IDENTIFICATION ET PRÉSERVATION DES RESSOURCES MAJEURES EN EAU SOUTERRAINE POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE ÉTUDE DE L'AQUIFÈRE DES CALCAIRES JURASSIQUES DU SEUIL ET DES CÔTES ET ARRIÈRES-CÔTES DE BOURGOGNE

agence de l'eau rhône méditerranée corse
Établissement public de l'État

Méthodes PaPRIKa

4 Juillet 2014

Bureau Christian CAILLE 4 les Berrods 39 150 Prénovel
Tél : 03 84 33 75 13 Courriel : becaille.hydro@orange.fr

Bureau IDEES EAUX 20 rue Paul Gauguin 39 170 Saint Lupicin
Tél : 03 84 42 07 08 Site : www.ideeseaux.com

B.E. CAILLE Hydrogéologie

Idées EAUX

Sommaire

1. introduction 6

1.1. La zone d'Étude 6

1.2. Objet du présent rapport 7

2. Méthodologie 8

2.1. Les méthodes multicritères 8

2.2. La méthode Paprika 8

2.2.1. Critère P : Protection vis-à-vis de l'infiltration 9

2.2.2. Critère R : Nature de la roche réservoir 13

2.2.3. Critère I : Conditions d'infiltration 14

2.2.4. Critère Ka : degré de karstification 14

2.2.5. Poids des paramètres et classes de vulnérabilité 15

2.3. Cartographie des pressions polluantes. 16

1.1. Cartographie des risques. 17

3. Methodes PaPRIKa réalisees sur les ressources karstiques majeures actuelles 18

3.1. Source de la Bornue (Puits de Vosne) 18

3.1.1. Carte du critère de protection (P) 18

3.1.2. Carte du critère roche (R). 19

3.1.3. Carte du critère infiltration (I) 19

3.1.4. Carte du critère karstification (Ka) 19

3.1.5. Carte de vulnérabilité 19

3.1.6. Carte des pressions polluantes 20

3.1.7. Carte des risques 20

3.1.8. Conclusions 20

3.2. Source de Fontaine Froide 26

3.2.1. Carte du critère de protection (P) 26

3.2.2. Carte du critère roche (R). 27

3.2.3. Carte du critère infiltration (I) 27

3.2.4. Carte du critère karstification (Ka) 27

3.2.5. Carte de vulnérabilité 28

3.2.6. Carte des pressions polluantes 28

3.2.7. Carte des risques 28

3.2.8. Conclusions 29

3.3. Source de la Bouzaise 34

3.3.1. Carte du critère de protection (P) 34

3.3.2. Carte du critère roche (R). 35

3.3.3. Carte du critère infiltration (I) 35

3.3.4. Carte du critère karstification (Ka) 35

3.3.5. Carte de vulnérabilité 35

3.3.6. Carte des pressions polluantes 36

3.3.7. Carte des risques 36

3.3.8. Conclusions 37

4. Methodes paprika réalisees sur les ressources karstiques majeures futures _____ 42

4.1. Source de la Bèze _____ 42

4.1.1. Carte du critère de protection (P) _____ 42
4.1.2. Carte du critère roche (R). _____ 43
4.1.3. Carte du critère infiltration (I) _____ 43
4.1.4. Carte du critère karstification (Ka) _____ 43
4.1.5. Carte de vulnérabilité _____ 44
4.1.6. Carte des pressions polluantes _____ 44
4.1.7. Carte des risques _____ 44
4.1.8. Conclusions _____ 45

4.2. Source de la Zouave _____ 50

4.2.1. Carte du critère de protection (P) _____ 50
4.2.2. Carte du critère roche (R). _____ 51
4.2.3. Carte du critère infiltration (I) _____ 51
4.2.4. Carte du critère karstification (Ka) _____ 51
4.2.5. Carte de vulnérabilité _____ 51
4.2.6. Carte des pressions polluantes _____ 52
4.2.7. Carte des risques _____ 52
4.2.8. Conclusions _____ 52

4.3. Source du Creux Bleu _____ 58

4.3.1. Carte du critère de protection (P) _____ 58
4.3.2. Carte du critère roche (R). _____ 59
4.3.3. Carte du critère infiltration (I) _____ 59
4.3.4. Carte du critère karstification (Ka) _____ 59
4.3.5. Carte de vulnérabilité _____ 60
4.3.6. Carte des pressions polluantes _____ 60
4.3.7. Carte des risques _____ 60
4.3.8. Conclusions _____ 61

5. Méthode RISK réalisée sur le BAC de la source de l'Ouche (SIE d'Arnay le Duc juin 2012_bureau Ch. Caille). _____ 66

5.1. Principe de la méthode RISK _____ 66

5.1.1. Critère R : Roche aquifère _____ 67
5.1.2. Critère I : Conditions d'infiltration _____ 67
5.1.3. Critère S : Sol et couverture protectrice _____ 68
5.1.4. Critère K : Karstification _____ 70
5.1.5. Indice global de vulnérabilité Ig _____ 70

5.2. Application de la méthode RISK au BAC de la source de l'Ouche. _____ 71

5.3. Interprétation des cartes. _____ 80

6. Synthèse. _____ 82

Table des figures

Figure 1 : Carte de la masse d'eau FRDG119 6
Figure 2 : Tableau des cartographies de la vulnérabilité par RKM. 7
Figure 3 : Schéma de la méthode PaPRIKA (source : BRGM) 9
Figure 4 : Schéma de localisation dans le karst du critère P et R (source: BRGM) 10
Figure 5 : Tableau de classification des pressions polluantes (Corine Land Cover). 17
Figure 6 : Cartes des critères pour la RKM source de la Bornue 22
Figure 7 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de la Bornue (puits de Vosne) 23
Figure 8 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source de la Bornue 24
Figure 9 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de la Bornue 25
Figure 10 : Cartes des critères pour la RKM des sources de Fontaine Froide 30
Figure 11 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de Fontaine Froide 31
Figure 12 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de Fontaine Froide 32
Figure 13 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de Fontaine Froide 33
Figure 14 : Cartes des critères pour la RKM de la source de la Bouzaise 38
Figure 15 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de la Bouzaise 39
Figure 16 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source de la Bouzaise 40
Figure 17 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de la Bouzaise 41
Figure 18 : Cartes des critères pour la RKM de la source de la Bèze 46
Figure 19 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de la Bèze 47
Figure 20 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source de la Bèze 48
Figure 21 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de la Bèze 49
Figure 22 : Cartes des critères pour la RKM de la source de la Zouave 54
Figure 23 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de la Zouave 55
Figure 24 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source de la Zouave 56
Figure 25 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de la Zouave 57
Figure 26 : Cartes des critères pour la RKM de la source du Creux Bleue 62
Figure 27 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source du Creux Bleu 63
Figure 28 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source du Creux Bleu 64
Figure 29 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source du Creux Bleu 65
Figure 30 : Carte de l'indice R_Roche. 72
Figure 31 : Carte de l'indice I_Infiltration. 73
Figure 32 : Carte de l'indice S_Sol. 74
Figure 33 : Carte de l'indice K_Karst. 75
Figure 34 : Carte de l'indice global de vulnérabilité. 76
Figure 35 : Carte de l'occupation du sol. 77
Figure 36 : Cartes des pressions de pollution. 78
Figure 37 : Carte des risques de pollution. 79
Figure 38 : Tableau de répartition des surfaces en fonction du degré de vulnérabilité. 80
Figure 39 : Tableau de répartition des surfaces en fonction de l'occupation du sol. 80
Figure 40 : Tableau d'indexation de la pression de pollution en fonction de l'occupation du sol. 81
Figure 41 : Tableau de répartition des surfaces en fonction du risque de pollution. 81
Figure 42 : Répartition des surfaces en km^2 par classe de vulnérabilité. 84
Figure 43 : Répartition des surfaces en km^2 par classe de risque 84

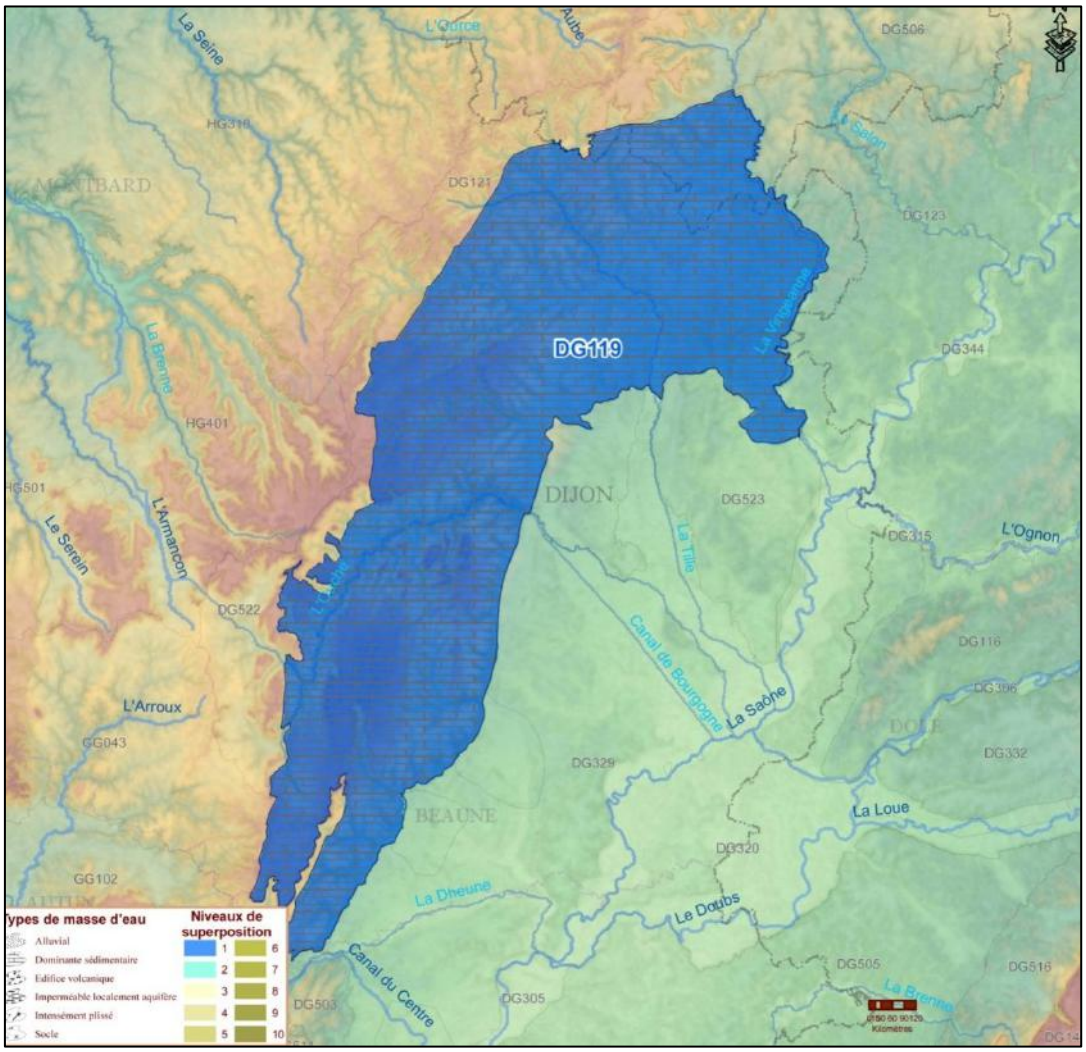
1. INTRODUCTION

1.1. LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude correspond à la masse d'eau identifiée FRDG119 : calcaires jurassiques du seuil et des côtes et arrières-côtes de Bourgogne (Figure 1). Elle s'étend de Saint-Seine-l'Abbaye, au Nord, à Vauchignon, au Sud en contournant Dijon par le nord.
Il s'agit de la zone charnière séparant le Bassin Parisien et le Fossé Bressan (Figure **1**), regroupant les régions de la Côte et Arrière-Côte, de la Montagne et du Seuil de Bourgogne.

La zone d'étude concerne en partie les bassins de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge, ainsi que la nappe de Dijon Sud, qui ont fait l'objet d'études de détermination des volumes prélevables (EVP), ces secteurs sont tous identifiés en déséquilibre quantitatif liés à l'importance des prélèvements actuels.

Figure 1 : Carte de la masse d'eau FRDG119



1.2. OBJET DU PRESENT RAPPORT

Ce rapport présente les résultats des méthodes PaPRIKA sur six ressources karstiques majeures actuelles ou futures n'ayant pas fait l'objet d'une étude de vulnérabilité jusqu'à ce jour.
La méthode PaPRIKA est une méthode de cartographie multicritères de la vulnérabilité des aires contribuant à la recharge de l'aquifère. Elle fournit une cartographie hiérarchisée en 5 classes de vulnérabilité. Elle est destinée à apprécier leur sensibilité au transfert de pollutions anthropiques.
Une cartographie des pressions polluantes ainsi que des risques de pollution vient compléter la cartographie de la vulnérabilité.
Ces cartes délimitent les zones de protection prioritaire à prendre en compte dans les documents d'aménagement du territoire (SCOT, PLU, SDC ...), afin d'intégrer les enjeux attachés à ces zones dans l'établissement des scénarios de développement et de zonage.

La situation des ressources karstiques majeures (RKM) vis-à-vis des cartographies de la vulnérabilité sont les suivantes :

Ressource majeures	Surface km2	Existence zone noyée	Situation de la ressource majeure vis-à-vis des études de vulnérabilité	Cartographie de la vulnérabilité PaPRIKa à réalisée dans le cadre de l'étude
Captages structurants				
Source de l'Ouche	36		RISK (Bureau C. Caille 2012)	
Source de la Bornue (Puits de Vosne)	12	X		x
Sources de Rochotte et Régnier	79	X	BAC en cours d'étude, RISK fin 2014 (Bureau C. Caille)	
Sources de Fontaine Froide	25			x
Source de la Bouzaise	22	X		x
Source de Morcueil	91		BAC en cours d'étude,PaPRIKa prévu fin 2014 (Safège)	
Sources du Val Suzon	108		BAC en cours d'étude,PaPRIKa prévu fin 2014 (Safège)	
Puits Aige Noir	BAC non renseigné		En attente d'une étude BAC	
Puits de Dienay	BAC non renseigné		En attente d'une étude BAC	
Puits des Gorgets	BAC non renseigné		En attente d'une étude BAC	
Points d'eau remarquables				
Source de la Bèze	198	X		x
Source du Creux Bleu	123	X		x
Source de la Zouave	36	X		x
Forage du Pavillon	BA non renseigné		Zone d'étude cartographiée en attendant une étude BAC	
Ressources profondes				
Norges_Marsannay	49	X	Limite physique de l'aquifère noyé sous couverture jurassique sup., pas de cartographie de la vulnérabilité	

Figure 2 : Tableau des cartographies de la vulnérabilité par RKM.

La cartographie de la vulnérabilité est existante pour seulement une ressource majeure, il s'agit de la source de l'Ouche. Les sources de Rochotte-Régnier, de Morcueil et du Val Suzon font l'objet d'une étude BAC avec cartographie de la vulnérabilité dans des études indépendantes de celle-ci. Les puits et forages n'ont pas fait l'objet d'étude hydrogéologique de délimitation des bassins d'alimentation, par conséquent la cartographie de leur vulnérabilité n'est pas réalisable pour l'instant.
Au final, il y a 3 ressources majeures actuelles et 3 ressources majeures futures, qui font l'objet d'une cartographie de la vulnérabilité dans le cadre de cette étude. La méthode

PaPRIKa leur est appliquée à partir des données disponibles, sans investigations de terrain spécifiques.

2. METHODOLOGIE

2.1. LES METHODES MULTICRITERES

Les méthodes multicritères permettent d'apprécier la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques en fonction de leurs caractéristiques de structures et de leur fonctionnement. Globalement, elles reposent toutes sur un modèle conceptuel hydrogéologique similaire :

- La méthode EPIK (Suisse) de N. Dörfliger, élaborée en 1996 se base sur les critères : Epikarst, couverture Protectrice, Infiltration et réseau Karstique ;
- Les méthodes RISKE et RISKE2 (Anglo-saxonne) se basent sur les critères : Réservoir aquifère, Infiltration, Sol, Karstification et Epikarst. RISKE2 prend en compte les phénomènes exo-karstiques tels que les dolines, avens et pertes ;
- La méthode RISK élaborée par la DIREN de Franche-Comté et le BRGM se base sur les critères : Réservoir aquifère, Infiltration, Sol et Karstification. Elle s'inspire des méthodes EPIK et RISKE ;
- La méthode PaPRIKa, élaborée par le BRGM, est une évolution de la méthode RISKE2 afin de distinguer les critères associés à la structure, des critères associés au fonctionnement hydrogéologique. Elle signifie « Protection des aquifères karstiques basée sur la Protection, le Réservoir, l'Infiltration et le degré de Karstification ». Elle se base donc dans un premier temps sur les critères : couverture Protectrice, Réservoir souterrain, Infiltration, degrés de Karstification. Dans un deuxième temps, le critère Infiltration est modifié avec la notion de vitesse de transfert au sein de l'aquifère permettant d'obtenir une carte de vulnérabilité du captage pouvant servir à la délimitation des périmètres de protection.

2.2. LA METHODE PAPRIKA

PaPRIka est une méthode multicritère de cartographie intrinsèque d'un aquifère karstique. C'est une évolution de la méthode RISKE2. Elle prend en compte quatre critères :

- la protection vis-à-vis de l'infiltration (P) ;
- la nature de la roche du réservoir aquifère (R) ;
- les conditions d'infiltrations (I) ;
- le degré de karstification (Ka).

Ainsi, deux critères caractérisent la structure et deux critères caractérisent le fonctionnement des aquifères karstiques :

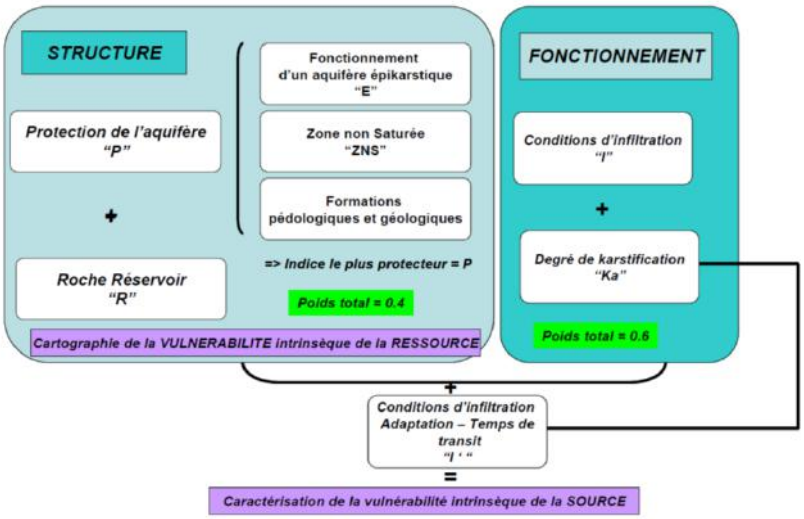


Figure 3 : Schéma de la méthode PaPRIKA (source : BRGM)

La deuxième partie de la méthode, qui intègre les vitesses de circulation jusqu'au captage et caractérise la vulnérabilité intrinsèque de la source ne concerne pas notre étude et ne sera donc pas appliquée.

Chaque critère est réparti en 5 classes, de 0 à 4, du moins vulnérable au plus vulnérable. Un facteur de pondération est attribué à chaque critère. Il traduira l'importance relative des critères entre eux.

La méthode est mise en œuvre selon 6 étapes principales pour cartographier la vulnérabilité de la ressource :

- *Séparation du bassin en zones karstiques et non karstiques* (cas des systèmes binaires) ;
- *Cartographie de chaque critère ;*
- *Discrétisation des cartes* ;
- *Calcul de la vulnérabilité globale Vg* en chaque maille ;
- *Reclassification de l'indice Vg ;*
- *Étape de vérification.*

La méthodologie de la méthode PaPRIKa est décrite dans le guide RP-57527-FR du BRGM.

2.2.1. Critère P : Protection vis-à-vis de l'infiltration

« P » se rapporte à la partie supérieure de l'aquifère, à la tranche située au-dessus de la roche aquifère et de la zone noyée. Ce critère caractérise la protection induite par un retard à l'infiltration des eaux météoriques.

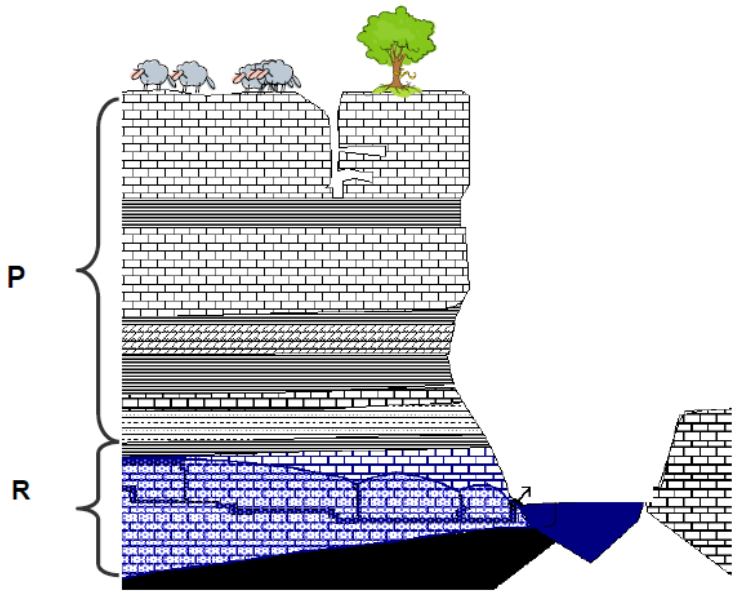


Figure 4 : Schéma de localisation dans le karst du critère P et R (source: BRGM)

Ainsi, trois « sous-critères » vont influencer ce retard :

- S : « couverture pédologique et géologique » ;
- E « aquifère épikarstique » ;
- ZNS « caractéristique de la zone non saturée » (nature, épaisseur et fracturation).

C'est le sous-critère le plus protecteur, qui est alors retenu dans chaque maille de l'aire d'alimentation.

En revanche, dans les bassins versants des pertes, le critère P caractérise l'état de surface vis-à-vis du refus à l'infiltration.

- S : Couverture pédologique et géologique

S est une couche protectrice de surface qui correspond à l'épaisseur recouvrant l'épikarst, s'il existe, ou recouvrant les roches réservoir du système karstique. La couche S est donc caractérisée, par la couverture pédologique (sol) ou par les formations superficielles (moraine, limons de plateau,…).

Dans un premier temps, la *nature de sol* est définie en croisant la *texture* (dominante argileuse, dominante limoneuse ou dominante sableuse) et la *pierrosité* d'après les classes du tableau suivant :

		Texture		
		1 (argiles)	2 (limons)	3 (sables)
Cailloux	1 (0-30%)	1	1	2
	2 (30-60%)	1	2	3
	3 (>60%)	2	3	4

Ensuite, la *nature du sol* est croisée avec *l'épaisseur* pour obtenir cinq catégories, S0 à S4 :

		Nature du sol				
		Inconnue	1	2	3	4
Zones imperméabilisées		S0				
Épaisseur	> 5 m	S1	S1	S1	S2	S3
	1-5 m	S1	S1	S2	S3	S3
	60-100 cm	S2	S2	S3	S4	S4
	30-60 cm	S3	S3	S4	S4	S4
	0-30 cm	S4	S4	S4	S4	S4

- <u>E : Aquifère épikarstique</u>

L'épikarst correspond à la partie superficielle d'une formation carbonatée fortement altéré située directement sous la couverture pédologique lorsqu'elle est présente. La porosité et la perméabilité sont plus fortes à proximité de la surface, ces paramètres hydrodynamiques diminuent avec la profondeur. Ainsi, l'eau d'infiltration des précipitations peut-être être stockée au niveau de la base de l'épikarst et constituer un aquifère perché susceptible d'alimenter des sources temporaires. Ce stockage temporaire peut donc constituer un retard à l'infiltration. L'épikarst n'est pas toujours présent.
Quatre classes E sont ainsi définies dans la méthode :

Critère E : aquifère épikarstique	
E1	Aquifère perché avec présence de puits et d'un niveau piézométrique, voire d'un lac temporaire
E2	Aquifère épikarstique continu latéralement avec des sources temporaires d'un débit de l'ordre du litre/seconde et existence de puits collectant les eaux ; effet de stockage vérifié
E3	Existence d'un aquifère avec présence de sources de débits peu importants et d'une continuité latérale plus ou moins bien représentée ; l'effet de retard est limité ;
E4	Pas d'aquifère épikarstique

- ZNS : Caractéristique de la zone non-saturée

La zone non-saturé de l'aquifère assure le transfert de l'eau vers la zone saturée. La vitesse de ce transfert va donc dépendre de la lithologie, de l'épaisseur ainsi que du degré de fracturation/fissuration.
Quatre classes sont tout d'abord définies en fonction de la lithologie :

Lithologie de la ZNS (L_{ZNS})	
$L_{ZNS}0$	Couches d'argiles de forte épaisseur
$L_{ZNS}1$	Marno-calcaires, craie
$L_{ZNS}2$	Calcaires en petits bancs et/ou intercalation d'argiles
$L_{ZNS}3$	Calcaires en gros bancs massifs

Ces quatre classes sont ensuite complétées avec les données de fracturation et d'épaisseur telle qu'indiqué dans le tableau suivant pour obtenir cinq classes caractérisant la zone non saturée :

		Épaisseur		
		> 15 m	15-50 m	> 50 m
Fracturation	Faible-moyenne	$L_{ZNS}+1$	L_{ZNS}	L_{ZNS}
	Importante	$L_{ZNS}+1$	$L_{ZNS}+1$	$L_{ZNS}+1$
	Forte au niveau de faille	4	4	4

- L'état de surface (uniquement pour les bassins versants des pertes)

Ce critère est le seul critère à renseigner au niveau des bassins versants des pertes temporaires ou pérennes.

A l'inverse du critère S, plus les terrains de surface sont imperméabilisés, plus l'état de surface peut favoriser le ruissellement vers une perte.

Quatre classes P sont ainsi définies dans la méthode :

État de surface dans les bassins versants des pertes	
P1	Terrains caractérisés par de fortes perméabilités : graviers et conglomérats non cimentés
P2	Terrains caractérisés par des perméabilités moyennes : arènes granitiques, sables, calcaires
P3	Terrains caractérisés par des perméabilités faibles : grès peu fissurés, conglomérats cimentés, roches magmatiques et métamorphiques saines.
P4	Terrains caractérisés par des perméabilités très faibles : argiles, marnes, zones de cours d'eau pérenne ou temporaire

- Carte du Critère P

Le critère P résulte du croisement des cartes S, E et ZNS pour les zones karstiques et de la carte « état de surface » pour les zones de pertes.
En chaque point, c'est le critère le plus protecteur qui est retenu, pour tracer la carte P.

2.2.2. Critère R : Nature de la roche réservoir

Ce critère caractérise la nature de la roche réservoir en considérant d'une part la nature lithologique (calcaires à marnes) et d'autre part le caractère massif ou non de la roche et l'état de fracturation locale à régionale.

La cartographie de ce critère est réalisée à partir de la carte géologique du BRGM (1/50 000e), des coupes géologiques réalisées au niveau des systèmes karstiques étudiés et par des connaissances du terrain.

Quatre classes R sont ainsi définies dans la méthode :

Critère R : Nature de la roche réservoir	
Indice	Description
R_1	Cette classe regroupe les formations marno-calcaires (25-35% de minéraux argileux) ainsi que la craie, affectée d'une déformation faible qui auront une influence limitée en termes de vulnérabilité, les circulations d'eau restant là encore relativement lentes.
R_2	Cette classe regroupe les formations de calcaires marneux (la proportion argileuse est plus faible que pour la classe R_1 : 10-25%), craie affectée d'une fracturation forte ; calcaires et dolomies en petits et gros bancs avec fracturation homogène et pendage ou contre pendage inférieur à 45°, dont le sens est favorable à un écoulement en direction du captage comme cela l'est confirmé par ailleurs lors de la délimitation préalable du bassin d'alimentation.
R_3	Cette classe regroupe les formations calcaires et dolomitiques, soit massives en gros bancs fracturés, soit en plus petits bancs avec des intercalations argilo-marneuses avec une fracturation homogène. Ce type de formation permet des circulations relativement faciles et rapides : Calcaires et dolomies massif en gros bancs fracturés et karstifiés, Calcaires et dolomies en gros bancs avec un pendage ou contre pendage supérieur à 45° par rapport à la localisation de la source.
R_4	Cette classe regroupe les zones reconnues cartographiées ou présupposées de réseau de cavités et de zones de failles affectant le réservoir, parallèles au gradient hydraulique.

2.2.3. Critère I : Conditions d'infiltration

Le critère I caractérise l'infiltration. Dans le karst, l'infiltration est à la fois diffuse et concentrée en certains points (pertes). Par définition, l'infiltration dépend à la fois de la pente des terrains et également de leur nature. Dans la méthode PaPRIKa, le critère I repose d'une part sur la notion de pente, et d'autre part sur des critères morphologiques (dolines, vallées sèches, lapiez, pertes).

Ainsi, cinq classes I sont définies dans la méthode :

Critère I : Conditions d'infiltration	
Indice	Description
I0	Cette classe regroupe les zones du bassin où les pentes sont très fortes (>50%) induisant un ruissellement de l'eau très important (vers d'autres aquifères ou la mer etc…) et une infiltration négligeable voire même nulle.
I1	Zones où les pentes sont fortes (15-50%) favorisant grandement le ruissellement.
I2	Zones du bassin où la pente est moyenne (5-15%) et/ou zones où le ruissellement est limité (vallées sèches, lapiez peu développé verticalement).
I3	Zones à pente faible (0-5%) où le ruissellement est limité et l'infiltration beaucoup plus forte. Les zones avec dolines et poljés sont prises en compte dans cette classe. De plus, les lapiez bien développés verticalement avec des cannelures métriques font partie de cette classe.
I4	Manifestations de l'infiltration concentrée au niveau des pertes. Ne sont retenues quand la classification « perte » que les pertes situées sur un cours d'eau pérenne ou temporaire. À la perte elle-même est associée le bassin versant du cours d'eau l'alimentant dont l'état de surface est caractérisé à l'aide de P.

2.2.4. Critère Ka : degré de karstification

Ce critère Ka définit le degré de développement du karst. La fonctionnalité d'un système traduit la structure des vides résultants de la karstification, mais également de l'organisation des écoulements. L'aquifère est alors fonctionnel, caractérisé par l'existence de vitesses d'écoulement souterrain très rapides (jusqu'à quelques centaines de mètres par heure) et par une vulnérabilité spatio-temporelle des caractéristiques physiques et hydrauliques de l'aquifère.

Le caractère unaire ou binaire du système karstique est également pris en compte dans la définition de ce critère.

Critère Ka : degré de karstification	
Indice	Caractéristiques
Ka1	Degré de karstification correspondant aux systèmes de type 1 (ayant une aire d'alimentation <10 km² et un débit moyen annuel faible) et uniquement si le système karstique est caractérisé par un comportement peu fonctionnel (faible variabilité du débit et des paramètres physico-chimiques), et en l'absence de preuves ou d'indices de circulation rapide.
Ka2	Degré de karstification de type 2 (aire d'alimentation >10 km²) ou de type 3 unaire et peu fonctionnel (la fonctionnalité est appréciée à partir d'indices caractérisant le degré de karstification tels que des vitesses de traçages rapides, la variabilité du débit et de la chimie de la source), soit à des systèmes complexes tels que définis dans la classification de Mangin (domaine de référence 1)
Ka3	Degré de karstification correspondant aux systèmes karstiques du type 2 ou 3, fonctionnels et binaires/unaires ; il s'agit soit de systèmes binaires peu fonctionnels ou unaires très fonctionnels. Le réseau karstique de ce type de systèmes karstiques est bien développé avec la présence d'un drain collecteur de petite taille connu, connecté avec la surface. Les vitesses de transit mises en évidences à l'aide d'essais de traçages sont importantes (entre 50-100 m/h). Domaine de référence 2 de la classification de Mangin.
Ka4	Degré de karstification correspondant aux systèmes karstiques binaires de type 2. Le réseau karstique très bien développé avec la présence d'un gros collecteur connecté avec la surface, comme l'atteste la fonctionnalité du système. Les vitesses de transit mises en évidence à l'aide d'essais de traçage sont importantes (>100 m/h). Domaines de référence 3 voire 4 de la classification de Mangin.

2.2.5. Poids des paramètres et classes de vulnérabilité

L'indice de la vulnérabilité globale Vg se calcule par la formule suivante :

$$Vg = iI_{0\text{-}4} + rR_{1\text{-}4} + pP_{0\text{-}4} + kKa_{1\text{-}4}$$

➔ i, r, p et k correspondent au poids des critères,

➔ $I_{0\text{-}4}$, $R_{1\text{-}4}$, $P_{0\text{-}4}$ et $Ka_{1\text{-}4}$ correspondent à la valeur des critères indexés.

La pondération se fait selon la règle suivante : la somme des pondérations des critères relatifs au fonctionnement de l'aquifère karstique (K et I) est comprise entre 50 et 65% alors que la somme des pondérations des critères relatifs à la structure de l'aquifère karstique (P et R) est comprise entre 35 et 50%.

Pour les bassins versants des pertes seuls, les critères I et P sont pris en considération selon la pondération suivante : 50% I et 50% P.

Les valeurs ne sont pas uniques, des intervalles de valeurs sont proposés afin d'évaluer la sensibilité des critères, ils sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Critères	Abréviation	Pondération (%) pour le réservoir karstique	Pondération (%) pour le bassin amont des pertes
Protection	P	20-25	50
Roche réservoir	R	15-20	/
Infiltration	I	40-30	50
Karstification	Ka	20-30	/

Les pondérations utilisées sont données pour chaque cartographie de la vulnérabilité. Le meilleur contraste est recherché.

Des classes de vulnérabilité sont alors définies en 5 catégories associées à un indice et une couleur :

Reclassification	Indice	Vulnérabilité
3,2 - 4	4	Très élevée
2,4 – 3,19	3	Élevée
1,6 – 2,39	2	Modérée
0,8 – 1,59	1	Faible
0 – 0,79	0	Très faible

2.3. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS POLLUANTES.

Une carte des pressions polluantes est éditée à partir de la base de données en ligne Corine Land Cover 2006, qui fournit l'occupation du sol. Cette cartographie est vérifiée par rapport à notre connaissance du terrain, elle est éventuellement complétée ou actualisée. La carte des pressions polluantes est indicées en 5 classes de très faibles à très élevées. Le tableau de

la Figure 5 donne les indices en fonction de l'occupation du sol. Ces indices mesurent la probabilité et l'intensité d'une pollution éventuelle.
Des données ponctuelles sont ajoutées à la carte, il s'agit : des installations classées pour l'environnement (ICPE), des STEP, des décharges anciennes, des carrières, des routes.

Figure 5 : Tableau de classification des pressions polluantes (Corine Land Cover).

code_clc	libelle_fr	couleur	Classe des pressions polluantes
111	Tissu urbain continu		3
112	Tissu urbain discontinu		3
121	Zones industrielles et commerciales		4
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés		3
124	Aéroports		4
131	Extraction de matériaux		3
132	Décharges		4
133	Chantiers		4
141	Espaces verts urbains		1
142	Equipements sportifs et de loisirs		1
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation		2
221	Vignobles		2
222	Vergers et petits fruits		2
231	Prairies		1
241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes		2
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes		2
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants		2
311	Forêts de feuillus		0
312	Forêts de conifères		0
313	Forêts mélangées		0
321	Pelouses et pâturages naturels		1
322	Landes et broussailles		0
324	Forêt et végétation arbustive en mutation		0
332	Roches nues		0
333	Végétation clairsemée		0
411	Marais intérieurs		0
412	Tourbières		0
512	Plans d'eau		0

1.1. CARTOGRAPHIE DES RISQUES.

La carte des risques provient du croisement de la carte des pressions polluantes et de la carte de vulnérabilité affectée chacune du même poids (50 %). Les risques sont à nouveau répartis en 5 classes de très faibles à très élevés.

3. METHODES PAPRIKA REALISEES SUR LES RESSOURCES KARSTIQUES MAJEURES ACTUELLES

3.1. SOURCE DE LA BORNUE (PUITS DE VOSNE)

3.1.1. Carte du critère de protection (P)

Critère sol (S)

La couche S, couverture pédologique et géologique, a été réalisée à partir de la carte des sols réalisée par l'INRA au 1/100 000ème et de la carte géologique.

La carte des sols a été réalisée à partir de la classification suivante :

Unité de sol*	Classification PaPRIKa
23	2
26	3
24 26 28 29 30 32 37 38	4

Critère zone non saturée (ZNS)

Pour la lithologie de la zone non-saturée, la classification suivante a été appliquée :

Lithologie	Classification PaPRIKa
j2	3
j3	2
j5	1

Cette première classification a été ensuite recoupée avec l'épaisseur de la zone non-saturée – déterminée à l'aide des coupes géologiques - et la fracturation. Les zones de fortes fracturations ont été délimitées et associées à l'indice 4. La fracturation appliquée sur le reste de la RKM est faible à moyenne.
La ZNS présente une vulnérabilité de modérée (2) à très élevée (4) au niveau des zones de failles.

Critère épikarst (E)

Sur cette RKM, aucun indice de présence d'un épikarst n'a été mis en évidence. Ce critère n'est pas cartographié.

Critère état de surface

Ce critère n'a pas été utilisé puisqu'aucune perte n'a été identifiée.

Réalisation de la carte de protection (P)

La carte P résulte du croisement des cartes S, E et ZNS. En chaque maille, c'est le critère le plus protecteur qui est retenu.

La carte P présente une vulnérabilité de modérée (2) à très élevée (4). Les zones les plus vulnérables se situent au niveau des zones de faille.

3.1.2. Carte du critère roche (R).

La source est principalement alimentée par les calcaires du Jurassique moyen, le Bathonien et le Bajocien. Ils se présentent sous forme de bancs massifs fracturés et de petits bancs fracturés présentant quelques intercalations plus argileuses. Ils sont cartographiés avec l'indice 4.

3.1.3. Carte du critère infiltration (I)

La topographie de la RKM de la Bornue présente une vulnérabilité variant de très faible (0) à élevée (3).Les vallées sèches ont été classées en vulnérabilité 2.

3.1.4. Carte du critère karstification (Ka)

Le bassin d'alimentation d'une superficie de 11,5 km² présente un débit moyen de 169 m^3/h, les vitesses de circulation des eaux souterraines ne sont pas connues. Ces éléments permettent d'en déduire l'indice Ka – 3, vulnérabilité élevée.

3.1.5. Carte de vulnérabilité

Cette carte est obtenue en croisant les critères P, R, I et Ka affectés des pondérations suivantes :

$$Ig = 0,3*P + 0,2*R + 0,35*I + 0,15*Ka$$

La vulnérabilité intrinsèque de la ressource karstique étudiée se répartie entre 3 classes, de modérée à très élevée.

Plus de 54 % de l'ensemble karstique de la Bornue est cartographié en vulnérabilité élevée et très élevée. Cette forte vulnérabilité est représentée par une infiltration importante de l'eau via les zones de fractures et l'absence de sol permettant de limiter celle-ci.

3.1.6. Carte des pressions polluantes

La carte de pressions polluantes a été réalisée à partir de Corine Land Cover 2006.
52 % de la surface sont recouverts de forêts. Les secteurs cartographiés précédemment en vulnérabilité forte sont recouvertes de moitié par la forêt. Elles sont classées en pression de pollution très faible.
9 % de la surface sont en prairie permanente classés en pression de pollution faible.
38 % de la surface sont déclarés en cultures, classés en pression de pollution moyenne. La seconde moitié des zones de fortes vulnérabilités se situe sur les parcelles cultivées.
1 % de la surface sont en zone urbanisée classés en pression de pollution forte.

Quatres décharges et une carrière sont répertoriées, elles représentent une pression polluante très forte vis-à-vis des pollutions accidentelles.

3.1.7. Carte des risques

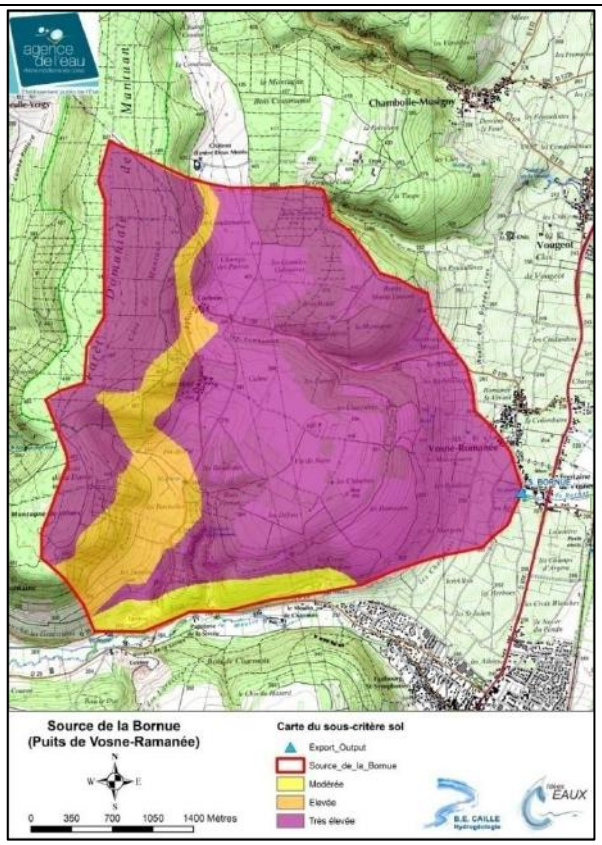
La carte des risques est obtenue en croisant la carte de vulnérabilité et la carte d'occupation des sols.
Le risque le plus élevé se situe au niveau de la zone de failles occupée par des parcelles agricoles. Le recouvrement par la forêt diminue le risque de pollution de la ressource.

La répartition des classes de vulnérabilité et des classes de risque sur l'ensemble de la ressource sont présentées dans le tableau suivant :

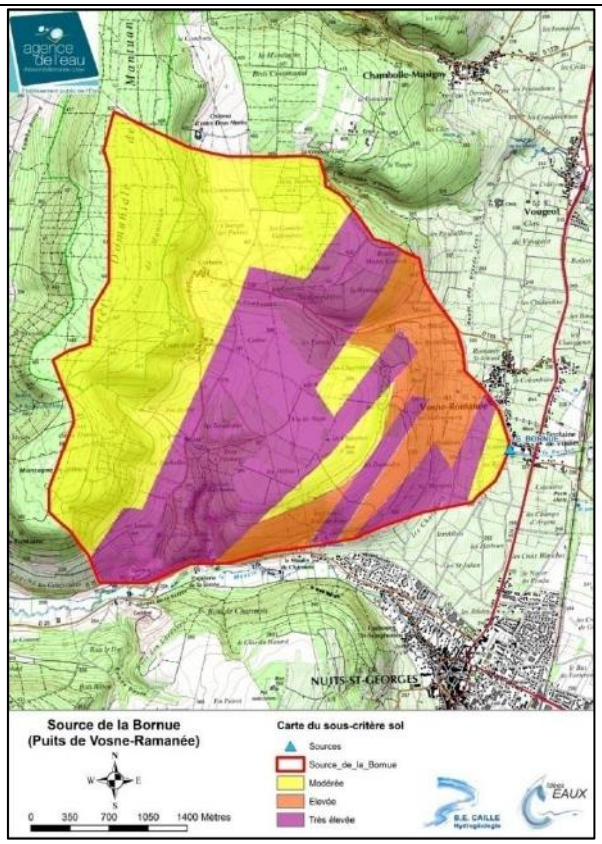
Vulnérabilité	Surface en km²	Proportion	Risque	Surface en km²	Proportion
Très élevée	1,1	9,8 %	Très élevé	0	0
Élevée	4,9	43,8 %	Élevé	1,4	12,5 %
Modérée	5,2	46,4 %	Modéré	4,3	38,4 %
Faible	0	0	Faible	5,5	49,1 %
Très faible	0	0	Très faible	0	0

3.1.8. Conclusions

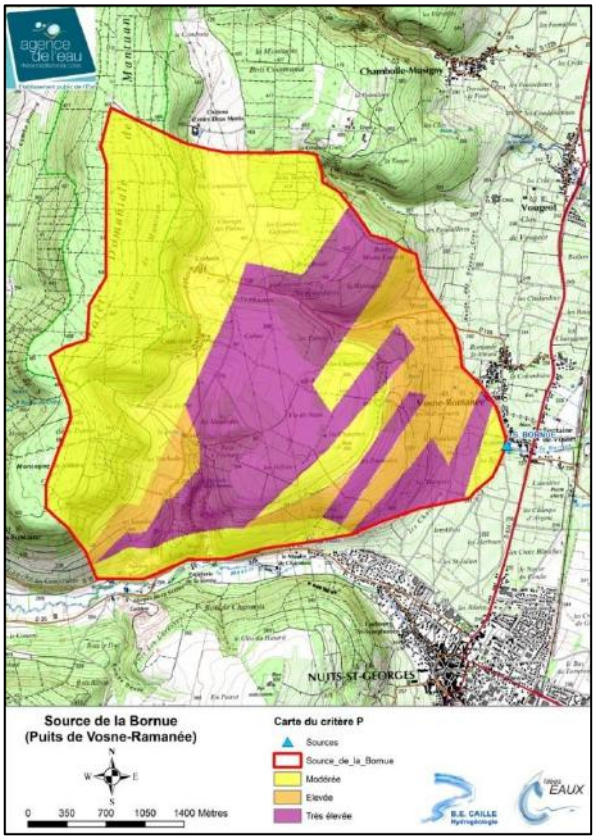
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource est forte, mais l'occupation du sol est en partie favorable et assure déjà une bonne protection (présence de forêts et de prairies permanentes).
Les zones cartographiées en vulnérabilité forte et très forte sont à moitié recouvertes de forêts, qu'il faudra s'attacher à conserver.
La seconde moitié est recouverte de parcelles cultivées, où devront se concentrer les mesures de protection.



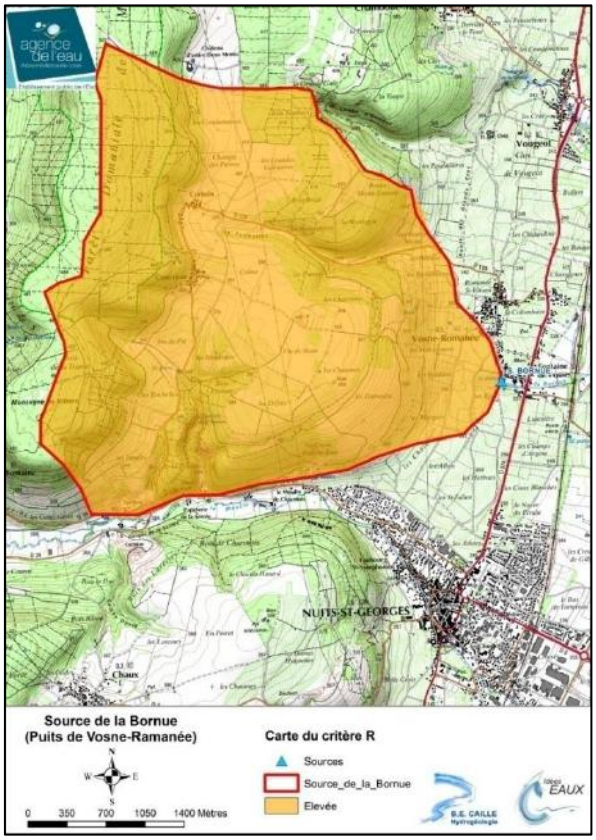
Critère Sol



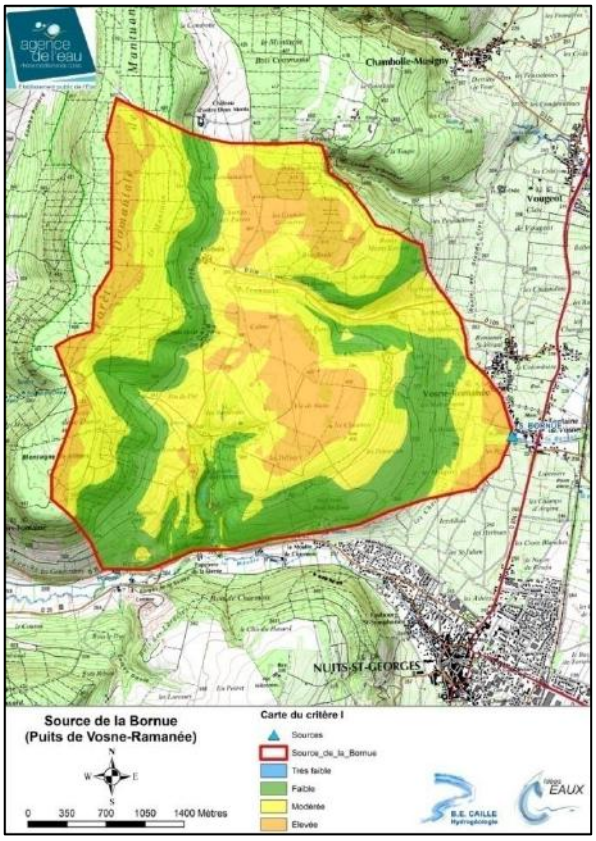
Critère ZNS



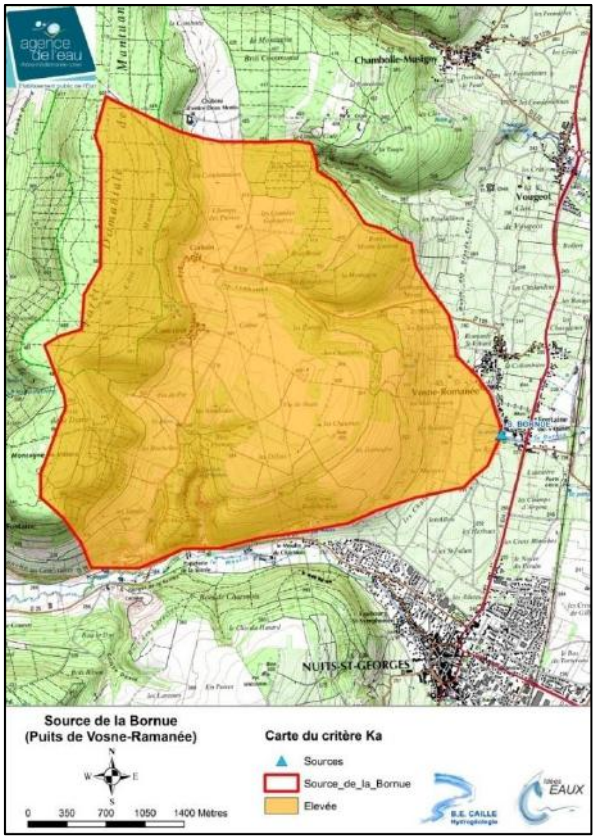
Critère P **Coefficient de pondération = 0,3**



Critère R **Coefficient de pondération = 0,2**



Critère I **Coefficient de pondération = 0,35**



Critère Ka **Coefficient de pondération = 0,15**

Figure 6 : Cartes des critères pour la RKM source de la Bornue

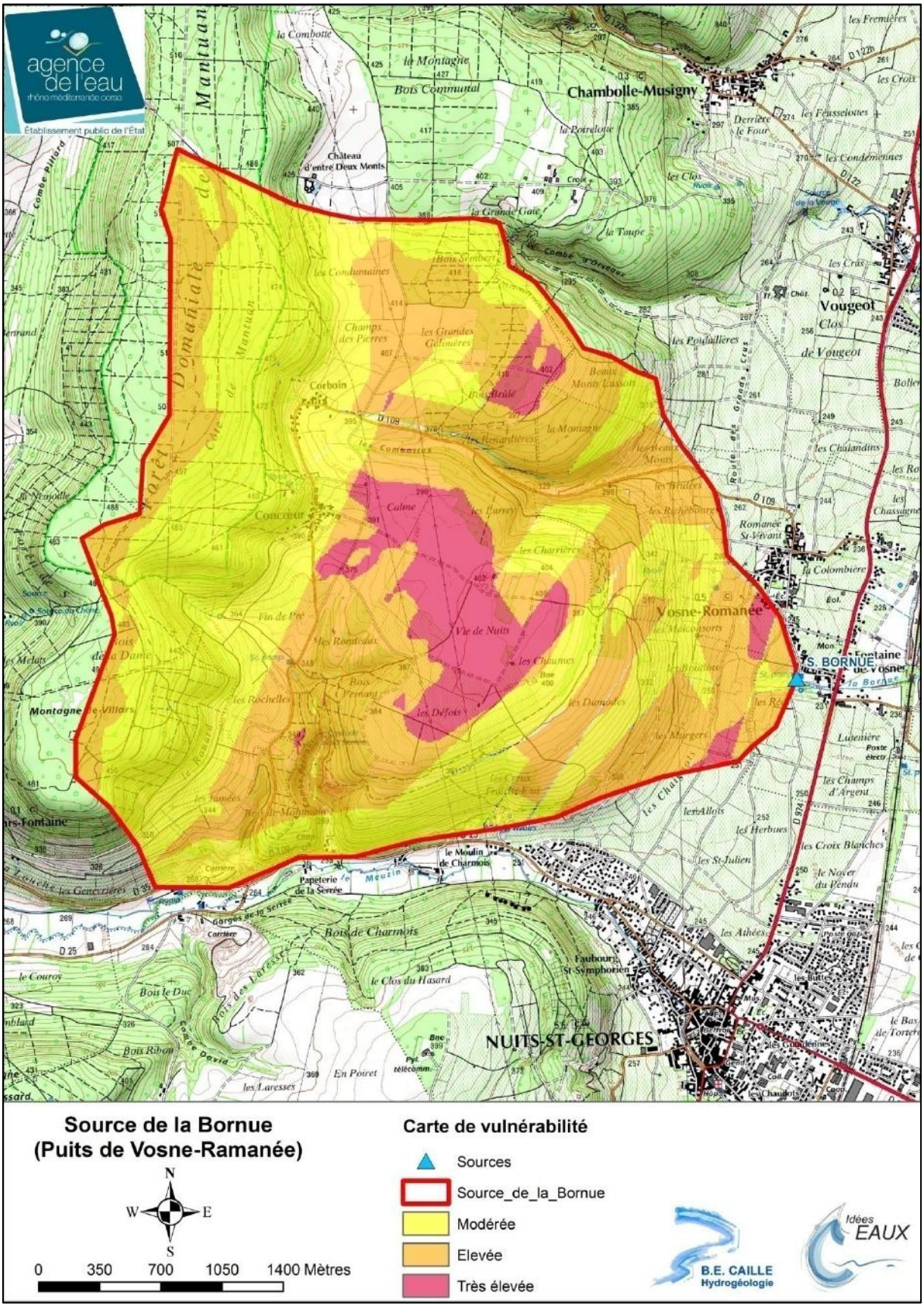


Figure 7 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de la Bornue (puits de Vosne)

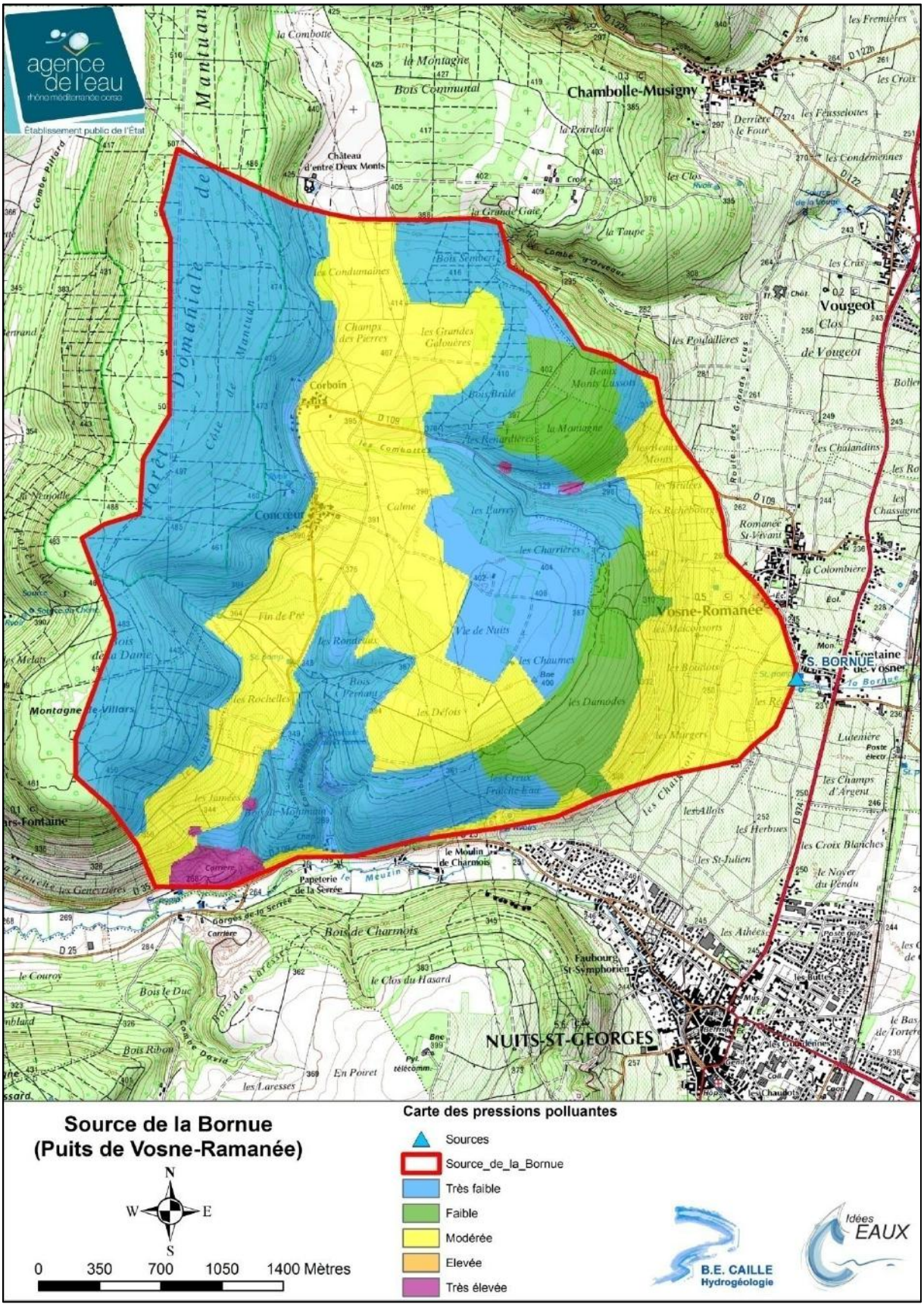


Figure 8 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source de la Bornue

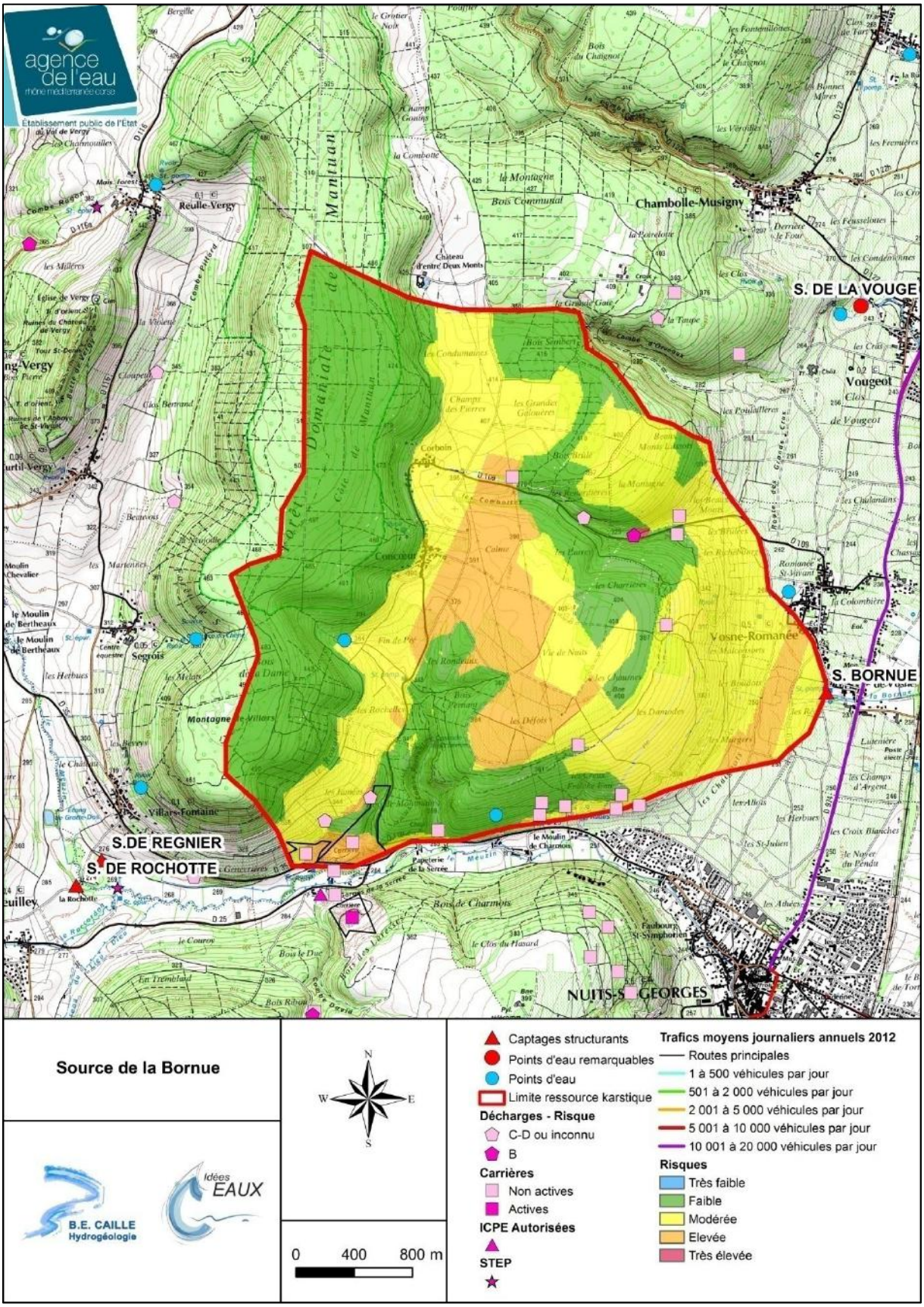


Figure 9 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de la Bornue

3.2. SOURCE DE FONTAINE FROIDE

3.2.1. Carte du critère de protection (P)

Critère sol (S)

La couche S, couverture pédologique et géologique, a été réalisée à partir de la carte des sols réalisée par l'INRA au 1/100 000ème et de la carte géologique.

La carte des sols a été réalisée à partir de la classification suivante :

Unité sol	Classification PaPRIKa
14	2
16	2
17	2
26	2
35	3
43	3
44	3
19M	4
23	4
24	4
27	4
28	4
29	4
30	4
31	4
37	4
38	4
40	4

Critère zone non saturée (ZNS)

Pour la lithologie de la zone non-saturée, la classification suivante a été appliquée :

Lithologie	Classification PaPRIKa
Jurassique moyen J1-2-3	3

Des affleurements de jurassique sup. (J5) existent localement, mais leur faible extension ne permet pas de leur attribuer un rôle de protection de l'aquifère.

Cette première classification a été ensuite recoupée avec l'épaisseur de la zone non-saturée – déterminée à l'aide des coupes géologiques - et la fracturation. Les zones de fortes fracturations ont été délimitées et associées à l'indice 4. La fracturation appliquée sur le reste de la RKM est faible à moyenne.

La ZNS présente une vulnérabilité élevée (3) à très élevée (4).

Critère épikarst (E)

Sur cette RKM, aucun indice de présence d'un épikarst n'a été mis en évidence. Ce critère n'est pas cartographié.

Critère état de surface

Ce critère est utilisé dans le bassin versant hydrologique de la perte de « Fontaine de Trie », qui a fait l'objet d'un traçage.

État de surface	Classification PaPRIKa
Marnes (perméabilité faible)	4

Réalisation de la carte de protection (P)

La carte P résulte du croisement des cartes S et ZNS. Pour chaque maille, c'est le critère le plus protecteur qui est retenu.

La carte P présente une vulnérabilité modérée (2) à très élevée (4). Les zones les plus vulnérables se situent au niveau des zones de faille et de perte.

3.2.2. Carte du critère roche (R).

La source est principalement alimentée par les calcaires du Jurassique moyen, le Bathonien et le Bajocien. Ils se présentent sous forme de bancs massifs fracturés et de petits bancs fracturés présentant quelques intercalations plus argileuses. Ils sont cartographiés avec l'indice 3.

3.2.3. Carte du critère infiltration (I)

La topographie de la RKM de Fontaine Froide présente une vulnérabilité variant de très faible (0) à très élevée (4). La perte de Fontaine de Trie est classée en indice 4. La rivière, le Rhoin, qui traverse la RKM et ses affluents forment des vallées profondes qui entaillent le plateau calcaire. Ils ne sont pas en communication avec les sources de Fontaine Froide par des systèmes de pertes (pour les données disponibles), aussi leurs versants sont classés en vulnérabilité faible à très faible.

3.2.4. Carte du critère karstification (Ka)

L'aquifère formé des calcaires du jurassique moyen est très homogène avec des circulations rapides (150 m/h pour le seul traçage disponible). Un indice 3 de vulnérabilité élevée a été affecté à l'ensemble de la ressource.

3.2.5. Carte de vulnérabilité

L'indice global est obtenu en croisant les critères P, R, I et Ka affectés des pondérations suivantes :

$$Ig = 0,25*P + 0,1*R + 0,5*I + 0,15*Ka$$

Le poids principal est affecté à l'infiltration liée aux pentes et aux pertes, qui dans le contexte du bassin d'alimentation de Fontaine Froide joue un rôle prédominant. Le critère de protection vient ensuite par l'intermédiaire principalement de l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS).
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource karstique étudiée se répartie entre 4 classes, de faible à très élevée.
53 % de la ressource karstique de Fontaine Froide sont cartographiés en vulnérabilité élevée. Cette vulnérabilité élevée est due à une absence de protection (sols filtrants et jurassique moyen à l'affleurement). Les vallées drainantes du Rhoin et ses affluents constituent des zones de vulnérabilité modérée, car les flux sont évacués à l'extérieur de la ressource.

3.2.6. Carte des pressions polluantes

La carte de pressions polluantes a été réalisée à partir de Corine Land Cover 2006.
12 % de la surface sont en prairie permanente et 70 % de la surface sont recouverts de forêts classés en pression de pollution faible à très faible.
18 % de la surface sont déclarés en cultures, classés en pression de pollution moyenne. Il s'agit de cultures céréalières sur le plateau.
0 % de la surface est en zone urbanisée, on dénombre quelques habitations et exploitations agricoles dispersées.

3.2.7. Carte des risques

La carte des risques est obtenue en croisant la carte de vulnérabilité et la carte d'occupation des sols.
Le risque le plus élevé se situe au niveau de la zone de failles occupée par des parcelles agricoles. Le recouvrement par la forêt, quant à lui, diminue le risque de pollution de la ressource.
Il n'y a pas de points présentant des risques particuliers (ICPE, carrières, STEP ou décharges anciennes). Seule l'autoroute, qui traverse le sud de la ressource, présente un risque de pollution accidentelle ou liée à l'entretien.

La répartition des classes de vulnérabilité et des classes de risque sur l'ensemble de la ressource sont présentées dans le tableau suivant :

Vulnérabilité	Surface en km²	Proportion	Risque	Surface en km²	Proportion

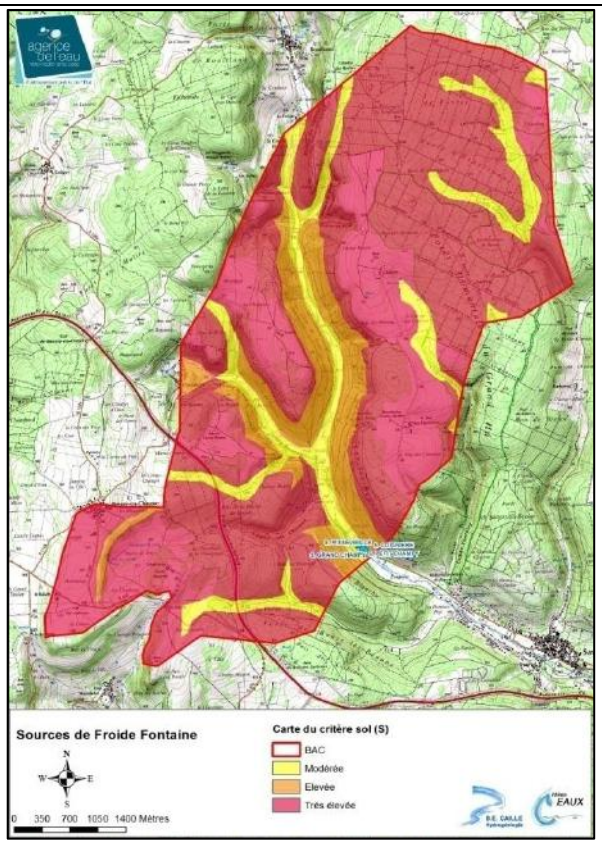
Très élevée	1,49	5,7%	Très élevé		
Élevée	13,89	52,9%	Élevé	3,7138	14,2%
Modérée	9,69	36,9%	Modéré	2,9372	11,2%
Faible	1,18	4,5%	Faible	18,5742	70,8%
Très faible			Très faible	1,0194	3,9%

3.2.8. Conclusions

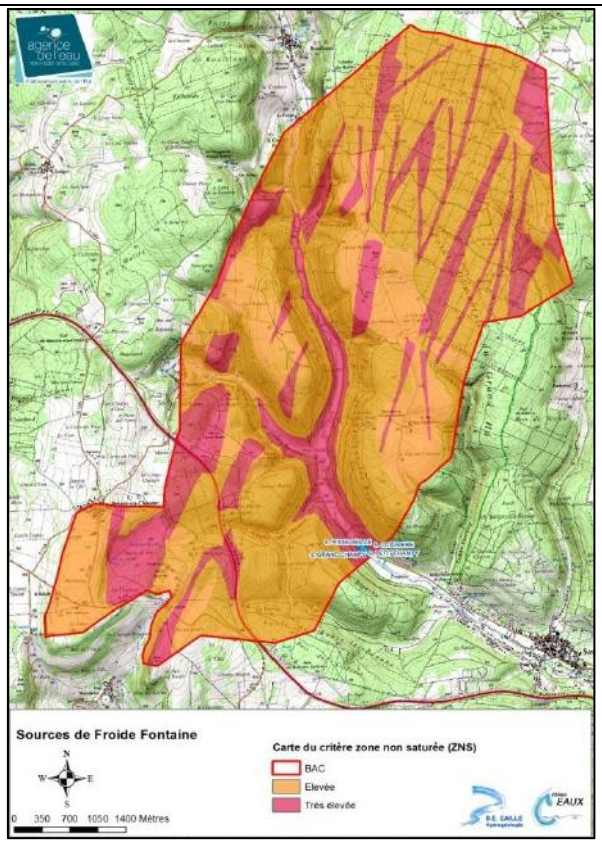
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource est modérée à élevée, mais l'occupation du sol est très favorable et assure déjà une bonne protection (présence de forêts), d'où 70,8 % de risques faibles.

Les zones cartographiées en vulnérabilité élevée et très élevée sont en grande partie recouvertes de forêts, qu'il faudra s'attacher à conserver.

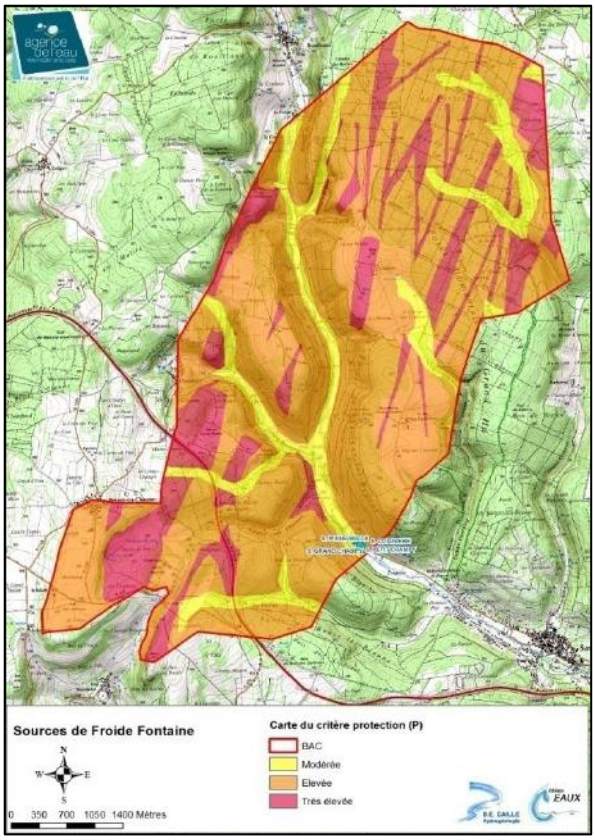
Une partie est cultivée, ce sont sur ces surfaces que devront se concentrer les mesures de protection.



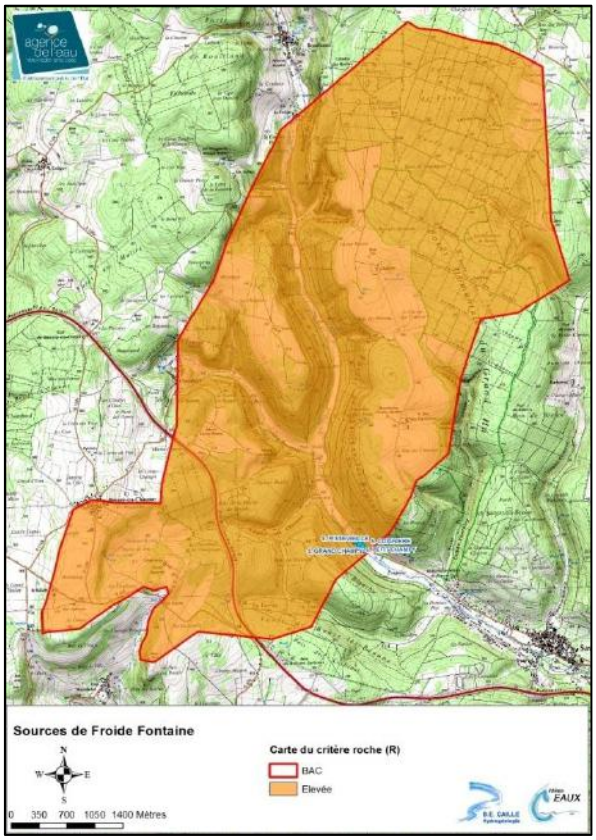
Critère Sol



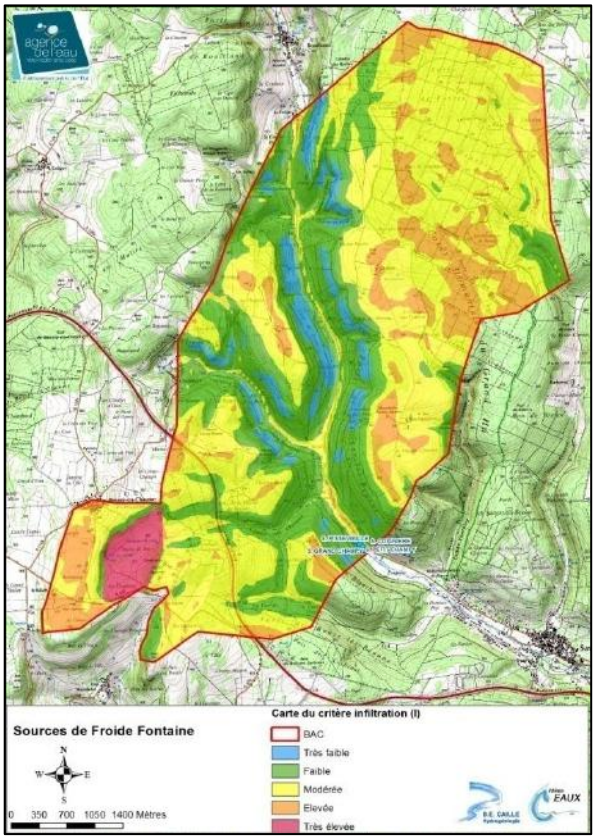
Critère ZNS



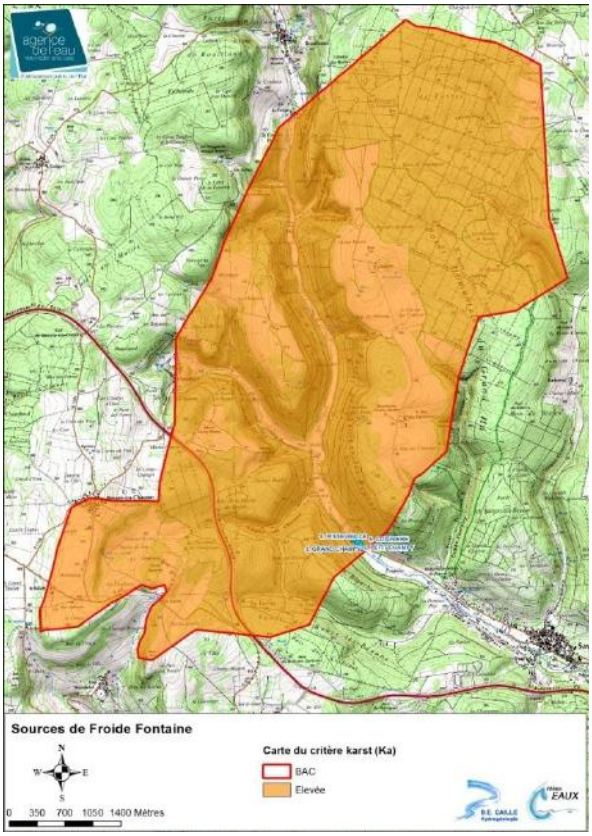
Critère P **Coefficient de pondération = 0,25**



Critère R **Coefficient de pondération = 0,1**



Critère I **Coefficient de pondération = 0,5**



Critère Ka **Coefficient de pondération = 0,15**

Figure 10 : Cartes des critères pour la RKM des sources de Fontaine Froide

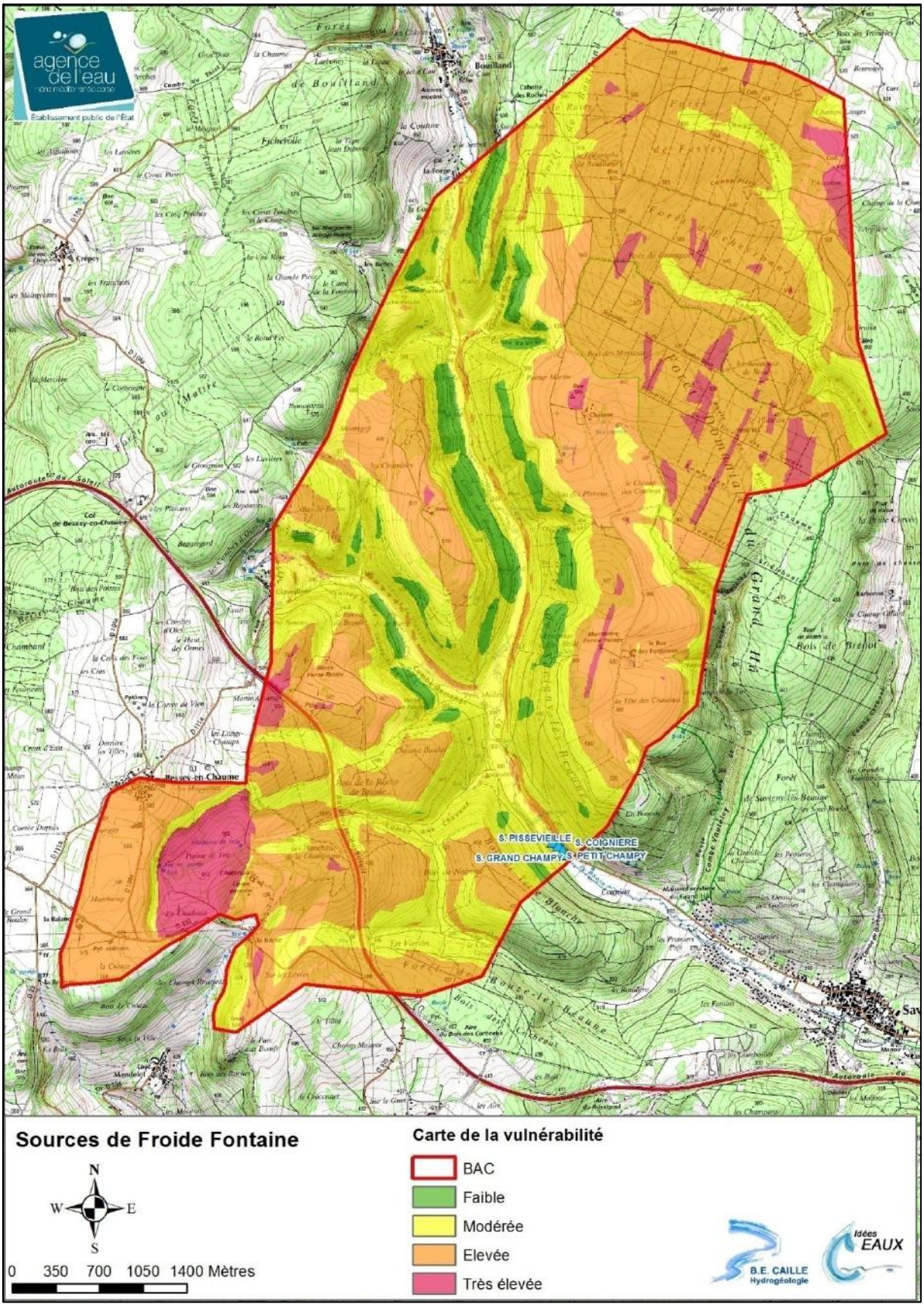


Figure 11 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de Fontaine Froide

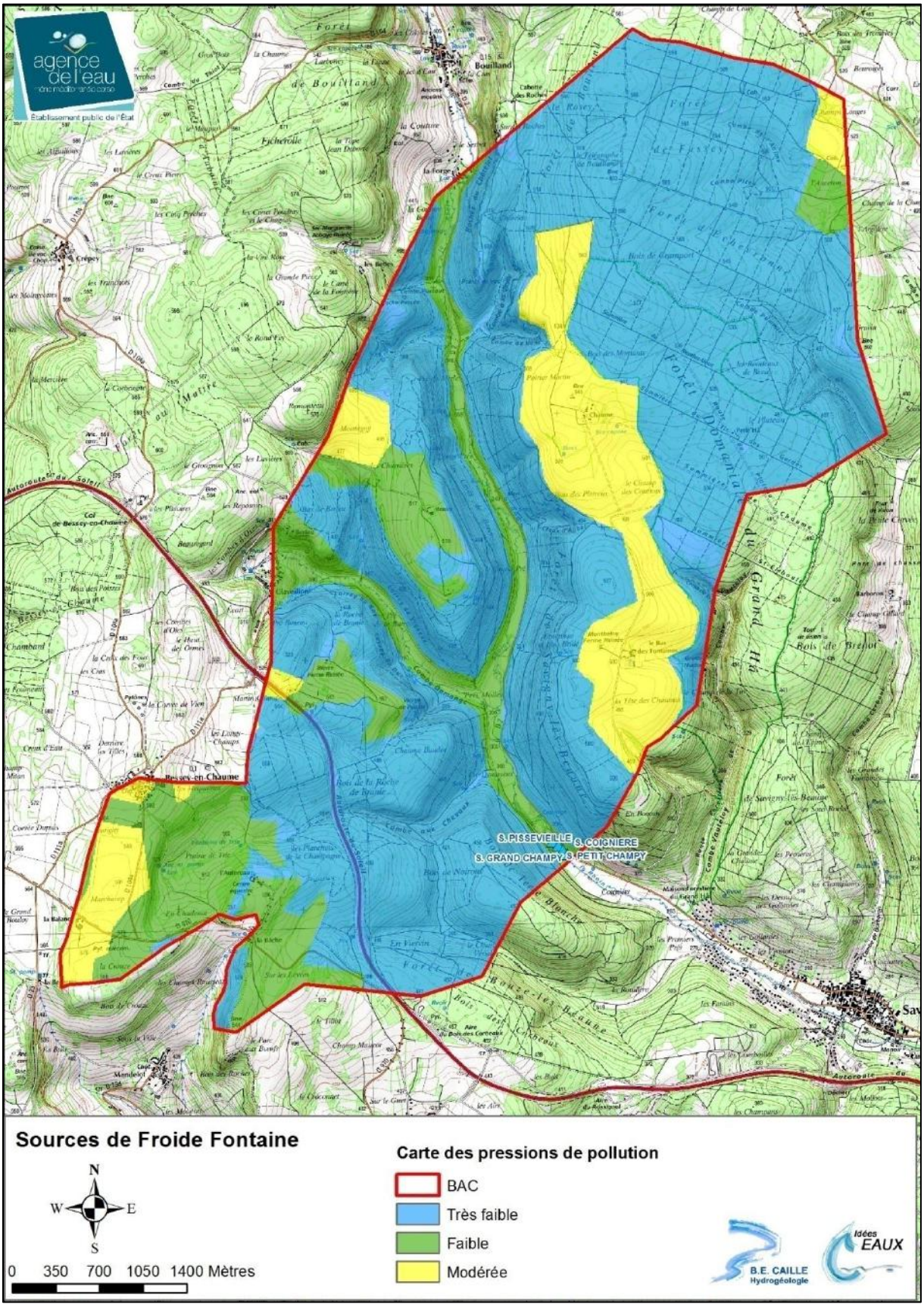


Figure 12 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de Fontaine Froide

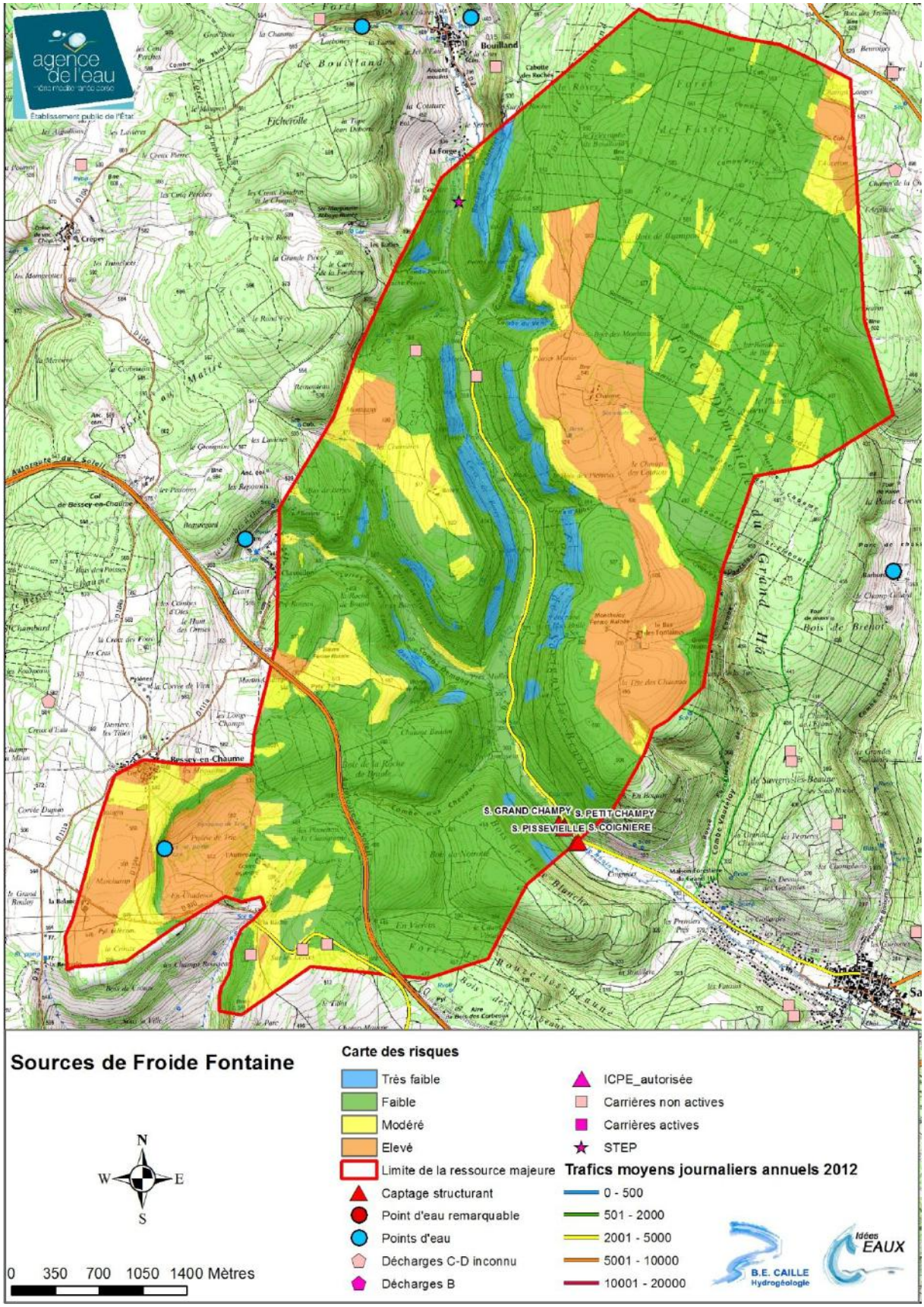


Figure 13 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de Fontaine Froide

3.3. SOURCE DE LA BOUZAISE

3.3.1. Carte du critère de protection (P)

Critère sol (S)

La couche S, couverture pédologique et géologique, a été réalisée à partir de la carte des sols réalisée par l'INRA au 1/100 000ème et de la carte géologique.

La carte des sols a été réalisée à partir de la classification suivante :

Unité sol	Classification PaPRIKa
14	2
16	2
17	2
26	2
35	3
43	3
44	3
19M	4
23	4
24	4
27	4
28	4
29	4
30	4
31	4
37	4
38	4
40	4

Lorsque les cartes géologiques donnent des informations sur les formations de couvertures : limons des plateaux, colluvions, éboulis… Ces formations sont prises en compte dans le critère sol avec l'indice de vulnérabilité modérée 2.

Critère zone non saturée (ZNS)

Pour la lithologie de la zone non-saturée, la classification suivante a été appliquée :

Lithologie	Classification PaPRIKa
Jurassique moyen J 1-2-3	3
Jurassique supérieur J 5-6-7	1

La ressource majeure est couverte en grande partie par les marnes et calcaires du jurassique supérieur, qui constituent une bonne protection de l'aquifère du jurassique moyen.

Cette première classification a été recoupée ensuite avec l'épaisseur de la zone non-saturée déterminée à l'aide des coupes géologiques.
La ZNS présente une vulnérabilité faible (1) à très élevée (4).

Critère épikarst (E)
Sur cette RKM, aucun indice de présence d'un épikarst n'a été mis en évidence. Ce critère n'est pas cartographié.

Critère état de surface
Aucune perte n'a été identifiée, le critère état de surface n'est pas utilisé.

Réalisation de la carte de protection (P)
La carte P résulte du croisement des cartes S et ZNS. Pour chaque maille, c'est le critère le plus protecteur qui est retenu.
La carte P présente une vulnérabilité faible (1) à très élevée (4). Les zones les plus vulnérables se situent au niveau des zones d'affleurement du jurassique moyen.

3.3.2. Carte du critère roche (R).

La source est alimentée par les calcaires du Jurassique moyen, le Bathonien et le Bajocien. Ils se présentent sous forme de bancs massifs fracturés et de petits bancs fracturés présentant quelques intercalations plus argileuses. Ils sont cartographiés avec l'indice 3.

3.3.3. Carte du critère infiltration (I)

La topographie de la RKM de la Bouzaise présente une vulnérabilité variant de très faible (0) à très élevée (4). Les zones principales de failles ont été cartographiées comme zone d'infiltration privilégiée. La vallée sèche, qui parcourt la ressource entre Beaune et Bouzes-lès-Beaune, est classée en indice 2 (fond et versants de la vallée).

3.3.4. Carte du critère karstification (Ka)

L'aquifère formé des calcaires du jurassique moyen est homogène avec des vitesses de circulation modérées (30 m/h). Un indice 3 de vulnérabilité élevée a été affecté à l'ensemble de la ressource.

3.3.5. Carte de vulnérabilité

L'indice global est obtenu en croisant les critères P, R, I et Ka affectés des pondérations suivantes :

$$Ig = 0,25*P + 0,1*R + 0,5*I + 0,15*K$$

Le poids principal est affecté à l'infiltration liée aux pentes et aux failles, qui dans le contexte du bassin d'alimentation de la Bouzaise joue un rôle prédominant. Le critère de protection vient ensuite, par l'intermédiaire de la nature et de l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS).
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource karstique étudiée se répartie entre 4 classes, de faible à très élevée.
Plus de 82 % de la ressource karstique de la Bouzaise sont cartographiés en vulnérabilité modérée à élevée. Cette vulnérabilité plutôt modérée est due à la bonne protection de l'aquifère par les formations géologiques du jurassique supérieur et des conditions d'infiltrations jugées moyennes. Les vulnérabilités élevées et très élevées se concentrent sur les zones de failles et d'affleurement du jurassique moyen.

3.3.6. Carte des pressions polluantes

La carte de pressions polluantes a été réalisée à partir de Corine Land Cover 2006.
13 % de la surface sont en prairie permanente et 50 % de la surface sont recouverts de forêts classés en pression de pollution faible à très faible.
34 % de la surface sont déclarés en cultures, classés en pression de pollution moyenne. Il s'agit de cultures céréalières sur le plateau et du vignoble sur la Côte.
3 % de la surface sont en zone urbanisée et comptent entièrement le village de Bouze-lès-Beaune, ainsi que les lotissements à l'ouest de Beaune. Ils sont classés en pression de pollution élevée.

3.3.7. Carte des risques

La carte des risques est obtenue en croisant la carte de vulnérabilité et la carte d'occupation des sols.
Le risque le plus élevé se situe au niveau de la zone de failles, qui parcourt la Côte occupée par des parcelles de vignes. Le recouvrement par la forêt, quant à lui, diminue le risque de pollution de la ressource sur 50 % de sa surface.
Il n'y a pas de points présentant des risques particuliers (ICPE, STEP ou décharges anciennes), on dénombre beaucoup de carrières anciennes abandonnées. Seule l'autoroute, qui traverse le nord de la ressource, présente un risque de pollution accidentelle ou liée à l'entretien.

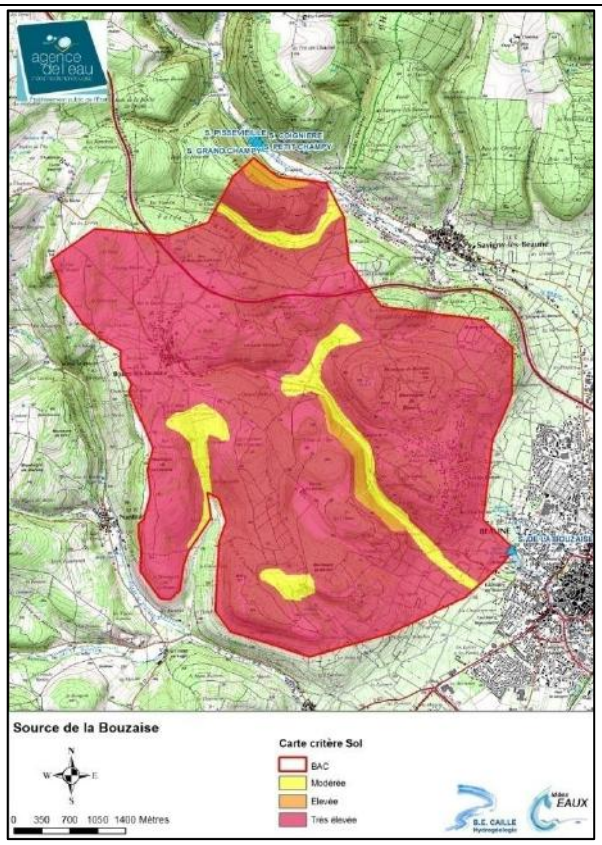
Les pertes du Rhoin à Savigny ne sont pas prises en compte dans la cartographie. Elles présentent des risques par la mise en communication de la rivière, qui draine un vaste territoire et la source de la Bouzaise.

La répartition des classes de vulnérabilité et des classes de risque sur l'ensemble de la ressource sont présentées dans le tableau suivant :

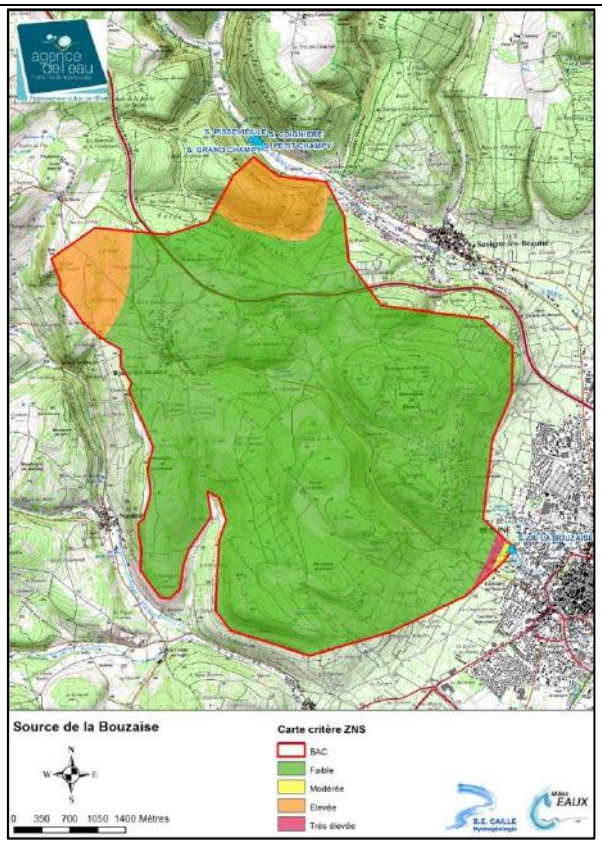
Vulnérabilité	Surface en km²	Proportion	Risque	Surface en km²	Proportion
Très élevée	1,34	6,1%	Très élevé		
Élevée	6,88	31,2%	Élevé	2,944	13,4%
Modérée	11,19	50,8%	Modéré	7,3075	33,2%
Faible	2,63	11,9%	Faible	9,9881	45,3%
Très faible			Très faible	1,8006	8,2%

3.3.8. Conclusions

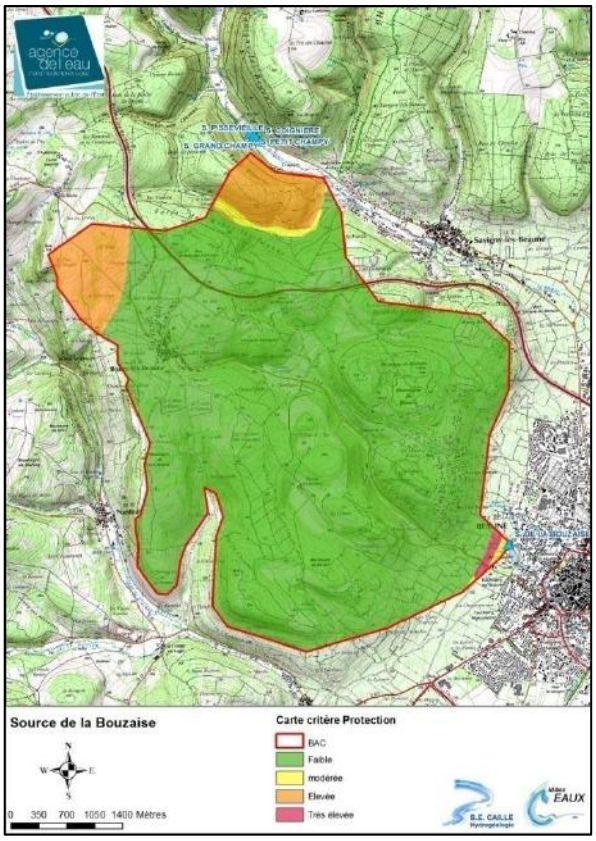
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource est modérée à élevée (82 %), mais la présence de forêts induit un risque faible et très faible sur 53,5 % de la ressource.
Les risques élevés se concentrent sur la Côte viticole et les zones urbanisées. Les cultures céréalières présentent un risque modéré. La conservation de la forêt est indispensable pour le maintien de la qualité actuelle des eaux. Les mesures de protection concerneront prioritairement les surfaces de vignobles et les zones urbanisées.



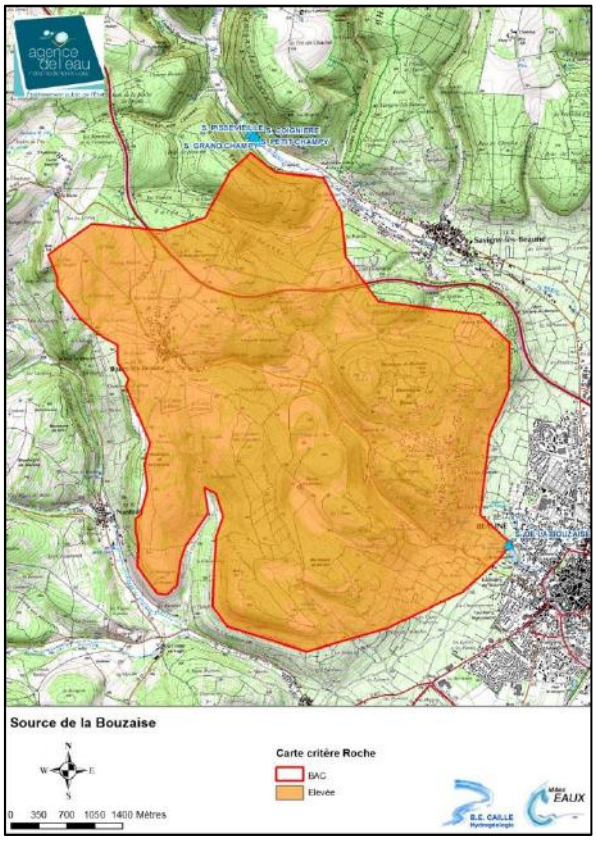
Critère Sol



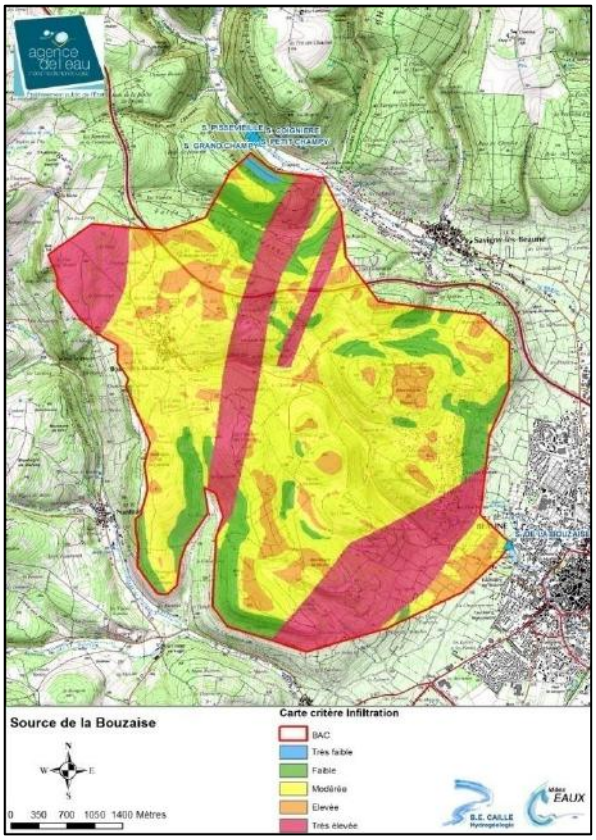
Critère ZNS



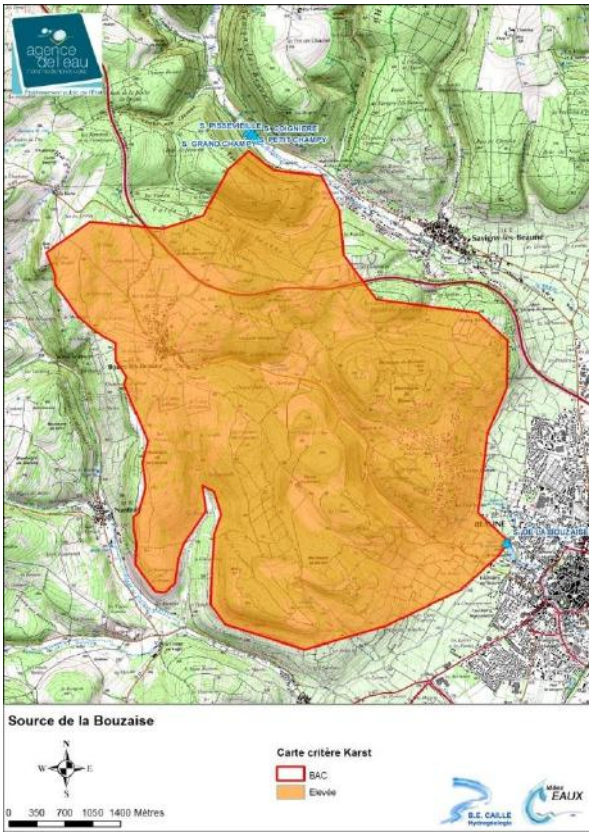
Critère P **Coefficient de pondération = 0,25**



Critère R **Coefficient de pondération = 0,1**



Critère I **Coefficient de pondération = 0,5**



Critère Ka **Coefficient de pondération = 0,15**

Figure 14 : Cartes des critères pour la RKM de la source de la Bouzaise

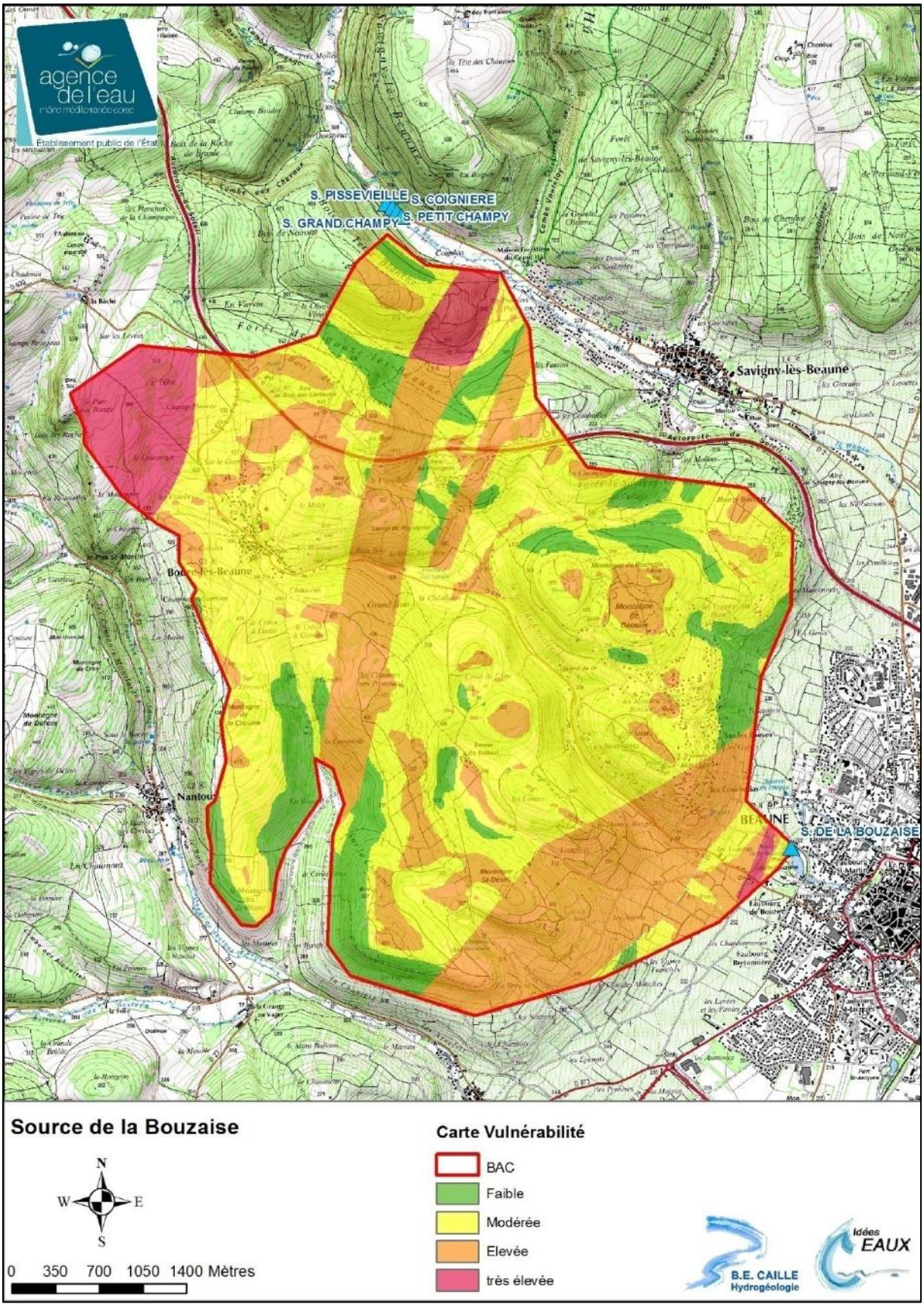


Figure 15 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de la Bouzaise

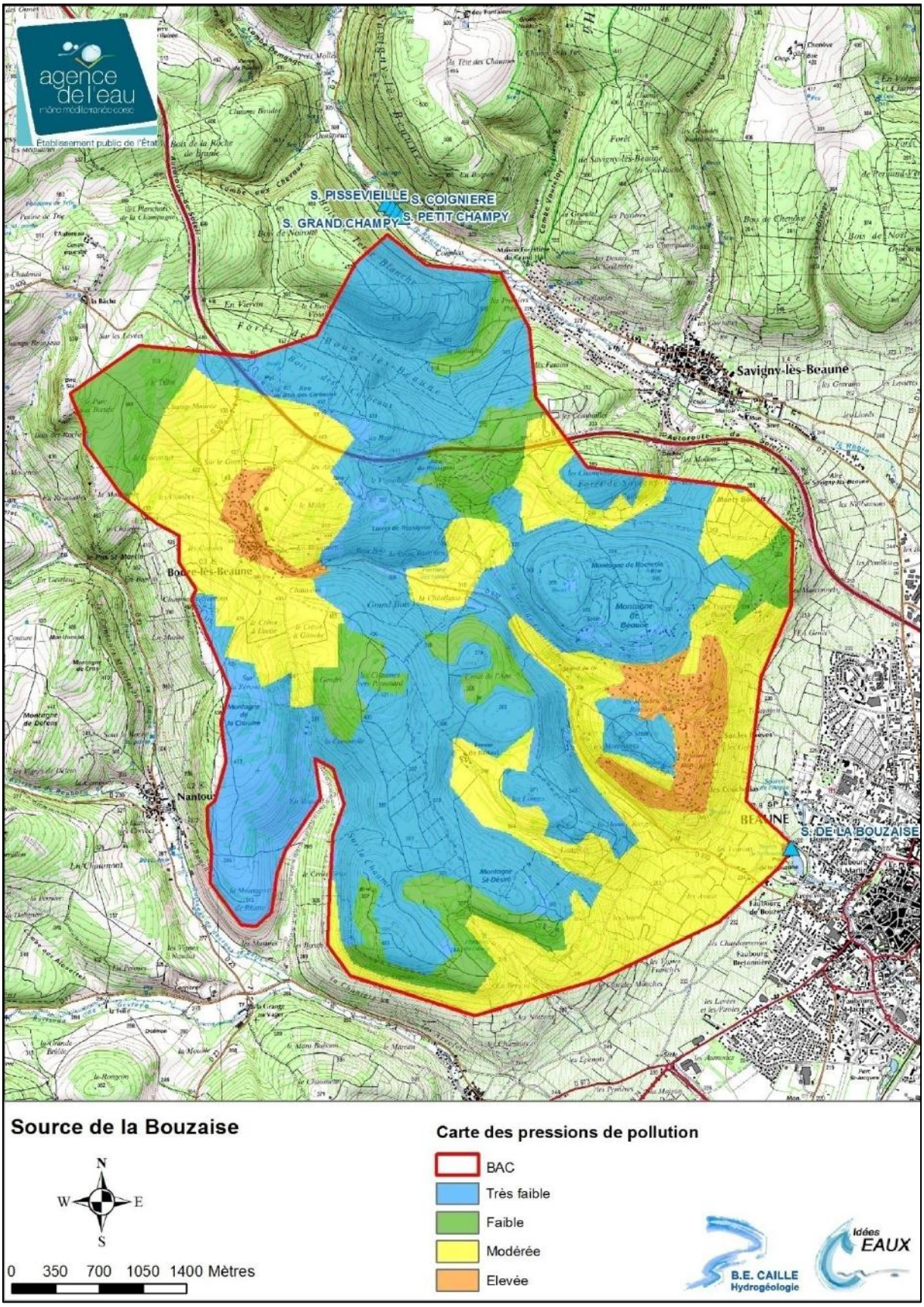


Figure 16 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source de la Bouzaise

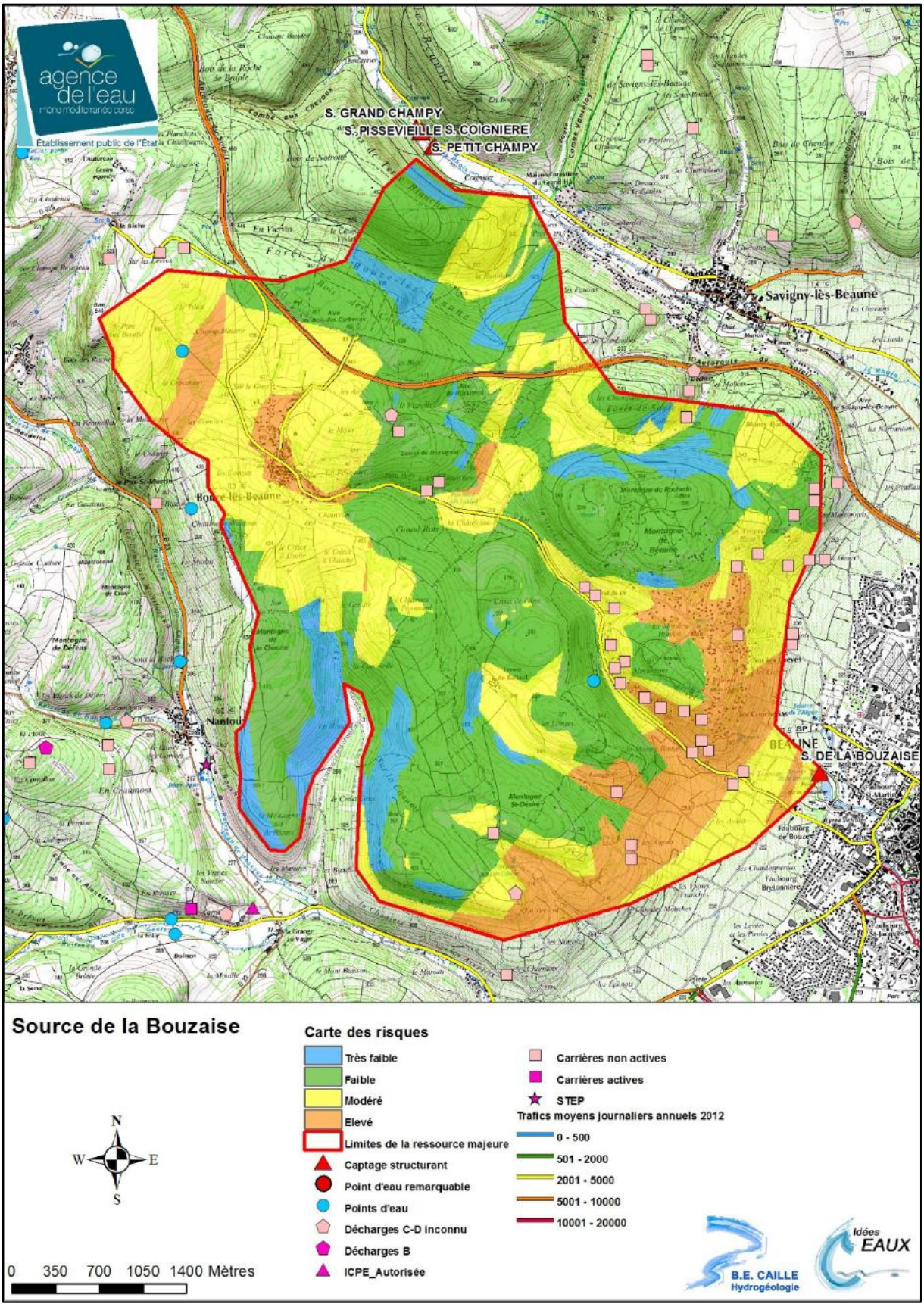


Figure 17 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de la Bouzaise

4. METHODES PAPRIKA REALISEES SUR LES RESSOURCES KARSTIQUES MAJEURES FUTURES

4.1. SOURCE DE LA BEZE

4.1.1. Carte du critère de protection (P)

Critère sol (S)

La couche S, couverture pédologique et géologique, a été réalisée à partir du référentiel régional pédologique de Bourgogne (département de la Côte d'Or) réalisée par l'INRA au 1/250 000ème de la Côte d'Or et de la carte géologique.

La carte des sols a donc été réalisée à partir de la classification suivante :

Type de recouvrement géologique et de sols*	Classification PaPRIKA
UC3 UC11 UC22-1	1
UC61 UC45-3 UC63 UC25	2
UC24-3	3
UC47 UC43 UC23 UC24-1 UC45-1-2	4

Critère zone non saturée (ZNS)

Pour la lithologie de la zone non-saturée, la classification suivante a été appliquée :

Lithologie	Classification PaPRIKA
j6 j7	3
j5	1

Cette première classification a été recoupée ensuite avec l'épaisseur de la zone non-saturée (déterminée à l'aide des coupes géologiques et de la topographie) et la fracturation. Les zones de forte fracturation ont été délimitées et associées à l'indice 4. La densité de fracturation appliquée sur le reste de la RKM est faible à moyenne au niveau des formations du J5 et importante au niveau du j6 – j7.

La ZNS présente une vulnérabilité de modérée (2) à très élevée (4) au niveau des zones de failles.

Critère épikarst (E)

Sur cette RKM, aucun aquifère épikarstique n'a été répertorié. Ce critère n'a donc pas été intégré.

Critère Etat de surface

La source de la Bèze est alimentée par les pertes de la Tille et de la Venelle, mais le bassin versant n'étant pas intégré à la délimitation de la RKM de la source de la Bèze de part sa superficie trop importante, ce critère n'est pas intégré à la méthode PaPRIKA.

Réalisation de la carte de protection (P)

La carte P résulte du croisement des cartes S, E et ZNS. En chaque point, c'est le critère le plus protecteur qui est retenu, pour tracer la carte P.

La carte P présente une vulnérabilité de faible (1) à très élevée (4). Les zones les plus vulnérables se situent au niveau des zones de faille.

4.1.2. Carte du critère roche (R).

La source est principalement alimentée par les calcaires du Jurassique supérieur, le Rauracien et le Séquanien. Il se présente sous forme de bancs massifs fracturés et de petits bancs fracturés présentant des intercalations plus argileuses. Ils sont cartographiés avec l'indice 3. Une zone juste en amont du captage a été répertoriée avec l'indice 4, car elle correspond à un réseau de cavités connu et cartographié.

4.1.3. Carte du critère infiltration (I)

La topographie de la RKM de la Bèze présente une vulnérabilité variant de faible (0) à élevée (3).Les vallées sèches ont été classées en vulnérabilité 2. Une zone a été identifiée avec un indice très élevé (4), car elle correspond aux pertes sur la Tille et la Venelle intégrant les bassins versants de ces rivières pour les parties incluses dans la RKM.

4.1.4. Carte du critère karstification (Ka)

Le bassin d'alimentation d'une superficie de 198 km² présente un débit d'étiage de 1800 m^3/h avec des circulations d'eau relativement rapides. Les informations à disposition sur cette source ont permis de réaliser la classification de Mangin, qui identifie cette ressource dans le domaine 1. L'ensemble de ces éléments permet d'en déduire un indice Ka de 2, vulnérabilité modérée.

4.1.5. Carte de vulnérabilité

Cette carte est obtenue en croisant les critères P, R, I et Ka affectés des pondérations suivantes :

$$Ig = 0,3*P + 0,2*R + 0,35*I + 0,15*Ka$$

Un poids pratiquement identique est affecté à l'infiltration et à la protection. Le rôle des failles, de la ZNS et de la nature des sols sont prépondérants.
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource karstique étudiée se répartie en 3 classes, de modérée à très élevée.
Plus de 63 % de l'ensemble karstique de la Bèze sont cartographiés en vulnérabilité élevée et très élevée. Cette forte vulnérabilité est induite par la présence de failles et par l'absence de sol imperméable, qui ne permettent pas de limiter l'infiltration des précipitations.

4.1.6. Carte des pressions polluantes

La carte de pressions polluantes a été réalisée à partir de Corine Land Cover 2006.
28 % de la surface sont recouverts de forêts. Elles sont classées en pression de pollution très faible.
2 % de la surface sont en prairie permanente classés en pression de pollution faible.
67 % de la surface sont déclarés en cultures, classés en pression de pollution moyenne.
3 % de la surface sont en zone urbanisée classés en pression de pollution forte.

Seizes décharges, six ICPE, quatre STEP et trois carrières sont répertoriées sur la RKM de la Bèze, elles représentent une pression très forte vis-à-vis des pollutions accidentelles.

4.1.7. Carte des risques

La carte des risques est obtenue en croisant la carte de vulnérabilité et la carte d'occupation des sols.
Le risque le plus élevée se situe au niveau des zones de faille occupées par des parcelles agricoles et au niveau des zones urbanisées, tel que Selongey, Til-Châtel et Chaume pour les plus importantes. Le recouvrement par la forêt, qui permet de diminuer le risque de pollution d'une ressource, est peu présente sur cette RKM. Elle est recouverte à 67 % de culture.

La répartition des classes de vulnérabilité et des classes de risque sur l'ensemble de la ressource sont présentés dans le tableau suivant :

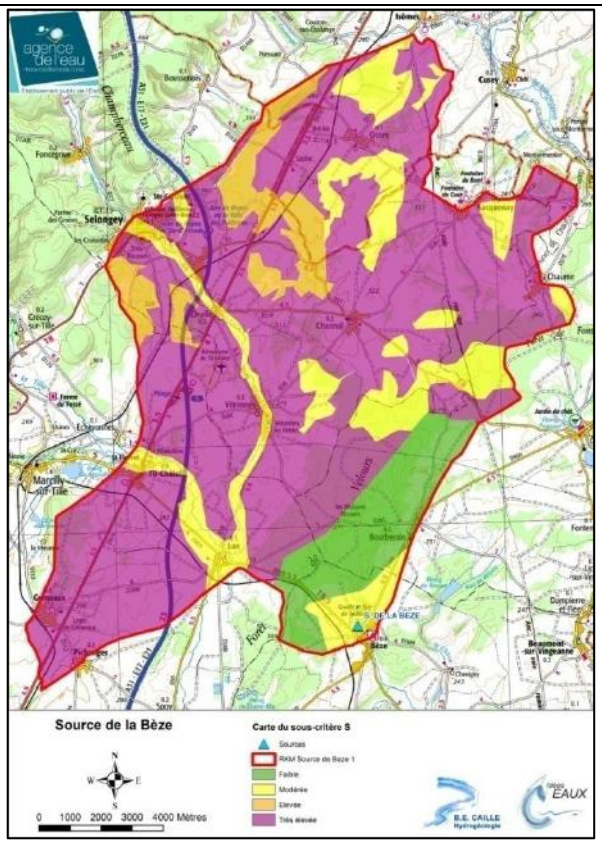
Vulnérabilité	Surface en km²	Proportion	Risque	Surface en km²	Proportion
Très élevée	16,5	8,4 %	Très élevé	0,87	0,44 %
Élevée	110,3	55,8 %	Élevé	53	26,8 %

Modérée	70,5	35,7 %	Modéré	91,2	46,1 %
Faible	0,2	0,1 %	Faible	52,5	26,6 %
Très faible	0	0	Très faible	0,13	0,06

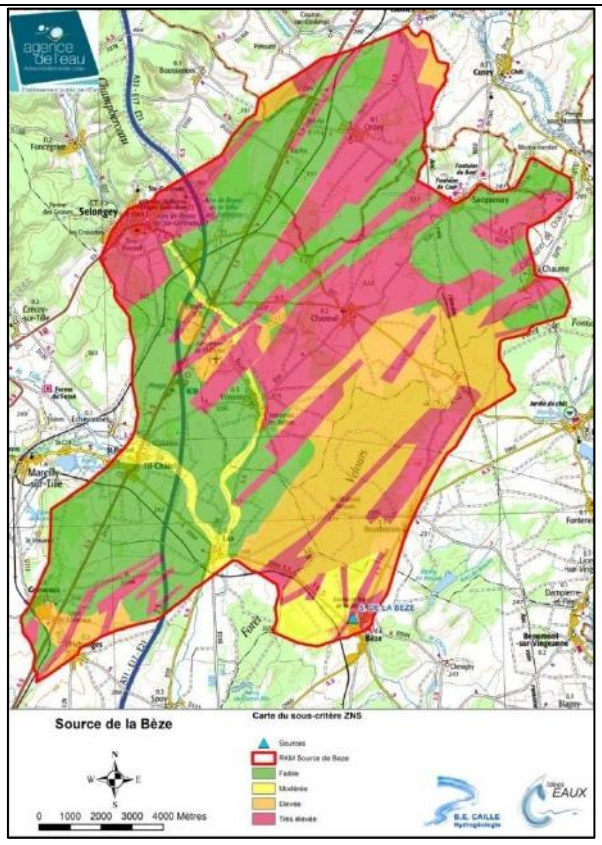
4.1.8. Conclusions

La vulnérabilité intrinsèque de la ressource est forte.

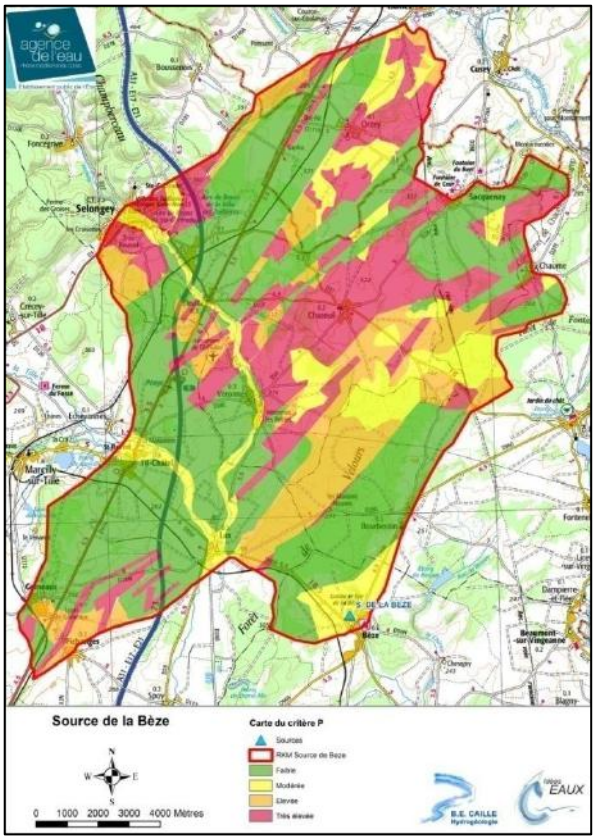
L'activité agricole est très présente sur cette RKM (67 %). Les zones cartographiées en vulnérabilité forte et très forte se situent majoritairement au niveau des zones préférentielles d'infiltration (failles, sol peu imperméable, pertes) recouvertes de parcelles de cultures et des zones urbanisés. Les mesures de protection devront donc se concentrer sur ces zones.



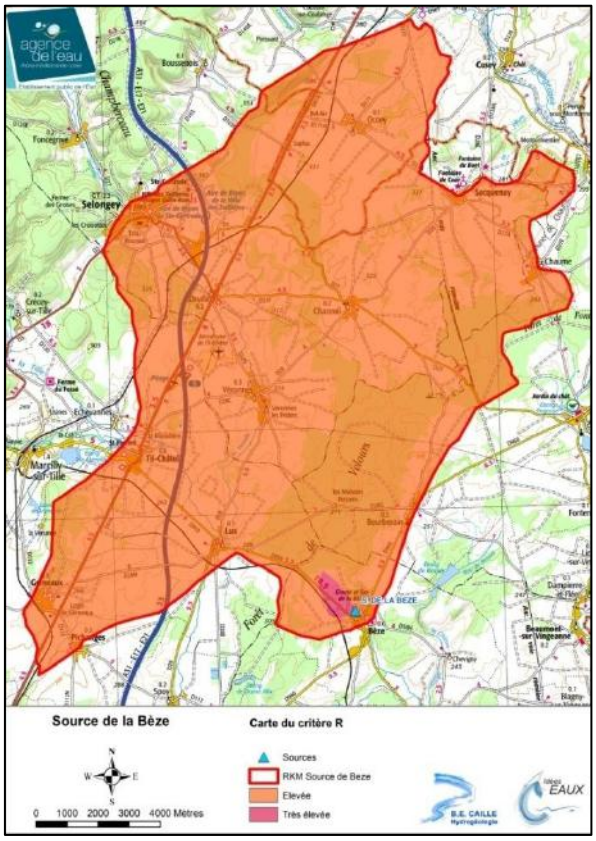
Critère Sol



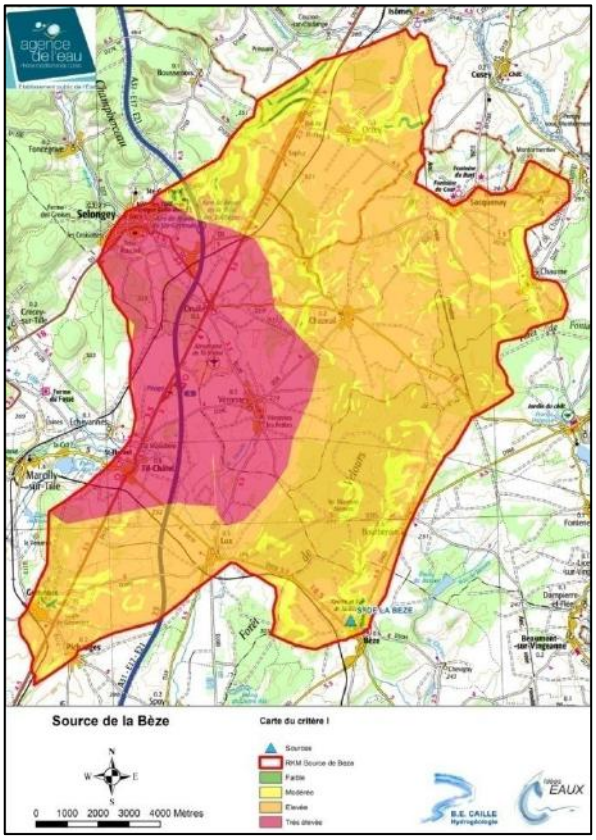
Critère ZNS



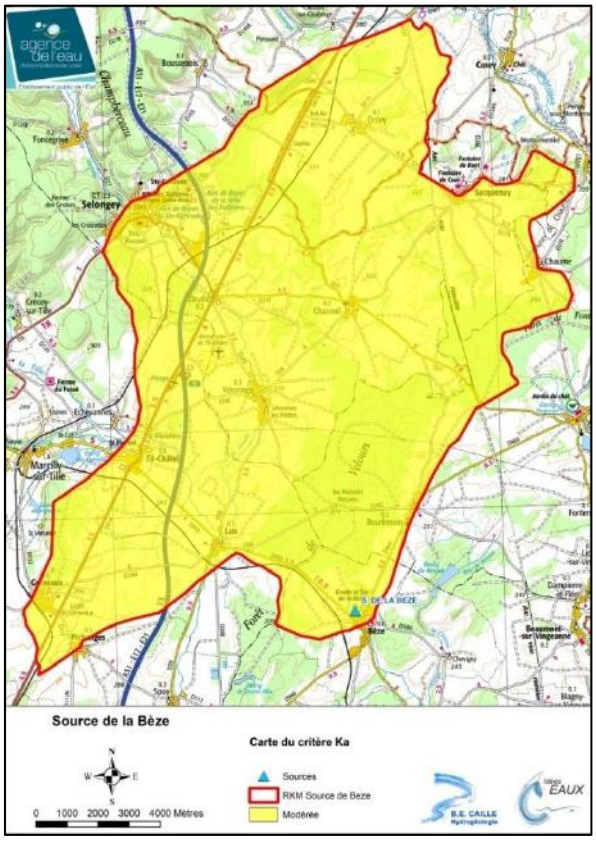
Critère P **Coefficient de pondération = 0,3**



Critère R **Coefficient de pondération = 0,2**



Critère I **Coefficient de pondération = 0,35**



Critère Ka **Coefficient de pondération = 0,15**

Figure 18 : Cartes des critères pour la RKM de la source de la Bèze

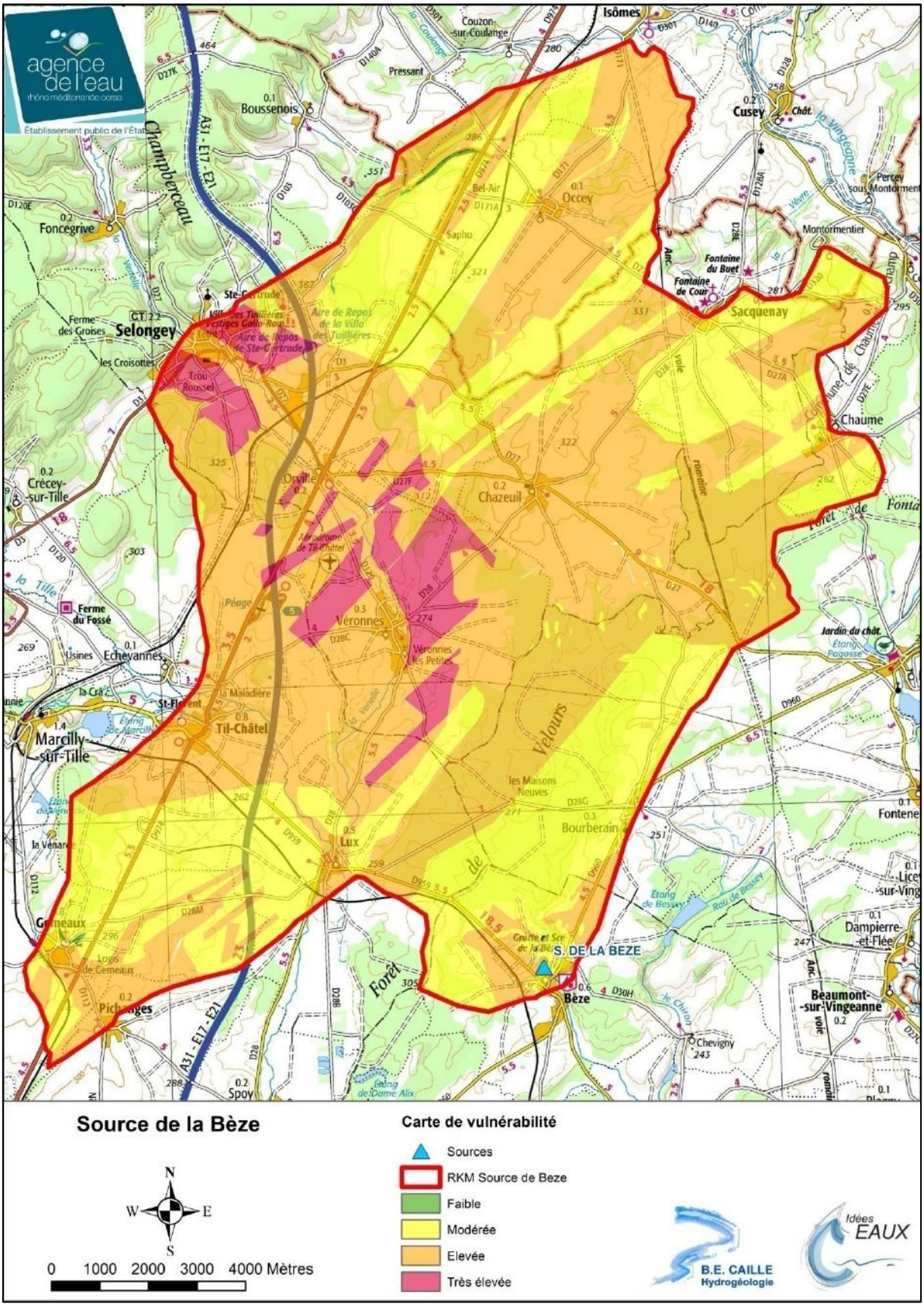


Figure 19 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de la Bèze

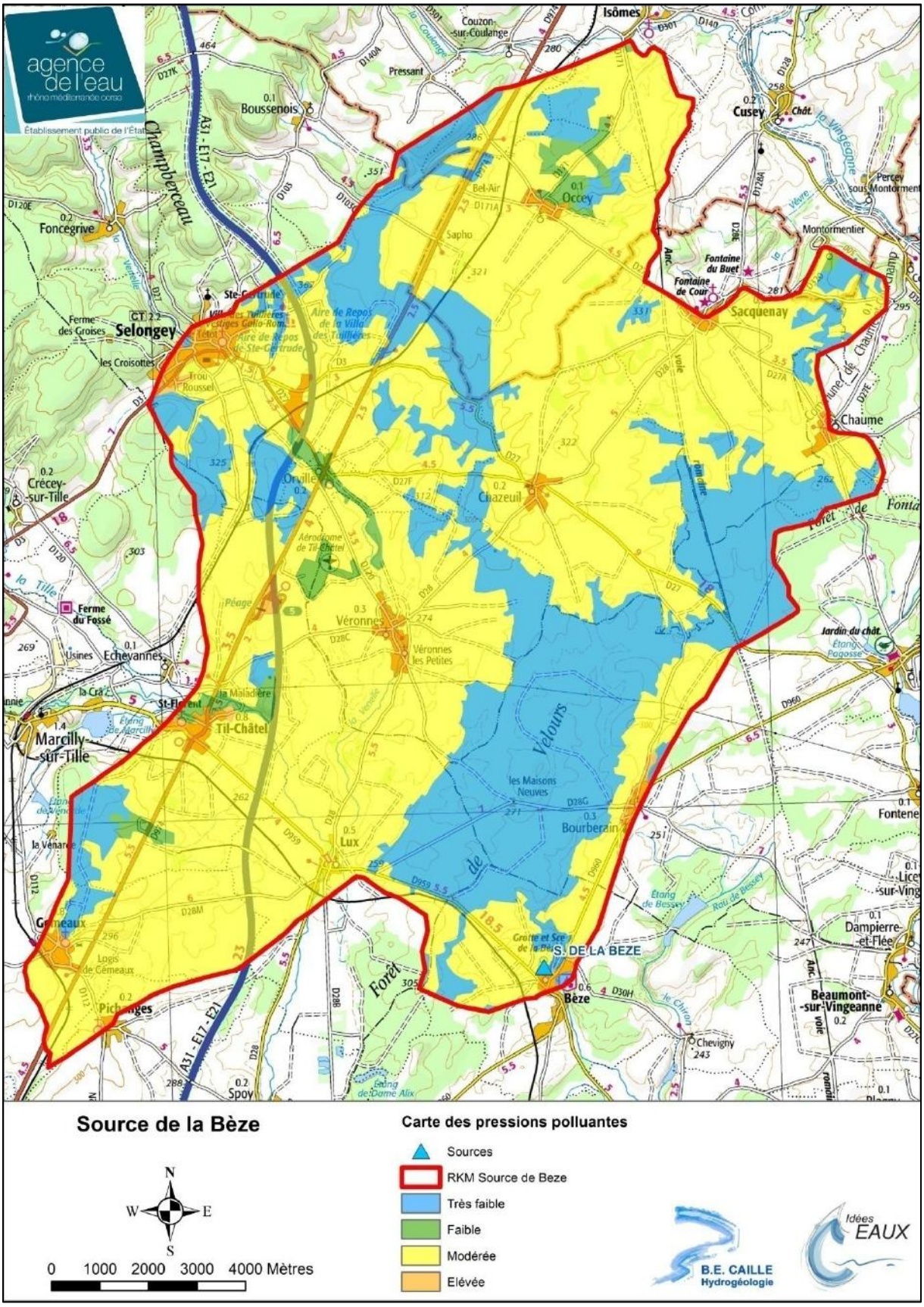


Figure 20 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source de la Bèze

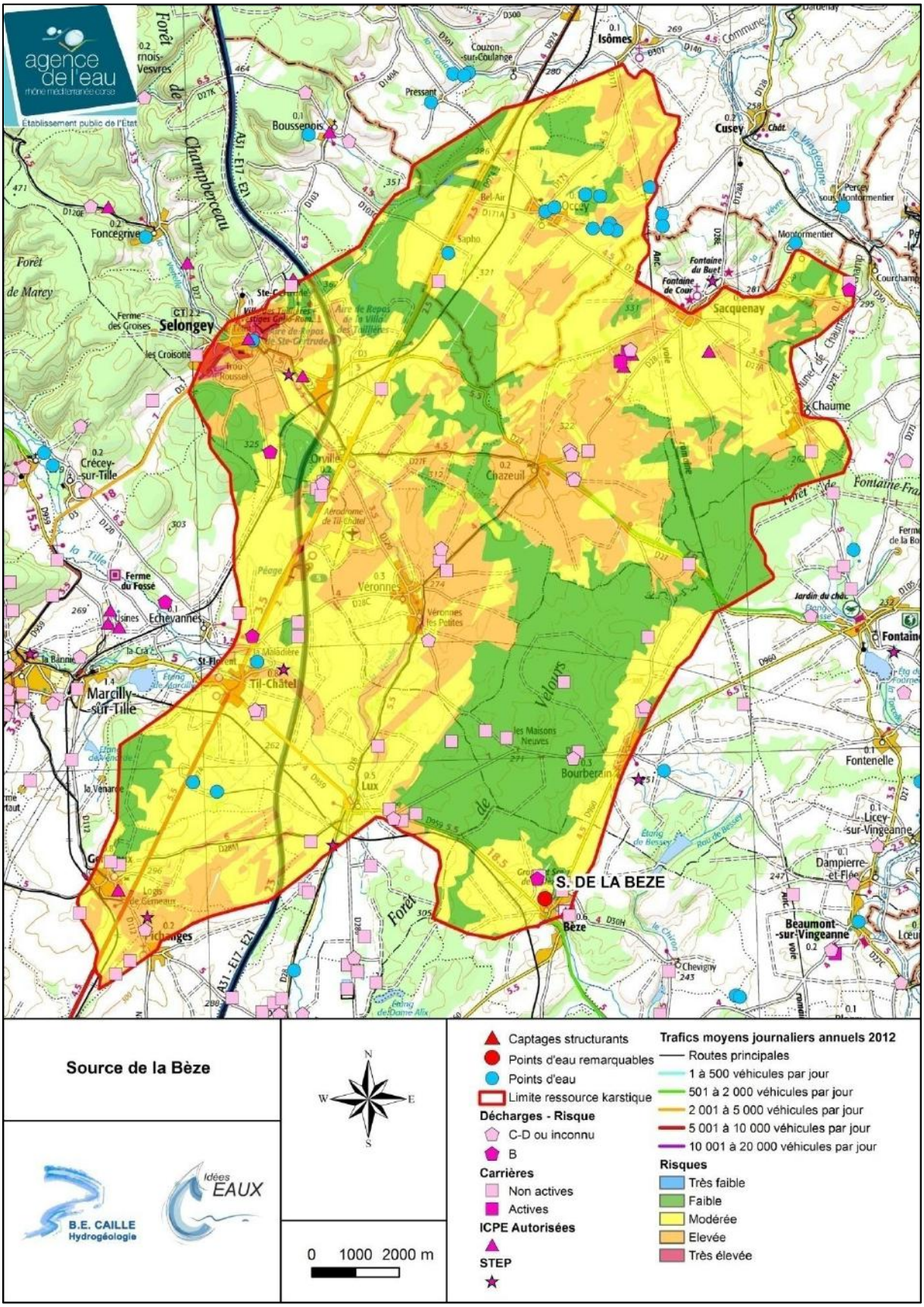


Figure 21 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de la Bèze

4.2. SOURCE DE LA ZOUAVE

4.2.1. Carte du critère de protection (P)

Critère sol (S)

La couche S, couverture pédologique et géologique, a été réalisée à partir du référentiel régional pédologique de Bourgogne (département de la Côte d'Or) réalisée par l'INRA au 1/250 000ème et de la carte géologique.

La carte des sols a donc été réalisée à partir de la classification suivante :

Type de recouvrement géologique et de sols*	Classification PaPRIKA
UC61	2
UC44	3
UC17 UC45 UC43	4

Critère zone non saturée (ZNS)

Pour la lithologie de la zone non-saturée, la classification suivante a été appliquée :

Lithologie	Classification PaPRIKA
j5	1
j3	2
j2	3

Cette première classification a été recoupée ensuite avec l'épaisseur de la zone non-saturée (déterminée à l'aide des coupes géologiques et de la topographie) et la fracturation. Les zones de fortes fracturations ont été délimitées et associées à l'indice 4. La densité de fracturation appliquée sur le reste de la RKM est faible à moyenne au niveau des formations du j5 – j3 et importante au niveau du j2.

La ZNS présente une vulnérabilité de modérée (2) à très élevée (4) au niveau des zones de failles.

Critère épikarst (E)

Sur cette RKM, aucun aquifère épikarstique n'a été répertorié. Ce critère n'est donc pas pris en compte.

Critère Etat de surface

La source de la Zouave est alimentée par les pertes du Val Suzon, mais le bassin versant n'étant pas intégré à la délimitation de la RKM de la source de la Zouave. Ce critère n'est donc pas intégré à la méthode PaPRIKA.

Réalisation de la carte de protection (P)

La carte P résulte du croisement des cartes S, E et ZNS. En chaque point, c'est le critère le plus protecteur qui est retenu, pour tracer la carte P.
La carte P présente une vulnérabilité de faible (1) à très élevée (4). Les zones les plus vulnérables se situent au niveau des zones de faille.

4.2.2. Carte du critère roche (R).

La source est principalement alimentée par les calcaires du Jurassique moyen, le Bathonien et le Bajocien. Il se présente sous forme de bancs massifs fracturés et de petits bancs fracturés présentant des intercalations plus argileuses. Ils seront donc cartographiés avec l'indice 3.

4.2.3. Carte du critère infiltration (I)

La topographie de la RKM de la Zouave présente une vulnérabilité variant de très faible (0) à élevée (3).Les vallées sèches (fond et versant de vallée) ont été classées en vulnérabilité 2.

4.2.4. Carte du critère karstification (Ka)

Le bassin d'alimentation d'une superficie de 37,5 km² présente un débit d'étiage de 43 m^3/h avec des circulations d'eau relativement rapides. L'ensemble de ces éléments permettent d'en déduire l'indice Ka de 3, vulnérabilité modérée.

4.2.5. Carte de vulnérabilité

Cette carte est obtenue en croisant les critères P, R, I et Ka affectés des pondérations suivantes :

$$Ig = 0,3*P + 0,2*R + 0,35*I + 0,15*Ka$$

Un poids pratiquement identique est affecté à l'infiltration et à la protection. Le rôle des failles, de la ZNS et de la nature des sols sont prépondérants.
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource karstique étudiée se répartie entre 4 classes, de faible à très élevée.
Plus de 69 % de l'ensemble karstique de la Zouave sont cartographiés en vulnérabilité élevée et très élevée. Cette forte vulnérabilité est induite par la présence importante de failles et par l'absence de sol imperméable, qui ne permettent pas de limiter l'infiltration des précipitations. On peut noter également la vulnérabilité élevée du fond de vallée du Val Suzon.

4.2.6. Carte des pressions polluantes

La carte de pressions polluantes a été réalisée à partir de Corine Land Cover 2006.
47,5 % de la surface sont recouverts de forêts. Elles sont classées en pression de pollution très faible.
1 % de la surface sont en prairie permanente classés en pression de pollution faible.
47,5 % de la surface sont déclarés en cultures, classés en pression de pollution moyenne.
4 % de la surface sont en zone urbanisée classés en pression de pollution élevée.

Deux décharges sont répertoriées sur la RKM de la Zouave, elles représentent une pression très forte vis-à-vis des pollutions accidentelles.

4.2.7. Carte des risques

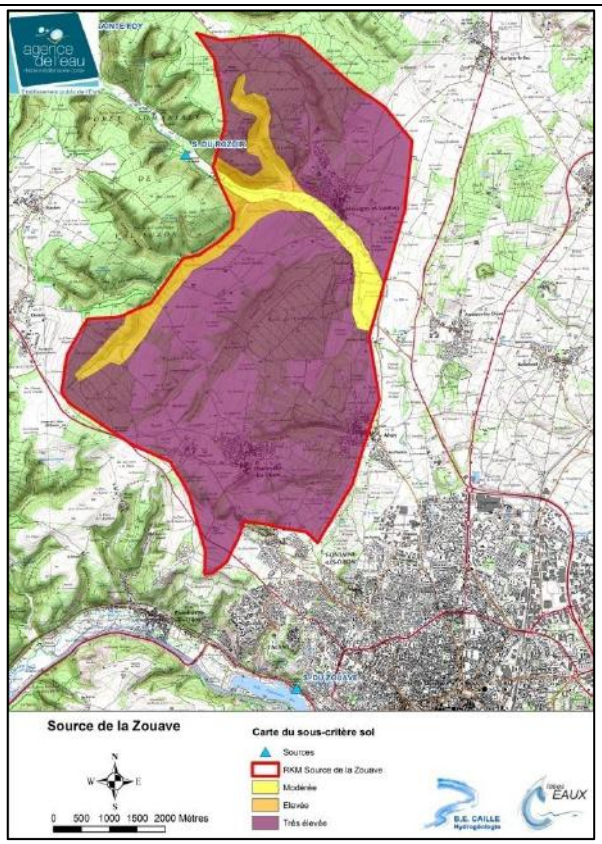
La carte des risques est obtenue en croisant la carte de vulnérabilité et la carte d'occupation des sols.
Le risque le plus élevée se situe au niveau des zones de faille occupées par des parcelles agricoles (activité présente à 44 %) et au niveau des zones urbanisées. Le recouvrement par la forêt diminue, quant à lui, le risque de pollution de la ressource. Elle représente 44 % de la RKM.

La répartition des classes de vulnérabilité et des classes de risque sur l'ensemble de la ressource est présentée dans le tableau suivant :

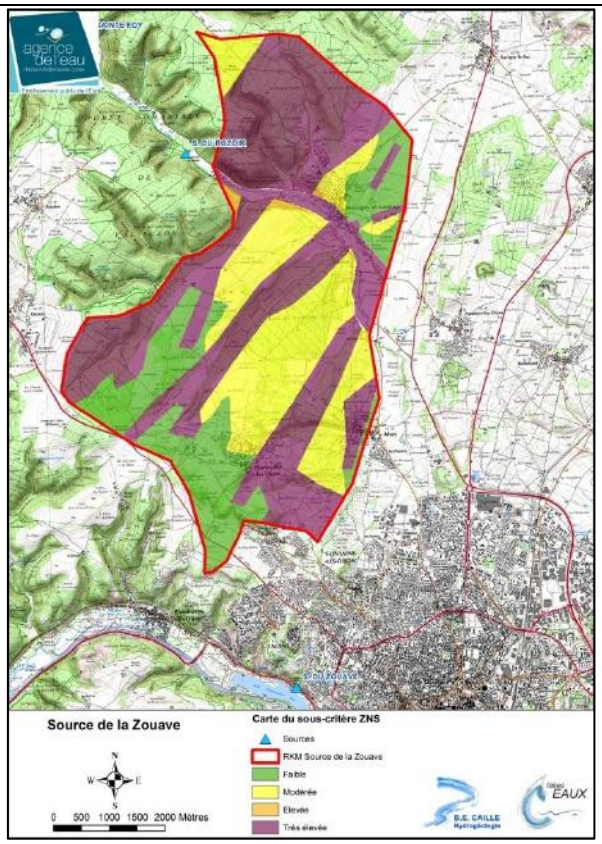
Vulnérabilité	Surface en km²	Proportion	Risque	Surface en km²	Proportion
Très élevée	3,4	10,3 %	Très élevé	0	0 %
Élevée	10,6	32,1 %	Élevé	6,6	20 %
Modérée	18,8	57 %	Modéré	10,7	32,4 %
Faible	0,2	0,6 %	Faible	15,7	47,6 %
Très faible	0	0	Très faible	0	0

4.2.8. Conclusions

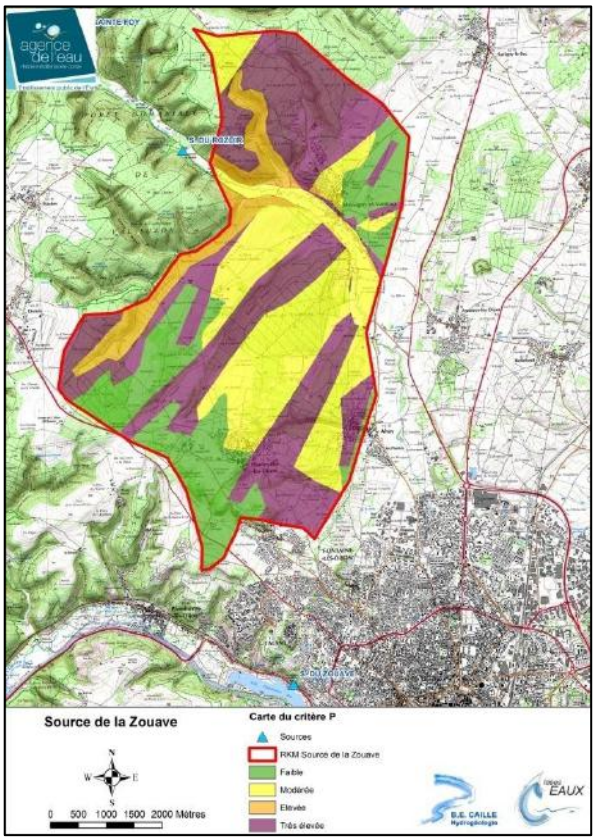
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource est forte.
Les zones cartographiées en risque élevée se situent majoritairement au niveau des zones de failles recouvertes par des parcelles de culture et au niveau des zones urbanisées. Les mesures de protection devront donc se concentrer au niveau de ces zones.



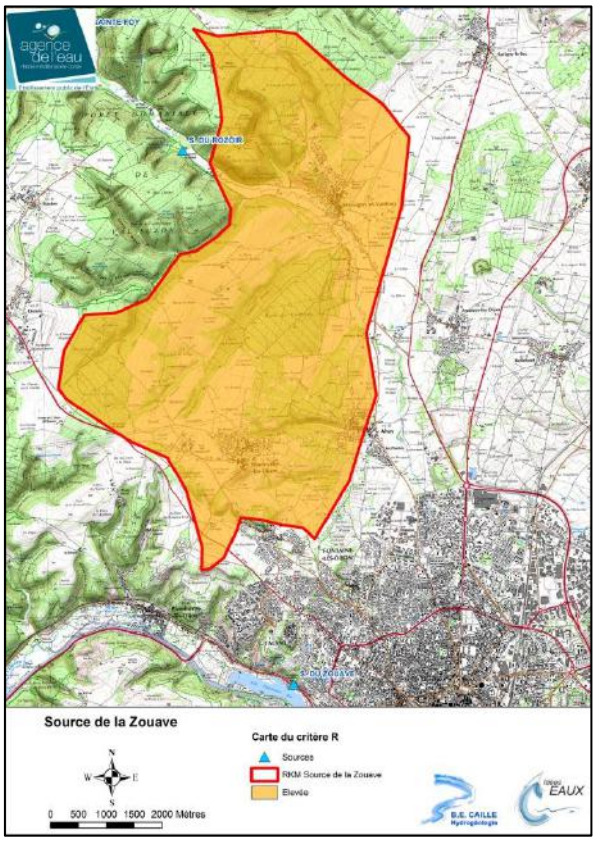
Critère Sol



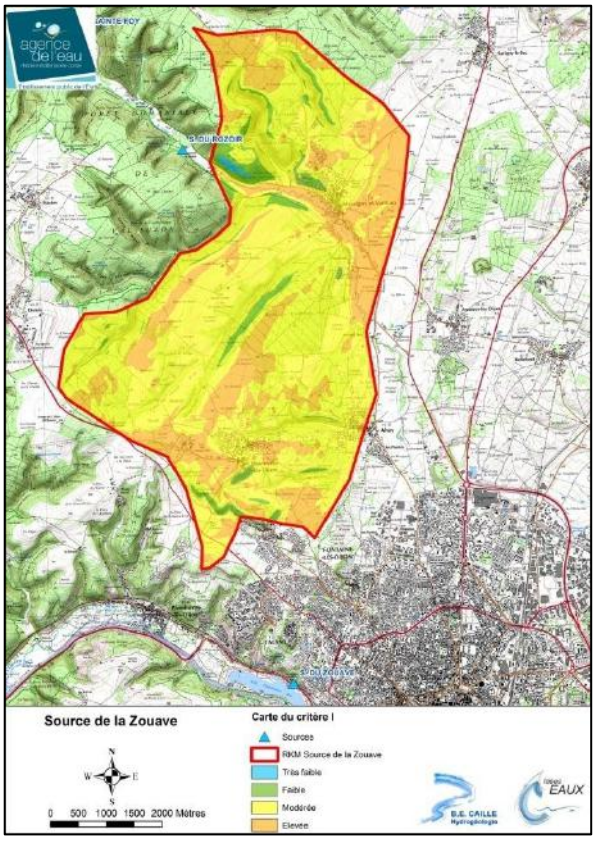
Critère ZNS



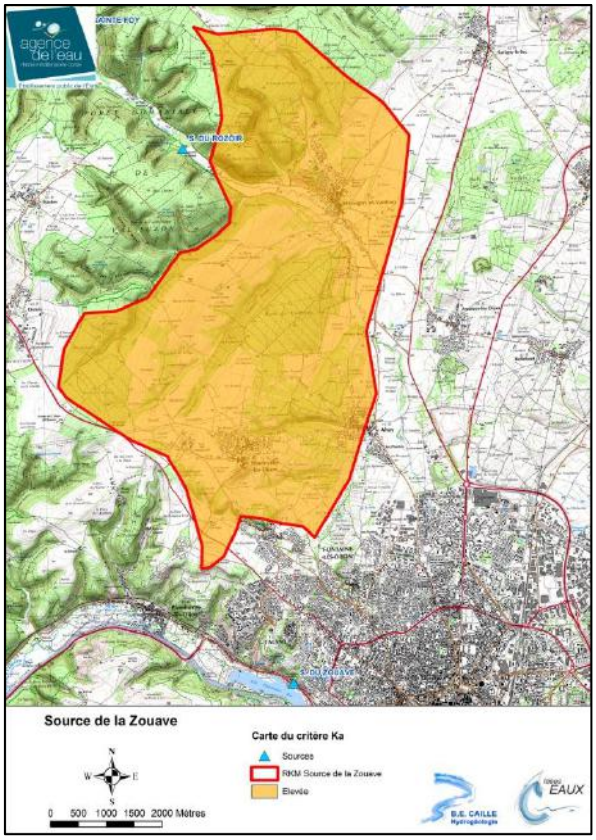
Critère P **Coefficient de pondération = 0,3**



Critère R **Coefficient de pondération = 0,2**



Critère I **Coefficient de pondération = 0,35**



Critère Ka **Coefficient de pondération = 0,15**

Figure 22 : Cartes des critères pour la RKM de la source de la Zouave

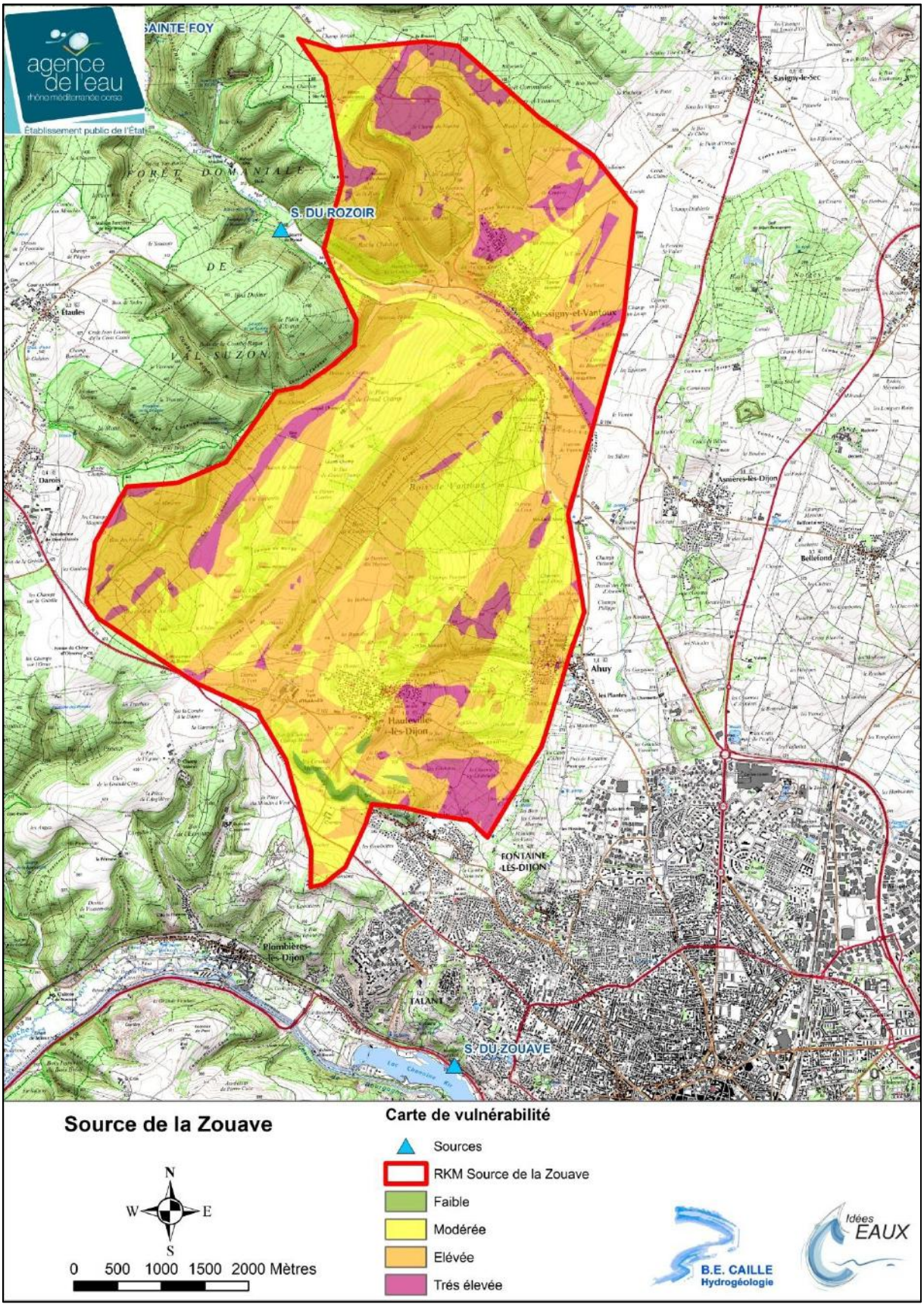


Figure 23 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source de la Zouave

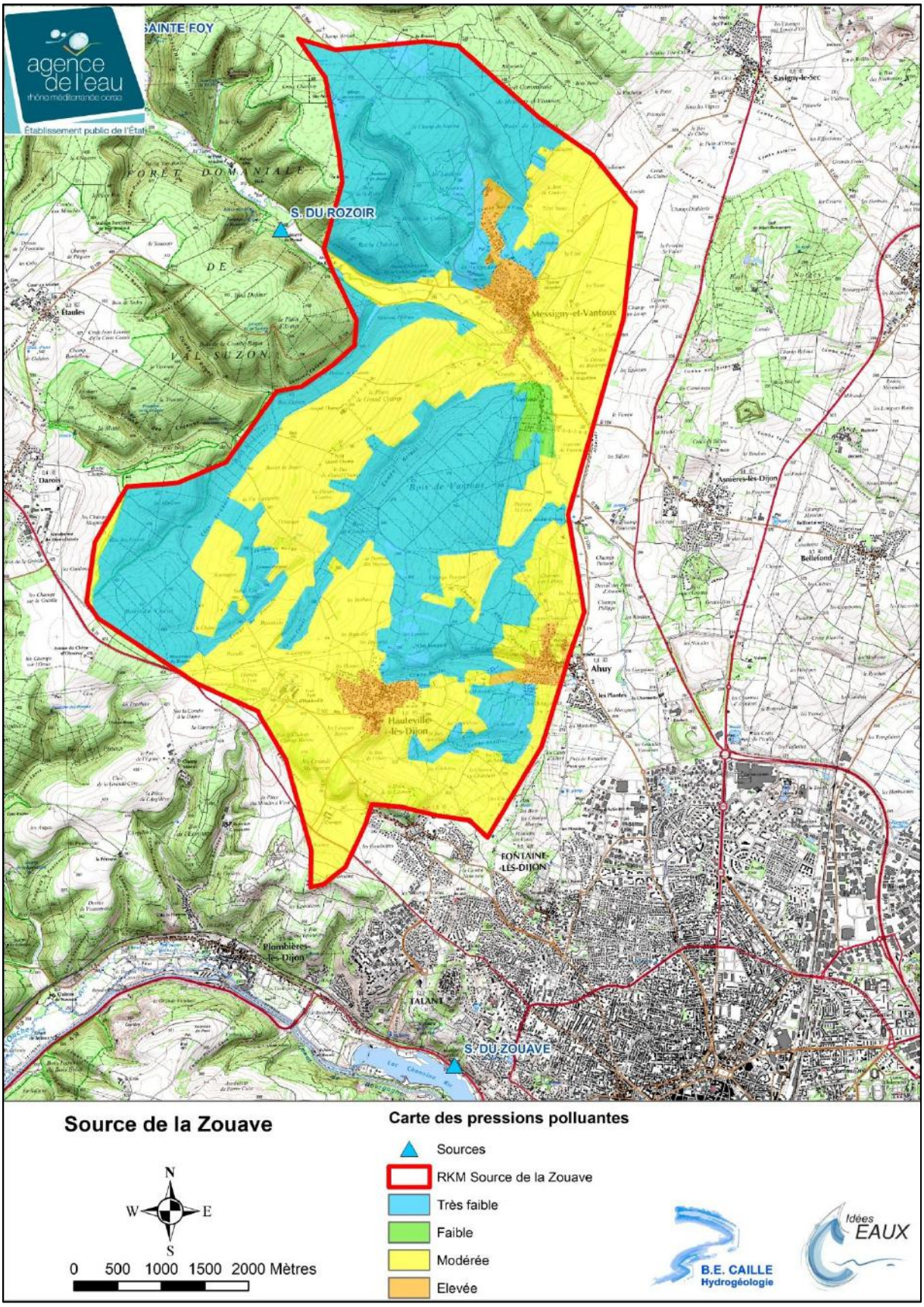


Figure 24 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source de la Zouave

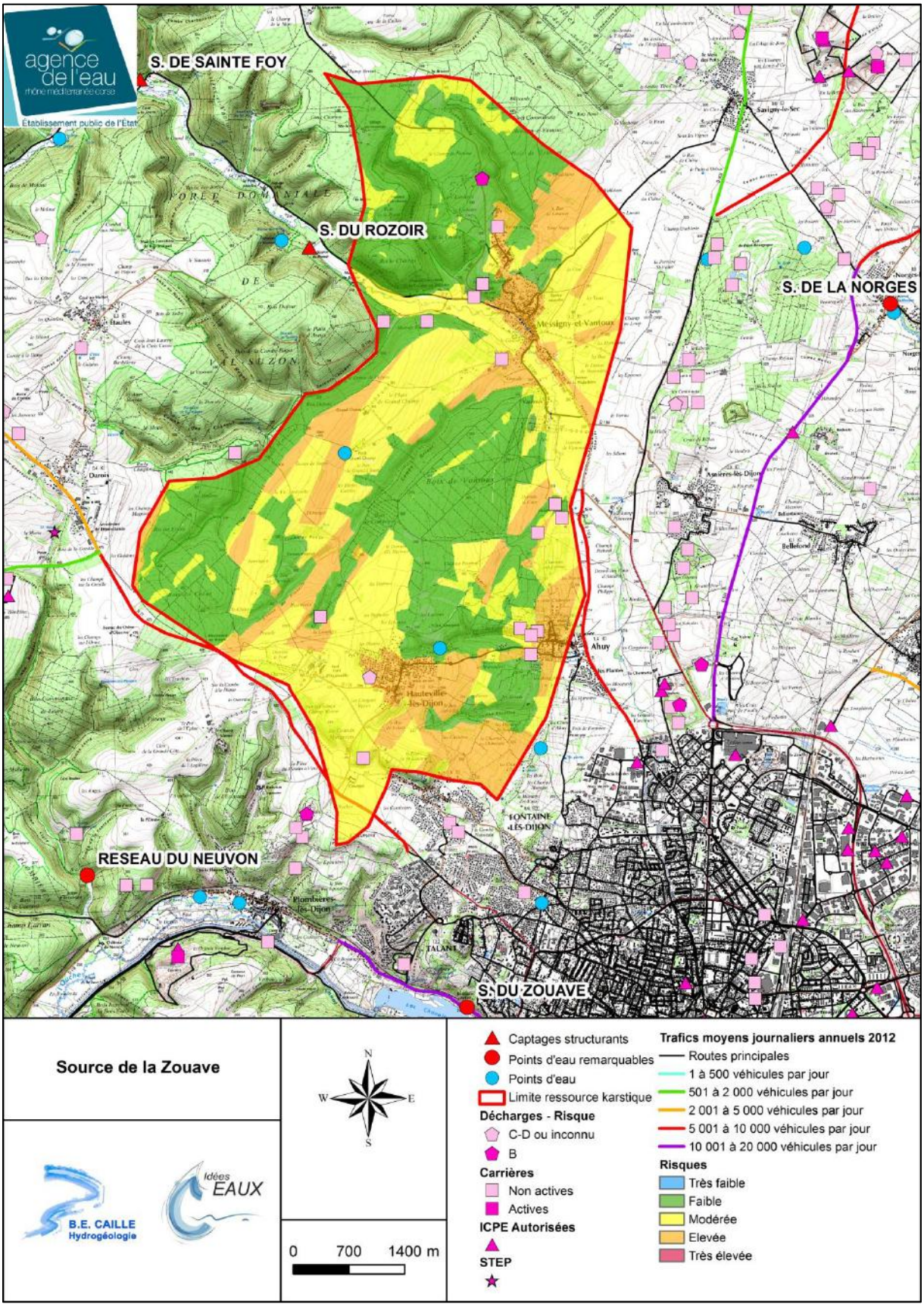


Figure 25 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source de la Zouave

4.3. SOURCE DU CREUX BLEU

4.3.1. Carte du critère de protection (P)

Critère sol (S)

La couche S, couverture pédologique et géologique, a été réalisée à partir du référentiel régional pédologique de Bourgogne (département de la Côte d'Or) réalisée par l'INRA au 1/250 000ème et de la carte géologique.

La carte des sols a été réalisée à partir de la classification suivante :

Unité sol (UCS)	Classification PaPRIKa
61	2
63	2
66	2
50	3
34	4
42	4
43	4
44	4
69	4

Lorsque les cartes géologiques donnent des informations sur les formations de couvertures : limons des plateaux, colluvions, éboulis… Ces formations sont prises en compte dans le critère sol avec l'indice de vulnérabilité modérée 2.

Critère zone non saturée (ZNS)

Pour la lithologie de la zone non-saturée, la classification suivante a été appliquée :

Lithologie	Classification PaPRIKa
Jurassique moyen J 1-2-3	3
Jurassique supérieur J 5-6-7	1

Les marnes et calcaires du jurassique supérieur sont présents sur quelques zones de faible étendue à l'est, où ils constituent une bonne protection de l'aquifère du jurassique moyen.
Cette première classification a été recoupée ensuite avec l'épaisseur de la zone non-saturée déterminée à l'aide des coupes géologiques.
Les zones de failles sont affectées de l'indice 4.
La ZNS présente une vulnérabilité faible (1) à très élevée (4).

Critère épikarst (E)

Sur cette RKM, aucun indice de présence d'un épikarst n'a été mis en évidence. Ce critère n'est pas cartographié.

Critère état de surface

Une perte a été identifiée dans le vallon à l'aval de Vernet. Le critère état de surface est utilisé.

État de surface	Classification PaPRIKa
Calcaires (perméabilité faible)	2

Réalisation de la carte de protection (P)

La carte P résulte du croisement des cartes S et ZNS. Pour chaque maille, c'est le critère le plus protecteur qui est retenu.

La carte P présente une vulnérabilité faible (1) à très élevée (4). Les zones les plus vulnérables se situent au niveau des zones de failles.

4.3.2. Carte du critère roche (R).

La source est alimentée par les calcaires du Jurassique moyen, le Bathonien et le Bajocien. Ils se présentent sous forme de bancs massifs fracturés et de petits bancs fracturés présentant quelques intercalations plus argileuses. Ils sont cartographiés avec l'indice 3. Les zones de failles qui affectent l'aquifère et dont la direction converge vers la source du Creux Bleu, ainsi que le réseau spéléologique reconnu sont cartographiés avec l'indice 4.

4.3.3. Carte du critère infiltration (I)

La topographie de la RKM du Creux Bleu présente une vulnérabilité variant de très faible (0) à très élevée (4). Les vallées sèches, qui parcourt la ressource majeure suivant un réseau très dense sont classées, en indice 2 (fond et versants des vallées). Le bassin versant de la perte de Vernet est classée en indice 4.

4.3.4. Carte du critère karstification (Ka)

L'aquifère formé des calcaires du jurassique moyen est homogène avec des vitesses de circulation rapides (100 à 300 m/h). Un indice 4 de vulnérabilité très élevée a été affecté à la zone centrale de la ressource karstique où se concentrent les vallées sèches, les failles principales et le réseau spéléologique reconnu. Un indice 3 de vulnérabilité élevée a été affecté aux zones périphériques, où les indices visibles de karstification et de drainage vers la source sont moins présents.

4.3.5. Carte de vulnérabilité

L'indice global est obtenu en croisant les critères P, R, I et Ka affectés des pondérations suivantes :

$$Ig = 0,3*P + 0,2*R + 0,35*I + 0,15*Ka$$

Un poids pratiquement identique est affecté à l'infiltration et à la protection. Le rôle des failles est prépondérant.
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource karstique étudiée se répartie entre 3 classes, de modérée à très élevée.
Plus de 91 % de la ressource karstique du Creux Bleu sont cartographiés en vulnérabilité élevée à très élevée. Cette forte vulnérabilité est due à l'absence de protection par les sols et la zone non saturée et au développement du réseau karstique. Les vulnérabilités élevées se concentrent sur les plateaux et les vallées sèches alors que les très élevées sont localisées sur les zones de failles et de pertes.
Les vulnérabilités modérées sont localisées sur le pourtour de la ressource, là où les pentes sont fortes et où le drainage superficiel se fait vers la rivière l'Ignon, qui n'est pas en relation avec le Creux Bleu (d'après les informations de traçage disponibles).

4.3.6. Carte des pressions polluantes

La carte de pressions polluantes a été réalisée à partir de Corine Land Cover 2006.
69 % de la surface sont recouverts de forêts classés en pression de pollution très faible.
28 % de la surface sont déclarés en cultures, classés en pression de pollution moyenne. Il s'agit de cultures céréalières sur le plateau.
0,82 % de la surface sont en zone urbanisée et comptent entièrement les villages de Francheville et Vernet. Ils sont classés en pression de pollution élevée.

4.3.7. Carte des risques

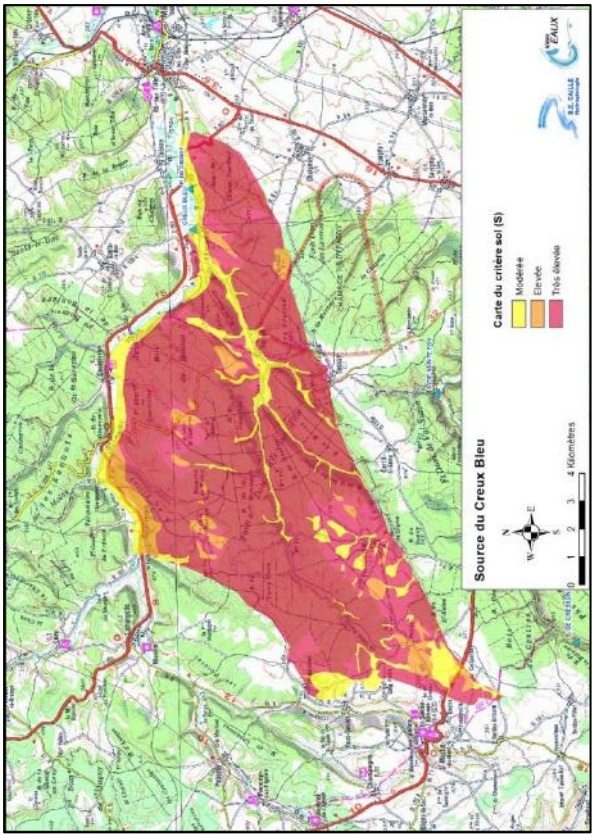
La carte des risques est obtenue en croisant la carte de vulnérabilité et la carte d'occupation des sols.
Le risque le plus élevée se situe au niveau des zones de cultures autour des villages de Francheville, Vernet et Villecomte. Le recouvrement par la forêt, quant à lui, diminue le risque de pollution de la ressource avec 66,6 % de surfaces à risque faible.
Il y a quelques points présentant des risques particuliers : on dénombre beaucoup de carrières anciennes abandonnées ainsi que 5 décharges anciennes. Il n'y a pas d'installation classées (ICPE), ni de rejets de STEP dans la ressource.

La répartition des classes de vulnérabilité et des classes de risque sur l'ensemble de la ressource est présentée dans le tableau suivant :

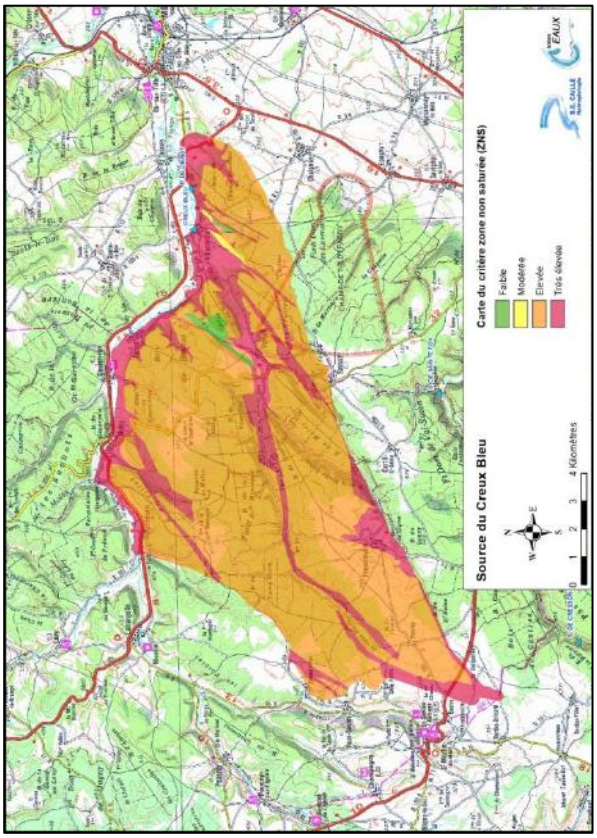
Vulnérabilité	Surface en km²	Proportion	Risque	Surface en km²	Proportion
Très élevée	7,89	6,4%	Très élevé	0,3244	0,3%
Élevée	103,84	84,3%	Élevé	32,0849	26,2%
Modérée	11,39	9,3%	Modéré	8,6596	7,1%
Faible			Faible	81,403	66,5%
Très faible			Très faible		

4.3.8. Conclusions

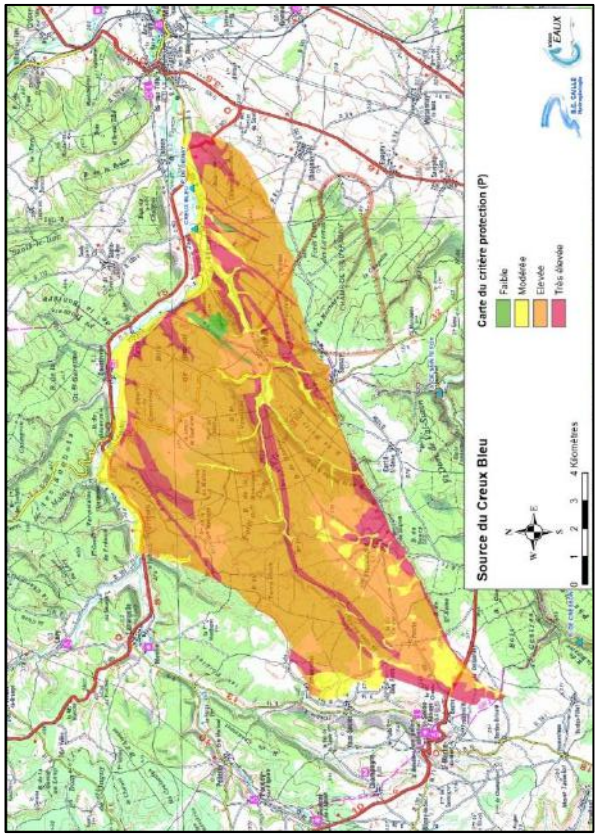
La vulnérabilité intrinsèque de la ressource est élevée à très élevée (91 %), mais la présence de forêts induit un risque faible sur 66,6 % de la ressource.
Les risques élevés se concentrent sur les zones de cultures. La conservation de la forêt est indispensable pour le maintien de la qualité actuelle des eaux. Les mesures de protection concerneront les surfaces en culture.



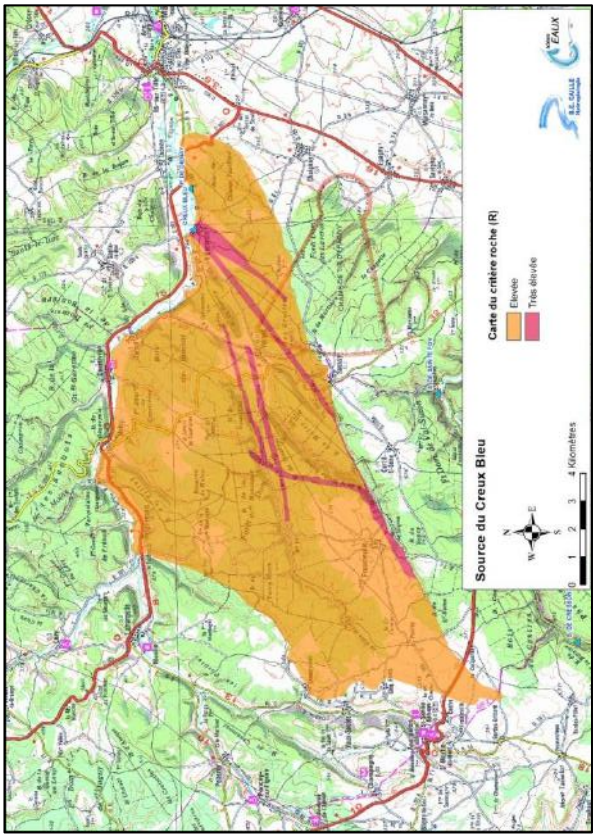
Critère Sol



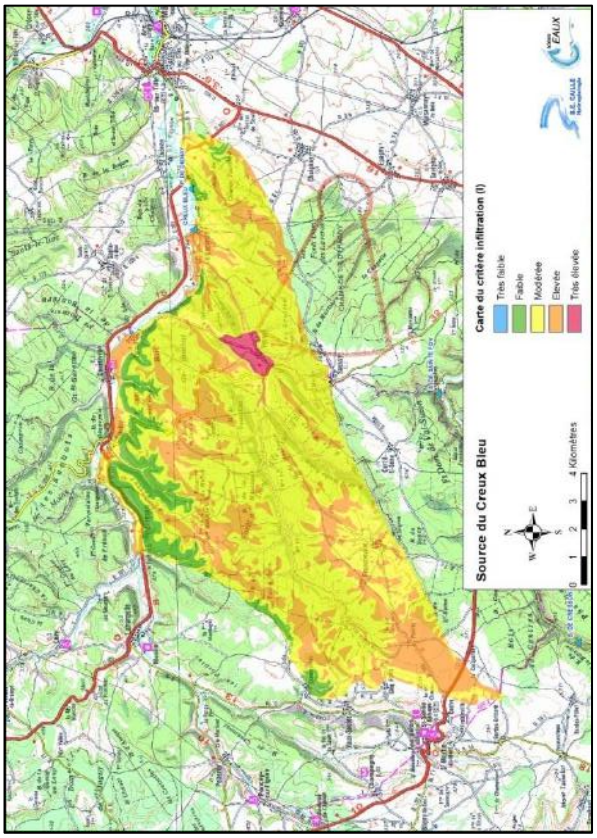
Critère ZNS



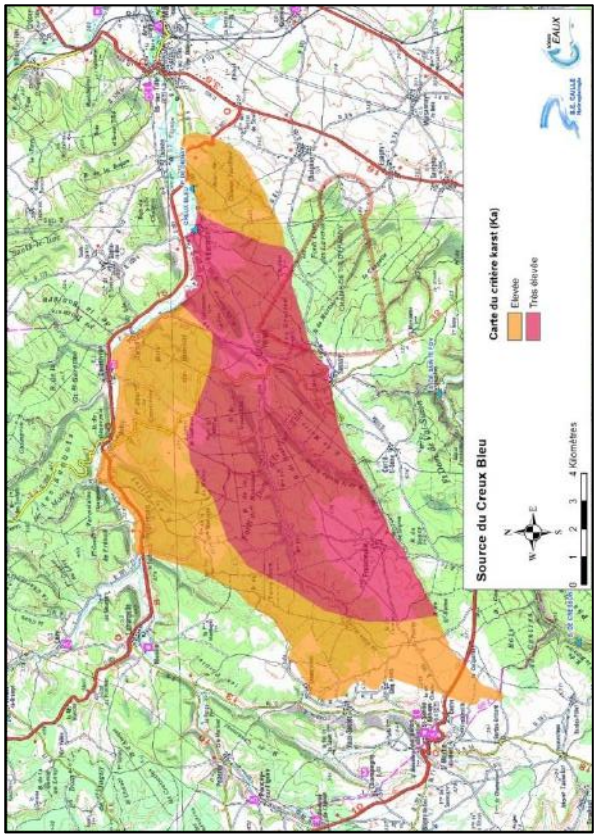
Critère P **Coefficient de pondération = 0,3**



Critère R **Coefficient de pondération = 0,2**



Critère I **Coefficient de pondération = 0,35**



Critère Ka **Coefficient de pondération = 0,15**

Figure 26 : Cartes des critères pour la RKM de la source du Creux Bleue

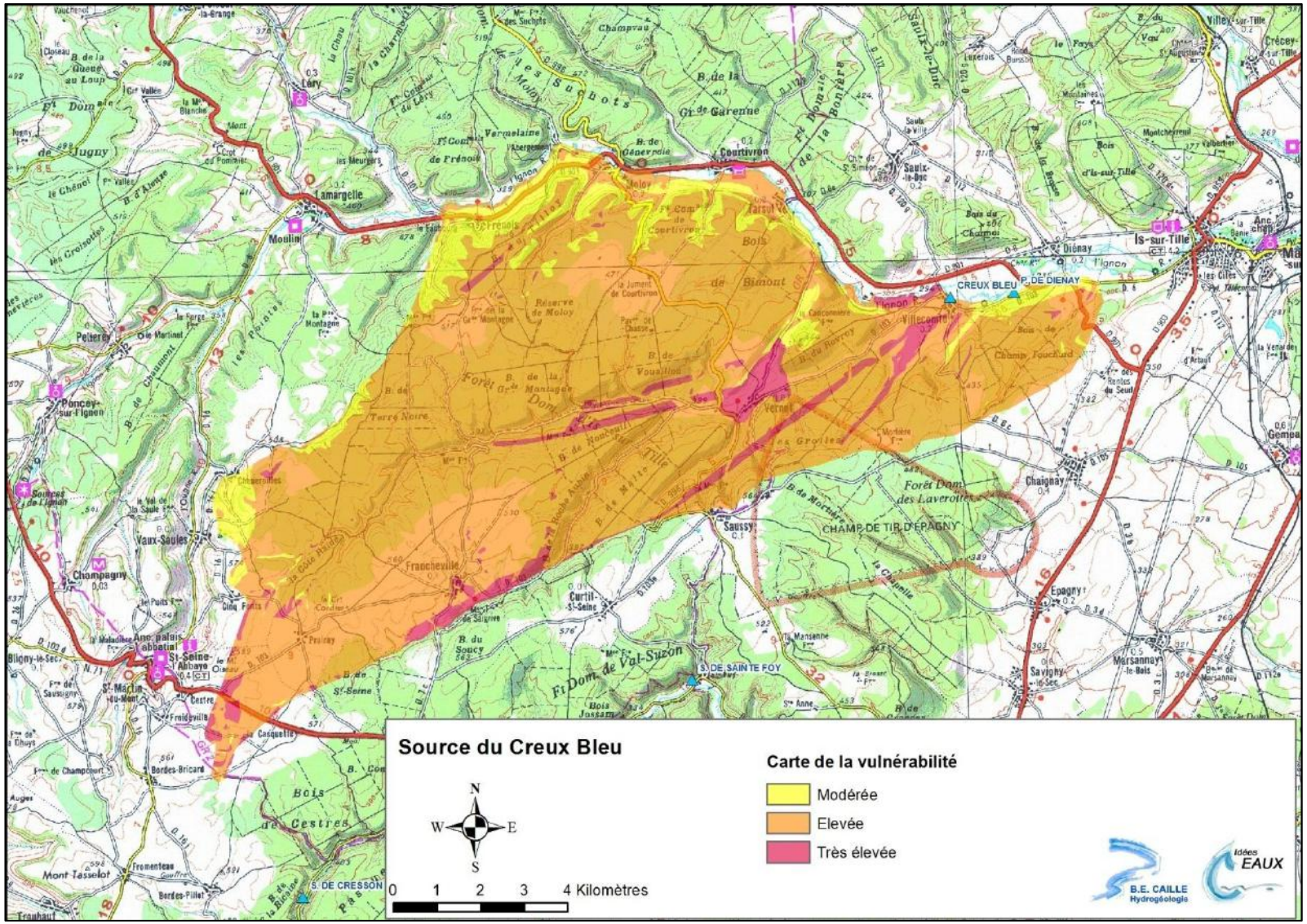


Figure 27 : Carte de vulnérabilité de la RKM de la source du Creux Bleu

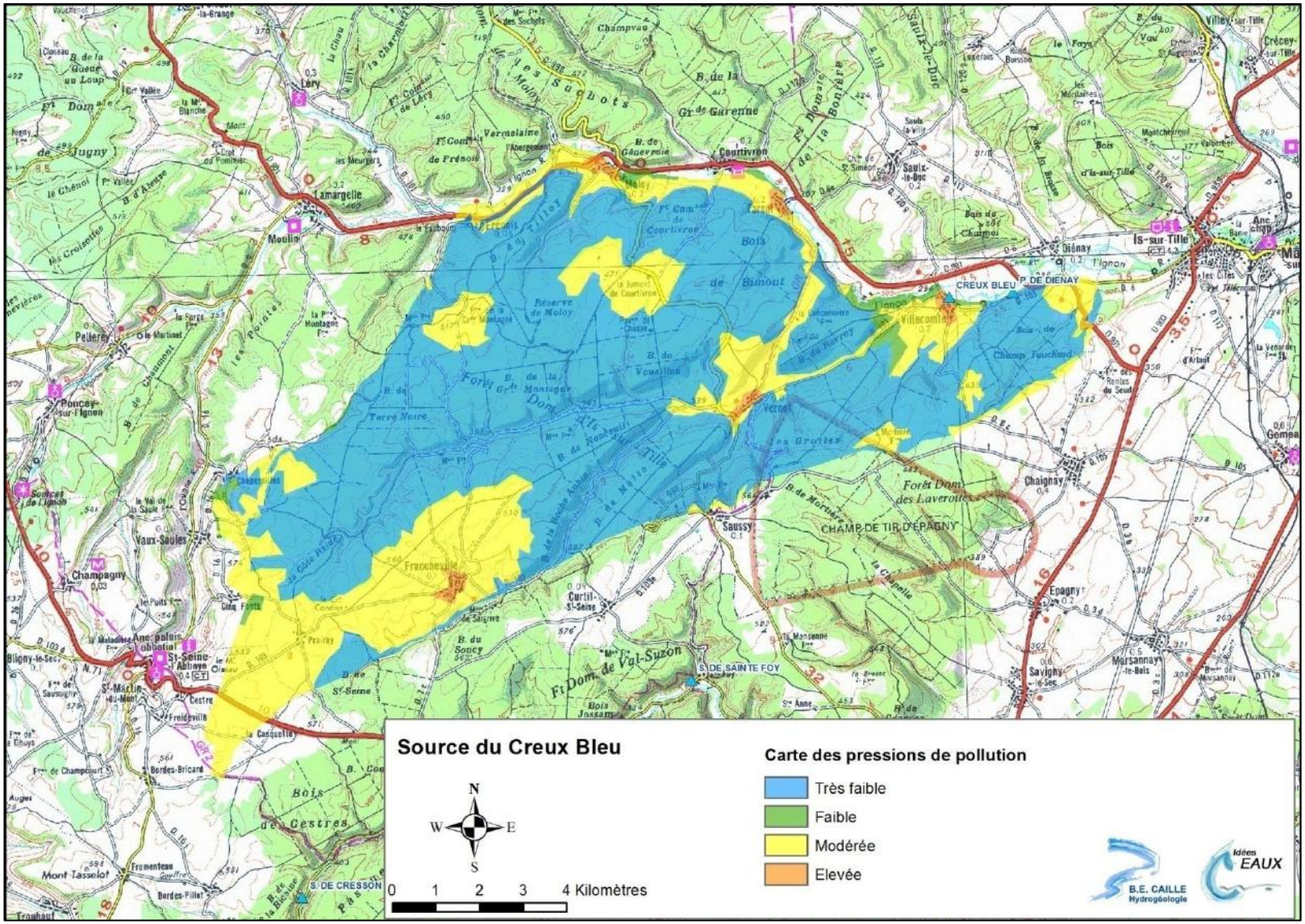


Figure 28 : Carte des pressions polluantes sur la RKM de la source du Creux Bleu

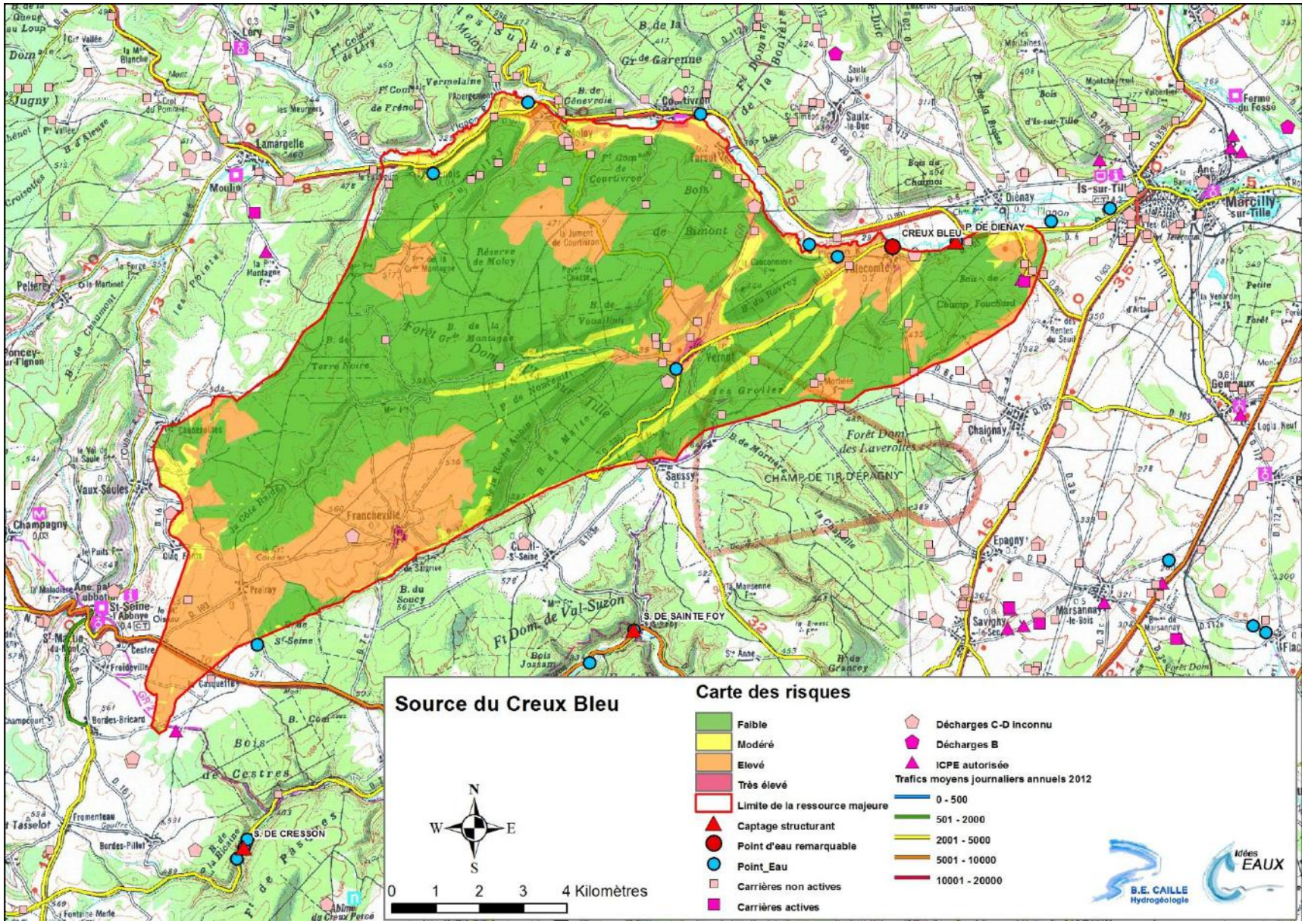


Figure 29 : Carte des risques de pollution sur la RKM de la source du Creux Bleu

5. METHODE RISK REALISEE SUR LE BAC DE LA SOURCE DE L'OUCHE (SIE D'ARNAY LE DUC JUIN 2012_BUREAU CH. CAILLE).

5.1. PRINCIPE DE LA METHODE RISK

La DIREN et le BRGM ont développé une méthodologie de cartographie des aquifères karstiques : la méthode **RISK**. Elle définit, à partir d'un certain nombre de critères géologiques et hydrogéologiques, le degré de protection des eaux souterraines sur le bassin d'alimentation de la source. Cette méthode permet de réaliser une carte de vulnérabilité de l'aquifère karstique.

Les 4 critères hydrogéologiques pris en compte dans cette méthode sont :

- ✓ le type de roche aquifère (R),
- ✓ les conditions d'infiltration (I),
- ✓ le sol et la couverture protectrice (S),
- ✓ le degré de karstification (K).

Chaque critère est réparti en 5 classes, 0 à 4, du moins vulnérable au plus vulnérable. Un facteur de pondération est attribué à chaque critère. Il traduira l'importance relative des critères entre eux.

La méthode se déroule en plusieurs étapes :

- ✓ *Cartographie de chaque critère*. Chaque critère est subdivisé en plusieurs classes, en fonction des caractéristiques du terrain. Chaque critère est reporté sur des cartes à des échelles adaptées au bassin versant étudié. Les cartes sont réalisées à l'aide d'un SIG (système d'information géographique).
- ✓ *Discrétisation des cartes*. Elle consiste en un maillage de la zone d'étude (découpage en cellules carrées de 5 x 5 m). Une valeur de critère est affectée à chaque cellule.
- ✓ *Calcul de l'indice global de vulnérabilité*. Chaque critère est multiplié par le facteur de pondération qui lui a été attribué en fonction de son importance par rapport aux autres critères. Les valeurs obtenues pour chacun des critères sont alors additionnées et définissent un indice de vulnérabilité global (**Ig**).

- ✓ *Régionalisation*. La valeur de l'indice Ig est subdivisée en 5 classes de vulnérabilité.
- ✓ *Vérification*. Comparaison des données initiales et de la carte de vulnérabilité pour juger de la cohérence du travail.

5.1.1. Critère R : Roche aquifère

Il traduit la nature des formations géologiques et la fracturation de ces formations. Ces paramètres ont une grande influence sur le type de circulations souterraines, et donc sur la vitesse de transfert d'un polluant dans l'aquifère.

La cartographie de ce critère est effectuée à l'aide des cartes géologiques au 1 / 50 000 (BRGM) associées à des visites de terrains pour apprécier l'état de fracturation des formations.

Critère R : Nature de la Roche aquifère		
Caractéristiques		***Indice***
R_0	Marnes	***0***
R_1	Marnes - Calcaires	***1***
R_2	Calcaires avec intercalation de niveaux marneux	***2***
R_3	Calcaires massifs peu fracturés	***3***
R_4	Calcaires massifs très fracturés	***4***

5.1.2. Critère I : Conditions d'infiltration

Les conditions d'infiltration de l'eau dans les aquifères karstiques sont très importantes dans la détermination de la vulnérabilité de l'aquifère. Elles tiennent compte de la pente (accélération du ruissellement) et de la présence de pertes (communication très rapide entre une perte et l'exutoire du réseau karstique).

Critère I : Conditions d'infiltration		
Caractéristiques		***Indice***
I_0	Pente très forte > 50 %	***0***
I_1	Pente forte 15 - 50 %	***1***
I_2	Pente modérée 5 - 15 %	***2***
I_3	Pente faible 0 - 5 %	***3***
I_4	Pertes actives et leur bassin versant	***4***

5.1.3. Critère S : Sol et couverture protectrice

Les formations pédologiques recouvrant les roches aquifères ont un rôle essentiel par rapport à la vulnérabilité d'un aquifère. Le critère S dépend de la présence ou non d'une « couverture protectrice » entre le sol et la roche (moraines par exemple), des données disponibles sur l'épaisseur du sol, sa texture (cailloux, matrice…), sa composition (argiles, limons…).

✓ **Détermination des classes**

Trois classes sont définies, en fonction de la texture du sol (dominante argileuse, dominante limoneuse ou dominante sableuse) et en fonction de la proportion de cailloux. Les classes sont notées de 1 à 3. Elles sont présentées dans le tableau A.

		Texture		
		1 (argiles)	2 (limons)	3 (sables)
Cailloux	1 (0-15%)	1	1	2
	2 (15-60%)	1	2	3
	3 (>60%)	2	3	3

Tableau A : Détermination de la nature du sol

Ce tableau A sert à définir la nature du sol, en considérant cette fois l'épaisseur du sol. Il en ressort 4 classes notées S1 à S4, présentées dans le tableau B.

		Nature du sol			
		Inconnue	1	2	3
Epaisseur	1 (>100 cm)	S1	S1	S2	S3
	2 (20-100 cm)	S2	S2	S3	S4
	3 (0-20 cm)	S3	S3	S4	S4
	4 nulle	S4	S4	S4	S4

Tableau B : Détermination du critère S

✓ Classification

La classification des sols croise la texture, la teneur en cailloux (tableau A), l'épaisseur du sol (tableau B) et la nature de l'horizon géologique présent sous le sol (roches ou argiles).

Critère S : Sol et couverture protectrice									
Caractéristiques									***Indice***
	Sols sur matrice nue ou avec un horizon géologique faiblement protecteur (éboulis, alluvions..)				Sol sur horizon géologique important de faible conductivité hydraulique (argiles, argiles marneuses, conglomérats, brèches massifs)				
	Nature de sol inconnue	Nature du sol connue			Nature de sol inconnue	Nature du sol connue			
		1	2	3		1	2	3	
S0					Couverture protectrice >5 m				***0***
S1	>100cm	>100cm			Couverture protectrice 1-5m ou <1m avec un sol de texture inconnue ou de type 1 >20cm				***1***
S2	20-100cm	20-100cm	>100cm		0-20cm	0-20cm	20-10cm		***2***
S3	0-20 cm	0-20 cm	20-100cm	>100cm	absence totale de sol	absence totale de sol	20-100cm	0-100cm	***3***
S4	Absence de sol	Absence de sol	0-20 cm	0-100cm					***4***

Cinq classes sont ainsi définies, notées 0 à 4. Ce sont ces indices qui serviront à faire la carte présentant le type de sol sur le bassin versant de la source (critère S).

5.1.4. Critère K : Karstification

Le critère de karstification évalue le développement du réseau karstique.

Critère K : Karstification		
Caractéristiques		***Indice***
K_0	Aquifère plus ou moins fissuré	***0***
K_1	Aquifère fissuré mais sans karstification	***1***
K_2	Réseau karstique peu développé ou mal connecté avec la surface	***2***
K_3	Réseau karstique bien développé et plus ou moins connecté avec la surface	***3***
K_4	Réseau karstique très bien développé et connecté avec la surface	***4***

5.1.5. Indice global de vulnérabilité Ig

L'indice global de vulnérabilité est calculé à partir de la formule suivante :

$$Ig = \alpha R_i + \beta I_i + \delta S_i + \gamma K_i$$

- ➔ α, β, δ et γ correspondent au poids des critères,
- ➔ R_i, I_i, S_i et K_i correspondent à la valeur des critères indexés.

Des classes de vulnérabilité sont alors définies en 5 catégories.

Classe de vulnérabilité	
0	**Vulnérabilité très faible**
1	**Vulnérabilité faible**
2	**Vulnérabilité moyenne**
3	**Vulnérabilité forte**
4	**Vulnérabilité très forte**

5.2. APPLICATION DE LA METHODE RISK AU BAC DE LA SOURCE DE L'OUCHE.

Les 4 cartes des critères RISK sont présentées ci-dessous. Elles sont renseignées à partir des informations disponibles : cartes géologiques et pédologiques (critère Roche et Sol), Modèle Numérique de Terrain (MNT) pour les pentes (critère d'Infiltration), caractéristiques du réseau karstique définies dans le cadre de l'étude (critère Karst) ; ainsi qu'à partir des observations de terrain : nature des sols, caractéristiques des affleurements calcaires (fracturation, karstification).

Figure 30 : Carte de l'indice R_Roche.

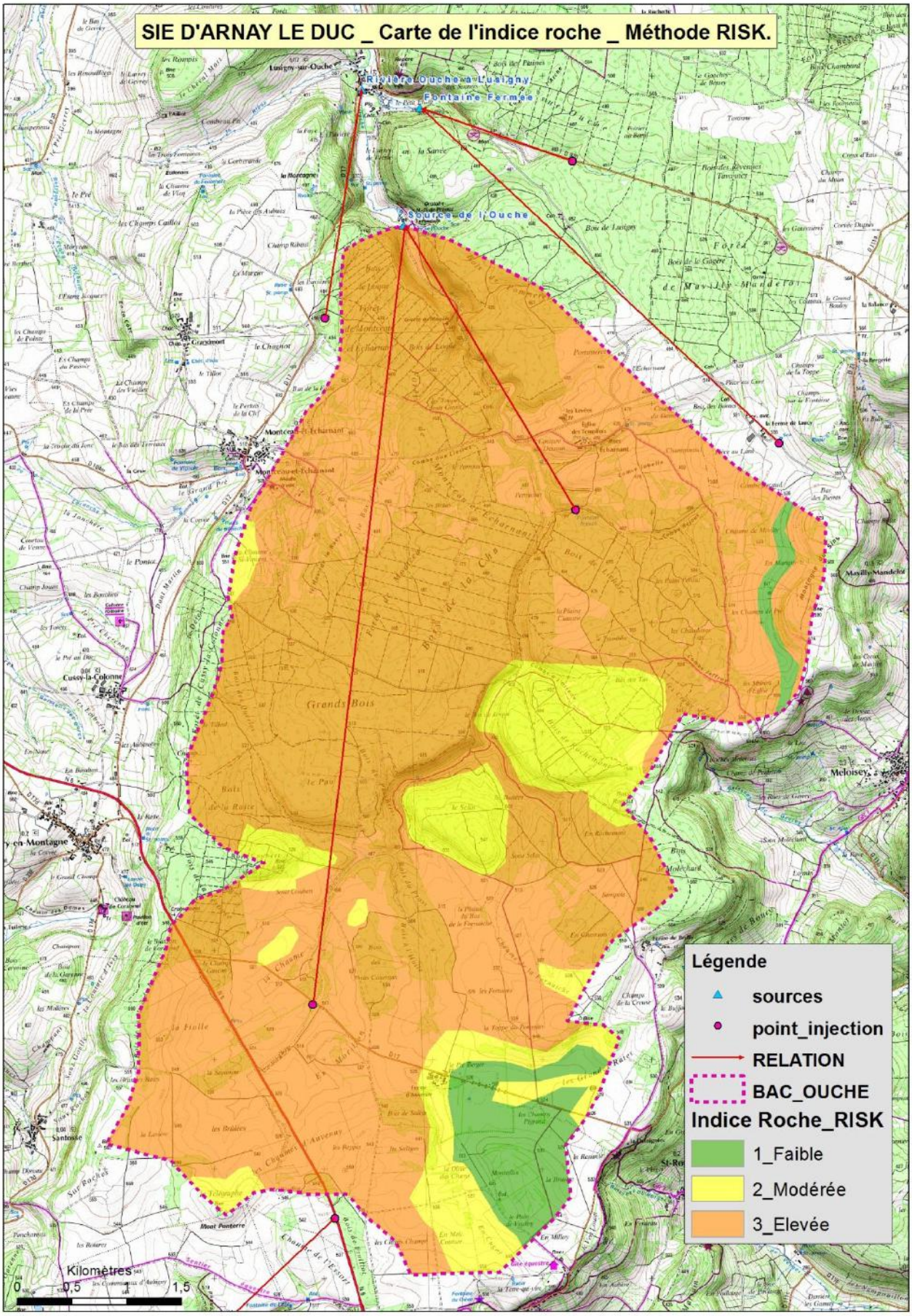


Figure 31 : Carte de l'indice I_Infiltration.

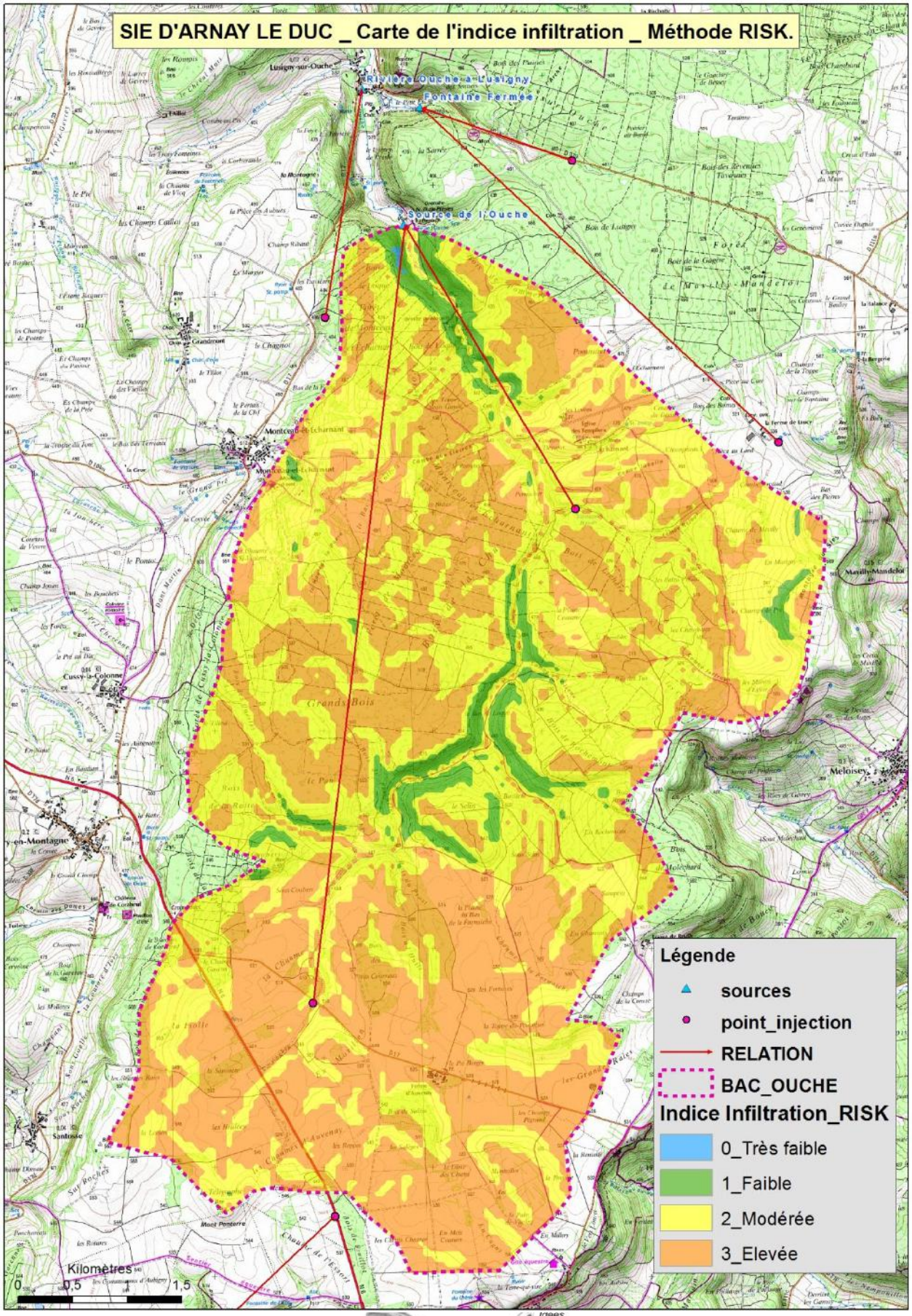


Figure 32 : Carte de l'indice S_Sol.

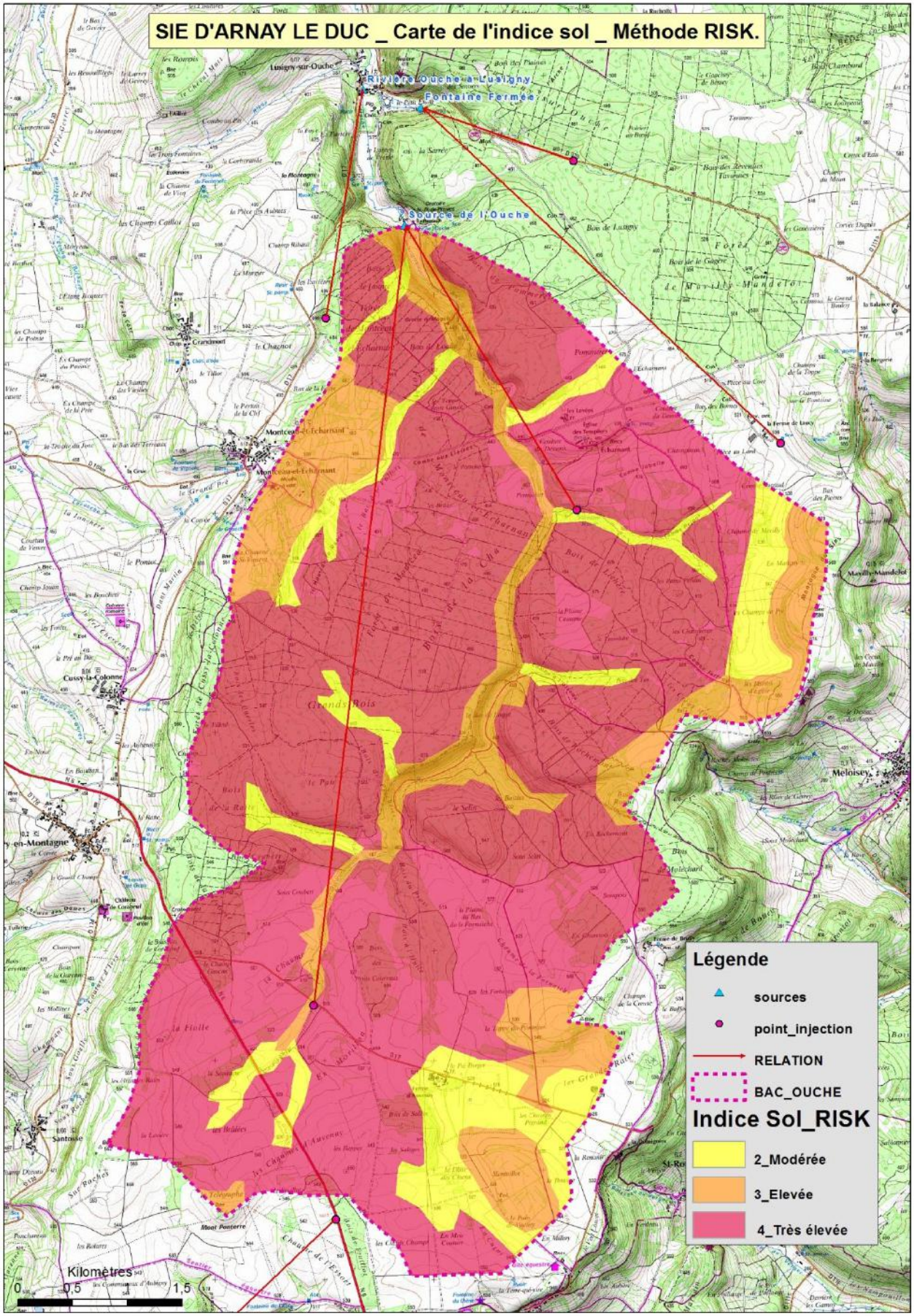


Figure 33 : Carte de l'indice K_Karst.

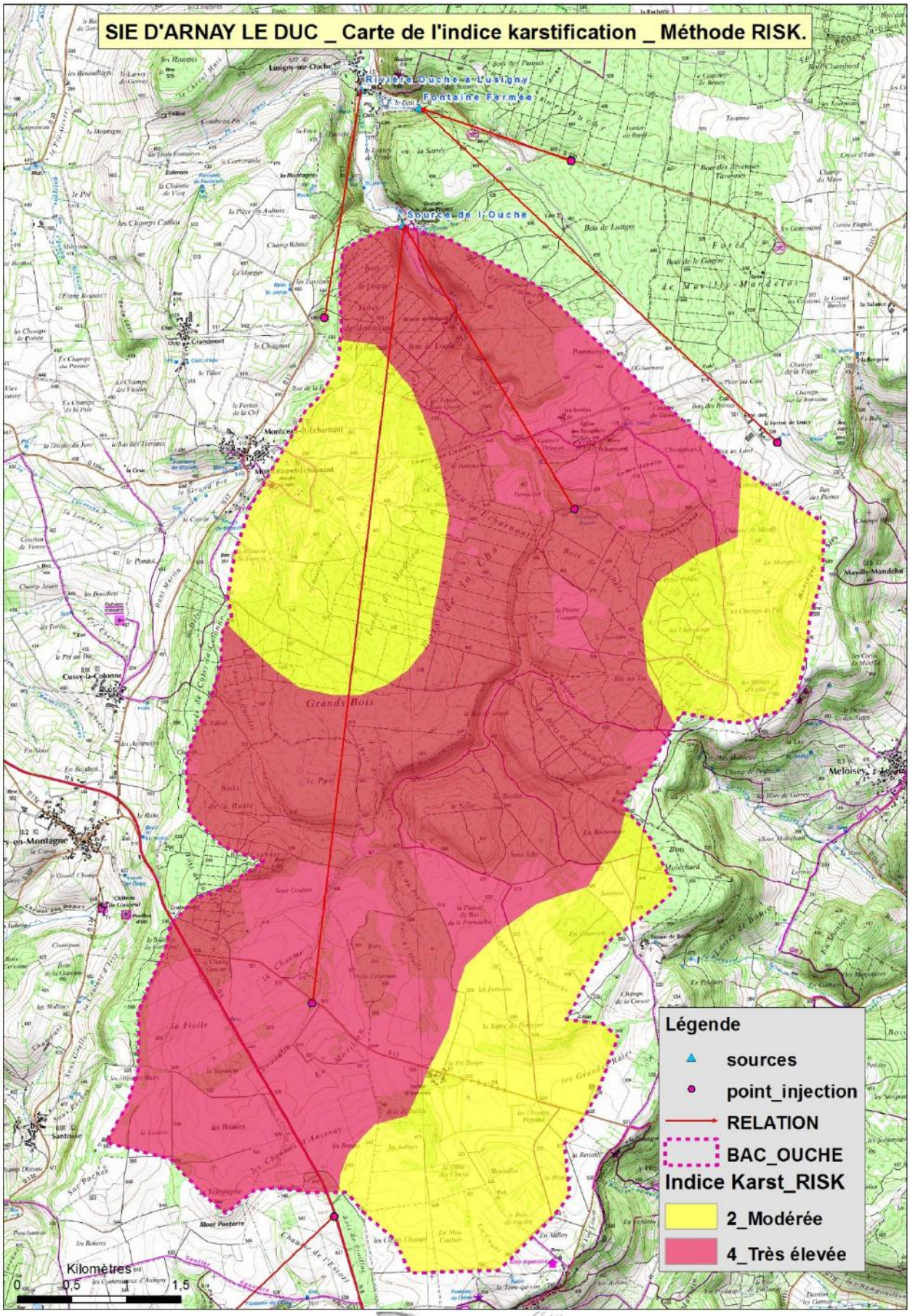


Figure 34 : Carte de l'indice global de vulnérabilité.

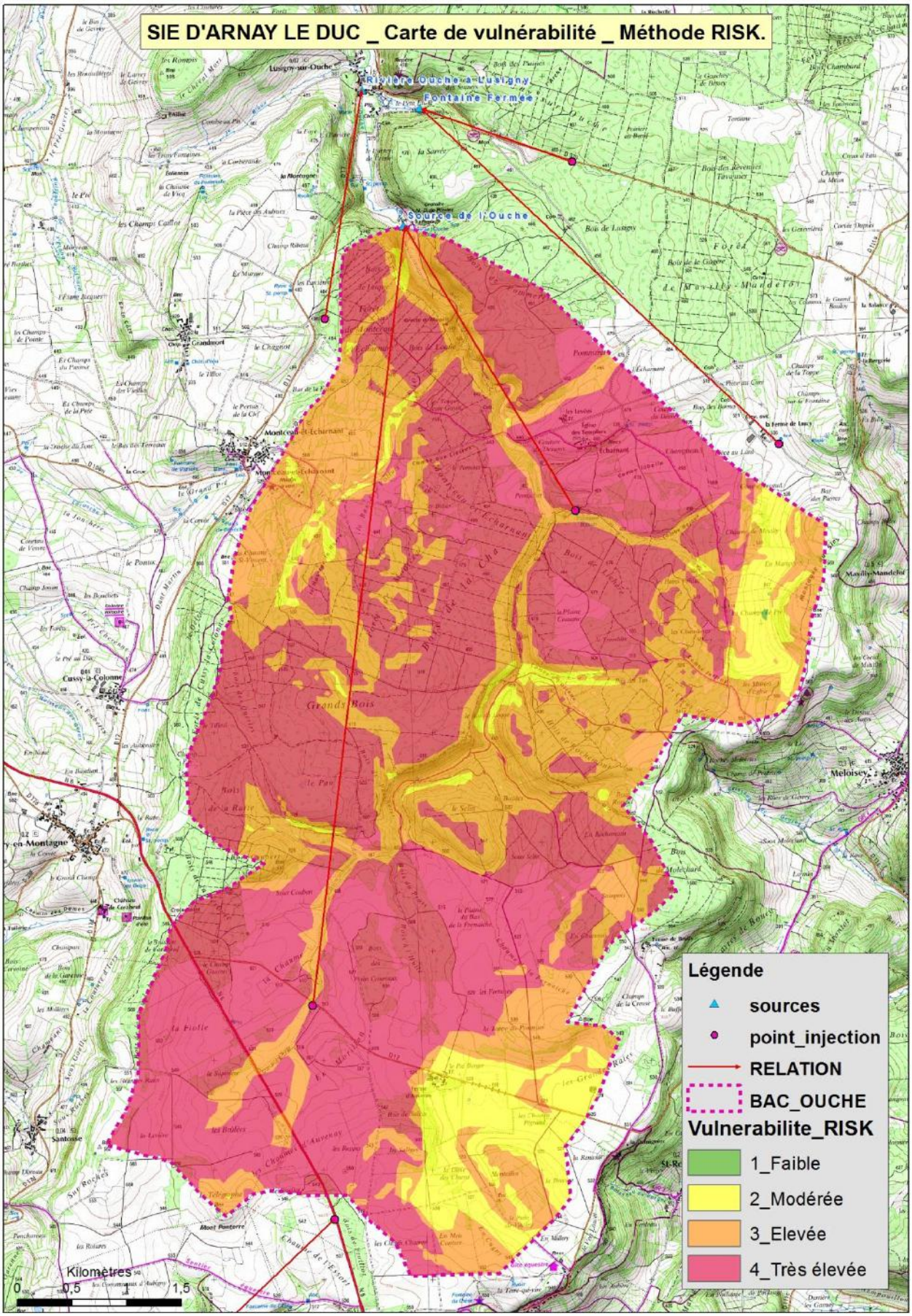


Figure 35 : Carte de l'occupation du sol.

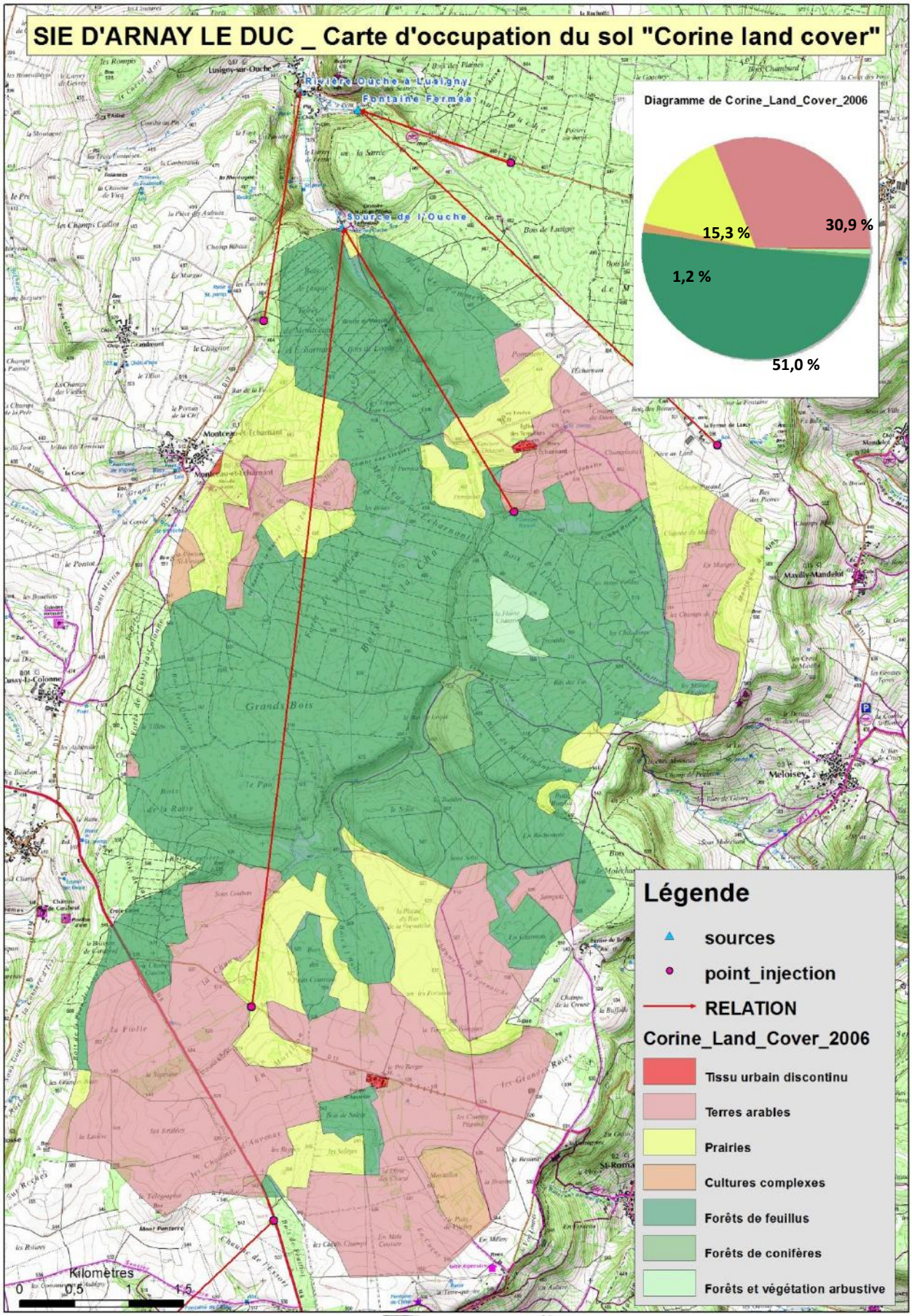


Figure 36 : Cartes des pressions de pollution.

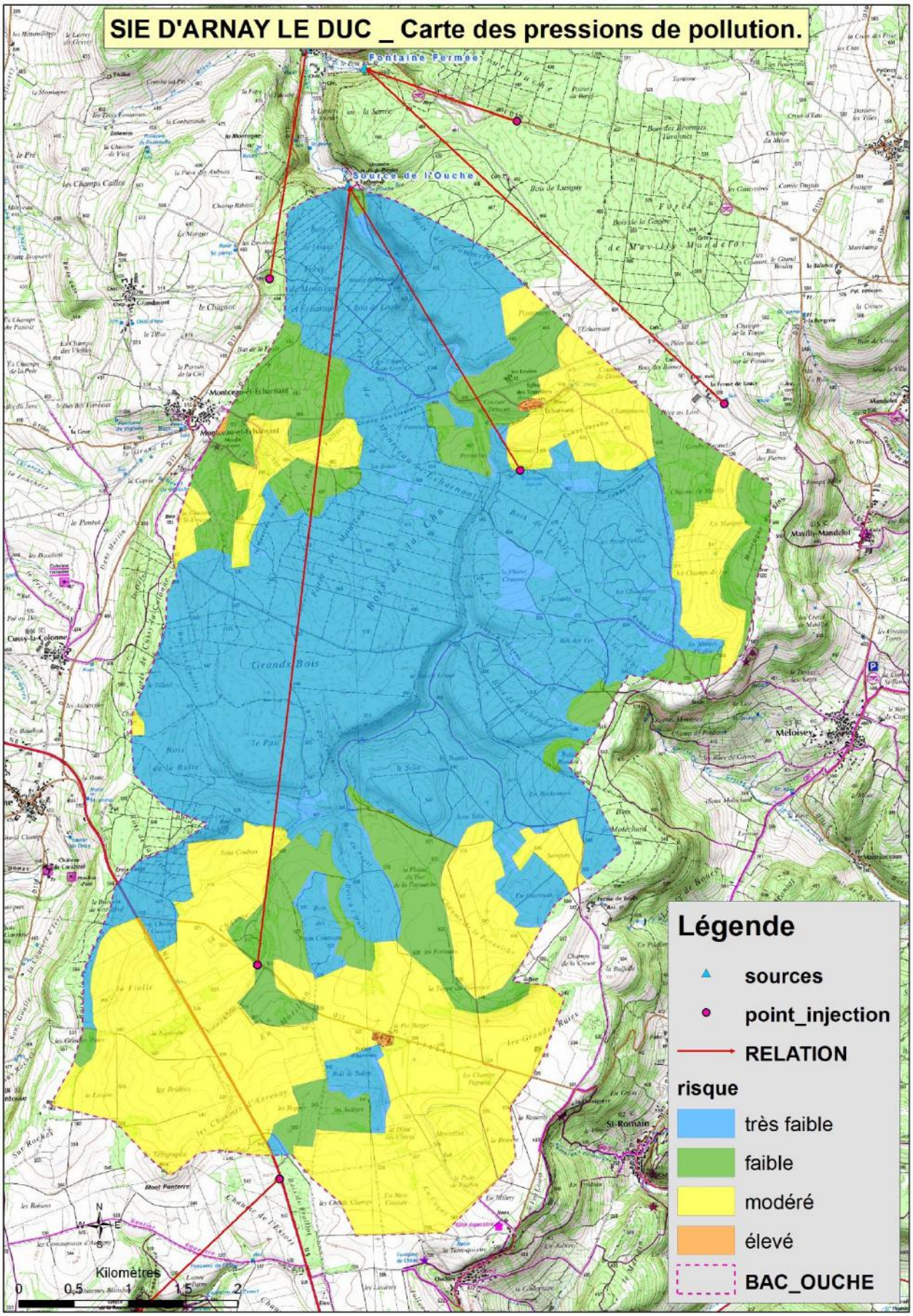
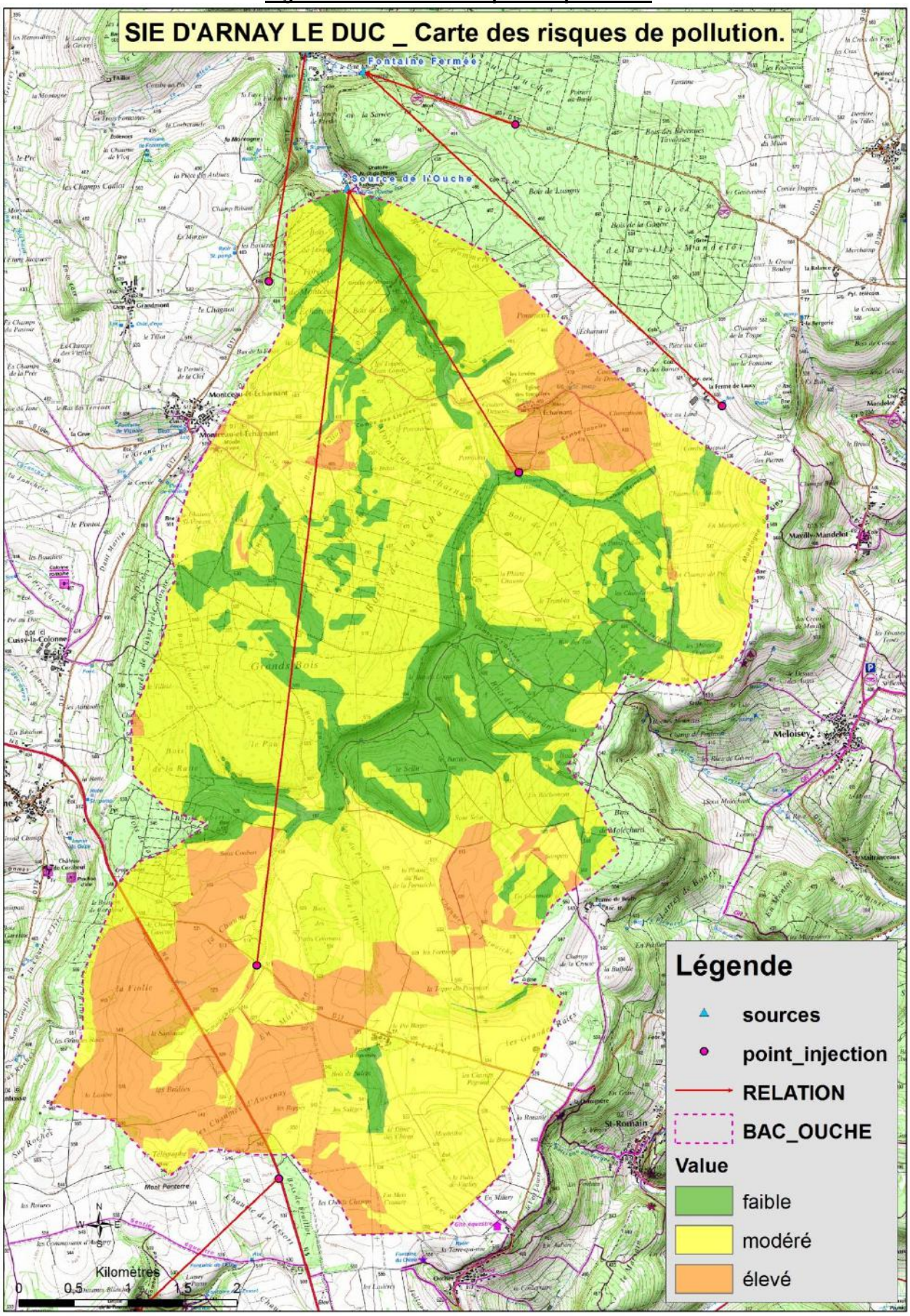


Figure 37 : Carte des risques de pollution.



5.3. INTERPRETATION DES CARTES.

La carte de vulnérabilité montre une forte vulnérabilité du BAC de la source de l'Ouche avec 90% des surfaces classées en vulnérabilité élevée et très élevée.

Figure 38 : Tableau de répartition des surfaces en fonction du degré de vulnérabilité.

	Surfaces en ha	%
2_modérée	371	10%
3_élevée	1131	31%
4_très élevée	2126	59%
SOMME	3628	

La carte d'occupation du sol, provient de la base de données en ligne Corine Land Cover année 2006. Le BAC est partagé entre la forêt et les cultures, le tableau ci-dessous détail la répartition des surfaces.

Figure 39 : Tableau de répartition des surfaces en fonction de l'occupation du sol.

		Surfaces en ha	%
Zones urbanisées	Tissu urbain discontinu	4,63	0,1%
Cultures	Terres arables	1121,02	30,9%
	Cultures complexes	45,11	1,2%
Prairies	Prairies	556,18	15,3%
Forêts	Forêts de feuillus	1850,51	51,0%
	Forêts de conifères	25,31	0,7%
	Forêt et végétation arbustive	25,4	0,7%
	SOMME	3628,16	

La carte des pressions polluantes correspond à une indexation de la carte d'occupation du sol. Le tableau ci-dessous indique les correspondances entre le type d'occupation du sol et l'indice utilisé.

Figure 40 : Tableau d'indexation de la pression de pollution en fonction de l'occupation du sol.

	Type d'occupation du sol fig.33	Pression de pollution fig.34
Zones urbanisées	Tissu urbain discontinu	**élevée_3**
Cultures	Terres arables	**modérée_2**
	Cultures complexes	**modérée_2**
Prairies	Prairies	**faible_1**
Forêts	Forêts de feuillus	**très faible_0**
	Forêts de conifères	**très faible_0**
	Forêt et végétation arbustive	**très faible_0**

La dernière carte des risques de pollution correspond au croisement de la carte de vulnérabilité et de pression de pollution. Elle permet de déterminer les surfaces sur lesquelles devront se porter les efforts de limitation des flux de pollution. Les surfaces qui présentent un risque élevé pour les pollutions diffuses correspondent exclusivement à des cultures (terres arables et cultures complexes de Corine land cover).

Figure 41 : Tableau de répartition des surfaces en fonction du risque de pollution.

	Surfaces en ha	%
1_faible	731	20%
2_modéré	2250	62%
3_élevé	647	18%
SOMME	3628	

Il n'y a pas de risques 0_très faibles, ni 4_très élevés.
Les surfaces à prendre en compte dans le cadre de mesure de restauration de la qualité des eaux sont celles qui sont classées en risques 3_élevés et qui correspondent à 647 ha de terres cultivées.

6. SYNTHESE.

Les cartographies PaPRIKa réalisées dans le cadre de l'étude représentent une superficie totale de 416 km^2 répartie dans 6 ressources majeures. Les superficies des ressources majeures sont très hétérogènes, elles sont comprises entre 11 km^2 (Source de la Bornue) et 198 km^2 (Source de la Bèze).

Les Figure 42 & Figure 43 illustrent la répartition des surfaces en fonction des classes de vulnérabilité et de risque pour les 6 ressources cartographiées par la méthode PaPRIKa.

La classe de vulnérabilité élevée est la plus importante avec 62 % des surfaces. La classe de vulnérabilité modérée représente 29 %. La classe de vulnérabilité faible ne représente que 4,5 %. Cette répartition est caractéristique des milieux calcaires karstiques, qui n'offrent que peu de protection vis-à-vis des infiltrations et des flux de polluants.

La cartographie de la vulnérabilité constitue un document de référence dans la gestion du territoire. Les nouveaux projets d'aménagement potentiellement générateurs de flux de pollution sont à implanter prioritairement dans les zones de plus faible vulnérabilité et/ou à équiper de manière à mettre en place des dispositifs permettant de gérer le devenir et de traiter les eaux pluviales et les rejets et de maîtriser les pollutions accidentelles.
Pour les installations existantes soumises à autorisation ou déclaration et les installations classées pour la protection de l'environnement ; qui présentent par leur nature ou par leurs conditions d'exploitation un risque de pollution accidentelle ; il conviendrait de vérifier si elles disposent de moyens de prévention, d'alerte et de réduction d'impact opérationnels permettant de réduire ce risque à un niveau acceptable pour l'objectif de production d'eau potable, et, le cas échéant, les équiper dans un délai raisonnable.

Concernant les zone à risque, la classe la plus représentée est les risques faible avec 45 % et la classe des risques modérés avec 30 %, comparable aux vulnérabilités modérées. Les risques élevés représentent 24 %. Le passage de la cartographie de la vulnérabilité à celle du risque s'accompagne d'un glissement de la classe élevée à la classe faible. Cela traduit la prédominance des surfaces, où l'occupation du sol est à faible risque (forêt et prairie) sur les ressources majeures. La cartographie des risques constitue une photographie de l'occupation du sol actuelle croisée avec les caractéristiques physiques du milieu. E**lle est un outil d'aide à la décision pour guider les choix d'intervention en vue de la protection de la ressource en eau** en ciblant les zones à plus hauts risques.

Remarque : Échelle d'utilisation des cartes : la notion d'échelle est importante, car elle influence la résolution de la cartographie proposée et la précision des limites. Les cartes utilisées pour ce travail sont : la carte topographique au 1/25 000ème ; la carte géologique au 1/50 000ème ; le modèle numérique de terrain qui possède des mailles de 100 x 100 m ; les cartes pédologiques au 1/100 000ème (sud de la zone) ; le référentiel pédologique au 1/250 000ème (nord de la zone). Plus l'échelle diminue, plus les contours des objets à représenter sont simplifiés et imprécis. Les limites des RKM, qui sont dessinées à partir des cartes topographiques et géologiques, ont une précision de l'ordre de 50 m. Les limites des zones de vulnérabilité ont une précision de 100 m pour les couches sol (au 1/100 000ème), ZNS, infiltration, roche et karst, et de 250 m pour la couche sol (au 1/250 000ème). A ces ordres de

grandeur de la précision technique des cartes, il faut ajouter les imprécisions de représentation de certains objets tels que les failles géologiques, les couches géologiques, les formations superficielles, la répartition des sols…
Au final, la précision des cartes proposées est comprise entre 100 et 250 m. Les limites sont donc transposables au parcellaire avec une certaine latitude.

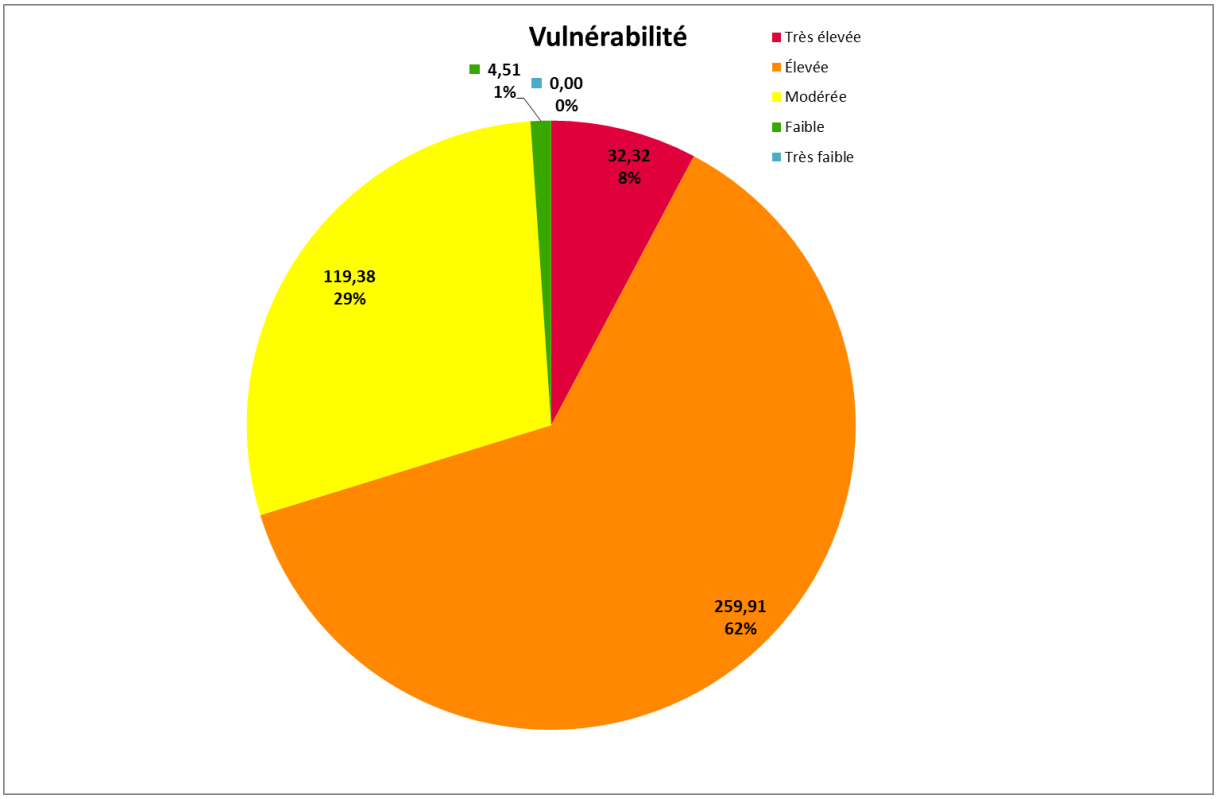


Figure 42 : Répartition des surfaces en km^2 par classe de vulnérabilité.

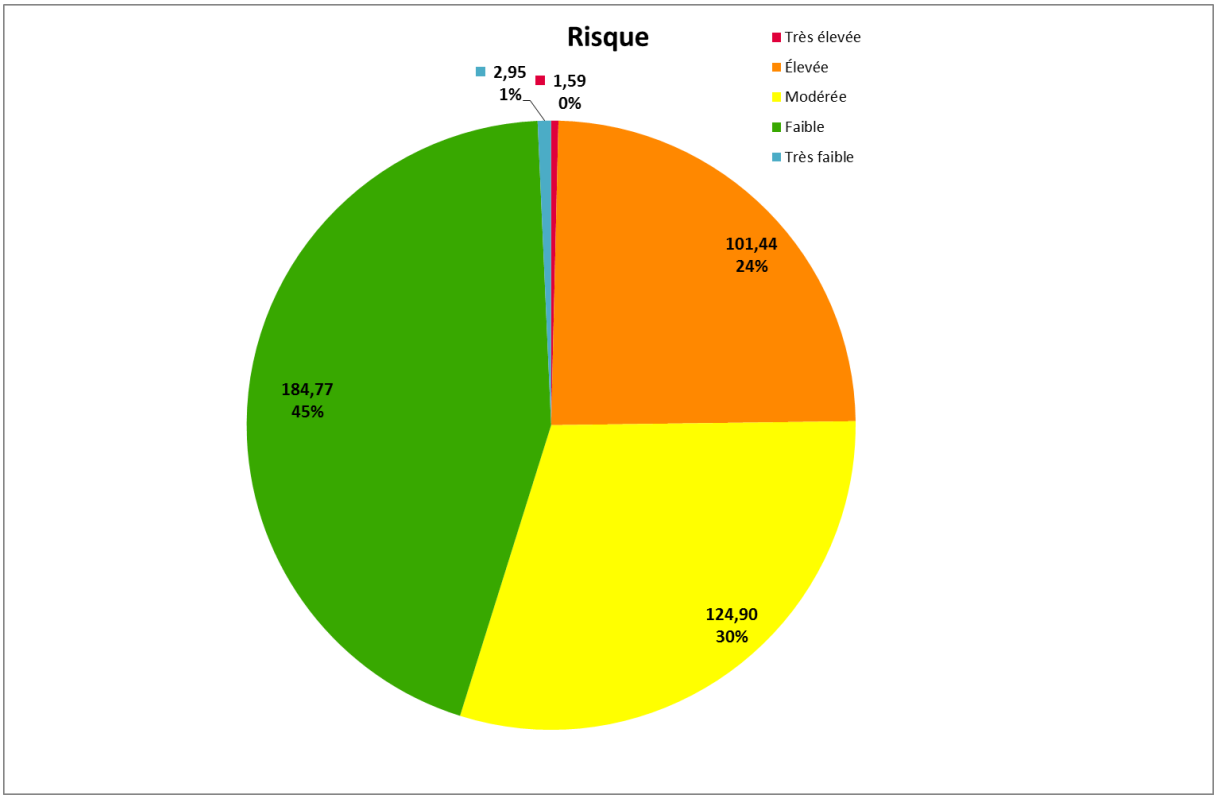


Figure 43 : Répartition des surfaces en km^2 par classe de risque