

Document à accès immédiat

Étude des fonctions hydrologiques des têtes de bassin versant de la Vienne - Volet 1 : caractérisation des bassins versants

Rapport final

BRGM/RP-71858-FR

Version 1 du 10 mai 2022

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

Compère Fabrice, Rillard Jean, Audru Jean-Christophe

Vérificateur :

Nom : Saltel Marc

Fonction : Hydrogéologue

Date : 89 3740 46 -625 5 12/05/2022

Signature :



Approbateur :

Nom : Audru Jean-Christophe

Fonction : Directeur régional délégué

Date : 13/05/2022

Signature :



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

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

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

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

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

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

Votre avis nous intéresse

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

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



Mots clés :

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

Compère Fabrice, Rillard Jean, Audru Jean-Christophe (2022) – Étude des fonctions hydrologiques des têtes de bassin versant de la Vienne - Volet 1 : caractérisation des bassins versants. Rapport final V1. BRGM/RP-71858-FR, 94 p.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-20/01/2022

Synthèse

La partie amont du bassin versant de la Vienne est caractérisée par la présence d'un chevelu très dense de très petits cours d'eau et de zones humides. Les têtes de bassins assurent de nombreuses fonctions de régulation des flux, d'actions physiques et biogéochimiques, en plus de leurs fonctions écologiques. Les récentes années de sécheresse ont mis en exergue la fragilité des têtes de bassin en lien avec la faible capacité de stockage de l'hydrosystème de socle. Des difficultés d'approvisionnement en eau potable ont ainsi pu être constatées localement ainsi qu'un tarissement de petits cours d'eau.

Pour ces raisons, l'Établissement public territorial de bassin de la Vienne a demandé au BRGM de mettre en œuvre un programme de recherche consacré à la compréhension du fonctionnement des hydrosystèmes de têtes de bassin et la simulation de leur évolution dans le cadre du changement climatique. Ce projet, réalisé de 2021 à 2026, comporte 4 volets, le présent rapport constituant le rapport de synthèse du volet 1.

Le territoire couvert par la présente étude s'étend sur les départements de la Haute-Vienne, de la Creuse et de la Corrèze, et correspond au périmètre du contrat territorial Vienne Amont « Sources en action ». L'objectif principal de cette étude réside dans l'amélioration des connaissances dans un contexte où le dispositif existant de suivis hydrologiques et piézométriques est insuffisant pour comprendre le fonctionnement des têtes de bassin.

Dans le cadre du volet 1, une base de données multicritères a été élaborée afin de caractériser les bassins versants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour la sélection de bassins versants (volet 2) représentatifs de diverses thématiques (géologie, occupation des sols, milieux naturels...) qui doivent faire l'objet de mesures de débits et piézométriques dans la suite du projet.

Les contextes géologique et hydrogéologique sont décrits sur la base d'un schéma conceptuel des aquifères en domaine de géologie de socle qui fait office aujourd'hui de référence. Une carte géologique synthétique a pu être produite, spécifique au secteur à l'étude, et une analyse de l'ensemble des dossiers disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) a été réalisée. Une attention particulière a été portée aux altérites, dont la répartition et l'impact sur la dynamique des hydrosystèmes n'est pas connue.

Les éléments de caractérisation traités ont concerné la météorologie (données SAFRAN), l'hydrologie, l'utilisation de MNT pour le tracé de bassins versants et le calcul d'indicateurs hydro-morphologiques, l'occupation de sols, les plans d'eau, les zones humides, les prélèvements et rejets.

Des modèles globaux (approche GARDENIA) ont été mis en œuvre sur une sélection de 14 bassins versants peu influencés dans et autour du périmètre « Sources en action » afin notamment d'évaluer la contribution des apports souterrains aux débits des cours d'eau. La contribution des écoulements rapides aux débits des cours d'eau est comprise entre 30 % et 96 % ; les rivières présentant les écoulements les plus lents selon l'approche GARDENIA correspondent bien aux cours d'eau où s'observe une meilleure conservation du débit à l'étiage.

Les données acquises et leur structuration constituent un outil d'aide à la décision pour la sélection de bassins versants (volet 2) représentatifs de diverses typologies (combinant géologie, occupation des sols, milieux naturels...) et qui doivent faire l'objet d'équipements pour mesures de débits et piézométriques.

Sommaire

1. Contexte et objectifs de l'étude	9
2. Méthodologie	12
3. Contextes géologique et hydrogéologique	14
3.1. Généralité sur le fonctionnement hydrogéologique en domaine de géologie de socle	14
3.2. Processus de formation des roches aquifères en domaine de géologie de socle	17
3.2.1. Les conditions de formation des altérites	17
3.2.2. Le profil d'altération	17
3.2.3. Les altérites meubles rencontrées en Limousin	18
3.2.4. Les boules de granite	21
3.2.5. L'horizon fissuré.....	22
3.2.6. Le socle sain ou massif observable en Creuse	23
3.3. Cartes géologiques	24
3.4. PEDOLOGIE	26
3.5. Données disponibles dans la banque de données du sous-sol (BSS).....	28
3.6. Cartographie des alterites en place.....	30
3.7. Suivis piézométriques	32
4. Eléments de caractérisation des bassins versants	35
4.1. Météorologie	35
4.2. Hydrologie	39
4.3. Modèles numériques de terrain, cartographie de réseaux et de bassins versants.....	43
4.4. Indicateurs hydro-morphologiques	48
4.4.1. L'indice de compacité	48
4.4.2. La densité de drainage	51
4.4.3. L'Indice de Persistance et de Développement des Réseaux (IDPR).....	53
4.4.4. Types de relief : Indice Topographic Position Index (TPI) et TPI LandForm.....	56
4.5. Occupation du sol	61
4.6. Plans d'eau	66
4.7. Zones humides	69
4.8. Prélèvements, REJETS	74
5. Modélisations sous GARDENIA	75
5.1. Descriptif de gardenia	75
5.2. Bassins versants simulés et méthodologie.....	78
5.3. Principaux résultats	81
6. Utilisation de la base de données pour l'identification de têtes de bassins versants représentatives	85
7. Conclusion	86
8. Bibliographie	87

Liste des figures

Figure 1 : Étendue du secteur à l'étude correspondant au périmètre « Sources en action ».....	10
Figure 2 : Schéma conceptuel des aquifères en domaine de géologie de socle (source Wyns et al., 1999 et 2004)	14
Figure 3 : Représentation en bloc 3D des aquifères de socle (source SIGES Poitou-Charentes-Limousin).....	15
Figure 4 : Altérites de granite, colluvionnées sur le haut du profil et en place en dessous, le Massadour, commune de Saint-Pardoux-Morterolles (Creuse)	19
Figure 5 : Altérites de granite, ici 2 m d'épaisseur, Chaumazelle, commune de Saint-Julien-La-Genête (Creuse).....	19
Figure 6 : Altérites de gneiss, Chez Couyer, commune de le Vigen (Haute-Vienne).....	20
Figure 7 : Altérites de leptynites (aspect de gneiss), Maison-Neuve, commune de Saint-Priest-Ligoure (Haute-Vienne)	20
Figure 8 : Formation de chaos de blocs par démantèlement des altérites, source DREAL Poitou-Charentes, 2009.....	21
Figure 9 : Boules de granite, ruisseau du Pic à Augerolles, commune de Saint-Pardoux-Morterolles (Creuse).....	22
Figure 10 : Lentille de granite fissuré emballée dans des altérites sableuses, à L'Âge Pouret, commune de Bazelat (Creuse)	22
Figure 11 : Horizon fissuré du granite, débité ici pour tailler des escaliers, La Chapelle Baloue (Creuse)	23
Figure 12 : Horizon fissuré, La Grange, commune de Fleurat (Creuse).....	23
Figure 13 : Carte géologique à 1/50 000 vectorisée et harmonisée (territoire de « Sources en action »)	24
Figure 14 : Carte géologique à 1/50 000 vectorisée et harmonisée après simplification/fusion des descriptions de faciès (territoire de « Sources en action »).....	25
Figure 15 : Distribution de la lithologie des faciès à l'affleurement sur le territoire de « Sources en action »	26
Figure 16 : Extrait de la carte de la réserve utile en eau des sols issue de la Base de Données Géographique des Sols de France (Le Bas, 2018)	27
Figure 17 : Inventaire des types de points bancarisés à la BSS (territoire de « Sources en action »)	28
Figure 18 : Inventaire des usages renseignés des ouvrages de la BSS (territoire de « Sources en action »)	29
Figure 19 : Cartographie de la présence ou non d'altérites (territoire de « Sources en action »)	31
Figure 20 : Inventaires des ouvrages du réseau piézométrique Limousin.....	33
Figure 21 : Suivis piézométriques sur les trois piézomètres implantés sur le territoire « Sources en action ».....	34
Figure 22 : Précipitations annuelles (moyennées sur la période 1959-2020) par maille SAFRAN	36

Figure 23 : Évolutions de 1959 à 2020 des précipitations annuelles moyennées sur 144 mailles SAFRAN et sur les mailles SAFRAN N°5790 (plus faible moyenne interannuelle) et N°6626 (plus forte moyenne interannuelle)	36
Figure 24 : ETP annuelle (moyennée sur la période 1959-2020) par maille SAFRAN.....	37
Figure 25 : Évolutions de 1959 à 2020 de l'ETP annuelle moyennée sur 144 mailles SAFRAN et sur les mailles SAFRAN N°6708 (plus faible moyenne interannuelle) et N°6708 (plus forte moyenne interannuelle).....	37
Figure 26 : Somme annuelle des valeurs journalières des différences positives entre précipitation P et ETP (moyennée sur la période 1959-2020) par maille SAFRAN.....	38
Figure 27 : Évolutions de 1959 à 2020 de la somme annuelle du paramètre (P-ETP)>0 annuelle moyennée sur 144 mailles SAFRAN et sur les mailles SAFRAN N°5790 (plus faible moyenne interannuelle) et N°6626 (plus forte moyenne interannuelle).....	38
Figure 28 : Réseau hydrographique (BD TOPAGE) et stations de mesures de débit sur le territoire « Sources en action »	39
Figure 29 : Inventaire des stations hydrologiques sur le territoire Sources en action.....	40
Figure 30 : Points de l'Observatoire National Des Étiages (ONDE) sur le territoire « Sources en action »	41
Figure 31 : Points de l'Observatoire National Des Étiages (ONDE) sur le territoire « Sources en action »	42
Figure 31 : Cartographie des obstacles à l'écoulement sur le territoire « Sources en action » .	43
Figure 32 : Cartographie de l'altitude sur le territoire de Sources en action.....	44
Figure 33 : Évolution du réseau de drainage calculé en fonction du flux d'accumulation retenu	45
Figure 34 : Évolution du linéaire de réseau de drainage en fonction du flux d'accumulation retenu et comparaison avec le réseau de cours d'eau de la base de données TOPAGE	45
Figure 35 : Comparaison entre le réseau de drainage calculé pour un flux d'accumulation minimal de 500 000 et le réseau de cours d'eau issu de la BD Topage.....	46
Figure 36 : Délimitation des bassins versants tracés sur la base de flux d'accumulation seuil de 5 000 000 et 1 000 000.	47
Figure 37 : Visualisation du log à base 10 du flux d'accumulation sur un secteur au Sud-Est de Saint-Léonard-de-Noblat.....	48
Figure 38 : Formule de l'indice de compacité de Gravelius K_G et visualisation de l'évolution de la forme d'un bassin versant en fonction de K_G	49
Figure 39 : Cartographies de l'indice de compacité de Gravelius K_G à deux échelles de bassins versants	50
Figure 40 : Cartographies de la densité de drainage (BD Topage) à deux échelles de bassins versants	52
Figure 41 : Cartographie de l'IDPR au pas de 50 m sur le territoire de « Sources en action »..	54
Figure 42 : Cartographie de l'IDPR au pas de 50 m à deux échelles de bassins versants (territoire de Sources en action)	55
Figure 43 : Exemple de la variation de l'indice TPI en fonction de la taille du voisinage choisi pour son calcul.....	56
Figure 44 : Cartographie de l'indice TPI Landform sur le territoire de « Sources en action »....	57

Figure 45 : Comparaison entre cartographie de l'altitude et de l'indice TPI Landform (classification des reliefs reprise de Weiss, 2001).....	58
Figure 46 : Cartographie du type relief le plus représenté à deux échelles de bassins versants (classification des reliefs reprise de Weiss, 2001)	59
Figure 47 : Cartographie du type relief le plus représenté au second rang à deux échelles de bassins versants (classification des reliefs reprise de Weiss, 2001)	60
Figure 48 : Pourcentage en surface de chaque catégorie de relief par formation géologique à l'affleurement (classification des reliefs reprise de Weiss, 2001)	61
Figure 49 : Comparaison entre les bases de données d'occupation du sol Corine Land Cover et PIGMA (commune de Bourgneuf - Creuse)	62
Figure 50 : Liste des types d'occupation des sols (base PIGMA, 2015) les plus représentés par niveau (de 1 à 4) sur le territoire de « Sources en action ».....	63
Figure 51 : Catégories d'occupation des sols de niveau 1 et 4 (base PIGMA, 2015) sur le territoire de « Sources en action ».....	64
Figure 52 : Catégories d'occupation des sols de niveau 2 (base PIGMA, 2015) les plus représentées à deux échelles de bassin versant	65
Figure 53 : Cartographie des plans d'eau du territoire « Sources en action » (source : EPTB Vienne).....	66
Figure 54 : Nombre de plans d'eau par bassin versant (deux échelles de bassins versants)....	67
Figure 55 : Pourcentage de la surface des bassins versants occupé par des plans d'eau (deux échelles de bassins versants).....	68
Figure 56 : Classifications des types (niveau 1) et sous-types (niveau 2) de zones humides ...	69
Figure 57 : Cartographie des zones humides (classification de niveau 2) à l'échelle du territoire « Sources en action ».....	70
Figure 58 : Sous-type (niveau 2) de zones humides le plus représenté à deux échelles de bassins versants (territoire de « Sources en action »)	71
Figure 59 : Pourcentage en superficie de chaque bassin versant (à deux échelles) couvert de zones humides (territoire de « Sources en action »).....	72
Figure 60 : Cartographie des prélèvements de la base de données de l'Agence de l'Eau (territoire de « Sources en action »).....	74
Figure 61 : Principaux mécanismes du cycle de l'eau modélisés par GARDENIA (Thiéry, 2019)	75
Figure 62 : Principaux mécanismes et paramètres du cycle de l'eau modélisés par GARDENIA (schéma à 1 réservoir souterrain)	76
Figure 63 : Divers schémas de réservoirs utilisables sous GARDENIA (Thiéry, 2019)	77
Figure 64 : Localisation des bassins versants topographiques ayant fait l'objet d'une modélisation sous GARDENIA (territoire de « Sources en action »).....	79
Figure 65 : Principales caractéristiques des bassins versants simulés sous GARDENIA (territoire de « Sources en action »).....	80
Figure 66 : Exemple de bilan au pas de temps journalier pour le bassin versant de la Vige à Saint-Martin-Sainte-Catherine (territoire de « Sources en action »)	80
Figure 67 : Bilans de la simulation GARDENIA réalisée sur le bassin versant de la Combade à Roziers-Saint-Georges (BV 8 du territoire de « Sources en action »)	82

Figure 68 : Comparaison des débits moyens interannuels et QMNA5 observés et simulés (territoire de « Sources en action »)	83
Figure 69 : Pourcentage d'écoulement rapide calculé en fonction de l'IDPR moyen pour les 14 bassins simulés sous GARDENIA (territoire de « Sources en action »)	84
Figure 70 : Rapport entre QMNA5 et débit moyen interannuel (exprimé en %) en fonction du pourcentage d'écoulement rapide calculé pour les 14 bassins simulés sous GARDENIA (territoire de « Sources en action »)	84

Liste des annexes

Annexe 1 Occupation des sols : niveaux 1 à 4 de la base de données PIGMA et comparaison avec la base de données Corine Land Cover	89
Annexe 2 Paramètres des simulations GARDENIA	90
Annexe 3 Evolution des QMNA (m ³ /s) observés et simulés sur les 14 bassins modélisés sous GARDENIA.....	91

1. Contexte et objectifs de l'étude

La partie amont du bassin versant de la Vienne est caractérisée par la présence d'un chevelu très dense de très petits cours d'eau (2 200 km de linéaire). Des zones humides couvrent 10 % de la surface de ce bassin amont, soit une surface proche de 22 000 ha. Le secteur se caractérise également par une forte densité d'étangs, proche de 0,5 étang/km².

Les rôles des têtes de bassin sont variés :

- régulation des flux hydriques : expansion des crues, régulation et soutien des débits d'étiage ;
- fonctions physiques et biogéochimiques : protection contre l'érosion, épuration des eaux (phosphore, nitrates, produits phytosanitaires et certains métaux lourds) ;
- fonctions écologiques : habitat pour de nombreuses espèces endémiques : droseras, écrevisse à patte blanche, mulette perlière ;
- zones réceptacles et émettrices de sédiments qui participent également de façon notable à la dégradation et transformation de la matière organique par l'activité microbienne (notamment les champignons).

Les récentes années de sécheresse ont mis en exergue la fragilité des têtes de bassin en lien avec la faible capacité de stockage de l'hydrosystème de socle, accrue par des travaux de drainage et des plantations de résineux sur zones humides ou à proximité de cours d'eau. Des difficultés d'approvisionnement en eau potable ont ainsi pu être constatées localement ainsi qu'un tarissement de petits cours d'eau.

Les conséquences sur l'abreuvement du bétail (activité agricole principale du territoire) et sur la sylviculture, doivent également être prises en considération compte tenu de la fragilité de la ressource. Ces effets sont amplifiés par des altérations hydromorphologiques : piétinement des rives par le bétail pour l'abreuvement, présence d'étangs, fermeture des cours d'eau par une forêt dense, drainage des zones humides, développement de cyanobactéries dans les eaux stagnantes...

Le dispositif existant de suivis hydrologiques (4 sous-bassins non influencés) et piézométriques (3 ouvrages suivis) est insuffisant pour comprendre le fonctionnement des têtes de bassin.

Le territoire couvert par la présente étude s'étend sur les départements de la Haute-Vienne, de la Creuse et de la Corrèze, et correspond au périmètre du contrat territorial Vienne Amont « Sources en action » (2 200 km² - Figure 1). Mis en œuvre depuis 2011, et co-porté par l'EPTB Vienne et le Parc Naturel Régional (PNR) Millevalches, ce programme regroupait en 2020, 25 porteurs de projets (collectivités, associations, structures publiques) œuvrant pour la sensibilisation, la restauration, la gestion et la préservation des milieux aquatiques des têtes de bassin de la Vienne amont. Les actions concernent principalement les compartiments cours d'eau et zones humides de l'hydrosystème.

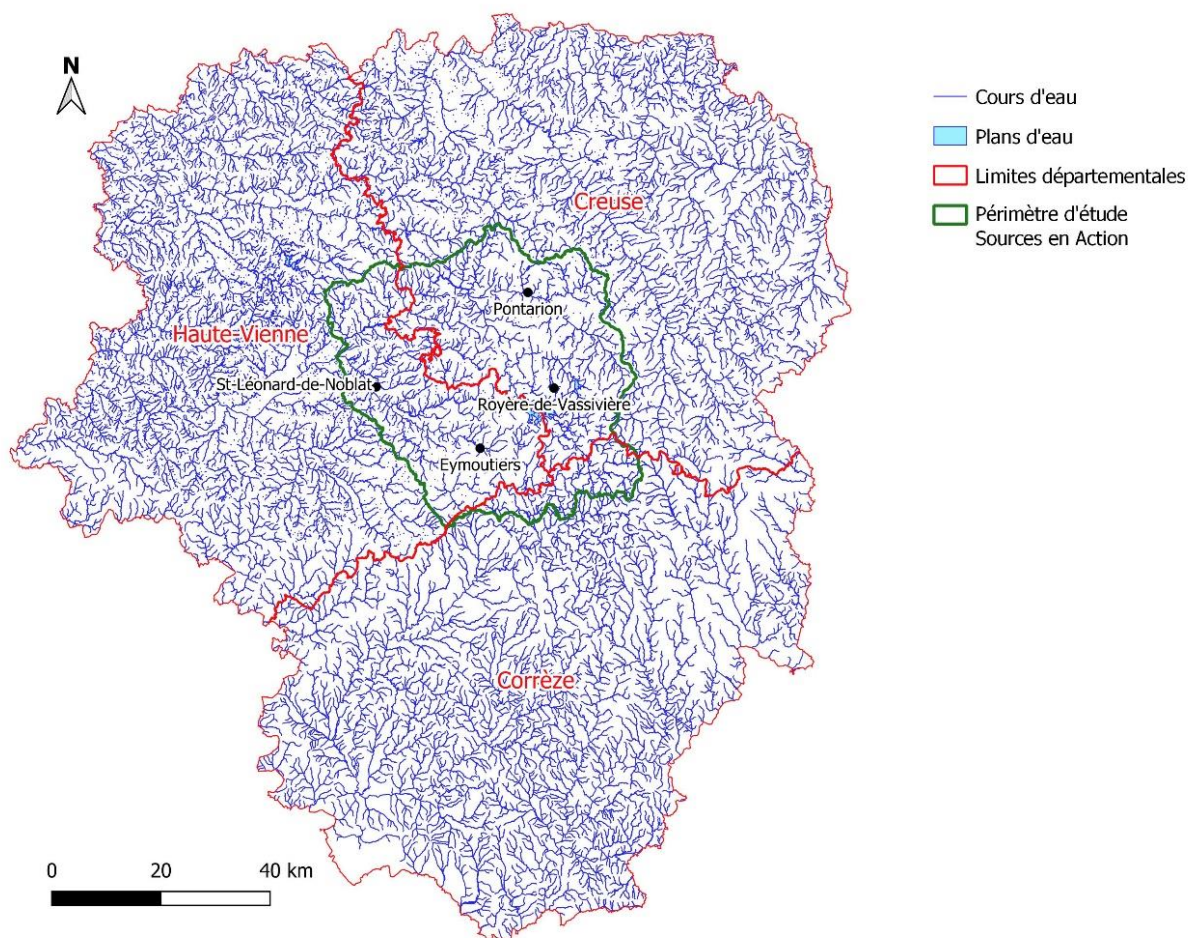


Figure 1 : Étendue du secteur à l'étude correspondant au périmètre « Sources en action »

L'objectif principal de cette étude vise l'amélioration des connaissances pour permettre d'orienter des politiques de gestion des têtes de bassin dans un contexte de changement climatique. Le programme d'étude s'articule sur 4 volets principaux qui sont liés entre eux :

- Volet 1 : sur la base de la synthèse et de l'analyse des données existantes, et de la mise en œuvre de modèles globaux sur différents bassins versants suivis, une base de données multicritères est établie. Cette base doit permettre d'établir des typologies de fonctionnement de bassins versants. L'objectif est d'identifier, dans la mesure des données disponibles, les facteurs environnementaux corrélés à la contribution des apports souterrains aux débits des cours d'eau, avec notamment la caractérisation de l'influence des zones humides sur ces derniers ;
- Volet 2 : sur la base des résultats du Volet 1, le second volet intéresse dans un premier temps l'identification de têtes de bassins versants représentatives. La mise en place d'un réseau complémentaire de suivi (mesures de débits et piézométriques) sera effectuée sur les secteurs retenus ;
- Volet 3 : le réseau de mesures complémentaires mis en place fera l'objet d'un suivi régulier et d'éventuelles adaptations. Les données acquises permettront, via une approche modélisatrice (modèles globaux) de caractériser l'évolution de la relation pluies-

débits, les capacités de stockage dynamique et les interactions entre les diverses composantes de l'hydrosystème : eaux de surface, eaux souterraines, zones humides. Les résultats obtenus viendront alimenter la base de données multicritères issue du Volet 1 ;

- Volet 4 : simulations prospectives de l'évolution des hydrosystèmes face aux changements climatiques. Des pistes d'actions pour atténuer localement les effets négatifs du dérèglement climatique sur les usages et les milieux seront proposées, en concertation avec les acteurs locaux.

Ce rapport présente les principaux résultats obtenus dans le cadre du volet 1 en termes de caractérisation des bassins versants.

2. Méthodologie

Le volet 1 de l'étude visait dans un premier temps à caractériser les bassins versants du territoire « Sources en action » (Figure 1).

Les contextes géologique et hydrogéologique sont décrits dans un premier temps, sur la base d'un schéma conceptuel des aquifères en domaine de géologie de socle qui fait office aujourd'hui de référence. Une carte géologique synthétique a pu être produite, spécifique au secteur d'étude, et une analyse de l'ensemble des dossiers disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) a été réalisée.

Le complexe multicouche en place comprend des altérites meubles, un horizon fissuré et une roche saine. Les informations disponibles en BSS s'avèrent insuffisantes pour décrire l'épaisseur de l'horizon fissuré et sa productivité. Par ailleurs, un nombre restreint de valeurs de paramètres hydrodynamiques a pu être recensé. Une attention particulière a été portée quant à la présence d'altérites, avec toutefois une densité de points trop faible pour espérer en établir une cartographie.

Les éléments de caractérisation des bassins versants ont concerné :

- l'aspect météorologie : approche de la variation spatiale et temporelle des paramètres précipitations et évapotranspiration (ETP) sur la base des chroniques issues de la grille SAFRAN produites par Météo France ;
- l'hydrologie : réseau hydrographique (BD Topage), inventaires des stations de mesure des débits et obstacles à l'écoulement ;
- sur la base d'un modèle numérique de terrain, le tracé de réseaux de drainage et de bassins versants (à deux échelles) ;
- les indicateurs hydro-morphologiques : indice de compacité, densité de drainage, indice de persistance des réseaux (IDPR), les types de relief ; ces indicateurs sont générés à la résolution de 5 m, alors que l'IDPR est disponible à la résolution de 25 m ;
- l'occupation des sols (base PIGMA, 2015) ;
- les plans d'eau ;
- les zones humides ;
- les prélèvements et rejets.

Des modèles globaux (approche GARDENIA) ont été mis en œuvre sur une sélection de bassins versants peu influencés dans et autour du périmètre « Sources en action ». La modélisation de chronique de débits permet notamment d'évaluer la contribution des apports souterrains aux débits des cours d'eau.

L'ensemble des paramètres a fait l'objet d'une bancarisation sous système d'information géographique (QGis) et sous tableur (chroniques de paramètres météorologiques, de débits et de piézométries). Des agrégations de données ont été réalisées par polygones (bassins versants couvrant le secteur à l'étude à deux échelles et bassins versants modélisés sous GARDENIA) :

- dans le cas des données disponibles sous « forme de Raster » (essentiellement les paramètres issus du traitement géomorphologique) en précisant systématiquement les valeurs de : moyenne, médiane, écart-type, minimum et maximum ;
- dans le cas de données vectorielles, pour chaque type cartographié (formation géologique, occupation des sols, type de zone humide...) sont précisées la surface

concernée et son pourcentage par rapport à la surface totale de chaque bassin versant ; au sein de chaque bassin versant, une classification par ordre décroissant des surfaces de chaque type est également générée.

3. Contextes géologique et hydrogéologique

3.1. GENERALITE SUR LE FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE EN DOMAINE DE GEOLOGIE DE SOCLE

Le territoire « Sources en action » est constitué dans son intégralité par des roches dites de « socle », en référence à des roches anciennes issues de formations profondes exhumées à la surface suite à l'érosion de chaînes de montagnes anciennes formées au cours de l'orogénèse hercynienne d'âge paléozoïque (-540 Millions d'années à -250 Millions d'années). Le terme « socle » désigne les roches dites cristallines ou métamorphiques, formées en profondeur tels que les granites et les schistes. En l'absence de fracturations et d'altérations ces roches forment des ensembles très denses et massifs, d'où l'appellation de « socle ». De telles formations se retrouvent sur l'ensemble du territoire de l'ex-région Limousin, mais également en Bretagne, dans les Vosges, le Massif Central ou une partie des Pays de Loire ou de la Normandie.

Le contexte des aquifères de socle est décrit en partie par un modèle conceptuel général relativement récent (concept apparu dans les années 2000). Il propose une explication de la mise en place d'aquifères potentiels comme illustrée sur la Figure 2 et la Figure 3.

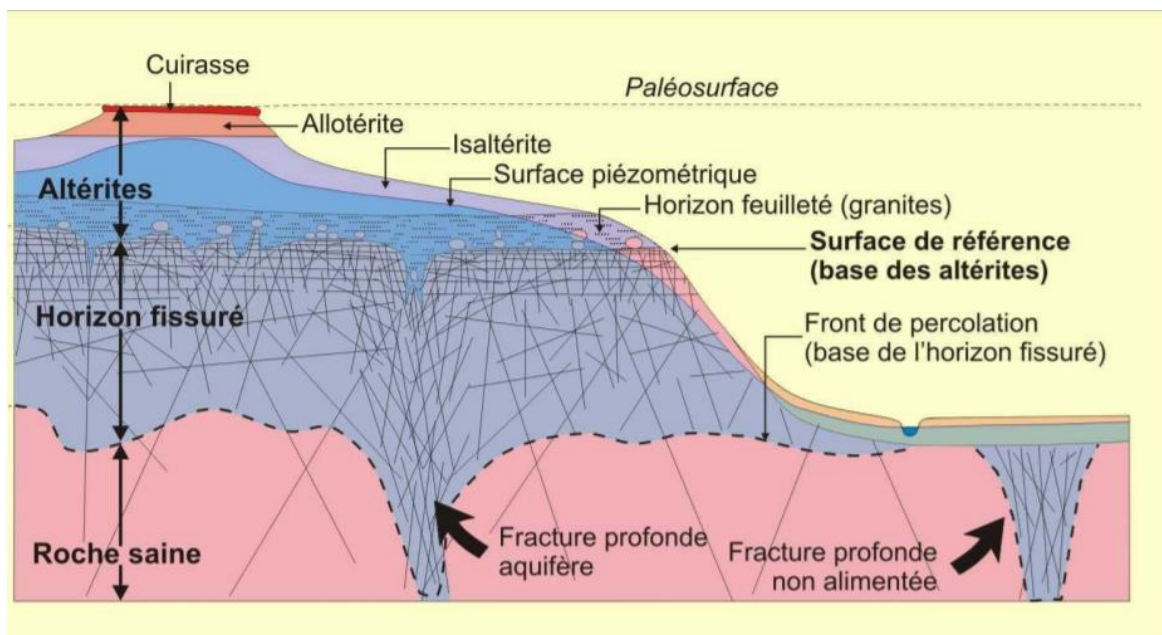


Figure 2 : Schéma conceptuel des aquifères en domaine de géologie de socle (source Wyns et al., 1999 et 2004)

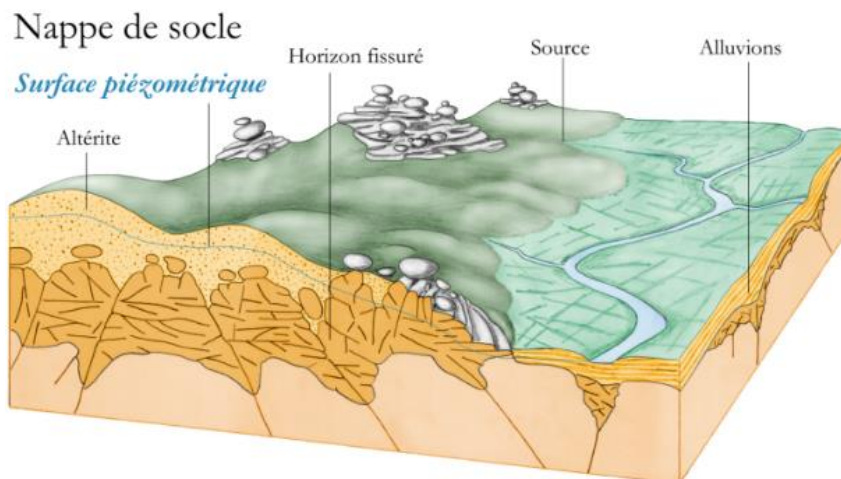


Figure 3 : Représentation en bloc 3D des aquifères de socle (source SIGES Poitou-Charentes-Limousin)

Ce modèle décrit un aquifère « *complexe multicouche* » (altérites meubles + horizon fissuré). Il est stratiforme et sa genèse est liée à des processus d'altération météorique.

Ces processus sont encore observés dans des contextes climatiques de type chauds et humides. Ces conditions ont par exemple existé au Crétacé (entre -140 Ma et -85 Ma) pour l'actuel Limousin. La mise en place de ce complexe issu de l'altération des roches suit une progression verticale depuis la surface des terrains naturels, l'intensité des altérations/transmutations est décroissante avec la profondeur.

Les altérites : elles sont en surface et composent une matrice meuble, formée de sables et de minéraux argileux en plus ou moins forte proportion. Ces altérites résultent d'une altération très poussée de la roche originelle. La proportion d'argile est guidée par la nature de la roche mère, elle est en général plus importante sur des schistes et moins forte sur des granites, mais aussi du degré d'altération. Toutes les variantes sont possibles entre ces deux textures qui conditionnent la mobilité de l'eau retenue dans ce type de réservoir.

L'horizon fissuré : il a été mis en évidence dans de nombreux sites (cf. travaux de recherche menés au BRGM depuis la fin des années 90). Cet horizon fissuré permet la circulation de l'eau (Lachassagne, et al., 2021). Selon ces travaux antérieurs, l'origine de cette fissuration résulte de contraintes engendrées par le gonflement de certains minéraux au cours du processus d'altération. Ce processus qui progresse depuis la surface vers les niveaux plus profonds, engendre une hétérogénéité de la fréquence des fissures qui décroît avec la profondeur. Les propriétés hydrodynamiques de l'horizon fissuré ont fait l'objet de caractérisation de détail (Maréchal et al, 2004, Dewandel et al 2006). Ainsi par exemple, au sein des granites, seules quelques fissures subhorizontales présentent une perméabilité suffisante pour permettre des venues d'eau significatives.

Le modèle conceptuel proposé **décrit des réservoirs potentiels**, il ne préjuge pas de la présence effective de l'eau, c'est-à-dire la présence de nappe, ou d'une productivité suffisante pour pouvoir y implanter, par exemple, un puits de pompage. Ces propriétés caractérisent l'aptitude de l'aquifère à stocker et restituer l'eau qu'il reçoit. Cette aptitude est conditionnée par la porosité efficace et la perméabilité du milieu, ces deux propriétés gouvernant le stockage et la restitution (ou de circulation) de l'eau. Elles sont nécessaires pour qualifier la présence ou non d'une nappe souterraine :

- un milieu qui ne fait que stocker, tels que par exemple une formation argileuse ou une formation massive fracturée dans laquelle les plans de fracture ne communiquent pas entre eux, n'est pas une nappe ;

- une formation massive très peu fissurée dans laquelle l'eau ne fait que circuler par les fissures n'en est pas une non plus.

La porosité, qui est la capacité du milieu à stocker une eau est décrite de la façon suivante dans les aquifères de socle :

- la partie supérieure: l'horizon des altérites meubles (fraction meuble de l'altération des formations du socle cristallin) présente une porosité efficace (i.e. porosité dans laquelle l'eau peut circuler) de l'ordre de 2 à 8 % dans les contextes les plus favorables ;
- en-dessous, dans l'horizon fissuré (fraction non meuble de l'altération des formations du socle cristallin où se développent des fissurations horizontales), la porosité varie de moins de 1 % à quelques % et diminue vers le bas pour devenir nulle à la base de l'horizon fissuré où disparaissent ces fissures et donc la capacité du milieu à contenir de l'eau (voir Figure 2).

La perméabilité est la capacité du milieu à laisser circuler l'eau, les deux couches (altérites meubles et milieu fissuré) ont des propriétés distinctes. Elles ont chacune la capacité ou non à être réservoirs pour des nappes d'eau souterraines. Il faut dans ce cas entendre le terme de *nappe* au sens d'une ressource économiquement exploitable, c'est-à-dire ayant la capacité à laisser circuler l'eau en quantité et qualité satisfaisante pour des usages tels que l'Alimentation en Eau Potable (AEP), par exemple.

- dans l'horizon des altérites meubles, cette perméabilité est en moyenne comprise entre 10^{-7} m/s et 5.10^{-6} m/s (Dewandel et al., 2006). Cette faible perméabilité est, au sens général, celle d'un semi-aquifère ou « *aquitard* », réservoir considéré de qualité médiocre en termes de production d'eau. L'épaisseur des altérites meubles varie entre <1m et jusqu'à 30 mètres en Limousin. Une nappe d'eau souterraine réside en général dans ces altérites meubles. Elle y est de très faible productivité ($< 1\text{m}^3/\text{h}$) ;
- l'horizon fissuré est plus généralement le lieu où s'établit la nappe d'eau souterraine. Cette capacité du réservoir fissuré à contenir cette nappe dépend de sa perméabilité et de son épaisseur. La perméabilité est comprise entre 10^{-6} m/s et 5.10^{-3} m/s. Dans le cas où l'horizon fissuré est caractérisé par des joints horizontaux (granites et gneiss à foliation verticale), la perméabilité est, en général, anisotrope avec une perméabilité horizontale atteignant en moyenne 10 fois la valeur de la perméabilité verticale (Maréchal et al., 2004). L'épaisseur de l'horizon fissuré est très variable selon les contextes, elle peut atteindre une centaine de mètres (Vosges). La productivité moyenne des débits d'exploitation de cet horizon, lorsque les forages parviennent à recouper des fissures productives, est de l'ordre de $4\text{ m}^3/\text{h}$ à $7\text{ m}^3/\text{h}$ en moyenne. Très exceptionnellement des débits plus intéressants pouvant atteindre plusieurs dizaines de m^3/h peuvent être observés mais dans des contextes très particuliers, avec des exemples connus en Bretagne sud en lien avec des réseaux de fractures profonds. Le taux d'échec de la recherche en eau souterraine dans ce contexte est élevé car la probabilité de recouper une fracture productive est faible. En effet, des variations importantes de productivité sont souvent constatées même pour des ouvrages voisins de quelques dizaines de mètres.

Les aquifères potentiels sur le secteur à l'étude (et par extension ceux du Limousin), hors domaine sédimentaire, sont ainsi formés d'un réservoir aquifère supérieur composé des altérites meubles et d'un aquifère sous-jacent, composé de roches fissurées. Cet ensemble multicouche, lorsqu'il est reconnu sur le terrain, présente des interactions qui s'établissent entre les deux nappes présentent dans ces deux formations.

En Limousin, le retour d'expérience du BRGM est issu majoritairement de la gestion du réseau de suivi piézométrique national (comportant environ 40 points de mesure sur tout le Limousin). Il est constaté que dans la grande majorité des points du réseau de suivi piézométrique, la surface piézométrique de l'aquifère de l'horizon fissuré s'établit dans les formations d'altérites meubles

lorsque celles-ci sont présentes. Le mode de gisement de cet aquifère est alors soit libre, soit captif selon la perméabilité ou le contraste de perméabilité entre ces formations.

3.2. PROCESSUS DE FORMATION DES ROCHES AQUIFERES EN DOMAINE DE GEOLOGIE DE SOCLE

3.2.1. Les conditions de formation des altérites

Les altérites sont des formations meubles qui dérivent de l'altération physique et chimique *in situ* des roches cristallines ou métamorphiques. La formation des altérites par la seule circulation des eaux de pluies, de glace ou de neige, dite « altération supergène », s'effectue par hydrolyse, c'est-à-dire une destruction des minéraux de la roche par l'action des molécules d'eau (Chilton et al., 1984).

Les périodes les plus favorables à ces altérations ont été le Crétacé inférieur (env. -130 Ma) ainsi que l'Éocène inférieur et moyen (env. -40 Ma) (Rolin et al., 2006). Cette hypothèse est compatible avec les observations réalisées en Deux-Sèvres ou en Vendée par exemple, où l'on retrouve les mêmes altérites sur des roches de socle similaires à celles présentes en Limousin ; ces altérites y sont recouvertes (donc antérieures à) de sédiments crétacés (-100 Ma) ou éocènes (-40 Ma).

Les altérites se sont souvent formées sous climat tropical ; en effet, la distribution actuelle des zones climatiques existe depuis 10 Ma environ, période depuis laquelle l'extension des calottes glaciaires aux pôles a resserré les zones tropicales vers l'équateur (Wyns et al., 2004).

Or, s'il y a 400 Ma, le Limousin se trouvait à la latitude de l'Australie, au gré de la dérive des continents qui s'explique par la tectonique des plaques, il a migré vers sa position actuelle. Au Crétacé inférieur, le Limousin se trouvait alors en zone tropicale du Cancer, il avait quasiment atteint sa position actuelle à l'Éocène, toujours en zone tropicale.

Dans cette hypothèse, les profils d'altérites peuvent traduire une première altération au Crétacé et une reprise de l'altération au Tertiaire (après - 80 Ma). La cartographie de terrain réalisée pour ce projet ne permet pas de distinguer ces deux périodes.

Ces vitesses d'altération, rapportées à des épaisseurs d'altérites observées d'environ 10 m, donneraient un temps de formation maximal de 1 Ma à 1,5 Ma pour ces profils en considérant la vitesse constante.

3.2.2. Le profil d'altération

Depuis les années 2000, les connaissances sur la formation, la géométrie et le fonctionnement des aquifères de socle ont fait l'objet de progrès très significatifs, en montrant le rôle joué par les phénomènes d'altération : on peut citer entre autre Wyns et al., 1999, 2004, Maréchal et al., 2004, Lachassagne et Wyns, 2005, Dewandel et al., 2006, 2017, Lachassagne et al 2021.

Le concept de profil d'altération « multicouches » plus ou moins horizontal a ainsi été mis en place, déterminant un aquifère stratiforme et plus ou moins continu dont les propriétés sont liées aux différents horizons du profil d'altération.

Dans les roches granitiques (granites, gneiss), le profil d'altération comprend deux principaux horizons stratiformes, les altérites meubles et un horizon fissuré (voir Figure 2).

L'hydrolyse provoque une augmentation de volume de certains minéraux comme la biotite, mica noir très fréquent dans les roches de socle : son volume augmente alors de 40%. Les pyroxènes et les olivines sont aussi sensibles à l'altération. Quand les minéraux sont répartis de manière homogène dans la roche, cette augmentation de volume engendre alors une fissuration horizontale de la roche. Ainsi, l'altération crée des microfissures qui permettent à l'altération de se propager encore plus efficacement et ainsi de suite. La poursuite de l'altération transforme ainsi peu à peu les granites en altérites sableuses (là où des cristaux et certaines structures de la roche sont encore préservés) puis en altérites argileuses (l'altération a détruit la plupart des structures de la roche).

Au fil du temps de l'altération (pour rappel environ 1 Ma sont nécessaires pour la formation de 10 m d'altérites), les éléments les plus solubles (K, Ca, Na, Mg, Si) sont évacués par l'eau vers l'aval ; les éléments les moins solubles (Al, Fe, Ni, Mn, Co, Au) précipitent en argiles et hydroxydes sur place pour former une croûte latéritique, très rarement préservée dans nos régions.

Sur le terrain, décrypter les affleurements revient donc à positionner l'affleurement quelque part sur le schéma proposé en Figure 2, qui est observable partout dans le monde dans ces mêmes contextes géologiques.

3.2.3. Les altérites meubles rencontrées en Limousin

En Limousin, les altérites meubles sont appelées localement « tuf ».

Sur les roches de type granitiques,

- soit l'altération est intermédiaire, et on observe des arènes consolidées, la texture de la roche est conservée (Figure 4) souvent caractérisée à leur base par un feuilletage ou une fissuration horizontale (zone laminée, base des isaltérites) ;
- soit l'altération est très poussée et on observe des arènes argileuses ou des argiles. Les argiles sont en générale blanches à beige en surface sur les granites (kaolinites dérivées des feldspaths) (voir Figure 5).

Sur les roches de type gneiss, schistes, micaschistes et diorites :

- soit l'altération est intermédiaire, on obtient une texture de type « carton bouilli » ou la roche est encore reconnaissable, parfois de couleur blanche, plus fréquemment de couleur orange-rouge-brun (voir Figure 6 et Figure 7). Les argiles sont parsemées de paillettes de micas et de fragments de quartz ;
- soit l'altération est très poussée et on obtient des argiles silteuses.



Figure 4 : Altérites de granite, colluvionnées sur le haut du profil et en place en dessous, le Massadour, commune de Saint-Pardoux-Morterolles (Creuse)



Figure 5 : Altérites de granite, ici 2 m d'épaisseur, Chaumazelle, commune de Saint-Julien-La-Genête (Creuse)



Figure 6 : Altérites de gneiss, Chez Couyer, commune de le Vigen (Haute-Vienne)



Figure 7 : Altérites de leptynites (aspect de gneiss), Maison-Neuve, commune de Saint-Priest-Ligoure (Haute-Vienne)

3.2.4. Les boules de granite

La base des altérites, entre les altérites meubles au-dessus et l'horizon fissuré en-dessous, contient des boules résiduelles, parfois appelées « vaux » ou « chiron » dans la région (Figure 9). Lorsque les particules fines d'altérites qui les emballaient ont été entraînées par l'érosion, les boules subsistent seules sur le sol. À l'échelle locale, on observe qu'elles ont pu dévaler les pentes par gravité ou bien être détruites pour favoriser l'agriculture (ce qui fut fait localement dans les années 50).

Les altérites présentes dans ces secteurs ont donc été remaniées et déplacées par les conditions climatiques et l'érosion récentes. En particulier, les chaos de blocs témoignent de l'évolution géomorphologique récente des reliefs (période plio-quadernaire, soit de -5 Ma à l'actuel) et attestent de périodes froides et humides en contexte périglaciaire qui démantèlent et transportent les produits désagrégés des altérites. Un schéma global de la formation de ce type de paysage est proposé sur la Figure 8 ci-après.

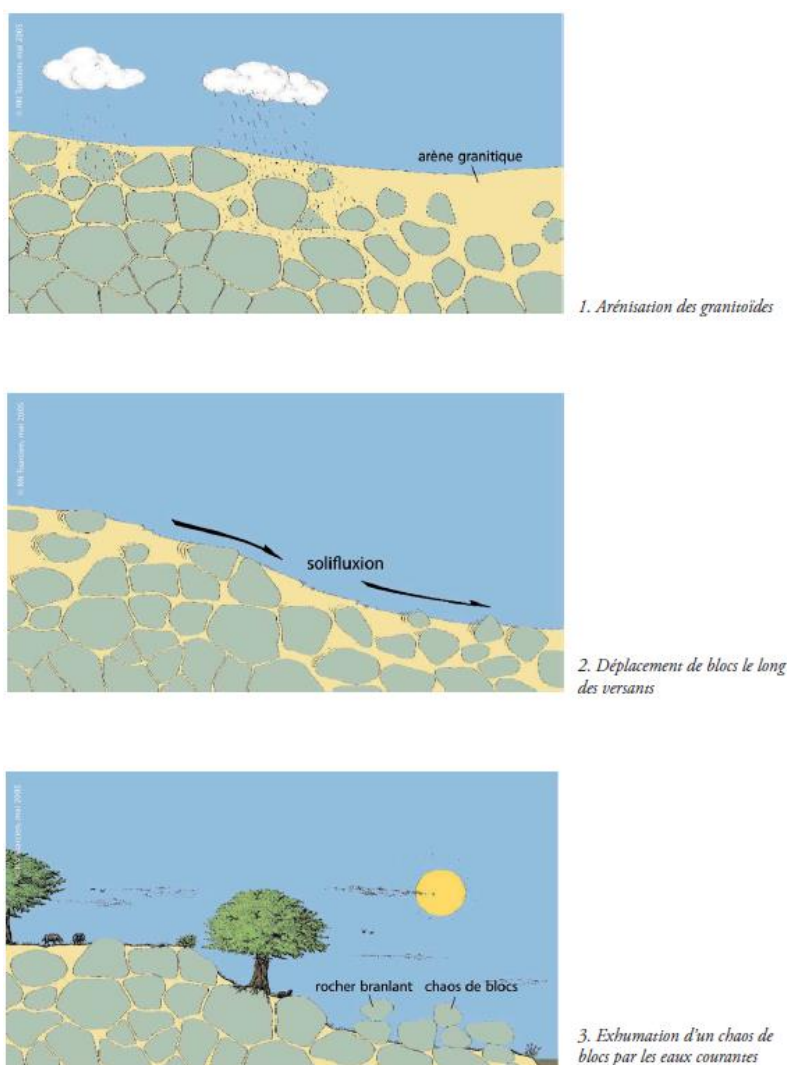


Figure 8 : Formation de chaos de blocs par démantèlement des altérites, source DREAL Poitou-Charentes, 2009



Figure 9 : Boules de granite, ruisseau du Pic à Augerolles, commune de Saint-Pardoux-Morterolles (Creuse)

3.2.5. L'horizon fissuré

Sous les altérites, la partie supérieure des massifs granitiques présente un horizon fissuré, qui peut atteindre par endroit plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Cette fissuration horizontale correspond à l'éclatement de la roche sous l'action du gonflement de certains minéraux, où les molécules d'eau remplacent les molécules initiales en particulier dans les biotites (micas noirs) au stade précoce de l'altération (Wyns et al., 1999). Les photos disponibles en Figure 10 et Figure 11 illustrent des exemples d'horizons fissurés à l'affleurement.



Figure 10 : Lentille de granite fissuré emballée dans des altérites sableuses, à L'Âge Pouret, commune de Bazelat (Creuse)



Figure 11 : Horizon fissuré du granite, débité ici pour tailler des escaliers, La Chapelle Baloue (Creuse)

3.2.6. Le socle sain ou massif observable en Creuse

La surface affleurante des granites et autres roches de socle au sommet s'observe généralement au sommet de collines ou dans les zones de thalwegs. Les roches y sont particulièrement résistantes et ne présentent pas ou peu de fissures ni de fractures. La Figure 12 illustre un exemple de passage de l'horizon fissuré à l'horizon massif photographié en Creuse.



Figure 12 : Horizon fissuré, La Grange, commune de Fleurat (Creuse)

3.3. CARTES GEOLOGIQUES

Dans le cadre de cette étude, la base de données géoréférencée BRGM (Bd Charm-50) des cartes géologiques à 1/50 000 vectorisées et harmonisées a été utilisée. Les diverses couches d'informations fournies concernent les formations géologiques à l'affleurement (polygones), les éléments structuraux linéaires, des éléments ponctuels (structuraux et divers) et des surcharges (mylonites...). Les cartes géologiques des départements de la Creuse, la Haute-Vienne et la Corrèze ont fait l'objet d'une fusion (Figure 13). La résultante comportait 443 descriptions différentes de faciès. Afin de simplifier la lecture de la carte géologique, des regroupements de descriptions ont été réalisés sous des termes génériques, avec par exemple :

- « granites » : terme regroupant granite, granite alumino-potassique, granite calco-alcalins, granite porphyroïde, granite alumino-potassique, granites à grains fins ;
- « orthogneiss » : terme regroupant orthogneiss leptynitiques, orthogneiss oeilés, orthogneiss clairs, orthogneiss mésocrates.

À noter que la carte obtenue qui comporte in fine 26 faciès de regroupement, conserve les champs descriptifs d'origine propres à chaque polygone de formation à l'affleurement. Des champs complémentaires ont été créés concernant le grain des roches (fin, moyen, fin-moyen, moyen-grossier, grossier) et la présence de biotites/micas noirs, éléments caractérisant le degré potentiel d'altération des roches. La carte à l'échelle du territoire « Sources en action » (Figure 14) comporte 19 faciès différents.

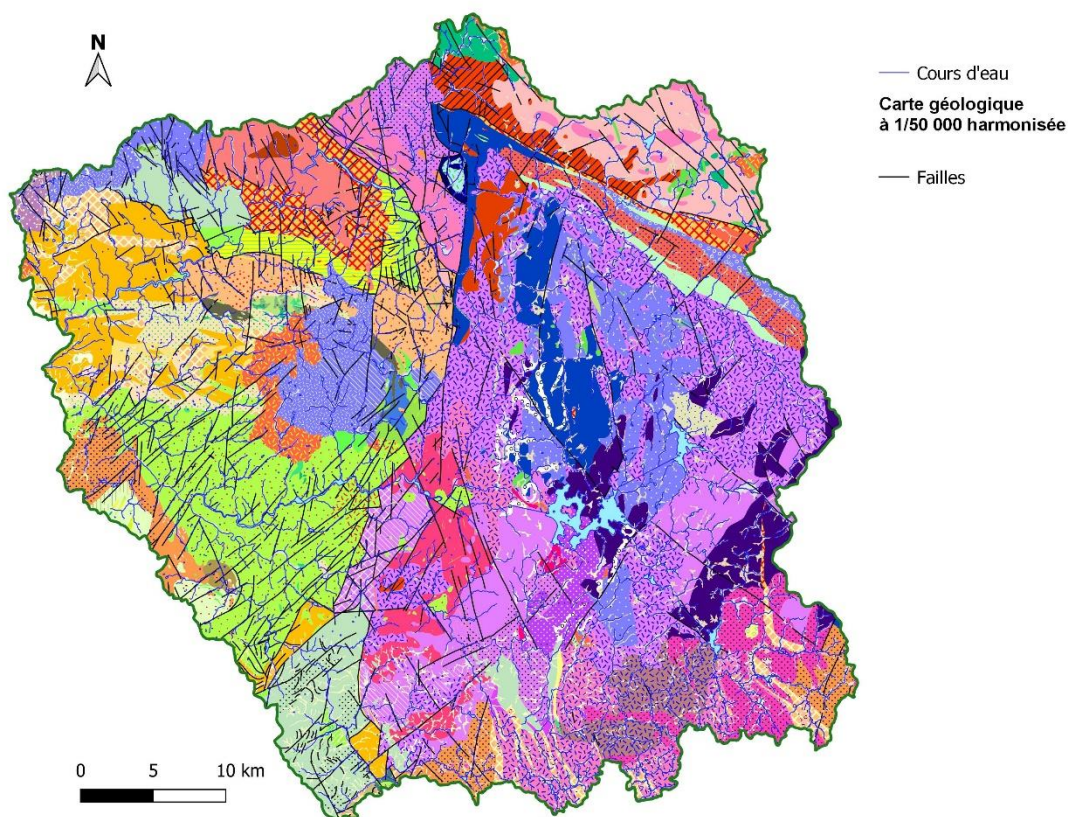


Figure 13 : Carte géologique à 1/50 000 vectorisée et harmonisée (territoire de « Sources en action »)

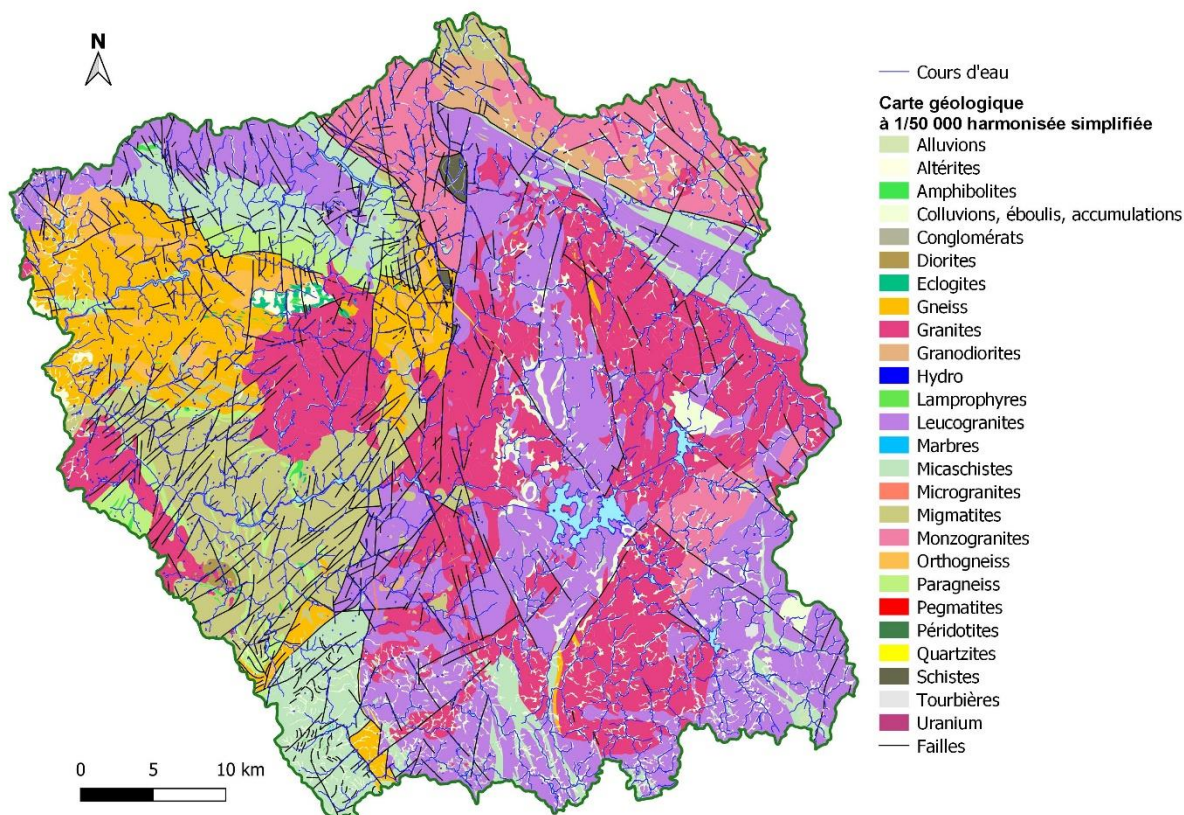


Figure 14 : Carte géologique à 1/50 000 vectorisée et harmonisée après simplification/fusion des descriptions de faciès (territoire de « Sources en action »)

L'une des caractéristiques du secteur à l'étude réside dans le fait que sur une moitié Est on note la prédominance de granitoïdes (granites, leucogranites et monzogranites), alors que sur la moitié Ouest, ce sont les roches métamorphiques (migmatites, gneiss, micaschistes) qui sont les plus représentées. Cette répartition pourrait influencer la présence d'altérites, puisque le métamorphisme crée des lits minéraux et des foliations qui favorisent la percolation des eaux météoriques et par conséquent le processus d'altération.

La distribution en termes de surface des faciès lithologiques à l'affleurement est présentée dans la Figure 15. Granites et leucogranites couvrent à eux deux 47,8 % du territoire à l'étude. Migmatites, gneiss et micaschistes intéressent quant à eux un total de 25,9 % du territoire.

LITHOLOGIE	% de la surface du territoire Sources en Action
Granites	24.3
Leucogranites	23.5
Migmatites	9.5
Gneiss	8.3
Micaschistes	8.1
Colluvions, éboulis, accumulations	7.4
Monzogranites	7.3
Alluvions	3.7
Paragneiss	2.7
Orthogneiss	1.8
Granodiorites	1.5
Hydro	0.50
Altérites	0.31
Schistes	0.23
Eclogites	0.19
Amphibolites	0.17
Diorites	0.13
Quartzites	0.12
Microgranites	0.10
Tourbières	0.09
Lamprophyres	0.02
Conglomérats	0.008
Marbres	0.003
Pegmatites	0.0009
Uranium	0.0008
Péridotites	0.0002

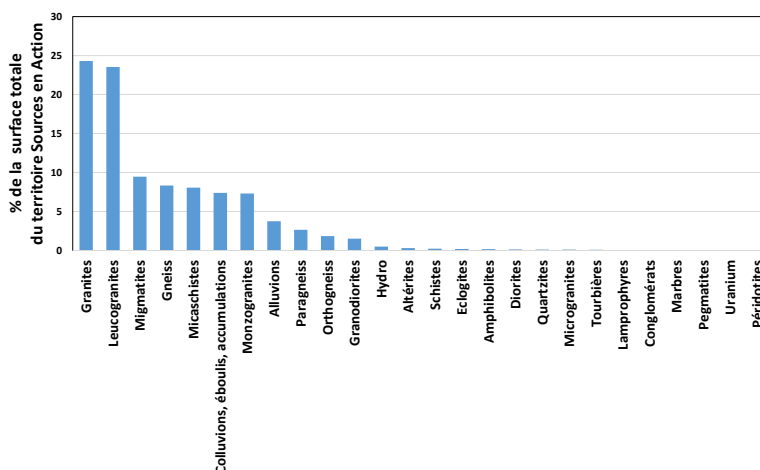


Figure 15 : Distribution de la lithologie des faciès à l’affleurement sur le territoire de « Sources en action »

3.4. PEDOLOGIE

En l’absence de cartographies spécifiques des sols sur le secteur d’étude, la Figure 16 présente la carte de la réserve utile en eau des sols issue de la Base de Données Géographique des Sols de France (BDGSF). Cette carte donne la classe de réserve utile en eau dominante par Unité Cartographique de Sol (UCS).

Sur le territoire de « Sources en action », la classe de réserve utile essentiellement représentée est celle comprise entre 50 mm et 100 mm. Sur les quelques zones où la réserve utile apparaît plus importante, aucun lien n’est observé avec les formations géologiques en place. Il convient de rappeler que la représentation graphique de la BDGSF est celle du 1/1 000 000 et qu’elle est compatible avec une utilisation à l’échelle nationale seulement.

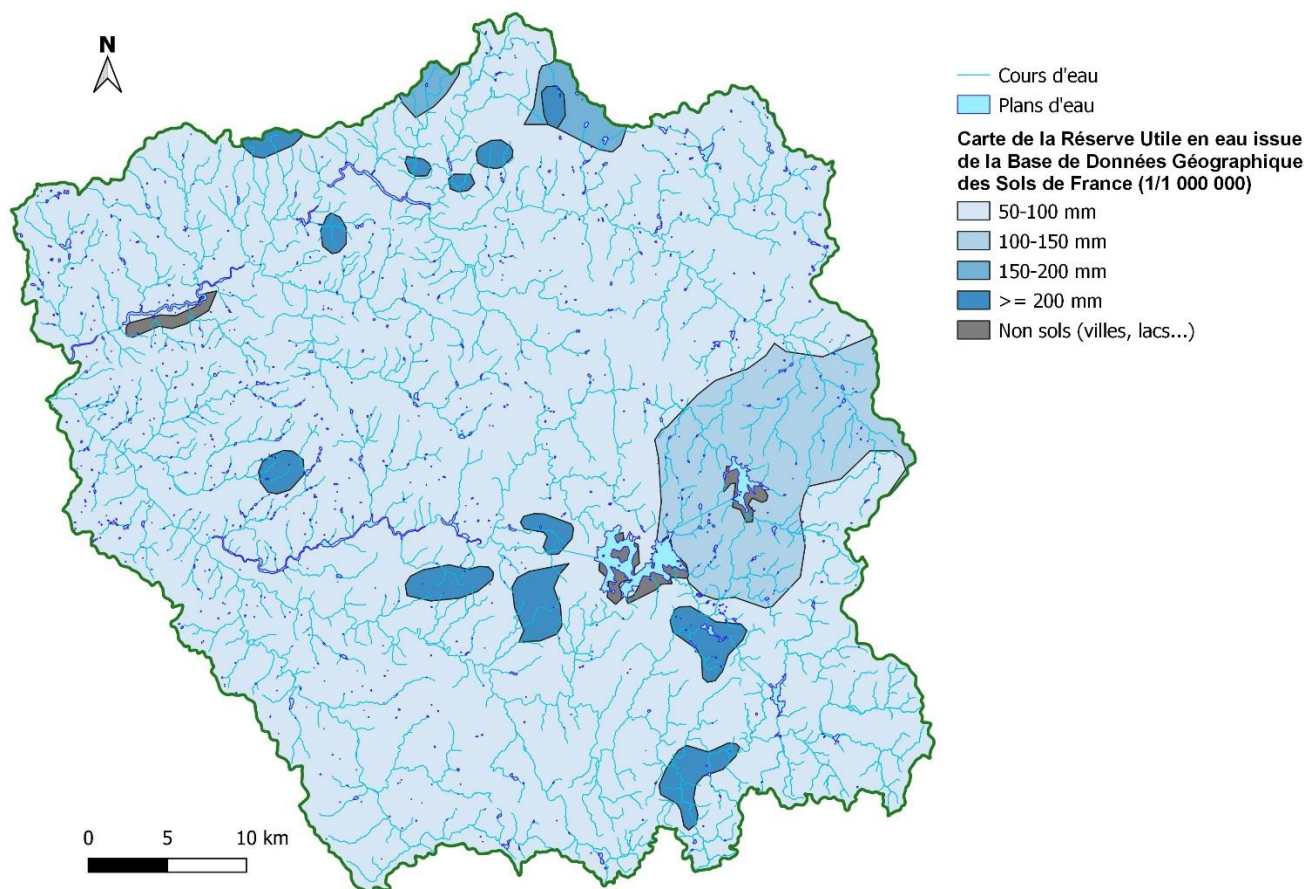


Figure 16 : Extrait de la carte de la réserve utile en eau des sols issue de la Base de Données Géographique des Sols de France (Le Bas, 2018)

3.5. DONNEES DISPONIBLES DANS LA BANQUE DE DONNEES DU SOUS-SOL (BSS)

Gérée par le BRGM, la Banque de Données du Sous-Sol (BSS) est une base de données regroupant toutes les données sur les ouvrages (forages, sondages, puits et sources) souterrains du territoire. En France, la géologie de surface commence à être bien connue avec l'essentiel de la connaissance regroupé dans les cartes géologiques. Pour le sous-sol, les informations plus fragmentaires sont rassemblées dans la banque de données du sous-sol qui fournit des informations sur plus de 700 000 ouvrages et travaux souterrains réalisés sur l'ensemble du territoire depuis plus d'un siècle. La BSS découle d'un article du code minier en date de 1958 qui impose la déclaration de tous les ouvrages de plus de 10 mètres de profondeur tandis qu'en 2003 le code de l'environnement prévoit que les rapports de travaux sur tous les ouvrages « exécutés en vue de la recherche, la surveillance ou les prélèvements dans les eaux souterraines » doivent comporter un numéro BSS, ce qui complète ainsi l'ensemble des données. La base, déclarée à la CNIL, contient des informations brutes à caractère administratif et géologique : nom du propriétaire, localisation, description des niveaux géologiques rencontrés, documents numérisés, équipement technique des ouvrages, etc. Cette base de données est accessible publiquement via le site internet Infoterre du BRGM (<http://www.infoterre.fr/>).

Il faut toutefois noter plusieurs limites quant à l'exhaustivité et la représentativité des données disponibles dans la BSS. En effet, malgré l'obligation de déclaration dans la BSS, de très nombreux forages, tels que ceux réalisés chez des particuliers à titre privé, ne sont pas systématiquement déclarés dans la BSS. Les moyens de contrôle de la procédure de déclaration s'avèrent très disparates selon les territoires. De plus, les informations renseignées dans la BSS sont transmises sur un principe déclaratif. Seulement quelques ouvrages déclarés font l'objet d'une vérification et d'un contrôle spécifique de la part du BRGM avant versement des données dans la BSS. Ce contrôle n'est pas systématique du fait du cadrage de la mission du BRGM vis-à-vis de l'alimentation de la BSS. Par conséquent, la qualité et la véracité des informations disponibles doivent être considérées avec un œil critique. Par exemple il s'avère en effet que la qualité des données transmises peut fortement varier selon l'opérateur en charge des travaux de forage.

Dans le cadre du présent projet, la base de données BSS a été extraite sur le périmètre « Sources en action ». La Figure 17 présente la répartition de la nature des 1 519 ouvrages recensés.

Type de point BSS	Nombre	%
Affleurement-Eau	6	0.39
Cavité Anthropique	27	1.78
Excavation à ciel ouvert	171	11.26
Forage	242	15.93
Gitologie	137	9.02
Puits	96	6.32
Sondage	354	23.30
Source	472	31.07
Station Météorologique	1	0.07
Tranchée, travaux souterrains	13	0.86
Total	1519	

Figure 17 : Inventaire des types de points bancarisés à la BSS (territoire de « Sources en action »)

Sur les 1 519 ouvrages recensés dans la BSS, 738 ont leur usage précisé, représenté sur la carte de la Figure 18. Hormis pour les catégories AEP et eau individuelle, un regroupement des usages par catégories principales a été effectué :

- matériaux : céramique, chaussée, construction, pierre de taille, dallage, parement, granulats béton, gros-œuvre, terre cuite, marbrerie... ;
- géothermie : pompes à chaleur, sonde géothermique ;
- piézomètre : quantité, qualité ;
- agricole : eau agricole, eau cheptel, irrigation ;
- autres : sont classés notamment sans usage les ouvrages destinés aux essais géotechniques.

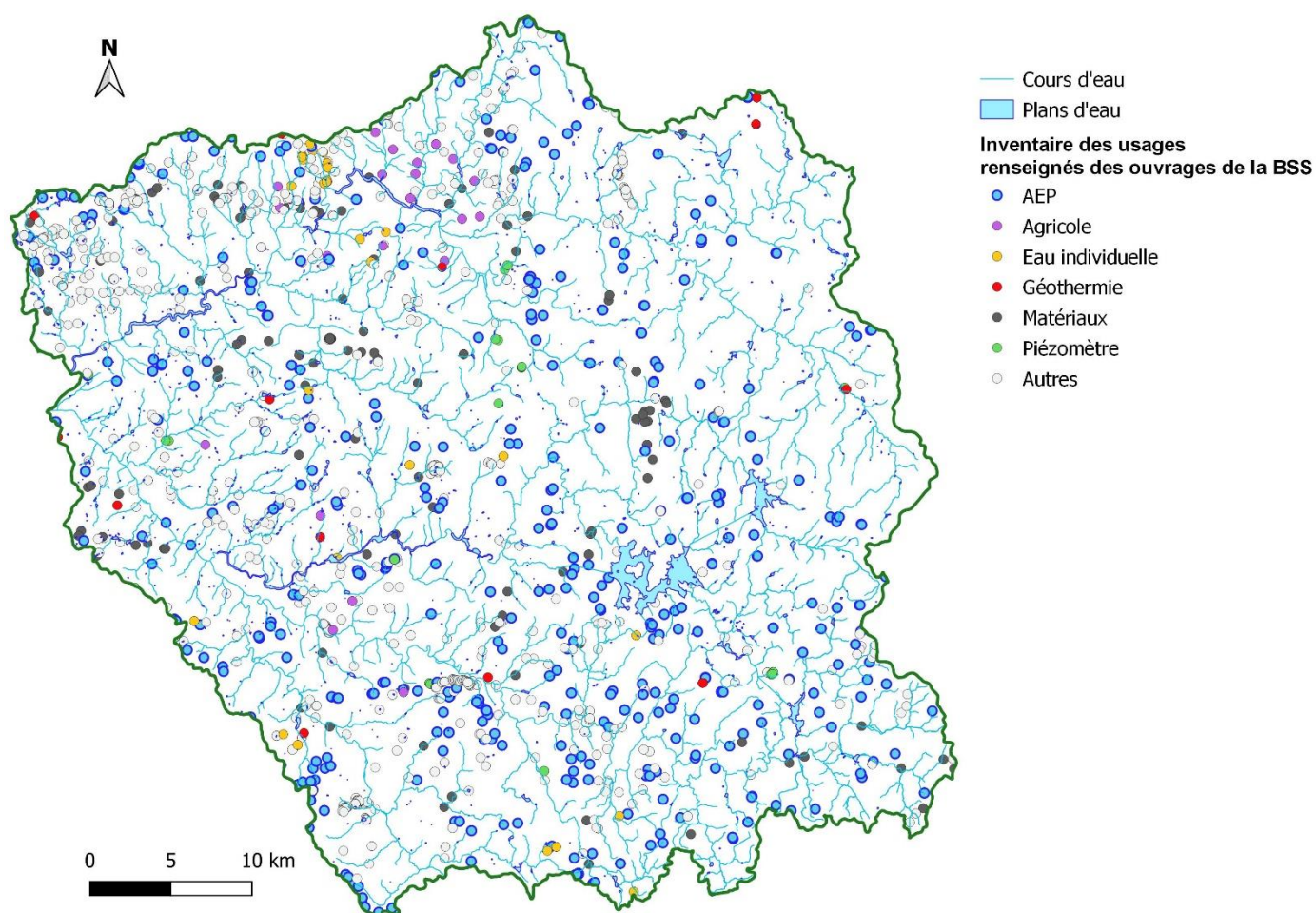


Figure 18 : Inventaire des usages renseignés des ouvrages de la BSS (territoire de « Sources en action »)

Le contenu de l'intégralité des dossiers BSS des ouvrages a fait l'objet d'un examen détaillé. Lors de l'alimentation de la BSS, les données renseignées *a minima* sont les profondeurs, l'emplacement (coordonnées géographiques et altitude) et l'usage de l'ouvrage. Les coupes de sondages sont en général scannées et versées telles quelles dans la BSS, sans traitement particulier.

Les 4 022 scans de documents associés à 1 002 ouvrages ont été analysés afin d'en tirer les informations jugées pertinentes dans les catégories : géologie, lithologie, stratigraphie, piézométrie, hydrogéologie, débit et géotechnique. Sur la base des informations disponibles, une base de données numérique de coupes géologique a été établie. Les données sur les eaux souterraines (débits, arrivées d'eau, caractéristiques hydrodynamiques) ne sont que très rarement renseignées.

3.6. CARTOGRAPHIE DES ALTERITES EN PLACE

Si la nature des roches constituant le socle est connue sur le secteur, la présence d'altérites en place n'est actuellement pas cartographiée. Le rôle des altérites (fonction de leur nature, leur épaisseur) sur la dynamique des hydrosystèmes méritant être appréhendé, les données recueillies dans le cadre de l'examen de la BSS ont été valorisées par l'élaboration de deux bases de données (Figure 19) :

- une base de données (133 points) reprenant et complétant les résultats issus de l'étude SILURES (Mauroux et al., 2009) ;
- une base de données (339 points) s'intéressant uniquement aux logs géologiques dits « initiaux », à savoir ceux déposés dans la BSS lors de la déclaration des ouvrages.

Il a été jugé préférable de conserver, à part, les informations liées aux logs géologiques initiaux, qui peuvent être entachées d'erreur dans leur description, pas forcément réalisée par des spécialistes. Ainsi, des formations de type colluvions ont pu être classées sous le terme altérites ; les altérites considérées comme des formations de recouvrement et jugées sans intérêt au moment de la réalisation d'un ouvrage ont pu également être omises de certaines descriptions.

Les descriptions concernant les altérites précisent soit :

- leur absence ;
- leur présence sans précision de leur épaisseur ;
- une épaisseur minimale ;
- une épaisseur totale reconnue.

Les cartographies obtenues restent indicatives, avec de plus une densité de points relativement plus faible sur la partie Est du secteur. Des tentatives d'exploitation de ces données ont été réalisées sur quelques secteurs mais n'ont pas abouti, en raison notamment de la densité insuffisante de mesures. En l'état, si la typologie des bassins versants peut intégrer les faciès géologiques à l'affleurement, le paramètre « altérites » ne peut être utilisé.

La validation des informations existantes et l'acquisition de nouvelles données pourraient passer par une approche naturaliste visant à rechercher sur le terrain la présence d'altérites, non prévue dans le cadre de cette étude. L'observation de points accessibles (talus routiers, champs/prairies, chantiers de terrassement, tranchées) permet ainsi de décrire le type de formation rencontrée

(socle affleurant, horizon fissuré, altérites) avec une estimation des épaisseurs en place ou potentielles.

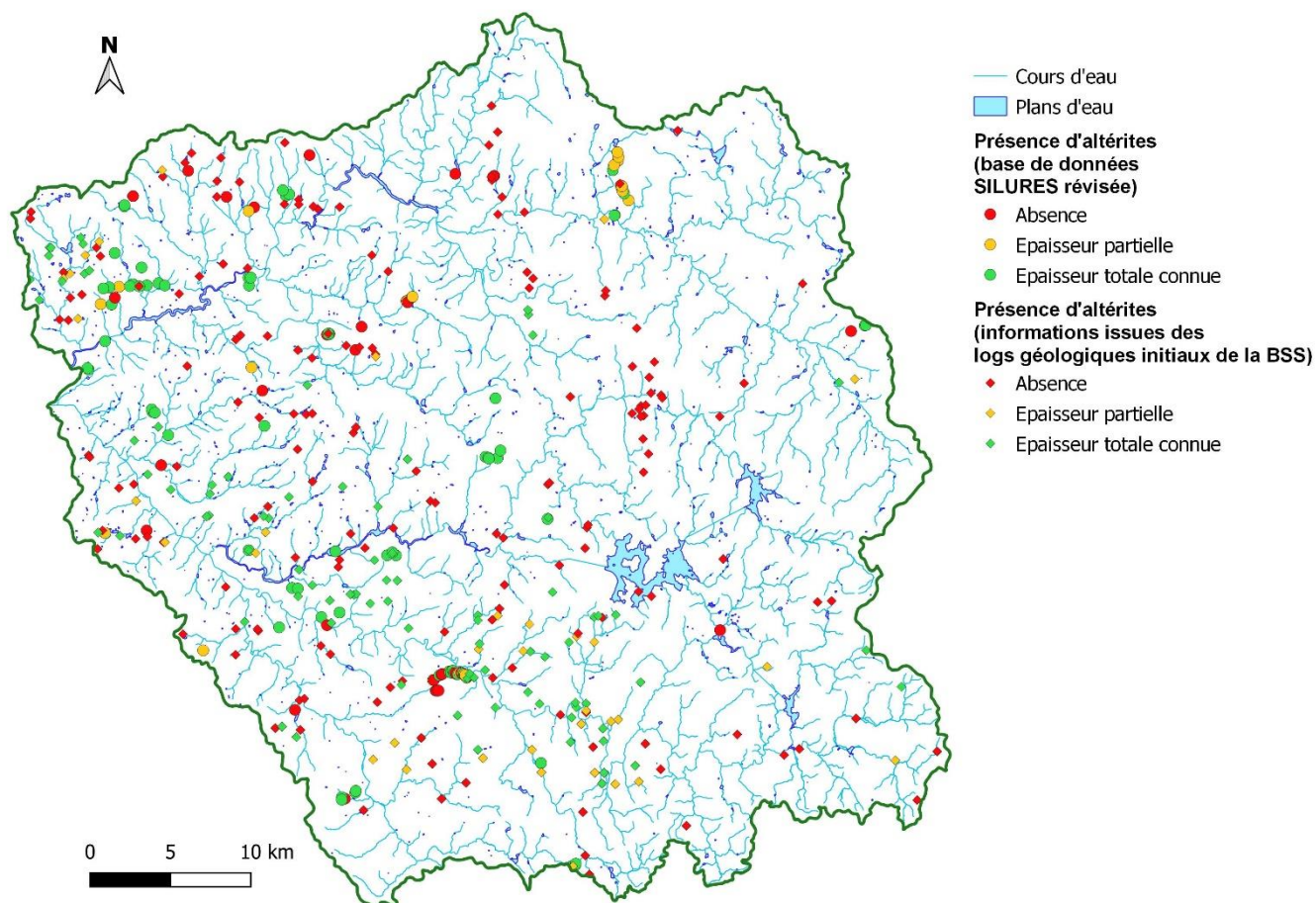


Figure 19 : Cartographie de la présence ou non d'altérites (territoire de « Sources en action »)

3.7. SUIVIS PIEZOMETRIQUES

À partir de 1991, avec le soutien de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, le BRGM a engagé un suivi des niveaux des nappes d'eaux souterraines en Limousin à partir de 4 points de contrôle situés en Haute-Vienne. En 2002, le Ministère chargé de l'Écologie a demandé au BRGM, dans le cadre de ses actions de Service Public, d'assurer, au niveau national, la maîtrise d'ouvrage des réseaux de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines. La construction du réseau piézométrique couvrant l'ensemble de la région Limousin a démarré en 2003 et a été finalisée dans sa configuration actuelle en 2010.

Depuis 2007, ce réseau régional fait partie du réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines de la France mis en place par la Direction de l'Eau du Ministère chargé de l'Écologie pour répondre aux exigences de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE-Directive 2000/60/CE). Conformément à la DCE, toutes les masses d'eau souterraines du Limousin font l'objet d'une surveillance quantitative.

Depuis le 1^{er} janvier 2010, le fonctionnement du réseau piézométrique régional s'effectue en collaboration avec la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), dans le cadre d'une convention entre l'Agence Française de la Biodiversité (AFB) et le BRGM.

Sa fonction principale est l'acquisition de données piézométriques et hydrométriques avec pour objectifs de suivre les variations des niveaux des nappes d'eau, de traduire l'état quantitatif global et instantané des ressources en eaux souterraines et d'en apprécier les tendances d'évolution dans un contexte de changement climatique.

Depuis le 31 décembre 2010, le réseau régional Limousin compte quarante points de suivi dont trente-neuf piézomètres et une station de jaugeage. Seuls les piézomètres sont équipés d'une station de mesure télétransmises par GPRS avec récupération des données tous les jours.

Géographiquement, les points se répartissent par département comme suit :

- Corrèze (19) : 1 station de jaugeage, et 14 piézomètres ;
- Creuse (23) : 13 piézomètres ;
- Haute-Vienne (87) : 12 piézomètres.

Le réseau piézométrique présente des doublons de forages qui permettent des suivis à faible profondeur (altérites) et sur l'aquifère profond (socle fissuré).

Trois piézomètres sont implantés sur le territoire de « Sources en action » (Figure 20) :

- Vallière : implanté sur le bassin versant de la Banize et ses affluents, l'ouvrage recoupe 15 m de granite fissuré et partiellement arénisé, puis 10 m de granite fracturé avec traces d'oxydation, du granite sain étant décrit au-delà sur 6 m (de 25 m à 31 m de profondeur) ;
- Saint-Junien-la-Brégère : localisé sur le bassin versant de la Vige, l'ouvrage a recoupé sur 40 m du granite porphyroïde gris noir fracturé, parfois argileux ;
- Nedde : situé sur le bassin versant de la Vienne (du ruisseau de Lauzat au ruisseau de Planchemouton), il recoupe près de 15 m d'arène argileuse en tête, puis 8 m de granite altéré, 11m de granite riche en biotite, du leucogranite clair sur 14 m et enfin 3 m de granite gris noir. Crépiné de 48 m à 60 m de profondeur, le piézomètre capte la nappe contenue dans les granites.

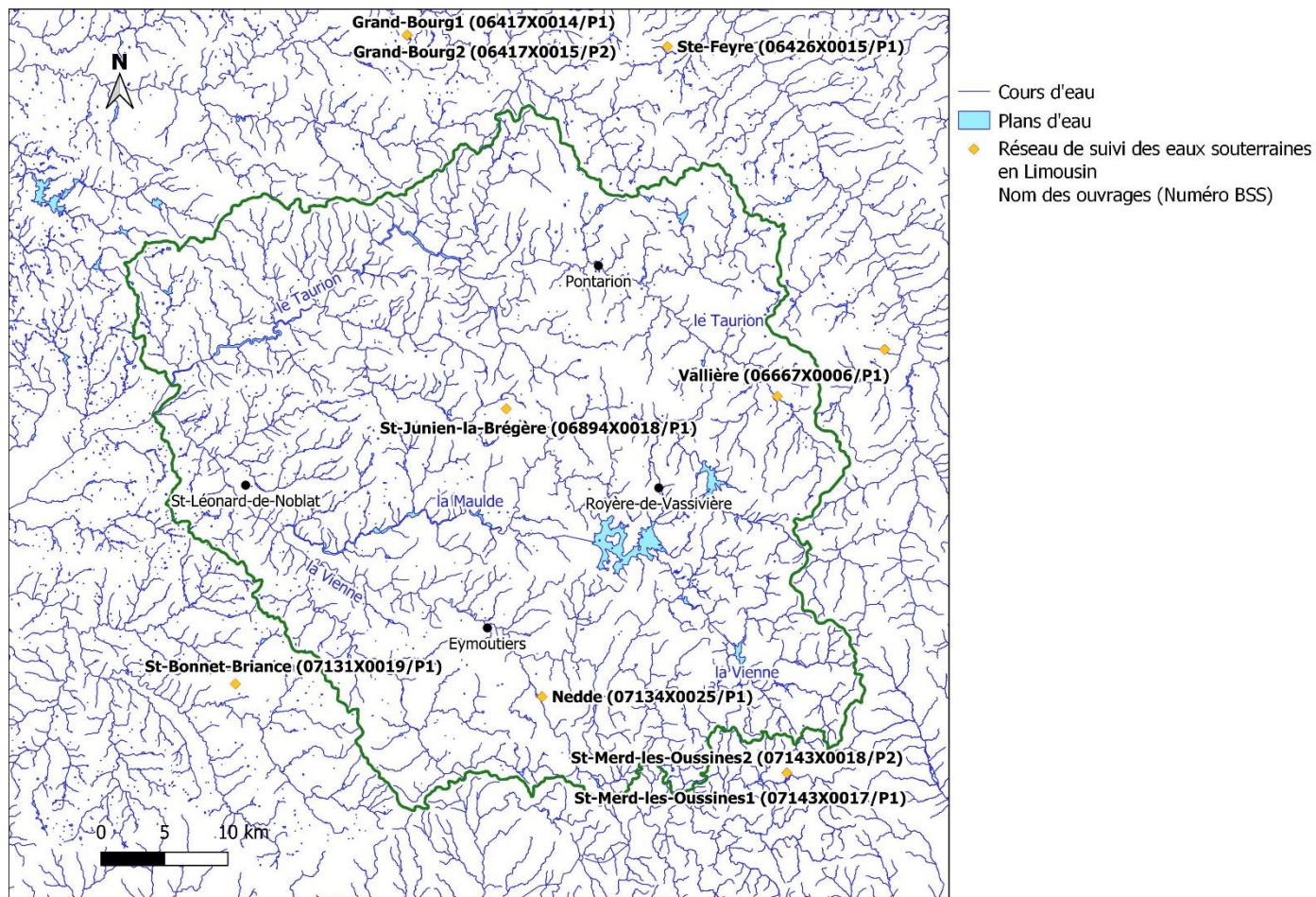


Figure 20 : Inventaires des ouvrages du réseau piézométrique Limousin

La Figure 21 présente les suivis piézométriques de 2007 à 2020 des trois piézomètres du secteur à l'étude. Ils présentent des caractéristiques communes à un grand nombre des ouvrages du réseau, à savoir des amplitudes interannuelles limitées, une forte réactivité aux évènements pluvieux et une amorce rapide de vidange en l'absence de précipitations, dans des aquifères aux capacités de stockage limitées.

Si en domaine de socle les piézomètres permettent de caractériser les phénomènes de recharge et de vidange et notamment leurs variations interannuelles, ils apportent une information locale, pas forcément représentative du fonctionnement de l'ensemble d'un compartiment souterrain associé à un bassin versant topographique.

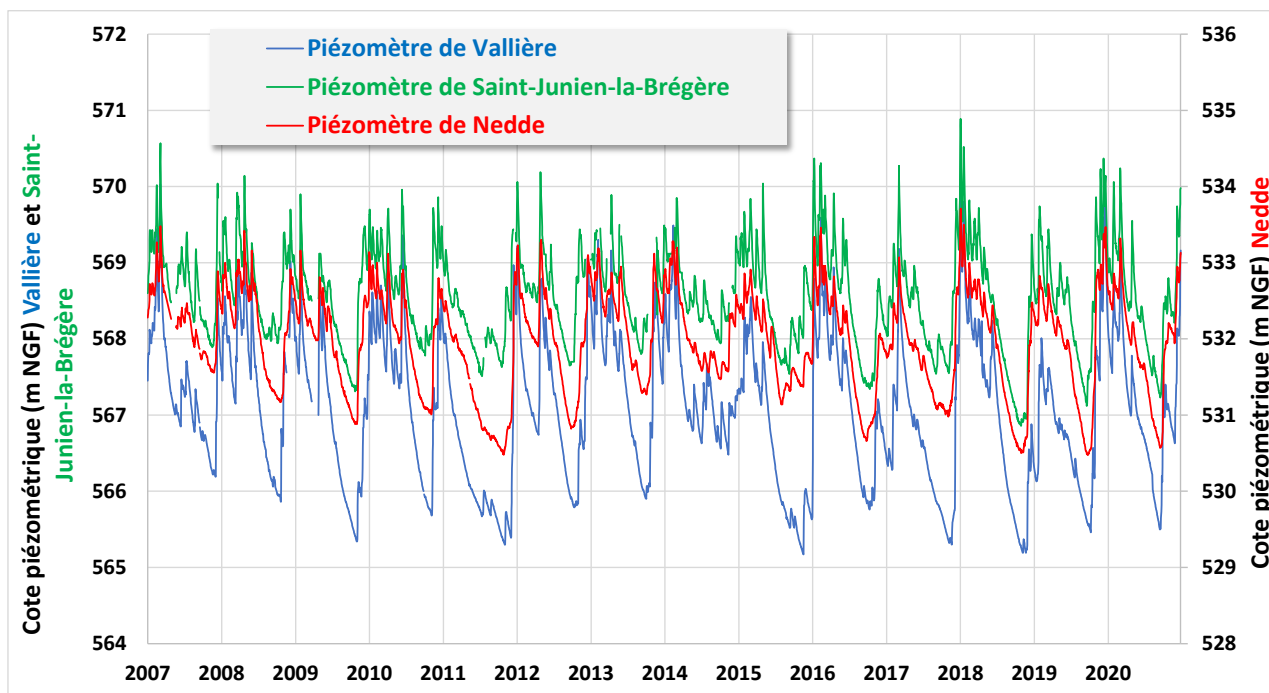


Figure 21 : Suivis piézométriques sur les trois piézomètres implantés sur le territoire « Sources en action »

4. Eléments de caractérisation des bassins versants

4.1. METEOROLOGIE

Dans le cadre de cette étude, les données météorologiques utilisées sont les données de la grille SAFRAN produites par Météo-France, couvrant la France à une maille de 8 km.

Des données journalières sur la période 1959-2020 ont ainsi été bancarisées sur un réseau de 144 mailles (sur une surface plus étendue que celle de la zone « Sources en action »), avec les paramètres suivants :

- précipitations solides et liquides : le terme « précipitations » (P) dans cette étude est la somme de ces deux contributions ;
- températures moyenne, minimale et maximale ;
- vent ;
- rayonnement atmosphérique et visible ;
- évapotranspiration potentielle (ETP, formule de Penman-Monteith).

La Figure 22 présente les précipitations annuelles moyennées sur la période 1959-2020, au droit d'un maillage SAFRAN englobant le territoire « Sources en action », à l'échelle duquel les valeurs augmentent de manière significative du Nord (proches de 950 mm) vers le Sud (plus de 1 450 mm). La Figure 23 présente l'évolution de 1959 à 2020, des précipitations annuelles moyennées sur 144 mailles SAFRAN, ainsi que sur les mailles SAFRAN n° 5790 (plus faible moyenne interannuelle) et n° 6626 (plus forte moyenne interannuelle). Au long des 62 années, les précipitations ne présentent pas de tendance marquée à la hausse ou à la baisse, avec toutefois des variations interannuelles qui peuvent s'avérer importantes.

La Figure 24 présente la répartition sur le réseau de mailles SAFRAN de l'ETP moyennée sur la période 1959-2020. Les valeurs (en relatif plus homogènes spatialement que les précipitations) comprises entre 700 mm et 770 mm, sont les plus importantes sur le quart Sud-Est du territoire « Sources en action ». La Figure 25 présente l'évolution de 1959 à 2020, de l'ETP annuelle moyennée sur 144 mailles SAFRAN, ainsi que sur les mailles SAFRAN n° 6052 (plus faible moyenne interannuelle) et n° 6708 (plus forte moyenne interannuelle). Les courbes illustrent bien l'augmentation régulière de l'ETP annuelle depuis la fin des années 80.

Sur chaque maille du réseau SAFRAN et afin d'approcher quantitativement les quantités de précipitations venant effectivement alimenter le bilan hydrologique des hydrosystèmes, le calcul journalier des précipitations nettes théoriques, soit la différence entre précipitations (P) et ETP a été effectué, en ne retenant que les valeurs positives (les valeurs négatives se voyant attribuer une valeur nulle) ; ce paramètre a été noté $(P-ETP)>0$. La Figure 26 présente la répartition spatiale du paramètre, qui varie d'environ 730 mm au Nord du secteur « Sources en action » à environ 1250 mm au Sud. Depuis les années 90 (Figure 27), une tendance à la baisse se dégage sur la valeur moyenne calculée sur les 144 mailles SAFRAN. Cette même tendance est également retranscrite (sur des bassins dans et à proximité du secteur à l'étude) au niveau de l'évolution des QMNA, débits moyens mensuels minimum par année (annexe 3).

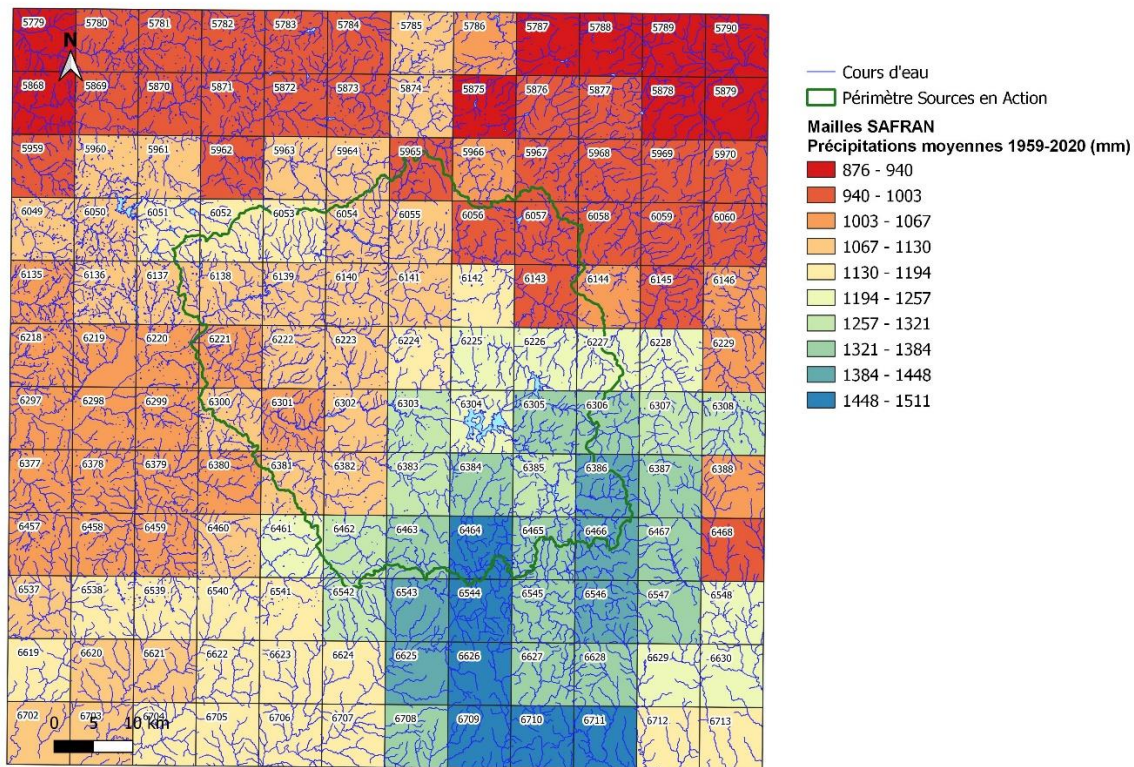


Figure 22 : Précipitations annuelles (moyennées sur la période 1959-2020) par maille SAFRAN

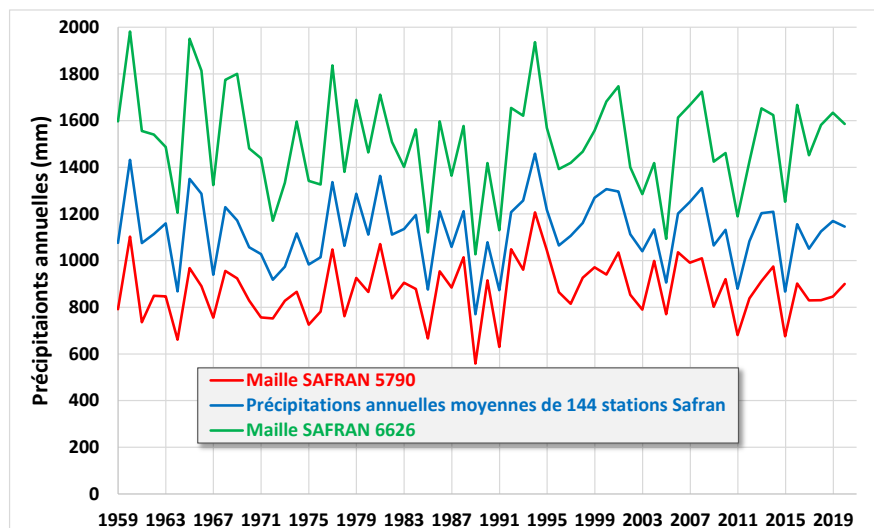


Figure 23 : Évolutions de 1959 à 2020 des précipitations annuelles moyennées sur 144 mailles SAFRAN et sur les mailles SAFRAN n° 5790 (plus faible moyenne interannuelle) et n° 6626 (plus forte moyenne interannuelle)

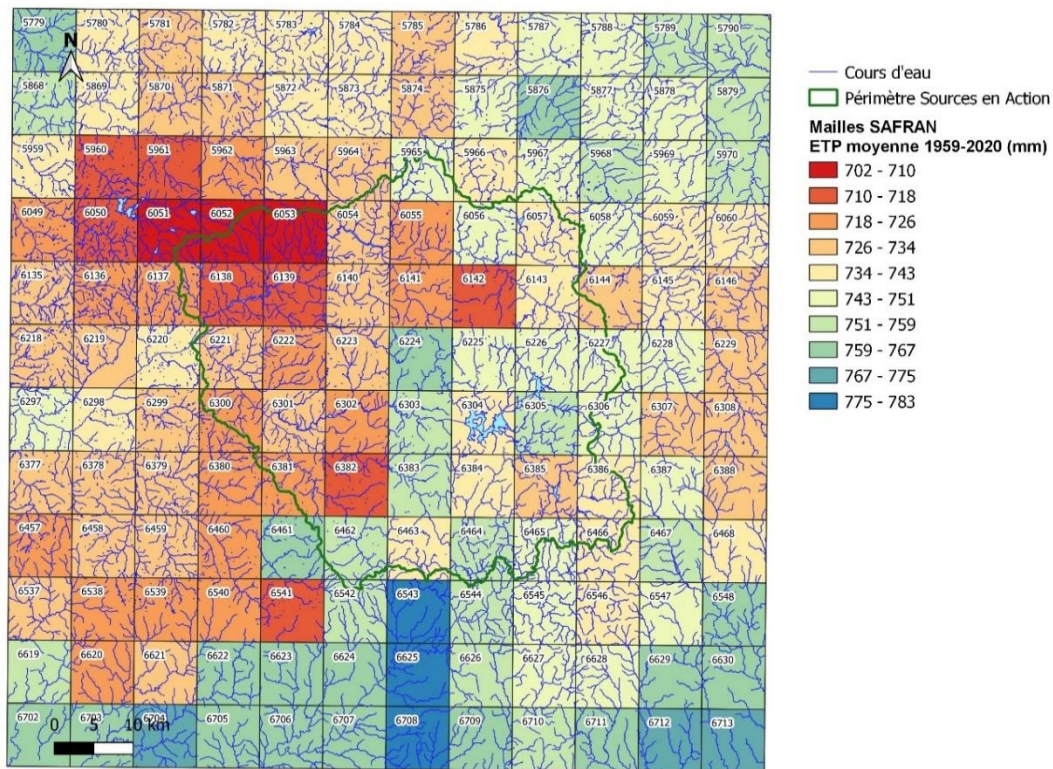


Figure 24 : ETP annuelle (moyennée sur la période 1959-2020) par maille SAFRAN

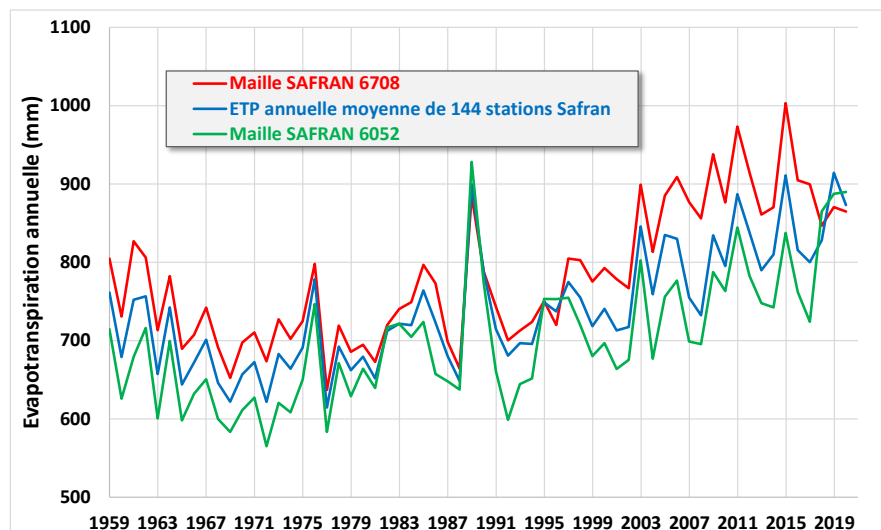


Figure 25 : Évolutions de 1959 à 2020 de l'ETP annuelle moyennée sur 144 mailles SAFRAN et sur les mailles SAFRAN n° 6708 (plus faible moyenne interannuelle) et n° 6052 (plus forte moyenne interannuelle)

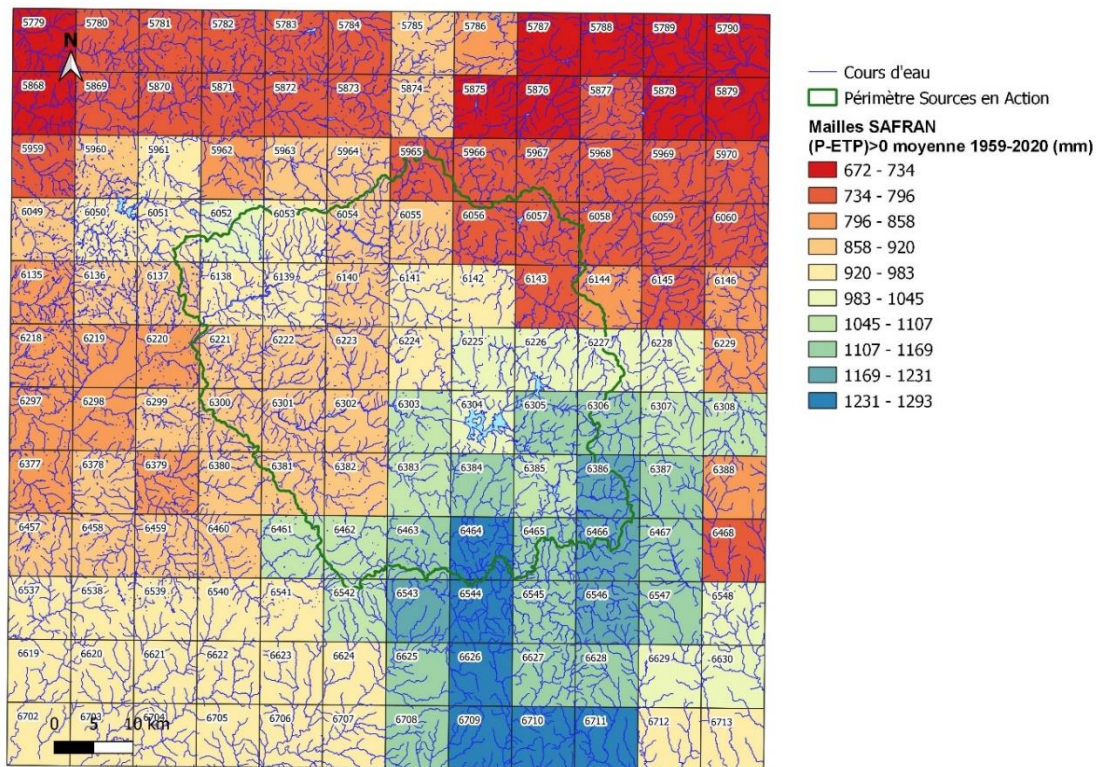


Figure 26 : Somme annuelle des valeurs journalières des différences positives entre précipitation P et ETP (moyennée sur la période 1959-2020) par maille SAFRAN

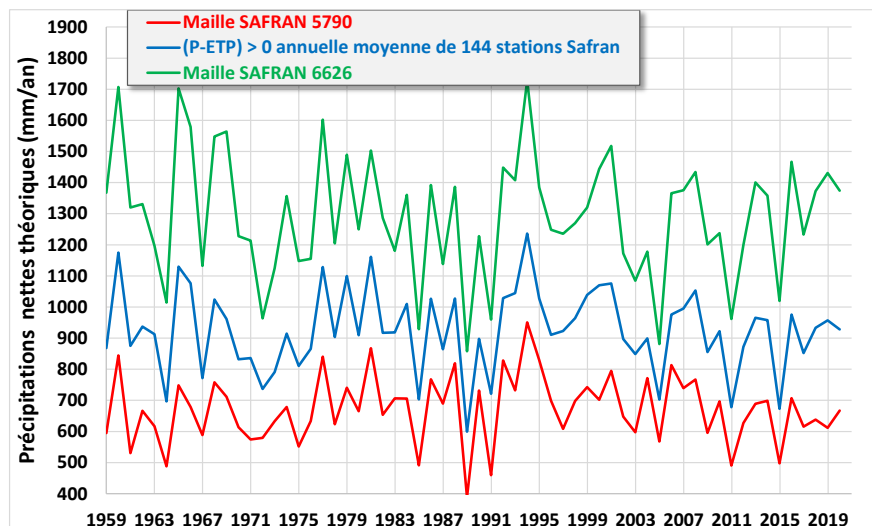


Figure 27 : Évolutions de 1959 à 2020 de la somme annuelle du paramètre $(P-ETP)>0$ annuelle moyennée sur 144 mailles SAFRAN et sur les mailles SAFRAN n° 5790 (plus faible moyenne interannuelle) et n° 6626 (plus forte moyenne interannuelle)

4.2. HYDROLOGIE

Le réseau de cours d'eau utilisé dans cette étude (Figure 28) est issu de la BD TOPAGE (version 2019) qui constitue le référentiel hydrographique français. Le réseau présent sur le territoire « Sources en action » (d'une superficie d'environ 2 200 km²) présente un linéaire cumulé d'environ 2 200 km, ce qui représente une densité de drainage moyenne de 1 km/km².

La Figure 28 présente également les 13 stations de mesures de débit en continu implantées sur le secteur à l'étude (dont 3 ne sont aujourd'hui plus fonctionnelles) dont quelques caractéristiques sont présentées en Figure 29. Dix stations présentent des suivis antérieurs à 1970, la station la plus ancienne et toujours en activité étant celle du Taurion à Pontarion, remontant à 1919.

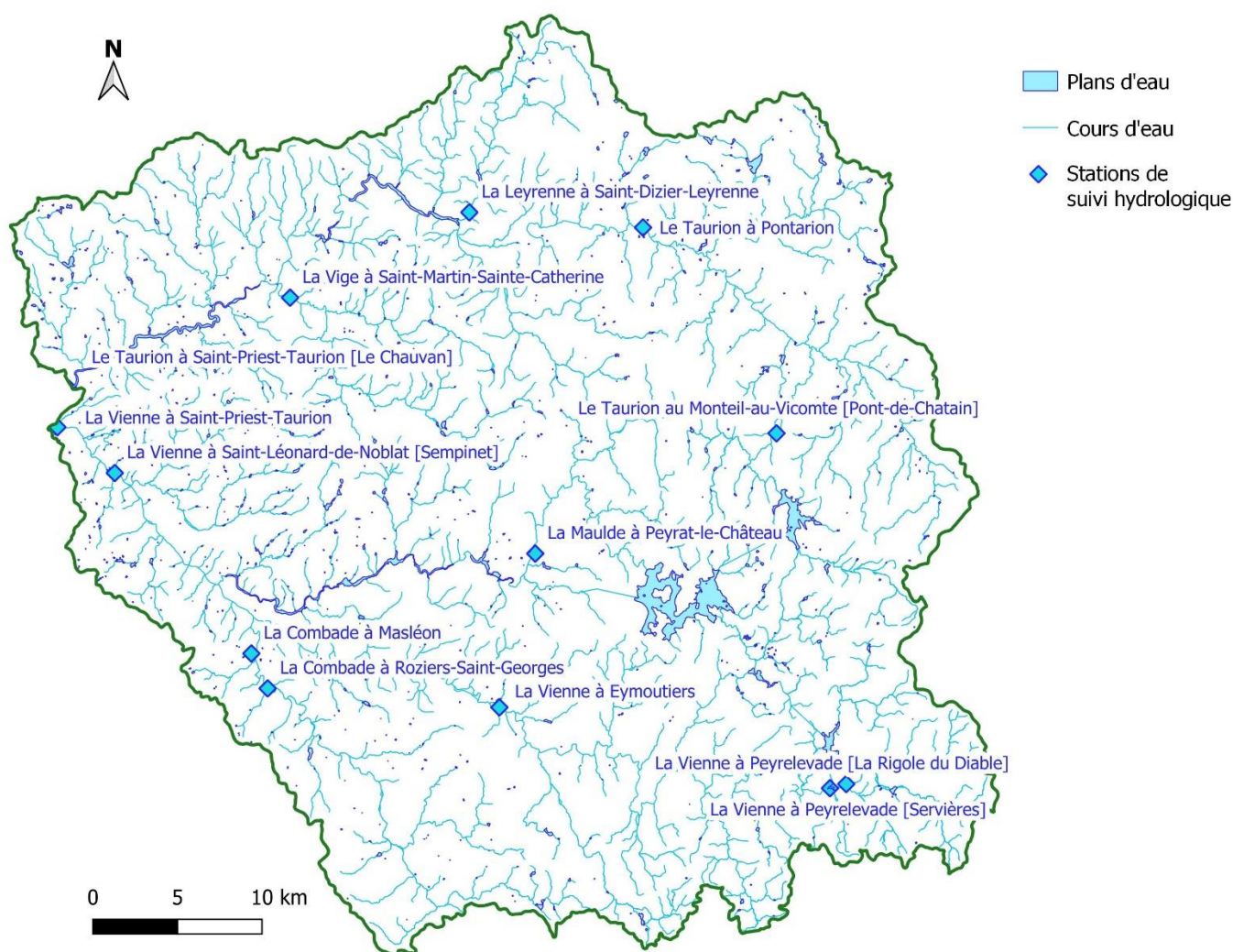


Figure 28 : Réseau hydrographique (BD TOPAGE) et stations de mesures de débit sur le territoire « Sources en action »

Code de la Station	Libellé de la station	Département	Altitude au sol (m NGF)	Date du début de suivi	Date de fin du suivi	Surface du BV topographique (km ²)
L0244510	La Leyrenne à Saint-Dizier-Leyrenne	Creuse	382	01/11/1967	07/01/1994	63
L0201510	Le Taurion au Monteil-au-Vicomte [Pont-de-Chatain]	Creuse	561	01/01/1928	02/01/2017	80
L0231510	Le Taurion à Pontarion	Creuse	440	01/01/1919		386
L0140610	La Vienne à Saint-Priest-Taurion	Haute-Vienne	238	01/01/1942		1155
L0314010	La Vige à Saint-Martin-Sainte-Catherine	Creuse	302	01/01/1958		132
L0123030	La Maulde à Peyrat-le-Château	Haute-Vienne	391	01/01/1990		97
L0010610	La Vienne à Peyrelevalade [Servières]	Corrèze	618	01/01/1947		61
L0010620	La Vienne à Peyrelevalade [La Rigole du Diable]	Corrèze	744	27/03/1962		72
L0050630	La Vienne à Eymoutiers	Haute-Vienne	397	01/06/1994		359
L0140620	La Vienne à Saint-Léonard-de-Noblat [Sempinet]	Haute-Vienne	264	01/03/1966		997
L0140610	La Vienne à Saint-Priest-Taurion	Haute-Vienne	238	01/01/1942		1155
L0093020	La Combade à Roziers-Saint-Georges	Haute-Vienne	305	29/11/2001		171
L0093010	La Combade à Masléon	Haute-Vienne	290	01/01/1967	01/08/2002	187

Figure 29 : Inventaire des stations hydrologiques sur le territoire Sources en action

L'Office Français de la Biodiversité (OFB) a développé depuis 2012 un réseau d'observation visuelle (au pas de temps mensuel) de l'écoulement des petits cours d'eau, appelé Observatoire National Des Étiages (ONDE). Son objectif est d'identifier les cours d'eau sensibles en période d'étiage et vérifier, s'il y a ou non, une rupture d'écoulement. Il est un des outils listés dans la circulaire du 18 mai 2011 relative aux mesures exceptionnelles de limitation ou de suspension des usages de l'eau en période de sécheresse. En période de crise, la fréquence des observations peut être plus importante.

La Figure 30 présente les 9 stations d'observation implantées sur le secteur à l'étude dont quelques caractéristiques sont présentées en Figure 31.

Sur les 9 stations inventoriées, 3 présentent des suivis qui ont débuté en 2021, avec uniquement des observations d'écoulements visibles :

- la Galamache à Sauviat-sur-Vige ;
- le Grandrieux à Saint-Dizier-Masbaraud ;
- le Parleur à Ambazac.

Trois stations présentent historiquement essentiellement de l'écoulement visible, avec ponctuellement des écoulements visibles faibles :

- le ruisseau de Planchemouton à Eymoutiers : deux observations d'écoulement visible faible en octobre et novembre 2018 ;
- la Combade à Saint-Gilles-la-Forêt : écoulements visibles faibles observés en 2012 (août et septembre) et en 2018 (août, octobre et novembre) ;
- la Galamache à Saint-Léonard-de-Noblat : écoulements visibles faibles en septembre 2015, août 2016, juin 2017 et septembre et octobre 2018.

Les trois stations les plus impactées en été sont :

- le ruisseau de la Gane à Faux-la-Montagne (cartographié comme non pérenne sur une grande partie du cours amont à la station du réseau ONDE), avec des écoulements visibles faibles en 2012, 2015, 2018, 2019 et 2020 ;

- le ruisseau de Brigout à Chavant : de 2012 à 2021, seules les années 2014 et 2021 ne présentent pas d'écoulements visibles faibles ; une seule observation d'assec a été rapportée en septembre 2019 ; la station du réseau ONDE est implantée sur la source amont du ruisseau, avec un bassin versant topographique associé de petite extension ;
- le ruisseau Sous-Parsat à Sous-Parsat (identifié comme non pérenne) qui présente des asssecs marqués, surtout depuis 2018.

Les deux ruisseaux les plus impactés en période estivale (Sous-Parsat et dans une moindre mesure le Brigout) sont sur les secteurs du territoire « Sources en action » présentant les plus faibles précipitations.

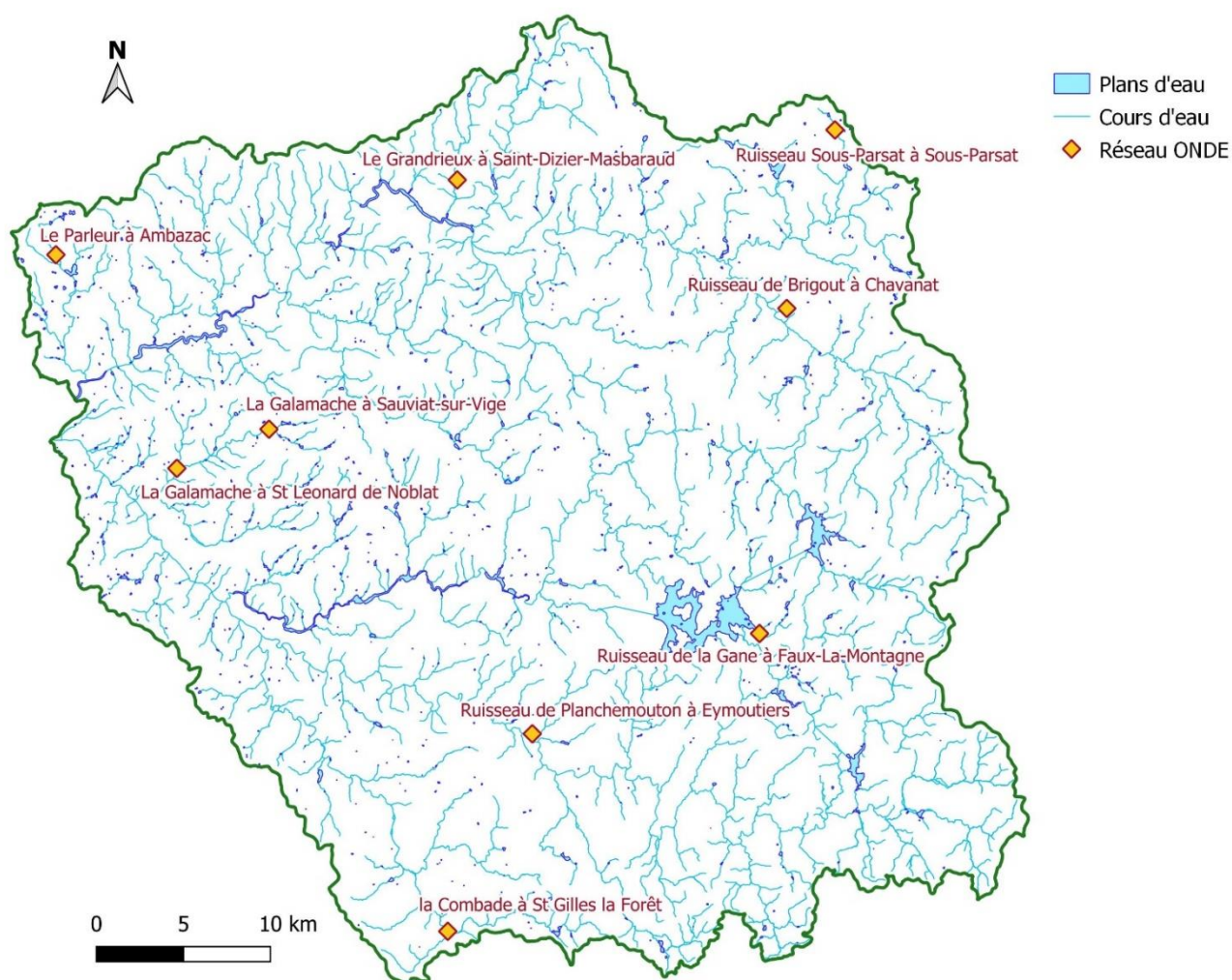


Figure 30 : Points de l'Observatoire National Des Étiages (ONDE) sur le territoire « Sources en action »

Code de la Station	Libellé de la station	Département	Date du début de suivi
L0220002	Ruisseau Sous-Parsat à Sous-Parsat	Creuse	mai 2012
L0300002	Le Grandrieux à Saint-Dizier-Masbaraud	Creuse	avril 2021
L0321511	Le Parleur à Ambazac	Haute-Vienne	mai 2021
L0220001	Ruisseau de Brigout à Chavanat	Creuse	mai 2012
L0130002	La Galamache à Sauviat-sur-Vige	Haute-Vienne	mai 2021
L0130001	La Galamache à St Leonard de Noblat	Haute-Vienne	mai 2012
L0110001	Ruisseau de la Gane à Faux-La-Montagne	Creuse	mai 2012
L0040001	Ruisseau de Planchemouton à Eymoutiers	Haute-Vienne	mai 2012
L0070001	la Combade à St-Gilles-la-Forêt	Haute-Vienne	mai 2012

Figure 31 : Points de l'Observatoire National Des Étiages (ONDE) sur le territoire « Sources en action »

Le Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE) met à disposition une base de données nationale relative aux obstacles à l'écoulement. Selon le référentiel, « un obstacle à l'écoulement est un ouvrage lié à l'eau qui est à l'origine d'une modification de l'écoulement des eaux de surface (dans les talwegs, lits mineurs et majeurs de cours d'eau et zones de submersion marine). Seuls les obstacles artificiels (provenant de l'activité humaine) sont pris en compte ».

La Figure 32 présente la cartographie des obstacles à l'écoulement, pour laquelle un regroupement des typologies d'obstacles a été réalisé :

- barrages : à contreforts, à voûtes multiples, en remblais, mobile, poids, poids voûte, voûte, autre sous-type, inconnu ;
- buses ;
- digues : de canaux, de protection contre les inondations, mixtes (canaux + protection inondation) ;
- épis en rivière ;
- grilles de pisciculture ;
- ponts : obstacle induit, radier, sous-type inconnu ;
- passages à gué ;
- seuils : en rivière, en rivière déversoir, en rivière radier, en rivière inconnu.

Les trois cours d'eau principaux du secteur, la Vienne, le Taurion et la Maulde présentent un régime influencé (Figure 32) de par les usines hydroélectriques implantées sur leur cours et les dérivations existantes permettant notamment d'assurer un soutien d'étiage de la Vienne.

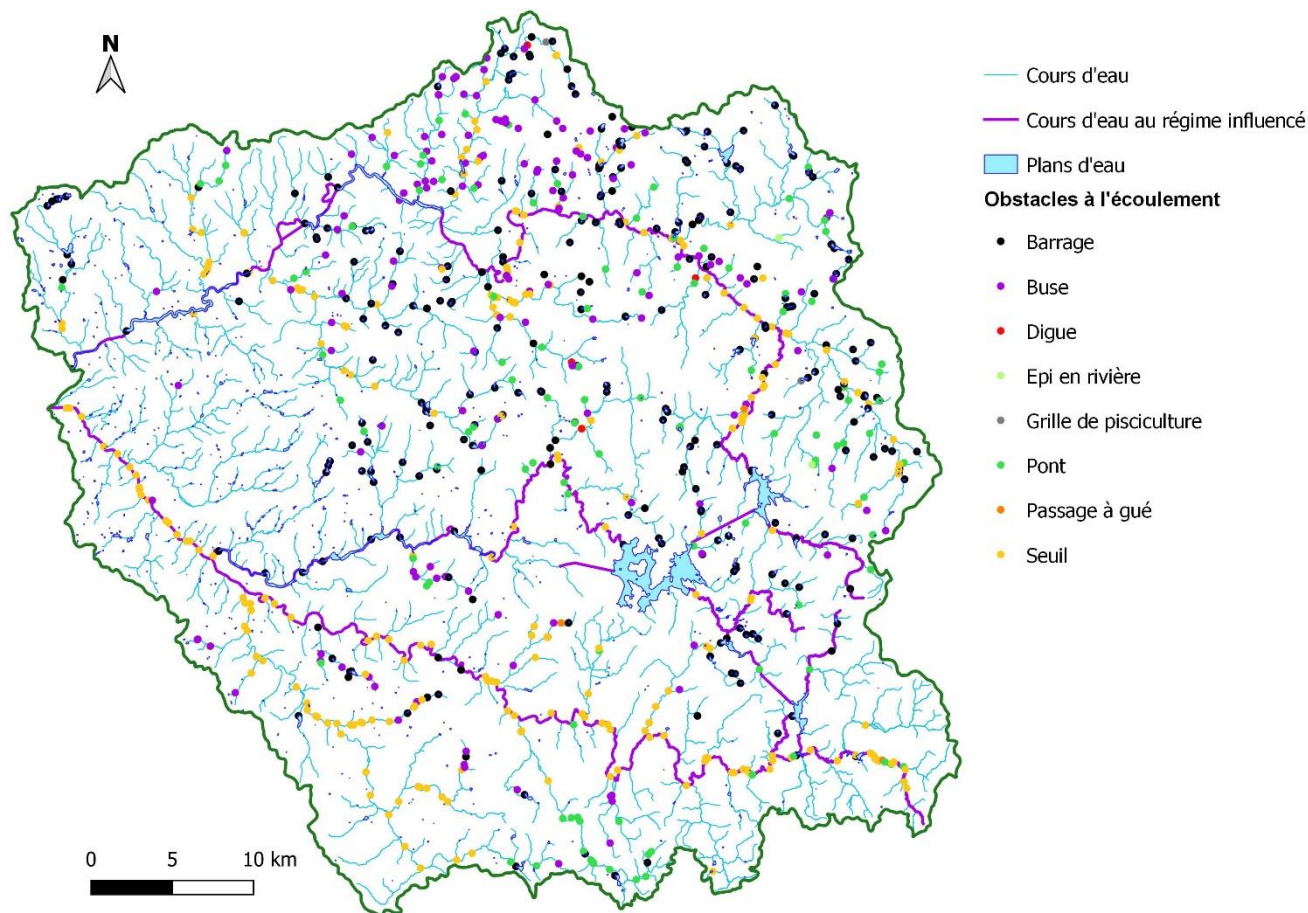


Figure 32 : Cartographie des obstacles à l'écoulement sur le territoire « Sources en action »

4.3. MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN, CARTOGRAPHIE DE RESEAUX ET DE BASSINS VERSANTS

L'approche géomorphologique a été menée sur la base d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) produit par l'IGN, le « RGE ALTI 5 m » maillé au pas de 5 m. La Figure 33 présente la cartographie du relief à l'échelle du secteur à l'étude qui montre un dénivelé important du Sud-Est vers le Nord-Ouest, d'un peu de plus de 700 m.

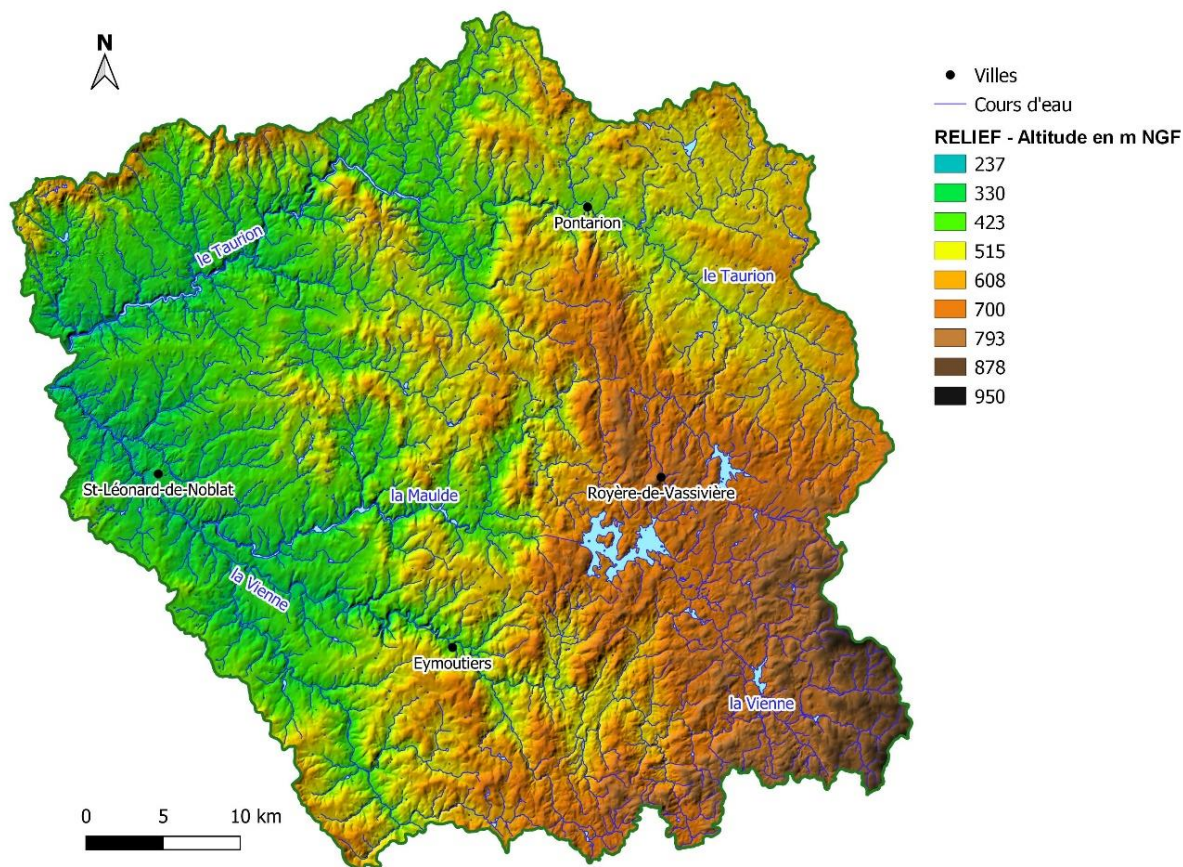


Figure 33 : Cartographie de l'altitude sur le territoire de Sources en action

Le MNT a fait l'objet de divers traitements à l'aide de la bibliothèque d'outils SAGA (Système pour les Analyses Géoscientifiques Automatisées) intégrée au Système d'Information Géographique QGis.

Afin de déterminer des réseaux de drainage et leurs sous-bassins versants topographiques associé, divers outils spécifiques ont été utilisés successivement :

- « Fill sinks (Wang et Liu 2006) » a permis d'assurer une continuité de réseau de drainage amont-aval sur l'ensemble du bassin (lissage du MNT), le MNT a fait l'objet d'un prétraitement permettant de combler des « cuvettes » ou « minimas locaux » éventuellement présents ; l'outil a été utilisé en fixant une pente minimale de 0,02 degrés ;
- « Catchment area » a été utilisé pour réaliser un calcul des surfaces drainées au niveau de chaque point du MNT est effectué (équivalent au nombre de pixels du MNT en amont s'écoulant vers chaque point) ; il correspond à un flux d'accumulation qui a été calculé à l'aide de la méthode « deterministic 8 » ;
- « Channel network » sert à calculer un réseau vecteur du réseau de drainage en combinant MNT et flux d'accumulation, en fixant une valeur minimale de flux d'accumulation ;
- « Watershed Basins » a servi à délimiter les sous-bassins versants topographiques correspondant au réseau de drainage obtenu à l'étape précédente.

La densité du réseau de drainage est inversement proportionnelle au flux minimal d'accumulation retenu (Figure 34 et Figure 35). Le réseau calculé sur la base d'un flux minimal d'accumulation de 500 000 s'approche le plus du réseau de cours d'eau issu de la BD Topage (comparaison présentée en Figure 36) ; ce flux d'accumulation correspond à une surface drainée de 500 000 x 25 m², soit 12,5 km².

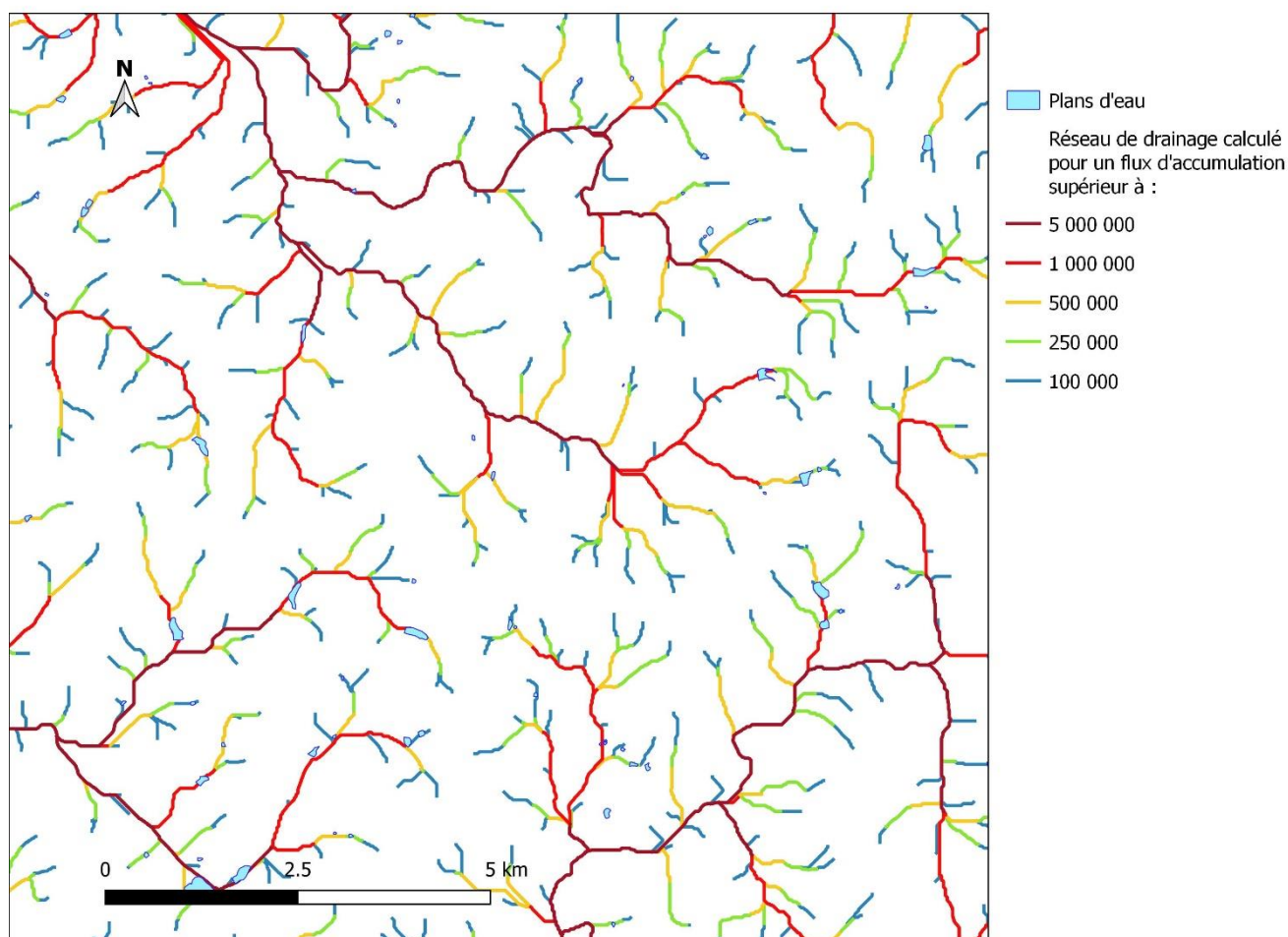


Figure 34 : Évolution du réseau de drainage calculé en fonction du flux d'accumulation retenu

Réseau	Linéaire en m
BD TOPAGE	2 193 201
Flux Acc > 5 M	774 275
Flux Acc > 1 M	1 567 151
Flux Acc > 0.5 M	2 161 904
Flux Acc > 0.1 M	2 914 247

Figure 35 : Évolution du linéaire de réseau de drainage en fonction du flux d'accumulation retenu et comparaison avec le réseau de cours d'eau de la base de données TOPAGE

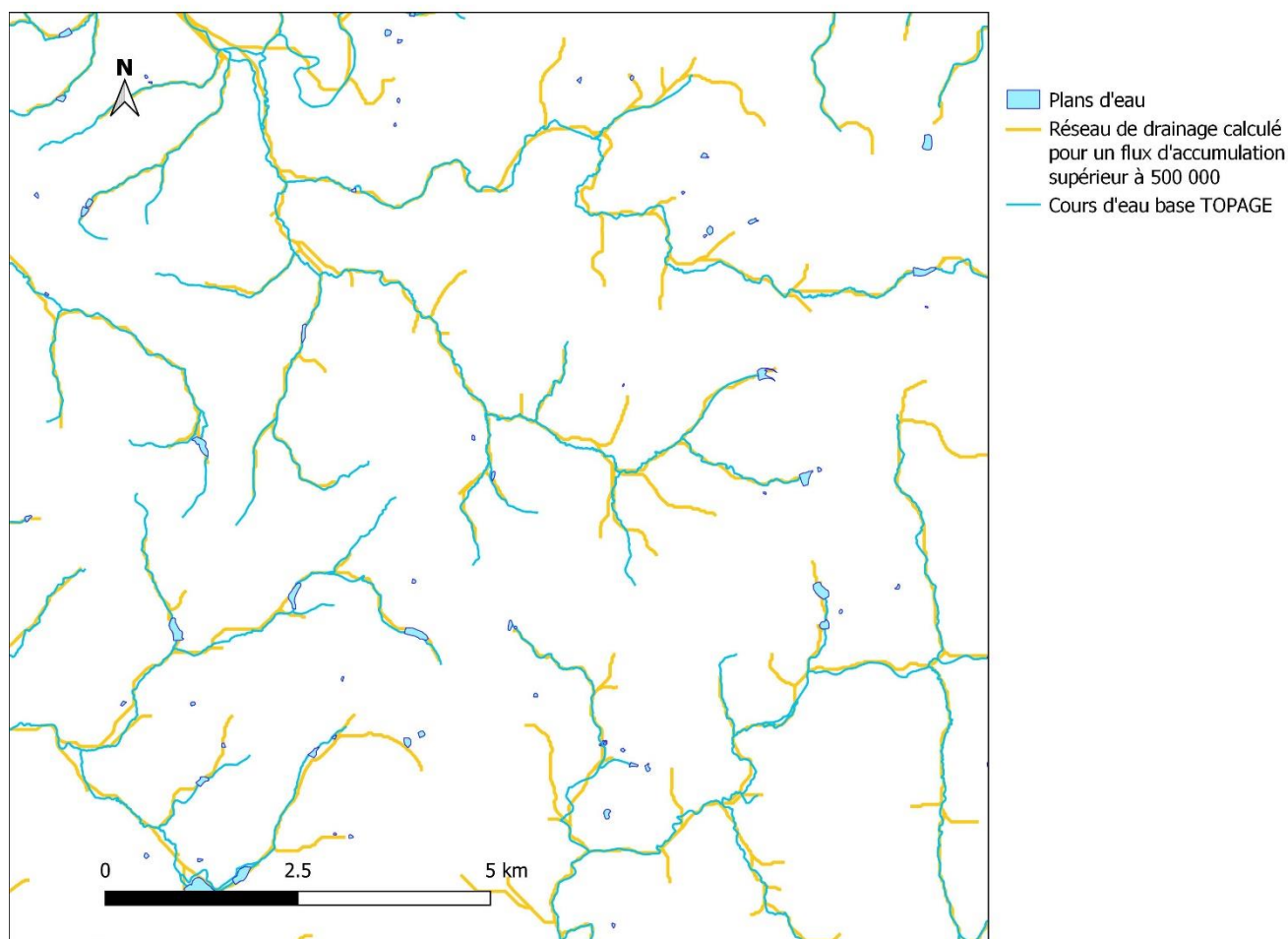


Figure 36 : Comparaison entre le réseau de drainage calculé pour un flux d'accumulation minimal de 500 000 et le réseau de cours d'eau issu de la BD Topage

Afin d'appréhender la répartition spatiale des divers paramètres de caractérisation retenus dans cette étude, deux cartographies de tracé de bassins versants associés aux réseaux de drainage ont été calculées ; elles correspondent à deux flux d'accumulation minimum. La génération des bassins à partir du MNT génère des artefacts liés notamment à la présence de cours d'eau ou de plans d'eau ; un préfiltre a ainsi été appliqué en ne retenant que les bassins générés dont la surface est supérieure à 0,2 km².

Les principales caractéristiques des deux cartographies de bassins versants présentées en Figure 37 sont les suivantes :

- flux d'accumulation minimal de 5 000 000 :
 - 248 sous-bassins versants topographiques ;
 - superficie de 0,2 km² à 54,7 km² ;
 - les sous-bassins d'une superficie supérieure à 10 km² représentent 56 % du territoire ;
 - les sous-bassins d'une superficie supérieure à 9 km² représentent 64 % du territoire ;
 - les sous-bassins d'une superficie supérieure à 7 km² représentent 80 % du territoire ;

- flux d'accumulation minimal de 1 000 000 :
 - o 1028 sous-bassins versants topographiques ;
 - o superficie de 0,2 km² à 9,6 km².

Les deux délimitations sont complémentaires, celle présentant les plus grandes surfaces de bassin permettant des calculs (notamment ceux liés à des densités) plus significatifs, tandis que la cartographie comprenant les plus petits bassins permet de détailler chaque BV et d'examiner des caractéristiques locales (travail à l'échelle de zones humides par exemple).

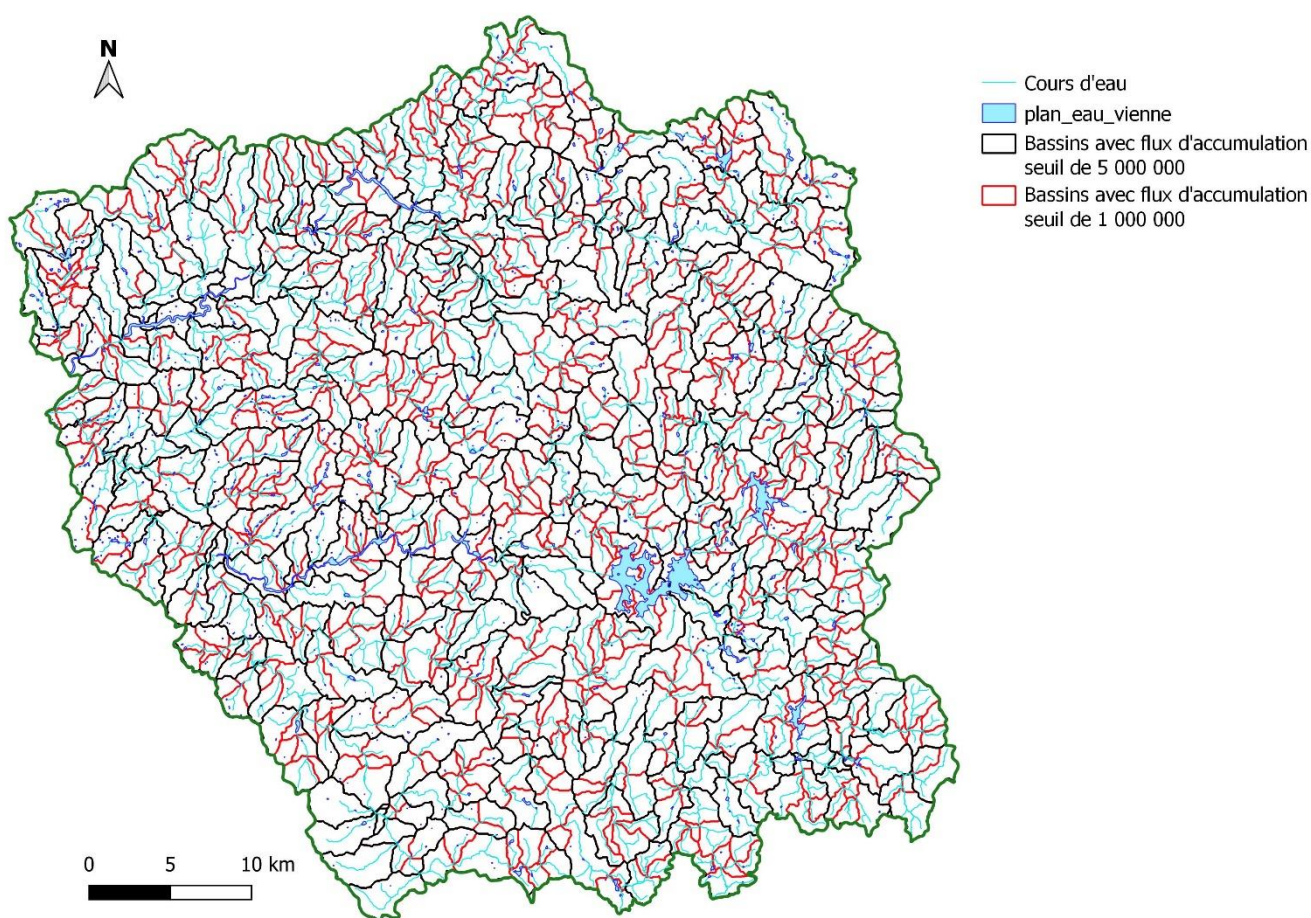


Figure 37 : Délimitation des bassins versants tracés sur la base de flux d'accumulation seuil de 5 000 000 et 1 000 000.

Une contrainte de l'utilisation du MNT RGEAlt 5 m est liée au fait qu'il résulte de la fusion de données d'altitudes obtenues par diverses techniques : Lidar, photogrammétrie, interpolation... (Thierry Y. et al, 2020). La cartographie du log à base 10 du flux d'accumulation présentée en Figure 38 illustre l'effet de cette fusion, qui sur le territoire de « Sources en action » ne s'observe que de part et d'autre du cours d'eau de la Vienne, sur une portion comprise entre Saint-Léonard-de-Noblat et Saint-Priest-Taurion où le MNT apparaît plus précis.

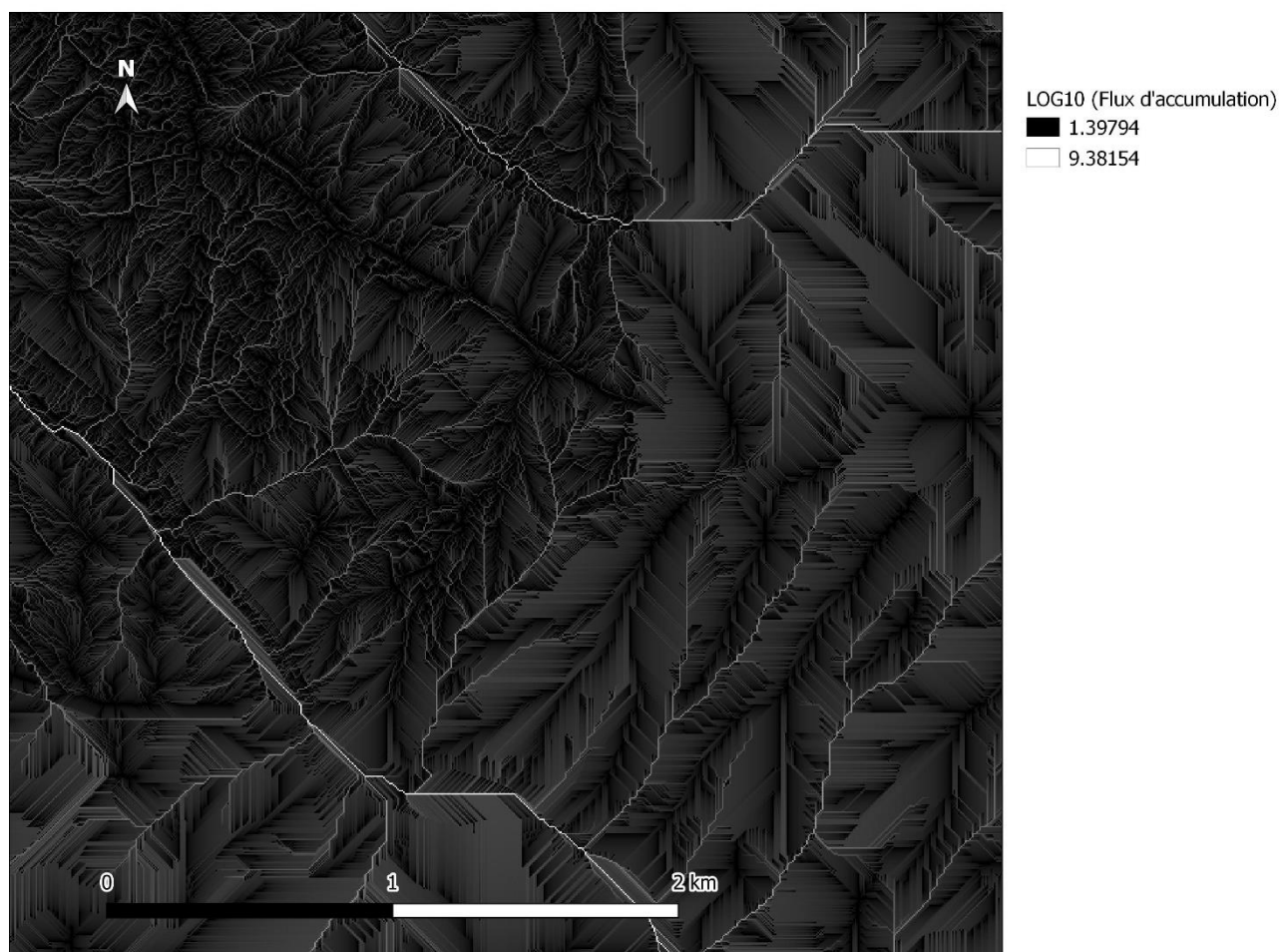


Figure 38 : Visualisation du log à base 10 du flux d'accumulation sur un secteur au Sud-Est de Saint-Léonard-de-Noblat

4.4. INDICATEURS HYDRO-MORPHOLOGIQUES

4.4.1. L'indice de compacité

L'hydrogramme de crue à l'exutoire d'un bassin versant est influencé par la forme de ce dernier. Par exemple, un bassin versant de forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

Parmi indices utilisés pour décrire la morphologie d'un bassin versant, l'indice de compacité de Gravelius (1914) noté K_G , est défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle de même surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée, tel qu'illustré sur la Figure 39.

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P : périmètre du bassin [km]

A : surface du bassin versant [km²]

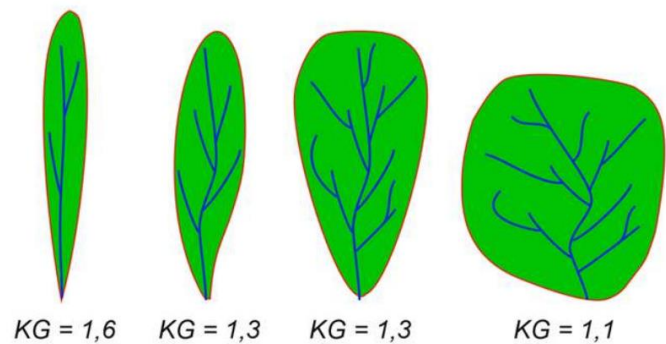


Figure 39 : Formule de l'indice de compacité de Gravelius K_G et visualisation de l'évolution de la forme d'un bassin versant en fonction de K_G

La Figure 40 présente la répartition spatiale de l'indice de compacité sur le territoire de « Sources en action », avec pour la cartographie des bassins présentant un flux d'accumulation supérieur à 5 000 000, des valeurs comprises entre 1,4 et 3.

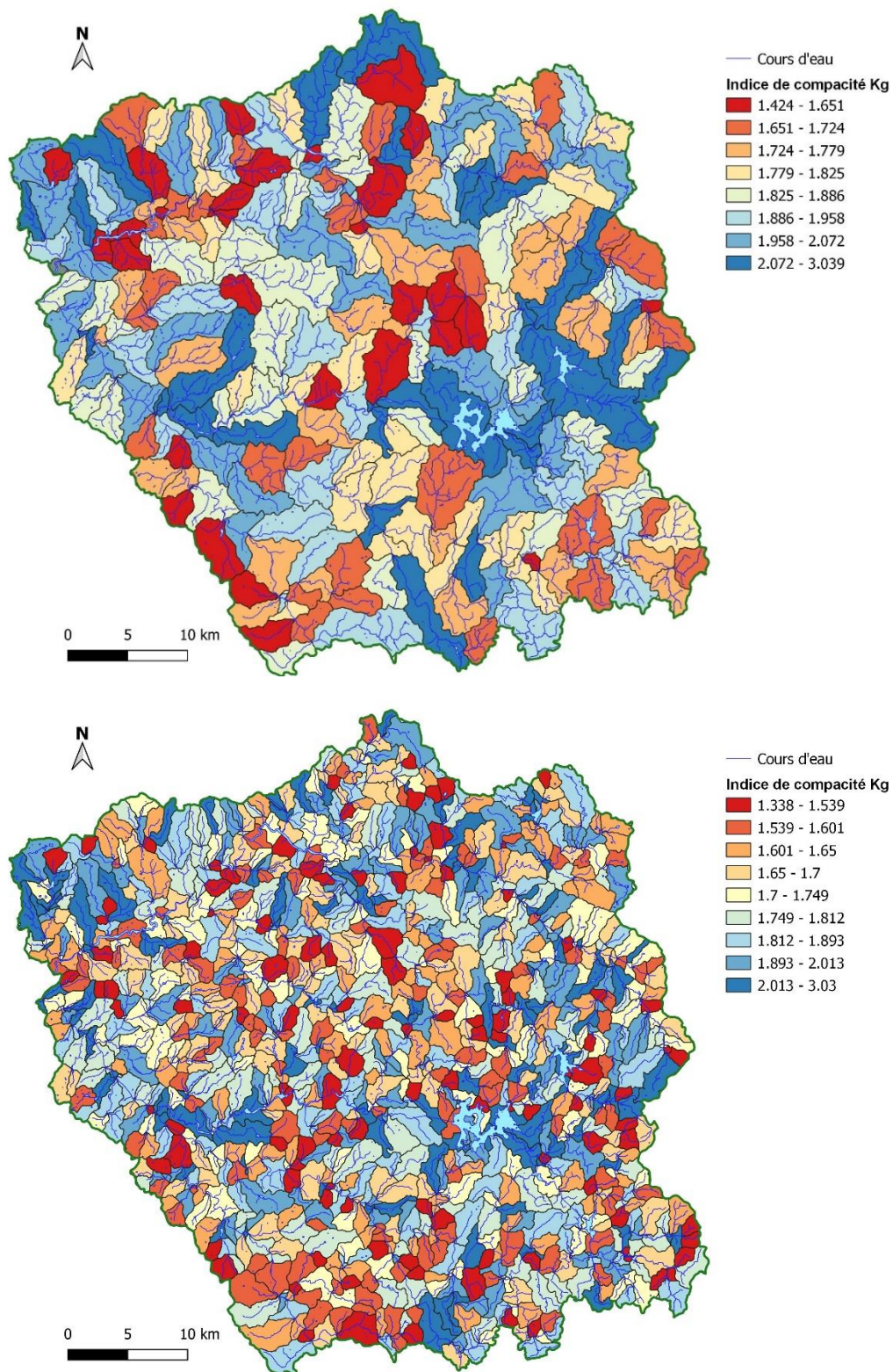


Figure 40 : Cartographies de l'indice de compacité de Gravelius K_G à deux échelles de bassins versants

4.4.2. La densité de drainage

La densité de drainage (le rapport des linéaires de cours d'eau à la surface considérée) est un indicateur du rôle des couches géologiques superficielles sur l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol, et par voie de conséquence sur le ruissellement de l'eau qui ne s'est pas infiltrée.

La densité de drainage est calculée selon la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

D_d : densité de drainage [km/km²]

L_i : longueur de cours d'eau [km]

A : surface du bassin versant [km²]

La Figure 41 présente la répartition spatiale de la densité de drainage sur le territoire de « Sources en action ».

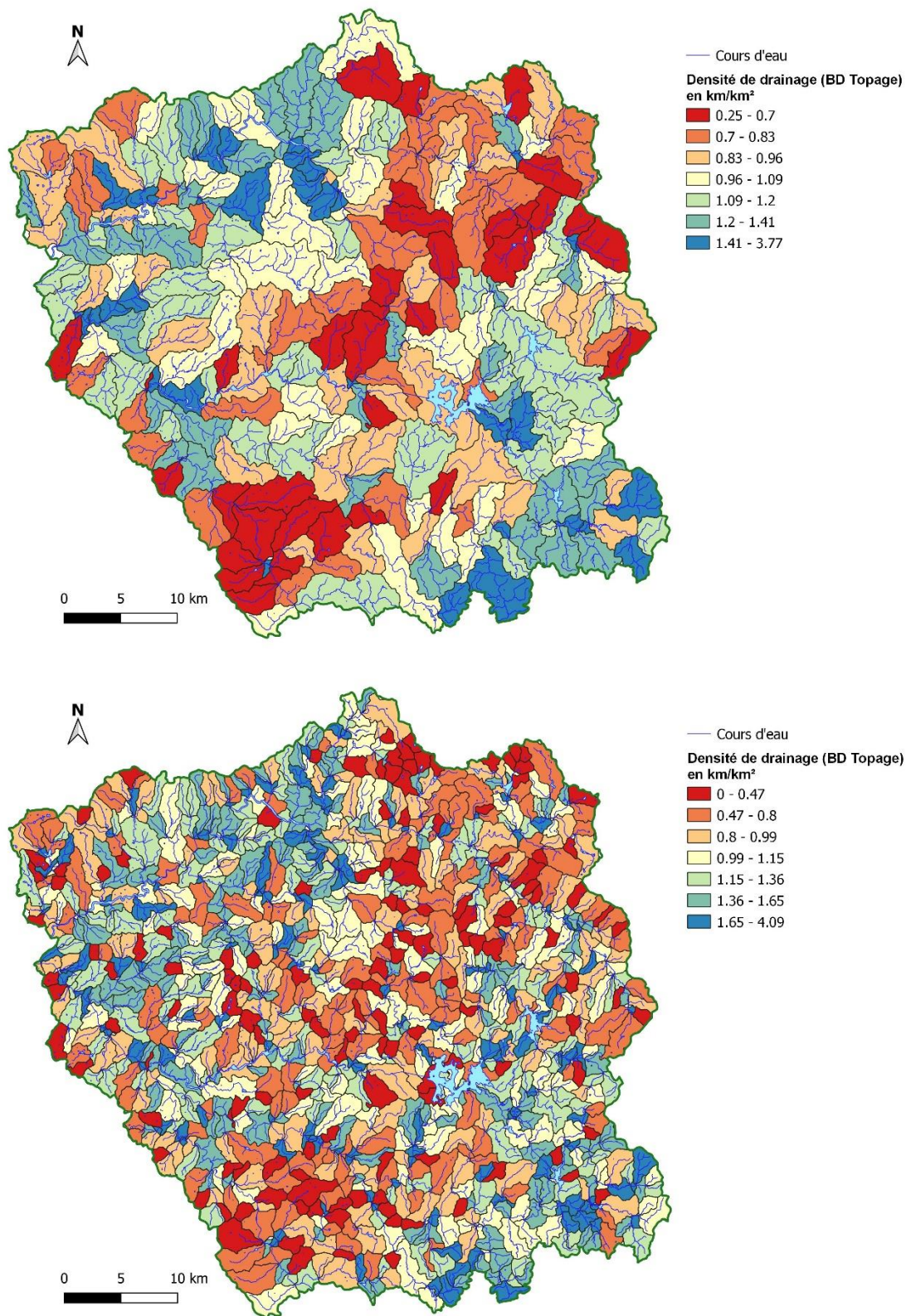


Figure 41 : Cartographies de la densité de drainage (BD Topage) à deux échelles de bassins versants

4.4.3. L'Indice de Persistance et de Développement des Réseaux (IDPR)

L'indice de persistance et de développement des réseaux (IDPR) a été créé par le BRGM (Mardhel, 2021) pour qualifier un territoire en termes de "chemins empruntés" par les eaux météoriques. L'eau qui se répand à la surface des terrains naturels (qui n'est pas absorbée par les plantes ou soumise à une évaporation directe), quitte son bassin versant de deux manières distinctes :

- elle ruisselle à la surface, se concentre dans les ruisseaux et les rivières et quitte le bassin en faveur d'un exutoire de surface ;
- elle s'infiltré dans le sous-sol, se concentre dans un aquifère et quitte ce dernier par un exutoire souvent distinct de celui du réseau des rivières.

L'IDPR permet une approche qualitative du rapport entre ces deux "chemins", il donne une indication quant à l'aptitude des formations du sol et sous-sol à laisser s'infiltrer et/ou ruisseler les eaux de surface vers/depuis le milieu souterrain. L'idée qui sous-tend l'IDPR découle de l'observation suivante : l'organisation du réseau hydrographique est dépendante des formations géologiques qui le supportent.

Le calcul de l'IDPR est basé sur la comparaison entre un réseau hydrographique fictif qui considère la présence d'une rivière dans chaque fond de vallée (Indice de Développement) et un réseau hydrographique existant (Persistance des Réseaux). Cela permet de faire ressortir les zones à faible réseau hydrographique (zones d'infiltration forte) et celles où le ruissellement est important (réseau hydrographique dense).

L'IDPR résulte du rapport entre la distance au plus proche cours d'eau réel et la distance au plus proche talweg calculé, il varie selon une échelle comprise entre 0 et n, et est arbitrairement ramené à une gamme de 0 à 2 000 :

- IDPR < 1000 : infiltration majoritaire par rapport au ruissellement superficiel. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint un axe de drainage défini par l'analyse des talwegs sans que celui-ci ne se concrétise par l'apparition d'un axe hydrologique naturel ;
- IDPR = 1000 : infiltration et ruissellement superficiel de même importance. Il y a conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés au talweg et les écoulements en place ;
- IDPR > 1000 : ruissellement superficiel majoritaire par rapport à l'infiltration vers le milieu souterrain. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint très rapidement un axe hydrologique naturel sans que la présence de celui-ci soit directement justifiée par un talweg.

Un IDPR voisin ou égal à 2 000 traduit une stagnation transitoire ou permanente des eaux, menant à deux interprétations différentes. Si la nappe est proche de la surface des terrains naturels, (cours d'eau et zones humides), le terrain est saturé et l'eau ne s'infiltré pas. Si la nappe est profonde, le caractère ruisselant peut démontrer une imperméabilité des terrains naturels. On pose l'hypothèse que des valeurs d'IDPR supérieures à 2 000 sont majoritairement assimilables à des milieux humides.

À partir de la grille de calcul au pas de 50 m (Figure 42), la valeur médiane de l'IDPR a été calculée à deux échelles pour chaque bassin versant (Figure 43). Sur la plus grande partie du territoire, l'IDPR médiane est comprise entre 750 et 1 250 (comportement proche d'une répartition équivalente entre infiltration et ruissellement). Aucune tendance marquée n'a été mise en évidence entre IDPR et densité de drainage, et ce quelle que soit la taille des bassins versants considérés.

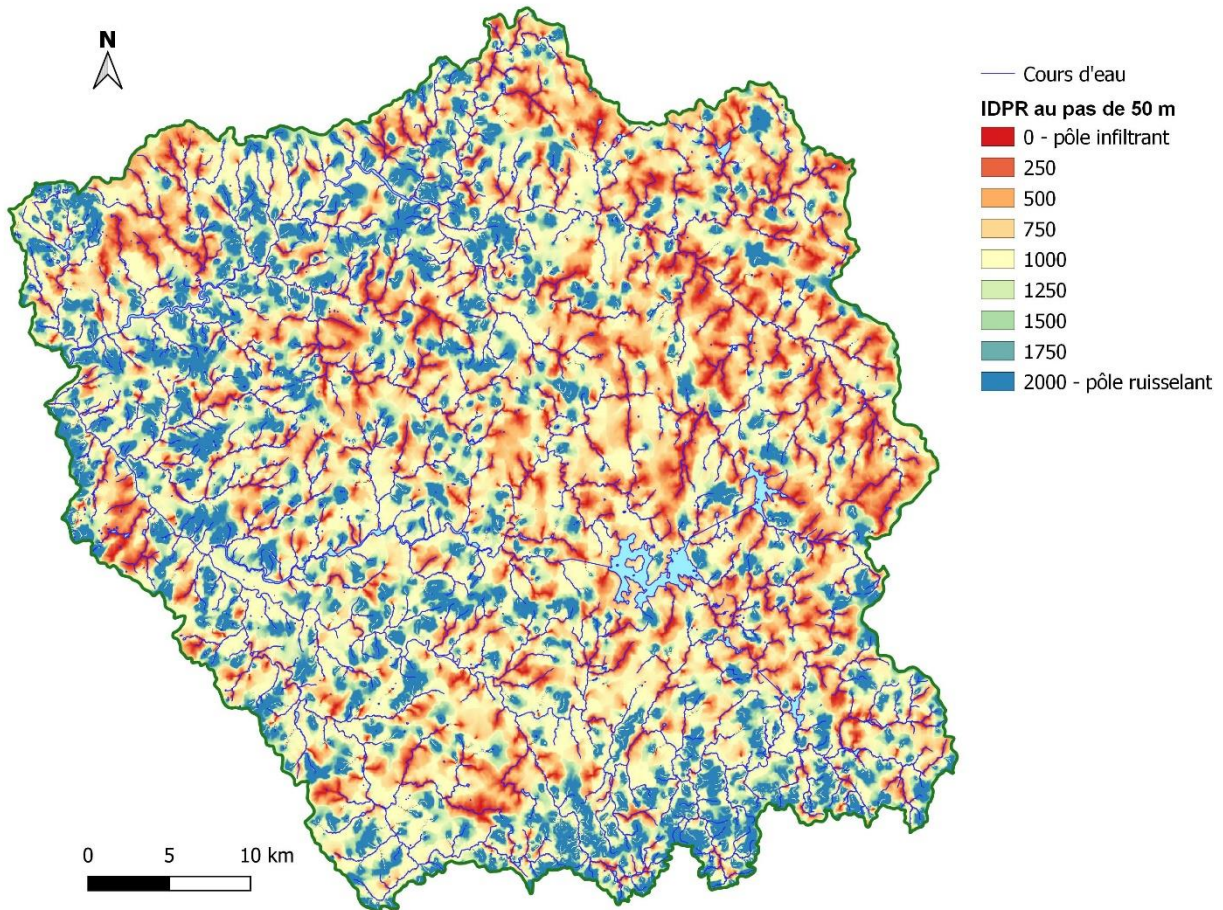


Figure 42 : Cartographie de l'IDPR au pas de 50 m sur le territoire de « Sources en action »

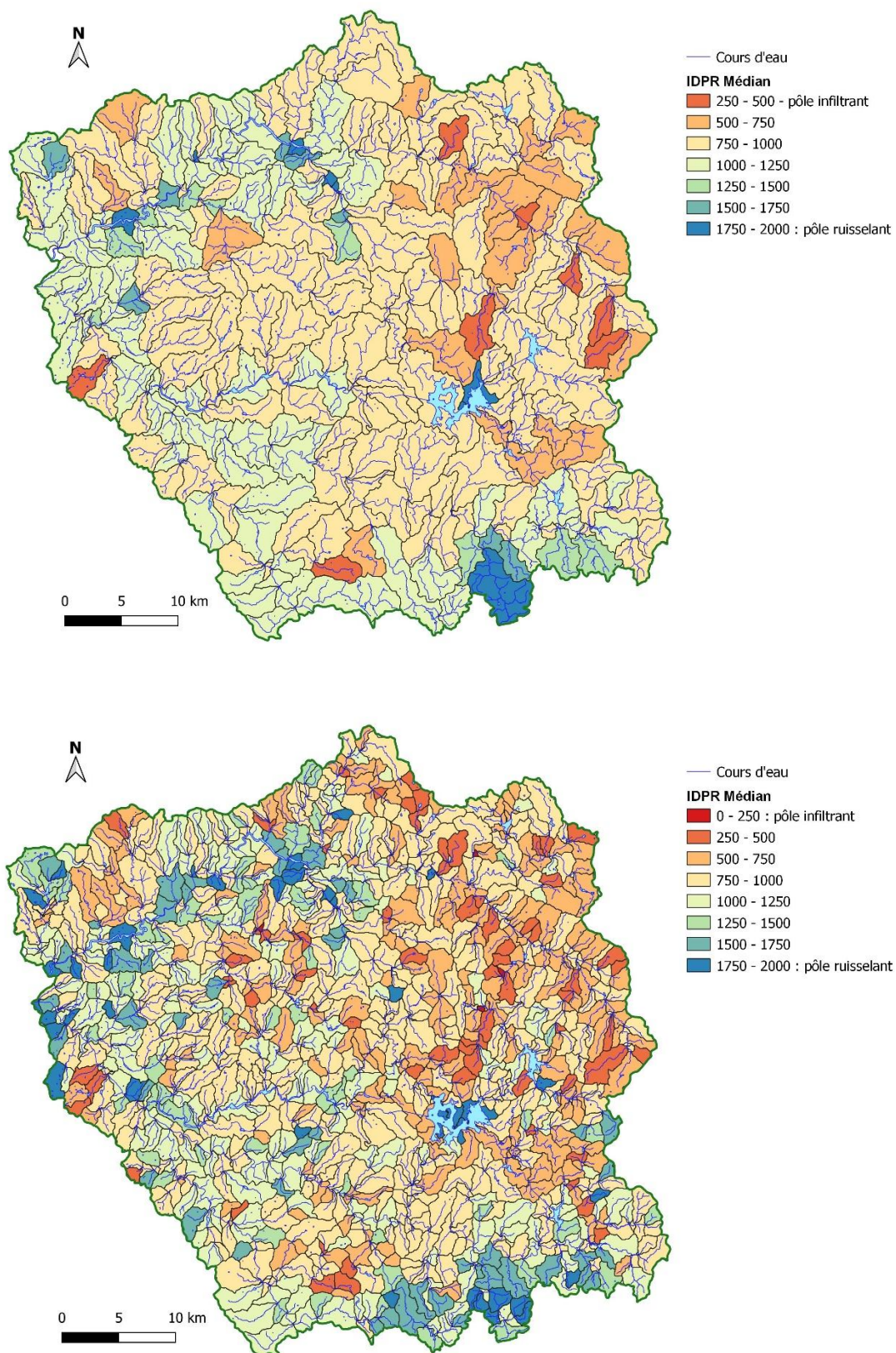


Figure 43 : Cartographie de l'IDPR au pas de 50 m à deux échelles de bassins versants (territoire de Sources en action)

4.4.4. Types de relief : Indice Topographic Position Index (TPI) et TPI LandForm

La forme d'un terrain naturel peut être caractérisée via l'indice TPI : Topographic Position Index (Weiss, 2001). Le TPI correspond à la différence entre l'élévation d'un point et l'élévation moyenne avec son voisinage. Un TPI positif signifie que la cellule est plus élevée que son voisinage (espace proche d'une ligne de crête) et inversement (TPI négatif en fond de vallée). Dans le cas d'un TPI nul, cela peut traduire une zone plane mais également un point de mi-pente. Pour différencier les deux situations, il faut regarder la valeur de la pente en ce point. Une pente forte signifiera un point de mi-pente tandis qu'une pente nulle ou presque sera synonyme de zone plane.

L'indice calculé est très dépendant de la surface de comparaison au voisinage du point qui va être choisi pour son calcul. En effet, un point de crête sur un voisinage restreint peut devenir un point de talweg avec un voisinage plus élargi (Figure 44). La surface de comparaison doit donc être définie pour s'adapter au contexte paysager de l'étude

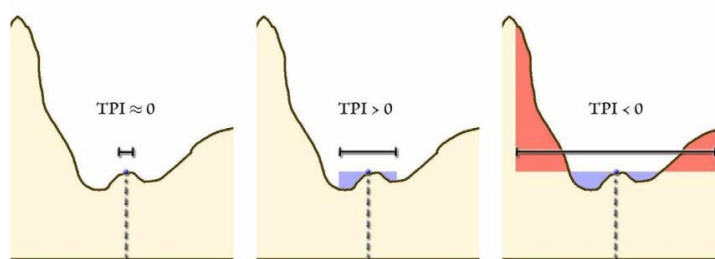


Figure 44 : Exemple de la variation de l'indice TPI en fonction de la taille du voisinage choisi pour son calcul

La combinaison de deux indices TPI à petite et large échelle permet de distinguer et classifier divers types de relief, listés dans la légende de la Figure 45. Cette classification et ses dénominations sont reprises d'une publication de Weiss (2001). Les 2 rayons de calcul des indices TPI couplés sont de 200 m et 1 000 m ; ces valeurs ont été retenues car adaptées au contexte topographique du secteur d'étude, avec notamment une bonne individualisation autant des vallées très encaissées (catégorie 1 : vallées très encaissées) que des points hauts (catégorie 10 : crêtes élevées) et ce sur l'ensemble du territoire (Figure 46).

Les Figure 47 et Figure 48 représentent le type de relief le plus représenté au premier rang et au second rang respectivement, à deux échelles de bassins versants. Les types de relief 5 (plaines) et 6 (pentes « ouvertes ») sont les plus représentées au premier rang.

La Figure 49 présente pour les 8 principales formations géologiques (en termes de surface à l'affleurement) la répartition des types de reliefs. Comme attendu, des formations telles que les alluvions sont essentiellement représentées dans les types de relief 1 (vallées très encaissées) et 4 (vallées en U). Pour les autres formations géologiques, il est difficile de dégager une tendance.

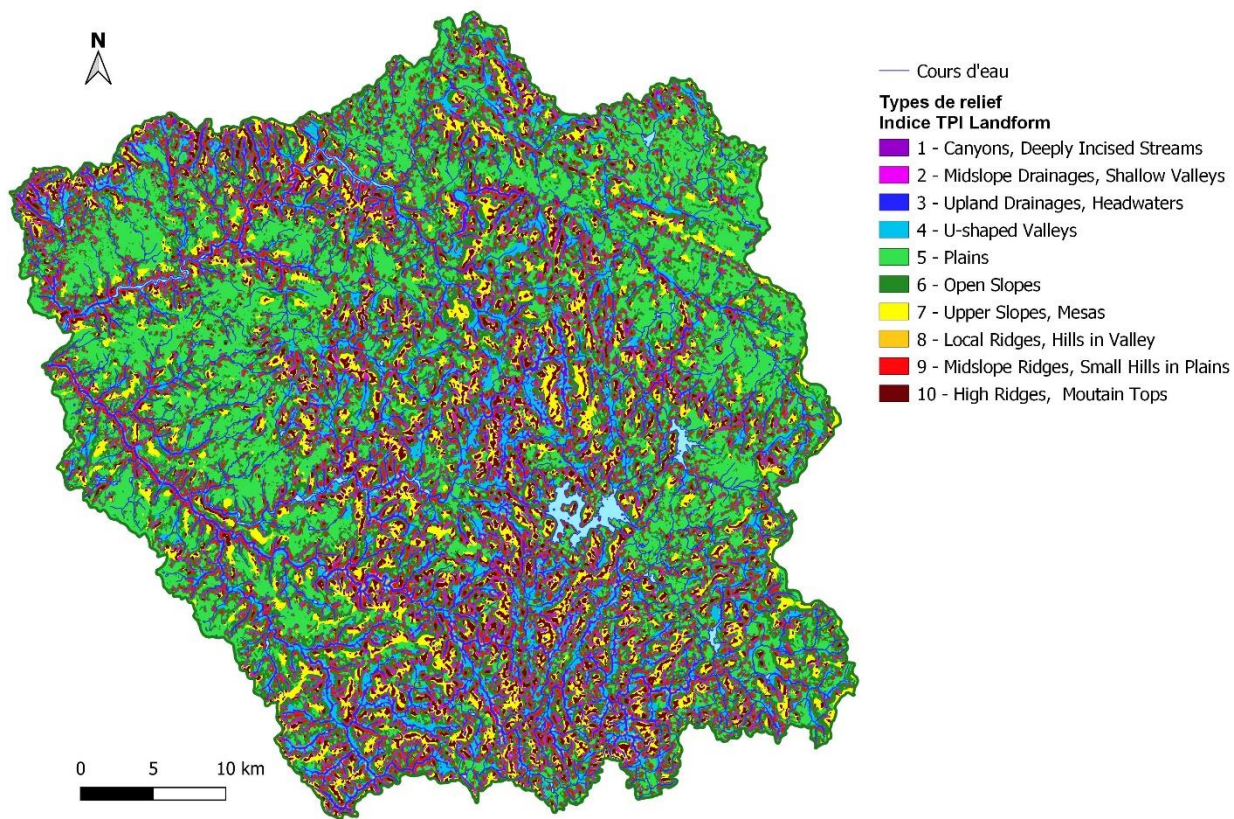


Figure 45 : Cartographie de l'indice TPI Landform sur le territoire de « Sources en action »
(classification des reliefs reprise de Weiss, 2001)

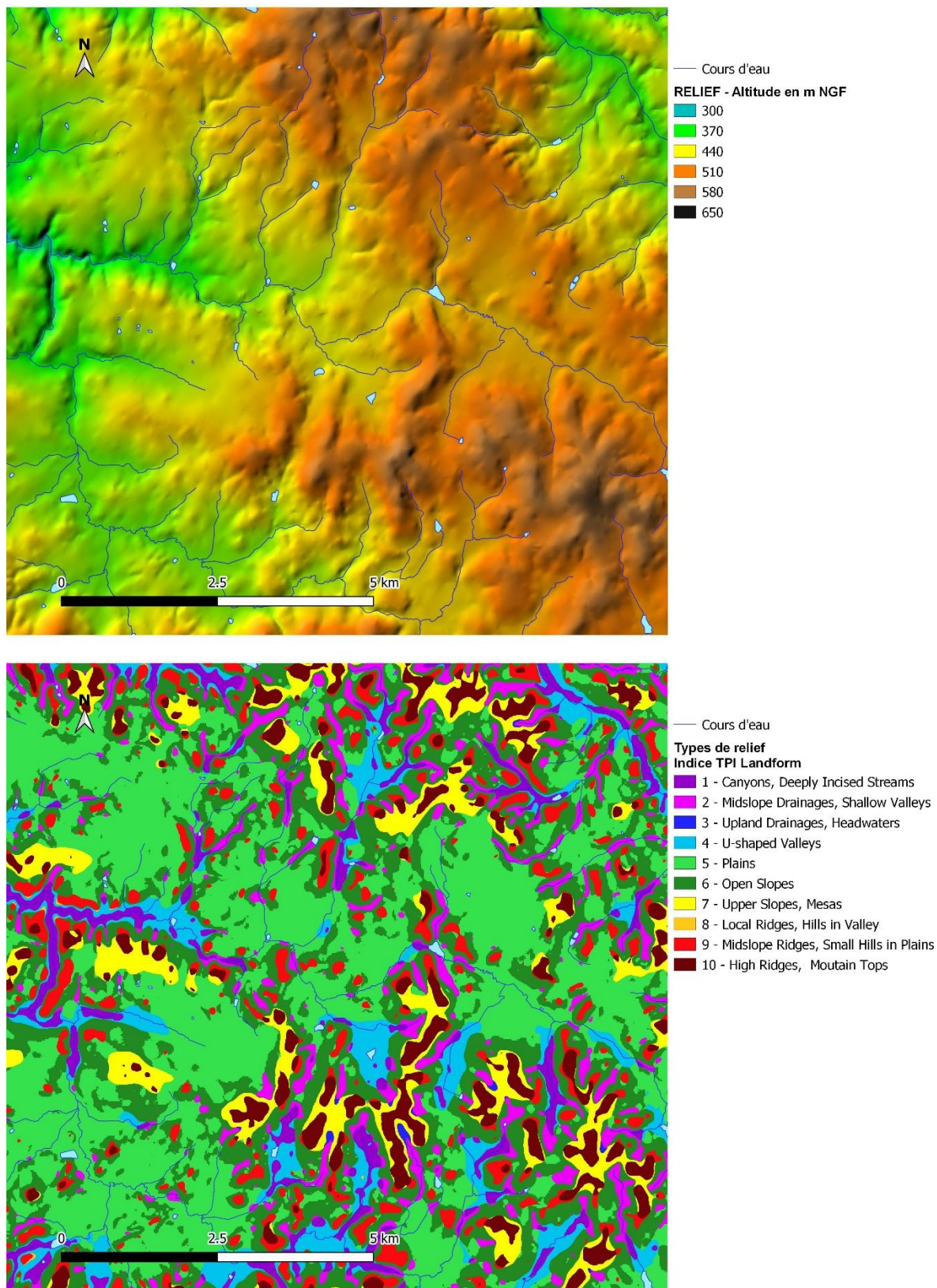


Figure 46 : Comparaison entre cartographie de l'altitude et de l'indice TPI Landform (classification des reliefs reprise de Weiss, 2001)

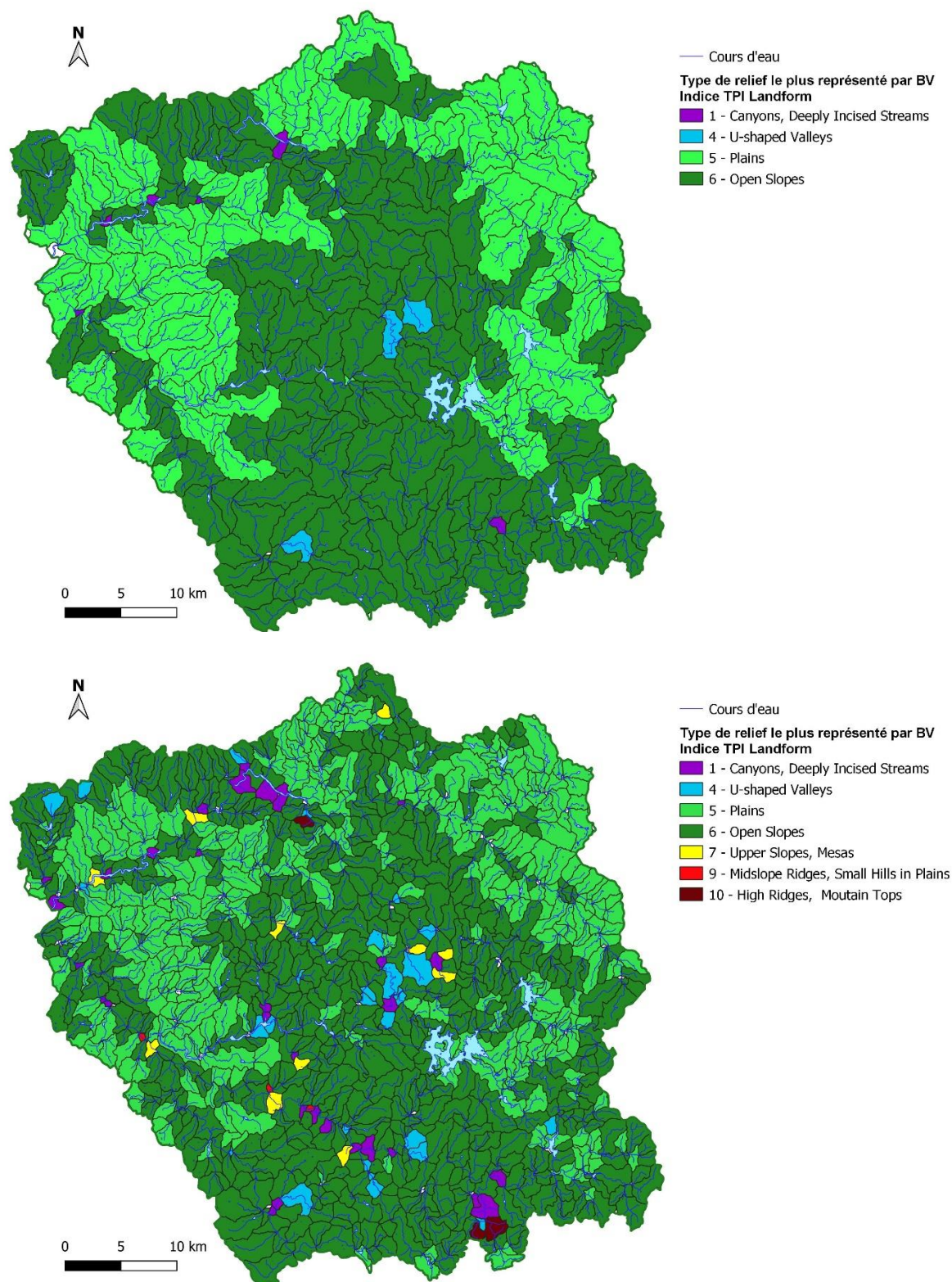


Figure 47 : Cartographie du type relief le plus représenté à deux échelles de bassins versants (classification des reliefs reprise de Weiss, 2001)

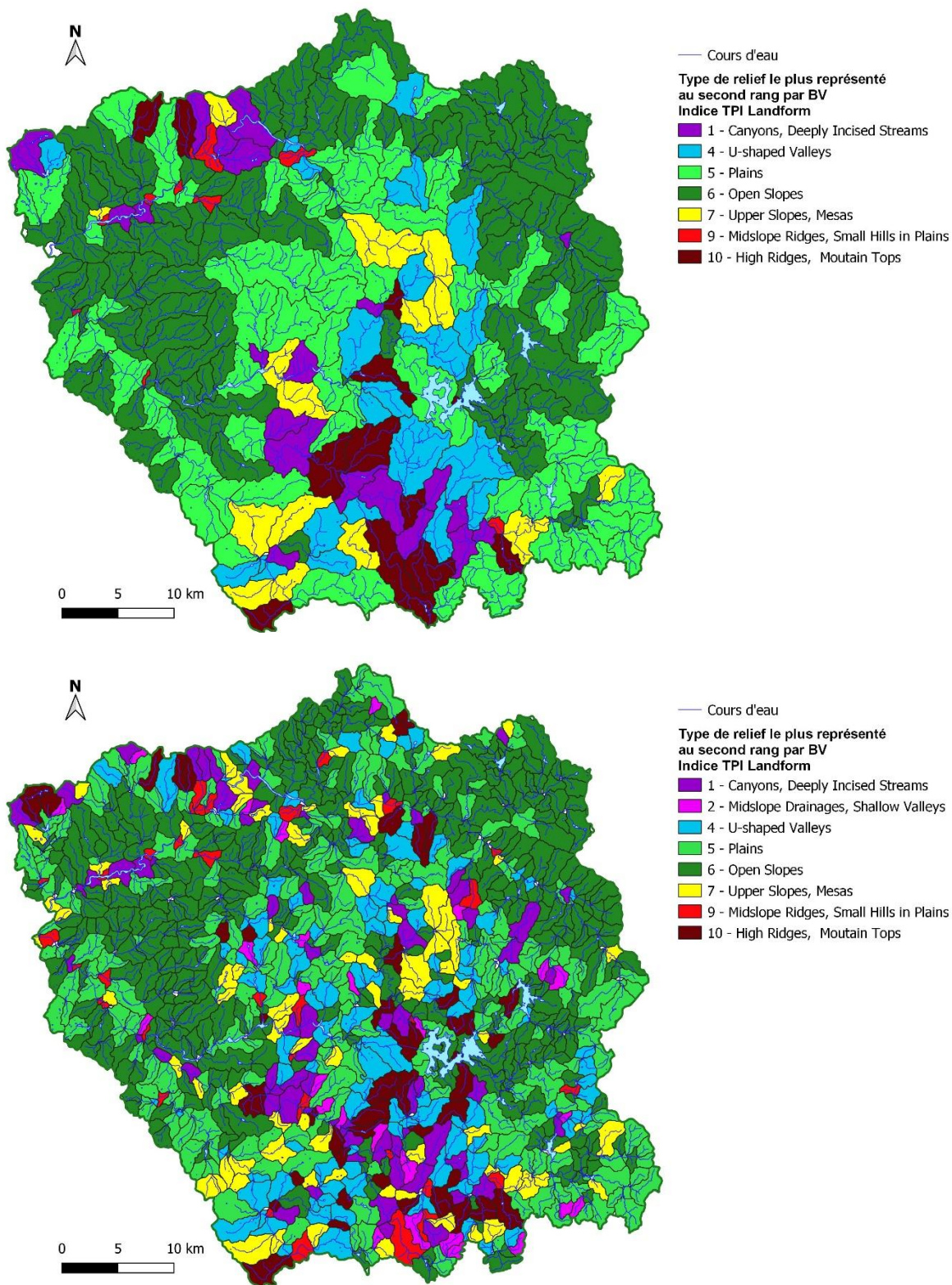


Figure 48 : Cartographie du type relief le plus représenté au second rang à deux échelles de bassins versants (classification des reliefs reprise de Weiss, 2001)

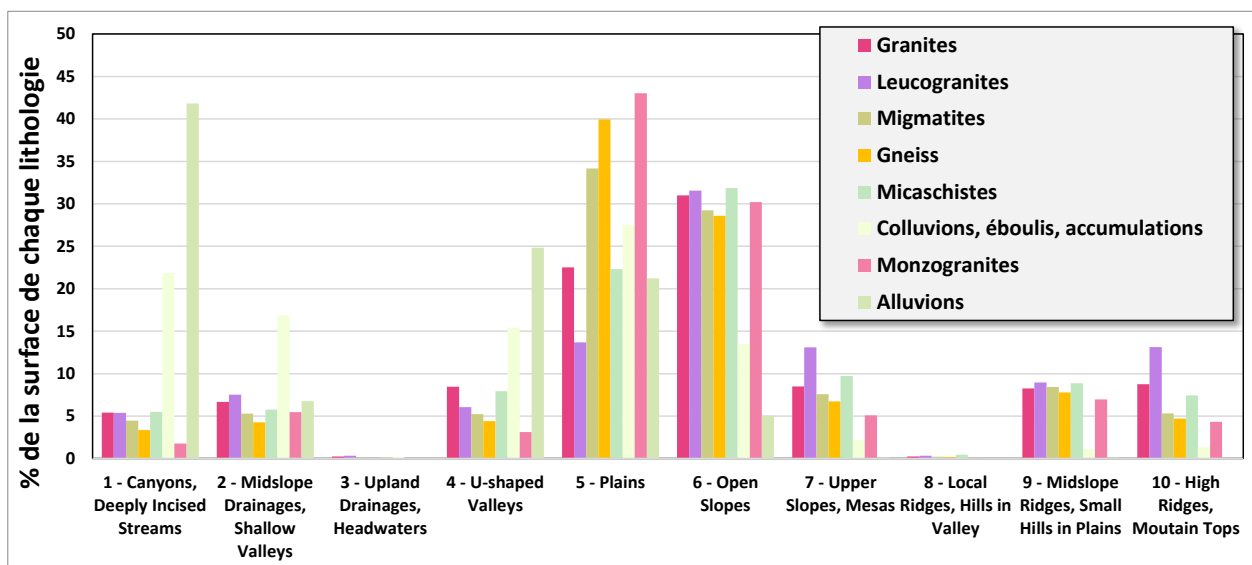


Figure 49 : Pourcentage en surface de chaque catégorie de relief par formation géologique à l’affleurement (classification des reliefs reprise de Weiss, 2001)

4.5. OCCUPATION DU SOL

Afin de décrire l’occupation des sols, deux bases de données ont été comparées : Corine Land Cover et le référentiel d’occupation du sol néo-aquitain à grand-échelle issu de PIGMA.

Corine Land Cover (CLC) est une base de données européenne d’occupation biophysique des sols. Ce projet, lancé en 1985 est piloté par l’Agence européenne de l’environnement et couvre 39 États. Cinq versions ont été produites : 1990, 2000, 2006, 2012 et 2018. Elle privilégie l’occupation biophysique du sol à son utilisation en classant la nature des objets (cultures, forêts, surfaces en eau…) plutôt que leur fonction socio-économique.

Le référentiel d’occupation du sol en Nouvelle-Aquitaine a été produit à partir de référentiels images et de données de bases (IGN) pour la plateforme d’échange de données en Nouvelle-Aquitaine PIGMA. Les données sont disponibles pour les années 2009, 2015 et 2020.

L’annexe 1 présente les diverses catégories inventoriées par les deux bases de données, la base PIGMA présentant un niveau 4 supplémentaire détaillant essentiellement le niveau 3 de la base Corine Land Cover dans la catégorie des territoires artificialisés. Concernant les territoires agricoles, la base PIGMA dissocie les cultures annuelles des cultures florales ou légumières dans la catégorie 2.1.1. Terres arables hors périmètres permanents d’irrigation. La base PIGMA introduit également la catégorie 2.3.2 relative aux surfaces en herbe non agricoles (dont bandes enherbées).

La Figure 50 présente une comparaison entre les bases Corine Land Cover et PIGMA, cette dernière se révélant bien plus détaillée en termes de découpage spatial. Dans cette étude c’est finalement le jeu de données PIGMA de 2015 qui a été utilisé, car le plus récent et plus complet (le département de la Creuse n’étant pas encore disponible pour 2020 au moment de la réalisation de cette étude).

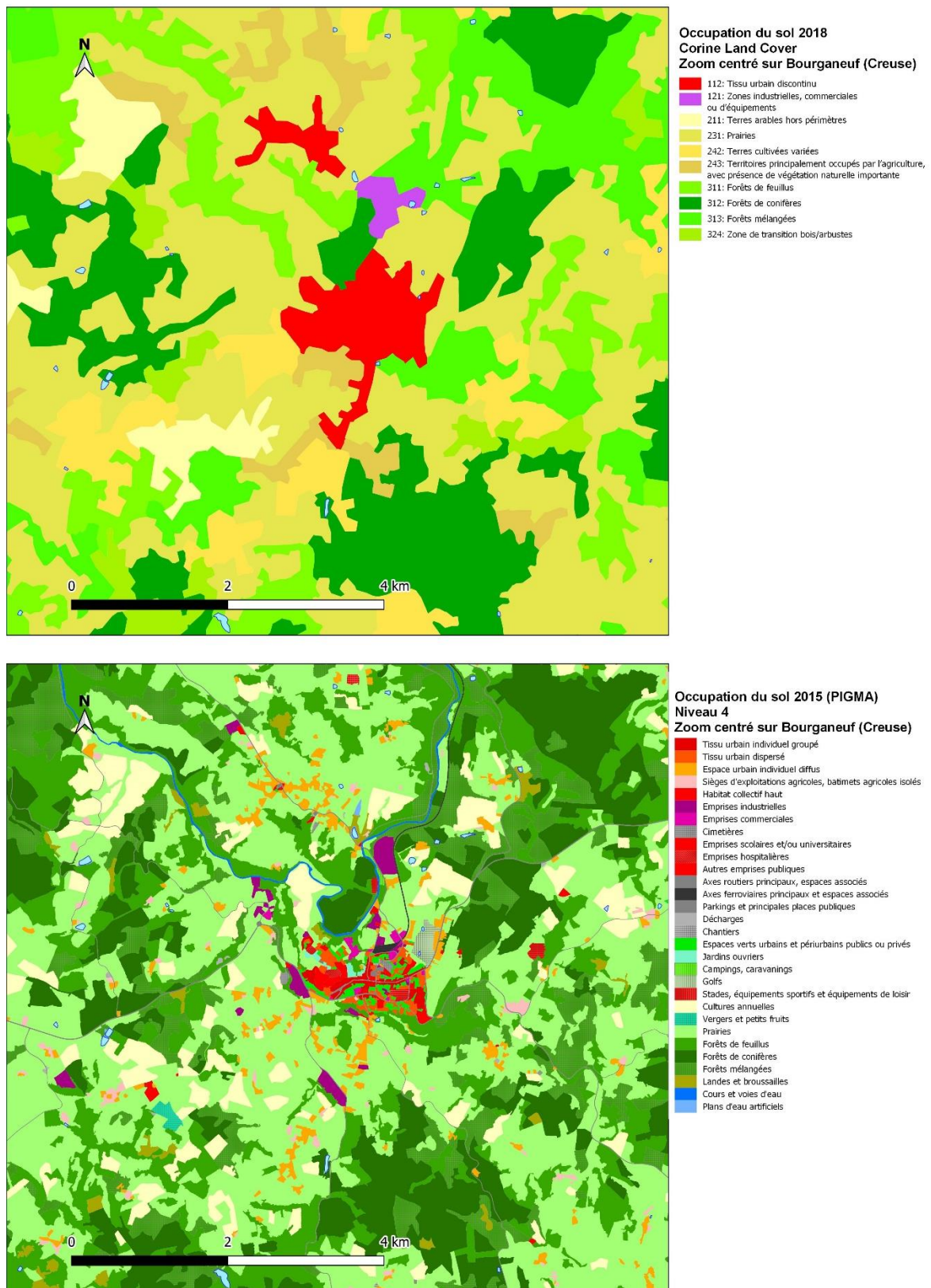


Figure 50 : Comparaison entre les bases de données d'occupation du sol Corine Land Cover et PIGMA (commune de Bourgneuf - Creuse)

À l'échelle du territoire « Sources en action », 45 catégories sont représentées sur les 61 que comporte la base de données PIGMA. La Figure 51 liste les types d'occupation des sols (base PIGMA, 2015) les plus représentés par niveau (de 1 à 4) sur le territoire de « Sources en action », les forêts et milieux semi-naturels couvrant la plus grande partie du secteur.

La Figure 52 présente l'occupation des sols sur le territoire à l'étude pour les niveaux de description 1 et 4. Un autre exemple de représentation est illustré en Figure 53 avec le type d'occupation du sol de niveau 2 le plus représenté par bassin versant (à deux échelles).

CODE	LIBELLE	SURFACE (m ²)	% de la surface totale du territoire Sources en Action
Niveau 1			
3	Forêts et milieux semi-naturels	1 186 715 393	54.3
2	Territoires agricoles	896 653 820	41.0
1	Territoires artificialisés	72 877 080	3.3
5	Surfaces en eau	28 531 113	1.3
4	Zones humides	236 605	0.01
Niveau 2			
31	Forêts	1 119 294 053	51.2
23	Prairies	772 454 548	35.4
21	Terres arables	122 594 900	5.6
32	Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	67 405 494	3.1
11	Zones urbanisées	46 737 977	2.1
51	Eaux continentales	28 531 113	1.3
12	Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	21 000 677	1.0
Niveau 3			
231	Prairies	772 127 828	35.3
311	Forêts de feuillus	641 538 438	29.4
312	Forêts de conifères	320 398 838	14.7
313	Forêts mélangées	157 356 777	7.2
211	Terres arables hors périmètres permanents d'irrigation	122 594 900	5.6
322	Landes et broussailles	65 302 930	3.0
112	Tissu urbain discontinu	44 410 578	2.0
512	Plans d'eau	21 969 591	1.0
Niveau 4			
2310	Prairies	772 127 828	35.3
3110	Forêts de feuillus	641 538 438	29.4
3120	Forêts de conifères	320 398 838	14.7
3130	Forêts mélangées	157 356 777	7.2
2111	Cultures annuelles	121 696 052	5.6
3220	Landes et broussailles	65 302 930	3.0
1122	Espace urbain individuel diffus	38 057 135	1.7
5122	Plans d'eau artificiels	21 609 874	1.0

Figure 51 : Liste des types d'occupation des sols (base PIGMA, 2015) les plus représentés par niveau (de 1 à 4) sur le territoire de « Sources en action »

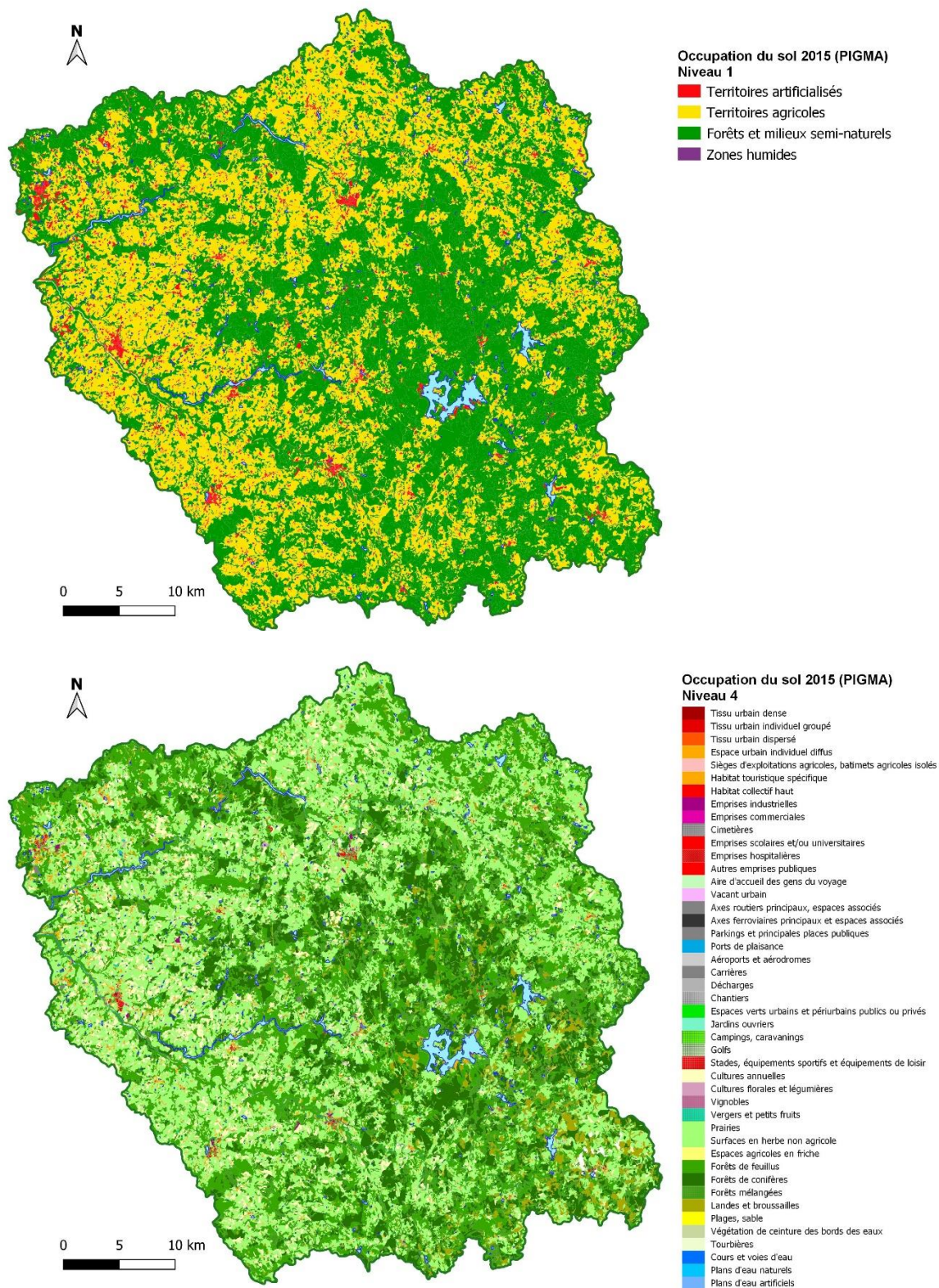


Figure 52 : Catégories d'occupation des sols de niveau 1 et 4 (base PIGMA, 2015) sur le territoire de « Sources en action »

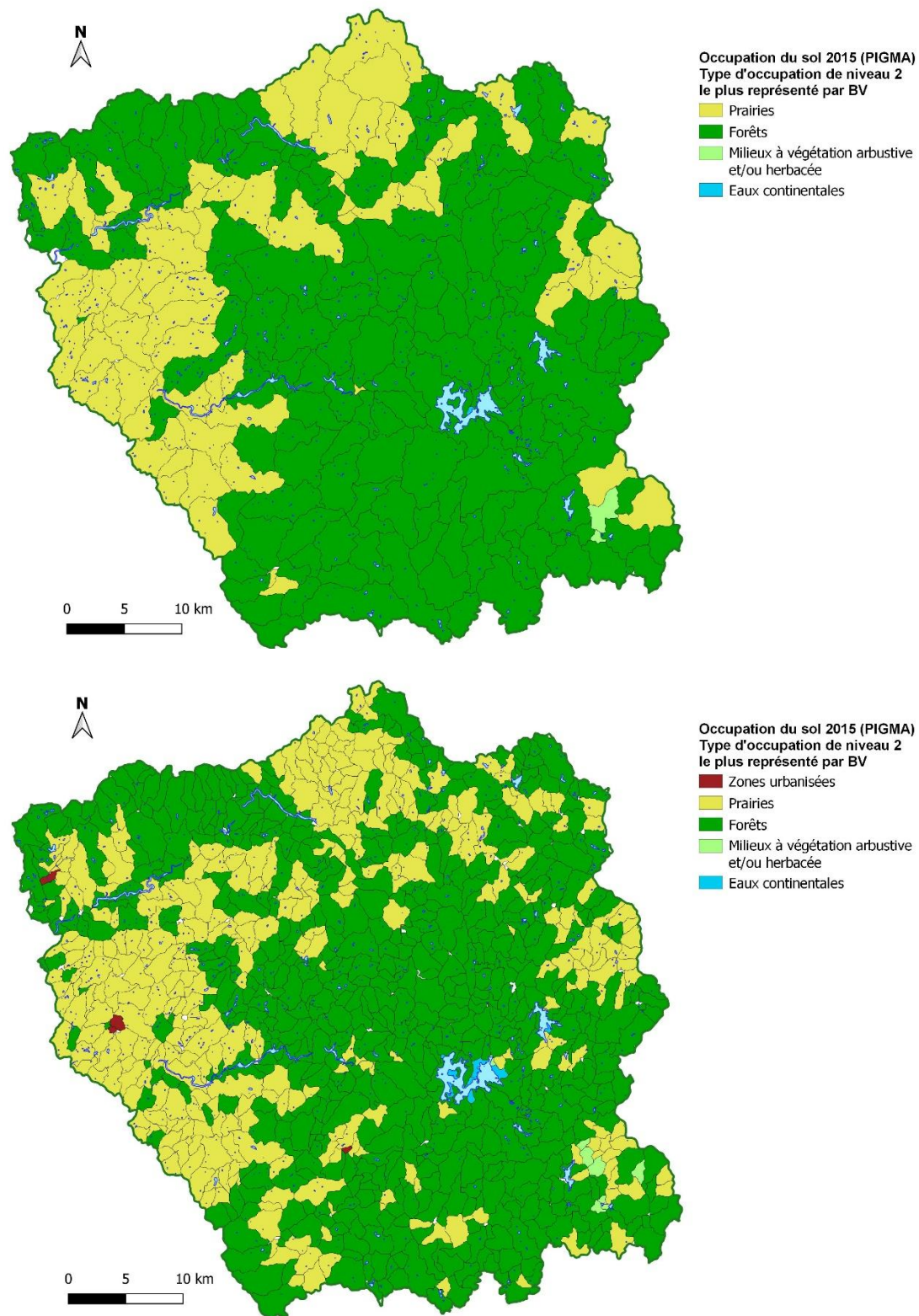


Figure 53 : Catégories d'occupation des sols de niveau 2 (base PIGMA, 2015) les plus représentées à deux échelles de bassin versant

4.6. PLANS D'EAU

L'inventaire des plans d'eau (surfaces développées sur cours d'eau ou plans d'eau isolés) sur le secteur de « Sources en action » (Figure 54) a été fourni par l'EPTB Vienne (Frayssinet, 2020) et constitue la référence de cette étude. 1046 plans d'eau sont inventoriés pour une surface totale de 26 032 440 m², soit environ 1,2 % de la surface totale du territoire. La surface minimale enregistrée est de 180 m², la maximale est de 9 218 500 m² (retenue de Vassivière) pour une surface médiane de 3 480 m².

Afin d'apprécier la répartition spatiale des plans d'eau, leur nombre et leur pourcentage par rapport à la surface de bassins versants (à deux échelles) sont présentés en Figure 55 et Figure 56 respectivement. Sur la plus grande majorité du territoire, les plans d'eau représentent un pourcentage limité, de moins de 1 %, en termes de surface.

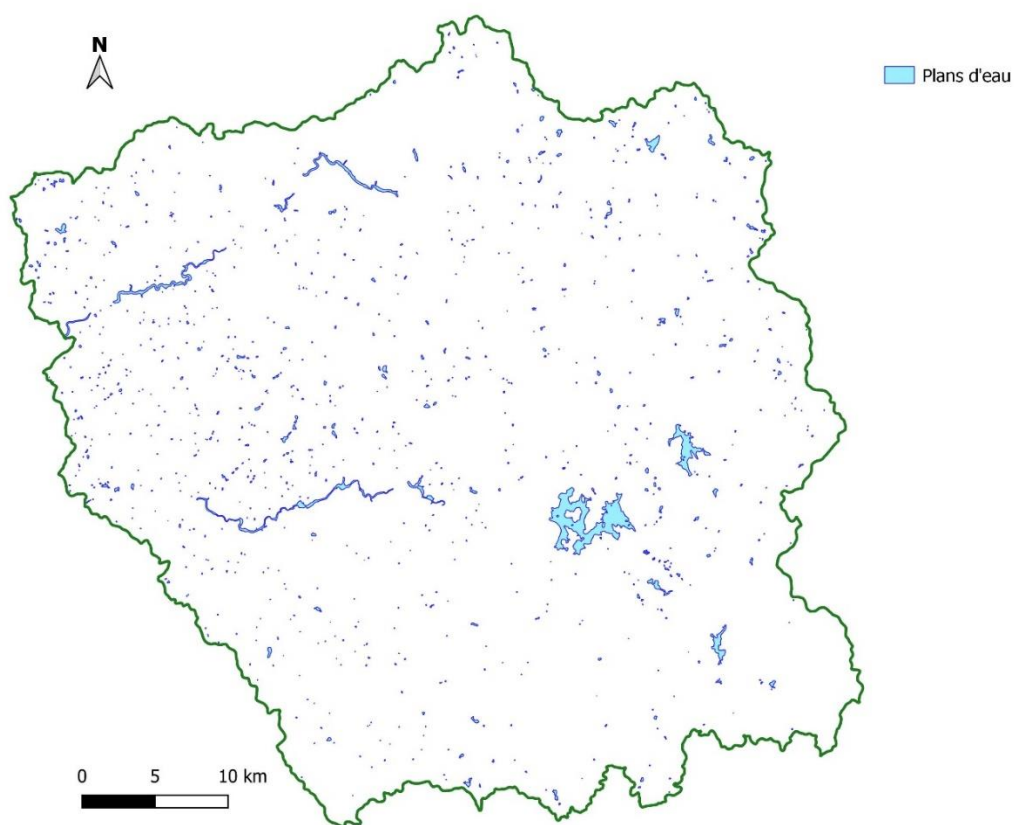


Figure 54 : Cartographie des plans d'eau du territoire « Sources en action » (source : EPTB Vienne)

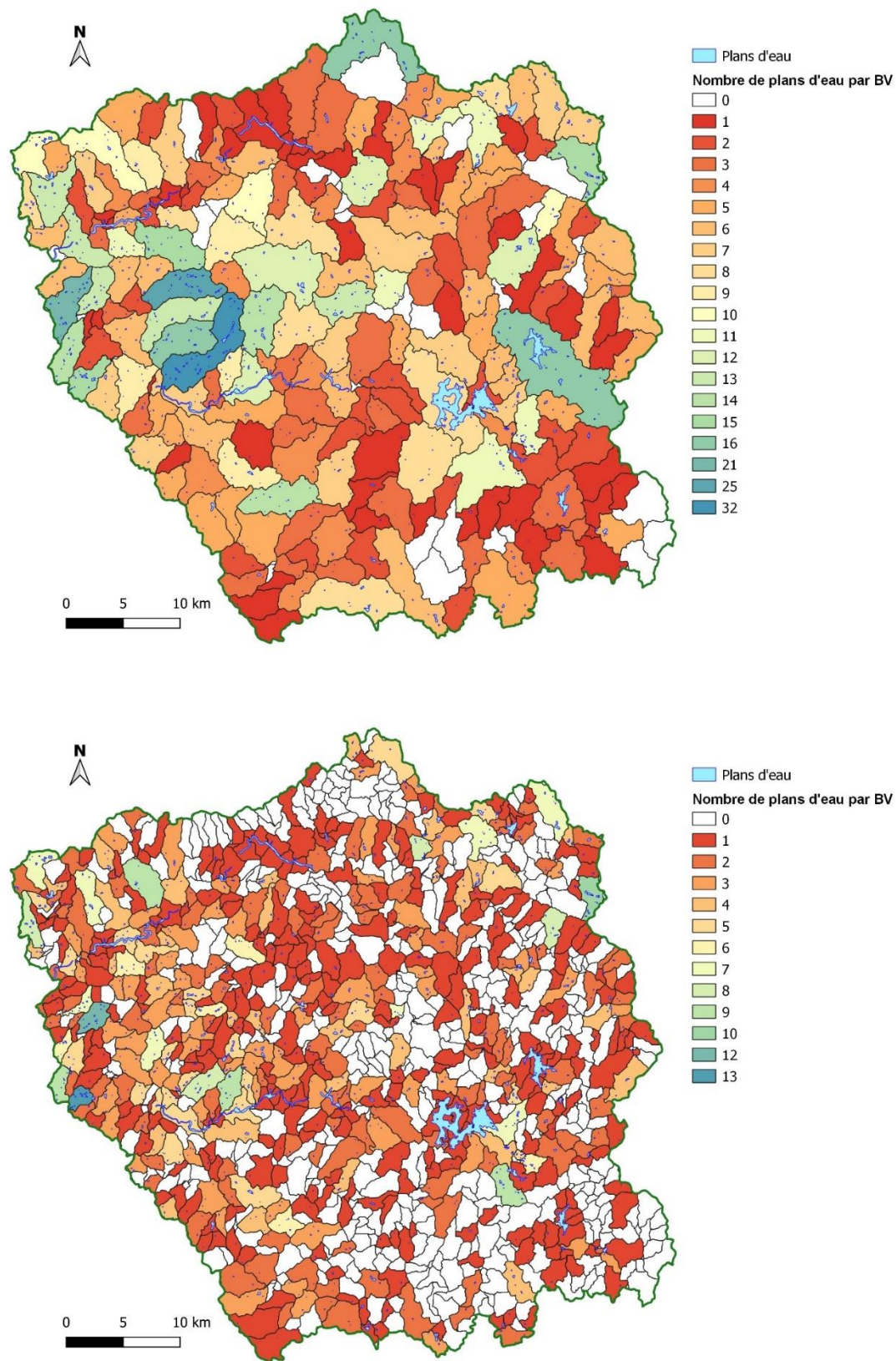


Figure 55 : Nombre de plans d'eau par bassin versant (deux échelles de bassins versants)

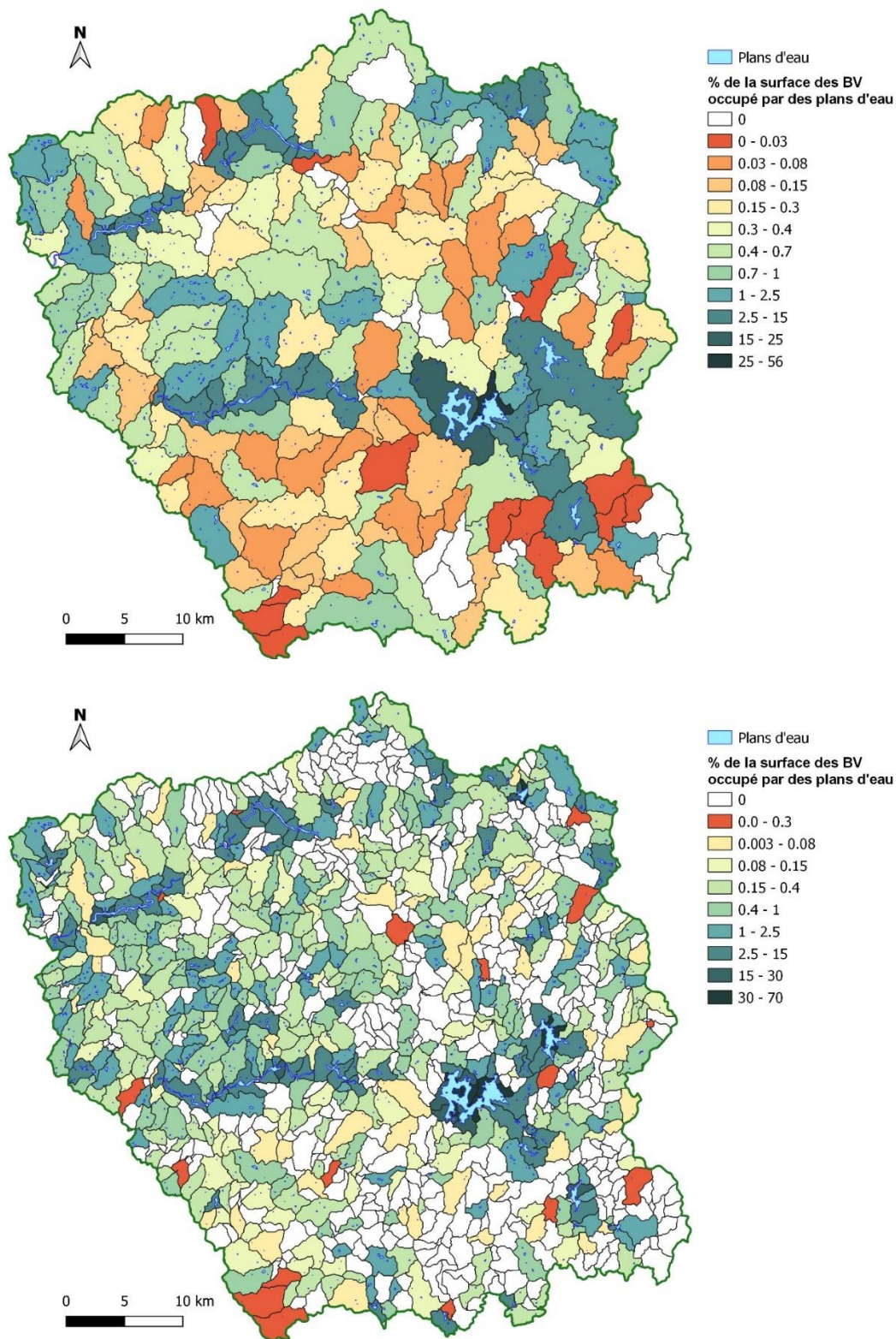


Figure 56 : Pourcentage de la surface des bassins versants occupé par des plans d'eau (deux échelles de bassins versants)

4.7. ZONES HUMIDES

Dans le cadre de cette étude, l'EPTB a fourni les données relatives à une étude d'inventaire et caractérisation des zones humides réalisée par I-Mage Consult (2008), correspondant à la partie du bassin Loire-Bretagne en ex-région Limousin et au SAGE du bassin de la Vienne. La cartographie des zones humides a été établie par interprétation visuelle sur écran d'orthophotoplans (images aériennes IGN orthorectifiées) en association avec des relevés de terrain. Elle intègre les Zones Humides d'Intérêt Environnemental Particulier (ZHIEP) et les Zones Stratégiques pour la Gestion de l'Eau (ZSGE).

La classification des types (niveau 1) et sous-types (niveau 2) est présentée en Figure 57.

La cartographie des zones humides à l'échelle du territoire « Sources en action » est présentée en Figure 58. La Figure 59 précise le sous-type (niveau 2) de zone humide le plus représenté à deux échelles de bassins versants. Enfin, la Figure 60 présente le pourcentage en superficie de chaque sous-bassin versant couvert de zones humides tous types confondus.

Les prairies humides naturelles à jonc sont les plus représentées en termes de surface. Les tourbières, landes et bas-marais acides sont cantonnés dans un quart Sud-Est du territoire.

Type	Classification de niveau 1	% en surface / surface totale ZH	Sous-type	Classification de niveau 2	% en surface / surface totale ZH
2	Formations forestières humides et/ou marécageuses (taux de couverture > à 50%)	30.5	2-1	Boisements à forte naturalité	30.1
			2-2	Plantations ou boisements artificiels	0.4
3	Prairies humides	46.6	3-1	Prairies humides naturelles à jonc	46.5
			3-2	Prairies humides naturelles à molinie et autre	0.0
4	Tourbières, landes, bas-marais acides	21.0	4-0	Tourbières, landes, bas-marais acides	21.0
5	Roselières, magnocaricaies et mégaphorbiaies	1.1	5-1	Roselières	0.0
			5-2	Magnocaricaies	0.0
			5-3	Mégaphorbiaies	1.0
			5-4	Ceinture de végétation méso- à eutrophe de bord d'étang	0.1
6	Terres arables	0.6	6-0	Terres arables	0.6
7	Zones urbaines et autres territoires artificialisés	0.2	7-1	Zones bâties	0.1
			7-2	Territoires artificialisés	0.1
8	Mosaïques d'entités humides de moins de 0,1 ha	< 0.1	8-0	Mosaïques d'entités humides de moins de 0,1 ha	< 0.1

Figure 57 : Classifications des types (niveau 1) et sous-types (niveau 2) de zones humides

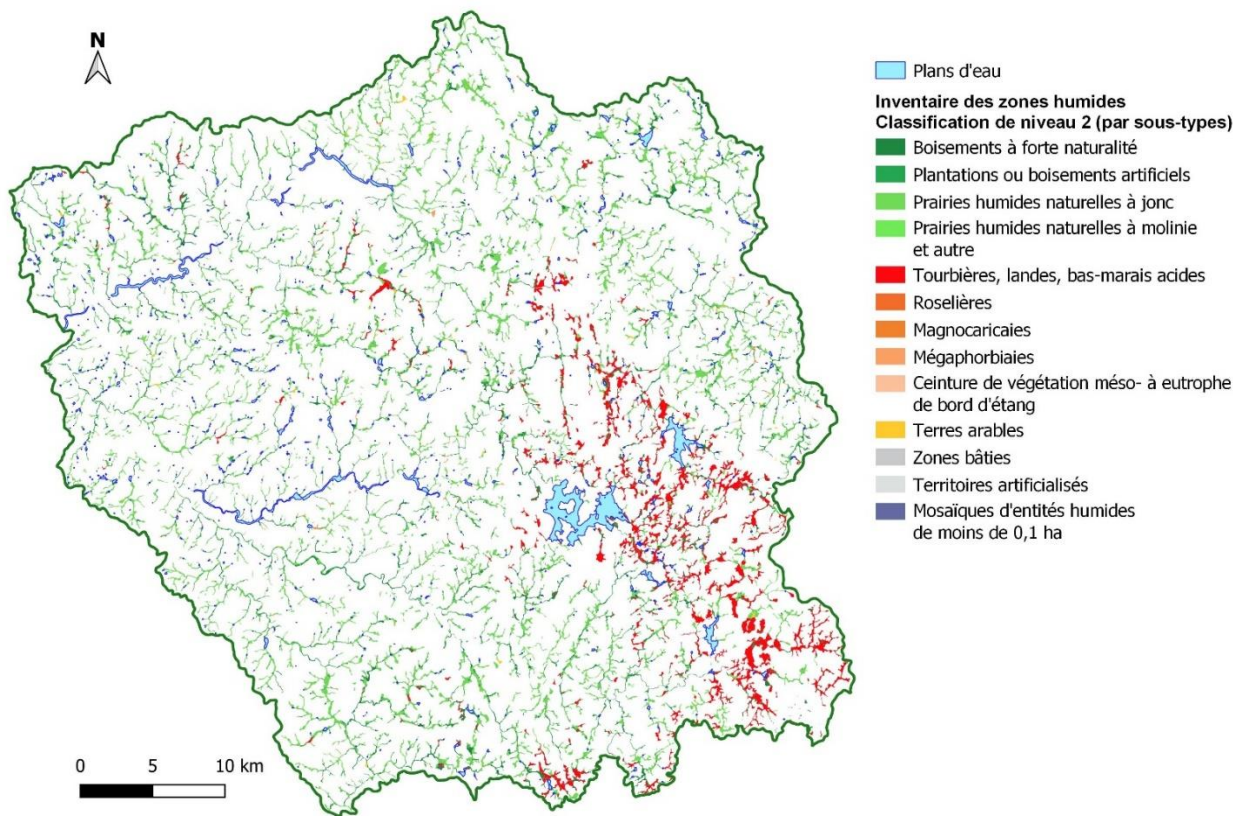


Figure 58 : Cartographie des zones humides (classification de niveau 2) à l'échelle du territoire « Sources en action »

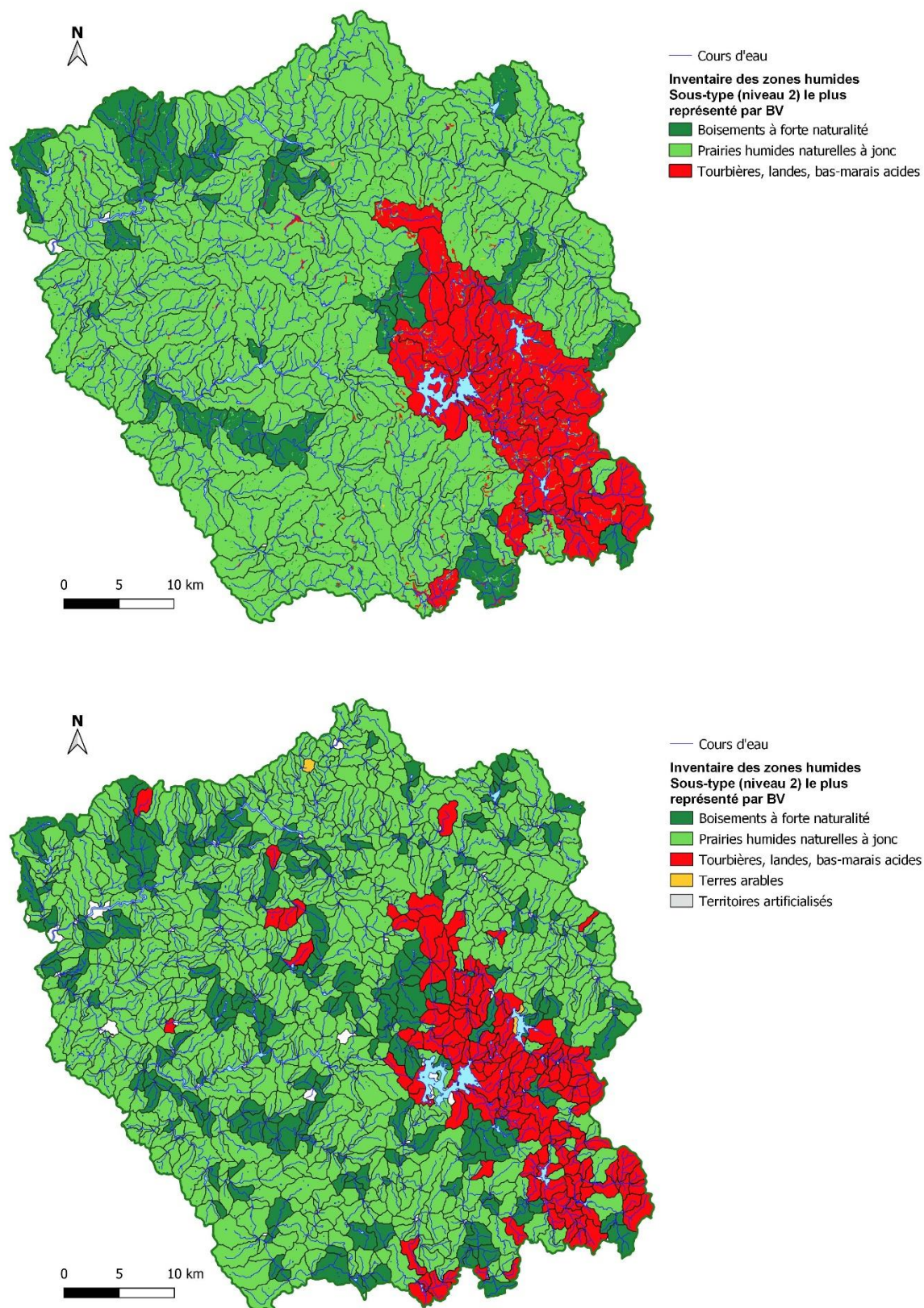


Figure 59 : Sous-type (niveau 2) de zones humides le plus représenté à deux échelles de bassins versants (territoire de « Sources en action »)

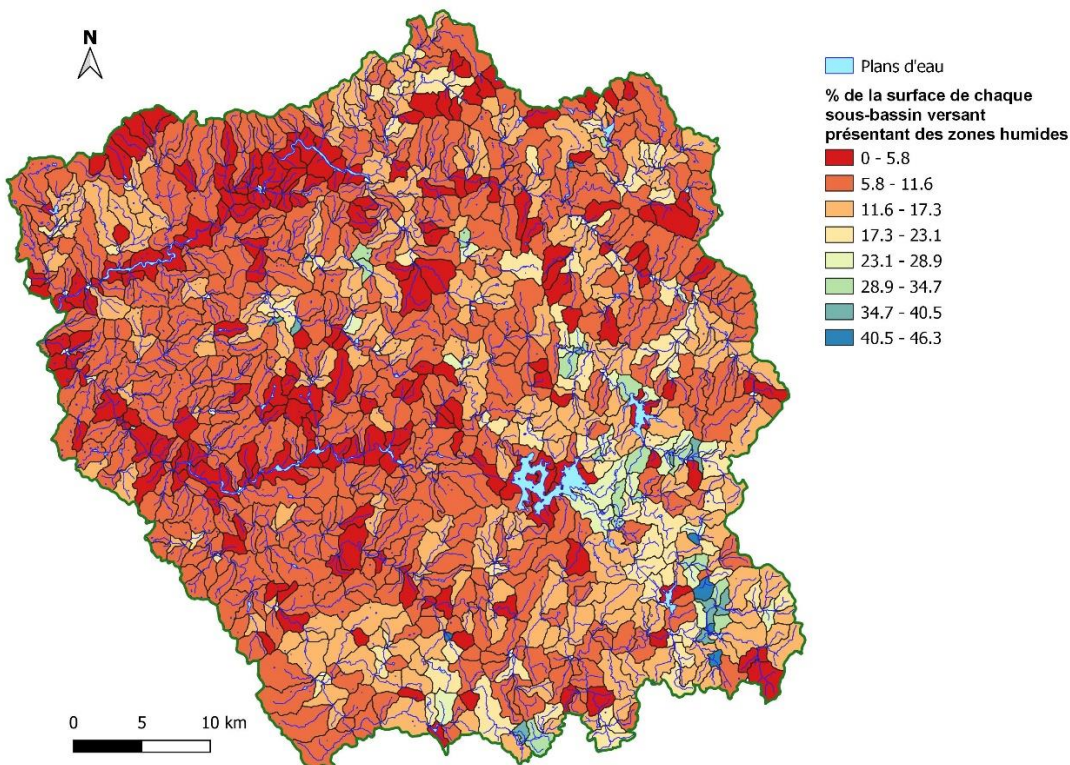
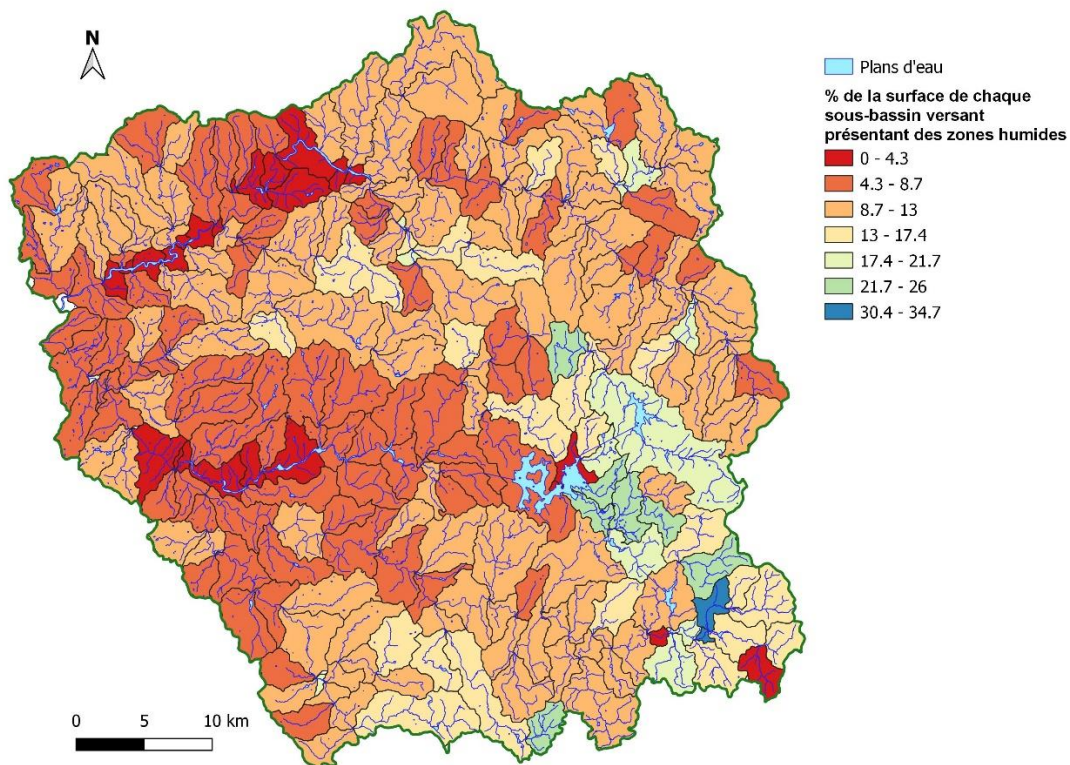


Figure 60 : Pourcentage en superficie de chaque bassin versant (à deux échelles) couvert de zones humides (territoire de « Sources en action »)

Afin d'appréhender la typologie d'implantation des zones humides dans les paysages, les cartographies de l'indice TPI Landform et de l'inventaire des zones humides ont été croisées. Le résultat présenté en Figure 61, montre que les zones humides sont essentiellement rattachées aux paysages de type plaines (code 5), vallées en U (code 4) et vallées marquées (code 1).

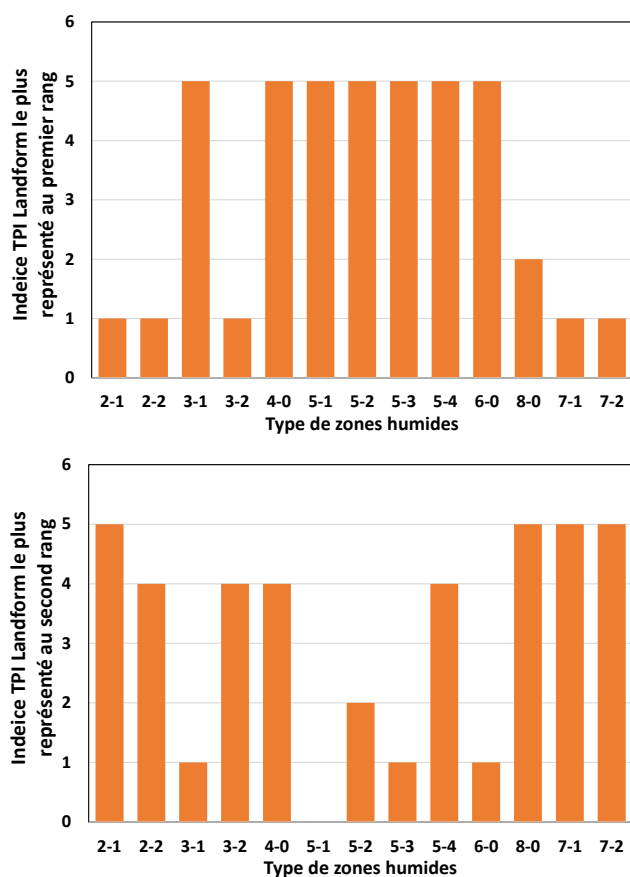


Figure 61 : Indice TPI Landform le plus représenté aux premier et second rang pour chaque type de zone humide

4.8. PRELEVEMENTS, REJETS

La base de données des prélèvements (en eaux souterraines et de surface) produite par l'Agence de l'Eau (Figure 62) a été fournie par l'EPTB Vienne. Elle comporte au niveau de points géolocalisés les volumes annuels de 2000 à 2019, avec des surfaces d'irrigation précisées sur la période 2008-2019. La grande majorité des points et des volumes sont attribués à un usage eau potable.

La base de données relative aux rejets de stations d'épuration récupérée dans le cadre de cette étude, n'est pas géolocalisée, et elle apparaît incomplète en Corrèze et ne présente en termes quantitatif que des capacités de traitement (dont les valeurs apparaissent par ailleurs faibles).

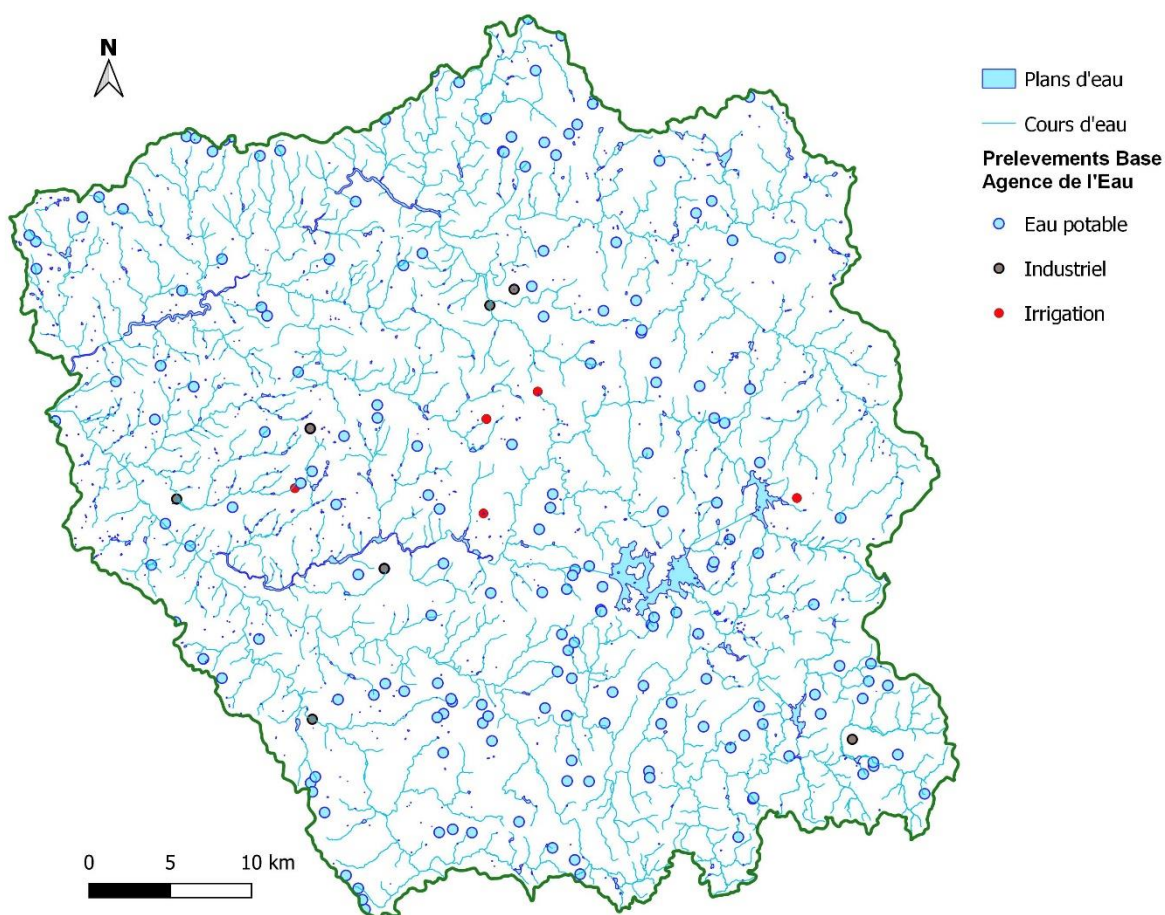


Figure 62 : Cartographie des prélèvements de la base de données de l'Agence de l'Eau (territoire de « Sources en action »)

5. Modélisations sous GARDENIA

5.1. DESCRIPTIF DE GARDENIA

Les modélisations globales ont été mises en œuvre à l'aide du logiciel **GARDENIA** (modèle **Global A Réservoirs** pour la simulation de **DEbits** et de **Niveaux Aquifères**).

Il s'agit d'un modèle hydrologique global à base physique de bassins versants qui permet la modélisation pluie-débit-niveaux piézométriques (Thiéry, 2019). À partir de séquences de données météorologiques (précipitations et évapotranspiration) sur un bassin versant, il permet de calculer le débit à l'exutoire d'un cours d'eau et/ou le niveau piézométrique en un point de la nappe libre sous-jacente.

Les principaux mécanismes du cycle de l'eau dans un bassin versant (Figure 63) sont simulés à l'aide de lois physiques simplifiées correspondant à un écoulement à travers une succession de réservoirs qui représentent respectivement :

- les premières dizaines de centimètres du sol dans lesquelles se produit l'évapotranspiration (zone d'influence des racines de la végétation) ;
- une zone intermédiaire qui produit un écoulement rapide ;
- une ou deux zones aquifères qui produisent de l'écoulement lent.

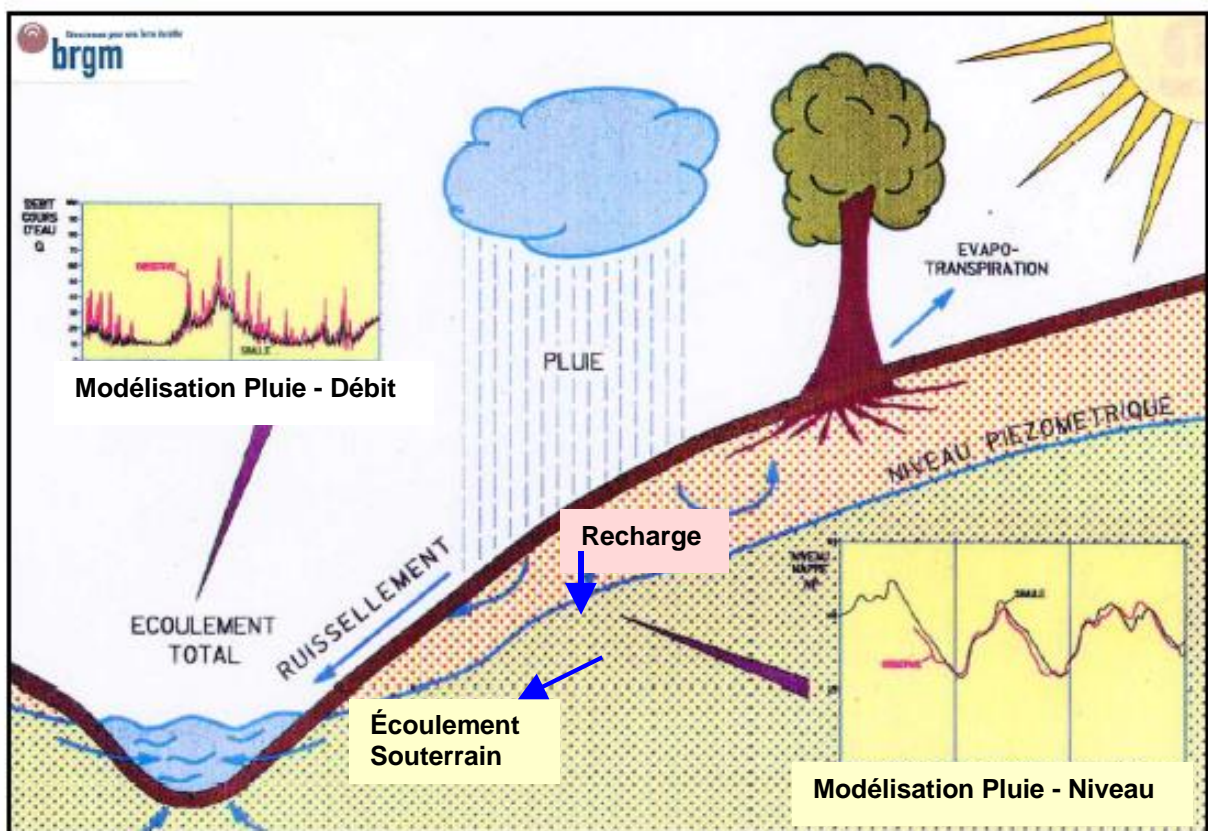


Figure 63 : Principaux mécanismes du cycle de l'eau modélisés par GARDENIA (Thiéry, 2019)

La Figure 64 présente les paramètres dimensionnels du modèle (capacité de rétention du sol, temps de transfert, seuils de débordement, etc.) dans le cas d'un réservoir souterrain unique.

GARDENIA fait intervenir 3 ou 4 réservoirs, avec la possibilité de choisir parmi plusieurs configurations présentées dans la Figure 65.

Les données nécessaires à la calibration de ces paramètres sont :

- des séries temporelles ininterrompues d'« entrées » du modèle : pluie et évapotranspiration ;
- une série temporelle de débits de prélèvements et/ou d'injection dans le bassin ;
- une(des) série(s) temporelle(s) d'observations non nécessairement continues (débits à l'exutoire et/ou niveaux piézométriques), concomitantes aux séries précédentes.

La calibration se fait par une méthode semi-automatique. Un jeu de paramètres initiaux doit être fourni ainsi qu'une sélection des paramètres à optimiser. Dans ce cadre, une bonne connaissance du contexte est indispensable, allée à une expertise permettant de configurer le schéma du modèle GARDENIA le plus à même de reproduire le fonctionnement d'un hydrosystème.

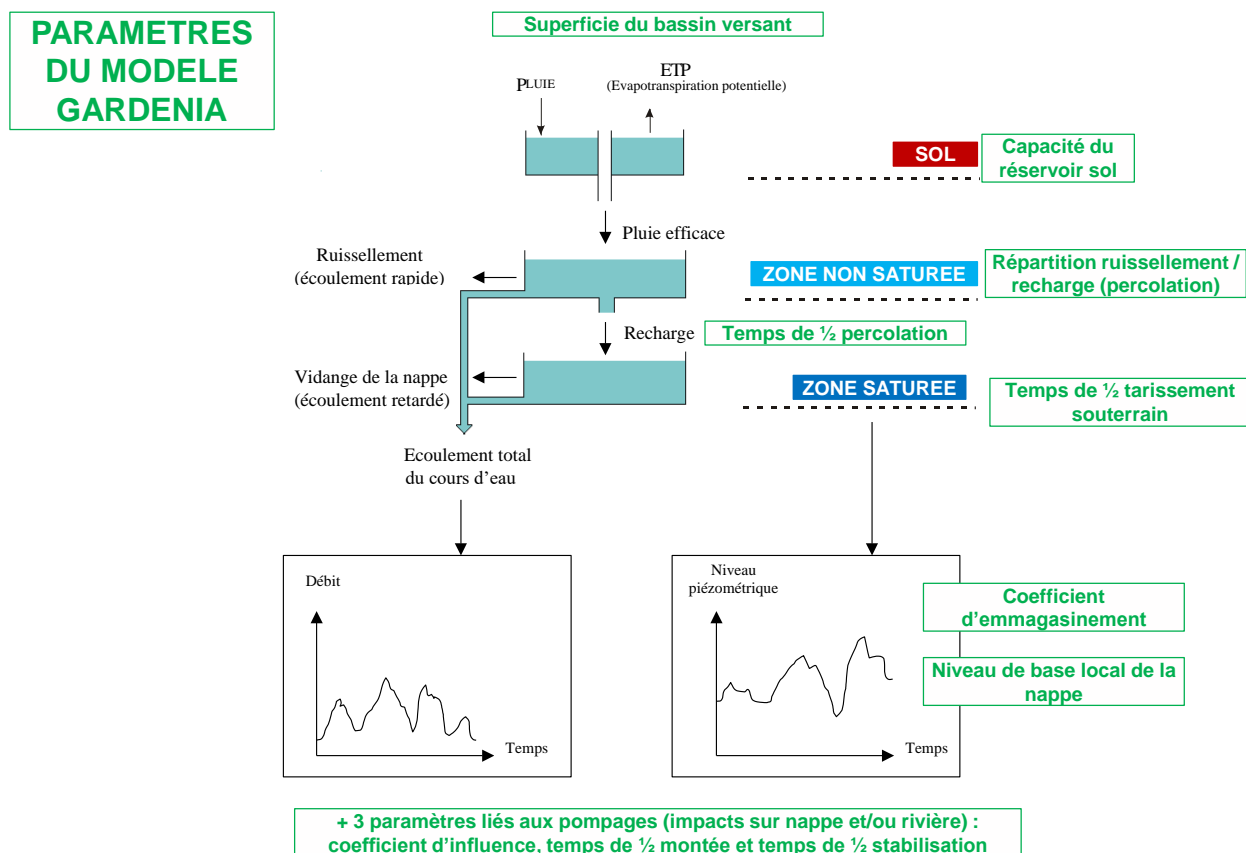


Figure 64 : Principaux mécanismes et paramètres du cycle de l'eau modélisés par GARDENIA (schéma à 1 réservoir souterrain)

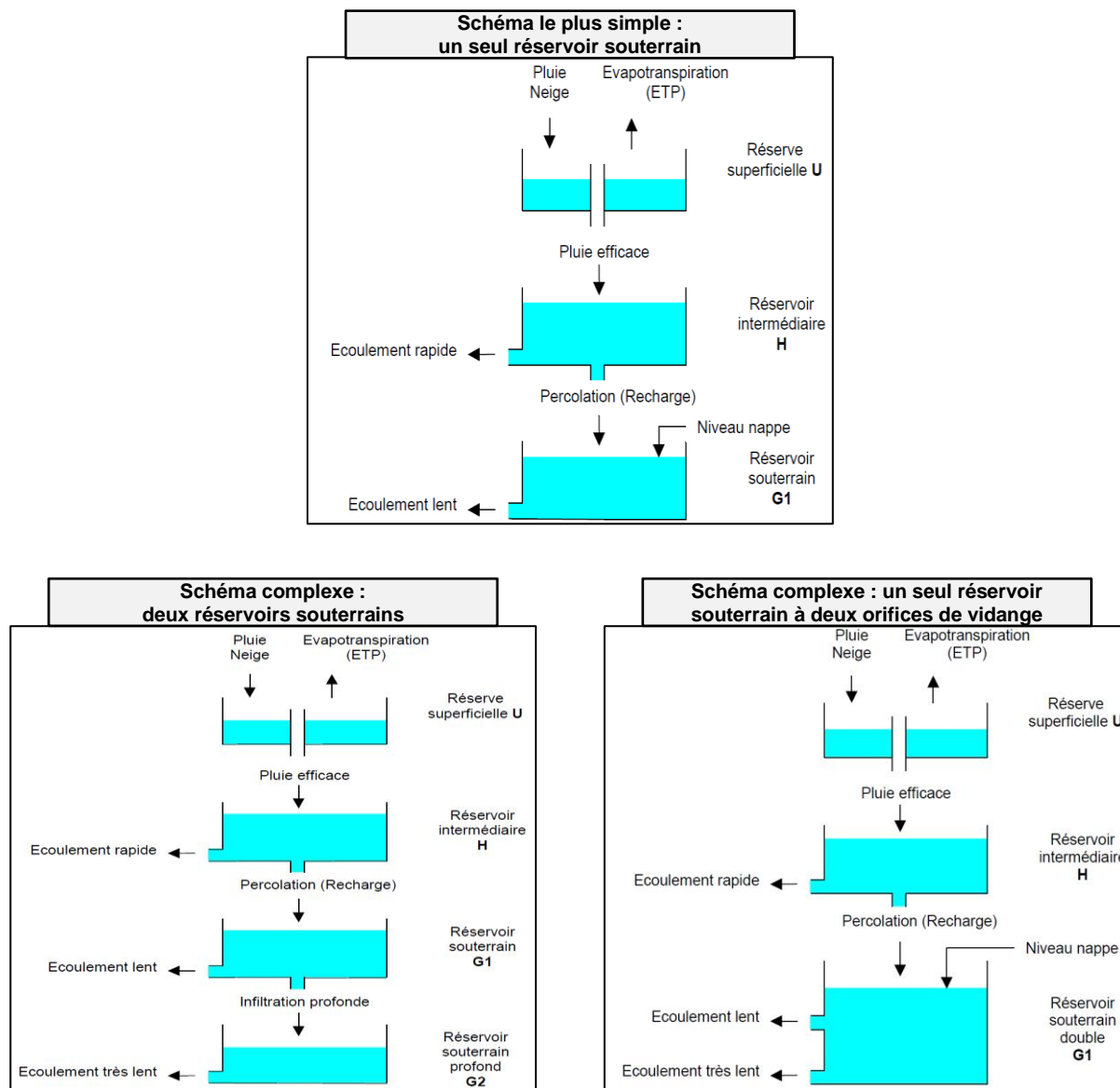


Figure 65 : Divers schémas de réservoirs utilisables sous GARDENIA (Thiéry, 2019)

5.2. BASSINS VERSANTS SIMULES ET METHODOLOGIE

La Figure 66 présente la localisation des 14 bassins versants ayant fait l'objet d'une modélisation sous GARDENIA, dont 10 présentent des stations de suivi du débit actives ; leurs principales caractéristiques sont reportées en Figure 67. 4 bassins présentant des chroniques de débits non influencées ont été sélectionnés au sein du périmètre de « Sources en action » ; les 10 autres bassins sont proches du secteur à l'étude.

Les superficies des 14 bassins sont très variables, comprises entre 19,75 km² et 604,2 km². Le pourcentage de la surface des bassins couvert par des plans d'eau reste faible, compris entre 0,11 % et 0,74 %.

Alors que les granites sont les formations les plus représentées en termes de surface à l'échelle du territoire « Sources en action », ils sont seulement présents sur le BV 4 de la Vige à Saint-Martin-Sainte-Catherine (formation la plus présente à l'affleurement à hauteur de 35 %) et sur le BV 6 de la Roselle à Saint-Hilaire-Bonneval (formation la plus présente au second rang avec 17 %).

Les trois bassins les plus représentatifs d'une formation géologique spécifique (les leucogranites entre 76 % et 81 %) sont le BV 10 (la Vézère à Bugeat) et deux de ses sous-bassins, le BV 11 (la Vézère à Saint-Merd-les-Oussines) et le BV 12 (l'Ars à Pérois-sur-Vézère). Ces trois bassins aux caractéristiques similaires constituent un test intéressant quant à la comparaison de leurs débits spécifiques (débits rapportés à la surface du bassin versant).

Les profils d'occupation des 14 bassins sont par ailleurs relativement similaires, avec pour la plupart 75 % de leur surface en prairies et forêts de feuillus.

Dans le cadre de cette étude, les modèles ont été mis en œuvre afin de reproduire uniquement des débits de rivières, intégrateurs de la dynamique des hydrosystèmes à l'échelle du bassin. Les suivis piézométriques en domaine de socle ne représentant qu'une information localisée, non représentative du comportement global d'un aquifère, n'ont donc pas fait l'objet d'une modélisation couplée à celle du débit de cours d'eau.

Des chroniques de précipitations (P : somme des précipitations liquides et solides) et d'évapotranspiration (ETP) ont été préparées (de 1959 à 2020) pour chaque simulation en intégrant les mailles SAFRAN concernées, affectées d'un coefficient proportionnel à leur surface recoupée par le bassin versant.

En amont de chaque simulation, des bilans ont été réalisés afin de comparer le débit moyen journalier des cours d'eau (exemple en Figure 68) :

- au débit équivalent généré par un bilan (1,1 ETP – P) sommé au niveau de tous les plans d'eau inclus dans le bassin versant simulé ; le coefficient de 1,1 appliqué à l'ETP est utilisé pour approcher l'évaporation d'un plan d'eau libre (il s'agit là d'un rapport approximatif constaté entre chroniques ETP et évaporation plan d'eau fournies par Météo France) ;
- à la somme des débits moyens journaliers des prélèvements dans le milieu (la plupart des prélèvements sur des sources étant liés à l'AEP, en première approche les volumes annuels ont simplement été répartis uniformément au pas de temps journalier).

Les débits équivalents liés aux deux éléments de « pression » sur le milieu que sont les prélèvements et l'évaporation des plans d'eau étant la plupart du temps inférieurs de deux ordres

de grandeur à celui du débit écoulé dans les cours d'eau, ces derniers n'ont pas été pris en compte dans les modélisations. Il en est de même pour les rejets de station d'épuration, dont la localisation exacte n'est pas connue et dont les débits de capacité de traitement restent faibles.

À l'issue de tests, l'ensemble des stations de débits a fait l'objet d'une simulation avec un modèle GARDENIA ne comprenant qu'un réservoir souterrain. Enfin, le calage des paramètres a été orienté afin de favoriser la reproduction des débits de basses eaux observés.

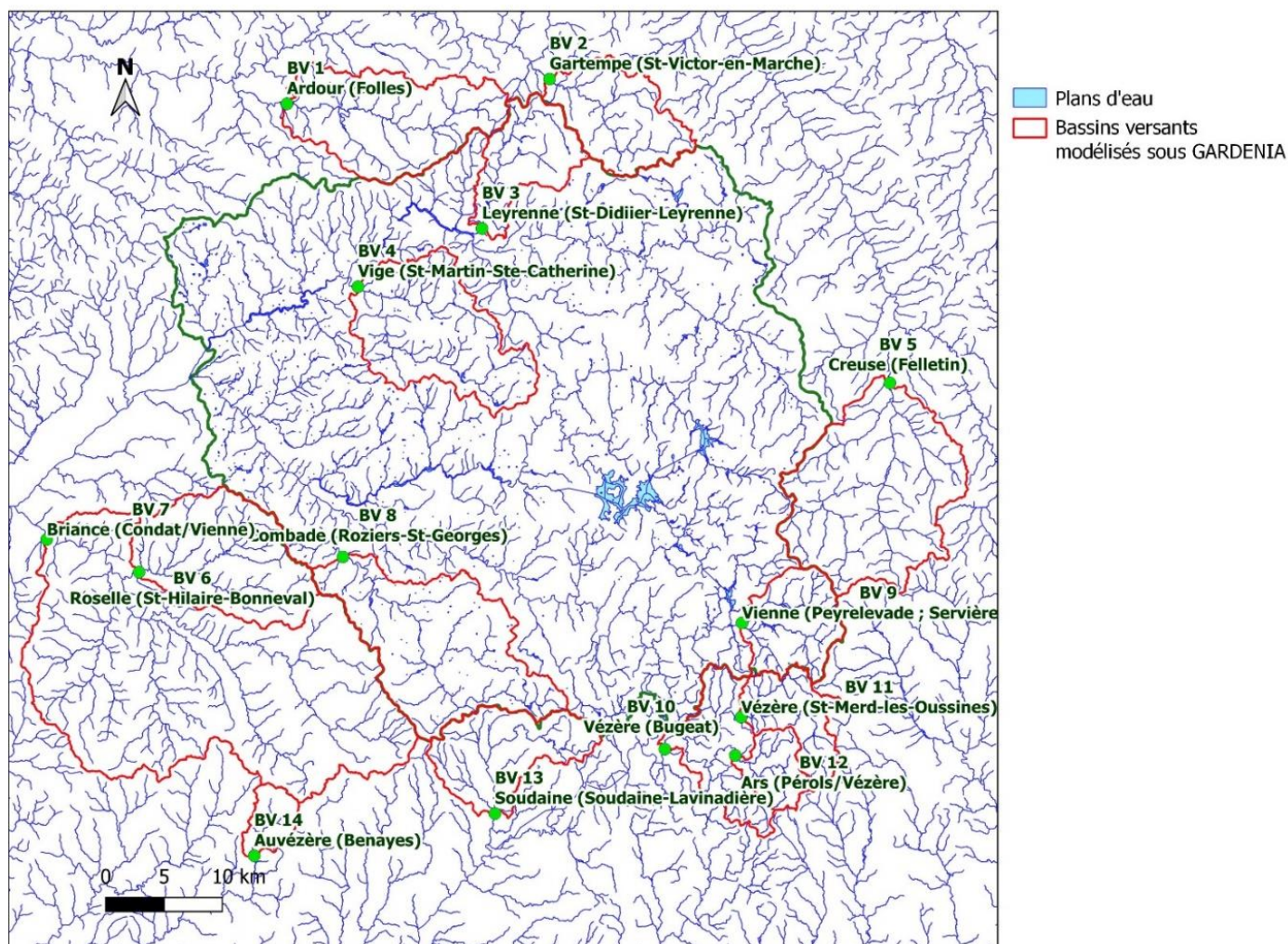


Figure 66 : Localisation des bassins versants topographiques ayant fait l'objet d'une modélisation sous GARDENIA (territoire de « Sources en action »)

Étude des fonctions hydrologiques des têtes de bassin versant de la Vienne - Volet 1 : caractérisation des bassins versants

Code de la station	Libellé de la station	N° du bassin versant	Altitude au sol (m NGF)	Surface du bassin versant (km²)	Date de début des mesures	Date de fin des mesures (exploitées dans l'étude)	% de la surface du Bassin Versant occupé par des plans d'eau	Formation géologique à l'affleurement la plus représentée		Formation géologique à l'affleurement la plus représentée au second rang	
								Nature	% de la surface de bassin versant	Nature	% de la surface de bassin versant
L5034010	L'Ardour à Folles [Forgefer]	1	318	129.3	21/10/1967	31/12/2020	0.42	Monzogranites	61	Micaschistes	15
L5001810	La Gartempe à Saint-Victor-en-Marche	2	428	78.0	19/12/2002	31/12/2020	0.33	Monzogranites	68	Granodiorites	15
L0244510	La Leyrenne à Saint-Dizier-Leyrenne	3	382	62.7	09/11/1967	06/01/1994	0.40	Monzogranites	37	Granodiorites	29
L0314010	La Vige à Saint-Martin-Sainte-Catherine	4	302	131.8	01/01/1958	31/12/2020	0.50	Granites	35	Gneiss	22
L4010710	La Creuse à Felletin	5	510	194.3	01/01/1958	31/12/2020	0.11	Leucogranites	38	Migmatites	26
L0513010	La Roselle à Saint-Hilaire-Bonneval	6	237	126.8	22/10/1966	01/01/1997	0.60	Paragneiss	43	Granites	17
L0563010	La Briance à Condat-sur-Vienne [Chambon Veyrinas]	7	214	604.2	01/01/1966	31/12/2020	0.51	Paragneiss	37	Amphibolites	13
L0093020	La Combade à Rozières-Saint-Georges	8	305	171.2	01/12/2001	31/12/2020	0.31	Micaschistes	36	Leucogranites	22
L0010610	La Vienne à Peyrelevalade [Servières]	9	618	60.6	01/01/1957	31/12/2020	0.20	Leucogranites	65	Colluvions, éboulis, accumulations	17
P3021010	La Vézère à Bugeat	10	675	140.1	01/01/1951	31/12/2015	0.42	Leucogranites	78	Colluvions, éboulis, accumulations	11
P3001010	La Vézère à Saint-Merd-les-Oussines [Maisonnial]	11	735	47.0	01/01/1957	31/12/2020	0.74	Leucogranites	76	Colluvions, éboulis, accumulations	11
P3015410	L'Ars à Pérols-sur-Vézère [Ars]	12	788	30.2	01/01/1956	31/12/2020	0.41	Leucogranites	81	Colluvions, éboulis, accumulations	16
P3064010	La Soudaine à Soudaine-Lavinadière	13	359	80.5	01/01/1990	08/01/2005	0.55	Leucogranites	39	Paragneiss	27
P6202510	L'Auvézère à Benayes	14	365	19.7	06/11/1986	31/12/2020	0.37	Migmatites	66	Paragneiss	16

Figure 67 : Principales caractéristiques des bassins versants simulés sous GARDENIA (territoire de « Sources en action »)

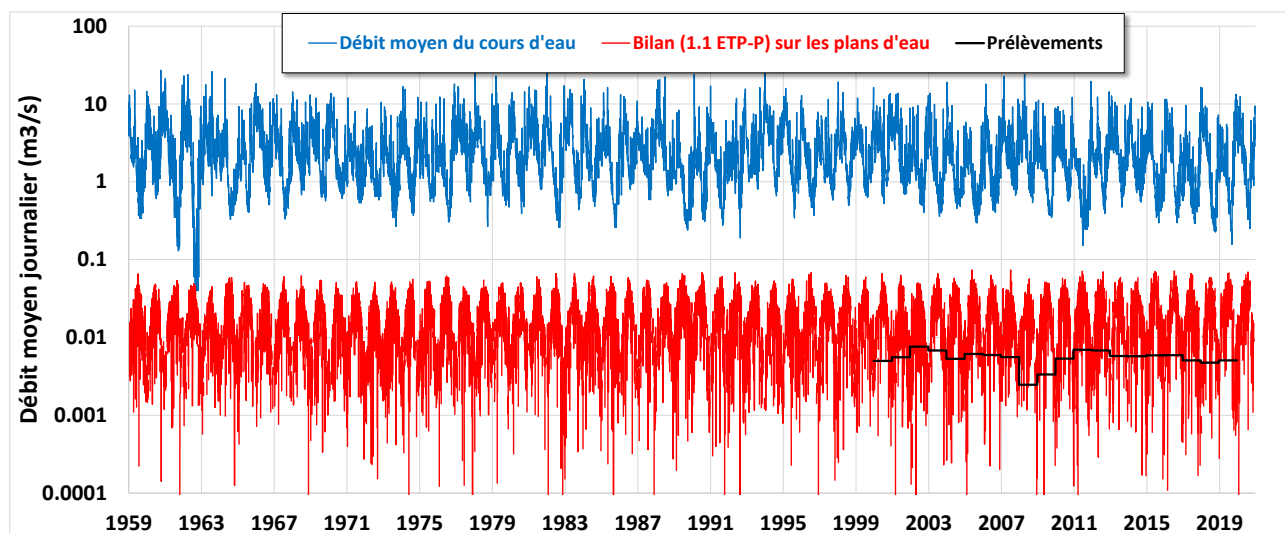


Figure 68 : Exemple de bilan au pas de temps journalier pour le bassin versant de la Vige à Saint-Martin-Sainte-Catherine (territoire de « Sources en action »)

5.3. PRINCIPAUX RESULTATS

L'annexe 2 présente la paramétrisation des 14 modèles GARDENIA réalisés. Les résultats de simulations GARDENIA permettent d'avoir accès à divers bilans et de définir des paramètres tels que l'évapotranspiration potentielle réelle (ETR), la pluie efficace, les débits dits rapides et lents, associés respectivement au ruissellement/écoulement hypodermique et aux apports en eaux souterraines aux cours d'eau.

À titre d'exemple, la Figure 69 illustre les résultats de la simulation GARDENIA conduite sur le débit de la Combade à Roziers-Saint-Georges avec :

- les évolutions au pas de temps journalier des débits observés et simulés ;
- la décomposition du débit simulé en composantes rapide et lente (souterraine) ;
- les contributions des composantes rapide et lente exprimées en termes du pourcentage du débit total calculé.

La composante lente (souterraine) est supérieure à la composante rapide lorsque le débit simulé de la Combade à Roziers-Saint-Georges est inférieur en moyenne à 1,9 m³/s ; au-delà de ce débit, les écoulements liés à de fortes pluies deviennent prépondérants.

Afin de comparer les chroniques observées et simulées, divers paramètres ont été calculés :

- le débit moyen interannuel (Figure 70) ;
- les QMNA, débits moyens mensuels minimum par année (annexe 3), caractéristiques des étiages d'un cours d'eau ; ces débits enregistrent par ailleurs une tendance à la baisse significative depuis le début des années 90 ;
- le QMNA5 (Figure 70) correspondant au débit moyen mensuel minimum de période de retour 5 ans, c'est-à-dire ayant une chance sur cinq de ne pas être dépassé pour une année donnée ; le QMNA5 sert de référence aux débits d'objectifs d'étiage ;

L'examen des trois critères de comparaison met en évidence la bonne qualité de calage des modèles GARDENIA.

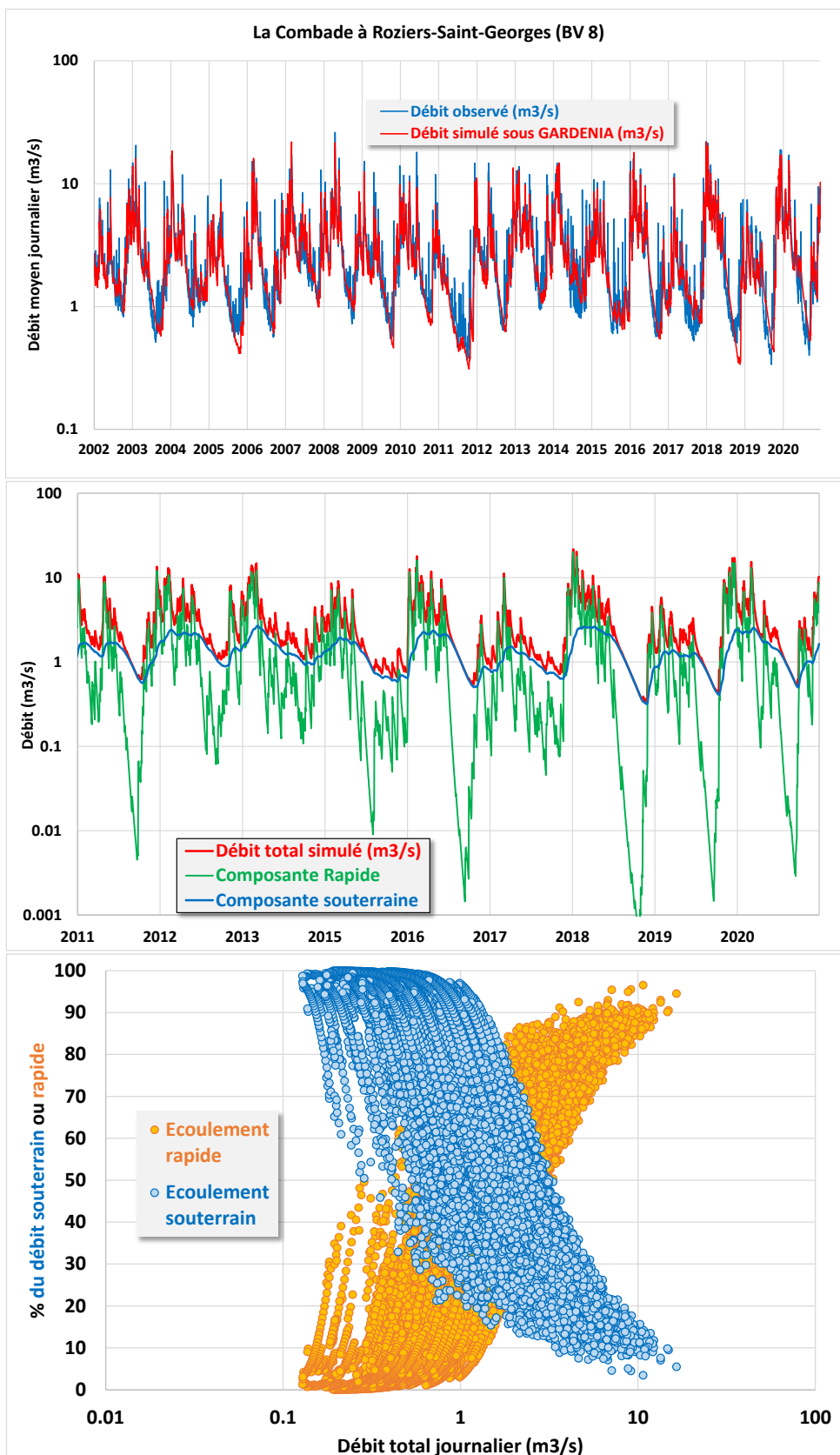


Figure 69 : Bilans de la simulation GARDENIA réalisée sur le bassin versant de la Combadé à Roziers-Saint-Georges (BV 8 du territoire de « Sources en action »)

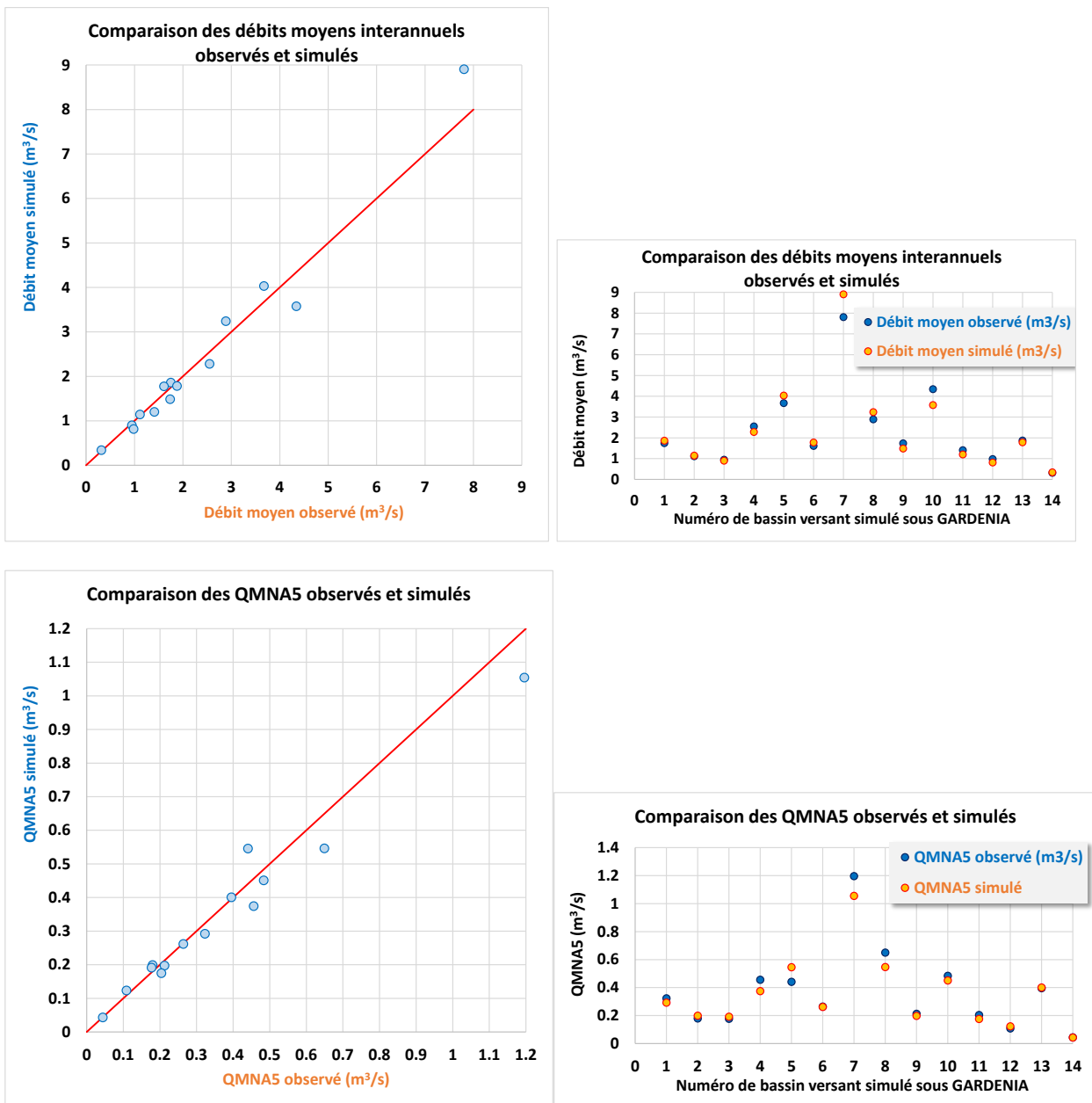


Figure 70 : Comparaison des débits moyens interannuels et QMNA5 observés et simulés (territoire de « Sources en action »)

Deux bassins se distinguent en termes de proportion d'écoulement rapide (avec des valeurs supérieures à 93 %) associés à temps de transfert vers la nappe plus long : le BV 5 (Creuse à Felletin) et le BV 7 (Briançonnais à Condat-sur-Vienne). À noter que sur le BV 6 (Roselle à St-Hilaire-Bonneval), sous-bassin versant de BV7, la proportion d'écoulement rapide est de 60 %, alors que les deux échelles de BV présentent des caractéristiques identiques (avec notamment des valeurs de réserve utile du sol qui sont les plus élevées de tous les bassins). Pour les autres bassins versants, le pourcentage d'écoulement rapide est compris entre 32 % et 77 %. La présence du faciès leucogranites semble augmenter la proportion d'écoulement rapide.

Le BV 10 (Vézère à Bugeat) et ses deux sous-bassins (BV 11 et BV 12) présentent des paramètres de calage sous GARDENIA très proches, ce qui était attendu étant donné la similarité entre les 3 bassins confirmée par les évolutions similaires de leur débit spécifique (débit rapporté à la surface du bassin, $Q/s/km^2$).

Malgré le faible nombre de points disponibles (un seul point paraît anormalique, celui de la Soudaine à Soudaine-Lavinadière), une augmentation de l'IDPR moyen (vers le pôle ruisselant) semble correspondre à l'augmentation de la proportion d'écoulement rapide (Figure 71).

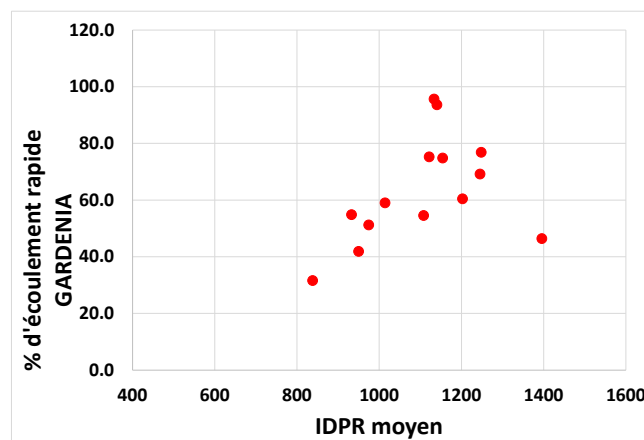


Figure 71 : Pourcentage d'écoulement rapide calculé en fonction de l'IDPR moyen pour les 14 bassins simulés sous GARDENIA (territoire de « Sources en action »)

Le rapport entre QMNA5 et débit moyen interannuel permet de caractériser la sévérité des étiages ; exprimé en %, ce rapport est compris entre 11 % et 23 % sur les 14 bassins à l'étude. La figure 72 illustre la tendance à la diminution de ce rapport avec la part d'écoulement rapide déterminée sous GARDENIA ; les bassins qui possèdent les fractions les plus importantes d'écoulements lents contribuant au débit des rivières présentent une meilleure conservation du débit à l'étiage.

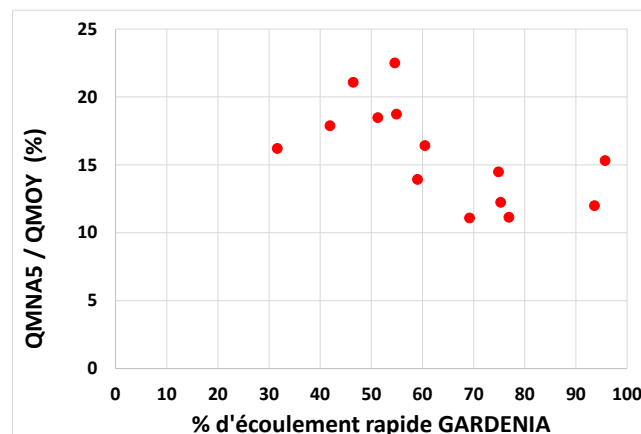


Figure 72 : Rapport entre QMNA5 et débit moyen interannuel (exprimé en %) en fonction du pourcentage d'écoulement rapide calculé pour les 14 bassins simulés sous GARDENIA (territoire de « Sources en action »)

6. Utilisation de la base de données pour l'identification de têtes de bassins versants représentatives

Au-delà de la description de la répartition spatiale des paramètres géomorphologiques présentée dans ce rapport, de nombreux tests ont été réalisés afin de les corrélés, sans vraiment pouvoir dégager d'interdépendance marquée entre par exemple surface de bassin, densité de drainage, indice de compacité, altitude et indice de persistance des réseaux.

La plupart des bassins versants qui ont fait l'objet de simulations GARDENIA ne permettent pas de dégager une typologie de comportement fonction notamment de la géologie alors qu'ils présentent des profils d'occupation des sols proches. Alors que les granites constituent les formations les plus représentées en termes de surface à l'échelle du territoire « Sources en action », ils ne sont pas représentés de manière significative sur les bassins modélisés.

Le système d'information géographique élaboré constitue un outil d'aide à la décision pour le volet 2 visant à identifier des têtes de bassins versants représentatives, sur lesquelles seront mises en place un réseau complémentaire de suivis, incluant mesures de débits et piézométriques. La sélection des bassins doit permettre de caractériser le fonctionnement d'hydrosystèmes avec des typologies différentes, avec dans l'idée d'étudier l'impact :

- de la géologie, en choisissant des bassins présentant un faciès géologique le plus homogène possible, sur un territoire présentant sur une grande moitié Est essentiellement des granitoïdes et à l'Ouest des roches métamorphiques ;
- d'occupation des sols : choix de bassins où par exemple la forêt ou les cultures annuelles seraient prépondérantes ;
- de la présence de zones humides tout en prenant en compte leur nature ; si les zones humides sont omniprésentes en Limousin, les tourbières, landes et bas marais acides concentrées sur un quart du territoire pourraient par exemple constituer un critère de sélection ;
- de la géomorphologie, en s'appuyant sur les cartographies de l'indice TPI Landform.

7. Conclusion

Dans le cadre du présent projet de recherche entre le BRGM et l'EPTB Vienne, l'étude des fonctions hydrologiques des têtes de bassin versant de la Vienne a pour principal objectif l'amélioration des connaissances alors que le dispositif existant de suivis hydrologiques et piézométriques s'avère insuffisant. Le territoire couvert par la présente étude s'étend sur le périmètre du contrat territorial Vienne Amont « Sources en action – contrat territorial Vienne amont ».

Dans le cadre du volet 1 de l'étude faisant l'objet de ce rapport, une base de données multicritères (plus de 1 200 champs disponibles pour des examens par zones géographiques) a été élaborée afin de caractériser les bassins versants.

Du point de vue géologique, outre la production d'une carte spécifique harmonisée pour l'étude, l'examen des données bancarisées dans la Banque de Sous-Sol a souligné le manque d'informations relatives aux propriétés hydrodynamiques des aquifères et à la répartition spatiale des altérites.

Les éléments de caractérisation ont concerné la météorologie (données SAFRAN), l'hydrologie, l'utilisation de MNT pour le tracé de bassins versants et le calcul d'indicateurs hydro-morphologiques, l'occupation de sols, les plans d'eau, les zones humides, les prélèvements et rejets.

Des modèles globaux (approche GARDENIA) ont été mis en œuvre sur une sélection de bassins versants peu influencés dans et autour du périmètre « Sources en action » afin notamment d'évaluer la contribution des apports souterrains aux débits des cours d'eau. La contribution des écoulements rapides aux débits des cours d'eau est comprise entre 30 % et 96 % ; les rivières présentant les écoulements les plus lents selon l'approche GARDENIA correspondent bien aux cours d'eau où s'observe une meilleure conservation du débit à l'étiage.

Les données acquises et leur structuration constituent un outil d'aide à la décision pour la sélection de bassins versants (volet 2) représentatifs de diverses thématiques (géologie, occupation des sols, milieux naturels...) et qui doivent faire l'objet de mesures de débits et piézométriques.

8. Bibliographie

Chilton P.J., Smith-Carington A.K. (1984) - Characteristics of the weathered basement aquifer in Malawi in relation to rural water supplies. Challenges in African Hydrology and Water Resources, proc. Harare Symposium, July 1984, pp.57-72.

Dewandel B., Lachassagne P., Wyns R., Maréchal J.C., Krishnamurthy N.S. (2006) – A generalized hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *J. Hydrol.*, 330, 260-284, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.03.026.

Dewandel B., Alazard M., Lachassagne P., Bailly-Comte V., Couëffé R., Grataloup S., Ladouche B., Lanini S., Maréchal J.-C., Wyns R. (2017) - Respective roles of the weathering profile and the tectonic fractures in the structure and functioning of crystalline thermo-mineral carbo-gaseous aquifers. *J. Hydrol.*, 547, 690–707.

Flageollet J.-C. (1977) - Origine des reliefs, altérations et formations superficielles : contribution à l'étude géomorphologique des massifs anciens cristallins. L'exemple du Limousin et de la Vendée du Nord-Ouest. *Sciences de la Terre, Nancy, Mém.* 35, 461 p.

Frayssinet S. (2020) – Caractérisation des plans d'eau à l'échelle du bassin de la Vienne : inventaire, évolution, hiérarchisation, évaporation et priorisation des interventions. Mémoire de Master 2 Cartographie des espaces à risques de l'Université de Nantes, 148 p.

I-Mage Consult (2008) - Inventaire et caractérisation des zones à dominante humide du territoire de la Région limousin (partie du bassin Loire-Bretagne) et du SAGE Vienne, 74 p.

Lachassagne P., Wyns R. (2005) - Aquifères de socle : nouveaux concepts. Application à la prospection et la gestion de la ressource en eau. *Revue du BRGM Geosciences*, 2, sept 2005. 32-37.

Lachassagne P., Dewandel B., Wyns R. (2021) - Review : Hydrogeology of weathered crystalline/hard rock aquifers – guidelines for the operational survey and management of groundwater resources. *Hydrogeology Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02339-7>

Le Bas C. (2018) - "Carte de la Réserve Utile en eau issue de la Base de Données Géographique des Sols de France", <https://doi.org/10.15454/JPB9RB>, Portail Data Inra, V2

Mardhel V., Pinson S., Allier D. (2021) - Description of an indirect method (IDPR) to determine spatial distribution of infiltration and runoff and its hydrogeological applications to the French territory. *Journal of Hydrology*, vol. 592 (2021) 125609, 13 p.

Maréchal J.C., Dewandel B., Subrahmanyam K. (2004) - Contribution of hydraulic tests at different scale to the characterisation of fracture network properties in hard-rock aquifers. *Water Res. Res.*, 40, W11508, 1-17.

Mauroux B., Wyns R., Castagnac C., Prognon C., Zammit C., Martelet G., Lions J., Touchard F., Karnay G. (2009) – SILURES Limousin – module 1 – SILURES « Bases de données » - Recueil des données, interprétations et bilans. Rapport BRGM/RP-57901-FR. 365 p.

Rolin P., Audru J.C., Poncet D., Papin H., Jousseau S. et Maillard A. (2006) - Carte géologique de la France (1/50.000), feuille Bressuire (n°538). Notice par Rolin P., Audru J.C.,

Thiéblemont D., Guerrot C., Cocherie A., Farjanel G., Fauconnier D., Lemordant Y., Soyer C. et Dominique P. Éditions BRGM, Orléans.

Thiéry D. (2019) - Logiciel GARDENIA version v8.2 – Mise à jour version v8.7 – Guide d'utilisation – Rapport BRGM/RP-62797-FR. 140 p.

Thiery Y., Terrier M., Colas B., Fressard M., Maquaire O., Grandjean G. et Gourdier S. (2020) – **Improvement of landslide hazard assessments for regulatory zoning in France: STATE-OF-THE-ART perspectives and considerations. International Journal of Disaster Risk Reduction, 47(2020) 101562, 25 p.**

Wang, L. & H. Liu (2006) - An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 2: 193-213.

Weiss A.D. (2001) - Topographical position and landform analysis. ESRI User Conference « The Nature Conservancy » (San Diego, California), poster.

Wyns R., Gourry J.-C., Baltassat J.-M., Lebert F. (1999) - Caractérisation multiparamètres des horizons de subsurface (0-100 m) en contexte de socle altéré, 2ème Colloque GEOFCAN, edit. BRGM, IRD, UPMC, pp. 105-110, Orléans, France.

Wyns R., Baltassat J. M., Lachassagne P., Legchenko A., Vairon J., Mathieu F. (2004) - Application of SNMR soundings for groundwater reserves mapping in weathered basement rocks (Brittany, France), Bulletin de la Société Géologique de France, 175 (1), 21-34.

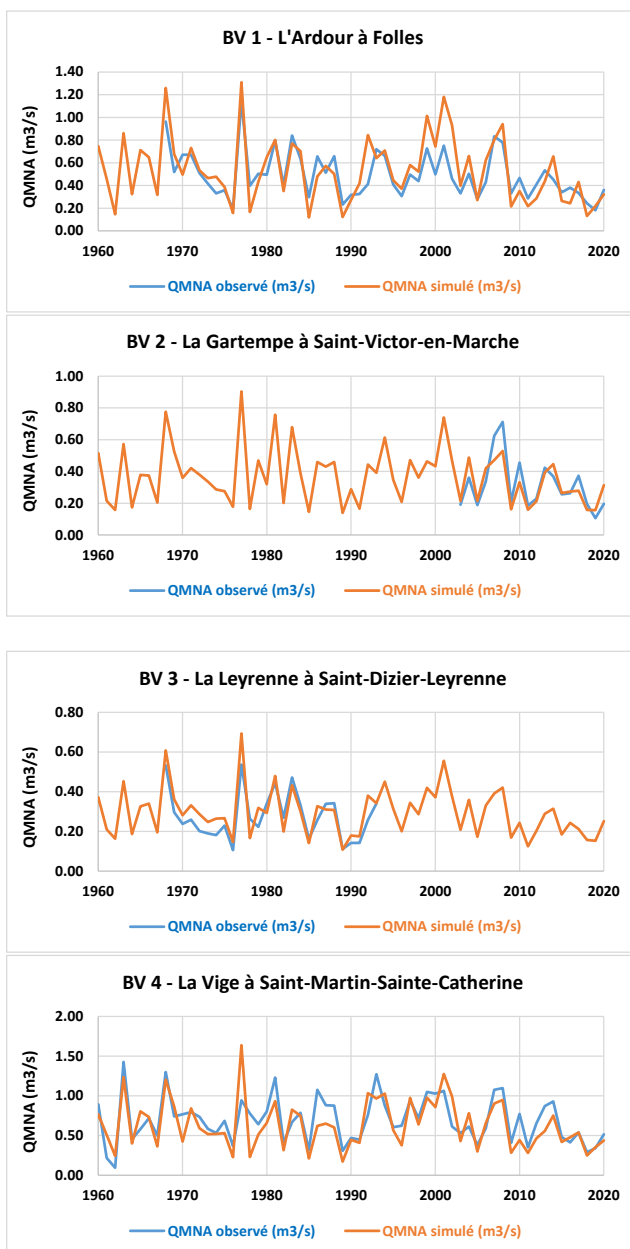
Annexe 1 Occupation des sols : niveaux 1 à 4 de la base de données PIGMA et comparaison avec la base de données Corine Land Cover

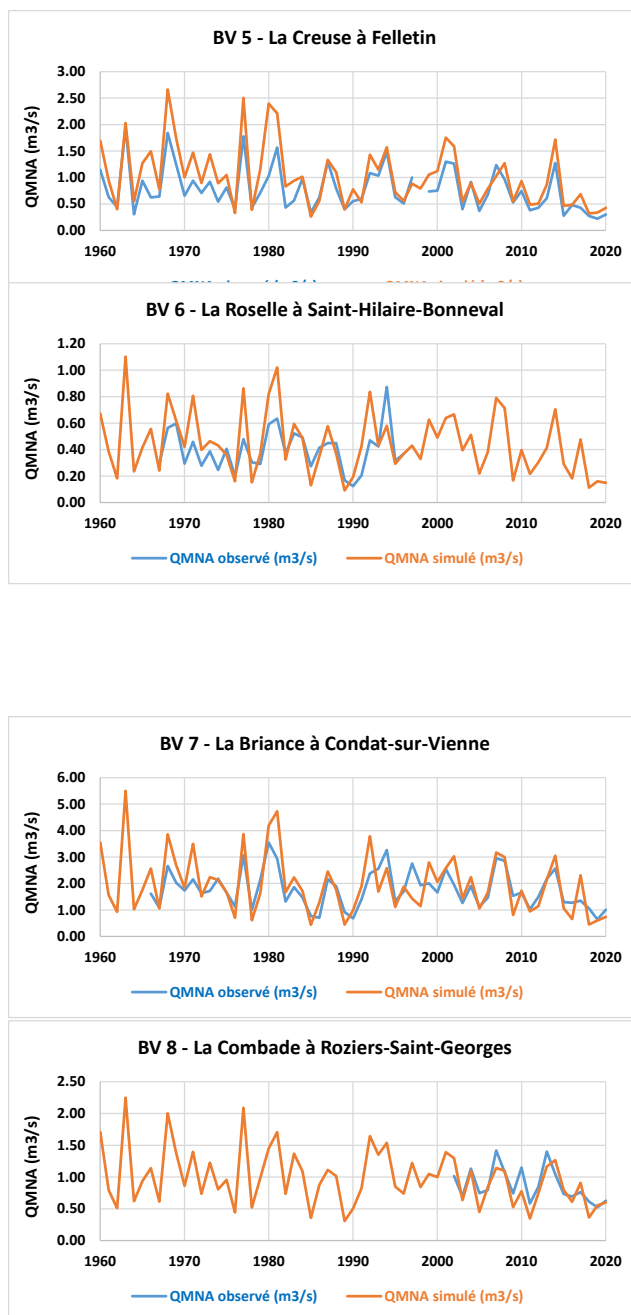
Niveau 1 OCS PIGMA	Niveau 3 OCS PIGMA		Niveau 3 OCS PIGMA		Corine Land Cover		Niveau 4 OCS PIGMA	
1. TERRITOIRES ARTIFICIALISEES	1.1. Zones urbanisées	1.1.1.	Tissu urbain continu	111	Continuous urban fabric	1.1.1.1.	Tissu urbain dense	
			1.1.1.2.	Tissu urbain individuel groupé	1.1.2.1.	Tissu urbain dispersé		
		1.1.2.	Tissu urbain discontinu	112	Discontinuous urban fabric	1.1.2.2.	Espace urbain individuel diffus	
						1.1.2.3.	Sièges d'exploitations agricoles et bâtiments agricoles isolés	
			1.1.2.4.	Habitat touristique spécifique				
			1.1.2.5.	Habitat collectif haut				
			1.2.1.	Zones industrielles, commerciales ou d'équipements	121	Industrial or commercial units	1.2.1.1.	Emprises industrielles
							1.2.1.2.	Emprises commerciales
							1.2.1.3.	Cimetières
							1.2.1.4.	Emprises scolaires et/ou universitaires
	1.2.1.5.	Emprises hospitalières						
	1.2.1.6.	Autres emprises publiques : stations d'épurations, casernes, cités administratives, écluses						
	1.2.1.7.	Aire d'accueil des gens du voyage						
	1.2.1.8.	Vacant urbain						
	1.2.2.	Réseaux routiers et ferroviaires et espaces associés	122	Road and rail networks and associated land	1.2.2.1.	Axes routiers principaux et espaces associés		
					1.2.2.2.	Axes ferroviaires principaux et espaces associés		
	1.2.3.	Zones portuaires	123	Port areas	1.2.2.3.	Parkings et principales places publiques		
					1.2.3.1.	Ports de plaisance		
	1.2.3.2.	Ecoles de voile						
	1.2.3.3.	Port de commerce						
1.2.3.4.	Autres ports : port à sec, port de pêche...							
1.2.4.	Aéroports	124	Airports	1.2.3.4.	Autres ports : port à sec, port de pêche...			
1.2.4.0.	Aéroports et aérodromes							
1.3. Mines, décharges et carrières	1.3.1.	Extraction de matériaux	131	Mineral extraction sites	1.3.1.1.	Carrières		
					1.3.2.	Décharges		
					1.3.3.	Chantiers		
1.4. Espaces verts artificialisés non agricoles	1.4.1.	Espaces verts urbains publics ou privés	141	Green urban areas	1.3.2.1.	Décharge		
					1.3.3.0.	Chantiers		
	1.4.2.	Equipements sportifs et de loisirs	142	Sport and leisure facilities	1.4.1.1.	Espaces verts urbains et périurbains publics ou privés		
					1.4.1.2.	Jardins ouvriers		
1.4.2.1.	Campings et caravanings							
1.4.2.2.	Golfs							
1.4.2.3.	Stades, équipements sportifs et équipements touristiques de loisir							
2. TERRITOIRES AGRICOLES	2.1. Terres arables	2.1.1.	Terres arables hors périmètres permanents d'irrigation	211	Non-irrigated arable land	2.1.1.1.	Cultures annuelles	
			2.1.2.	Terres arables irriguées	212	Permanently irrigated land	2.1.1.2.	Cultures florales ou légumières
	2.2. Cultures permanentes	2.2.1.	Vignobles	221	Vineyards	2.1.2.0.	Terres arables irriguées	
						2.2.2.	Vergers et petits fruits	2.2.1.0.
	2.2.2.	Vergers et petits fruits	222	Fruit trees and berry plantations	2.2.2.0.	Vergers et petits fruits		
					2.3.1.	Prairies	2.3.1.0.	Prairies
	2.3. Prairies	2.3.2.	Surfaces en herbe non agricoles (dont bandes enherbées)	231	Pastures	2.3.2.0.	Surfaces en herbe non agricoles	
						2.4.3.	Territoires principalement occupés par l'agriculture, avec présence de végétation naturelle importante	243
	3. FORETS ET MILIEUX SEMI-NATURELS	3.1. Forêts	3.1.1.	Forêts de feuillus	311	Broad-leaved forest	3.1.1.0.	Forêts de feuillus
				3.1.2.	Forêts de conifères	312	Coniferous forest	3.1.2.0.
3.1.3.				Forêts mélangées	313	Mixed forest	3.1.3.0.	Forêts mélangées
3.2. Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée		3.2.1.	Pelouses et pâturages naturels	321	Natural grasslands	3.2.1.0.	Pelouses et pâturages naturels	
						3.2.2.	Landes et broussailles	322
3.3. Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation		3.3.1.	Plages, dunes, sable	331	Beaches, dunes, sands	3.3.1.1.	Plages, sable	
						3.3.1.2.	Dunes	
						3.3.2.0.	Roches nues	
						3.3.3.0.	Végétation clairsemée	
						3.3.4.0.	Zones incendiées	
3.3.5.	Glaciers et neiges éternelles	335	Glaciers and perpetual snow	3.3.5.0.	Glaciers et neiges éternelles			
4. ZONES HUMIDES	4.1. Zones humides intérieures	4.1.1.	Marais intérieurs	411	Inland marshes	4.1.1.1.	Végétation de ceinture des bords des eaux	
			4.1.2.	Tourbières	412	Peat bogs	4.1.2.1.	Tourbières
	4.2. Zones humides maritimes	4.2.1.	Marais maritimes	421	Salt marshes	4.2.1.1.	Schorre	
						4.2.1.2.	Espaces endigués ou polders	
						4.2.3.1.	Vasières et bancs de sable sans végétation	
4.2.3.	Zones intertidales	423	Intertidal flats	4.2.3.2.	Herbiers marins à plantes vasculaires			
5. SURFACES EN EAU	5.1. Eaux continentales	5.1.1.	Cours et voies d'eau	511	Water courses	5.1.1.0.	Cours et voies d'eau	
			5.1.2.	Plans d'eau	512	Water bodies	5.1.2.1.	Plans d'eau naturels
	5.2. Eaux maritimes	5.2.2.	Estuaires	522	Estuaries	5.1.2.2.	Plans d'eau artificiels	
						5.2.2.0.	Estuaires	
						5.2.3.0.	Mers et océans	
5.2.3.	Mers et océans	523	Sea and ocean					

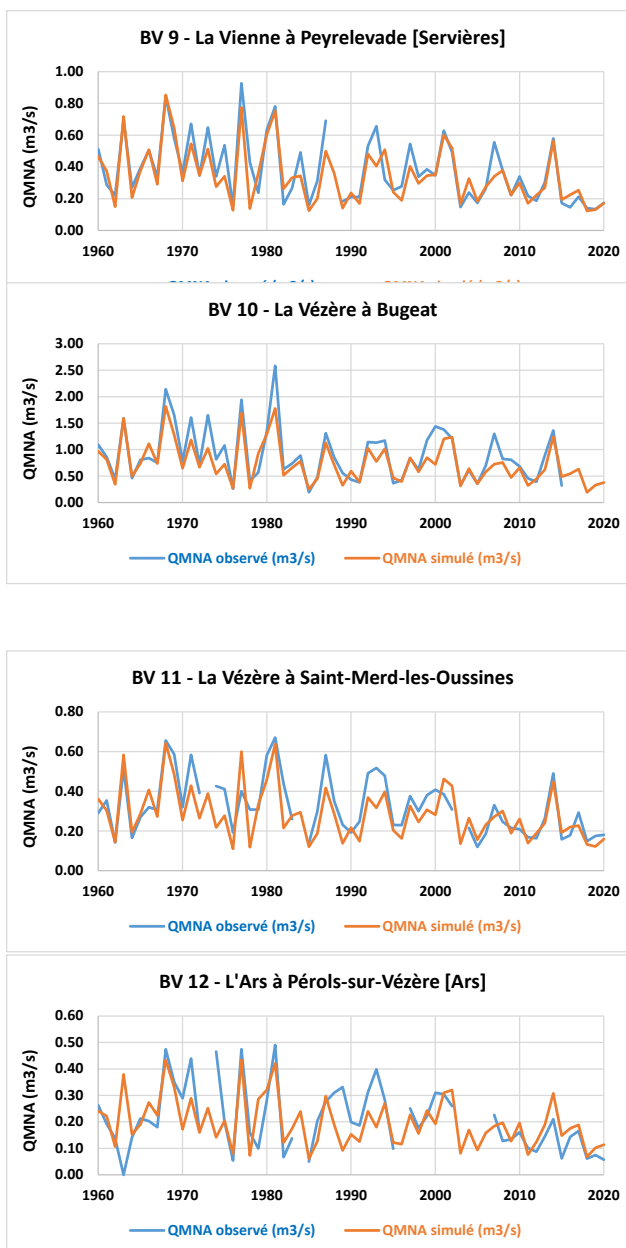
Annexe 2 Paramètres des simulations GARDENIA

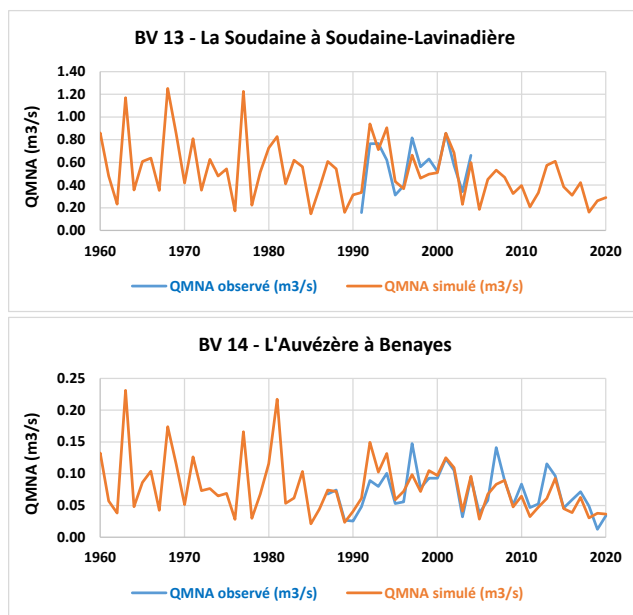
Libellé de la station	N° du bassin versant	Surface du bassin versant (km²)	Pluie (mm)	ETR (mm)	Pluie efficace (mm)	Q Rapide (mm)	Q Sout (mm)	% Q Rapide	Capacité du réservoir sol progressif (mm)	Hauteur d'équi-Ruissellement-Percolation du réservoir hypodermique H	Temps de 1/2 percolation vers la nappe	Temps de 1/2 tarissement souterrain (rapide) [Réservoir G1]
L'Ardour à Folles [Forgefer]	1	129.30	1081.31	626	456	234	222	51	364	18	0.46	0.82
La Gartempe à Saint-Victor-en-Marche	2	78.03	994.52	532	463	146	316	32	75	28	0.15	1.34
La Leyrenne à Saint-Dizier-Leyrenne	3	62.73	1028.81	574	455	250	205	55	153	15	0.46	2.02
La Vige à Saint-Martin-Sainte-Catherine	4	131.81	1119.95	570	549	230	319	42	148	30	0.31	1.27
La Creuse à Felletin	5	194.31	1302.16	651	651	610	41	94	333	4	10.00	0.05
La Roselle à Saint-Hilaire-Bonneval	6	126.85	1058.33	618	441	267	174	60	398	11	0.50	0.75
La Briançonnais à Condat-sur-Vienne [Chambon Veyrinas]	7	604.20	1095.66	632	466	445	20	96	439	1	9.99	0.05
La Combade à Roziers-Saint-Georges	8	171.18	1214.83	615	600	328	272	55	243	25	0.60	1.42
La Vienne à Peyrelevade [Servières]	9	60.59	1381.50	612	769	579	190	75	171	18	1.78	1.06
La Vézère à Bugeat	10	140.12	1379.92	580	799	615	184	77	97	15	1.63	1.08
La Vézère à Saint-Merd-les-Oussines [Maisonnial]	11	47.03	1391.26	586	805	603	202	75	108	18	1.61	1.41
L'Ars à Pérois-sur-Vézère [Ars]	12	30.23	1394.39	545	850	588	261	69	55	25	1.31	0.96
La Soudaine à Soudaine-Lavinadière	13	80.48	1354.92	651	705	327	376	46	258	35	0.41	1.14
L'Auvézère à Benayes	14	19.75	1158.02	617	542	320	221	59	290	16	0.53	0.98

Annexe 3 Evolution des QMNA (m³/s) observés et simulés sur les 14 bassins modélisés sous GARDENIA











**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Nouvelle Aquitaine, site de Poitiers

5 rue de la Goélette, 86280 Saint-Benoît



Géosciences pour une Terre durable

brgm

www.brgm.fr