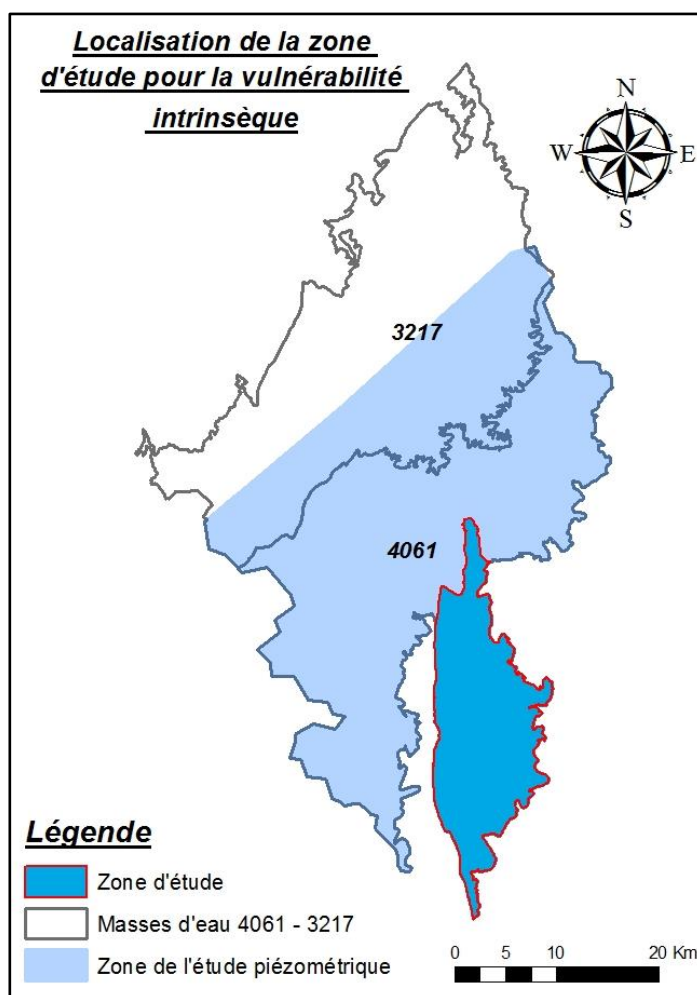


Illustration 7: Cartographie de la localisation du secteur d'étude pour la vulnérabilité intrinsèque (SIG-ArcGis-BRGM)

3) Matériel et méthode

La méthode utilisée pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque sur une partie de l'aquifère karstique est la méthode RISK(E).

Pour mener à bien cette étude, le matériel utilisé pour répondre aux différents critères de la méthode est :

- Carte et notice géologique ;
- Carte des pédo-paysages ;
- Carte topographique ;
- Carte piézométrique ;
- Logiciel SIG avec un MNT ;
- Rapports du BRGM sur le département ;
- Rapports spéléologiques.

Les documents ci-dessus ont permis de définir chaque critère de manière la plus représentative possible. Il est certain que l'échelle de la zone d'étude est difficilement utilisable pour les formations exceptionnelles de petite taille et/ou pour les éléments en quantité très faible. Ces derniers seront soit supprimés des indices de justification, soit mis en complément avec d'autres caractéristiques qui déterminent la vulnérabilité intrinsèque.

3.1) Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère R

Le critère R détermine le degré de vulnérabilité de chaque formation géologique affleurante de l'aquifère, plus précisément il évalue la capacité d'infiltration d'une roche de la surface jusqu'à la masse d'eau. Les informations qui le déterminent sont retrouvées sur les cartes géologiques au 1/50 000^e accompagnées de leur notice (édition BRGM, infoterre). Chaque description d'un étage sédimentaire nous permet de les classer selon leur degré de vulnérabilité. Par exemple, une formation géologique présentant une couche imperméable sera moins vulnérable qu'un banc calcaire qualifié de perméable.

Rappel de la géologie du secteur d'étude : (une coupe géologique de Villiers sur Beuvron à l'Yonne est disponible en annexe 4 (Jauffret D. 1997))

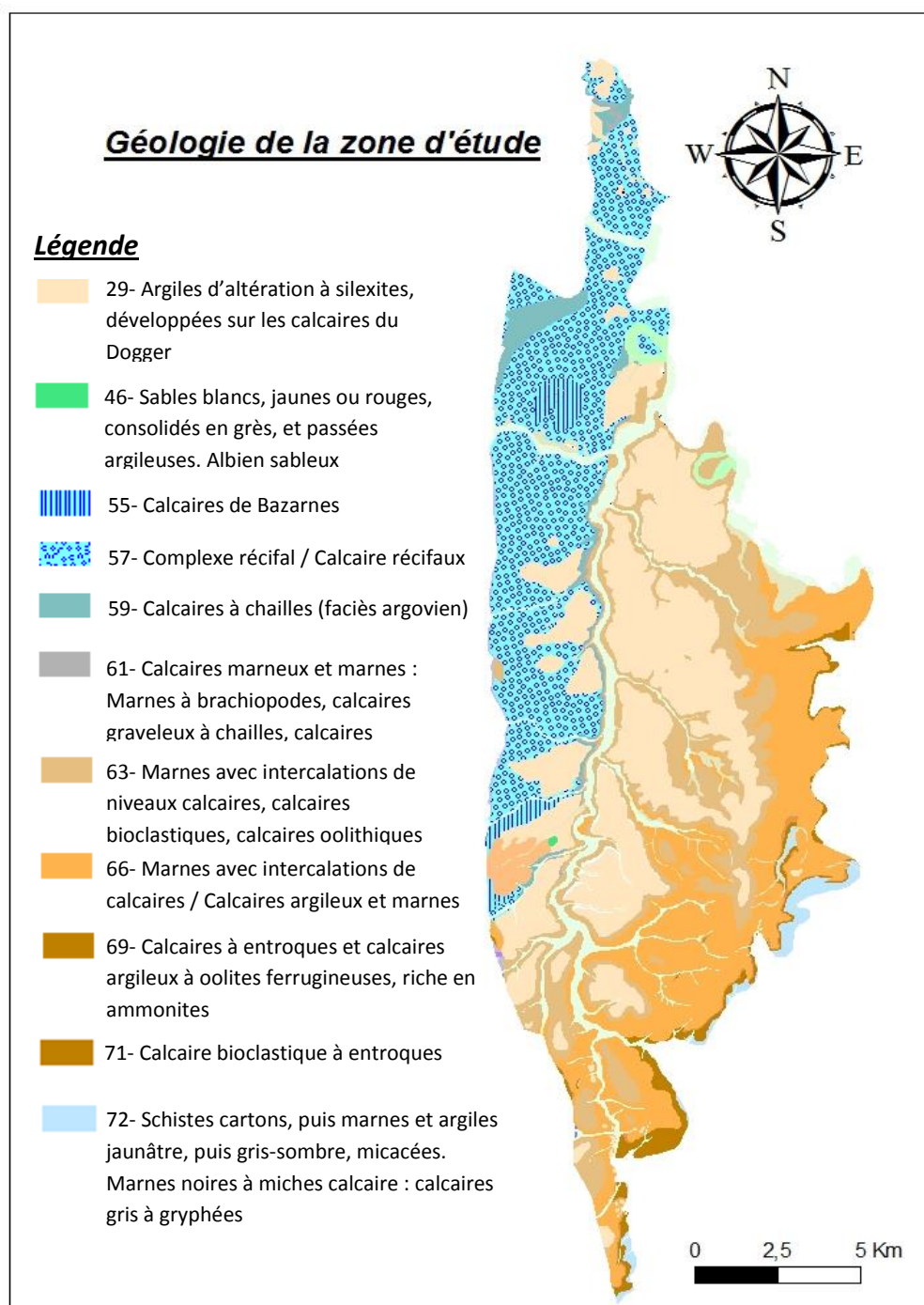


Illustration 8 : Cartographie de la géologie de la zone d'étude (SIG-ArcGis-BRGM)

Grâce aux notices géologiques de Clamecy (feuille 465) et de Prémery (feuille 495) et aux rapports antérieurs, les formations géologiques affleurantes ont été classées de la manière suivante :

Critère Roche	Caractéristique – Formation affleurante	Indice
	-Très forte vulnérabilité- Calcaire bioclastique et oolithique	4
	-Forte vulnérabilité- Calcaire récifaux Calcaire bioclastique à entroque	3
	-Moyenne vulnérabilité- Argile d'altération à silexite Calcaire marneux, graveleux à chaille Alluvions récentes	2
	-Faible vulnérabilité- Calcaire argileux et marneux Sable et argile du Bourbonnais	1
	-Très faible vulnérabilité- Schiste carton, marne et argile jaunâtre	0

Tableau 6 : Caractérisation du degré de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère lié aux formations affleurantes

Remarque : Malgré le pourcentage important d'argile, les argiles d'altération à silexites ont été classées en moyenne vulnérabilité à cause des pertes présentes dans le sol comme illustré sur le dessin ci-dessous. Ces pertes dirigent l'eau et les pollutions diffusées directement (ou par réseau karstique) dans l'aquifère.

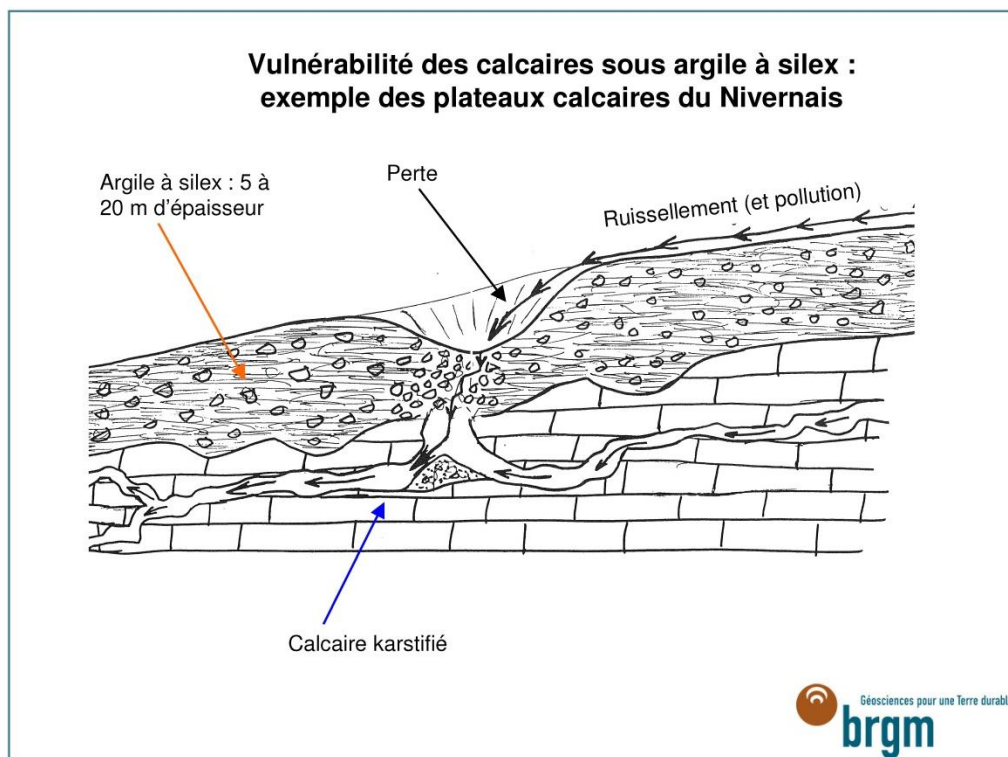


Illustration 9: Représentation des réseaux karstiques dans les calcaires sous argile à silex (BRGM)

Carte de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère Roche :

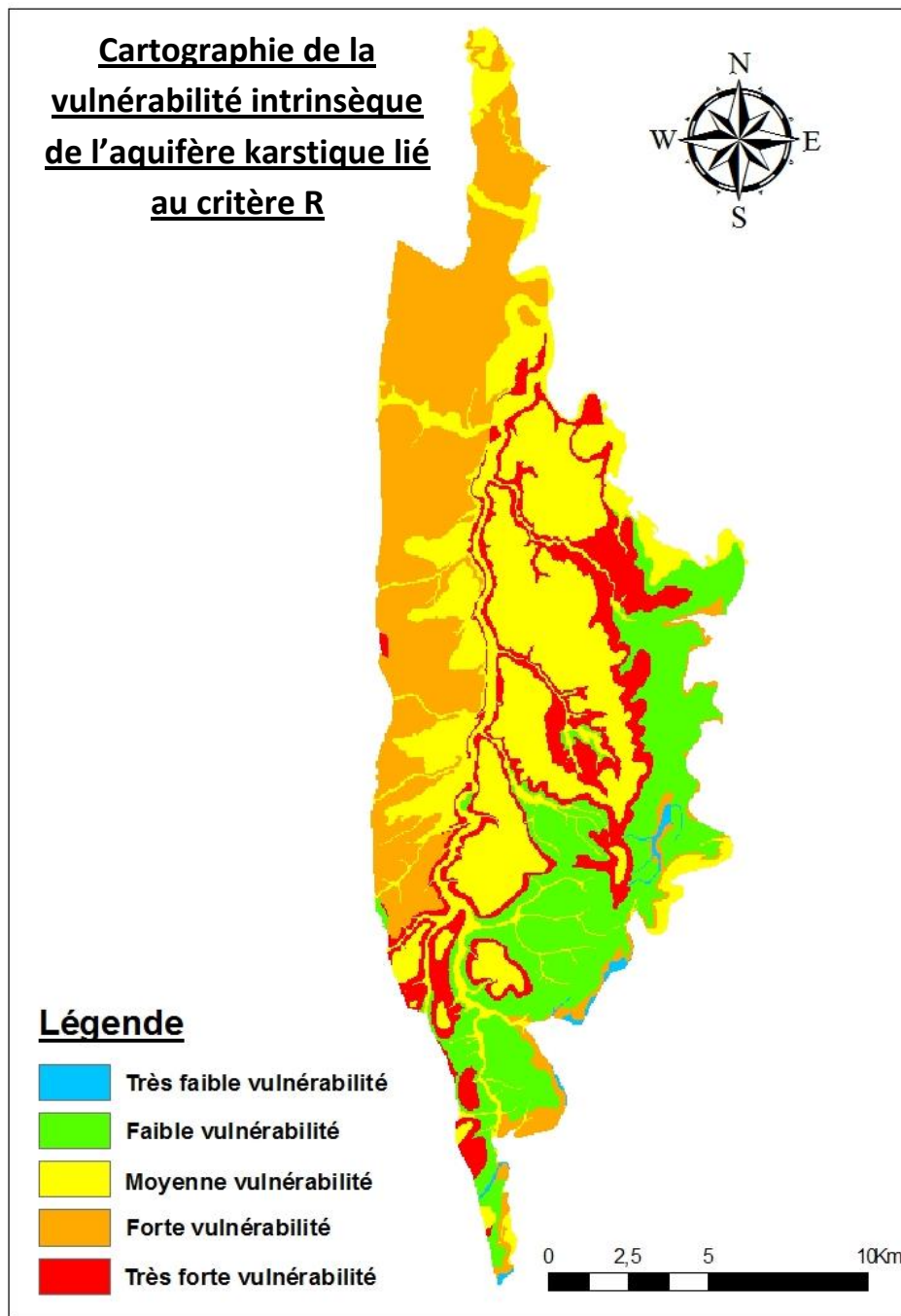


Illustration 10: Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère R (SIG- ArcGis)

Les alluvions récentes ont été classées en faible vulnérabilité car malgré leur faciès marneux, les alluvions sont très proches de la masse d'eau et présentent donc un risque plus ou moins grand face à une pollution diffuse. Les alluvions de basse terrasse, présentes en faible quantité sur le domaine d'étude ont été rattachées aux alluvions récentes.

D'après la carte, les zones à très forte vulnérabilité se situent en bas de versant des plateaux forestiers, en lisière des cultures et le long des berges du Beuvron.

3.2) Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère I

Le critère I détermine la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère par rapport à sa topographie. Il se définit selon le pourcentage de pente situé sur le domaine d'étude.

Carte de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère Infiltration :

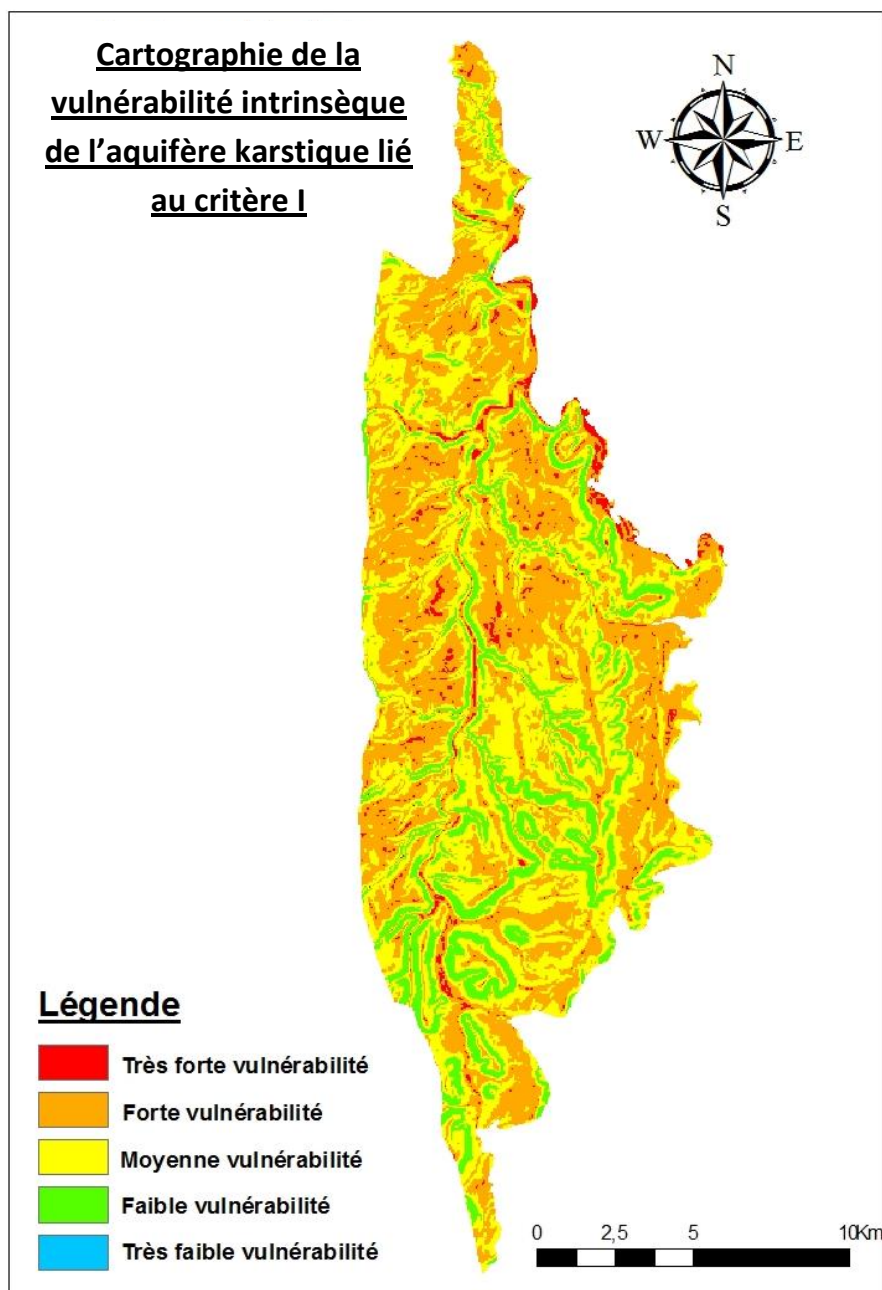


Illustration 11: Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère I (SIG- ArcGis)

A part les versants des plateaux forestiers, la zone d'étude ne présente pas de fortes pentes, la vulnérabilité est donc plus ou moins importante sur la totalité de sa surface.

3.3) Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère S

Le critère S détermine la vulnérabilité intrinsèque des couches superficielles de l'aquifère karstique. La différenciation des couches sont possible grâce au référentiel des pedo-paysage appelé « Sol et Territoire de Bourgogne » (STB) disponible sur internet via : <http://stb.educagri.fr>. Le programme STB est la déclinaison régionale du programme national « Inventaire Gestion et Conservation des Sols » (IGCS) coordonné par le Groupement d'Intérêt Scientifique SOL (INRA, centre d'Orléans). Le programme IGCS oriente ses actions dans la gestion durable de l'espace rural. Les acteurs concernés recherchent et répondent aux diverses problématiques touchant à l'érosion des sols, la qualité des eaux, l'acidification, la mise en place de jachères, la contamination des sols ou les plans d'occupation des sols à l'échelle régionale et locale. (www.esrifrance.fr)

Le programme STB quant à lui, caractérise et localise les sols grâce à des inventaires exhaustifs et à un référentiel pédologique piloté par une Système d'Information Géographique (SIG). Il donne seulement une idée de la pédologie en place, les sols ne sont pas tous localisés, certains sont regroupés entre eux en indiquant seulement le pourcentage d'occupation d'un sol parmi les autres. Il a été décidé de prendre pour cette étude les sols dominants. Les sols ayant le même pourcentage de surface ou ayant une différence de 5 % feront l'objet d'une réflexion afin de trouver une moyenne approximative mais représentative des deux sols en place.

Chaque sol est qualifié d'une lettre en majuscule. Cela permet de repérer la situation de chaque sol ou groupe de sol dominant dans les tableaux d'évaluation de la vulnérabilité.

Les types de sol dominants rencontrés sur le domaine d'étude sont :

Sol des versants calcaires du Jurassique forestier

- Rendosol pierreux des versants et haut de versants issu des calcaires durs de l'oxfordien (40%) - A
- Calcosol leptique humifère des versants forestiers issu des calcaires bathoniens (70%) - D
- Calcisol argileux des hauts versants issus des marnes toarciennes (40%) - J
- Calcisol argileux faiblement hydromorphe des bas de versants sur marnes toarciennes (45%) - J

Sols du val du Beuvron

- Brunisol fulvique redoxique à texture équilibrée à horizon graveleux (60%) - K

Sol des plateaux nivernais forestiers sur formations de limons et d'argiles à chailles

- Luvisol dégradé hydromorphe issu d'argile limoneuse d'altération (60%) - B
- Luvisol drystique profond, limoneux en surface, argileux en profondeur, caillouteux des hauts et mi pente des versants (35%) - C
- Luvisol redoxique profond à forte charge en chailles, localement hydromorphe des plateaux (30%) - C
- Alocrisol humifère bathyluvique à texture équilibrée issu d'arène granitique du massif forestier de St Saulge (60%) - H
- Luvisol sain caillouteux, limoneux à argileux en profondeur, en position d'interfluve à dominante forestière (40%) - E
- Luvisol rédoxique profond à forte charge en chaille, localement hydromorphe des plateaux (40%) - E

Sol des replats et faibles pentes en culture

- Calcisol profond sain des replats cultivés issu des calcaires durs de l'oxfordien (40%) - A
- Calcisol argileux, faiblement colluvionné cultivé des replats issu de marne et calcaire argileux bathonien (40%) - F
- Brunisol argileux pachique faiblement hydromorphe sur dalle bajocienne des faibles pentes sous culture (40%) - F
- Calcisol argileux profond, localement hydromorphe issu des bancs calcaires durs du Sinnémurien (30%) - I
- Pelosol très concrétionné généralement en prairie issu des marnes du Carixien (30%) - I
- Rendosol humifère hypercalcaire graveleux issu de calcaire du Batonien (100%) - G

Afin d'évaluer la vulnérabilité intrinsèque des sols présents sur le domaine d'étude, les deux paramètres « Texture » et « Pierrosité » ont été croisés afin de définir la nature du sol. La méthode d'évaluation du critère S classe la texture en fonction des dominances d'argile, de limon et de sable.

Sur la zone d'étude, certains sols ont une texture équilibrée et aucun d'entre eux ne présentent une dominance de sable. Pour cette étude, les dominances d'argile et de limon ont été retenues et la texture sableuse a été remplacée par la texture équilibrée. Cette dernière, composée d'un tiers d'argile est moins vulnérable que le limon et vient donc se placer entre les deux autres textures dans la matrice de l'évaluation de la « Nature du sol ».

La détermination du critère S a classé les sols dans la matrice suivante :

		Texture		
		Argile	Equilibré	Limon
Cailloux %	0 – 15%	1 : D, J	1 : G, I, K	2 : B
	15 – 60%	1 : A, F	2 : H	3 : C, E
	>60%	2	3	3

Tableau 7 : Classement des sols en fonction de la texture et de la pierrosité

Après avoir déterminé la « Nature du sol », ce paramètre est croisé avec « l'épaisseur du sol ».

		Nature du sol			
		Inconnue	1	2	3
Epaisseur du sol	>100cm	S1	S1 : A, F, G, J	S2	S3 : C, E
	20 – 100cm	S2	S2 : D, K	S3 : B, H, I	S4
	0 – 20cm	S3	S3	S4	S4
	Nulle	S4	S4	S4	S4

Tableau 8 : Caractérisation du degré de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère en fonction de la nature et de l'épaisseur du sol

Les sols étudiés ont une épaisseur de sol comprise entre 30 cm en 150 cm. Les sols ne présentent donc que trois classes de vulnérabilité, S1, S2 et S3, respectivement du moins vulnérable au plus vulnérable.

Carte de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère S :

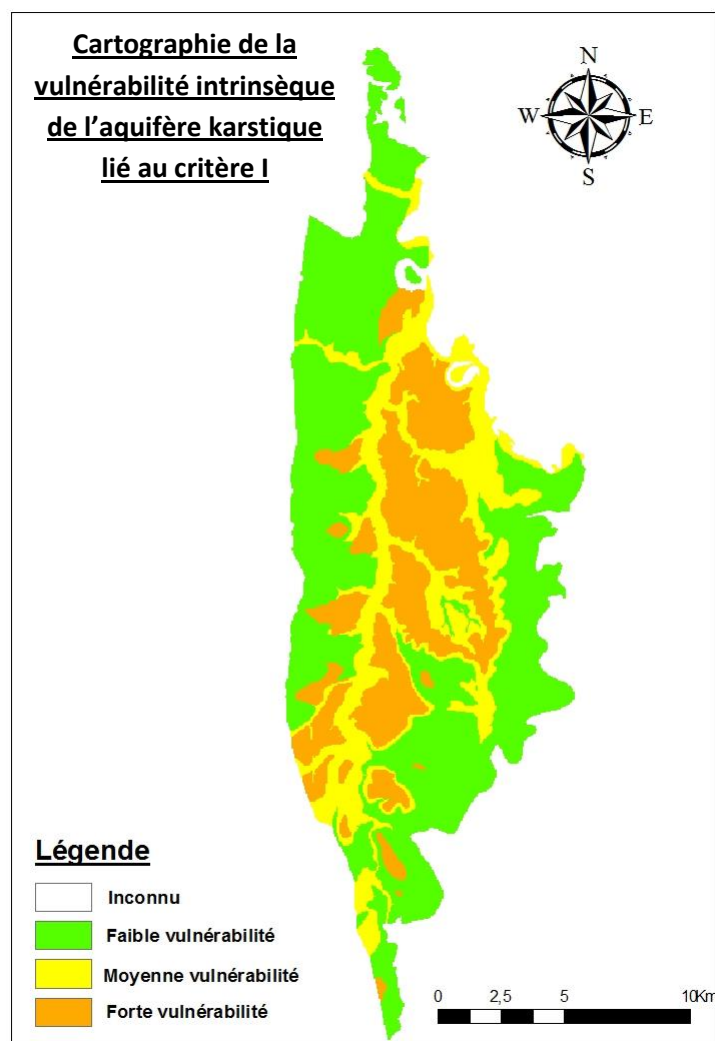


Illustration 12: Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère S (SIG- ArcGis)

Les zones à forte vulnérabilité se situent sur les plateaux forestiers. Le degré de vulnérabilité baisse en fonction de la topographie. Trois sols (colorés en blanc) n'ont pas été définis par le référentiel pédologique du programme STB, la vulnérabilité de ces derniers sera définie seulement par les critères R, I et K.

3.4) Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère K

Le critère K détermine la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère par rapport à la « structure » des formations géologiques, c'est-à-dire si les formations géologiques présentent des réseaux souterrains (réseau karstique) ou de surfaces très vulnérables aux transferts de pollution. Ce critère est difficile à appréhender car peu d'études ont été réalisées sur les plateaux nivernais. Cependant, deux inventaires des phénomènes karstiques du département de la Nièvre ont été édités par « les Annales du Pays Nivernais », la CAMOSINE (A. CHABERT, A. COUTURAUD, 1986) et par Odent. B.E et Roblet P (2010), ils permettent d'évaluer le degré de karstification des formations géologiques. Dans les communes présentes sur le périmètre d'étude, on retrouve :

- à Amazy : la rivière souterraine Crot Y Bout située dans le Bajocien. Elle prend son origine dans la commune de Talon Elle se divise en deux bras, l'un s'enfonce dans un gouffre sans aucune fonction hydrologique situé dans la commune de Lys et l'autre est conduit dans une perte temporaire dans la

commune de Talon. La rivière s'enfouie jusqu'à Saligny (hameau de la commune d'Amazy) puis en suivant le Bajocien ressurgit dans la Vallée de l'Yonne ;

- à Armes : la Grotte du Bourg située dans le Bathonien supérieur et un conduit karstique à ciel ouvert ;
- à Brinon sur Beuvron : une source temporaire située dans le Bajocien supposée être alimentée souterrainement par le ruisseau de Jarnosse à Champallement ;
- à Champallement : une perte du ruisseau de la Jarnosse située dans le Bajocien, la résurgence est à Brinon sur Beuvron ;
- à Chevroches : une grotte située dans le Bathonien supérieur et un conduit karstique rempli d'argile ;
- entre Clamecy et Chevroche : une grotte située dans le Bathonien supérieur ;
- à Clamecy : une grotte située dans le Callovien, le Trou de l'entonnoir (=perte) ;
- à Lys : le Gouffre des Bouchardières situé dans le Bathonien inférieur ;
- à Ouagne : le Gouffre du Ouagne situé dans le Callovien. Ce gouffre est hydrologiquement lié à la Fontaine de Vaucerre située dans le Bathonien supérieur à Clamecy ;
- à Rix : la Grotte de la Garenne située dans le Callovien ;
- à St Germain des Bois : la Boîte à la mignonne située dans le Bathonien supérieur ; la grotte de Thurigny située dans le Bathonien supérieur ; la Boîte aux Loups (conduit karstique) située dans le Bathonien supérieur ; la Grotte de la Roche Cocu située dans le Bathonien supérieur ; l'exurgence de Mortefemme située dans le Bathonien inférieur (cavité) ;
- à Surgy : la grotte de la Forêt située dans l'Oxfordien inférieur ; la grotte de l'Ermitte située dans le massif coralien ; la grotte de la Muraillette située dans l'Oxfordien ; la grotte de Basse Ville située dans l'Oxfordien ;
- à Talon : le Trou de Velbou et la perte de la Tuilerie situés dans le Bajocien ;
- à Tannay : les Trous du Bois Corbier (deux dolines sans fonction hydrologique) ;
- à Villier sur Yonne : l'émergence de la rivière souterraine Crot Y Bout ;
- à Parigny la Rose : la Fontaine du Bois du Four (faille).

La classification des formations karstiques présentée ci-dessus (grottes ; gouffres ; rivières souterraines ; sources temporaires ; pertes de ruisseau ; cavités avec exurgences ; fontaines essentiellement localisés dans le Bajocien, Bathonien et Callovien ; études de traçage qui ont vérifié la présence de karst dans le Callovien et le Bathonien (Cf : Loué P., Juppé E. (2013)) sont localisées de manière homogène dans le périmètre d'étude, le degré de karstification est donc généralisé à toute l'étendue de la formation présentant un phénomène karstique. Le critère K évalue les formations géologiques de la manière suivante :

Critère	Caractéristique		Indice
<u>Karstification</u>	K0	Karst non fonctionnel – Très faible vulnérabilité Toarcien – Schiste carton, marne et argile jaunâtre Alluvions récentes Pliocène supérieur – Sables et argiles du Bourbonnais	0
	K1	Karst peu fonctionnel – Faible vulnérabilité Oxfordien – Calcaire récifaux	1
	K2	Karst moyennement fonctionnel – Moyenne vulnérabilité Callovien – Argile d'altération à silicite Oxfordien/Callovien – Calcaire marneux, graveleux et à chaille	2
	K3	Karst fonctionnel – Forte vulnérabilité Callovien inférieur, moyen et supérieur – Calcaire argileux et marnes	3
	K4	Karst très fonctionnel – Très forte vulnérabilité Bathonien supérieur- Calcaire bioclastique et oolithique Bajocien inférieur et moyen – Calcaire bioclastique à entroque	4

Tableau 9 : Caractérisation du degré de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère lié aux phénomènes karstiques

Résultat : Carte de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère K :

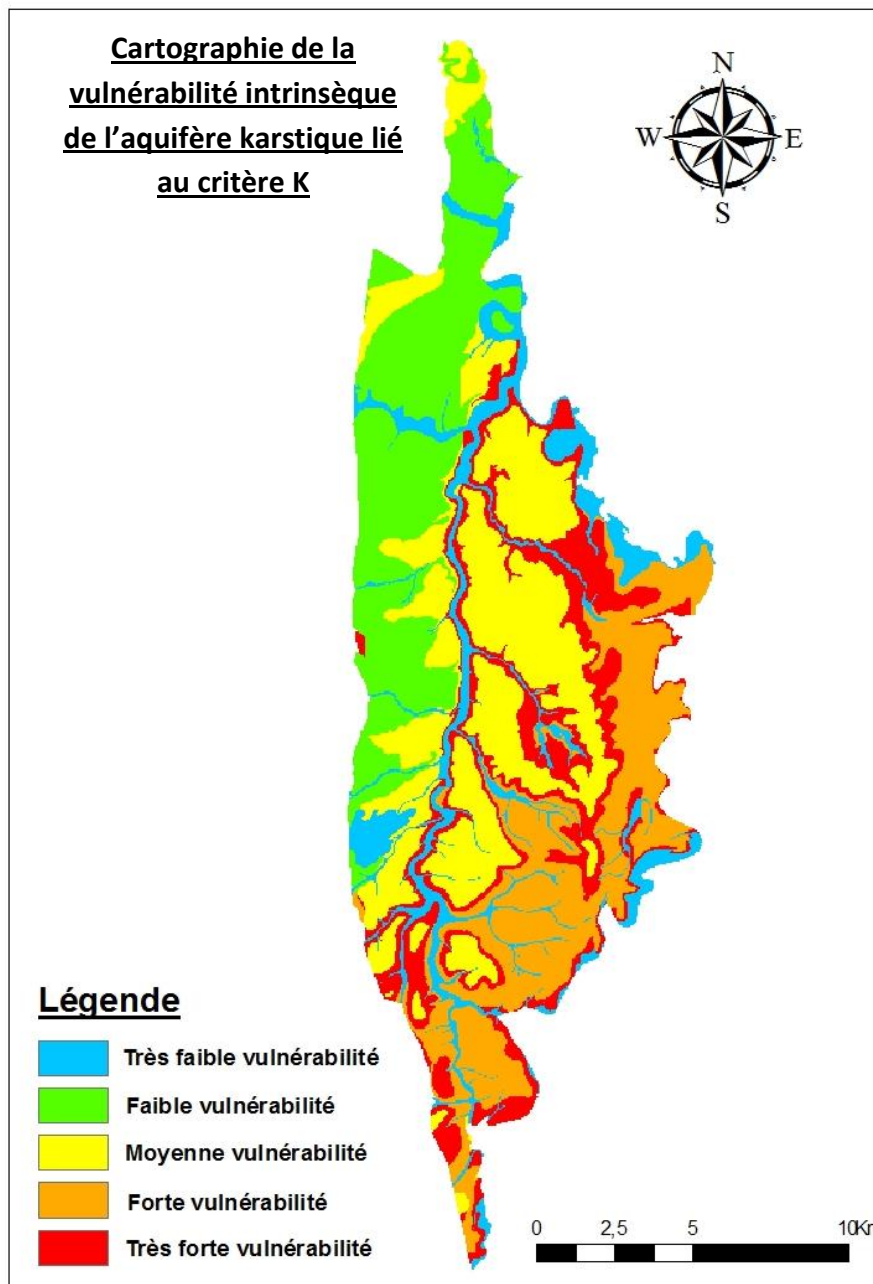


Illustration 13: Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère K (SIG- ArcGis)

Comme pour le critère R, les zones à très forte vulnérabilité se situent sur les versants des plateaux forestiers. La karstification est assez homogène, mais une grande partie de la zone (Est, Sud-Est) présente des risques moyens à très forts de diffusion de pollution.

3.5) Cartographie de la vulnérabilité globale :

Rappel de la formule : $I_g = \alpha K + \beta R + \delta I + \gamma S$

Identification des classes de vulnérabilité

Classe de l' I_g	Classe de vulnérabilité	
0 – 0.79	0	Très faible vulnérabilité
0.80 – 1.59	1	Faible vulnérabilité
1.60 – 2.39	2	Moyenne vulnérabilité
2.40 – 3.19	3	Forte vulnérabilité
3.20 - 4	4	Très forte vulnérabilité

Tableau 10 : Caractérisation finale de la vulnérabilité intrinsèque par rapport au classement de l'indice global

L'application de la formule du calcul de l'indice global de vulnérabilité donne des valeurs comprises entre 0 et 4 correspondant respectivement aux surfaces les moins vulnérables au plus vulnérables. Ce système de pondération calcul l'indice global de vulnérabilité de façon automatique grâce à un logiciel informatique SIG. Différents tests ont été effectués pour trois situations différentes :

Test 1: $0.1R + 0.1I + 0.4S + 0.4K$

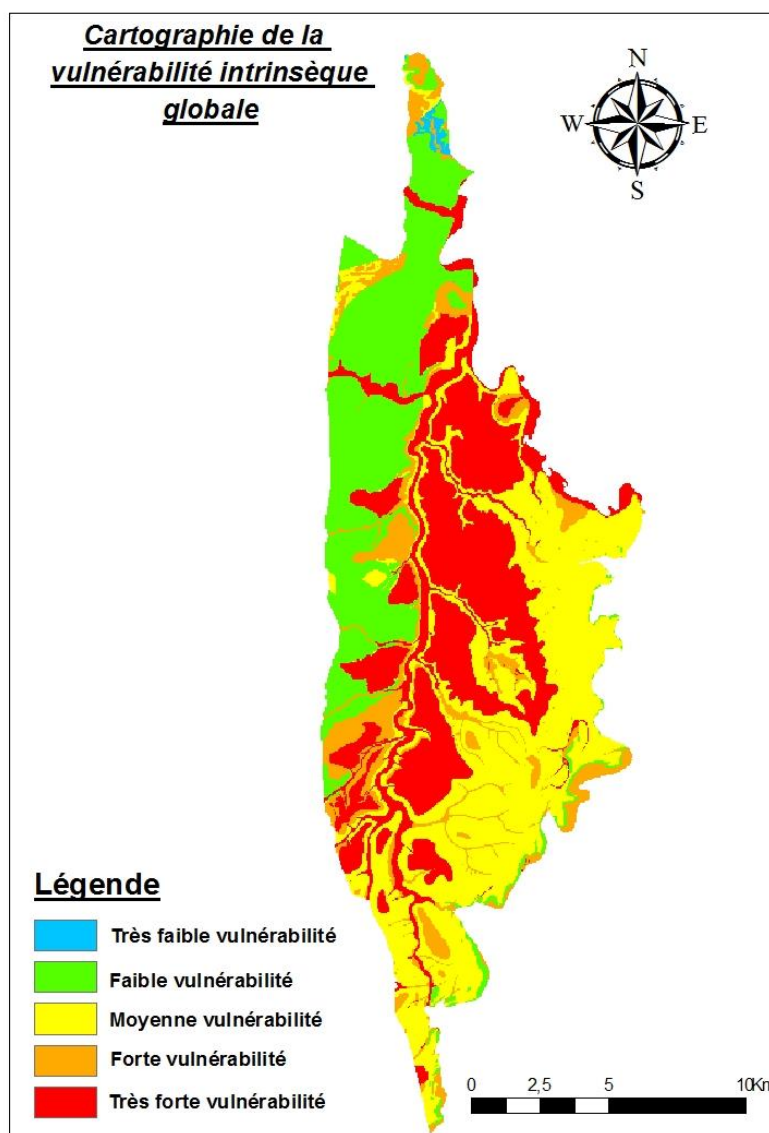


Illustration 14: Résultat cartographique global de la vulnérabilité intrinsèque (SIG-ArcGis)

Ce test a été défini selon l'importance des critères au vu de la configuration du terrain, la karstification (critère K) et la nature du sol (critère S) sont des critères importants dans la lutte contre la diffusion des polluants. Le critère K joue un rôle moteur dans l'infiltration de l'eau car le degré de karstification détermine le temps de séjour de l'eau dans la formation rocheuse. En présence d'un milieu continu (types milieux poreux constitué de grès, arènes ou alluvion), l'auto-épuration est beaucoup plus efficace que dans un milieu discontinu (roches fissurés, fracturés, karstifiés). Dans les milieux discontinus l'eau s'infiltré rapidement et le temps de séjour est trop court pour purifier l'eau par la roche. Le critère K est donc un facteur important dans l'évaluation de la vulnérabilité.

De plus, le critère S a également son importance car les processus d'auto-épuration se réalisent dans les premiers centimètres du sol. Plusieurs facteurs déterminent le pouvoir purificateur du sol :

- La granulométrie : elle a pour effet de filtrer l'eau et de retenir les particules en suspension ;
- La présence de minéraux argileux et de matière organique : ils donnent lieu à des phénomènes d'adsorption et de retenir certain polluant ;
- La présence d'un complexe argilo-humique : il donne lieu à des échanges d'ions avec les eaux d'infiltration ;
- La présence d'une vie bactérienne importante : elle donne lieu à des réactions d'oxydo-réduction grâce aux bactéries telluriques appartenant au cycle du carbone, de l'azote et du phosphate.

Le critère R est donc influencé par le critère K et le critère I dépend du critère S car sur les zones à faible pente le pouvoir auto-épurateur du sol est plus fonctionnel. Le critère K et S sont les critères les plus importants dans le calcul de la vulnérabilité. Ils feront donc l'objet d'une attribution d'un poids plus important que les critères I et R.

Dans la première situation et aux vues de la carte, le domaine d'étude ne présente pas de zone à très faible vulnérabilité. C'est donc un aquifère qui par sa nature présente de haut risque de diffusion de pollution. Les zones à très forte vulnérabilité sont généralement présentes sur les versants et quelques plateaux forestiers.

Deux tests supplémentaires ont également été effectués, les résultats cartographiques sont présentés en annexe :

Test 2: **$0.2R + 0.2I + 0.3S + 0.3K$** (annexe 5)

Test 3: **$0.3R + 0.3I + 0.2S + 0.2K$** (annexe 6)

Le poids des critères R et S ont été augmentés dans les deux cas, afin d'avoir une vision globale des variations éventuelles liées aux différents critères.

Au vu des résultats cartographie de ces trois tests, de manière générale, la très forte et forte vulnérabilité sont localisées sur les plateaux forestiers, les versants, les cultures de bas de versant et les alluvions. La moyenne vulnérabilité, la plus représentée, est localisée sur les cultures céréalières. La faible vulnérabilité, quant à elle, est principalement localisée sur les calcaires récifaux.

Ces différentes situations de pondération pourront être discutées dans le cadre d'étude à risque potentiel.

4) Discussion

Le résultat de la carte de vulnérabilité intrinsèque sur une partie de l'aquifère est un premier travail de hiérarchisation, l'échelle utilisée étant vaste, une recherche plus affinée sera nécessaire pour caractériser par exemple un secteur à l'échelle d'un bassin versant. C'est une carte statique c'est-à-dire spécifique à la période pour laquelle les données sont valides, elle peut être modifiée à tout moment en fonction des aléas climatiques et géologiques. Cependant, elle peut déjà servir à une prise de décision en connaissance de cause des incertitudes et participer à la gestion du territoire.

Plusieurs méthodes sont disponibles pour caractériser la vulnérabilité, elles calculent toutes un type d'aquifère bien défini (milieu karstique ou non, fissuré...). La méthode RISKE utilise 5 critères dont un peut être facultatif, le critère Epikarst s'il manque de la donnée. Chaque critère définit une zone sur des critères généraux que l'on étend sur toute sa superficie. De plus, on oublie certaines caractéristiques qui semblent importantes dans le calcul de la vulnérabilité, on retrouve :

- Sur les terres agricoles (G. LE HENAFF, C.GAUROY (2012)): la présence de drain agricole dirige la pollution rapidement en dehors de la zone d'infiltration et peut être ensuite acheminé plus rapidement encore dans les fossés d'assainissement connexes à destination des rivières généralement. Les données peuvent être disponibles à partir du Recensement Agricole 2000 réalisé par le SCEES du ministère de l'agriculture. Cependant, ces données sont difficiles à exploiter car elles ne sont pas spatialisées, le périmètre de chaque zone drainée est donc incertain. De plus, à l'échelle communale, ces données sont soumises au respect du secret statistique c'est-à-dire que la donnée est confidentielle si la commune compte moins de 3 exploitants. Dans ce cas, en présence de nombreuses petites communes, il aurait été très difficile de récupérer toutes ces données. Les cultures en rotation doivent également être prises en compte dans le calcul de la vulnérabilité. Cette méthode a été mise en place afin de diminuer le taux d'intrant dans les cultures. Etant donné que ces cultures s'étendent sur de vastes surfaces, le degré de vulnérabilité peut être remis en question face à cette caractéristique culturelle. Dans ce présent travail, ce critère ne sera pas pris en compte car la zone d'étude n'est pas une surface inondable.
- L'apport de la carte piézométrique : la carte piézométrique présentée en début de rapport croisée au Modèle Numérique de Terrain sous SIG nous permet de connaître la Zone Non Saturée (ZNS) de notre domaine d'étude. Ce critère est important car il détermine le temps d'infiltration verticale d'un polluant de la surface jusqu'à la masse d'eau. La ZNS, calculé par le croisement de la fracturation, de l'épaisseur et la lithologie sont des indices qui peuvent influencer la vulnérabilité. L'évaluation de la ZNS prend donc en compte ces facteurs dans une matrice, utilisée dans la méthode PaPRIKa (Dörfliger N., Plagnes V. (2009)), développée par le BRGM pour les aquifères karstiques.

La matrice se présente de la manière suivante :

Tout d'abord on classe la lithologie :

Lithologie de la ZNS (L_{ZNS})	
L_{ZNS0}	Couches d'argiles de forte épaisseur
L_{ZNS1}	Marno-calcaires
L_{ZNS2}	Calcaires en petits bancs et/ou avec intercalations d'argiles
L_{ZNS3}	Calcaires en gros bancs massifs

Tableau 11: Classement de la lithologie de la Zone Non Saturée

Ensuite on croise les trois paramètres : fracturation, épaisseur et lithologie :

Zone non saturée (ZNS)		Epaisseur		
		0-15m	15-50m	<50m
Fracturation	Faible-Moyenne	LZNS +1	LZNS	LZNS
	Importante	LZNS +1	LZNS +1	LZNS
	Forte au niveau de faille	4	4	4

Tableau 12 : Caractérisation du degré de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié à la zone non saturée

Cartographie de la vulnérabilité du critère ZNS :

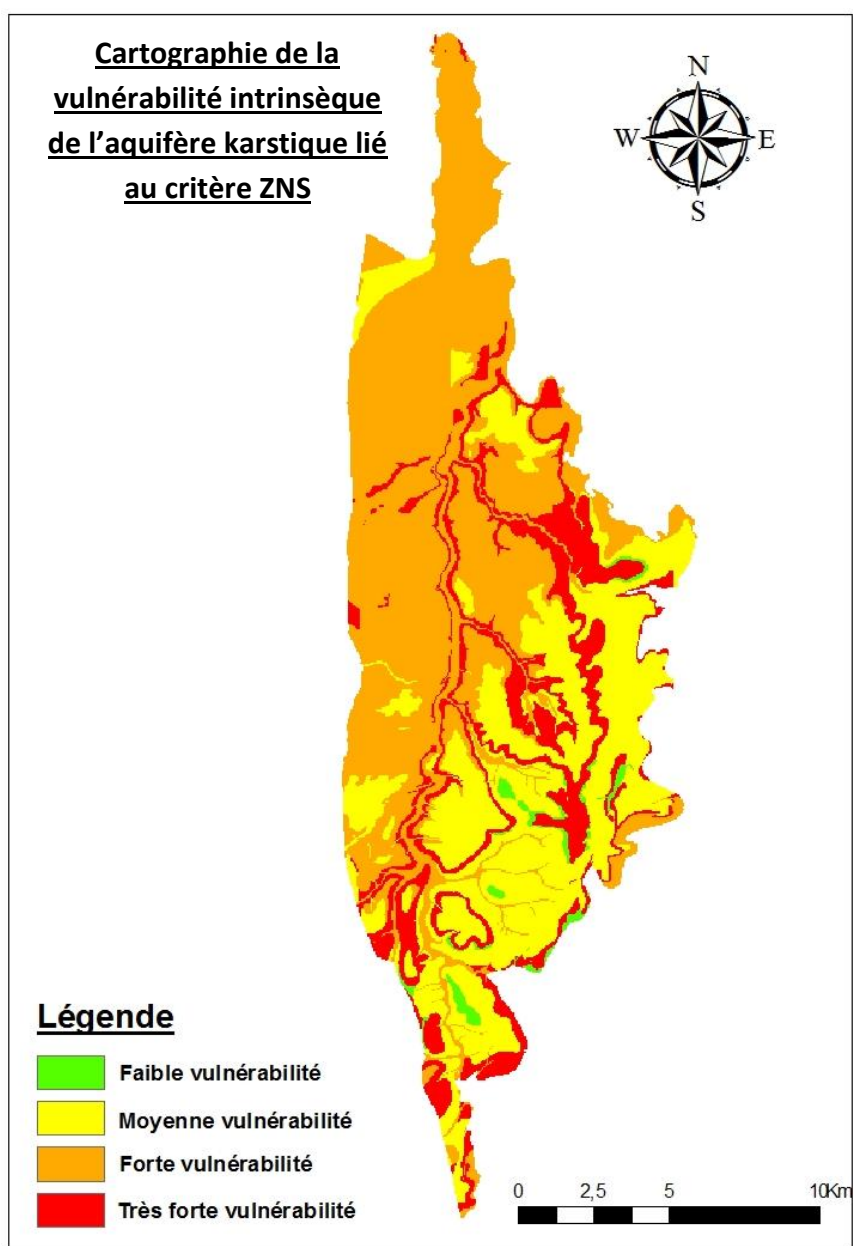


Illustration 15: Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié à la Zone Non Saturée (SIG-ArcGis)

La très forte vulnérabilité est présente sur les versants des plateaux forestiers, les gros bancs calcaires karstifiés sont également affectés par une forte vulnérabilité.

- Le critère érosif (G. LE HENAFF, C.GAUROY (2012)): le critère Infiltration est très contradictoire et finalement mal utilisé dans le classement des indices. Les fortes pentes sont classées à très faible vulnérabilité grâce à la vitesse d'écoulement de l'eau et des polluants sur un versant. Cependant, les effets de la vitesse d'écoulement sur le sol sont variés. En effet, la vitesse d'écoulement diminue l'adsorption des substances dans le sol. De plus, la vitesse d'écoulement déplace des grosses particules, l'épaisseur du sol est impactée par l'écoulement, elle diminue par érosion et devient vulnérable. Il en résulte que la faible infiltration de l'eau sur les pentes, par l'absence d'une épaisseur de sol suffisante, n'est pas filtrée et épurée. Le critère érosif a donc un degré de vulnérabilité inversé par rapport au critère Infiltration.

Par ailleurs, les zones réceptrices des versants doivent aussi être évaluées en fonction de la nature de sol afin de spatialiser correctement les étendues d'eaux potentielles des bas de pentes en cas de fortes précipitations. Cependant, aucune étude ne permet pour l'instant de calculer avec pertinence le périmètre de chaque zone réceptrice en fonction de l'intensité des pluies. Nous n'aborderons donc pas ce sujet dans le calcul de la vulnérabilité intrinsèque.

Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère Erosif :

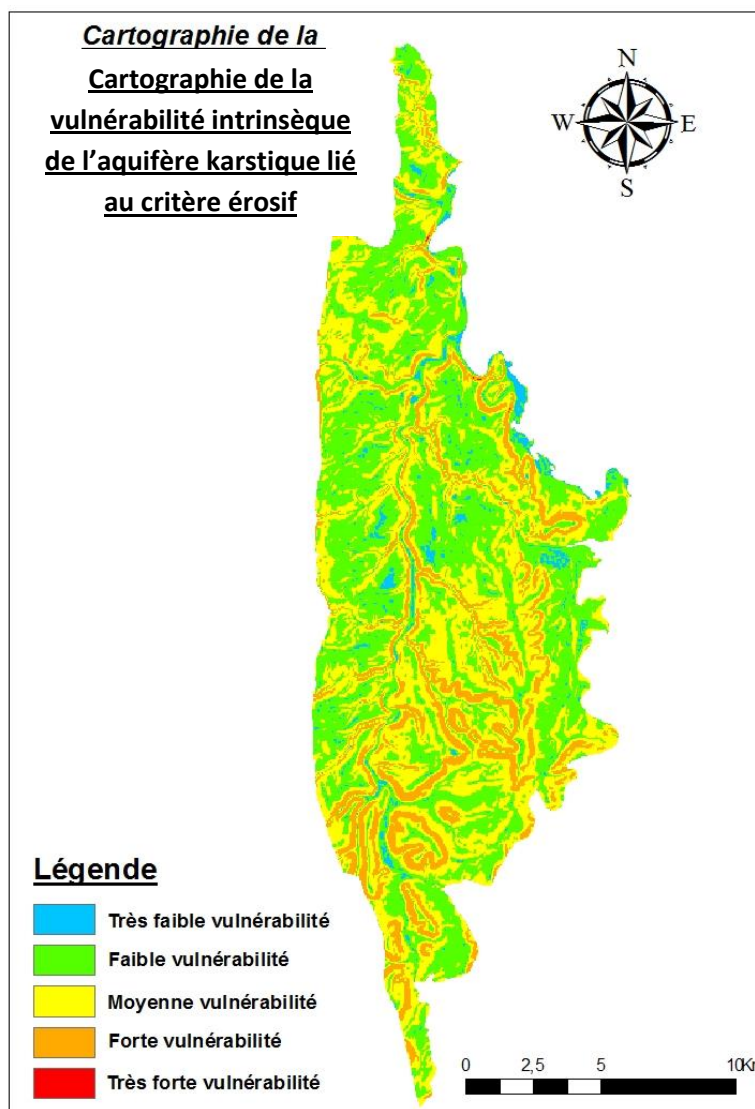


Illustration 16: Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique lié au critère érosif (SIG-ArcGis)

Etant donné que la méthode PaPRIKa utilise le critère de la zone non saturée dans la détermination de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère, le critère de la ZNS et érosif ont été ajouté au système de pondération de la méthode RISK. Ce choix a pour but d'améliorer la méthode et de prendre connaissance des incertitudes de la méthode RISK.

Plusieurs tests ont été effectués pour calculer l'indice global de vulnérabilité en prenant en compte le critère de la ZNS et le critère érosif. Les poids du premier test ont été attribués de la même manière que pour le calcul de la vulnérabilité globale. Les critères K et S ont fait l'objet d'un poids plus élevé que les autres critères. La cartographie du premier test est présentée ci-dessous :

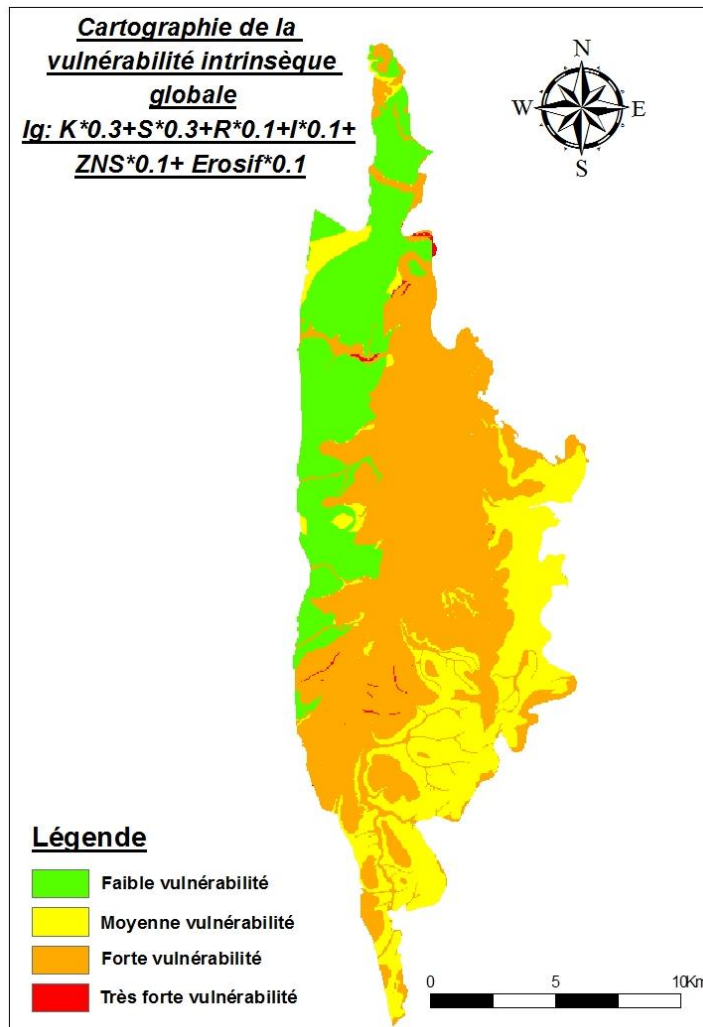


Illustration 17: Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque globale de l'aquifère kartstique lié aux critères ZNS et érosif (SIG-ArcGis)

Deux autres tests ont été effectués en augmentant le poids des critères R, I, ZNS et érosif. Les résultats cartographiques finaux, de manière générale dans l'évolution du calcul, caractérise la surface présentée ci-dessus en forte vulnérabilité et très forte vulnérabilité. Les deux autres tests 4 et 5 sont présentés en annexe 7 et 8.

D'une manière générale, l'ajout des critères ZNS et érosif dans la méthode RISKE n'ont pas de réel influence sur la variation du degré de vulnérabilité de la surface d'étude. Les critères de la méthode RISKE sont donc bien représentatifs dans le calcul de la vulnérabilité.

Par ailleurs, un autre critère est essentiel dans la cartographie de la vulnérabilité d'un aquifère:

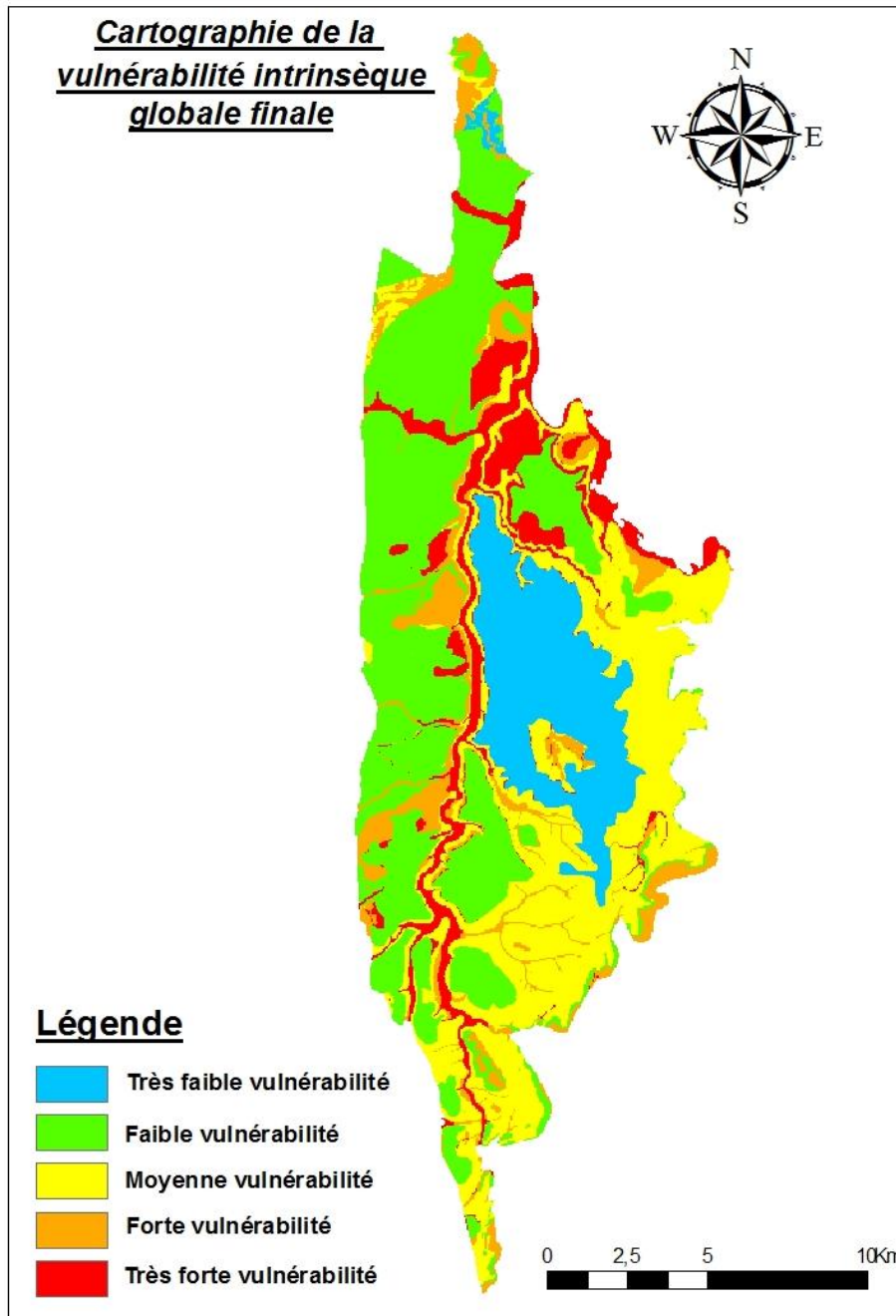
- La couverture végétale (N. Surdyk, JF. Vernoux (2011)) : la présence d'une forêt stable qui ne fait pas l'objet d'un futur déboisement peut être considérée comme une zone peu ou pas vulnérable. En effet, sans la présence d'activité humaine (agriculture, industrie, urbanisation), le sol sous forêt ne sera pas impacté par une pollution quelconque tant que le milieu est préservé. Cependant, si la forêt se trouve en bas de versant, la vulnérabilité augmente car la forêt devient zone réceptrice du ruissellement des pentes. Une étude topographique est donc au préalable nécessaire pour prendre en compte cette caractéristique. Ce critère caractérise la vulnérabilité en fonction de la réalité du terrain.

La carte de vulnérabilité globale déterminée avec les critères de la méthode RISKE n'est pas représentative de la réalité par rapport à l'occupation du sol. En effet, les zones boisées caractérisées en très forte vulnérabilité n'ont pas d'intérêt si celle-ci ne font l'objet d'aucune pression d'un risque polluant. Etant donné que la carte comprenant les critères ZNS et érosif n'a pas de forte variation sur le degré de vulnérabilité, il a donc été décidé de corriger la carte de la vulnérabilité globale de la méthode RISKE en apportant ce nouveau critère.

Plusieurs forêts sont présentes sur le domaine d'étude, elles ont été classées au niveau de la vulnérabilité selon leur taille car plus la forêt est grande moins elle a de risque d'être confronté à un risque de pollution. L'étendue boisée la plus grande est classée en très faible vulnérabilité et les plus petites forêts et bosquets ont été classés en faible vulnérabilité.

La réalisation de cette dernière carte est considérée comme le résultat final de l'étude de la vulnérabilité intrinsèque face à la pollution diffuse.

Cartographie du résultat final de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique :



[Illustration 18: Cartographie globale finale de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique en prenant en compte l'occupation du sol \(SIG-ArcGis\)](#)

En général, la zone d'étude est moyennement vulnérable, cependant, quelques endroits au niveau de Clamecy ainsi que les alluvions du Beuvron sont classés en très forte vulnérabilité. Les vallées sèches quant à elles sont classées en forte vulnérabilité. La masse bleue au centre de la carte représente l'étendue boisée la plus grande. Située en grande partie à côté de la moyenne vulnérabilité, une zone tampon pourrait être créée sur la lisière de forêt, en bordure des cultures agricoles classées en faible vulnérabilité. Cette croissance de la vulnérabilité du cœur de la forêt jusqu'aux plaines agricoles serait plus pertinente au vu de la réalité. La vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère est une étude complexe, la cartographie obtenue grâce à la méthode RISKE est la carte servant de base à la vulnérabilité. Certains critères comme l'occupation du sol peuvent influencer ou changer complètement le degré de la vulnérabilité. La remarque sur les drains agricoles peut également baisser la vulnérabilité des cultures agricoles. Chaque critère relevé demande donc une grande réflexion sur l'importance et la pertinence des changements à effectuer par rapport à la condition du terrain.

Conclusion

La réalisation et l'interprétation de la carte piézométrique constituent une source d'information importante pour toute étude portant sur la masse d'eau 4061 et les calcaires de la masse d'eau 3217. La distinction des sens d'écoulement, des zones de recharge et de stockage permettent à l'agence de l'eau Seine-Normandie de comprendre le fonctionnement de son bassin en vue de le protéger face aux nouvelles installations de captage d'eau potable, industrielles, agricoles et urbaines. La vulnérabilité quant à elle définit les zones prioritaires ou non à la mise en place de protection. La carte piézométrique et la carte de la vulnérabilité intrinsèque calculée par la méthode RISKE devront être ensuite croisées pour définir le sens d'écoulement des polluants.

La méthode RISKE est une méthode pertinente au calcul de la vulnérabilité en milieu karstique, l'ajout de plusieurs critères au calcul n'influence pas le degré de vulnérabilité. Mais pour être le plus représentatif de la réalité, il s'avère être nécessaire de prendre en compte l'occupation du sol. Un aquifère est en perpétuel évolution, le calcul de la vulnérabilité n'est donc jamais figé et peut donc évoluer selon l'approche de l'expert et des conditions du terrain.

Bibliographie

Rapports bibliographiques

Dörfliger N., Plagnes V. (2009) : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques. Guide méthodologique de la méthode PaPRIKa. Avec la collaboration de K. Kavouri et J. Gouin ; BRGM RP-57527-FR, 105pp.,55 ill., 4 ann.

Dörfliger N., Jauffret D., Loubier S., (2004) : Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en Franche Comté, avec la collaboration de V. Petit, rapport BRGM RP-53576-FR, 47 illustrations, 4 annexes.

Jauffret D. (1997). Synthèse hydrogéologique des aquifères des calcaires jurassiques du Nivernais (département de la Nièvre) – Tome 1- BRGM/RR-39291-FR — 73 pages

Le Henaff G., Garoy C. (2012)- Délimitation des aires d'alimentations de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité visà vis des pollutions diffuses par les pesticides. Guide méthodologique. Rapport Irstea-MEEDM/MAAP, 55pp.

Loué P., Juppé E.,- Etude du bassin d'alimentation du captage de pont-ferré Brinon sur Beuvron (58) – Rapport définitif des phases 1 et 2 – Sciences Environnement – Décembre 2013 – 90 pages.

Odent B.E avec la collaboration de Roblet P. (août 2010)- Inventaire départemental des cavités souterraines hors mines de la Nièvre – Rapport final – BRGM/RP-57651-FR, 77p., 19 ill., 3 ann., 1 carte AO hors texte.

Surdyk N., Vernoux JF. (2011). Approche simplifiée de la vulnérabilité spécifique des eaux souterraines vis-à-vis des produits phytosanitaires. BRGM/ RP-59656-FR, 60p., 22ill.

Vernoux J.F., Wuilleumier A. Perrin J. (1024) – Délimitation des aires d'alimentation de captagesd'eau souterraine et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Version réviséedu guide méthodologique, rapport BRGM/RP-63311-FR, 133 p., 69 illustrations, 1 annexe.

Documents bibliographiques

Carte géologique de la France au 1/50 000ème de Clamecy n°465
Carte géologique de la France au 1/50 000ème de Vermenton n°435
Carte géologique de la France au 1/50 000ème d'Auxerre n°402

Site internet

www.infoclimat.fr
www.sigescen.brgm.fr
www.brgm.fr

Annexes

Annexe 1

Description géologique du secteur d'étude

Masse d'eau 3217 (FR GO 217) :

On retrouve du plus ancien au plus récent :

- L'étage sédimentaire du Kimméridgien inférieur : il correspond aux Calcaires à Astartes, c'est un niveau épais de 25 à 35 m qui présente différents faciès de calcaires. Du plus ancien au plus récent se succèdent : le marbre de Bailly, les calcaires lithographiques en petits bancs (calcaires argileux), une alternance de calcaires lithographiques et de calcaires rocailloux, des lumachelles et des conglomérats.
- L'étage sédimentaire du Kimméridgien moyen et supérieur : il correspond aux Calcaires et marnes à *Exogyra virgula*, il s'agit d'un étage d'épaisseur importante, allant de 55 à 60 m. On distingue de la formation la plus ancienne à la plus récente : un petit banc calcaire argileux, quelques mètres de marnes, 25 à 30 m de calcaires lithographiques compacts en petits bancs séparés par des joints marneux, un niveau de 5 à 7 m avec une alternance de lumachelles et de marnes noires, 7 à 8 m de calcaires marneux tendres, une alternance marno-calcaire avec des calcaires lumachelliques sur environ 3 m, puis 20 m de marnes présentant quelques calcaires argileux lumachelliques et la formation se termine par quelques centimètres d'une lumachelle avec une dureté importante.
- L'étage sédimentaire du Portlandien : il correspond aux Calcaires du Barrois, ils se divisent en deux faciès dont la puissance totale varie de 40 à 50 m. Le premier faciès est constitué de bancs calcaires séparés par des petits niveaux marneux tandis que le second est un faciès de calcaires sublithographique découpés en petits bancs décimétriques et sans joints marneux. Dans l'ensemble ce sont des calcaires assez compacts et très fracturés.

Masse d'eau 4061 (FR GO 061):

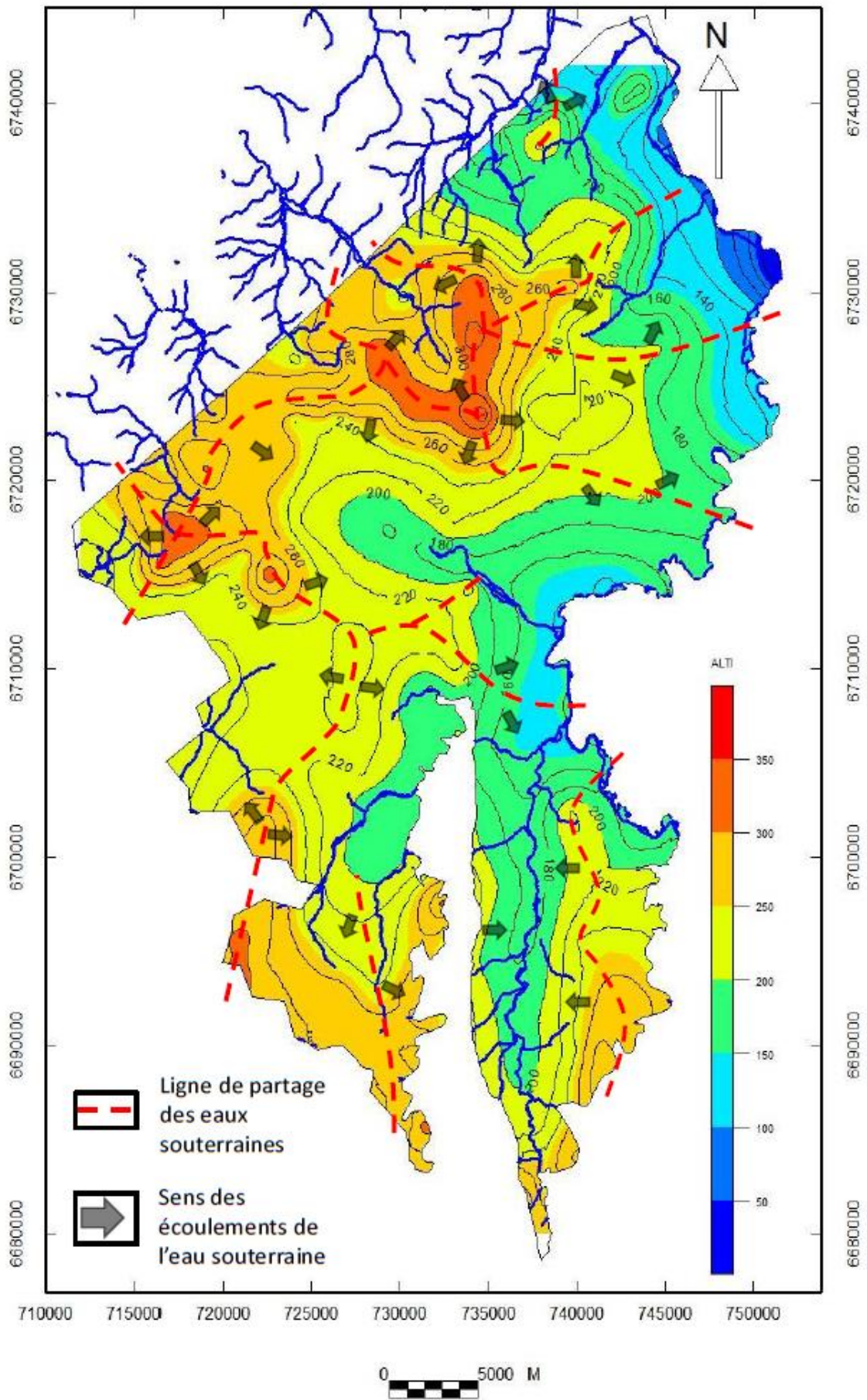
On y retrouve du plus ancien au plus récent :

- L'étage sédimentaire du Toarcien : il correspond à une épaisse couche de plus de 60 mètres de puissance alternant des marnes noires et des argiles tendres et grises
- L'étage sédimentaire du Bajocien : elle est représentée par une superposition de calcaires à entroques et de calcaires argileux à oolithiques ferrugineuses d'une puissance de 5 à 10 mètres. On peut également retrouver un faciès de marne brun verdâtre et grise à Vermenton.
- L'étage sédimentaire du Bathonien moyen et inférieur : il correspond à une alternance de marne et de calcaire argileux à pholadomyes s'altérant en plaquettes gélives, d'une épaisseur de 40 à 70 mètres.
- L'étage sédimentaire du Bathonien supérieur : il est représenté par une superposition de calcaires argileux, oolithiques et micritiques d'une épaisseur inférieure à 50 mètres. Cependant, dans la région de Vermenton la série du Bathonien supérieur est deux fois plus puissante et peut mesurer jusqu'à 100 mètres d'épaisseur. Elle superpose à sa base des oolithes blanches surmonté de calcaires compact comme le comblanchien puis de calcaires bicolores et marneux.
- L'étage sédimentaire du Callovien : il correspond à un étagement de marnes et de calcaires argileux, recouvert de calcaires bioclastiques, de calcaires argileux et de calcaires oolithiques. Cette série sédimentaire peut atteindre 40 mètre d'épaisseur. A Vermenton, le Callovien est constitué de

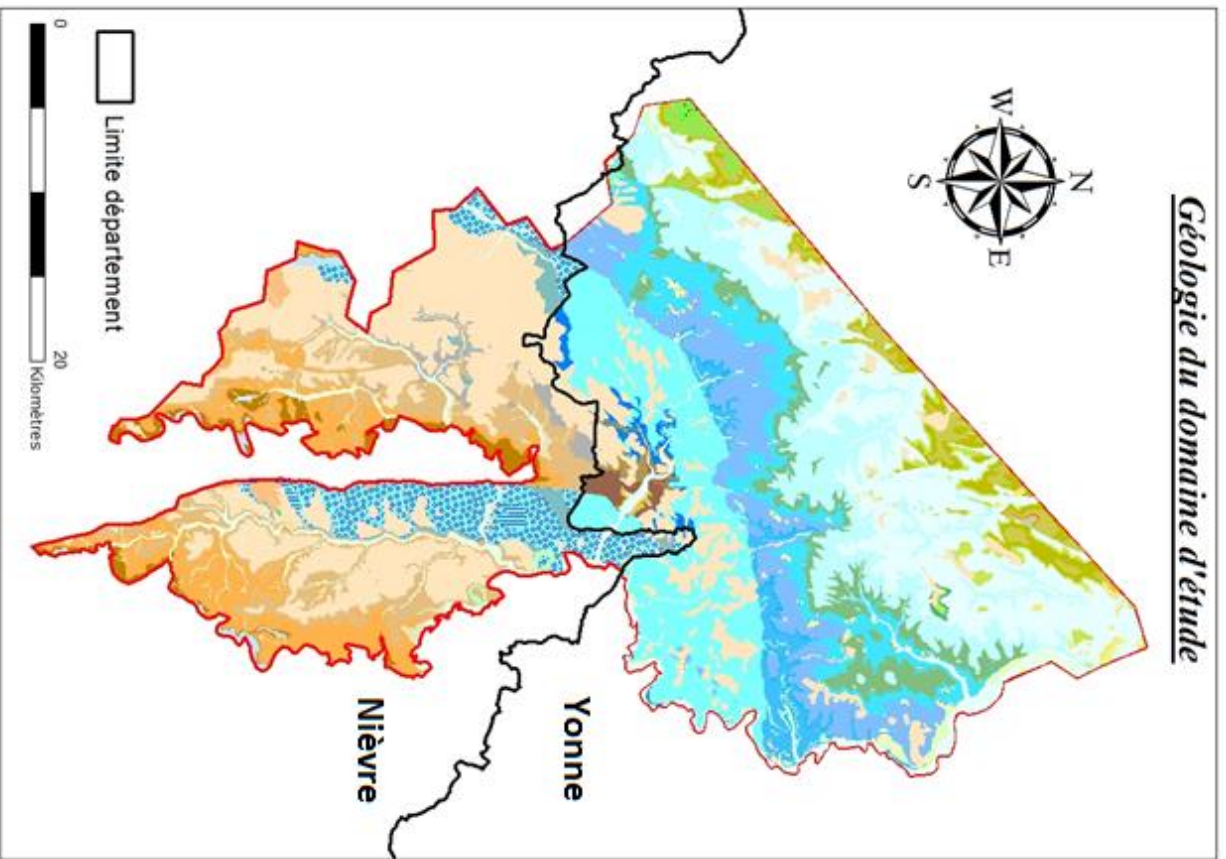
deux faciès : un calcaire grumeleux en bas et un calcaire oolithique en haut de 40 mètres également.

- L'étage sédimentaire de l'Oxfordien moyen et supérieur: il est représenté par une superposition de calcaires à chailles dans sa partie inférieure et de calcaires récifaux dans sa partie supérieure. Cet étage a une puissance de 70 mètres environ. A Vermenton, on retrouve un petit niveau de marnes et de calcaires marneux riche en oolithes ferrugineuses. On retrouve également des calcaires grumeleux et des calcaires à chailles recouverts par des calcaires récifaux. La série sédimentaire atteint moins de 20 mètres d'épaisseur.
- L'étage sédimentaire de l'Oxfordien supérieur : il peut être observé un étagement composé de calcaire gris à pâte fine, de calcaires oolithiques, de calcaires crayeux et de calcaire beige clair inférieur à 50 mètres de puissance. A Vermenton, l'Oxfordien supérieur est caractérisé par une alternance de calcaires marneux et de marnes sur une épaisseur de 80 mètres. Des faciès marneux d'aspect schisteux et des calcaires à spongiaires forment la base de l'étage sédimentaire.
- L'étage sédimentaire du Kimméridgien : il est présent exclusivement à Vermenton, il est composé de calcaires crayeux et de calcaires lithographiques dits à Astartes. Un niveau peu épais de marne noire, présent au sommet de la formation précédente, sépare le Kimméridgien inférieur du Kimméridgien moyen et supérieur composé de calcaires lithographiques marneux blancs à gris beige. Cette série sédimentaire peut atteindre 100 mètres d'épaisseur.

Cartographie piézométrique des plateaux calcaires du Nivernais



Géologie du domaine d'étude



Géologie - Secteur Yonne

- 3 - Ecouls à éléments éolée, orbité ou jurassique
- 4 - Couverture limoneuse
- 5 - Dépôts cyclostériques de versant
- 6 - Alluvions de vallées sèches : graviers calcaires et coquillages
- 7 - Alluvions modernes : graviers, sables, limons, éco
- 11 - Alluvions anciennes de terrasses polygéniques
- 12 - Alluvions de moyenne terrasse : grève calcaire, silex et sables
- 24 - Argiles sablueuses à chailles
- 74 - Barémien supérieur : sables et argiles paracités
- 75 - Barémien inférieur : limonelles et marnes ostréennes
- 76 - Calcaire à Spongiaques (Hauteriviens)
- 78 - Calcaires du Barrois (Portlandien)
- 79 - Calcaires et marnes à *Ecogyra virgata* (Kimmeridgien moyen et supérieur)
- 82 - Calcaires de Villers (Kimmeridgien inférieur). Epaisseur de 25 à 35 m
- 83 - Calcaire de Tonnerre (Oxfordien supérieur). Epaisseur de 55 à 80 m.
- 84 - Calcaires de Comissay et de Bazarnes (25 à 27 m). Formation non récifale. Oxfordien supérieur
- 85 - Oxfordien moyen et supérieur : calcaires récifaux
- 88 - Oxfordien supérieur : Calcaires de Vermenton (ancien Rauracien)
- 89 - Oxfordien supérieur : marnes de Fougllet
- 95 - Marnes d'Anoy-le-Franc et calcaire de base à Spongiaques (Oxfordien moyen)
- 101 - Marnes et calcaires à *Dicyonetes* : Dalle noire (Callovien inférieur)
- 103 - Calcaires compacts, durs, en gros bancs (Bathonien)
- 105 - Marnocalcaires à *Pholidomies* (Bathonien moyen et inférieur)

Géologie - Secteur Nièvre

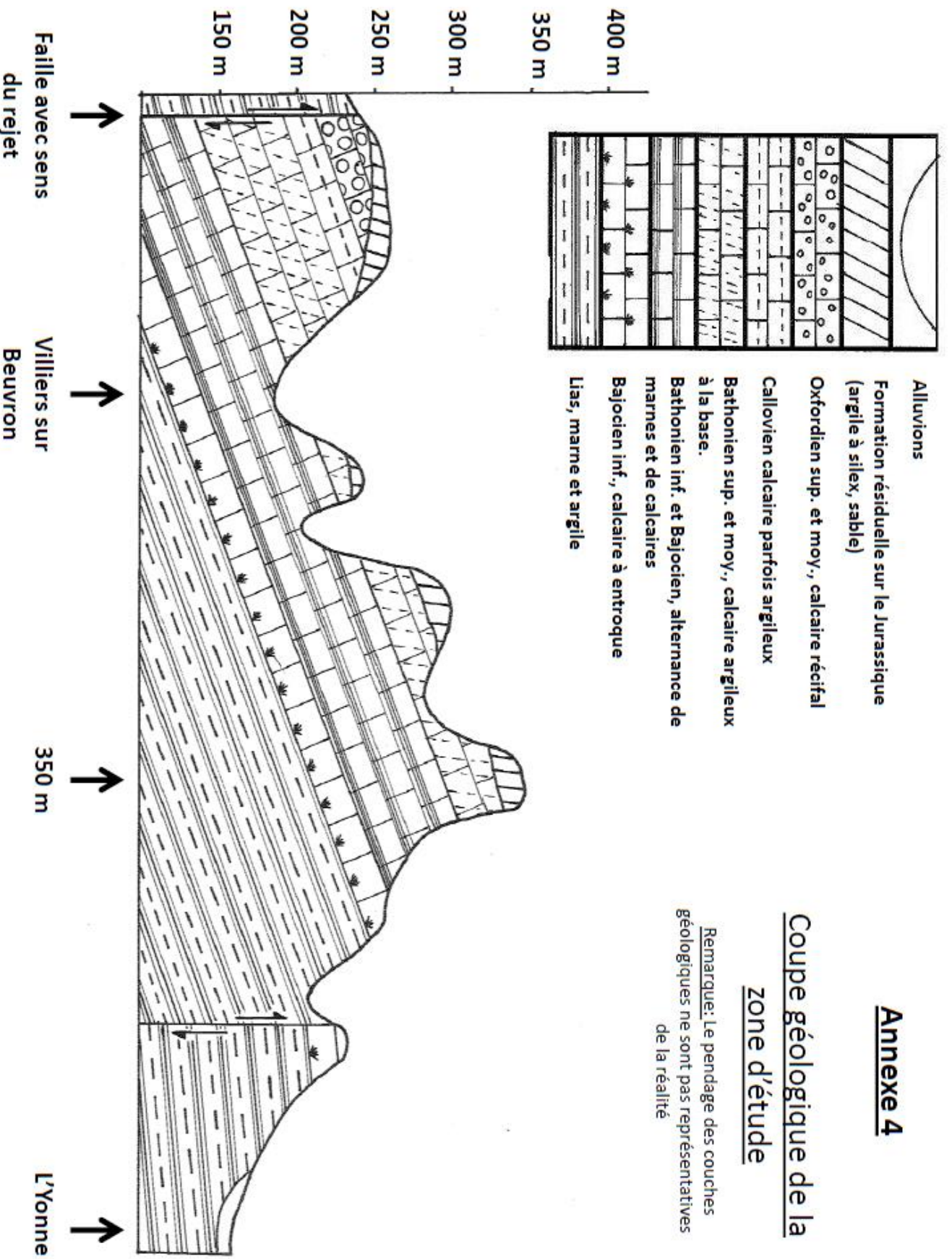
- 25 - Sables et argiles barroïdes (Pliocène?)
- 29 - Argiles d'altération à silexites, développées sur les calcaires du Dogger et du Malm
- 49 - Sables blancs, jaunes ou rouges, consolidés en grès, et passés argileux. Aizen sables indifférenciés
- 55 - Calcaires de Bazarnes
- 57 - Complexe récifal/ Calcaires récifaux
- 59 - Calcaires à chailles (faciès argovien)
- 61 - Calcaires marneux et marnes : Marnes à brachiopodes, calcaire graveleux à chailles, calcaires oolithiques
- 63 - Marnes à vco intercalations de niveaux calcaires, calcaires biostratigiques, calcaires oolithiques
- 66 - Marnes à vco intercalations de calcaires/Calcaires argileux et marnes
- 69 - Calcaires à entroques et calcaire argileux à coilles ferrugineuses, roche en ammonites
- 71 - Calcaire biostratigique à entroques
- 72 - Schistes carons, puis marnes et argiles jaunâtre, puis gris-ombre, micacées. Marnes noires à niches calcaires : calcaires gris à graptolites

Annexe 4

Coupe géologique de la

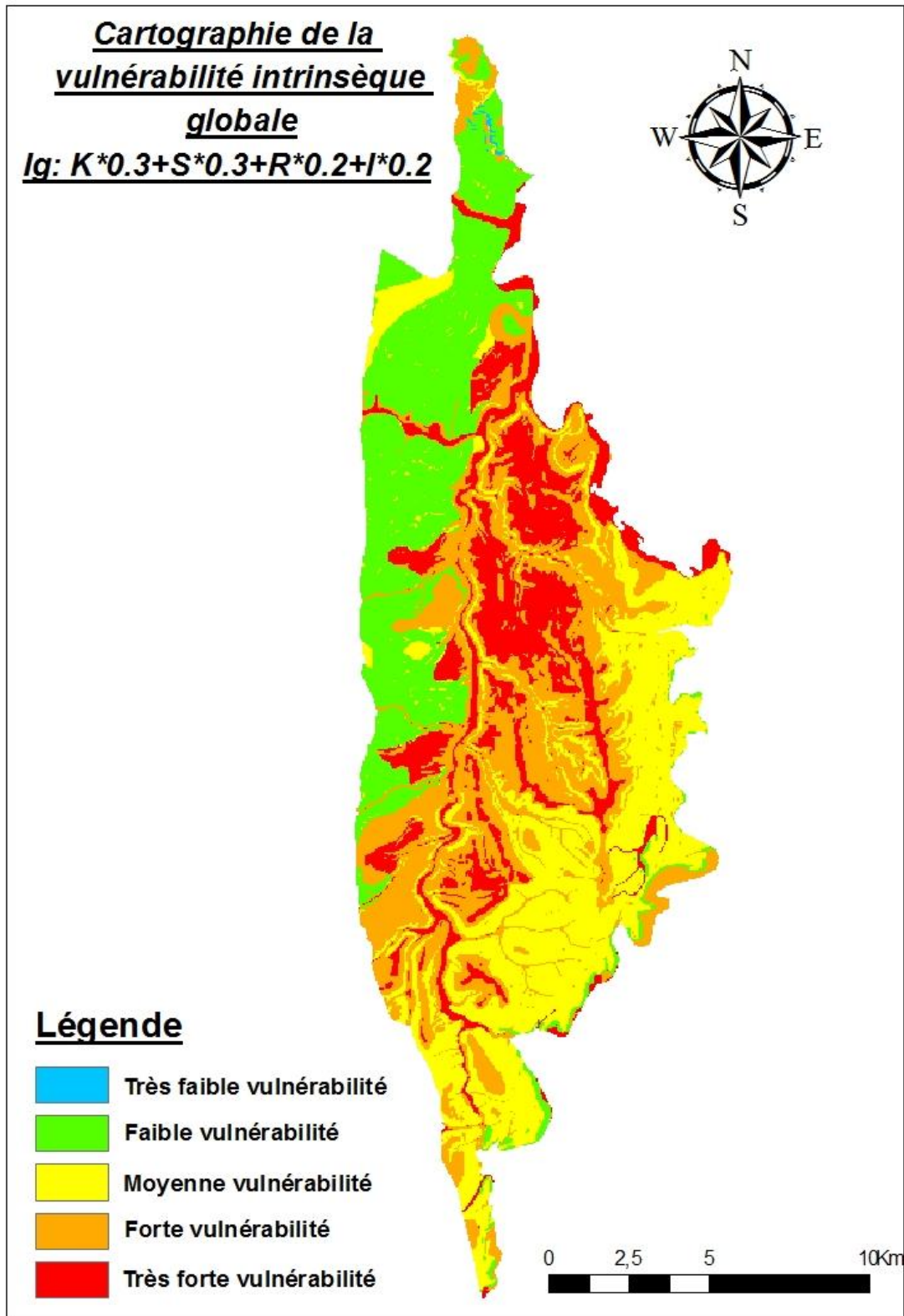
zone d'étude

Remarque: Le pendage des couches géologiques ne sont pas représentatives de la réalité



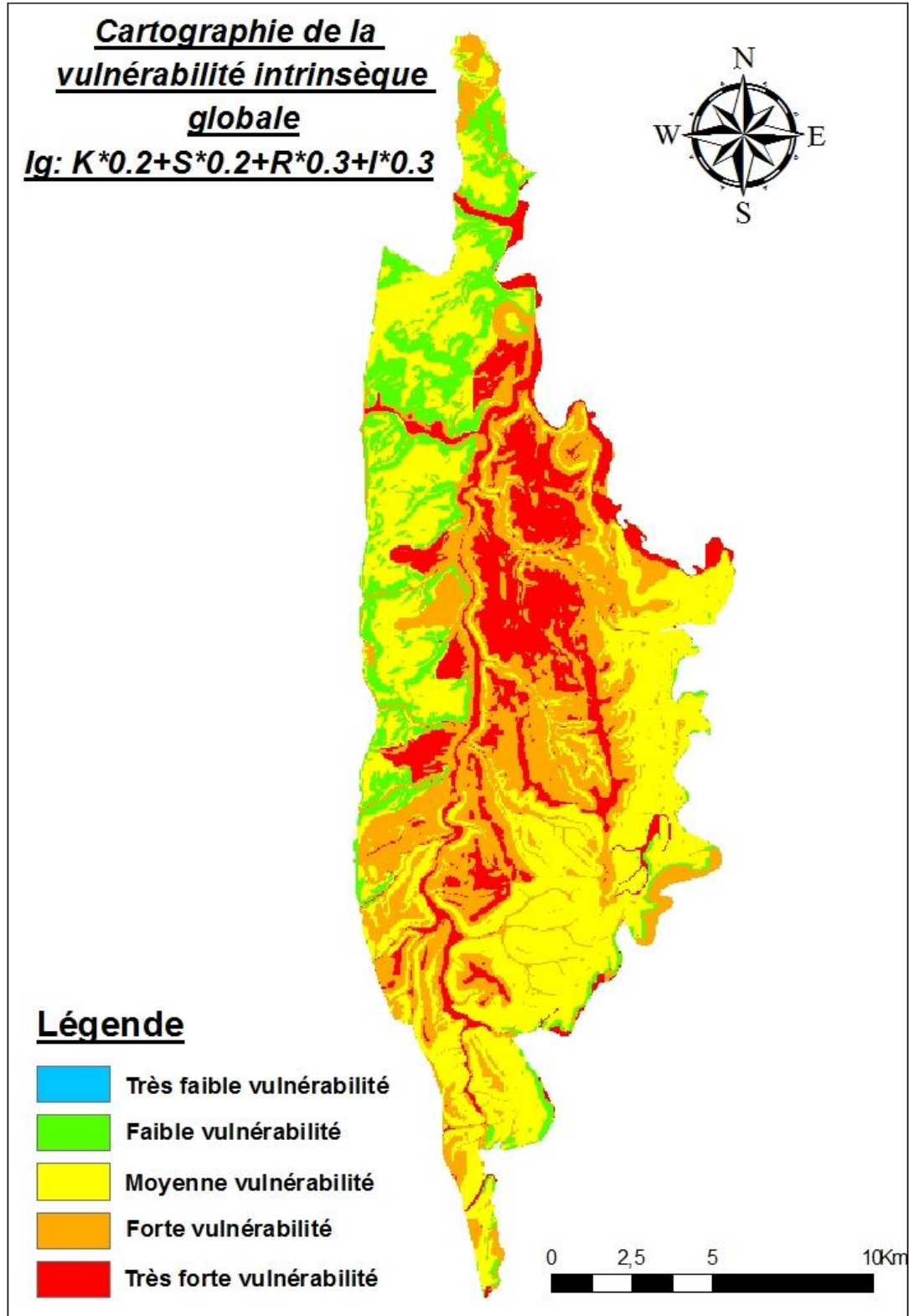
Annexe 5

Test 2



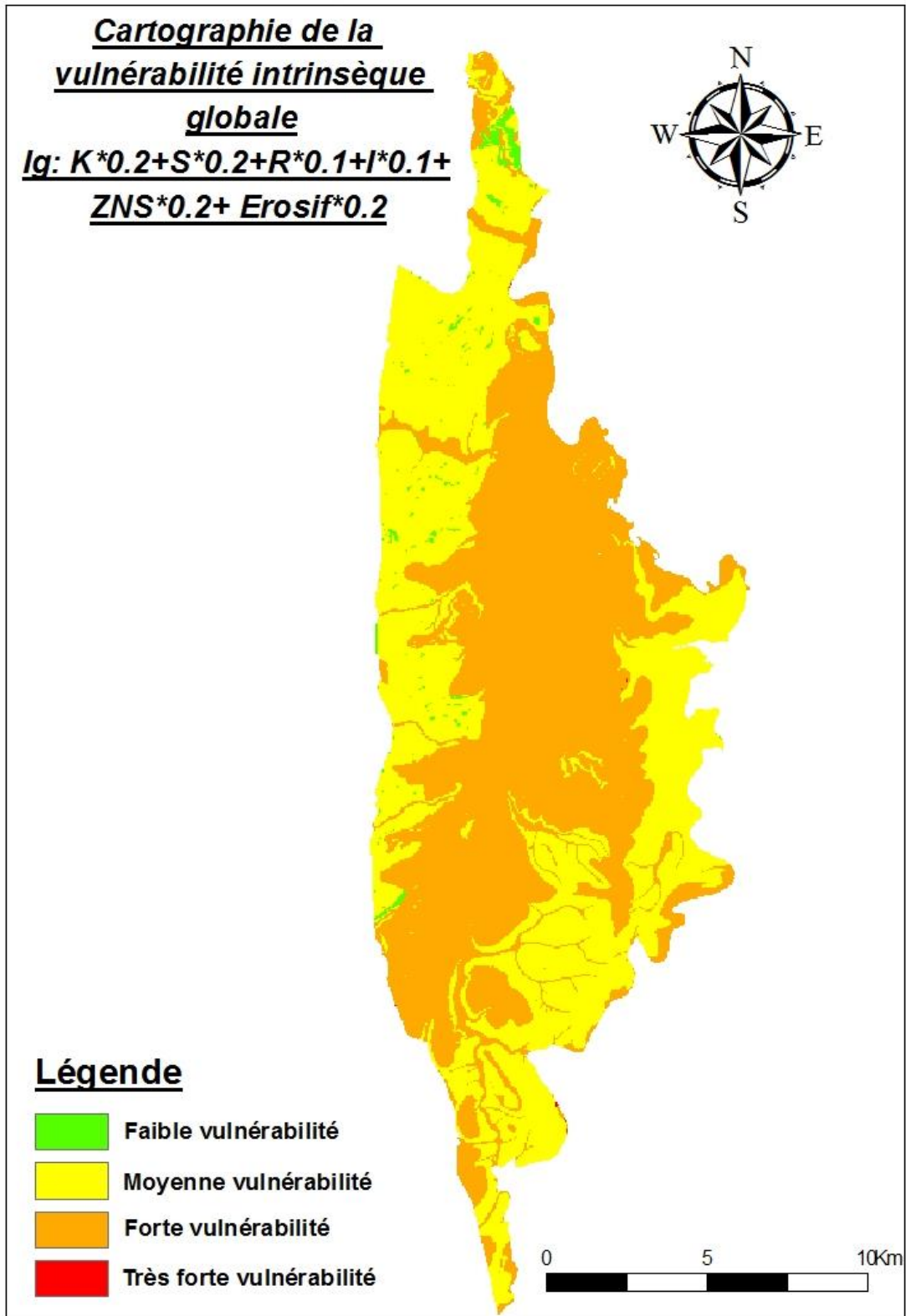
Annexe 6

Test 3



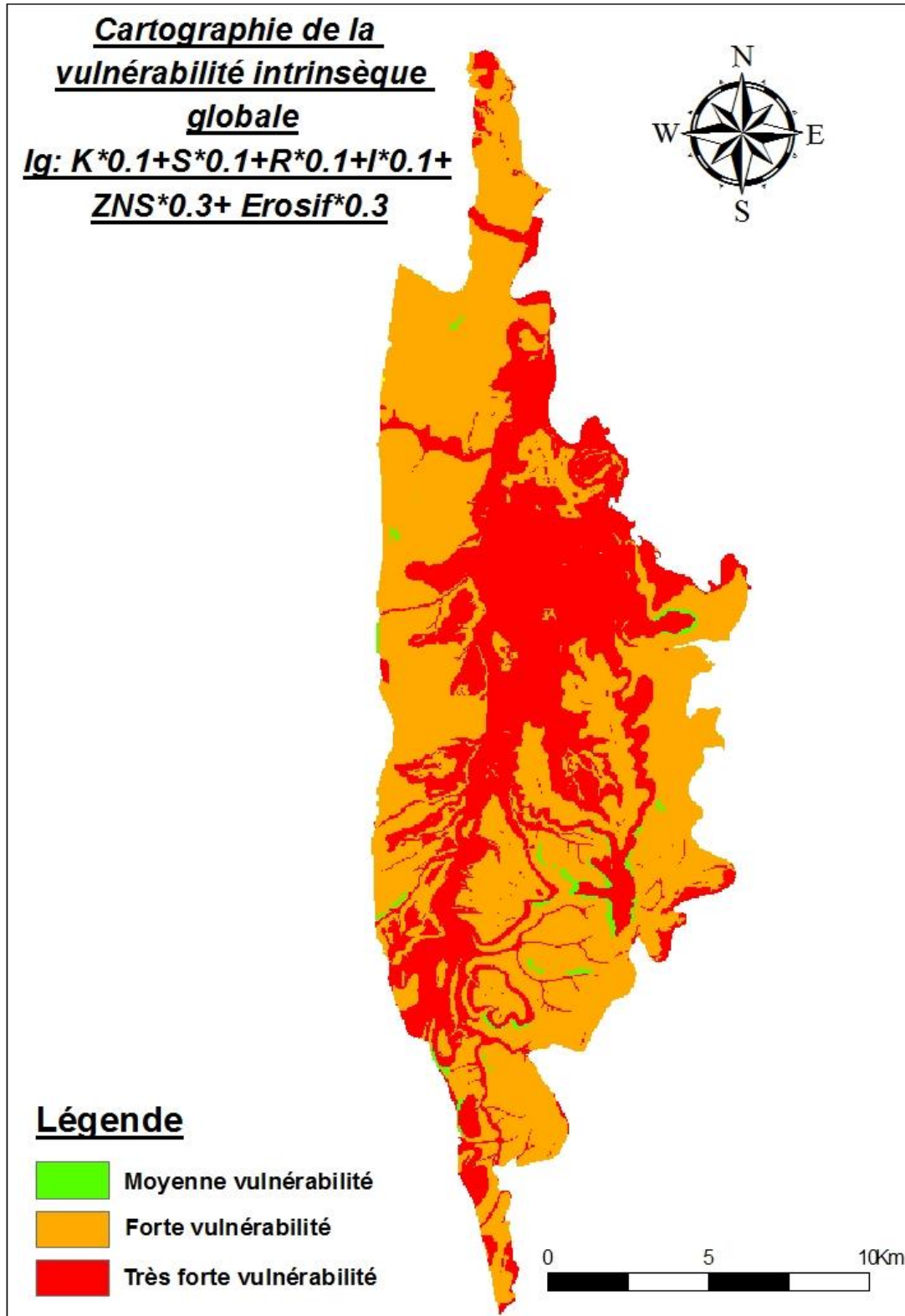
Annexe 7

Test 4



Annexe 8

Test 5



Réalisation de la carte piézométrique des plateaux calcaires du Nivernais et caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques.

Résumé

Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) a proposé à l'Agence de l'eau Seine-Normandie de réaliser une carte piézométrique sur les plateaux calcaires du Nivernais, correspondant aux masses d'eau 4061 (FR_GO_061) et 3217 (FR_GO_217). Cette cartographie permet de localiser les différents bassins versants et leur sens d'écoulement dans l'objectif d'acquérir une photographie de l'état et du fonctionnement de ses deux masses d'eau afin de mieux gérer la ressource en eau.

Toujours dans cette ambition de préserver l'eau, une étude sur la vulnérabilité intrinsèque des pollutions diffuses vient s'ajouter en complément afin de mesurer le degré de vulnérabilité du secteur d'étude. Cette étude vise à classer l'espace en fonction des pouvoirs d'auto-épuration du sol. Ce degré de vulnérabilité est calculé grâce à une méthode à index avec pondération des critères, appelée méthode RISKE mise en place par le BRGM. L'indice global de la vulnérabilité intrinsèque obtenu à partir de cette méthode est ensuite analysé et corrigé afin d'acquérir une cartographie représentative de la réalité du terrain.

Mots clés : piézométrique, vulnérabilité, ressource, gestion, pollution, prévention.

Abstract

The Geological and Mining Research Office (BRGM) has proposed to the Water Agency Seine-Normandie to achieve a piezometric map on the limestone plains of Nivernais, corresponding to water masses 4061 (FR_GO_061) and 3217 (FR_GO_217). This mapping is used to locate the different watersheds and flow direction in the objective to gain a picture of the status and operation of the two water masses to better manage water resources.

Also in this ambition to preserve water, a study of the intrinsic vulnerability of diffuse pollution is added as a supplement to measure the degree of vulnerability of the study area. This study aims to classify the space depending on the soil self-purification powers. This degree of vulnerability is calculated by a method to index with weighting of the criteria, called RISKE method implemented by BRGM. The overall index of the intrinsic vulnerability produced from this method is then analyzed and corrected in order to acquire a representative mapping of the field reality.

Key-words: piezometric, vulnerability, pollution, prevention, management, resource.