

Document public

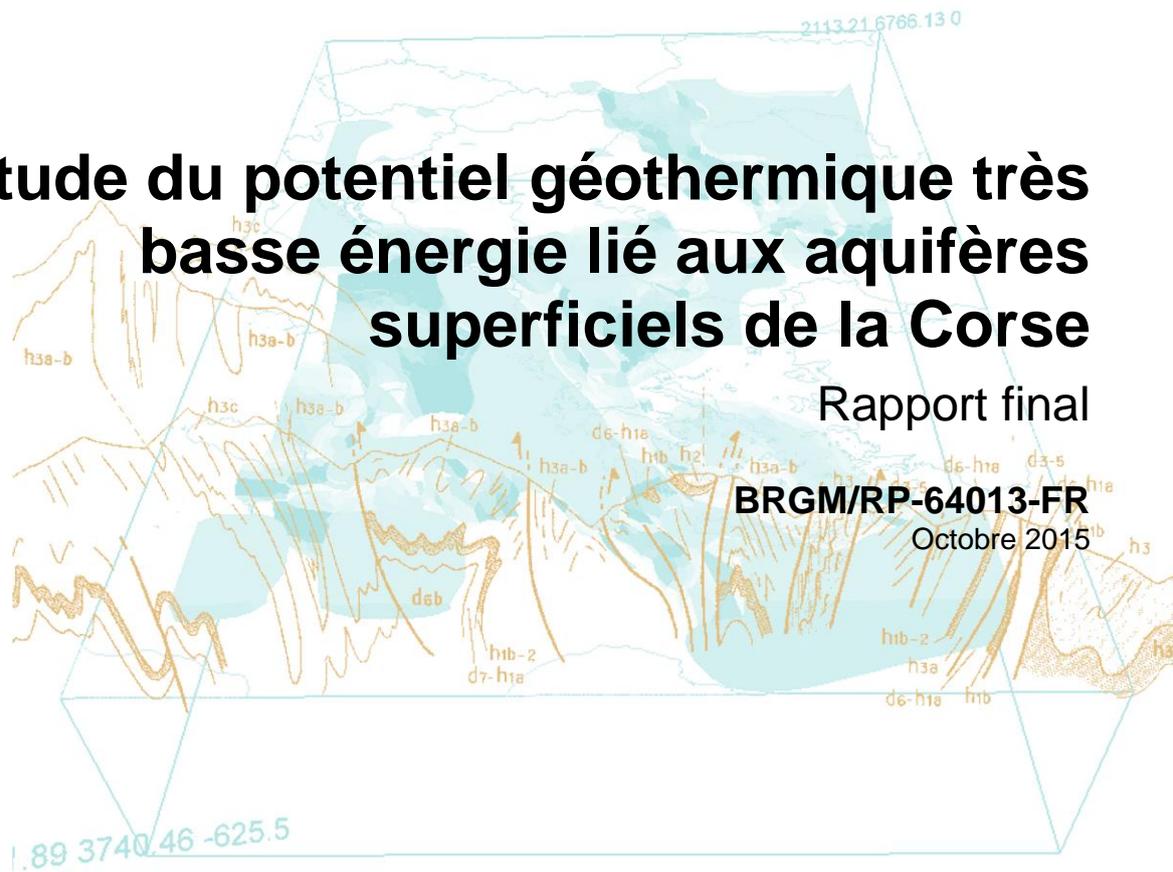


Etude du potentiel géothermique très basse énergie lié aux aquifères superficiels de la Corse

Rapport final

BRGM/RP-64013-FR

Octobre 2015



Etude du potentiel géothermique très basse énergie lié aux aquifères superficiels de la Corse

Rapport final

BRGM/RP-64013-FR

Octobre 2015

Étude réalisée dans le cadre du projet
d'appui aux politiques publiques du BRGM
PSP12CSC46

M. Analy, M. Genevier, F. Audet-Gagnon
Avec la collaboration de
P. Durst, A. Desplan, H. Lesueur

Vérificateur : M. Philippe

Date : 28/10/2015

Signature :



Approbateur : N. Frissant

Date : 29/10/2015

Signature :



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

Mots-clés : Géothermie, Corse, aquifère, SRCAE, potentiel géothermique, besoin thermique, doublet géothermique, ressource géothermale, taux d'adéquation.

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

Analy M., Genevier M., Audet-Gagnon F. Avec la collaboration de **Durst P., Desplan A., Lesueur H.,** (2015) – Etude du potentiel géothermique très basse énergie lié aux aquifères superficiels de la Corse. Rapport final. BRGM/RP-64013-FR, 98 p., ill., 58 ill., 2 ann., 1 CD.

Synthèse

Depuis quelques années le lien entre l'utilisation des combustibles fossiles et l'importante présence des gaz à effet de serre dans l'atmosphère a été prouvé. Cela a fait prendre conscience de l'importance du développement d'énergies alternatives renouvelables dont la géothermie.

En Corse, le développement de la filière de la géothermie présente deux objectifs principaux, la diminution de la dépendance énergétique de l'île et la création d'emplois locaux. Afin d'atteindre ces objectifs, la connaissance de la ressource géothermale de l'île est nécessaire. Le BRGM a réalisé dans le cadre d'un partenariat avec la Collectivité Territoriale de Corse (CTC) un document de référence sur le potentiel géothermique de très basse énergie (TBE) de la Corse focalisé exclusivement sur les aquifères superficiels.

Ce document inclut deux phases de travail :

- 1) Caractérisation et cartographie de la ressource géothermale aquifère très basse énergie.
- 2) Croisement entre la ressource géothermale et les besoins thermiques (chauffage + eau chaude sanitaire).

La cartographie est mise en ligne sur le site géothermie perspectives : <http://www.geothermie-perspectives.fr/>

Ce rapport expose dans sa première partie la méthodologie et les résultats de la caractérisation de la ressource géothermale étudiée à partir des paramètres hydrogéologiques du milieu. Une présentation de la géothermie, incluant les types, intérêts et réglementation associée est faite, ainsi qu'une description du contexte morphologique, géologique et hydrogéologique de la Corse. Ces éléments permettent de définir la dynamique du milieu.

La méthodologie d'analyse multicritères est ensuite exposée par grandes étapes de réalisation. Les paramètres pris en compte pour cette analyse sur les aquifères superficiels sont la profondeur d'accès à la ressource, la productivité (ou débit exploitable) et la température de l'aquifère.

Dans le contexte de cette étude, une distinction été / hiver a été opérée lors de la caractérisation géothermale des ressources étudiées, au regard des écarts constatés au niveau des paramètres pris en compte (notamment la température) entre les deux saisons. Cela conduira à établir un atlas géothermique de la Corse avec deux cartes différentes (été / hiver).

Il ressort de ce travail de caractérisation de la ressource étudiée que le contexte hydrothermique du sous-sol est peu favorable au développement de la géothermie par doublet. En effet, la zone du territoire corse présentant un caractère peu favorable au développement de la géothermie sur aquifère superficiel couvre 89% et 78% en période estivale et hivernale respectivement.

La saison de chauffe est légèrement moins défavorable vu que la température des aquifères bien qu'elle soit basse, demeure compatible avec un usage lié au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire. A l'opposé, durant la période estivale, la température des eaux souterraines s'élève à des niveaux dépassant 20°C, limitant ainsi l'usage de ces eaux pour le freecooling dans des conditions économiquement viables.

Les contraintes réglementaires et techniques n'ont pu être intégrées en raison du nombre très restreint d'informations et de données.

La seconde partie de l'étude est consacré à l'établissement du taux d'adéquation (potentiel géothermique) entre la ressource géothermale caractérisée précédemment avec les besoins thermiques des utilisateurs en surface (chauffage et eau chaude sanitaire).

Dans ce travail d'adéquation ressources /besoins, seul le bâti existant est pris en compte étant donné les capacités relativement faibles de la ressource et le manque de vision précise par rapport au bâti futur.

Le croisement entre ressources et besoins est effectué sur cinq territoires de la Corse. Les résultats montrent un taux d'adéquation relativement faible dans l'ensemble, seule la Plaine orientale pourrait connaître une intégration satisfaisante de la géothermie dans le paysage énergétique local.

Taux de couverture maximal des besoins thermiques (chauffage + ECS) par géothermie sur aquifère superficiel au niveau des zones étudiées

Zone de croisement	Potentiel géothermique (%)
Communauté d'agglomération de Bastia	11
Communauté d'agglomération du Pays Ajaccien	6
Communauté de communes de Calvi Balagne	21
Communauté de communes du Centre Corse	9
La plaine orientale	54

Dans ce rapport et les travaux de cette étude, la notion de potentiel géothermique –dont la détermination constitue le rendu final du projet– traduit le taux de couverture des besoins thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire (ECS) en kWh) par géothermie sur aquifère superficiel.

Un potentiel géothermique de 100% signifie que ce type de géothermie peut satisfaire l'ensemble de la consommation thermique liée au chauffage et à l'ECS au niveau de la maille ou de territoire concerné.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Présentation de la géothermie	13
2.1. DEFINITION	13
2.2. TYPES DE GEOTHERMIE ET POTENTIELS D'UTILISATION ASSOCIES.....	13
2.2.1. Géothermie à haute énergie	13
2.2.2. Géothermie à moyenne énergie.....	13
2.2.3. Géothermie à basse énergie.....	14
2.2.4. Géothermie à très basse énergie	14
2.3. LA TECHNOLOGIE DES POMPES À CHALEUR (PAC)	14
2.3.1. Pompe à chaleur sur aquifère superficiel	15
2.3.2. Pompe à chaleur sur sondes géothermiques	15
3. Contexte général de la Corse	17
3.1. GEOGRAPHIE.....	17
3.2. TOPOGRAPHIE.....	18
3.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA CORSE.....	20
3.3.1. Corse hercynienne.....	21
3.3.2. Corse alpine.....	22
3.3.3. Bassins miocènes	22
3.3.4. Formations quaternaires	22
4. Contexte hydrogéologique	23
4.1. PRÉSENTATION DE LA BASE DE DONNÉES LISA.....	23
4.2. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES « PRINCIPALES » (NIVEAU 2 ET 3).....	23
4.2.1. Socle granitique de la Corse	23
4.2.2. Formations métamorphiques alpines de la Corse	25
4.2.3. Formations sédimentaires tertiaires de Corse	27
4.3. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES « COMPLÉMENTAIRES » (NIVEAU 0).....	28
4.4. CAS PARTICULIER DE LA PLAINE ALLUVIALE DE LA MARANA-CASINCA	30
5. Méthodologie de la caractérisation de la ressource géothermale des aquifères superficiels	33

5.1. RÉALISATION DE LA BASE DE DONNÉES	33
5.1.1. Collecte des données	33
5.1.2. Validation des données	34
5.1.3. Profondeur de la nappe	35
5.1.4. Données retenues	35
5.1.5. Tri des données retenues	35
5.2. MODELES POUR DONNEES DE PROFONDEUR DE LA NAPPE	36
5.3. CLASSIFICATION	38
5.4. SPATIALISATION	40
5.4.1. Débit d'exploitation	40
5.4.2. Profondeur de la nappe	41
5.4.3. Température de la ressource.....	41
5.5. ANALYSE MULTICRITÈRES	41
6. Résultats et discussion.....	43
6.1. BASE DE DONNÉES	43
6.2. DÉBIT D'EXPLOITATION.....	44
6.3. PROFONDEUR DE LA NAPPE	48
6.3.1. Période estivale	48
6.3.2. Période hivernale	53
6.4. TEMPÉRATURE DE L'EAU.....	57
6.4.1. Période hivernale	57
6.4.2. Période estivale	60
6.5. ANALYSE MULTI-CRITÈRES	63
6.5.1. Période estivale	63
6.5.2. Période hivernale	65
7. Méthodologie générale de détermination du potentiel géothermique de la Corse	69
7.1. LA NOTION DE POTENTIEL GEOTHERMIQUE.....	69
7.2. LA PRISE EN COMPTE DES PRINCIPALES FILIERES	69
7.3. DEFINITION DE L'ECHELLE DE TRAVAIL.....	70
7.4. ESTIMATION ET CARTOGRAPHIE DES BESOINS THERMIQUES	71
7.5. CROISEMENT « RESSOURCES / BESOINS »	71
8. Estimation et cartographie des besoins thermiques	73

8.1. BD TOPO® (DONNEES IGN)	73
9. Bâti corse et estimation de sa consommation thermique.....	79
9.1. SECTEUR RESIDENTIEL	79
9.1.1. Données générales.....	79
9.1.1. Données thermiques.....	80
9.2. SECTEUR TERTIAIRE	83
9.2.1. Données générales.....	83
9.2.2. Données thermiques.....	84
9.3. RESULTATS DU CALCUL DES BESOINS THERMIQUES EN SURFACE POUR LA BÂTI EXISTANT	85
10. Adéquation entre la ressource géothermale des aquifères superficiels et les besoins thermiques en surface	87
11. Conclusion	95
12. Bibliographie.....	97

Liste des illustrations

Illustration 1 : Schéma du fonctionnement d'une PAC	14
Illustration 2 : Schéma du fonctionnement de la pompe à chaleur sur aquifère superficiel	15
Illustration 3: Schéma du fonctionnement d'une pompe à chaleur sur sonde géothermique	16
Illustration 4 : Localisation de la Corse.....	17
Illustration 5 : Répartition des communes corses -principalement sur les zones cotières.....	18
Illustration 6 : Topographie de la Corse	19
Illustration 7 : Caractéristiques des massifs montagneux	20
Illustration 8 : Géologie de la Corse	21
Illustration 9 : Domaines hydrogéologiques du Socle granitique	24
Illustration 10 : Domaines hydrogéologiques des Formations métamorphiques alpines de la Corse	26
Illustration 11 : Domaines hydrogéologiques des Formations tertiaires et quaternaires de Corse.....	28
Illustration 12 : Formations alluvionnaires récentes	30
Illustration 13 :Principe de modélisation de la piézométrie (Wyns et al., 2004).....	36
Illustration 14 : Droite de régression linéaire pour le socle granitique de la Corse	38
Illustration 15 : Classification des critères de ressource géothermale	39
Illustration 16 : Méthodes d'interpolation.....	40
Illustration 17 : Classe de ressource géothermale finale	42
Illustration 18 : Statistiques des trois modèles pour la profondeur de la nappe.....	43

Illustration 19 : Statistiques des trois modèles pour la température de l'eau	43
Illustration 20 : Statistiques des trois modèles pour le débit d'exploitation	44
Illustration 21 : Carte des débits d'exploitation	46
Illustration 22 : Spatialisation des débits d'exploitation (m ³ /h)	47
Illustration 23 : Carte des profondeurs de la nappe en période estivale	50
Illustration 24 : Modèle de profondeurs de la nappe en période estivale	51
Illustration 25 : Profondeur de la nappe en période estivale	52
Illustration 26 : Carte des profondeurs de la nappe en période hivernale.....	54
Illustration 27 : Modèle de profondeurs de la nappe en période hivernale	55
Illustration 28 : Profondeur de la nappe en période hivernale.....	56
Illustration 29 : Carte des températures de l'eau en période hivernale.....	58
Illustration 30 : Température de l'eau en période hivernale	59
Illustration 31 : Carte des températures de l'eau en période estivale	61
Illustration 32 : Température de l'eau en période estivale.....	62
Illustration 33 : Ressource géothermale sur nappe superficielle en période estivale	64
Illustration 34 : Ressource géothermique en période hivernale	66
Illustration 35 : Communes présentant une ressource favorable à la géothermie en période hivernale	67
Illustration 36 : Exploitation géothermique des eaux souterraines par doublet sur aquifère superficiel	70
Illustration 37 : Attributs et types de bâtiments dans la classe « Bâti remarquable »	75
Illustration 38 : Attributs et types de bâtiments dans la classe « Bâti industriel »	76
Illustration 39 : Extrait de la BD TOPO sous SIG d'un exemple de la commune de Bastia et photo aérienne correspondante (Google satellite).....	77
Illustration 40 : Répartition des logements par type et statut d'occupation (Source SRCAE Corse)	79
Illustration 41 : Répartition du parc des résidences principales en surface de logements par statut d'occupation, par type de logement et période de construction – SRCAE Corse80	
Illustration 42 : Répartition des résidences principales selon leur énergie principale de chauffage et le type de logement – SRCAE Corse	80
Illustration 43 : Répartition des résidences secondaires selon leur énergie principale de chauffage et le type de logement – SRCAE Corse	81
Illustration 44 : Analyse de la consommation unitaire de chauffage du parc des résidences principales – énergie finale – pour chaque statut d'occupation, par type de logement et période de construction – SRCAE Corse.....	81
Illustration 45 : Répartition des surfaces et des consommations de chauffage pour le secteur résidentiel (appartement – maison) par période de construction	82
Illustration 46 : Répartition des surfaces tertiaires par branche en Corse en 2007 – CEREN / SRCAE Corse.....	83
Illustration 47 : Consommations finales de chauffage du secteur tertiaire par énergie – SRCAE Corse.....	84
Illustration 48 : Consommations unitaires de chauffage estimées par branche – SRCAE Corse84	

Illustration 49 : Cartographie à l'échelle de la maille des consommations thermiques (chauffage + ECS) du bâti corse.....	86
Illustration 50 : Territoires étudiés - Croisement ressources / besoins	87
Illustration 51 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la Communauté d'agglomération du Pays Ajaccien	88
Illustration 52 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la Communauté d'agglomération de Bastia	89
Illustration 53 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la Communauté de communes de Calvi Balagne.....	90
Illustration 54 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la Communauté de communes du Centre Corse.....	91
Illustration 55 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la plaine orientale	92
Illustration 56 : Taux de couverture maximal des besoins thermiques (chauffage + ECS) par géothermie sur aquifère superficiel au niveau des zones étudiées.....	93

Liste des annexes

Annexe 1 Méthodes d'interpolation de profondeur de la nappe pour les aquifères alluviaux....	99
Annexe 2 Méthodes d'interpolation des températures de l'eau	101

1. Introduction

Sous l'impulsion des Grenelles de l'environnement I et II, et dans ce contexte d'épuisement des énergies fossiles et de lutte contre le changement climatique, les énergies renouvelables (EnR) connaissent un fort développement.

Parmi ces EnR, la Géothermie permet l'exploitation de l'énergie contenue dans les nappes d'eau souterraines par des doublets de puits (pompage et réinjection de l'eau de la nappe) ou celle contenue dans le sol et le sous-sol grâce à la mise en place d'échangeurs enterrés à boucles dites « fermées ». Elle dispose d'un certain nombre d'atouts : locale, disponible 24h/24, indépendante des éléments climatiques extérieurs, respectueuse de l'environnement si elle est encadrée et contrôlée. De plus, la filière géothermie a atteint aujourd'hui un stade de maturité qui permet sa mise en œuvre dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes.

Dans le contexte corse, le recours à l'énergie géothermique sur aquifère superficiel, s'il s'avérait significativement envisageable, serait de nature à réduire la dépendance énergétique de l'île et à être créateur d'emplois locaux (forage, installation, maintenance, formation et organisation de la filière).

Actuellement la méconnaissance du potentiel géothermique de la Corse ne permet pas d'envisager son exploitation dans des conditions optimales. Aussi, pour éventuellement mettre en valeur ce potentiel, la Collectivité territoriale de Corse (CTC) et le BRGM souhaitent, dans le cadre d'un partenariat, améliorer la connaissance de ce potentiel et des moyens de le valoriser durablement.

Il s'agira dans un premier temps d'identifier, de caractériser et de cartographier les formations hydrogéologiques superficielles sous leur aspect géothermal grâce à une analyse multicritères qui combine la profondeur d'accès aux nappes, leur productivité ainsi que la température des eaux souterraines.

La finalité de cette partie sera de réaliser un atlas de la ressource géothermale au travers d'une carte couvrant l'ensemble de l'île qui sera mise en ligne et d'accès public sur le site Internet "geothermie-perspectives.fr".

Une fois la ressource géothermale caractérisée, l'objectif de la seconde partie sera de déterminer le taux d'adéquation entre ressources et besoins thermiques via un croisement opéré à l'échelle de la maille et ce de manière cartographique.

2. Présentation de la géothermie

Cette partie introductive à la géothermie est tirée d'anciens rapports BRGM. Pour plus de détails, le lecteur peut consulter les documents publics BRGM/RP-60244-FR, BRGM/RP-60336-FR, BRGM/RP-61780-FR et BRGM/RP-61365-FR à partir du site internet <http://infoterre.brgm.fr/>.

2.1. DÉFINITION

La géothermie se définit comme l'exploitation de la source d'énergie renouvelable emmagasinée sous forme de chaleur dans le sous-sol terrestre (ADEME-BRGM, 2013). Cette chaleur est causée par le refroidissement du noyau terrestre ainsi que la désintégration d'éléments radioactifs présents dans les roches du noyau terrestre. Ces éléments radioactifs sont principalement uranium, thorium, et potassium. Cette énergie est fonction du gradient géothermique, estimé à 30°C par kilomètre. Ce gradient varie considérablement selon la localisation. En France, il est évalué à 4°C pour 100 mètres de profondeur (ADEME-BRGM, 2013). L'énergie du gradient géothermique est principalement employée pour le chauffage, le rafraîchissement et la production d'électricité. La chaleur est récupérée par différentes méthodes, dont la pompe à chaleur avec fluide caloporteur.

Une partie de la chaleur de la terre provient des échanges thermiques avec la surface, notamment au niveau du proche sous-sol.

2.2. TYPES DE GÉOTHERMIE ET POTENTIELS D'UTILISATION ASSOCIÉS

La géothermie comprend quatre types qui sont principalement fonction de la température des fluides.

2.2.1. Géothermie à haute énergie

La géothermie à haute énergie s'applique seulement aux fluides caractérisés par des températures supérieures à 150°C. Ces températures sont associées à des zones de gradient géothermique anormalement élevé, pouvant atteindre jusqu'à 30°C par 100 mètres. À supposer la présence d'un réservoir, le fluide est capté sous forme de vapeur pour la production électrique.

2.2.2. Géothermie à moyenne énergie

La géothermie moyenne énergie utilise principalement les eaux des bassins sédimentaires localisés à des profondeurs de 2 000 à 4 000 mètres. Ces bassins sont généralement localisés dans des zones à fort gradient géothermique. Les températures sont comprises entre 90 et 150°C. Ce type de géothermie permet de produire de l'électricité et éventuellement également de la chaleur (cogénération), via l'utilisation d'un fluide intermédiaire (ADEME-BRGM, 2013).

2.2.3. Géothermie à basse énergie

La géothermie à basse énergie emploie les eaux des aquifères pour un usage direct de la chaleur via un échangeur pour le chauffage. Les températures de ces eaux varient entre 30°C et 90°C

En France, plusieurs installations de géothermie basse énergie fournissent de la chaleur aux chauffages urbains en Ile-de-France. Ces opérations captent l'eau à des profondeurs de 1 500 – 2 000 mètres (aquifère Dogger).

2.2.4. Géothermie à très basse énergie

Employant les aquifères peu profonds (généralement à moins de 100 m de la surface), la température des eaux est inférieure à 30°C. Les eaux sont employées pour le chauffage en faisant appel à des pompes à chaleur, et pour le rafraîchissement avec ou sans PAC. Des dispositifs spécifiques peuvent également être employés, notamment les capteurs à boucle fermée. A titre d'exemples, on peut citer les sondes géothermiques verticales et les échangeurs horizontaux.

Dans le travail présenté dans ce rapport, l'étude a porté uniquement sur la géothermie très basse énergie exploitant les nappes superficielles.

2.3. LA TECHNOLOGIE DES POMPES À CHALEUR (PAC)

La pompe à chaleur (PAC) diminue la température de la source froide, soit du milieu qui fournit l'eau, alors qu'elle augmente la température du milieu qui reçoit l'énergie (source chaude). Le schéma conceptuel du phénomène est présenté ci-après. Pour ce faire, la PAC comprend un fluide frigorigère qui capte la chaleur de la source froide provoquant ainsi son évaporation. Le compresseur augmente la pression de cette vapeur, qui est ainsi plus chaude et ensuite envoyée sous haute pression vers le condenseur. Le fluide repasse de l'état vapeur à liquide lors de son passage dans le condenseur en cédant ainsi de la chaleur au système de chauffage, chaleur ensuite distribuée dans l'habitation. Le liquide est ensuite détendu avant retour dans l'évaporateur pour un nouveau cycle (ADEME-BRGM, 2013).

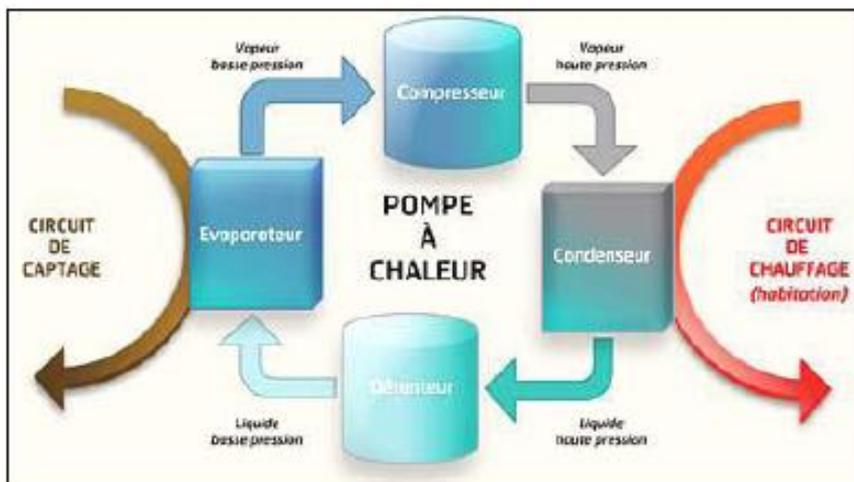


Illustration 1 : Schéma du fonctionnement d'une PAC

2.3.1. Pompe à chaleur sur aquifère superficiel

La pompe à chaleur (PAC) est alimentée via un forage dit de prélèvement d'eau souterraine. Après avoir cédé de la chaleur à l'évaporateur de la PAC, l'eau est retournée à l'aquifère par l'intermédiaire d'un forage dit « de réinjection ». Le fonctionnement de la PAC sur aquifère superficiel est présenté à l'illustration 2 (BRGM).

En saison hivernale, la pompe à chaleur géothermique capte la chaleur de l'eau souterraine et la renvoie à une température exploitable pour le chauffage du bâtiment. En saison estivale, une pompe à chaleur réversible transfère la chaleur excédentaire du bâtiment dans l'eau souterraine. Le rafraîchissement peut également se faire directement (sans PAC) avec interposition d'un échangeur de chaleur. L'eau de la nappe est directement employée pour rafraîchir le bâtiment. L'utilisation de cette technique court-circuite la pompe à chaleur.

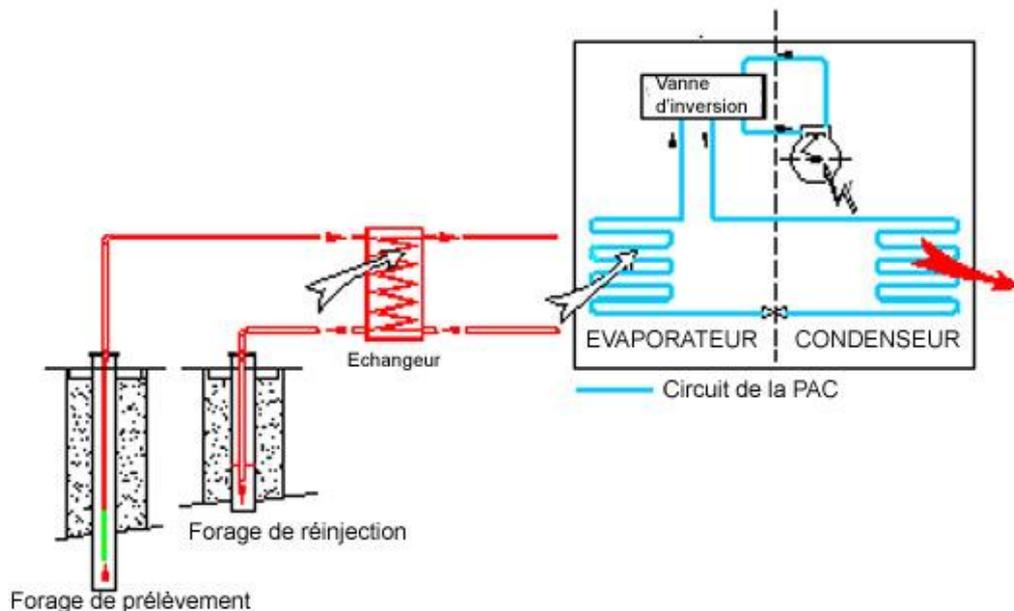


Illustration 2 : Schéma du fonctionnement de la pompe à chaleur sur aquifère superficiel

2.3.2. Pompe à chaleur sur sondes géothermiques

Les sondes géothermiques désignent les échangeurs géothermiques verticaux, tels que présentés à la Illustration 3 (ADEME BRGM). Ces derniers sont des échangeurs thermiques qui captent la chaleur emmagasinée dans le sous-sol et la transportent vers la pompe à chaleur (PAC). Le transport de chaleur est assuré par un mélange eau - monopropylène glycol. Ce liquide caloporteur a un important pouvoir calorifique, proche de celui de l'eau pure.

Le système compte un ou plusieurs forages verticaux dans lesquels sont introduits des tubes raccordés à la PAC. Cette dernière remonte la chaleur qui est employée à des fins de chauffage généralement par plancher chauffant. En saison estivale, le système peut être inversé en mode rafraîchissement par l'intermédiaire d'une PAC réversible ou par rafraîchissement direct (free-cooling).

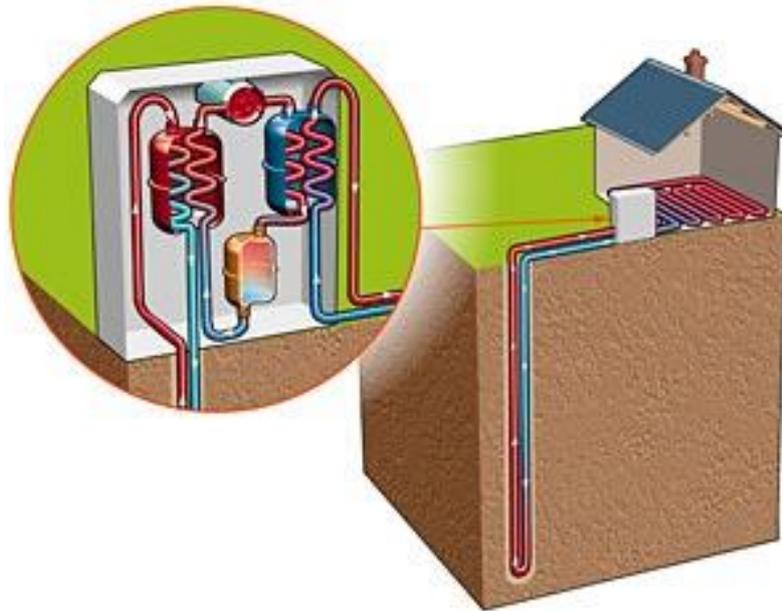


Illustration 3: Schéma du fonctionnement d'une pompe à chaleur sur sonde géothermique

3. Contexte général de la Corse

3.1. GÉOGRAPHIE

Située dans la mer Méditerranée, la Corse a une surface de 8 722 km², soit 183 km de longueur sur 83 km de largeur. Elle est éloignée de 90 km des côtes italiennes, 17 km de la Sardaigne et 300 km de Marseille. L'illustration 4 montre la localisation de l'île.



Illustration 4 : Localisation de la Corse

La population actuelle de la Corse est d'environ 322,1 milliers d'habitants (Recensement de 2014 – Insee). La majorité de la population est implantée sur les villes principales, notamment Ajaccio, Bastia, Porto-Vecchio, Corte, Calvi et Sartène. Ces villes se répartissent d'est en ouest et du sud au nord de l'île tel que montré sur l'illustration 5. Toutefois, elles sont toutes localisées le long du littoral, à l'exception de Corte et Sartène. Ainsi, la majorité des corses habitent dans les zones côtières.



Illustration 5 : Répartition des communes corses -principalement sur les zones cotières

3.2. TOPOGRAPHIE

La Corse est divisée en deux par une chaîne de montagnes localisée au centre de l'île, d'orientation nord-ouest – sud-est. Le secteur localisé à l'ouest présente un relief important. Les altitudes les plus fortes sont principalement localisées au nord. Néanmoins, d'autres zones à relief important sont également présentes sur l'île, tel que présenté sur la carte de l'illustration 7.

Caractérisée de « montagne dans la mer », la Corse présente un relief important. Le Monte Cinto (2 706 m) est le plus haut sommet de l'île. Plusieurs autres sommets atteignent des altitudes supérieures à 2 500 m, dont Capu Ciuntrone, Monte Rotondo, Pointe des Éboulis, Punta Sellula et autres.

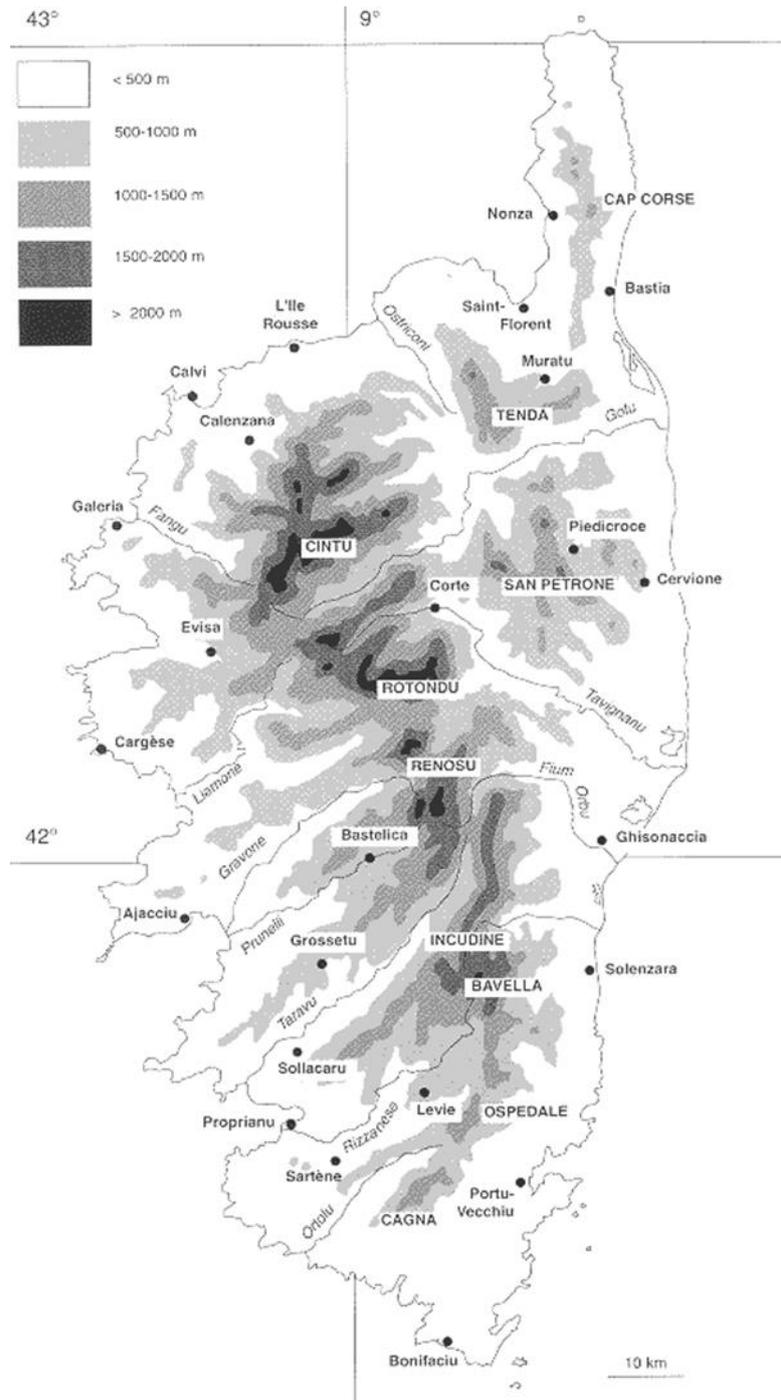


Illustration 6 : Topographie de la Corse (BRGM/RP-57748-FR)

L'ensemble montagneux de la Corse est constitué de huit massifs. La localisation de ces derniers est présentée à l'illustration 6. Ils se différencient par l'altitude du point culminant, la géologie et la géomorphologie. L'illustration 7 présente les principales caractéristiques de chaque massif.

Massif	Point culminant	Altitude (m)	Domaine géologique	Caractéristiques
Cap Corse	Monte Stello	1 305	Corse alpine	-----
Tenda	Monte Asto	1 533	Corse alpine	-----
San Petrone	Monte San Petrone	1 766	Corse alpine	-----
Cinto	Monte Cinto	2 710	Corse hercynienne	Relief très accidenté, comprend plusieurs sommets dépassant 2 500 m
Rotondo	Monte Rotondo	2 625	Corse hercynienne	Relief accidenté, nombreux lacs d'origine glaciaire
Renoso	Monte Renoso	2 357	Corse hercynienne	-----
Incudine-Bavella	Incudine	2 136	Corse hercynienne	-----
Ospedale	Monte Calvo	1 381	Corse hercynienne	Relief peu marqué
Cagna	Punta d'Ovace	1 339	Corse hercynienne	-----

Illustration 7 : Caractéristiques des massifs montagneux

Les principaux fleuves de Corse prennent naissance à proximité de ces massifs. Parmi ces fleuves, il y a le Golo, Tavignano, Gravona, de Prunelli, de Tavavo et autres. Ceux-ci sont responsables du creusement des vallées, portant leur nom. Plusieurs cours d'eau ont également entaillé le relief de la Corse.

3.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA CORSE

La Corse comprend quatre grandes unités géologiques délimitées par des accidents tectoniques et des terrains quaternaires (Illustration 8). Ces unités sont : Corse hercynienne, Corse alpine, bassins Tertiaires et les formations quaternaires. La formation des deux chaînes de montagnes importantes d'Europe du Sud-Ouest est présente en Corse.

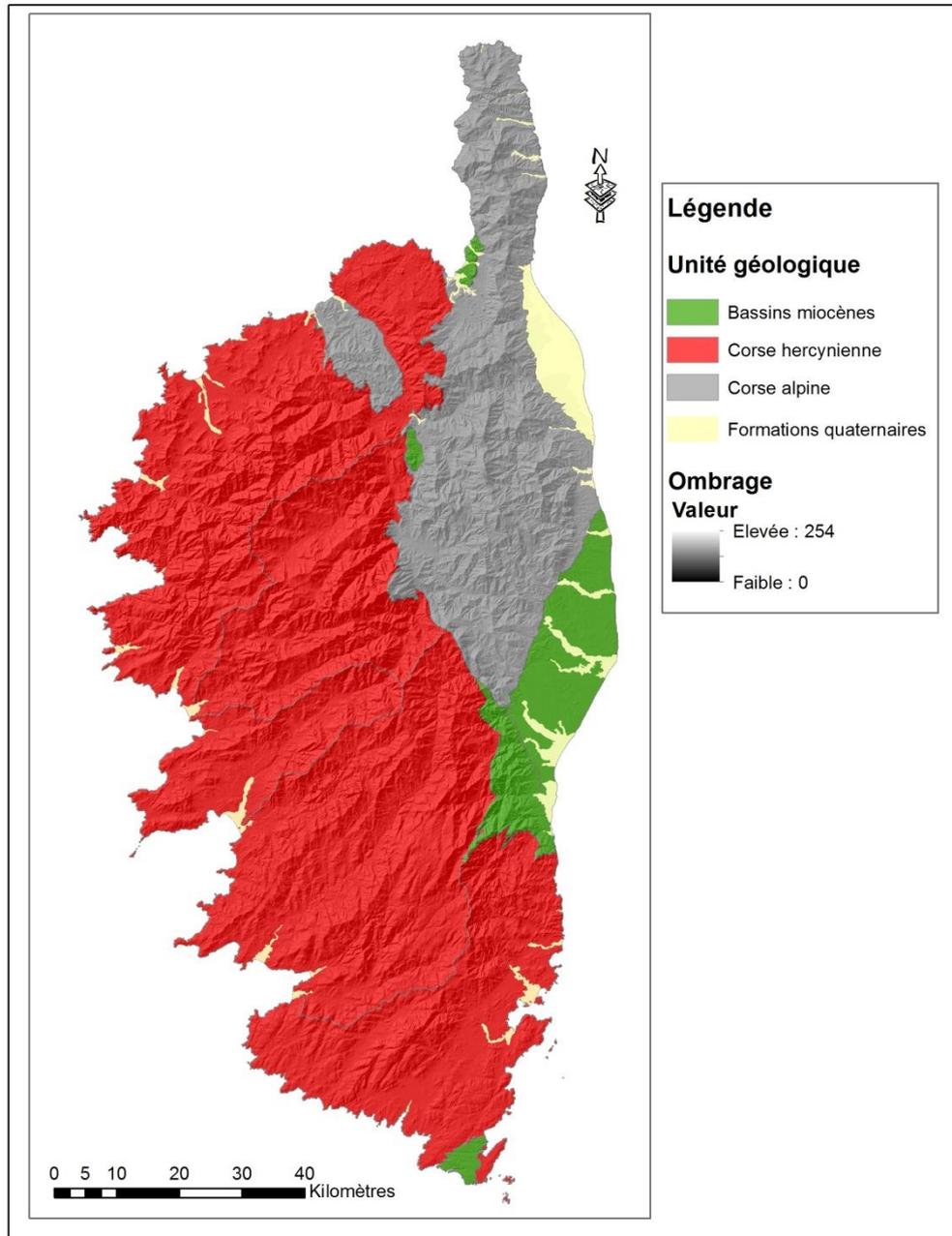


Illustration 8 : Géologie de la Corse

3.3.1. Corse hercynienne

La chaîne hercynienne, datant de l'ère primaire, est l'unité géologique la plus ancienne de l'île. Localisé dans le sud-ouest de l'île, le socle cristallin de la Corse hercynienne est composé de deux types de complexes ; intrusif et volcano-sédimentaire. Le complexe à caractère intrusif comprend des roches plutoniques telles que granites, diorites, gabbros et autres (Caritg, S. et *al.*, 2009). Les versants localisés à l'est présentent de longues pentes, tandis que ceux du sud-ouest sont caractérisés par des pentes abruptes. Les crêtes perpendiculaires isolent quelques vallées.

3.3.2. Corse alpine

L'altitude moyenne de la Corse alpine est supérieure à 400 mètres pour plus de la moitié du territoire couvert par les formations alpines. Les versants engendrent des vallées incisées perpendiculaires au littoral (Caritg, S. et *al.*, 2009). Localisés dans la Haute-Corse, les reliefs de la Corse alpine sont hérités du Tertiaire. Cette unité est composée de roches métamorphiques principalement issues d'une part d'un complexe ophiolitique constitué de metabasaltes, métagabbros et d'un ensemble ultrabasique de serpentinites. Elle comprend également des métasédiments tels que des schistes, calcschistes et cipolins.

3.3.3. Bassins miocènes

Les bassins miocènes sont disparates sur l'île. Cette unité comprend trois importants bassins calcaro-gréseux, celui de Saint-Florent, celui de Bonifacio et de la Plaine-Orientale. Les accumulations conglomératiques et dépôts marno-sableux marins ainsi que quelques unités ponctuelles sont également inclus dans les bassins miocènes (Caritg, S. et *al.*, 2009). Ces derniers sont affectés par les entailles des cours d'eau.

3.3.4. Formations quaternaires

La Corse présente des sédiments quaternaires principalement représentés par des alluvions fluviales, éboulis, dépôts glaciaires, dépôts fluvioglaciaires et autres. Les alluvions fluviales et colluvions des formations quaternaires se localisent principalement aux embouchures des fleuves et des grandes rivières (Caritg, S. et *al.*, 2009). Les affleurements d'éboulis sont localisés en régions montagneuses, caractérisées par de fortes pentes. Ils se concentrent en Haute-Corse et sur les hauts reliefs du Parc régional de Corse. Les dépôts glaciaires se retrouvent principalement dans les massifs du Monte Rotondo, du Monte d'Oro et du Monte Renoso. Les autres dépôts quaternaires désignent les formations anthropiques, tourbières, dunes, formations marines et éoliennes littorales et autres.

4. Contexte hydrogéologique

4.1. PRÉSENTATION DE LA BASE DE DONNÉES LISA

La Base de Données sur les Limites des Systèmes Aquifères (BD Lisa) constitue le référentiel hydrogéologique français actuel. Ce dernier correspond à une division du territoire français en entités hydrogéologiques. Ce découpage suit des règles mises en place dans le cadre d'une méthodologie nationale. Il comprend trois niveaux de découpage principaux complétés par un niveau de découpage complémentaire. Ces niveaux de découpage correspondent à des échelles d'utilisation et de représentation de l'information.

Dans le cadre du projet, l'utilisation de ce référentiel permettra d'assurer une interpolation représentative par entités hydrogéologiques des données colligées. Les entités de niveau régional (NV2), local (NV3) et les entités complémentaires ont été utilisées.

Le niveau de découpage employé dépend des connaissances hydrogéologiques des différents secteurs. Pour le domaine de socle et les formations métamorphiques alpines, le niveau utilisé correspond au niveau régional (NV2). Pour les formations sédimentaires, le niveau de découpage local (NV3) a été utilisé, excepté pour le bassin des flyschs éocènes de Solenzara pour lequel seul le niveau 2 existe.

Les entités complémentaires désignent les entités ne pouvant être intégrées au référentiel dû à un manque d'homogénéité. Celles-ci représentent des cas particuliers. En Corse, les formations alluvionnaires récentes sont des entités complémentaires. Les nappes alluviales productives ont été considérées dans le cadre du projet.

4.2. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES « PRINCIPALES » (NIVEAU 2 ET 3)

Les informations présentées ci-dessous sont tirées de « Actualisation de la synthèse hydrogéologique de la région Corse », étude réalisée par le BRGM en 2011.

4.2.1. Socle granitique de la Corse

Le Socle granitique de la Corse se rapporte au domaine géologique de la Corse hercynienne, correspondant à des formations plutoniques et métamorphiques. Le substratum est peu perméable, à l'exception des lieux affectés par des fractures d'origine tectonique ou par des processus d'altération. Les fractures sont généralement subverticales. Quant aux processus d'altération, ils affectent seulement la tranche superficielle, soient les 100 premiers mètres.

La présence d'aquifères est généralement associée à la présence d'un horizon altéré (arène granitique et horizon fissuré) et de discontinuités structurales. L'horizon altéré assure la fonction capacitive, tandis que l'horizon fracturé assure la fonction transmissive de l'aquifère. Les aquifères retrouvés en socle granitique sont généralement de faible extension et sont cloisonnés. Le potentiel aquifère est relativement faible. Généralement, les débits d'exploitation des forages n'excèdent pas une dizaine de m³/h. Dans le domaine granitique de la Corse, l'alimentation en eau potable se fait principalement à partir de sources pérennes présentant des débits faibles. Celles-ci sont souvent à l'origine de l'implantation des villages.

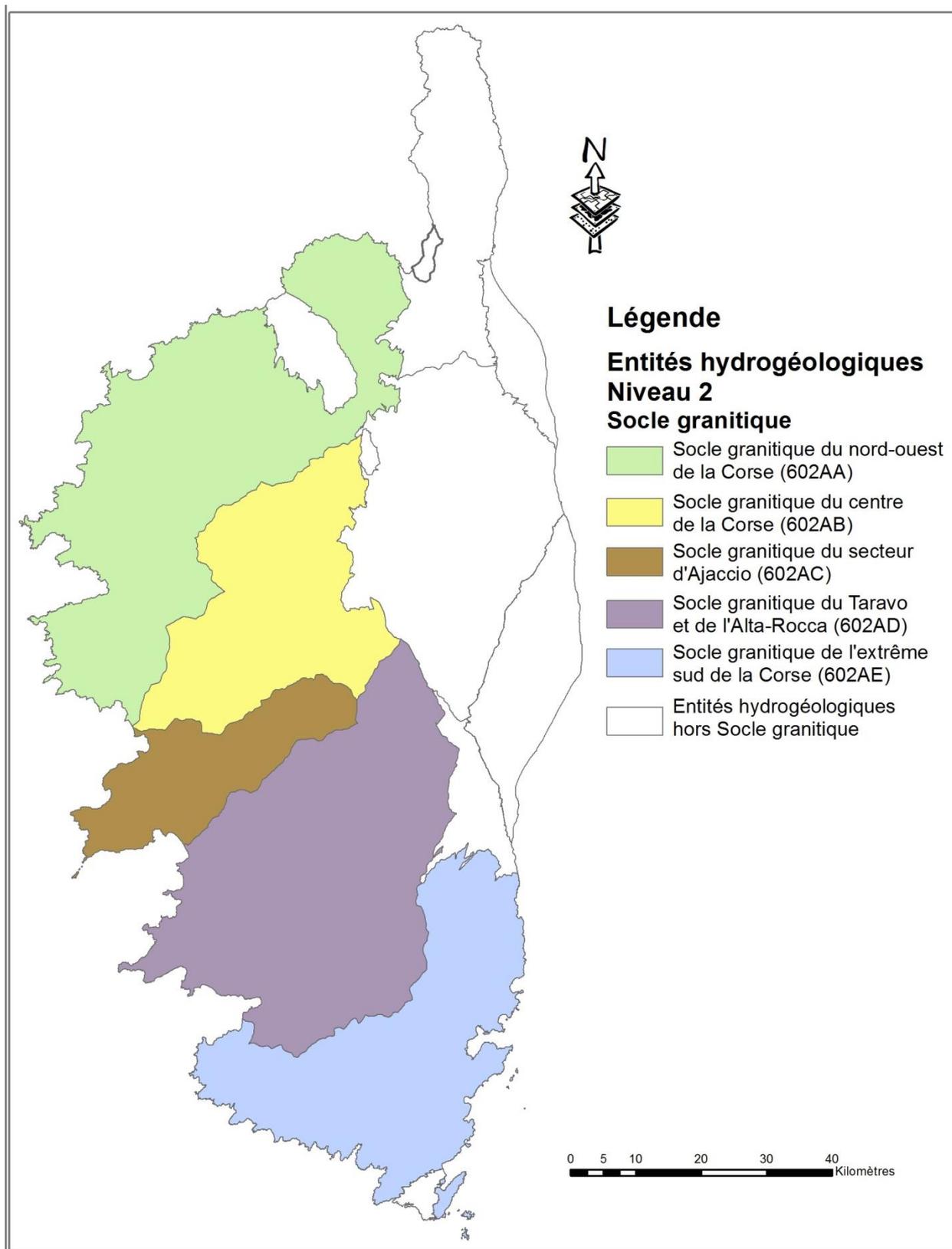


Illustration 9 : Domaines hydrogéologiques du Socle granitique

Cet ensemble hydrogéologique a été divisé en cinq domaines hydrogéologiques dans le référentiel BD LISA. La division est basée sur le potentiel aquifère. Les domaines sont présentés à l'illustration 9.

4.2.2. Formations métamorphiques alpines de la Corse

Les formations métamorphiques alpines de la Corse font référence au domaine géologique de la Corse alpine. Ces formations intensément plissées et faillées appartiennent aux massifs montagneux alpins. La mise en place de ces formations met en évidence une structure complexe caractérisée par de nombreuses discontinuités, associées aux nappes de charriage. Ce contexte limite donc le développement d'aquifères d'extension importante. Effectivement, les eaux souterraines circulent principalement via les fractures et les discontinuités liées aux accidents géologiques. Les eaux souterraines des formations métamorphiques alpines sont généralement de type carbonatées calciques.

De même que pour le Socle granitique, l'alimentation en eau potable est principalement réalisée à partir des sources. Le débit de ces dernières est variable. Les massifs de Cipolin, présentant généralement des phénomènes de karstification, favorisent l'écoulement des eaux souterraines, permettant ainsi des débits plus importants. Néanmoins, les sources présentent généralement de faibles débits.

Les formations métamorphiques alpines ont été découpées en trois domaines dans le référentiel BD LISA. Ces derniers sont présentés à l'illustration 10.

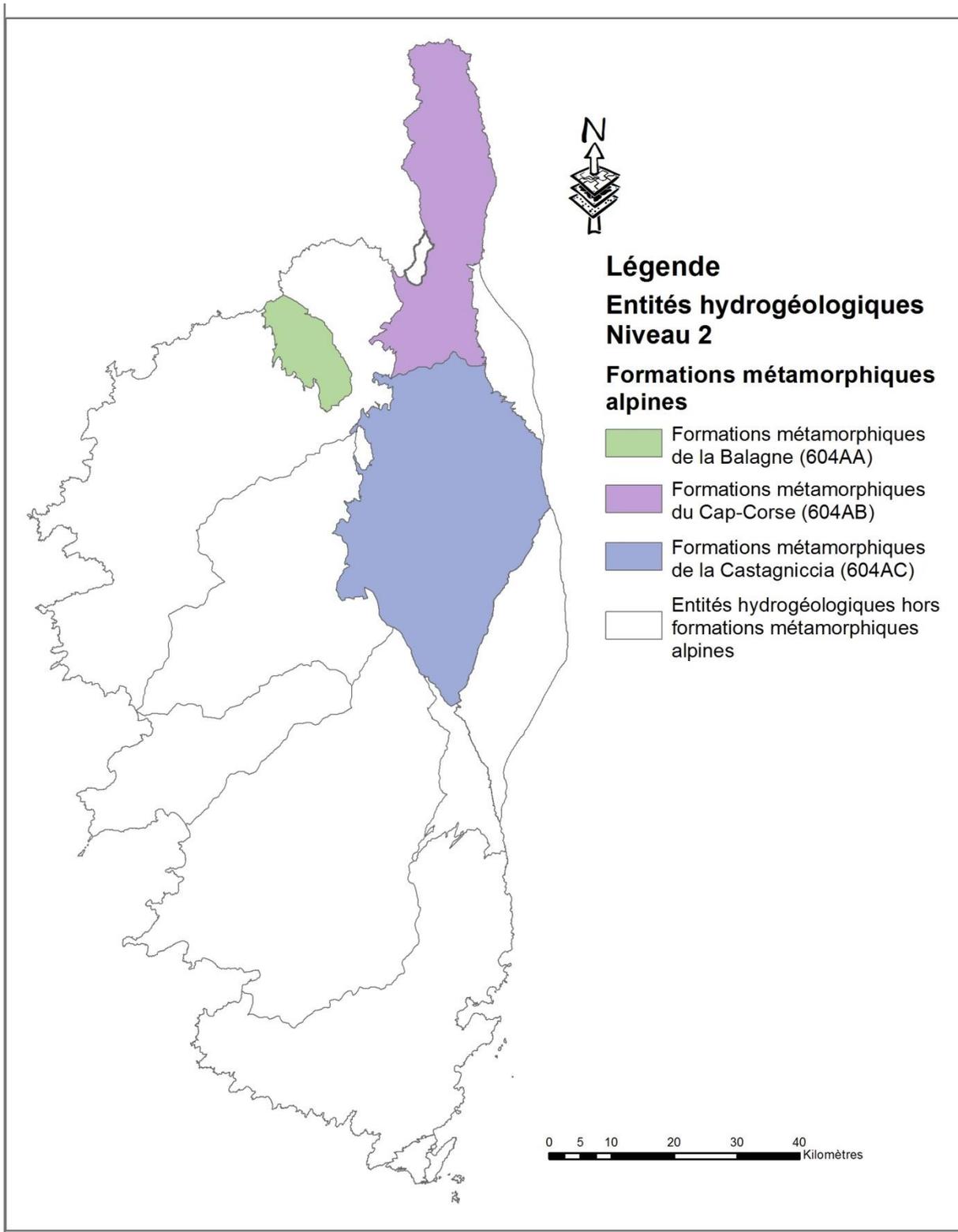


Illustration 10 : Domaines hydrogéologiques des Formations métamorphiques alpines de la Corse

4.2.3. Formations sédimentaires tertiaires de Corse

L'hydrogéologie de ces formations est encore mal connue. Généralement, les tests hydrauliques réalisés montrent de faibles ressources en eau ainsi que de faibles quantités d'eau emmagasinée dans l'aquifère. La productivité des ouvrages est comparable à celle des aquifères du Socle granitique, soit des débits d'exploitation d'environ 50 m³/h. Ces formations comptent les domaines hydrogéologiques des flyschs péliito-gréseux éocènes de Solenzara et les quatre bassins sédimentaires miocènes et pliocènes. Les domaines sont présentés à l'illustration 11.

La ressource des flyschs péliito-gréseux éocènes de Solenzara est employée à des fins d'alimentation en eau potable. Le milieu très fracturé permet la mise en place de petits aquifères dans lesquels la profondeur de l'eau est généralement supérieure à 10 mètres. Les eaux sont de type bicarbonaté calcomagnésien avec des teneurs en fer qui peuvent être relativement importantes.

Les formations sédimentaires miocènes et pliocènes de Corse ont été peu étudiées. Elles sont réparties sur la région en différents bassins : bassin de Bonifacio, bassin de Saint-Florent, bassin de Francardo-Ponte Leccia et la Plaine-Orientale. Les études hydrogéologiques de ce domaine se concentrent sur le bassin de Bonifacio, qui présente deux aquifères superposés.

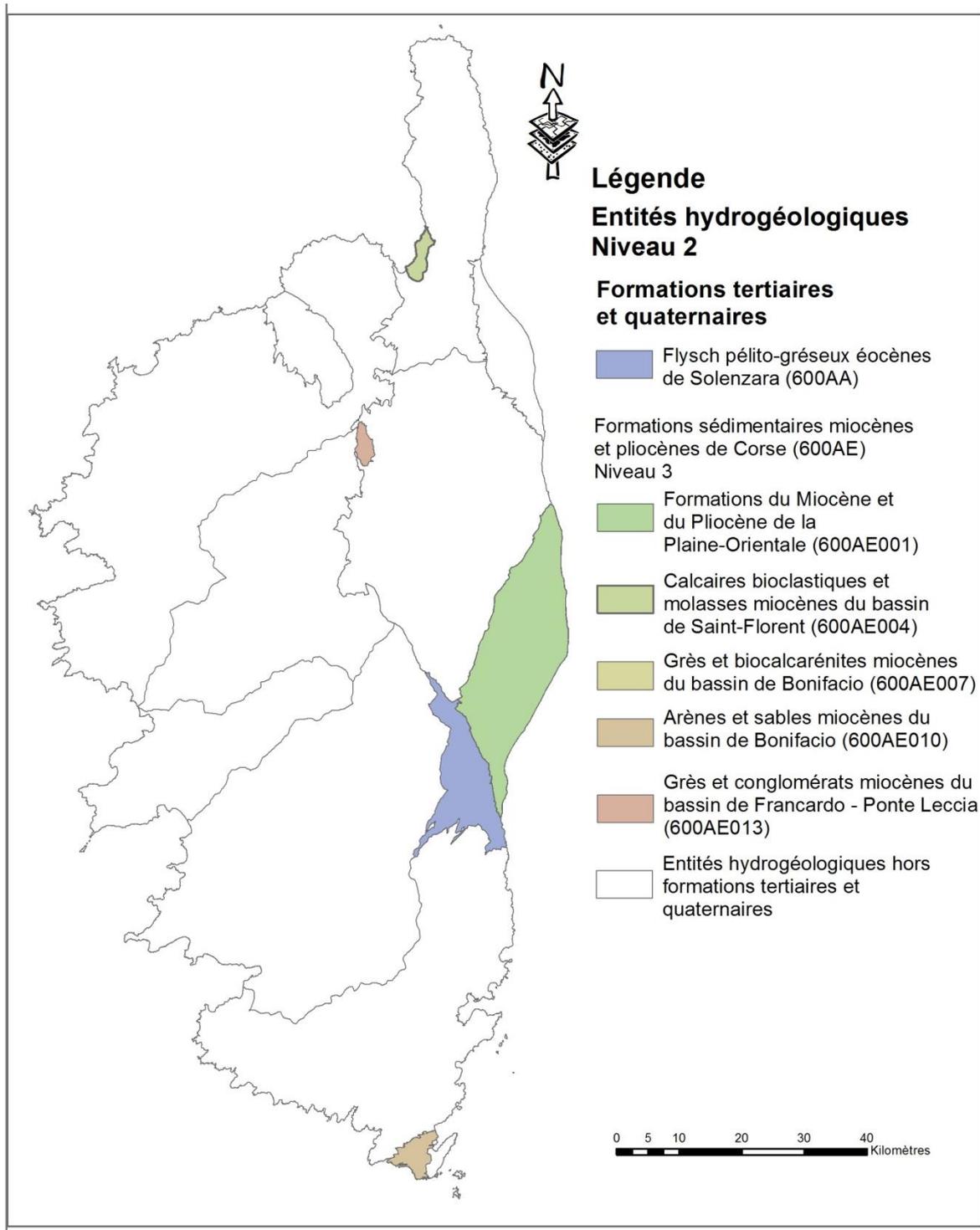


Illustration 11 : Domaines hydrogéologiques des Formations tertiaires et quaternaires de Corse

4.3. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES « COMPLÉMENTAIRES » (NIVEAU 0)

Les entités hydrogéologiques complémentaires font référence aux formations alluvionnaires récentes. Ces dernières désignent tout « dépôt de plaine alluviale associé aux terrasses

connectées hydrauliquement avec les cours d'eau ». En Corse, on en dénombre près de 40. Elles sont présentées à l'*Illustration 12*.

Les formations alluvionnaires récentes sont des aquifères à nappes libres de faible extension. L'épaisseur des alluvions est très variable entre les plaines alluviales. L'épaisseur maximale de plusieurs dizaines de mètres se retrouve à la plaine de la Marana-Casinca. Les alluvions ne forment qu'une seule couche et présentent donc une structure simple. Les eaux sont généralement de type bicarbonaté calcique, toutefois d'autres types ont également été identifiés pour quelques entités.

Les formations alluvionnaires récentes sont très exploitées pour l'alimentation en eau potable. Néanmoins, ces formations sont très vulnérables à la sécheresse puisqu'elles sont dépendantes des apports des cours d'eau. Elles sont également sensibles aux intrusions salines car ces plaines se développent en bordure littorale.

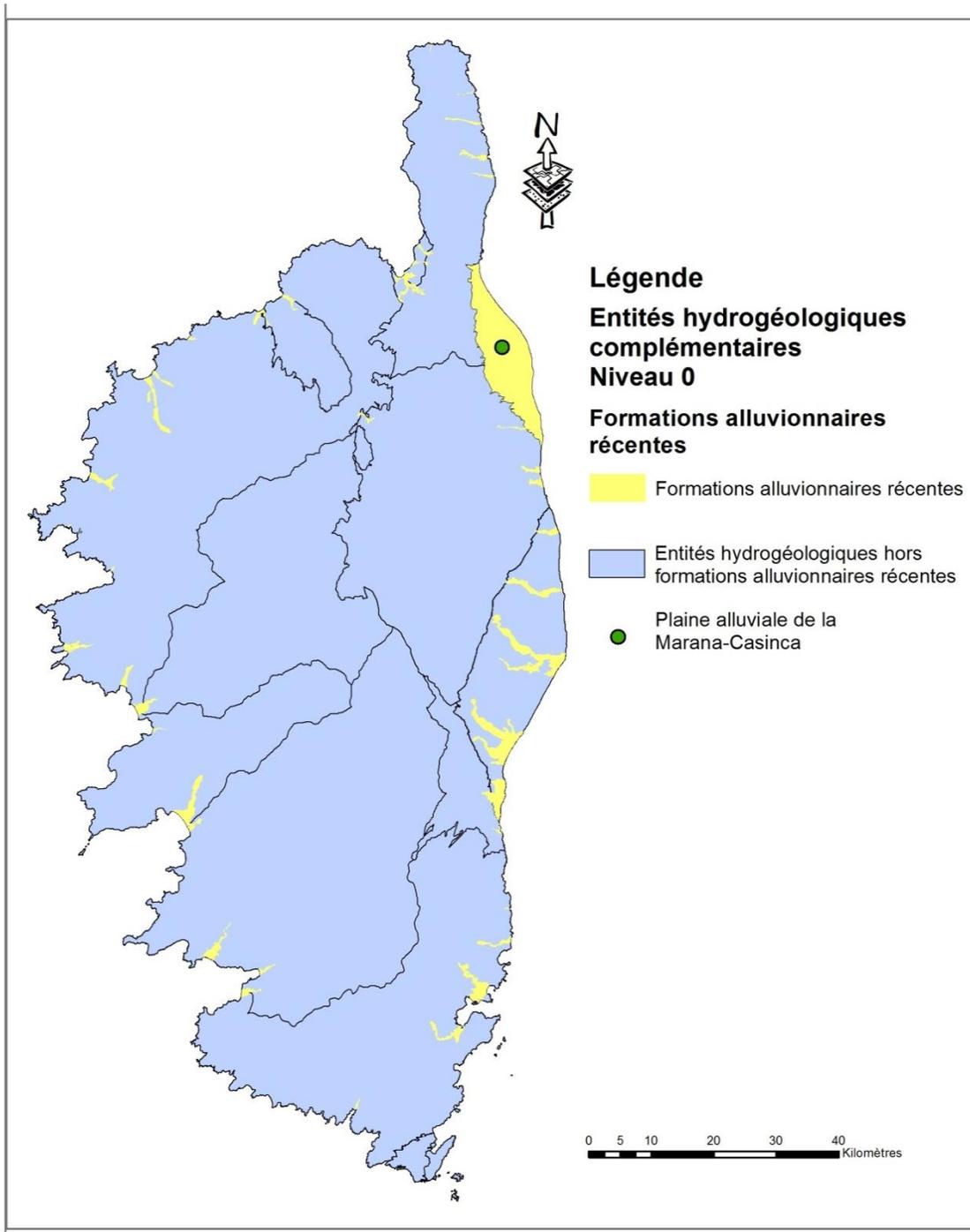


Illustration 12 : Formations alluvionnaires récentes

4.4. CAS PARTICULIER DE LA PLAINE ALLUVIALE DE LA MARANA-CASINCA

Cette plaine alluviale est la plus importante de Corse. Elle se compose de dépôts alluvionnaires récents (Fy2 et Fy3), constituant les niveaux productifs exploités, ainsi que des dépôts anciens

non exploités. La plaine présente des perméabilités favorables à l'exploitation des eaux souterraines. Ce domaine est aussi grandement sensible aux intrusions salines.

Par cohérence avec le découpage, l'entité hydrogéologique de la plaine sera considérée dans son ensemble, incluant donc les dépôts anciens peu productifs en comparaison des dépôts récents.

Ceci clôt la mise en contexte de la géothermie et de la Corse. Les prochaines sections se concentrent sur le projet de détermination de la ressource géothermale sur nappe à très basse énergie : méthodologie, résultats ainsi que critiques et limites de la méthode.

5. Méthodologie de la caractérisation de la ressource géothermale des aquifères superficiels

5.1. RÉALISATION DE LA BASE DE DONNÉES

La caractérisation d'une ressource géothermale passe par la détermination de certains critères du sous-sol au droit du territoire concerné. Afin de parvenir à cet objectif, le choix a été fait de procéder via une grille de taille adaptée couvrant l'ensemble de l'île, au niveau de laquelle une valeur par critère sera attribuée à chaque maille. De ce fait, l'établissement d'une base de données a été la première étape du travail.

L'objectif de la réalisation de cette base de données est la spatialisation et l'interpolation des différentes valeurs colligées. L'interpolation se fera par l'intermédiaire d'une grille de maillage 250x250 m, assurant une bonne représentativité des aquifères alluvionnaires récents qui sont des zones qui concentrent les besoins en énergie. Une valeur par critère (débit d'exploitation, température de l'eau et profondeur de la nappe) sera attribuée par maille afin de déterminer la ressource géothermique pour chaque aquifère.

5.1.1. Collecte des données

Le recueil des données a débuté par la création de la structure de la base de données dans l'outil Excel®. Cette structure comprend trois éléments principaux, désignant les critères de détermination de la ressource géothermique. Ces critères sont :

1. débit d'exploitation;
2. température de l'eau ;
3. profondeur de la nappe.

Dans ce contexte, la profondeur de l'eau présente principalement une contrainte financière à la mise en place de la géothermie. Plus le niveau de la nappe est profond et plus le forage destiné à la capter devra être profond et donc coûteux. Le débit d'exploitation est l'élément le plus important, car l'eau est pompée pour en tirer ensemble la chaleur. Plus le débit est important, plus la quantité d'eau pouvant être pompée est grande et plus la quantité d'énergie produite est importante. Il en est de même avec la température de l'eau. Plus la température est haute/basse, plus la quantité d'énergie disponible pour le chauffage ou le rafraîchissement/la climatisation est importante.

D'autres éléments importants à considérer ont été intégrés dans la structure de la base de données. Ces éléments se réfèrent principalement à la localisation de l'ouvrage et informations sur l'ouvrage. La base de données renseigne également sur la source des données colligées et leur qualité.

La base de données a été remplie avec toutes les informations hydrogéologiques disponibles. Tout d'abord, les ouvrages de la Banque du Sous-sol (BSS), localisés en Corse et affectés aux eaux souterraines ont été saisis. Ces ouvrages sont des captages AEP, forages, piézomètres, puits ou sondages. Un lien direct permet d'avoir accès aux analyses chimiques d'ADES (Portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) à partir de la BSS. Il est à spécifier que pour les valeurs de perméabilité et de transmissivité, seules les données issues d'essais de

pompage longue durée ont été colligées. Ces paramètres permettent d'apprécier les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère. L'intérêt de ne sélectionner que les pompages longue durée est de conserver ainsi seulement les données représentatives de l'aquifère.

Considérant que la BSS en ligne¹ présente certaines lacunes, les rapports papier ainsi que les rapports des hydrogéologues agréés ont été consultés. Les informations complémentaires recueillies concernaient principalement les interprétations des essais de pompage, soit le débit d'exploitation, la transmissivité et la perméabilité. Il est à spécifier que quelques clarifications sur les conditions de mesure de la température de l'eau (in situ ou laboratoire) ont également pu être ajoutées à la base de données. Pour qu'il y ait intégration d'informations complémentaires, l'ouvrage du rapport papier et celui de la BSS devaient présenter les mêmes profondeurs de l'ouvrage et de crépine ainsi que des niveaux d'eau de variation maximale d'un mètre.

À supposer que ces informations ne correspondent pas ou sont manquantes, les données disponibles n'ont pas été intégrées à la base de données finale.

Les données piézométriques issues du réseau de suivi de l'état quantitatif des eaux souterraines de la Corse, disponibles sur ADES, ont également été employées. Suite à une vérification des données par ouvrage, seule la moyenne des données représentatives de l'ouvrage a été conservée et intégrée à la base de données. Si l'ouvrage présentait déjà une valeur de profondeur de la nappe dans la BSS, cette dernière a été remplacée par la valeur moyenne calculée à partir des mesures de suivi ADES. Cette valeur intégrant une chronique pluri-annuelle, est de fait plus représentative.

5.1.2. Validation des données

Suite à la saisie des données de la BSS, la base de données a fait l'objet d'une vérification afin de s'assurer que les données intégrées soient correctes et complètes. Pour ce faire, trois règles ont été vérifiées sur l'ensemble des données afin de corriger les fautes de frappe et autres. Ces trois règles, créées sur Excel, sont les suivantes :

- Profondeur du niveau d'eau ne doit pas être supérieure à la profondeur totale de l'ouvrage;
- Profondeur du bas de la crépine ne doit pas être supérieure à la profondeur totale de l'ouvrage;
- Température de l'eau doit être inférieure à 30°C.

Tous les ouvrages ne répondant pas à ces règles ont été vérifiés dans la BSS. À supposer que les valeurs saisies étaient celles de la BSS, elles ont été jugées incohérentes et ont été effacées de la base de données. Lors de cette vérification, plusieurs ouvrages présentant les mêmes valeurs de profondeur totale de l'ouvrage et de profondeur de la nappe ont été mis en évidence. Pour tous ces ouvrages, la profondeur totale de l'ouvrage ainsi que la profondeur de la nappe ont été vérifiées dans la BSS afin de s'assurer que toutes les valeurs soient correctes. De cette vérification, trois valeurs ont été corrigées. Une vérification aléatoire des paramètres de la base de données a également été réalisée sur une quarantaine d'ouvrages choisis aléatoirement. Seulement deux ouvrages présentaient une erreur. Suite à toutes ces vérifications, les données de la BSS saisies dans la base de données ont été considérées comme correctes et la saisie des données de différentes sources s'est poursuivie.

¹ <http://infoterre.brgm.fr/>

5.1.3. Profondeur de la nappe

En ce qui concerne les données du réseau de suivi de l'état quantitatif des eaux souterraines, chaque ouvrage comprend des données journalières sur des périodes importantes. Une vérification des données a été réalisée pour s'assurer que le repère de mesure du niveau d'eau est resté le même pour toute la période de suivi. Pour faire cette vérification, deux graphiques ont été réalisés par ouvrage. Le premier met en évidence les variations temporelles de l'altitude de la nappe, tandis que le deuxième montre les variations temporelles de la profondeur de la nappe.

Lorsqu'aucun décalage n'a été perçu entre les deux graphiques, la distance sol – repère (connue pour tous les ouvrages du réseau) a été soustraite aux données de profondeur de la nappe. Cela a permis d'obtenir la profondeur de l'eau par rapport au sol. Une moyenne de l'ensemble des données de la chronique a ensuite été réalisée afin d'obtenir une seule valeur de profondeur de nappe pour chaque ouvrage.

Lorsqu'un décalage entre les deux graphiques a été observé, la distance sol - repère avant la date de changement de repère a été cherchée. Si la valeur a été trouvée, la distance a été soustraite à la profondeur de nappe selon la période d'utilisation du repère. La moyenne des données a ensuite été calculée et intégrée à la base de données. Si la distance sol - repère avant le décalage n'a pas été retrouvée, seule la partie de la chronique pour laquelle l'information était connue a été utilisée.

5.1.4. Données retenues

Les données retenues ont ensuite été traitées afin de déterminer une valeur pour chaque critère (débit d'exploitation, température de l'eau et profondeur de la nappe) par ouvrage. Dans le cas où un ouvrage présente plusieurs données fiables pour un même critère, la moyenne des données représente la donnée retenue. Ces moyennes représentent la donnée retenue pour la profondeur de la nappe. À supposer qu'une seule valeur soit disponible, celle-ci désigne la donnée retenue.

5.1.5. Tri des données retenues

Les données retenues pour chacun des trois paramètres ont ensuite été représentées sur carte. La visualisation des données par aquifère a permis de mettre en évidence des valeurs extrêmes pour chaque critère. Néanmoins, la disparité des données de chacun des critères en lien avec le contexte hydrogéologique rend l'identification des valeurs extrêmes difficiles. Les aquifères de socle et de l'intensément plissé peuvent présenter de fortes variations de débit d'exploitation à de faibles distances, en fonction de la fracturation et de l'altération des formations. La profondeur de la nappe des aquifères alluvionnaires varient grandement en fonction des régimes saisonniers des rivières. Pour simplifier l'identification des valeurs extrêmes, trois modèles ont été réalisés à partir de la base de données, soit pessimiste, optimiste et intermédiaire. Pour les trois modèles, toutes les données retenues pour chaque critère ont été comparées selon l'aquifère et l'emplacement géographique afin de déterminer si la valeur est extrême ou non.

Pour le modèle pessimiste, toutes les valeurs s'écartant des autres et augmentant la ressource géothermique ont été effacées. Ainsi, les faibles valeurs de profondeur d'eau ou les forts débits d'exploitation dont les valeurs s'éloignaient de la moyenne ont été éliminées. Le contraire a été réalisé pour le modèle optimiste. Les valeurs défavorisant la ressource géothermique ont donc été éliminées. Le modèle intermédiaire est le juste milieu entre les deux autres modèles. Pour le modèle intermédiaire, les valeurs considérées extrêmes doivent présenter un écart majeur avec

les autres données de l'aquifère. Ces valeurs doivent également être incohérentes avec celles présentées dans l'atlas hydrogéologique issu de l'étude « Actualisation de la synthèse hydrogéologique de la région Corse ». Dans le cas contraire, les données ont été conservées dans le modèle intermédiaire.

5.2. MODÈLES POUR DONNÉES DE PROFONDEUR DE LA NAPPE

Afin de parer au manque de données de profondeur de nappe pour le socle granitique et les formations métamorphiques, des modèles ont été réalisés afin d'estimer ces profondeurs par calcul. Ces derniers ont été mis en place à partir de la méthode présentée dans le rapport « Estimation de la réserve en eau souterraine participant au soutien d'étiage des rivières, dans le socle granitique de Corse » (Caballero et al., 2007). Cette méthode, créée par Wyns², consiste à définir la relation entre la profondeur du niveau de base des rivières (a) par rapport au sol et la différence de profondeur entre la surface piézométrique et le niveau de base des rivières (b). Les paramètres sont présentés à l'illustration 13. La relation a ensuite été appliquée par aquifère. À l'origine, cette méthode a été développée et testée sur les aquifères de socle, néanmoins dans le cadre de ce travail, elle a été testée pour les aquifères des formations métamorphiques.

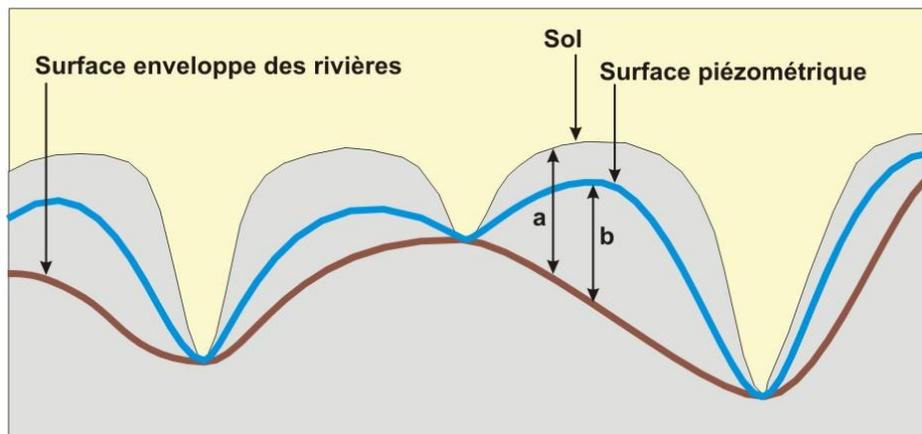


Illustration 13 : Principe de modélisation de la piézométrie (Wyns et al., 2004)

Tout d'abord, la grille du modèle de maillage 250*250 m a été créée par M. Pierre Durst, spécialiste en système d'information géographique (SIG). Toutes les informations nécessaires à la réalisation du modèle seront incluses dans cette grille. Ces informations sont l'altitude du sol, niveau de base, surface piézométrique ainsi que les paramètres calculés a et b. Les champs définissant les coordonnées géographiques ont été ajoutés. Les valeurs de ces champs sont calculées à l'aide de l'outil ArcGis : *Calcul de la géométrie*.

Pour déterminer l'altitude du sol, le modèle numérique de terrain (MNT) de maillage 50*50 m de l'Institut National de l'Information Géographique (IGN) a été rapporté en maillage de 250*250 m. Des points d'altitude zéro au niveau de la mer ont été ajoutés au réseau hydrologique afin d'obtenir une plus grande précision. Ceci a été réalisé à l'aide de l'outil *Combiner*. L'outil *agréger* a ensuite été employé pour obtenir une moyenne des valeurs du MNT (50*50 m) par cellule de 250*250 m. Le raster (grille uniforme) obtenu a été transformé en points par

² Wyns R., Baltassat J.-M., Lachassagne P., Legchenko A., Vairon J., Mathieu F. (2004). " Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France)". Bull. Soc. Geol. FR. 175 (1), pp 21 – 34.

l'intermédiaire de l'outil *Raster vers points*. Les valeurs d'altitude des points ont été jointes à la grille du modèle.

Le réseau hydrologique a été ajouté afin de déterminer le niveau de base des rivières. Les tracés des cours d'eau utilisés sont issus de la base de données Carthage de l'IGN. Les cours d'eau de niveau 5 et 6 n'ont pas été considérés puisqu'ils représentent généralement des cours d'eau saisonniers, asséchés en période estivale. Afin d'avoir suffisamment de données pour l'interpolation, les rivières ont été densifiées avec l'outil « *Geowizard-Polyligne-Densify* » et ajoutées au réseau hydrologique. Les cellules du MNT recoupant ce réseau ont été sélectionnées et un shapefile (fichier de formes) a été créé à partir des données sélectionnées. Le shapefile généré a ensuite été transformé en points via *ET Geo Wizards*. La surface du niveau de base des rivières a ensuite été créée à partir d'un krigeage de tous les points du réseau hydrologique. Le raster résultant du krigeage a été vérifié et transformé en points. Ces derniers sont joints à la grille du modèle. La surface du niveau de base des rivières a donc été déterminée pour chaque maille.

Pour déterminer la surface piézométrique, les données piézométriques de la base de données ont été triées par saison : été (juin, juillet, août et septembre) et hiver (autres mois). Les données piézométriques par saison ont été transformées en shapefile dans *ArcCatalogue* via la commande *Créer une classe d'entités*. La grille du modèle a été jointe aux shapefiles des données piézométriques estivales et hivernales. Les tables d'attributs des shapefiles ont été exportées en fichier *.dbf* importable dans excel. Les paramètres *a* et *b* ont ensuite été calculés :

$a = \text{altitude du sol} - \text{niveau de base des rivières};$

$b = \text{surface piézométrique} - \text{niveau de base des rivières}.$

L'équation de la droite de régression linéaire et le coefficient de corrélation ont été calculés à partir de la représentation graphique de *b* en fonction de *a*. Un exemple est montré ci-après. L'équation permet de calculer la piézométrie pour toutes les mailles de l'entité hydrogéologique considérée à partir de l'altitude du sol et de la surface du niveau de base des rivières. Pour l'illustration 14, l'équation est la suivante :

$\text{Piézométrie} = 0,9496 * (\text{altitude du sol} - \text{niveau de base des rivières}) + \text{niveau de base des rivières} - 4,2363$

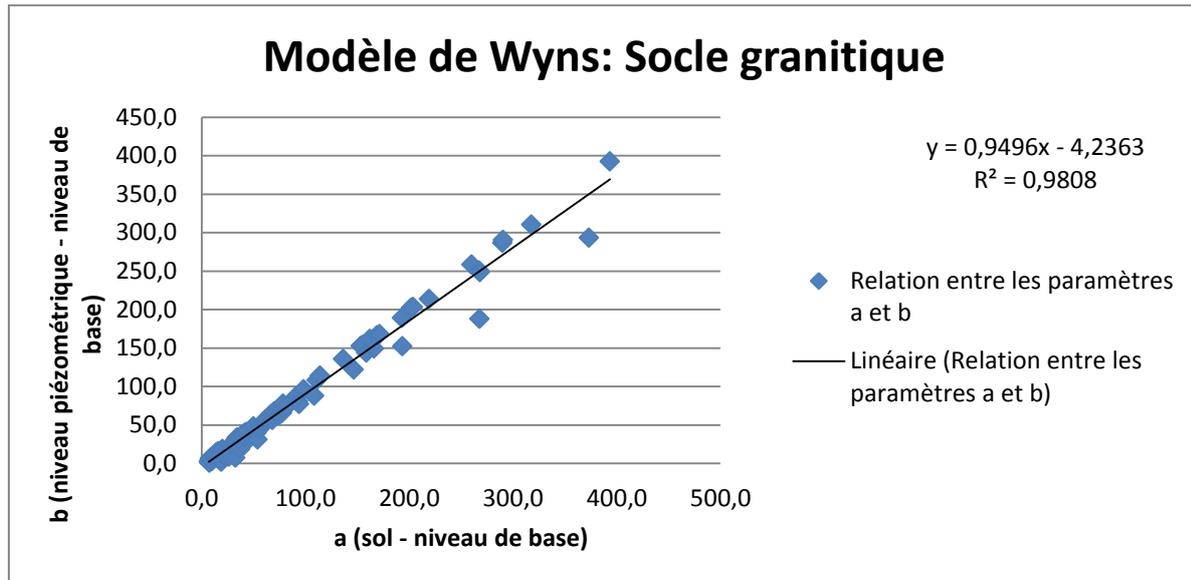


Illustration 14 : Droite de régression linéaire pour le socle granitique de la Corse

L'équation de la droite linéaire de chaque saison a ensuite été appliquée aux données de la grille du modèle. Pour ce faire, deux champs ont été ajoutés dans la table d'attributs et les formules ont été transcrites dans *Calculateur de champs*. Les données résultantes des équations représentent des altitudes. L'altitude du sol a été soustraite à celles-ci pour obtenir des valeurs de profondeur de la nappe.

Dans l'intention de valider les modèles obtenus, les données piézométriques calculées par le modèle ont été comparées aux données de la BD (données mesurées). Toutes les données ont été jointes dans un même shapefile. Les écarts entre les données mesurées sur le terrain et les données calculées d'une même maille sont calculés à l'aide de *Calculateur de champs*. Des statistiques des écarts ont également été réalisées afin de caractériser la fiabilité des modèles. L'erreur-type n'a pas pu être employée pour faire les écarts entre les profondeurs mesurées et celles calculées, car elle est affectée par la variabilité interannuelle et saisonnière.

5.3. CLASSIFICATION

La classification consiste à définir des valeurs seuils, déterminant les classes de ressource géothermale. Ces dernières sont différentes pour chaque critère (productivité de la nappe, température de l'eau souterraine et profondeur de la nappe). Le choix de chaque classe provient des atlas géothermiques réalisés antérieurement. Il est explicité à l'illustration 16. Ce dernier présente également la classification et l'indexation des classes qui désigne la représentation quantitative de la ressource géothermale. Suite à la spatialisation, l'indexation de ces classes servira à réaliser l'analyse multicritères.

Critère de potentialité géothermique	Classification	Indexation des classes	Ressource géothermale	Commentaires
Productivité de la nappe Débit exploitation (m ³ /h)	Q < 5	1	défavorable	Productivité trop faible pour assurer le bon fonctionnement
	5 ≤ Q < 10	2	peu favorable	Débit permettant d'assurer le chauffage/rafraîchissement de logements individuels
	10 ≤ Q < 50	3	favorable	Débit permettant d'assurer le chauffage/rafraîchissement de bâtiments de 1 000 à 5 000 m ²
	Q ≥ 50	4	très favorable	Débit permettant d'assurer le chauffage/rafraîchissement de bâtiments de superficie supérieure à 5 000 m ²
	N/A	9999	inconnue	Aucune information sur la productivité de la nappe
Température de la ressource (°C) en saison hivernale	T < 10	2	peu favorable	PAC en mode chauffage nécessite une température plus haute
	10 ≤ T < 15	3	favorable	Bon fonctionnement de la PAC à ces températures
	T ≥ 15	4	très favorable	Plus d'énergie disponible pour le chauffage
	N/A	9999	inconnue	Aucune information sur la température de la ressource
Température de la ressource (°C) en saison estivale	T < 12	4	très favorable	Rafraîchissement et climatisation possible avec des débits faibles à modérés
	12 ≤ T < 20	3	favorable	Rafraîchissement et climatisation possible, mais débit requis plus important
	T ≥ 20	1	défavorable	Rafraîchissement et climatisation limité à partir de 20°C
	N/A	9999	inconnue	Aucune information sur la température de la ressource
Profondeur de la nappe (m)	Prof < 5	1	défavorable	Risque de surcote piézométrique dû à l'injection de l'eau prélevé dans le même aquifère
	5 ≤ Prof < 15	4	très favorable	Forage de faible coût sans problématique de surcote piézométrique
	15 ≤ Prof < 30	3	favorable	Coût de forage moins avantageux
	30 ≤ Prof < 100	2	peu favorable	Seule une forte consommation peut compenser le coût du forage
	Prof ≥ 100	1	défavorable	Le coût du forage ne peut être balancé par la consommation énergétique.
	N/A	9999	inconnue	Aucune information sur la profondeur de la nappe

Illustration 15 : Classification des critères de ressource géothermale

5.4. SPATIALISATION

La spatialisation se fait à partir des données recueillies dans la BD. Ces dernières sont spatialisées à l'intérieur de leur aquifère respectif, présenté à la section *Hydrogéologie*. L'interpolation se fait par l'intermédiaire d'une grille de maillage 250x250 m. Pour chaque critère, une classe ainsi que l'indexation et la ressource géothermique associées seront attribuées à chacune des mailles de la grille. Pour ce faire, la table attributaire de la grille comprend un champ pour chacun de ces éléments.

La méthode d'interpolation choisie est fonction du nombre de données disponibles, de la dispersion des données dans l'aquifère ainsi que de la connaissance du milieu par les experts. Les quatre principales méthodes d'interpolation employées et leurs conditions d'application sont présentées à l'illustration 16. En cas de manque de données, la spatialisation est réalisée par classe de données, introduites à la section précédente.

Méthode d'interpolation	Conditions d'application
Krigeage	Données de différentes classes ; nombre de données suffisant
IDW (« Inverse Distance Weighted »)	Données de différentes classes ; nombre de données insuffisant pour le krigeage et données semblables sur le territoire
Moyenne des données	Nombre de données insuffisant pour la réalisation d'un krigeage ou IDW ; mauvaise répartition spatiale des données
Attribution de la classe à tout l'aquifère	Toutes les données de l'aquifère appartiennent à la même classe ; connaissance du milieu par les experts.

Illustration 16 : Méthodes d'interpolation

5.4.1. Débit d'exploitation

En ce qui concerne le débit d'exploitation, la spatialisation a directement été réalisée en classe. Chaque aquifère est donc représenté par une classe de débit d'exploitation. Cette méthodologie a été appliquée en raison du manque de données généralisé et à la bonne connaissance par les experts des débits de chaque aquifère.

Les classes de débit attribuées à chaque aquifère ont été déterminées à partir des données disponibles. Considérant que les données disponibles par aquifères appartenaient généralement à la même classe de débit, cette dernière fut attribuée à tout l'aquifère. Les classes assignées ont ensuite été vérifiées afin d'assurer la cohérence avec leur connaissance du contexte hydrogéologique. Pour les aquifères alluviaux ne présentant aucune donnée, la classe de débit « $10 \leq Q < 50$ » leur a été attribuée. En effet, cette classe est la plus représentative des aquifères alluvionnaires récents.

Pour attribuer une classe, une indexation et une potentialité géothermique à un aquifère, il faut sélectionner toutes les mailles de l'aquifère via *Sélection selon emplacement*. Les mailles de la grille sont alors sélectionnées selon la limite de l'aquifère. La table attributaire est ensuite ouverte afin de voir les enregistrements sélectionnés. À l'aide de *Calculateur de champs*, la

classe, l'indexation et la potentialité géothermique choisies peuvent être assignées aux mailles de l'aquifère.

5.4.2. Profondeur de la nappe

Pour la profondeur de la nappe, les modèles réalisés ont permis d'acquérir toutes les données nécessaires pour les aquifères du socle granitique et des formations métamorphiques. Ces modèles ont été discutés à la section *Acquisition de données de profondeur de la nappe*.

Les profondeurs de la nappe des aquifères sédimentaires ont été déterminées à partir de krigeage. La réalisation du krigeage se fait par aquifère via l'outil *Krigeage*, en précisant que la taille des cellules est de 250 x 250 m. Le raster résultant est transformé en points (*Raster vers points*). Afin de joindre les profondeurs obtenues par krigeage aux mailles correspondantes, chaque aquifère doit être représenté sous shapefile.

Différentes méthodes d'interpolation ont été employées pour les aquifères alluviaux. Celles-ci sont présentées à l'annexe 1.

Suite à l'interpolation des données par aquifère, les profondeurs de nappe résultantes ont été vérifiées et généralisées à l'échelle de l'aquifère. Pour ce faire, les données uniques engendrant des discontinuités de classe géothermique dans l'aquifère ont été éliminées. Lorsque l'interpolation d'un critère a été réalisée sur tous les aquifères, tous les shapefiles créés sont combinés à la grille de maillage 250 x 250 m via l'outil *Combiner*.

5.4.3. Température de la ressource

Les données de température disponibles ont été divisées en trois catégories : estivales, hivernales et sans date. Les données estivales comprennent celles dont les mesures ont été réalisées durant les mois de juin, juillet, août ou septembre. Les données hivernales désignent les mesures prises durant les autres mois. Cette division a pour objectif de déterminer une potentialité géothermique pour la climatisation/rafraîchissement en saison estivale ainsi que pour le chauffage en hiver. Les données de température sans date n'ont pas été retenues. Les méthodes d'interpolation appliquées pour les périodes estivale et hivernale sont présentées pour chaque aquifère à l'annexe 2.

5.5. ANALYSE MULTICRITÈRES

L'analyse multicritères consiste en l'application d'une formule empirique prédéfinie. Cette dernière représente la note globale de la susceptibilité de la ressource à pouvoir être employée à des fins géothermiques. L'équation employée est présentée ci-dessous :

$\text{NOTE GLOBALE} = 2 * \text{Indexation débit} + \text{Indexation de la profondeur de la nappe} + \text{Indexation de la température de la ressource}$
--

Le débit est multiplié par deux, car il est le critère le plus important. Effectivement, des températures moins propices au chauffage ou rafraîchissement/climatisation peuvent être employées avec un débit plus important. La température de l'eau est moins importante, car elle a moins d'influence sur la quantité d'énergie. Quant à la profondeur, elle représente principalement un paramètre économique.

Afin d'appliquer cette équation, tous les shapefiles de chaque critère doivent être combinés à l'aide de l'outil *Combiner*. Cela permet d'obtenir une seule grille comprenant toutes les valeurs de classes d'indexation et de potentialité géothermique. Un champ NOTE GLOBALE est ajouté à la table attributaire de la grille. La valeur de susceptibilité géothermique de la ressource est calculée en programmant l'équation dans le champ à l'aide de *Calculateur de champs*. La note globale de chaque maille peut ensuite être classée selon leur ressource géothermique finale dans un nouveau champ de la table d'attribut. Les classes de la ressource finale sont présentées à l'illustration 17. Ces classes proviennent des atlas géothermiques réalisées précédemment dans d'autres régions françaises.

Note Globale	Ressource géothermale finale
Note Globale ≤ 5	Défavorable
$5 < \text{Note Globale} \leq 9$	Peu favorable
$9 < \text{Note Globale} \leq 14$	Favorable
$14 < \text{Note Globale}$	Très favorable

Illustration 17 : Classe de ressource géothermale finale

6. Résultats et discussion

6.1. BASE DE DONNÉES

Suite à la réalisation de la base de données, trois modèles ont été mis en place : pessimiste, optimiste et intermédiaire. Les statistiques ont été calculées pour comparer les trois modèles, tel que présenté aux Illustration 18, Illustration 19 et Illustration 20. Les statistiques ne montrent pas de différence significative entre les modèles. Les écarts les plus marqués concernent le débit d'exploitation. Ils sont justifiés par la présence de données extrêmes, notamment des débits maximaux de 249 m³/h de la plaine alluviale de la Marana-Casinca, seulement considérés dans le modèle optimiste.

	Pessimiste	Optimiste	Intermédiaire
Minimum	0	0	0
Maximum	106	96	106
Moyenne	6,6	5,9	6,3
Écart-type	10,5	9,1	10,1
Nombre	1199	1186	1 131

Illustration 18 : Statistiques des trois modèles pour la profondeur de la nappe

	Pessimiste	Optimiste	Intermédiaire
Minimum	6	6	6
Maximum	40,2	27,3	40,2
Moyenne	16,2	15,6	16
Écart-type	3,9	3,1	3,9
Nombre	365	342	354

Illustration 19 : Statistiques des trois modèles pour la température de l'eau

	Pessimiste	Optimiste	Intermédiaire
Minimum	0	0	0
Maximum	80	249	160
Moyenne	6	10,3	6,7

Écart-type	12	26,3	14,7
Nombre	248	264	237

Illustration 20 : Statistiques des trois modèles pour le débit d'exploitation

Le modèle intermédiaire a donc été conservé pour le reste du projet. Il représente l'intermédiaire entre les trois modèles. Au total, 1 717 données sont disponibles pour les trois critères. Plus de 65% des données sont associées à la profondeur de la nappe. Parmi les données de température de l'eau, 95 n'ont pu être employées lors du traitement des données en raison de l'absence d'information sur les dates de mesures. Les données utilisées sont présentées ci-après pour chaque critère.

En résumé

Les statistiques mettent en évidence une importante variabilité des données de profondeur de la nappe et ce, à travers une même entité hydrogéologique. Pour les aquifères du socle granitique et des formations métamorphiques alpines, cette variabilité s'explique par des niveaux de fracturation et d'altération différentiels. Pour les entités alluvionnaires, la variabilité est attribuée au changement du régime fluvial auquel l'entité hydrogéologique est liée.

La distribution spatiale des données a mis en évidence un manque de données généralisé pour le centre de la Corse. Ce secteur correspond aux chaînes de montagnes ; un secteur peu exploité. Les données disponibles sont principalement concentrées dans les aquifères alluvionnaires, qui représentent les zones les plus exploitées.

6.2. DÉBIT D'EXPLOITATION

Le débit d'exploitation représente le critère le plus important pour la détermination de la ressource géothermale disponible. Il varie grandement en fonction des entités hydrogéologiques tel que présenté à l'illustration 21. Pour les aquifères du socle granitique et des formations métamorphiques, le débit d'exploitation est généralement inférieur à 5 m³/h ou situé entre 5 et 10 m³/h, présentant une ressource géothermique défavorable ou peu favorable. Ces aquifères peuvent localement présenter des débits favorables à la géothermie tel que représentés à l'illustration 21. Néanmoins, ces débits sont généralement disparates et ne mettent en évidence que des effets ponctuels.

Les aquifères des alluvions récents présentent des débits plus élevés, très favorables ou favorables à la géothermie. Il faut toutefois considérer que certains de ces aquifères sont déjà exploités pour l'alimentation en eau potable. Les débits disponibles peuvent conséquemment être moindres que ceux présentés dans ce rapport.

Les résultats de la spatialisation des débits sont présentés à l'illustration 22. Cette dernière montre qu'environ 90% de la Corse présente des débits défavorables à la géothermie. Des autres 10%, seulement 4,4% sont favorables. Les zones favorables désignent les formations alluvionnaires. Les zones peu favorables (5,5%) correspondent aux formations sédimentaires. Les secteurs défavorables sont les formations métamorphiques et le socle granitique.

Ces résultats sont cohérents. Les formations métamorphiques et le socle granitique présentent des perméabilités peu importantes. Effectivement, la fonction transmissive de ces aquifères est principalement assurée par l'horizon fracturé. Les aquifères associés aux formations sédimentaires présentent aussi de faibles débits. Néanmoins, ces aquifères sont mal

documentés. Les formations alluvionnaires sont donc les seules qui possèdent une ressource géothermale intéressante en fonction du débit d'exploitation. L'eau de ces aquifères circulent à travers les vides des sédiments, générant des débits d'exploitation plus importants. La recharge de l'aquifère est également plus efficace dans les aquifères alluviaux que dans les autres, permettant le pompage de ces débits plus importants.

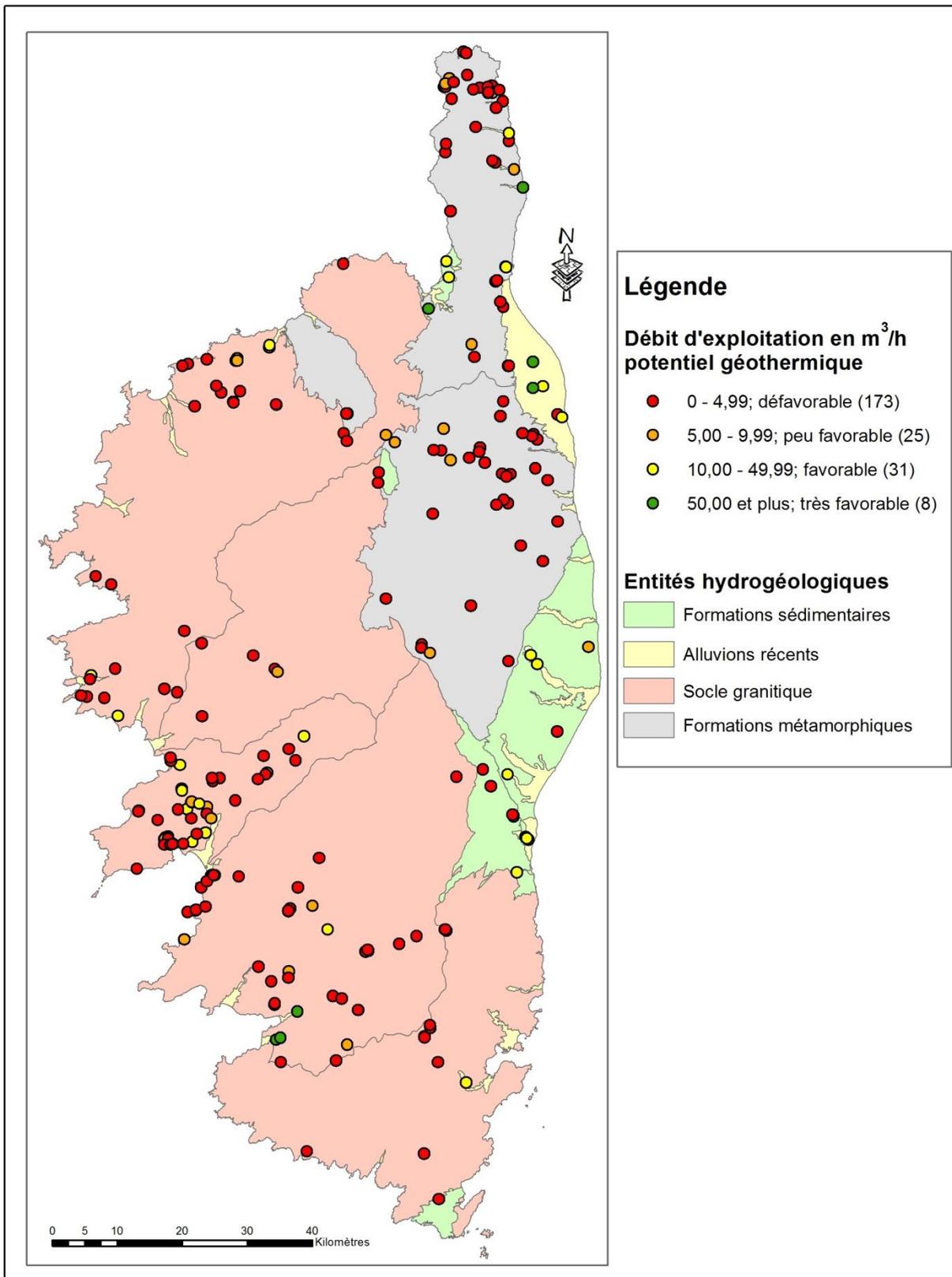


Illustration 21 : Carte des débits d'exploitation

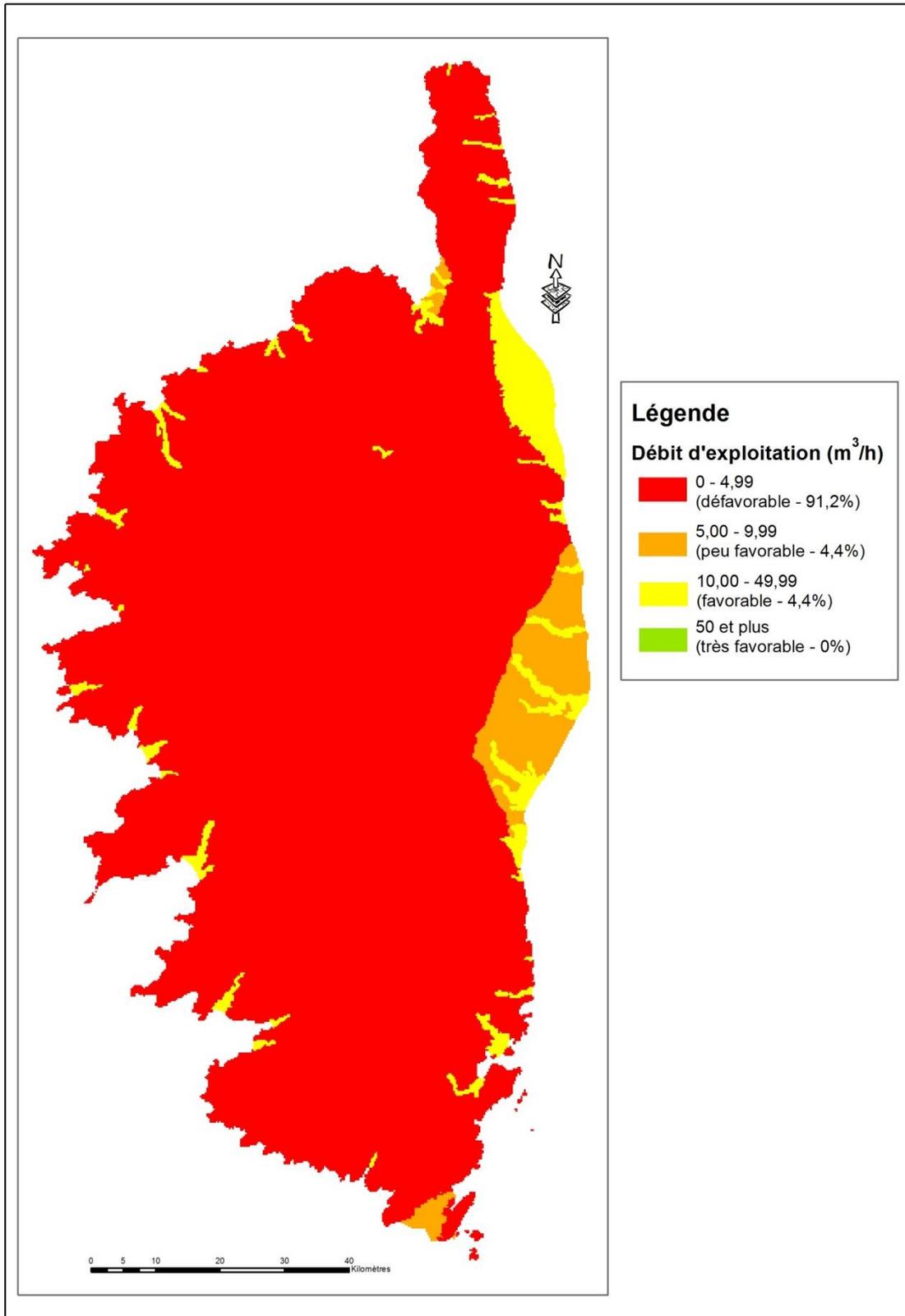


Illustration 22 : Spatialisation des débits d'exploitation (m³/h)

6.3. PROFONDEUR DE LA NAPPE

Les données de profondeur de la nappe ont été classées conformément à la date de mesure. Tel que spécifier à la section *Méthodologie*, deux catégories ont été créées : la période estivale (juin, juillet, août et septembre) ainsi que la période hivernale (tous les autres mois). Cette différenciation des périodes permettra de déterminer deux ressources géothermales : une première pour le chauffage et une deuxième pour le rafraîchissement/refroidissement.

6.3.1. Période estivale

L'illustration 23 montre la variabilité de la profondeur de la nappe en été. Environ 57% des données montrent une nappe de profondeur inférieure à cinq mètres. Ces données se retrouvent principalement dans les aquifères alluviaux, dû à la faible épaisseur des dépôts ne dépassant généralement pas une trentaine de mètres (excepté dans la plaine alluviale de la Marana-Casinca où les dépôts sont de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur). Le socle granitique présente également quelques profondeurs de nappe défavorables à la géothermie.

Certains aquifères alluviaux et du socle granitique présentent des profondeurs plus favorables à la géothermie. Ces aquifères désignent environ 24% des données. Les profondeurs de nappe légèrement plus importantes pour les aquifères alluviaux peuvent correspondre à la variation saisonnière de la nappe. Ces aquifères alimentés par les rivières, peuvent présenter d'importantes variations de profondeur de nappe lors d'événements pluvieux ou de sécheresses, dû à leur faible étendue.

L'illustration 23 met également en évidence un important manque de données dans la partie centrale de la Corse, dans les aquifères du socle granitique. Afin de contrer ce manque de données, des modèles de profondeur de nappe ont été réalisés; un pour les aquifères du socle granitique et un pour les formations métamorphiques. La relation entre l'altitude du sol – niveau de base estival et la surface piézométrique estivale et niveau de base estival a été représentée par une droite de régression linéaire. Les équations de droite linéaire résultante sont les suivantes :

Socle granitique : $y = 0,9496x - 4,2363$ $R^2 = 0,9808$

Formations métamorphiques : $y = 0,8869x + 0,591$ $R^2 = 0,9726$

Pour les deux formations, la pente de la droite de régression tend vers un, signifiant une très faible perméabilité du milieu. Effectivement, une pente d'une valeur de 1 montre que la surface piézométrique tend à se confondre avec la surface topographique. Cela correspond bien aux deux milieux où le substratum est imperméable à l'exception des lieux affectés par des fractures d'origine tectonique ou par des processus d'altération. L'ordonnée à l'origine représente l'encaissement moyen de la surface de l'eau des rivières en fonction de leurs berges. La valeur de 4 associée au socle granitique peut s'expliquer par les périodes d'étiage des eaux. Les formations métamorphiques montrent une valeur positive, difficile à interpréter.

Il est à spécifier que les profondeurs de nappe calculées ont été comparées aux profondeurs mesurées sur le terrain afin de valider les modèles. Les écarts entre les profondeurs de nappe sont présentés à l'illustration 24. Pour les formations métamorphiques, plus de 45 et 82% des données comparées montrent un écart absolu de profondeur de nappe inférieur à 5 et 15 mètres respectivement. Ces écarts sont donc relativement importants et mettent en évidence la nécessité d'améliorer les connaissances sur ces contextes hydrogéologiques. Cependant, en

l'absence de données suffisantes, le modèle est jugé convenable. En ce qui concerne le socle granitique, seulement 10,7% des données ont un écart de profondeur de nappe supérieur à 15 m. Les écarts inférieurs à cinq mètres désignent 61,1% des données. Les modèles sont donc jugés représentatifs de la réalité.

Les modèles ont été joints aux interpolations des profondeurs des formations sédimentaires et alluvionnaires afin d'obtenir une profondeur de nappe sur toute l'île. La spatialisation montre que plus de 72% du territoire présente une nappe de profondeur inférieure à 15 m tel que montré à l'illustration 25. Le caractère de la ressource géothermique relatif à la profondeur de la nappe se partage principalement entre défavorable et très favorable. Les secteurs très favorables se localisent majoritairement sur le littoral, soit dans les secteurs habités. Les zones défavorables sont au centre de l'île (profondeur supérieure à 30 m) et dans les formations alluvionnaires (profondeur de la nappe inférieure à 5 m). Quelques aires où la profondeur de la ressource est favorable sont également réparties à travers l'île.

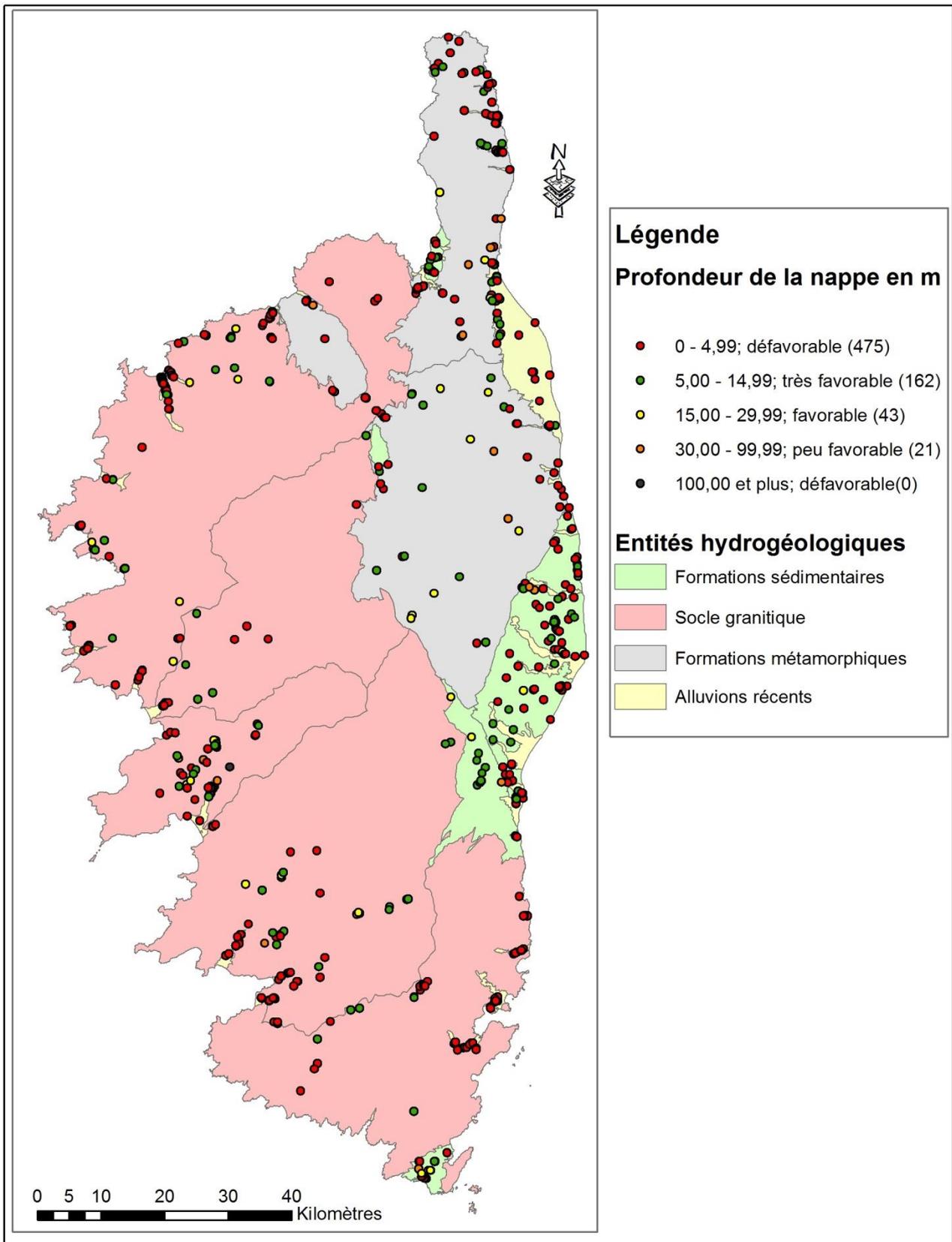


Illustration 23 : Carte des profondeurs de la nappe en période estivale

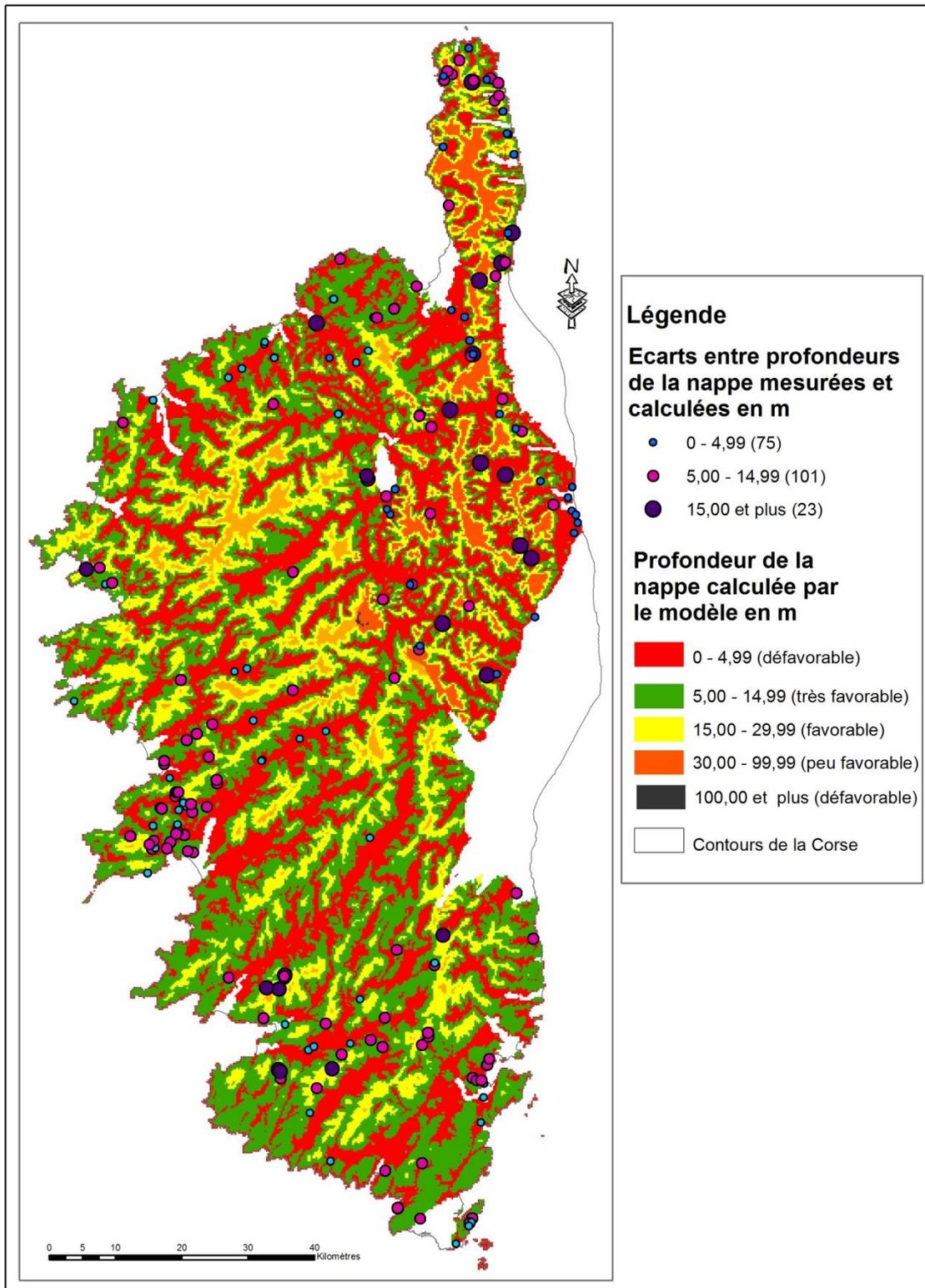


Illustration 24 : Modèle de profondeurs de la nappe en période estivale

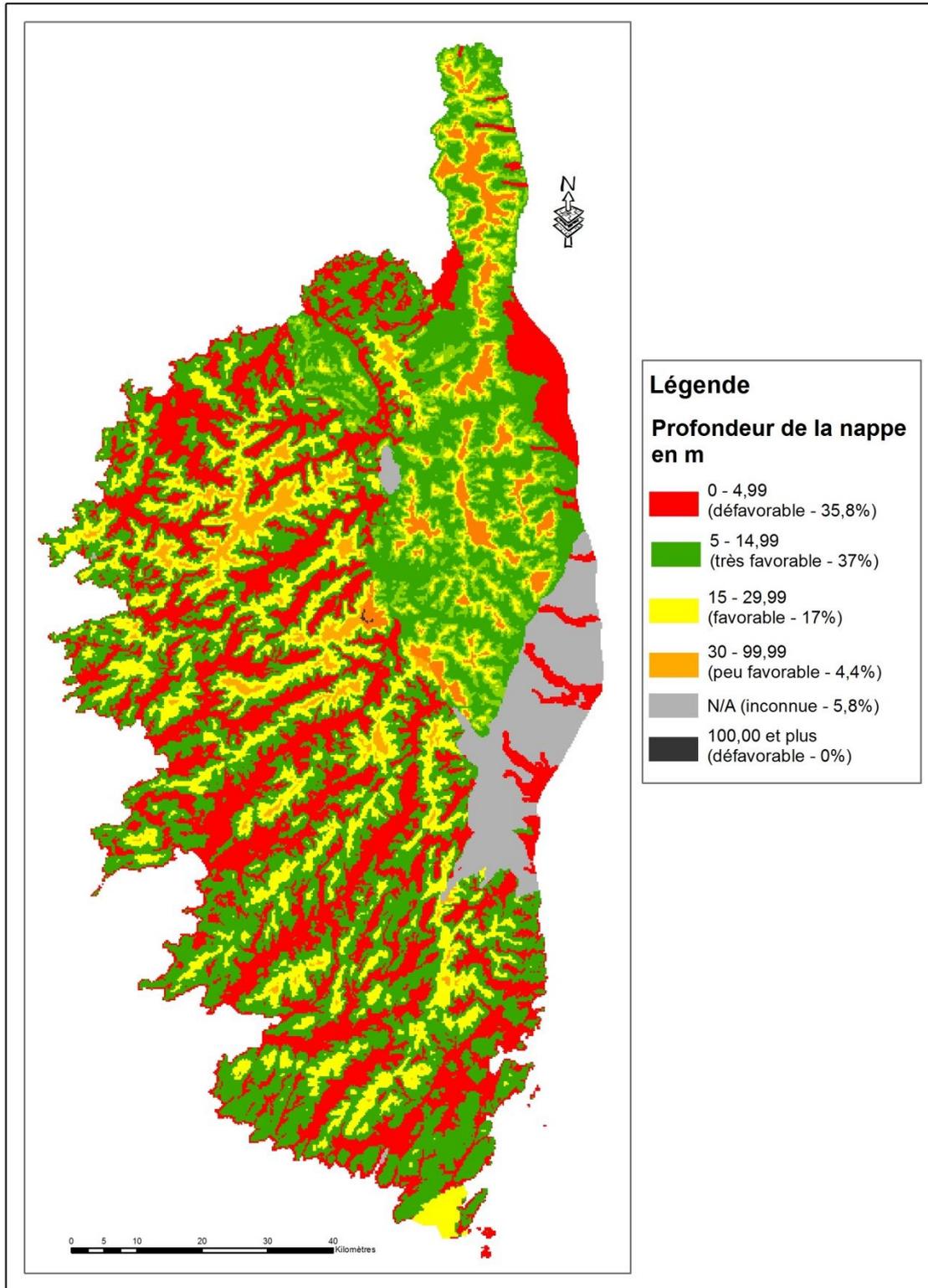


Illustration 25 : Profondeur de la nappe en période estivale

6.3.2. Période hivernale

L'illustration 26 montre que les mesures de profondeur de nappe sont majoritairement peu favorables ou défavorables à la géothermie sur nappe, désignant plus de 78% des données. Les profondeurs inférieures à cinq mètres se retrouvent principalement dans les aquifères alluviaux. Tandis que les données favorables ou très favorables, représentant seulement 21% des données, sont dispersées plus aléatoirement sur l'île.

De même que pour la période estivale, le centre de l'île est affecté par un manque important de données. Des modèles de profondeur de la nappe pour les formations métamorphiques et du socle granitique ont donc été créés. Les équations des droites de régression linéaire sont :

$$\text{Socle granitique : } y = 0,997x - 3,9979 \quad R^2 = 0,9947$$

$$\text{Formations métamorphiques : } y = 0,8844x - 4,1979 \quad R^2 = 0,9047$$

La pente de chaque modèle tend vers un. Considérant que la pente désigne la perméabilité du milieu, la concordance des pentes entre les deux saisons confirme la cohérence des modèles. Dans les deux cas, l'ordonnée à l'origine avoisine quatre, tout comme en saison estivale. L'encaissement des rivières est donc de 4 m. Le modèle des formations métamorphiques montre un coefficient de corrélation d'environ 0,90. Ce coefficient est plus faible que celui de la saison estivale. Il met en évidence une erreur-type plus importante, associée à l'amplitude des variations de la nappe pour la période hivernale. Ces variations peuvent être associées à des années sèches/humides, périodes d'étiage/hautes eaux et autres.

La comparaison des profondeurs de nappe mesurées avec les profondeurs calculées par le modèle a montré de faibles écarts, tel que présenté à l'illustration 27. Pour les formations métamorphiques, ces écarts sont moins importants que ceux perçus en période estivale. Effectivement, les écarts inférieurs à 5 et 15 mètres représentent respectivement 50 et 84% des données. Le modèle hivernal est plus cohérent à la réalité que le modèle estival. Pour le socle granitique, 89% des données présentent un écart de profondeur inférieur à 5 m tandis que seulement 4% montrent un écart supérieur à 15 m. Ce modèle est donc très représentatif de la réalité.

La profondeur de la ressource géothermale en période hivernale est moins intéressante que celle en été, tel que montré à l'illustration 28. Effectivement, 71,4% du territoire montre des profondeurs de nappe défavorables à la ressource géothermale. Les ressources très favorables sont principalement localisées à l'intérieur des terres. Seules les formations métamorphiques et la région de Bonifacio présente de bonnes profondeurs pour le développement de la géothermie.

Pour les deux saisons, les aquifères des formations sédimentaires présentent un important manque de données. Lors de futures recherches sur ces aquifères, la piézométrie de ces milieux pourra être caractérisée. Provisoirement, les profondeurs de la nappe n'ont pas pu être caractérisées.

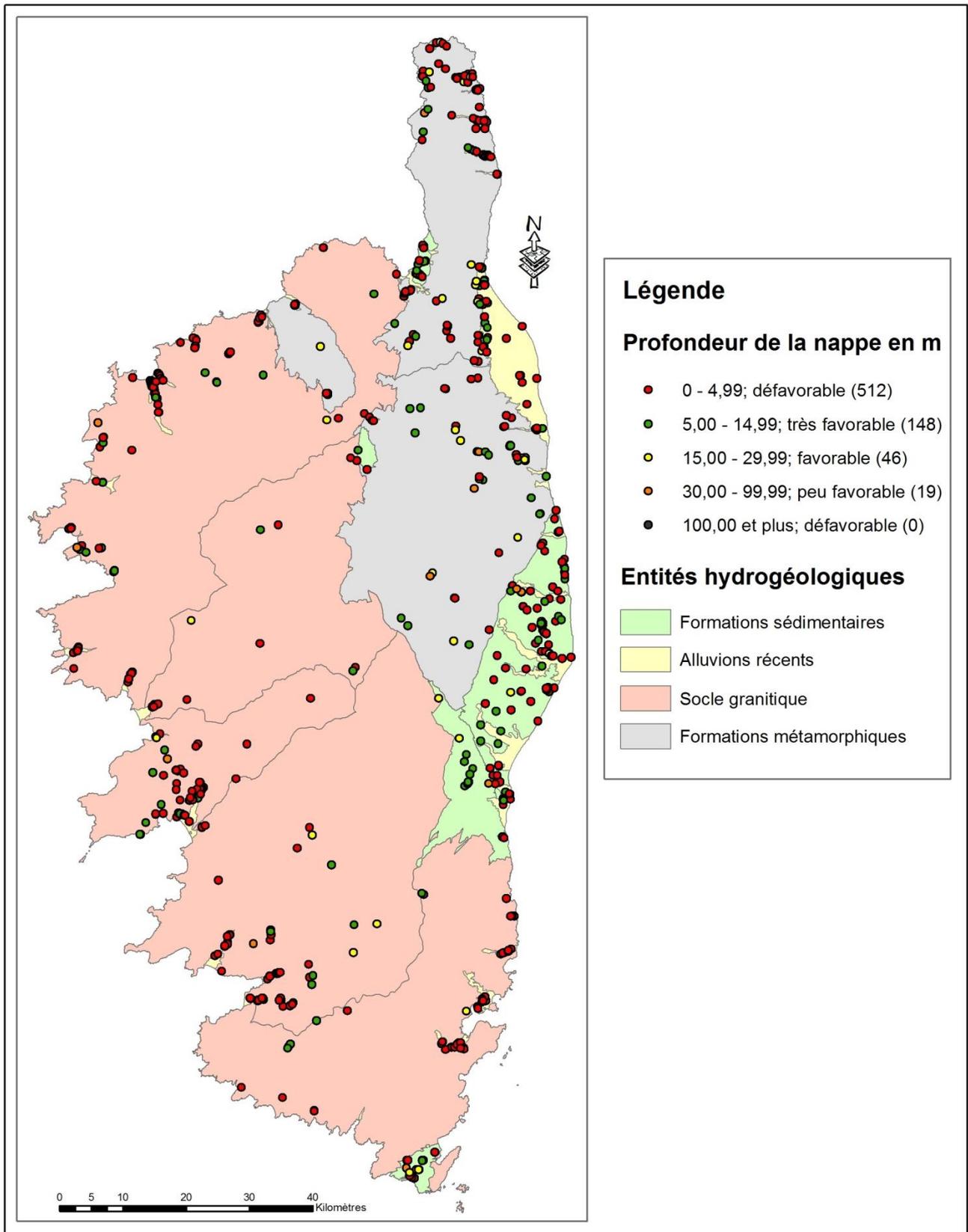


Illustration 26 : Carte des profondeurs de la nappe en période hivernale

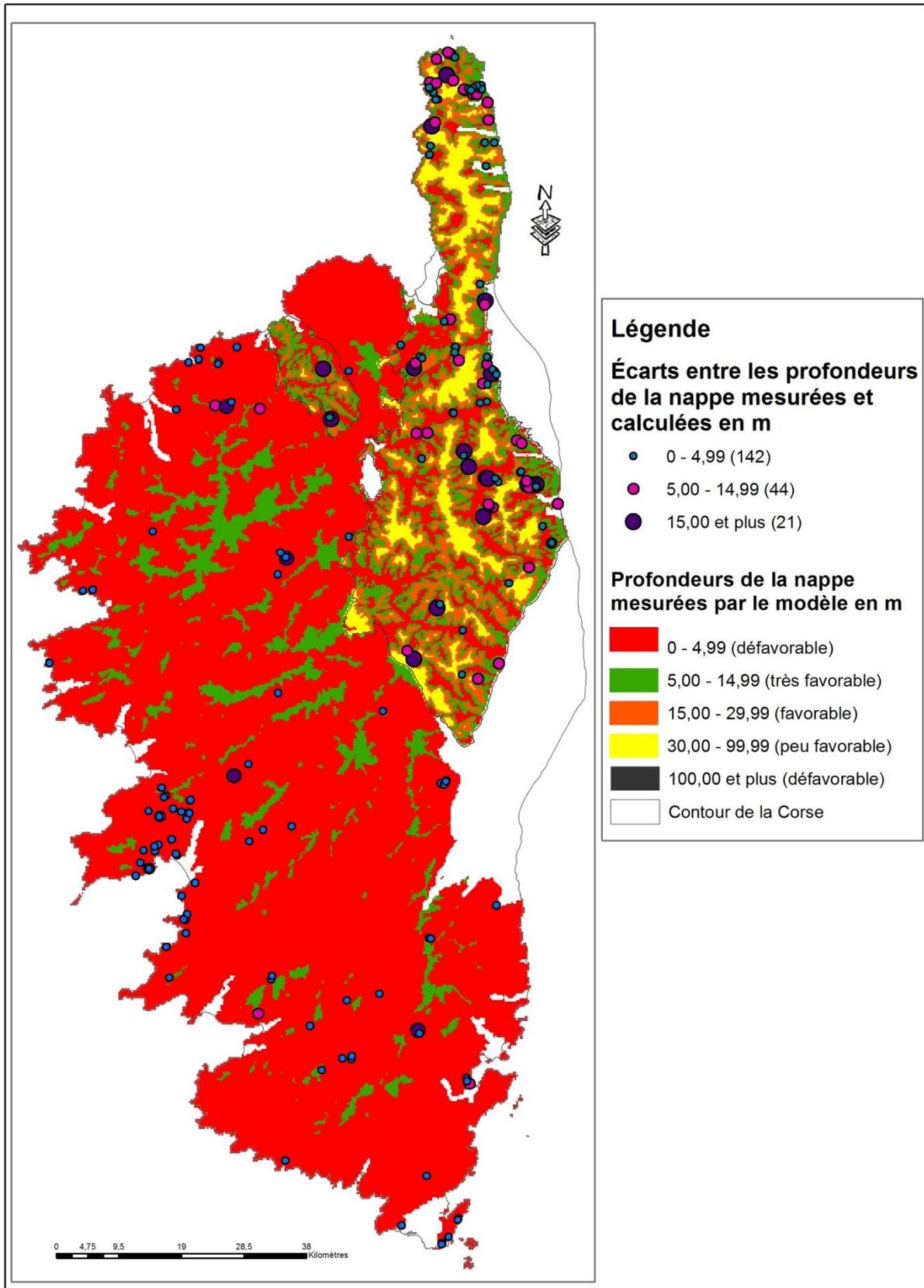


Illustration 27 : Modèle de profondeurs de la nappe en période hivernale

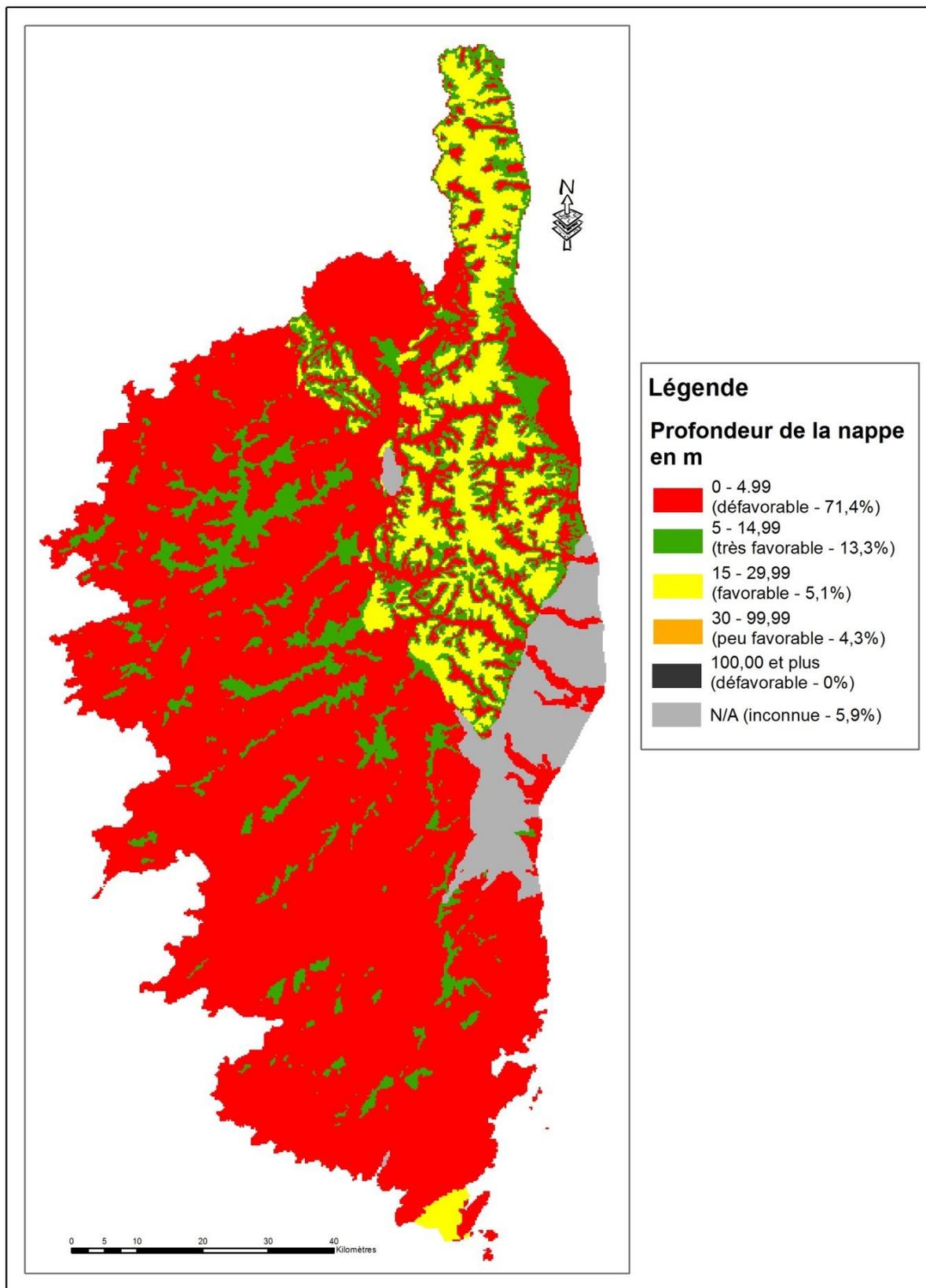


Illustration 28 : Profondeur de la nappe en période hivernale

6.4. TEMPÉRATURE DE L'EAU

De même que les profondeurs de la nappe, les données de température de l'eau ont été classées en fonction à la date de mesure, tel que spécifié à la section *Méthodologie – Base de données*. Les données ont été sélectionnées sans égard à l'année de mesure. Les variations de température interannuelles ont donc été considérées.

6.4.1. Période hivernale

Les données de température de la ressource en période hivernale sont peu nombreuses. Seulement 143 données sont disponibles. Les données existantes sont concentrées dans certains secteurs, montrés à l'illustration 29. Les températures sont généralement très favorables ou favorables. La profondeur de la nappe étant principalement inférieure à 10 m, la température de l'eau est souvent affectée par la température de l'air ambiant.

Quelques données de température inférieures à 10°C sont également présentes. Ces données sont localisées en hautes montagnes, où les températures de l'air sont plus froides dû à l'effet d'altitude. Quelques-unes se retrouvent au sein des aquifères alluvionnaires récents. L'alimentation de ces nappes par les rivières de régime pluvio-nival peut expliquer les basses températures qui sont associées à la fonte des neiges.

L'interpolation des données montrent que le facteur température est favorable à l'existence d'une ressource géothermale. Plus de 94% de l'île est classée favorable ou très favorable pour ce critère, telle que représentée à l'illustration 30. A l'exception des aquifères sédimentaires, qui n'ont pas suffisamment été étudiés pour déterminer les températures de l'eau, le reste de la Corse présente une ressource intéressante pour le chauffage.

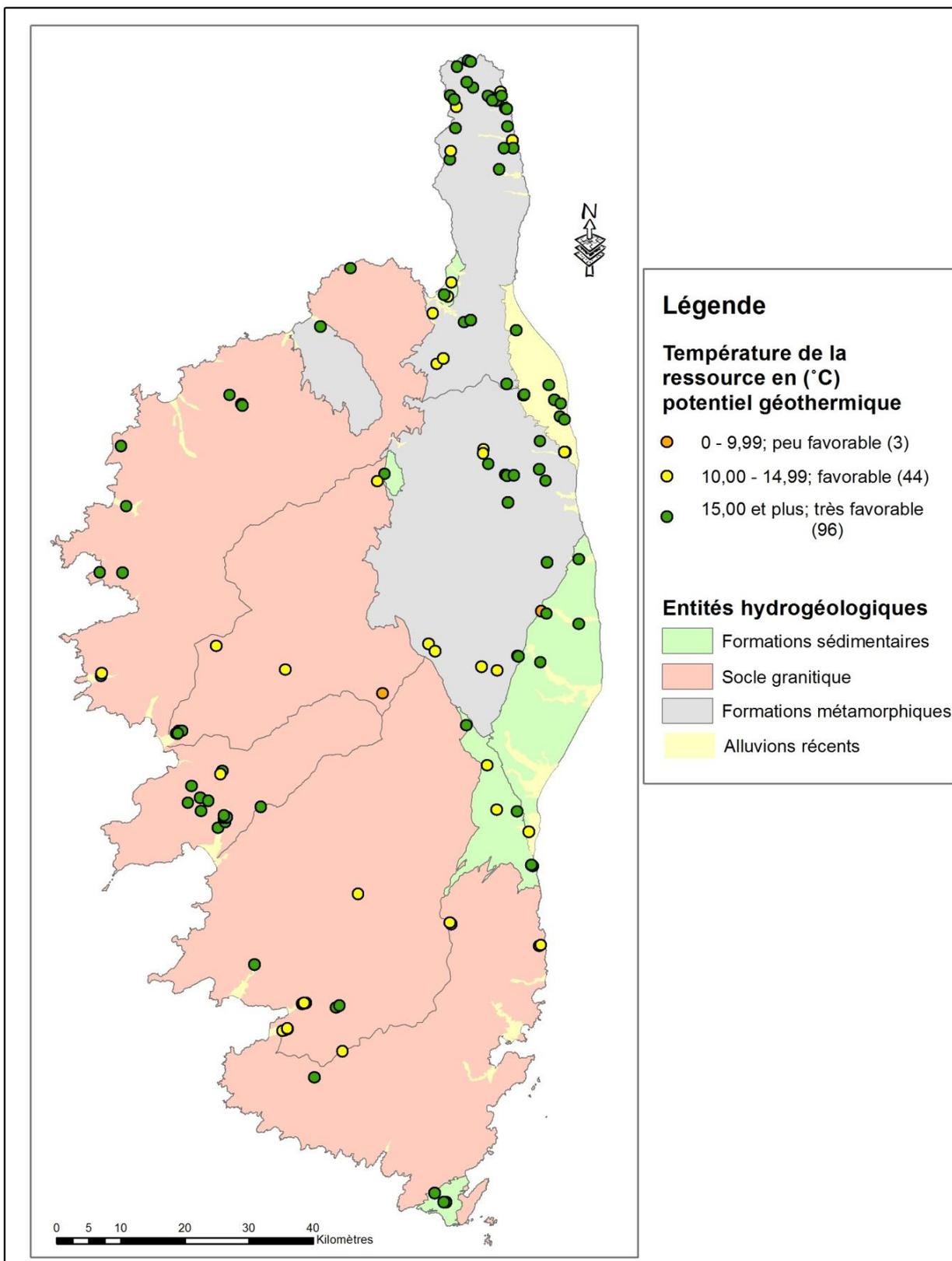


Illustration 29 : Carte des températures de l'eau en période hivernale

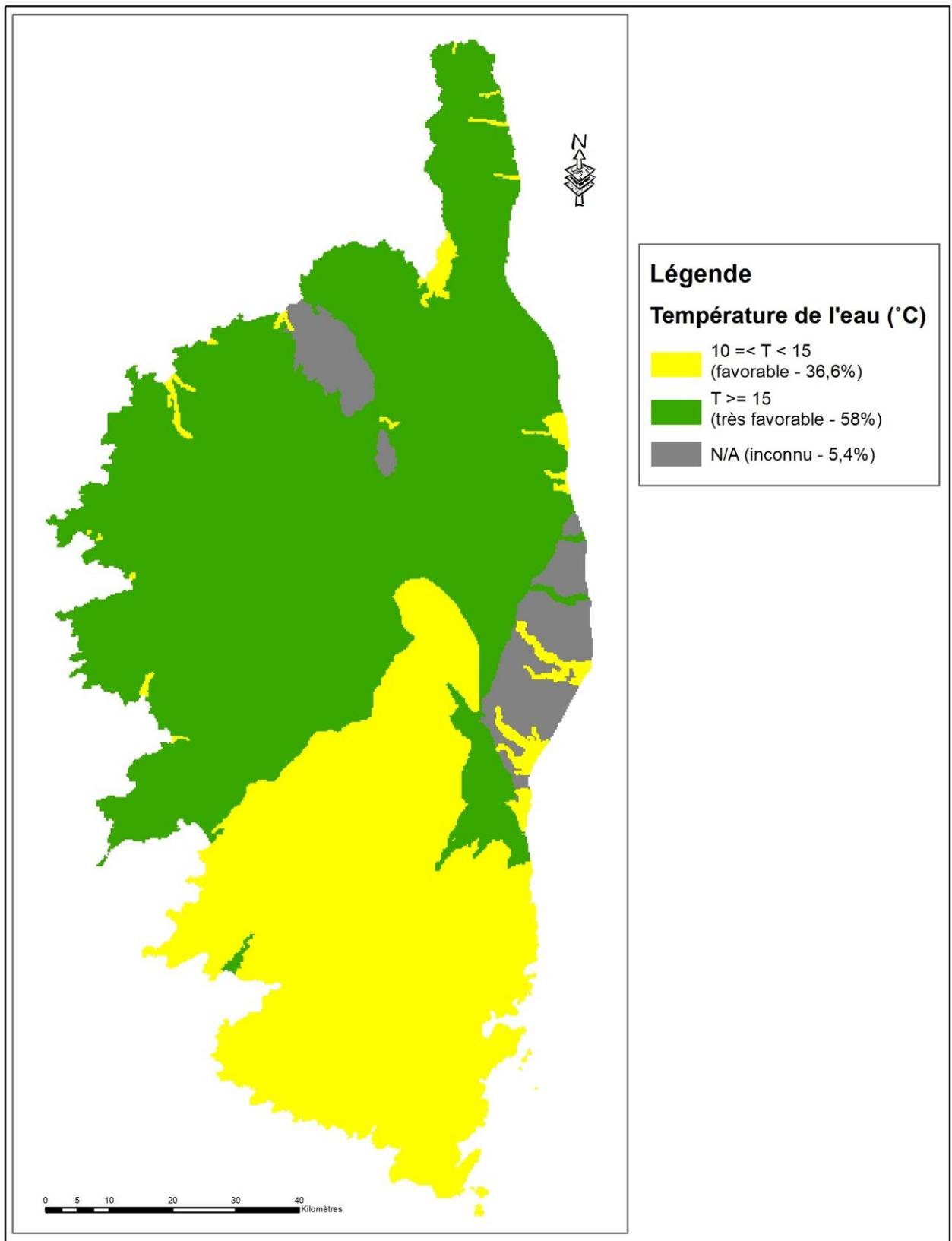


Illustration 30 : Température de l'eau en période hivernale

6.4.2. Période estivale

Les données de température de l'eau en période estivale sont également peu nombreuses, ne comptant que 116 données. De manière générale, les températures de la ressource sont favorables au développement de la géothermie, tel que montré à l'illustration 31. La Corse présente également des températures défavorables. Ces dernières sont dispersées à travers l'île, mais sont principalement associées aux aquifères d'alluvions récents. Ces aquifères sont alimentés par les rivières, dont la température de l'eau varie avec les saisons. Il est donc normal d'obtenir des températures plus élevées pour ces aquifères. Les formations métamorphiques montrent également des températures supérieures à 20°C. Elles sont majoritairement localisées à proximité du littoral.

En période estivale, la ressource géothermique relative à la température de l'eau est majoritairement favorable, tel que montré à l'illustration 32. Les aquifères ne présentant pas des températures de l'eau propices à la géothermie sont les aquifères alluvionnaires. Ces aquifères présentent des nappes à de faibles profondeurs. L'absence de couverture arborée à l'endroit de ces aquifères favorise le réchauffement des eaux souterraines. De plus, ces aquifères sont alimentés par les eaux des rivières qui se réchauffent plus rapidement au contact de l'air extérieur à température élevée en été. La température des eaux souterraines de ces aquifères est ainsi supérieure à 20°C en été. Quelques aquifères alluvionnaires présentent des températures de l'eau situées entre 12 et 20°C. Ces aquifères sont alimentés par des rivières qui drainent les eaux de fonte des neiges des hautes montagnes au centre de la Corse. De même que pour la profondeur de la nappe, les aquifères sédimentaires ne présentent pas suffisamment d'informations pour qu'ils puissent être classifiés.

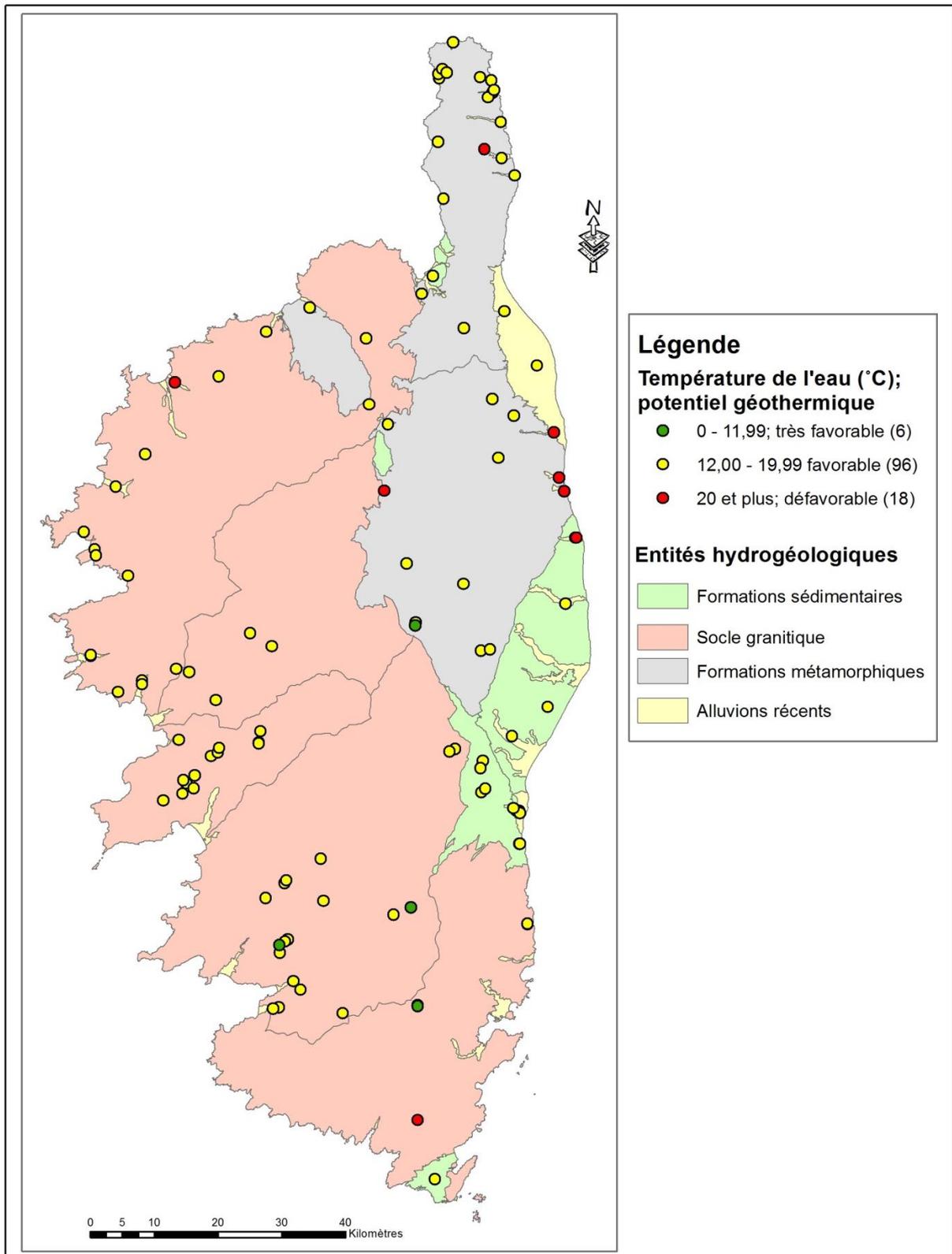


Illustration 31 : Carte des températures de l'eau en période estivale

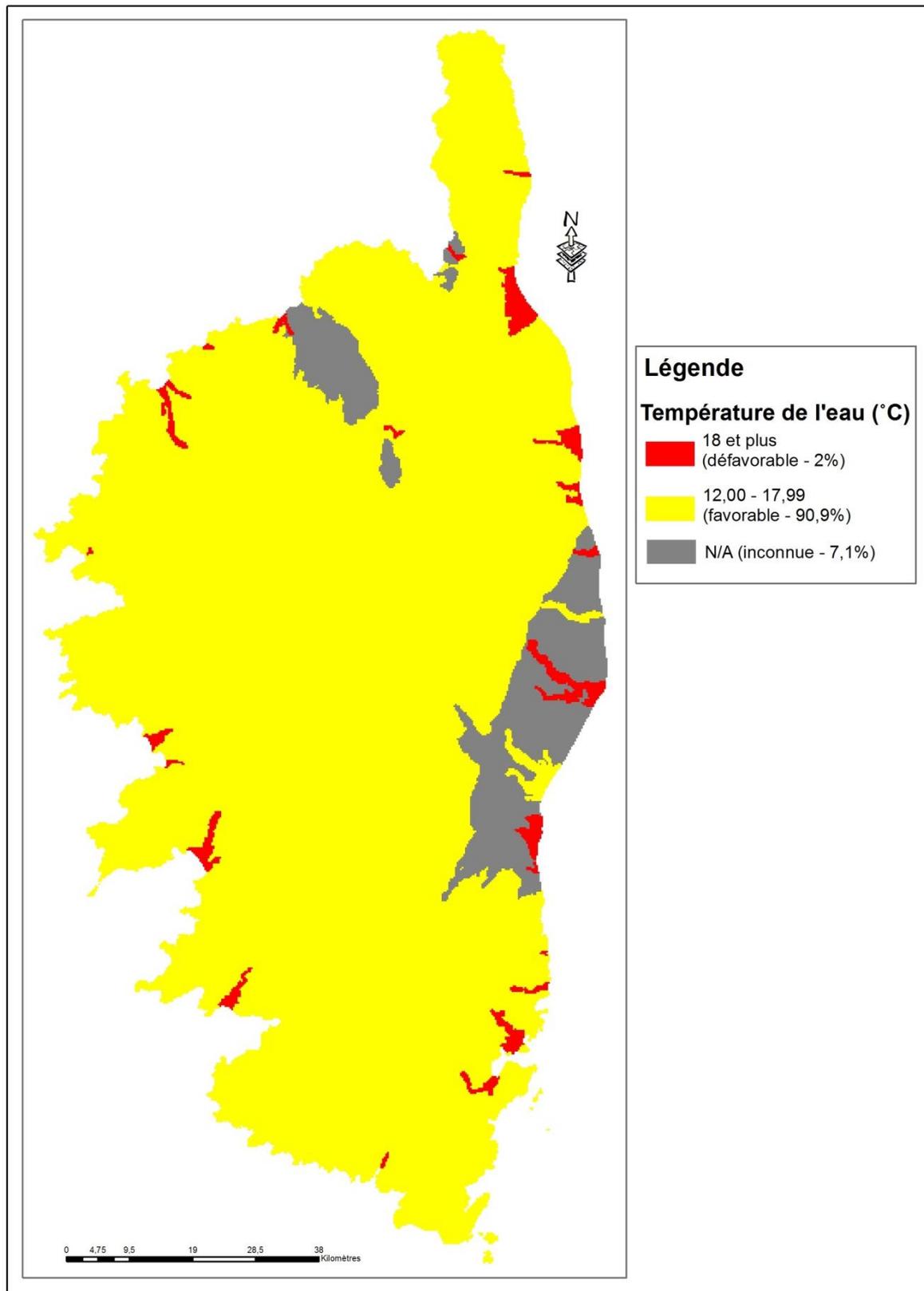


Illustration 32 : Température de l'eau en période estivale

6.5. ANALYSE MULTI-CRITÈRES

6.5.1. Période estivale

La majorité de l'île présente une ressource estivale peu favorable à la géothermie sur nappe, tel que montré à l'illustration 33. Cette classe géothermique, comprenant 89% de la Corse, comporte principalement les formations métamorphiques ainsi que le socle granitique. La seconde classe d'importance est la ressource inconnue, représentant les aquifères sédimentaires. Seuls quelques aquifères alluviaux présentent une ressource favorable au développement géothermique sur nappe, désignant 3,3% du territoire.

Seulement trois villes et un village se localisent à l'endroit des aquifères avec une ressource géothermale favorable pour la saison estivale. Ces localités sont : Bonifacio, Ghisonaccia, Pietracorbara et Saint-Florent.

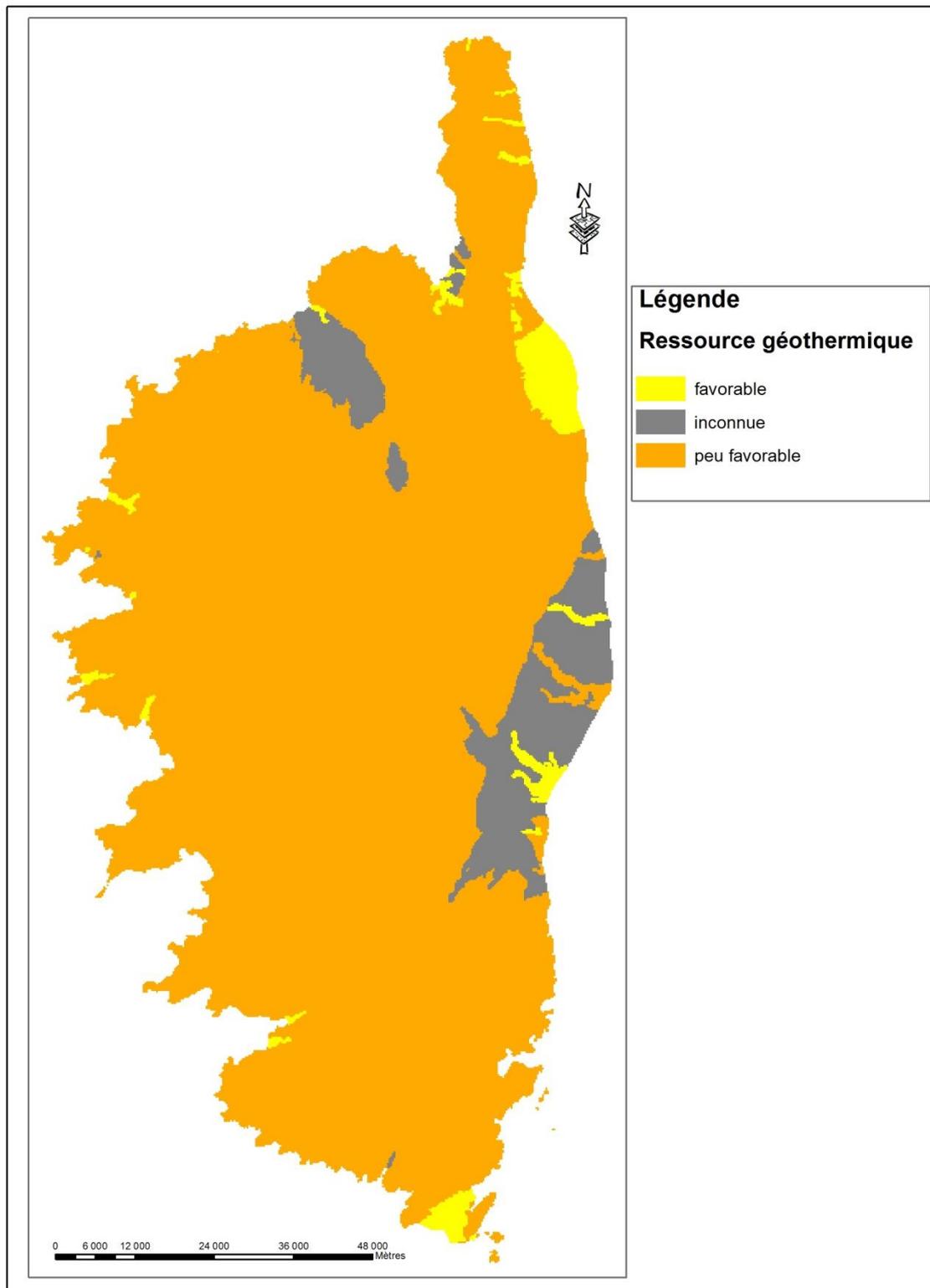


Illustration 33 : Ressource géothermale sur nappe superficielle en période estivale

6.5.2. Période hivernale

De même que pour la période estivale, la majorité de la Corse montre une ressource géothermale sur nappe superficielle peu favorable, désignant 78% du territoire en période hivernale, tel que présentée à l'illustration 34. Les aquifères sédimentaires présentent toujours une ressource inconnue sur 7,6% du territoire. Les zones à ressource géothermale favorable sont plus importantes en période hivernale, représentant 14,4% de l'île. Ces zones comprennent les aquifères alluviaux ainsi que quelques tronçons disparates des formations métamorphiques et du socle granitique.

Au total, 81 localités se situent à l'endroit des zones où la ressource géothermale favorable. Ces agglomérations comptent 77 villages et 4 villes, dont Bastia. Les communes sont présentées aux illustrations 34 et 35.

En comparant les deux périodes, juste trois communes présentent une ressource favorable à la géothermie sur l'année. Ces communes sont Ghisonaccia, Pietracorbara et Saint-Florent. Ensemble, ces localités représentent 1,9% de la population de Corse. Ce faible pourcentage est associé aux ressources géothermales estivales. Le rafraîchissement/refroidissement par géothermie sur nappe n'est donc pas privilégié en Corse. Cependant, le développement de la géothermie à des fins de chauffage est plus intéressant. Effectivement, une partie plus importante de la population est localisée dans des zones présentant des conditions hydrogéologiques favorables en période hivernale.

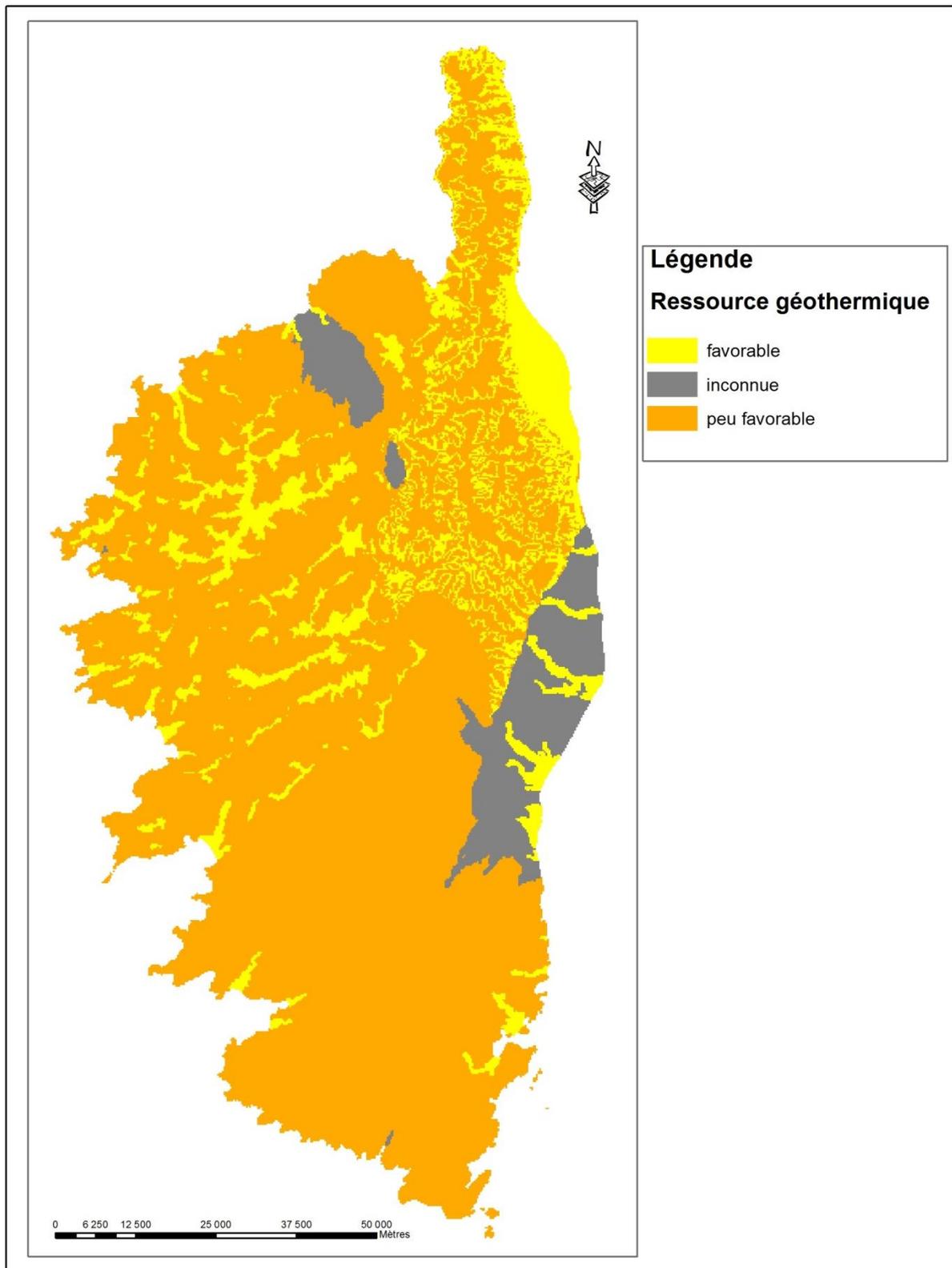


Illustration 34 : Ressource géothermique en période hivernale

Aiti	Furiani	Pietracorbara	Santa-Maria-Poggio
Alando	Ghisonaccia	Pieve	Santo-Pietro-Di-Venaco
Ampriani	Giocatojo	Porri	Sermano
Barbaggio	Lento	Porto	Solenzara
Barrettali	Loreto-Di-Casinca	Quercitello	Sorbo-Ocagnano
Bastia	Lucciana	Rapale	Soveria
Bigorno	Luri	Riventosa	Taglio-Isolaccio
Biguglia	Matra	Rusio	Talasani
Borgo	Moita	Rutali	Tarrano
Brando	Monacia-D'Orezza	Saint-Florent	Tomino
Campana	Monte	Saliceto	Tox
Carpineto	Morosaglia	San-Gavino-D'Ampugnani	Valle-D'Orezza
Carticasi	Nocario	San-Giovanni-Di-Moriani	Valle-Di-Campoloro
Casabianca	Novale	San-Giuliano	Vallecalle
Casalta	Ometa-Di-Capocorso	San-Martino-Di-Lota	Velone-Orneto
Casanova	Olmo	San-Nicolao	Venaco
Casevecchie	Ortiporio	Sant'Andrea-Di-Bozio	Venzolasca
Castellare-Di-Casinca	Pero-Casevecchie	Sant'Andrea-Di-Cotone	Verdese
Chiatra	Pianello	Santa-Lucia-Di-Moriani	Vignale
Crocicchia	Piedicroce	Santa-Maria-Di-Lota	Ville-Di-Pietrabugno
			Volpajola

Illustration 35 : Communes présentant une ressource favorable à la géothermie en période hivernale

Il est à noter que cette approche n'inclut que la géothermie sur nappe superficielle. La possibilité d'utiliser des capteurs à boucles fermées pourrait constituer un recours pour couvrir les besoins thermiques en cas d'insuffisance des capacités de la ressource géothermale sur nappe.

Il faut également spécifier que cette approche n'a pas tenu compte des besoins thermiques en surface. Bien que la ressource géothermale ait été identifiée comme faible par endroit, elle peut s'avérer satisfaisante si les besoins en chaud et/ou en froid des utilisateurs en surface sont limités au droit des sites concernés. Ce travail de croisement ressources/besoins ainsi que la prise en compte de toutes les formes de technologies géothermiques constitueront la deuxième phase de cette étude.

7. Méthodologie générale de détermination du potentiel géothermique de la Corse

7.1. LA NOTION DE POTENTIEL GÉOTHERMIQUE

La détermination du potentiel géothermique d'un territoire (région, département, groupement de communes, etc.) s'opère en croisant de manière géolocalisée les ressources géothermales avec les besoins thermiques en surface.

Cette notion de géolocalisation signifie que pour un besoin thermique donné, il faudra estimer les capacités géothermales de la ressource au droit du site où le besoin a été identifié. En effet, la géothermie est une énergie locale dont l'exploitation est pénalisée techniquement et économiquement par le transport.

Une fois le besoin thermique identifié et la ressource correspondante caractérisée, le croisement permet d'obtenir le potentiel géothermique qui indique la proportion d'énergie demandée en surface pouvant être satisfaite par la ressource (taux d'adéquation).

Lorsqu'un besoin est identifié, cette proportion peut varier de 0% (absence de ressources ou impossibilité d'exploitation due à une contrainte) à 100% (la géothermie peut fournir une énergie thermique supérieure à la demande identifiée pour le chauffage, l'ECS, et éventuellement pour le froid sous forme de climatisation et/ou de rafraîchissement). Dans certains cas de figure, où le besoin est faible et/ou la ressource abondante, l'énergie géothermique peut s'avérer excédentaire offrant la possibilité de couvrir de nouveaux besoins.

Dans le cas où aucun scénario actuel ou futur de consommations énergétiques (pour le chauffage, l'ECS et/ou le froid) n'est identifié, aucun calcul de potentiel géothermique ne sera effectué.

Pour résumer, la notion de potentiel géothermique – dont la détermination constitue le rendu final du projet – traduit le taux de couverture des besoins thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire en kWh) par géothermie sur aquifère superficiel.

Un potentiel géothermique de 100% signifie que ce type de géothermie peut satisfaire l'ensemble de la consommation thermique liée au chauffage et à l'ECS au niveau de la maille ou de territoire concerné.

7.2. LA PRISE EN COMPTE DES PRINCIPALES FILIÈRES

Dans le cadre de ce travail d'évaluation du potentiel géothermique de la Corse, il a été convenu de s'intéresser à l'exploitation des aquifères superficiels par doublet, vu que l'atlas de des ressources géothermiques a été réalisé en considérant uniquement ces systèmes.

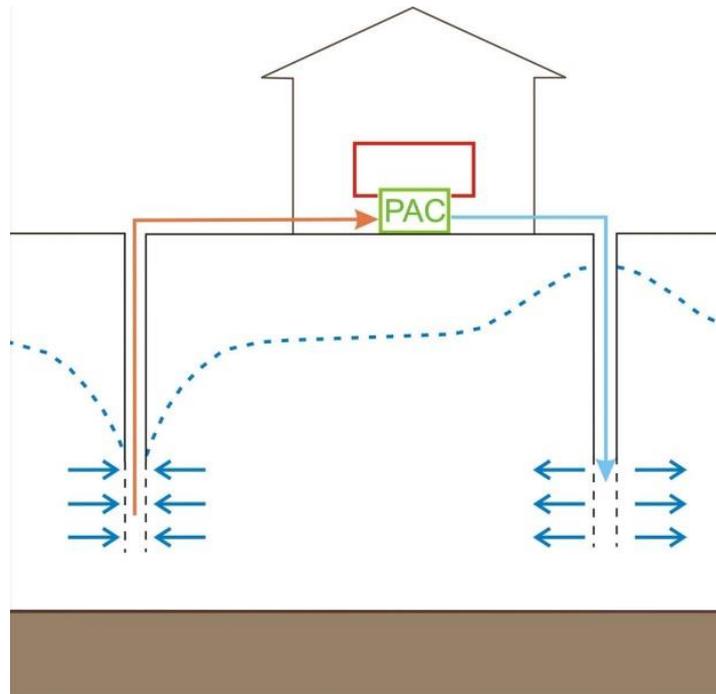


Illustration 36 : Exploitation géothermique des eaux souterraines par doublet sur aquifère superficiel

7.3. DÉFINITION DE L'ÉCHELLE DE TRAVAIL

Le choix de l'échelle de travail est une étape déterminante dans le croisement ressources/besoins, car une échelle parfaitement adaptée à la caractérisation de la ressource peut ne pas convenir pour l'estimation des besoins en surface qui varient spatialement de façon plus importante que les paramètres liés aux sous-sols.

Il est par conséquent nécessaire de définir l'échelle de travail qui permettra de croiser de manière satisfaisante les ressources géothermales et les besoins en surface sans qu'il y ait une perte importante de l'information.

L'échelle de travail doit se trouver entre :

- l'échelle fine qui constitue l'échelle du bâtiment. Cette étude réalisée sur l'ensemble du territoire régional n'a pas pour vocation et ne peut se substituer à des études de préféabilité pour chaque bâtiment. De ce fait, cette échelle ne se sera pas retenue.

- l'échelle communale, qui semble constituer un seuil pour l'obtention de données notamment énergétiques. Cependant, le croisement à l'échelle de la commune n'est pas satisfaisant. En effet, la façon dont sont répartis les utilisateurs sur la commune va influencer directement l'utilisation de la ressource géothermale. Par exemple, si, à ressource et besoins thermiques constants à l'échelle de la commune, les densités énergétiques varient (existence de zones à habitat collectif concentré par rapport à des zones pavillonnaires), le potentiel de valorisation sera différent (ressource pouvant être limitante dans le premier cas, alors qu'elle ne le serait pas dans le second). Le besoin total à l'échelle de la commune peut correspondre à la somme de besoins partiels dispersés ou bien à quelques gros consommateurs localisés.

Il s'agit alors de trouver une échelle de travail intermédiaire, entre celle du bâtiment et celle de la commune.

Il est nécessaire, lors du choix de l'échelle de travail, de tenir compte également de la limitation du nombre de doublets de forages qui exploiteront les aquifères. Cette limitation est due aux phénomènes de recyclage qui peuvent exister entre les puits d'un même doublet ou au conflit d'usages entre opérations géothermiques.

De ce fait, l'hypothèse de travail va consister à considérer un doublet géothermique par maille, définissant ainsi une « densité limite », voire maximale, d'opérations. L'échelle de travail considérée pour les aquifères superficiels est une maille carrée de 250 m x 250 m. Elle permet de « croiser » l'ensemble des données cartographiques géoréférencées.

7.4. ESTIMATION ET CARTOGRAPHIE DES BESOINS THERMIQUES

Afin d'estimer les besoins thermiques de la Corse, la méthodologie utilisée consiste à déterminer le nombre de m² de bâtiment avec des besoins thermiques par maille de 250 m sur 250 m, puis à lui associer une consommation énergétique adéquate selon l'usage qui en fait.

Pour ce qui est des superficies à chauffer, cette étude comprend les besoins du parc bâti existant en 2011/2012. En effet, il a été fait appel à la BD TOPO (Version 2012), une base de données de l'Institut Géographique National, qui représente sous format vectoriel des éléments du territoire et ses infrastructures, parmi lesquelles l'ensemble des bâtiments construits. Une analyse et un traitement a été mené sur les données de la BD TOPO, comme expliqué dans la partie 8 de ce rapport, afin de s'approcher le plus possible des chiffres réels de la région Corse, en réalisant un croisement avec d'autres sources d'information fournies par l'ADEME.

7.5. CROISEMENT « RESSOURCES / BESOINS »

Le travail de croisement « ressources/besoins » s'effectue de façon différente selon le type de technologie considérée.

Pour les aquifères superficiels, la puissance produite par un doublet, et donc par maille, est calculée, traduite en kWh, puis comparée au besoin thermique de la même maille.

Il est à signaler que la puissance produite par les aquifères sera une valeur approximative du fait de l'incertitude qui existe sur la productivité des ressources géothermales.

L'ensemble de ce travail de croisement sera opéré en fonction des consommations thermiques (kWh).

8. Estimation et cartographie des besoins thermiques

8.1. BD TOPO® (DONNÉES IGN)

8.1.1. Description générale

La BD TOPO® contient une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures, de précision métrique, exploitable à des échelles allant du 1 : 5 000 au 1 : 50 000. Elle permet de couvrir de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

Elle est livrée pré-symbolisée dans les formats propriétaires les plus courants du marché.

La BD TOPO® sert de référence pour la localisation de l'information thématique relative aux problématiques d'aménagement, d'environnement ou d'urbanisme. Elle est le socle nécessaire au fonctionnement des systèmes d'information des collectivités locales de la commune à la région. Elle est aussi un élément indispensable à la conception, au fonctionnement et à l'évaluation de nombreux services pour ces collectivités.

Les objets de la BDTOPO® sont structurés en thèmes :

- le réseau routier, comprenant le réseau de voies de communication dans son intégralité (revêtu ou non), le réseau « adressé » c'est-à-dire une sélection des tronçons possédant un nom de rue, une sélection de chemins et sentiers, et une description du réseau revêtu selon son importance (hiérarchisation du réseau). Ce thème comprend également les toponymes se rapportant au réseau routier ;
- le réseau ferroviaire : les voies, aires de triage, téléphériques et autres transport par câble, les gares et les toponymes se rapportant au réseau ferré ;
- le réseau de transport d'énergie : haute et très haute tension, et les conduites utilisées pour le transport de matière première ;
- le réseau hydrographique : les cours d'eau, les surfaces d'eau, les réservoirs et autres points d'eau. Ce thème comprend également les hydronymes ;
- les bâtiments (indifférenciés, industriels et remarquables) et autres constructions.
- la végétation arborée ;
- l'orographie, décrivant des ruptures de pentes artificielles, et les toponymes relatifs au relief ;
- la structure administrative (communes, arrondissements urbains pour Paris, Lyon et Marseille), ainsi que les chefs-lieux ;
- les points d'activité ou d'intérêt (PAI), qui localisent des bâtiments ou sites ayant des caractères particuliers (administratif, religieux, sportif...) ;

- les toponymes de lieux-dits.

Le processus de production 3D permet de fournir l'altimétrie des objets, ainsi que la hauteur des bâtiments

La version utilisée dans le cadre de cette étude est la version 2.1 datant de 2011.

8.1.2. Objets retenus

Dans le cadre de cette étude, seule les données liées aux bâtiments ont été considérées.

La BD TOPO répertorie l'ensemble du bâti existant sur un territoire donnée, et ce bâti est spécifié en trois catégories.

Bâti indifférencié

Il s'agit de l'ensemble des bâtiments de plus de 20 m², ne possédant pas de fonction particulière pouvant être décrite dans les autres classes de bâtiments surfaciques.

Les exemples de bâtiment qu'il est possible de trouver dans cette classe sont : bâtiments d'habitation, bureaux, bâtiments d'enseignement, bâtiments hospitaliers, immeubles collectifs, musée, prison, refuge, villages de vacances.

Bâti remarquable

Bâtiment de plus de 20 m² possédant une fonction, contrairement aux bâtiments indifférenciés, et dont la fonction est autre qu'industrielle (ces derniers sont regroupés dans la classe bâti industriel). Il s'agit des bâtiments à usage administratif, religieux, sportif, ainsi que ceux relatifs au transport.

Chaque bâtiment de la classe « Bâti remarquable » dispose d'un attribut permettant de distinguer différentes typologies comme indiqué dans le tableau ci-après.

Bâti industriel

Il s'agit là des bâtiments de plus de 20 m² à caractère industriel, commercial ou agricole.

De même que pour le bâti remarquable, il existe des attributs qui spécifient le type de chaque bâtiment de la classe « Bâti industriel » ;

- Bâtiment agricole ;
- Bâtiment commercial ;
- Bâtiment industriel ;
- Serre ;
- Silo.

Dans le traitement des données relatives au bâti de cette classe, seuls les bâtiments commerciaux ont été retenus.

Les autres bâtiments ont des besoins thermiques très faibles, voire négligeables et sont souvent mal quantifiés lorsqu'ils existent.

Aérogare	Ensemble des bâtiments d'un aéroport réservés aux voyageurs et aux marchandises.
Arc de triomphe	Portique monumental : arc de triomphe, porte de ville.
Arène ou théâtre antique	Vaste édifice à gradins, de forme en partie ou totalement ronde ou elliptique : amphithéâtre, arène, théâtre antique, théâtre de plein air.
Bâtiment religieux divers	Bâtiment réservé à l'exercice d'un culte religieux, autre qu'une chapelle ou qu'une église (voir ces valeurs) : mosquée, synagogue, temple.
Bâtiment sportif	Bâtiment réservé à la pratique sportive : gymnase, piscine couverte, salle de sport, tennis couvert.
Chapelle	Petit édifice religieux catholique de forme caractéristique
Château	Habitation ou ancienne habitation féodale, royale ou seigneuriale : château, château fort, citadelle
Eglise	Edifice religieux catholique de forme caractéristique : basilique, cathédrale, église.
Fort, blockhaus, casemate	Ouvrage militaire : blockhaus, casemate, fort, ouvrage fortifié.
Gare	Bâtiment servant à l'embarquement et au débarquement des voyageurs en train.
Mairie	Edifice où se trouvent les services de l'administration municipale, appelé aussi hôtel de ville.
Monument	Monument commémoratif quelconque, à l'exception des arcs de triomphe (voir cette valeur d'attribut).
Péage	Bâtiment où sont perçus les droits d'usage.
Préfecture	Bâtiment où sont installés les services préfectoraux.
Sous-préfecture	Bâtiment où sont les bureaux du sous-préfet : chef-lieu d'arrondissement.
Tour, donjon, moulin	Bâtiment remarquable dans le Paysage par sa forme élevée : donjon, moulin à vent, tour, tour de contrôle.
Tribune	Tribune de terrain de sport (stade, hippodrome, vélodrome,...).

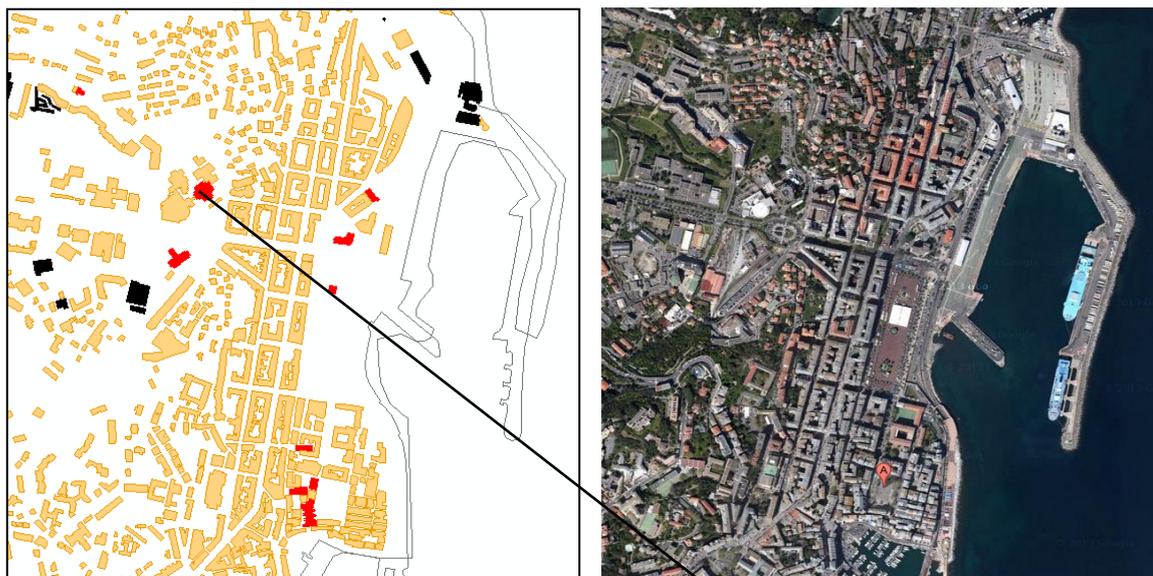
Illustration 37 : Attributs et types de bâtiments dans la classe « Bâti remarquable »

Bâtiment agricole	Bâtiment réservé à des activités agricoles : bâtiment d'élevage industriel, hangar agricole (grand), minoterie.
Bâtiment commercial	Bâtiment de grande surface réservé à des activités commerciales : centre commercial, hypermarché, magasin (grand, isolé), parc des expositions (bâtiment).
Bâtiment industriel	Bâtiment réservé à des activités industrielles : abattoir, atelier (grand), auvent de quai de gare, bâtiment industriel (grand), centrale électrique (bâtiment), construction technique, entrepôt, hangar industriel (grand), scierie, usine.
Serre	<p>Abri clos à parois translucides destiné à protéger les végétaux du froid : jardinerie, serre.</p> <p>Les serres en arceaux de moins de 20 m de long sont exclues.</p> <p>Les serres situées à moins de 3 m les unes des autres sont modélisées par un seul objet englobant l'ensemble des serres en s'appuyant au maximum sur leurs contours.</p>
Silo	Réservoir, qui chargé par le haut se vide par le bas, et qui sert de dépôt, de magasin, etc. Le silo est exclusivement destiné aux produits agricoles : cuve à vin, silo

Illustration 38 : Attributs et types de bâtiments dans la classe « Bâti industriel »

8.1.3. Extraction des données

En écartant tous les objets de la BD TOPO autres que ceux correspondant au bâti, la visualisation de la carte sous un logiciel de SIG permet de distinguer des polygones dont chacun représente un bâtiment.



Bâti indifférencié
 Bâti remarquable
 Bâti industriel

Champ	Valeur
FID	989
Shape	Polygone ZM
OBJECTID	2501
ID	BATIMENT0000000109829126
PREC_PLANI	1.5
PREC_ALTI	1
ORIGIN_BAT	Autre
NATURE	Préfecture
HAUTEUR	21
Z_MIN	15.7
Z_MAX	32.2
Shape_Leng	171.046661
Shape_Area	1318.475

Illustration 39 : Extrait de la BD TOPO sous SIG d'un exemple de la commune de Bastia et photo aérienne correspondante (Google satellite)

Pour chaque polygone répertorié dans la base de données, il est possible de recueillir certaines informations dont celles nécessaires pour la suite des calculs : la hauteur du bâtiment (en m) et la surface au sol couverte par le polygone (en m²).

L'objectif est de pouvoir déterminer à l'échelle de la maille de travail une demande énergétique (en énergie consommée). Pour cela, il a été fait l'hypothèse que le besoin thermique à l'échelle de la maille est proportionnel à la surface chauffée de bâtiment.

Les différents traitements réalisés à partir de la BD Topo ont donc été les suivants :

- Calcul d'une surface chauffée par bâtiment

La surface de l'emprise du bâtiment est multipliée par le nombre d'étages (hauteur totale divisée par une valeur moyenne de hauteur sous plafond).

Pour l'ensemble des bâtiments répertoriés dans la BD TOPO, il a été considéré une valeur moyenne de hauteur d'un étage d'environ 4 mètres (Pour le nombre d'étages, on considère la partie entière de la hauteur divisée par 4).

Pour déterminer une surface habitable (et donc chauffée), il a été considéré 60% de cette surface totale.

Le choix de ces deux valeurs pour la hauteur moyenne des étages et le ratio de la surface totale permet de retrouver sous SIG la surface globale à chauffer en Corse.

- Attribution d'une surface chauffée de bâtiments à l'échelle de la maille de travail :

La surface totale à chauffer (m^2) par maille est donc déterminée à partir de la BD TOPO®, correspondant à la somme des surfaces chauffées des bâtiments dont les centroïdes sont localisés dans la maille.

On multiplie ensuite la surface chauffée par un ratio de consommation en kWh/m^2 (ou kW/m^2).

9. Bâti corse et estimation de sa consommation thermique

9.1. SECTEUR RÉSIDENTIEL

9.1.1. Données générales

Selon les chiffres de l'INSEE 2006, le parc résidentiel Corse comporte 195 000 logements dont 121 000 (61%) résidences principales et 74 000 (39%) résidences secondaires, logements occasionnels ou vacants.

Milliers de logements		Maisons	Appartements	Total	%	% France
Résidences principales		56,6	64,2	120,9	62%	84%
Dont	<i>Propriétaires occupants</i>	43,4	23,6	67,0	55%	58%
	<i>Locataires privés</i>	12,4	29,8	42,2	35%	27%
	<i>HLM</i>	0,8	10,8	11,6	10%	15%
Résidences secondaires		41,7	24,1	65,8	34%	9%
Logements occasionnels		0,5	0,5	1,0	1%	1%
Logements vacants		3,5	3,9	7,3	4%	6%
Total		102,3	92,7	195,0	100%	100%
Part du parc (%)		52%	48%	100%		
Part moyennes en France (%)		57%	43%	100%		

Illustration 40 : Répartition des logements par type et statut d'occupation (Source SRCAE Corse³)

En termes de surface occupée, les résidences principales représentent en Corse un total de 10,7 million de m², répartie entre 5,9 Mm² de maison et 4,8 Mm² d'appartement. Quant au parc des résidences secondaires, sa superficie globale est d'environ 4,7 Mm².

Ainsi, le parc résidentiel de la Corse représente une surface globale de 16 Mm², si on ajoute aux résidences principales et secondaires, les logements vacants et occasionnels.

La figure suivante montre la répartition du parc des résidences principales en surface de logements par statut d'occupation, par type de logement et par période de construction (surface de logements construits sur la période concernée).

³ http://www.corse.fr/Le-Schema-Regional-du-Climat-de-l%E2%80%8C-Air-et-de-l%E2%80%8C-Energie_a3945.html

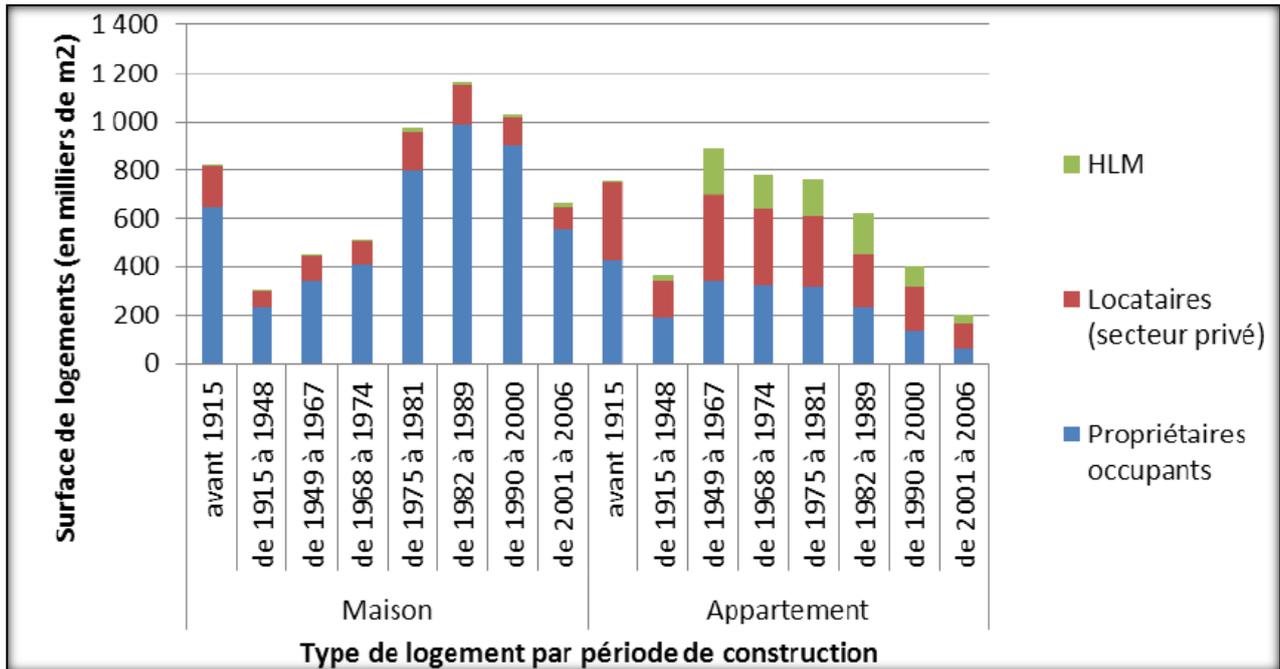


Illustration 41 : Répartition du parc des résidences principales en surface de logements par statut d'occupation, par type de logement et période de construction – SRCAE Corse

9.1.1. Données thermiques

Concernant l'aspect énergétique et plus particulièrement le chauffage, plus de la moitié du secteur résidentiel Corse fait appel à l'électricité individuelle.

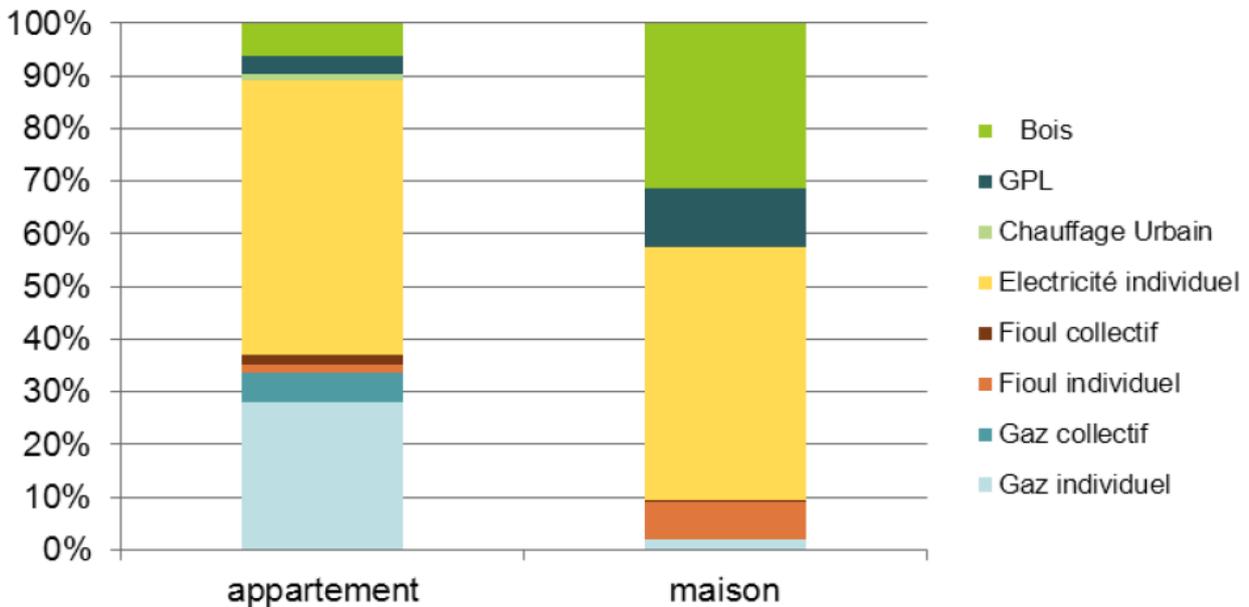


Illustration 42 : Répartition des résidences principales selon leur énergie principale de chauffage et le type de logement – SRCAE Corse

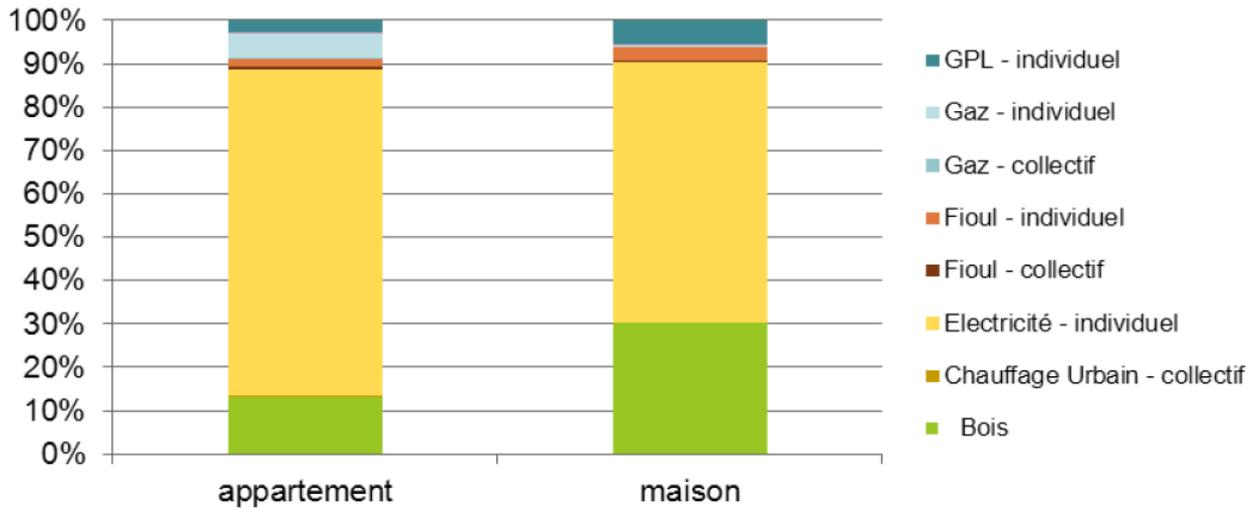
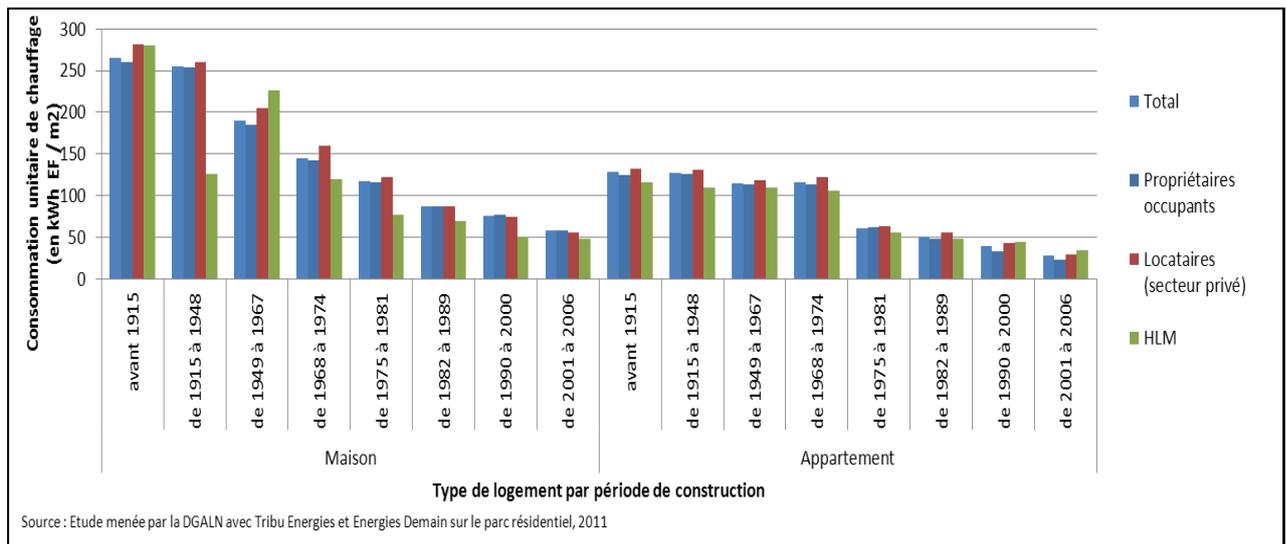


Illustration 43 : Répartition des résidences secondaires selon leur énergie principale de chauffage et le type de logement – SRCAE Corse

La production de chaud (chauffage et eau chaude sanitaire) par géothermie est quasi-inexistante

Concernant le besoin énergétique unitaire de chauffage pour le parc résidentiel (résidences principales), la figure suivante montre que la consommation a évolué à la baisse au cours du temps depuis l'avant 1915 à la période 2001-2006, en passant d'un peu plus de 250 kWh/m² à 50 kWh/m² pour les maisons, et de 125 kWh/m² à environ 30 kWh/m² pour les appartements.

Il est à noter qu'à période identique, les appartements ont une consommation de 30% à 50% inférieure à celle des maisons.



Source : Etude menée par la DGALN avec Tribu Energies et Energies Demain sur le parc résidentiel, 2011

Illustration 44 : Analyse de la consommation unitaire de chauffage du parc des résidences principales – énergie finale – pour chaque statut d'occupation, par type de logement et période de construction – SRCAE Corse

En combinant les informations liées à la surface, à la période de construction et à la consommation de chauffage, il est possible de répartir les appartements en deux grandes périodes (avant/après 1975) et les maisons en trois grandes périodes (avant 1948 / 1949 -1981 / après 1982) selon les diagrammes suivants.

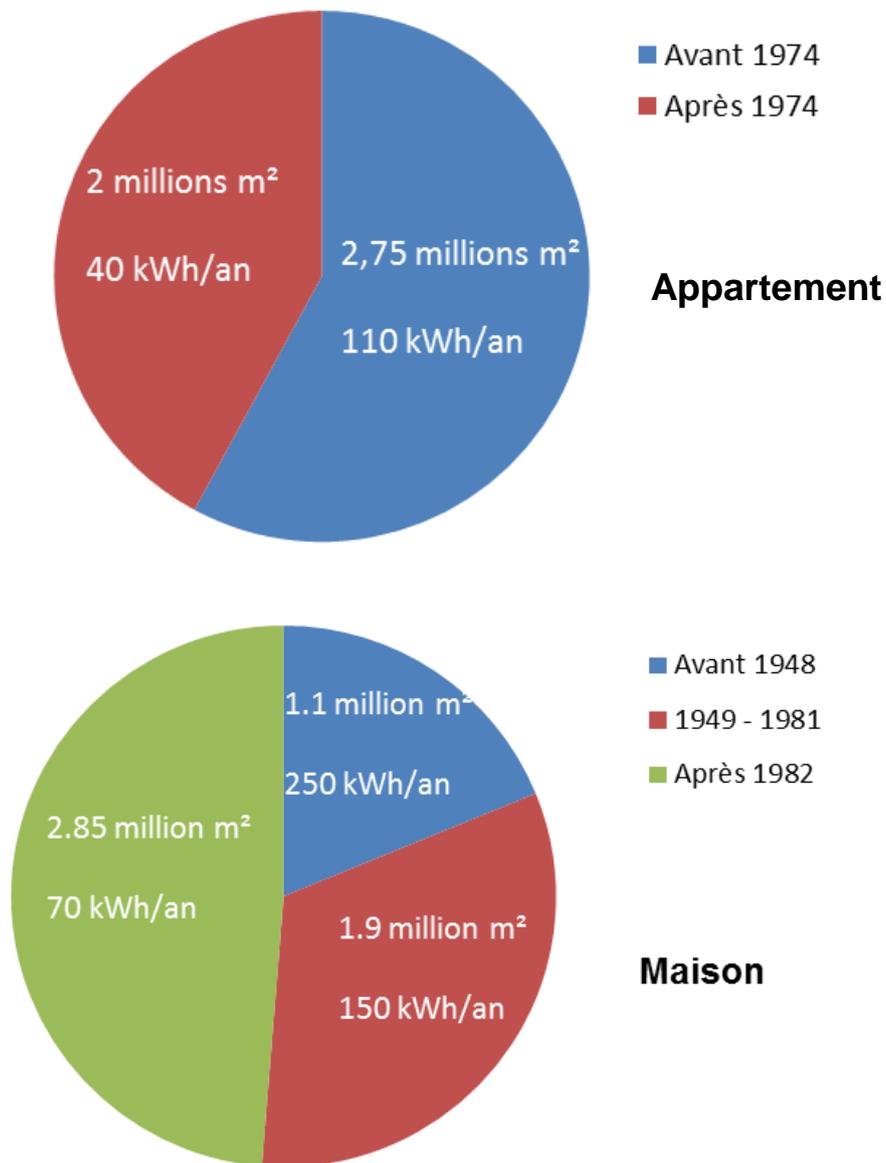


Illustration 45 : Répartition des surfaces et des consommations de chauffage pour le secteur résidentiel (appartement – maison) par période de construction

9.2. SECTEUR TERTIAIRE

9.2.1. Données générales

En Corse, le secteur tertiaire est composé de huit branches⁴.

- **Bureaux** (entreprises privées et administrations)
- **Cafés-Hôtel-Restaurants** (ou « CAHORE »)
- **Commerces** (locaux de commerce de gros et de détail, commerces automobiles)
- **Enseignement-Recherche** (bâtiments de l'enseignement primaire, secondaire, supérieur, centres de formation, et laboratoires de recherche)
- **Habitat communautaire** (maisons de retraites sociales et médicalisées, hébergements touristiques, établissements pénitentiaires, campings)
- **Santé et action sociale** (Etablissements de santé, cabinets de médecine libérale, centres d'hébergement pour handicapés, pharmacies, foyers sociaux, crèches)
- **Sport-Loisirs-Culture** (Gymnases, cinémas, musées, salles de spectacles, piscines, clubs de sports, activités de loisirs)
- **Locaux de transport** (gares, locaux logistiques)

La surface globale du parc tertiaire corse est estimée à 3,5 millions de m² (surface chauffée - CEREN), et à 4,5 Mm² selon le CEREC (Cellule Economique Régionale Corse pour le BTP et les matériaux de construction).

Pour cette étude, le chiffre de 4 Mm² a été retenu.

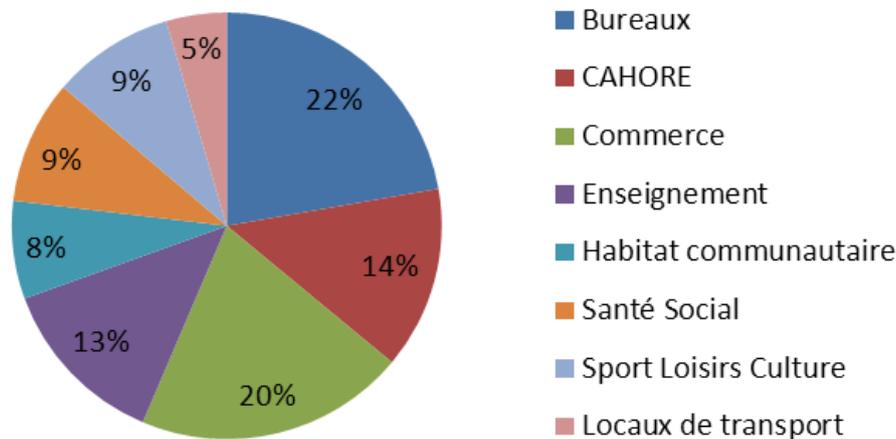


Illustration 46 : Répartition des surfaces tertiaires par branche en Corse en 2007 – CEREN / SRCAE Corse

⁴ Selon le SRCAE Corse et les critères du CEREN

9.2.2. Données thermiques

La consommation énergétique liée au chauffage est d'origine électrique pour plus de la moitié. Le reste étant occupé par des combustibles, principalement d'origine fossile (41% réparti entre le gaz et le fioul).

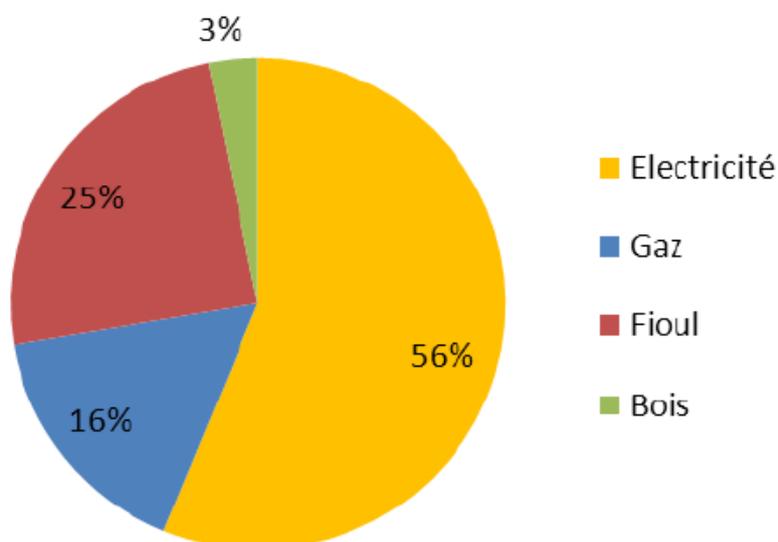


Illustration 47 : Consommations finales de chauffage du secteur tertiaire par énergie – SRCAE Corse

Concernant la consommation unitaire de chauffage pour le parc tertiaire, elle est comprise entre 20 kWh/m² pour les bâtiments de l'enseignement et du commerce, et 135 kWh/m² pour le bâti lié à la branche Santé-social.

Consommations unitaires par usage KWh/m2	Chauffage
Bureaux	113
CAHORE	124
Commerce	81
Enseignement	80
Haitat Communautaire	93
Santé-Social	135
Sport Loisirs Culture	93
Locaux de transport	122
TOTAL	103

Illustration 48 : Consommations unitaires de chauffage estimées par branche – SRCAE Corse

Pour plus de détails sur l'aspect énergétique, le lecteur pourra se référer au rapport du Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de la Corse sur le site internet de la Collectivité Territoriale Corse :

http://www.corse.fr/Le-Schema-Regional-du-Climat-de-l%E2%80%8C-Air-et-de-l%E2%80%8C-Energie_a3945.html

9.3. RESULTATS DU CALCUL DES BESOINS THERMIQUES EN SURFACE POUR LA BATI EXISTANT

La surface totale à chauffer (m²) par maille a donc été déterminée à partir de la BD TOPO®, correspondant à la somme des surfaces chauffées des bâtiments dont les centroïdes sont localisés dans la maille.

Il s'agit ensuite de multiplier la surface chauffée par les moyennes de consommation thermique en kWh/m².

Cela permet d'obtenir une cartographie des besoins thermiques des utilisateurs à l'échelle de la maille.

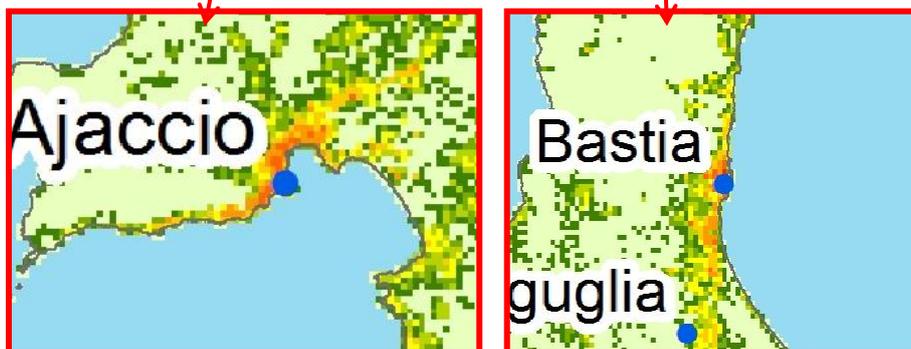
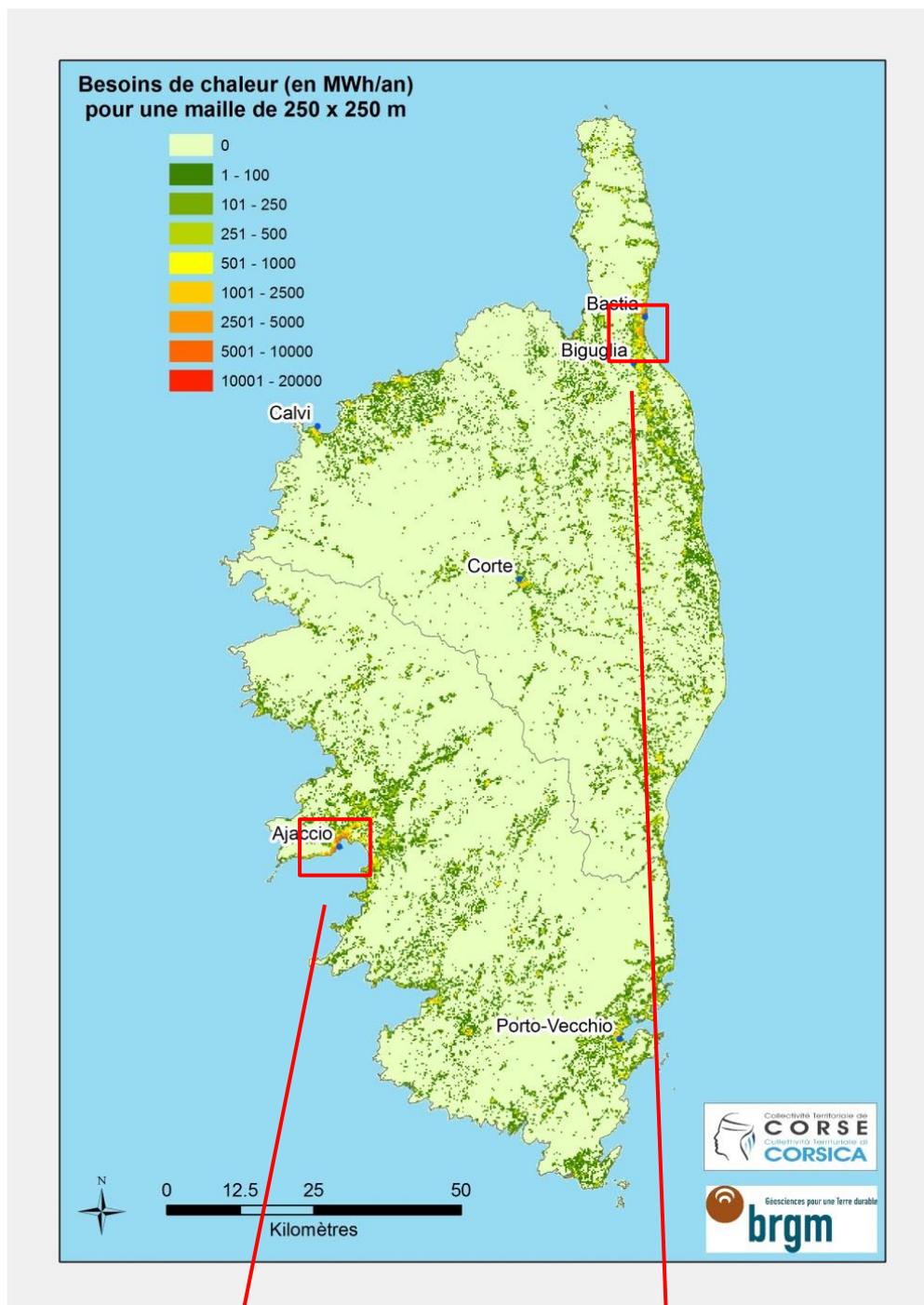


Illustration 49 : Cartographie à l'échelle de la maille des consommations thermiques (chauffage + ECS) du bâti corse

10. Adéquation entre la ressource géothermale des aquifères superficiels et les besoins thermiques en surface

En accord avec les partenaires de l'étude, un croisement entre les ressources géothermales et les besoins thermiques a été opéré à une échelle plus restreinte au niveau de cinq territoires présentant un intérêt particulier.

	Population	Densité (hab/km²)	Superficie (km²)
Communauté d'agglomération du Pays Ajaccien (10 communes)	80 745	300	268,75
Communauté d'agglomération de Bastia (5 communes)	58 519	859	68,14
Communauté de communes de Calvi Balagne (14 communes)	11 136	22	516,66
Communauté de communes du Centre Corse (10 communes)	9 682	27	361,97
La plaine orientale	13 320	24	559

Illustration 50 : Territoires étudiés - Croisement ressources / besoins

Ces cinq territoires, couvrant un cinquième de la superficie corse, regroupent 54% de la population.

Le résultat de l'étude d'adéquation entre la ressource géothermale et les besoins thermiques est illustré par les cartes suivantes.

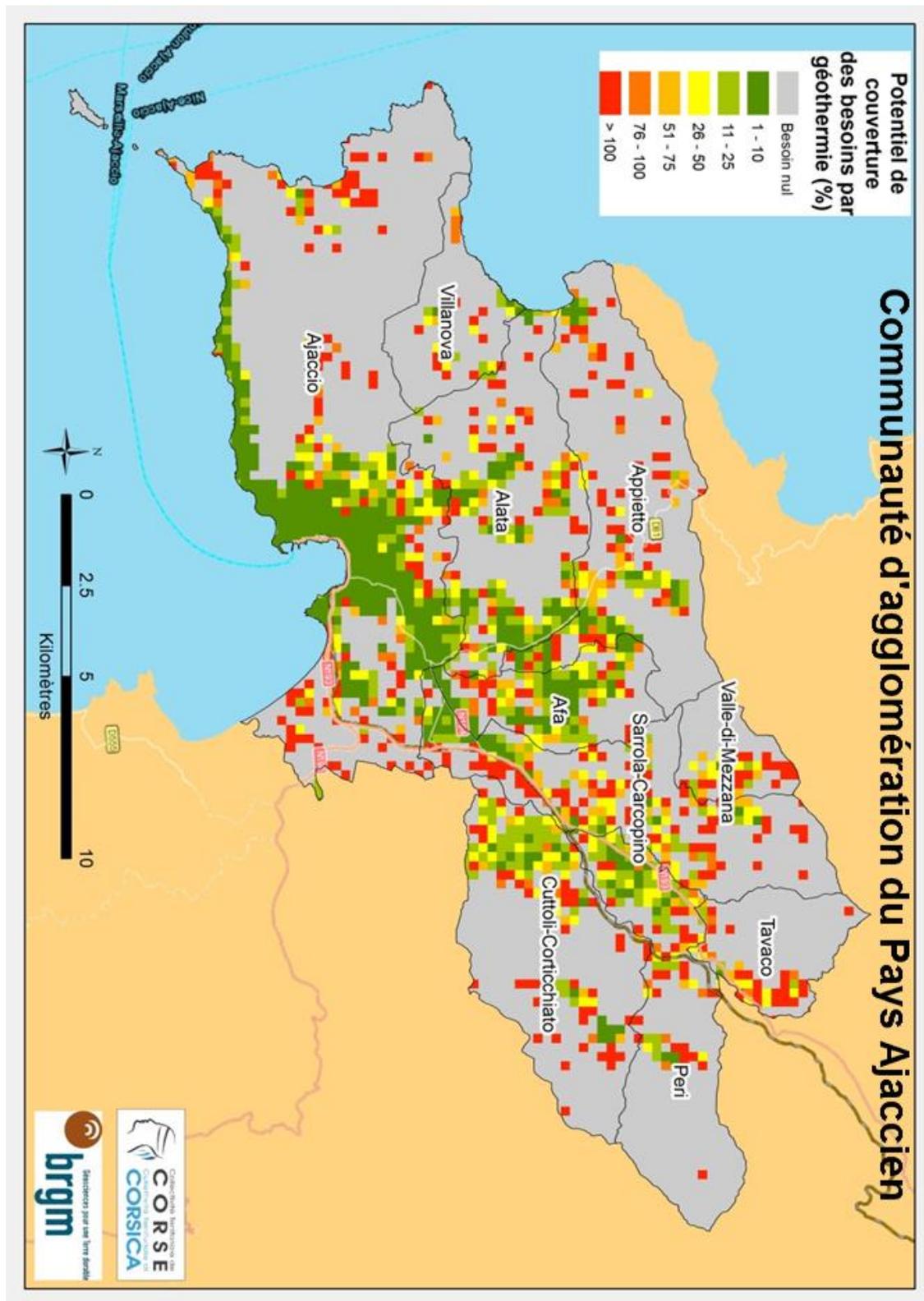


Illustration 51 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la Communauté d'agglomération du Pays Ajaccien

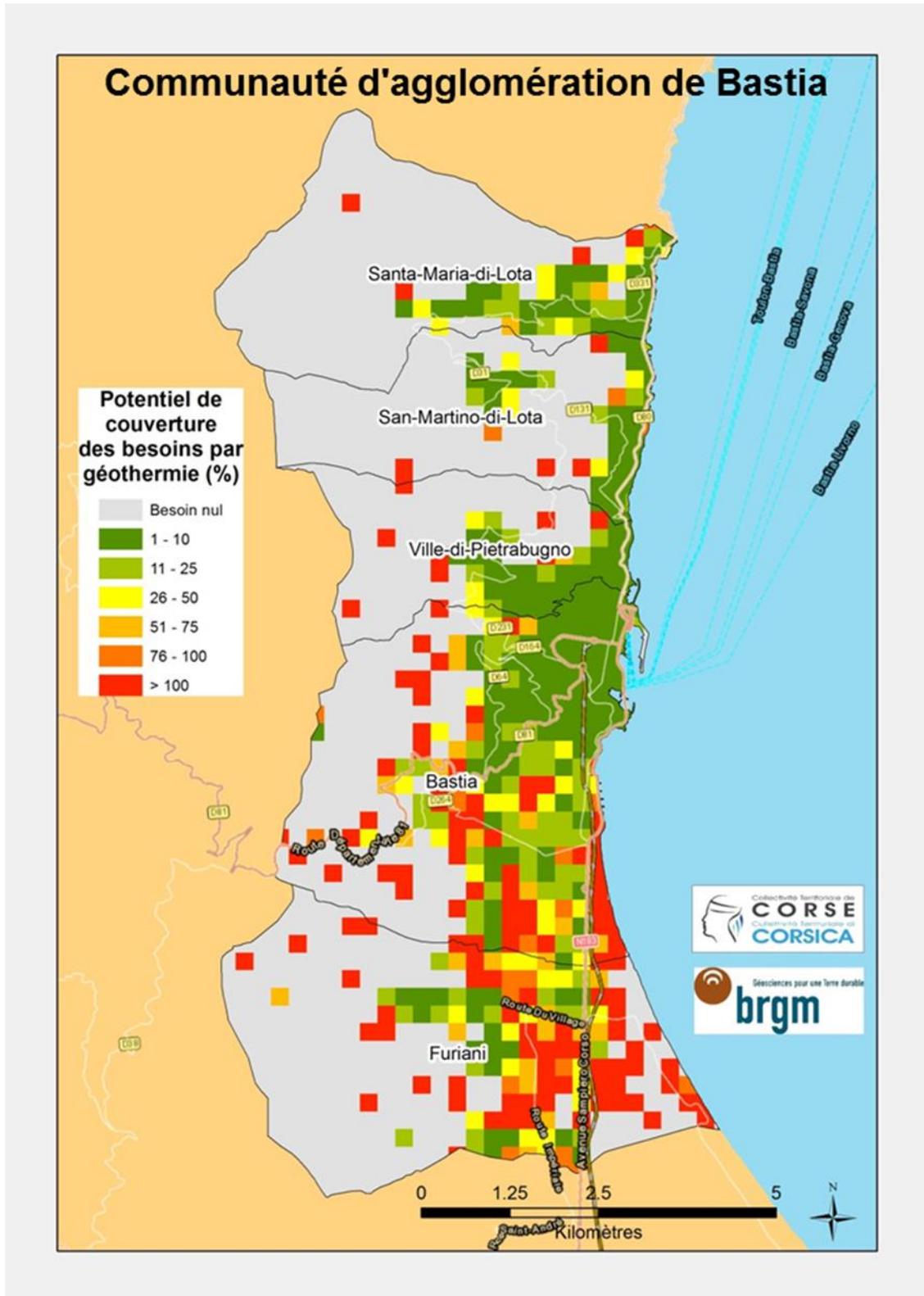


Illustration 52 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la Communauté d'agglomération de Bastia

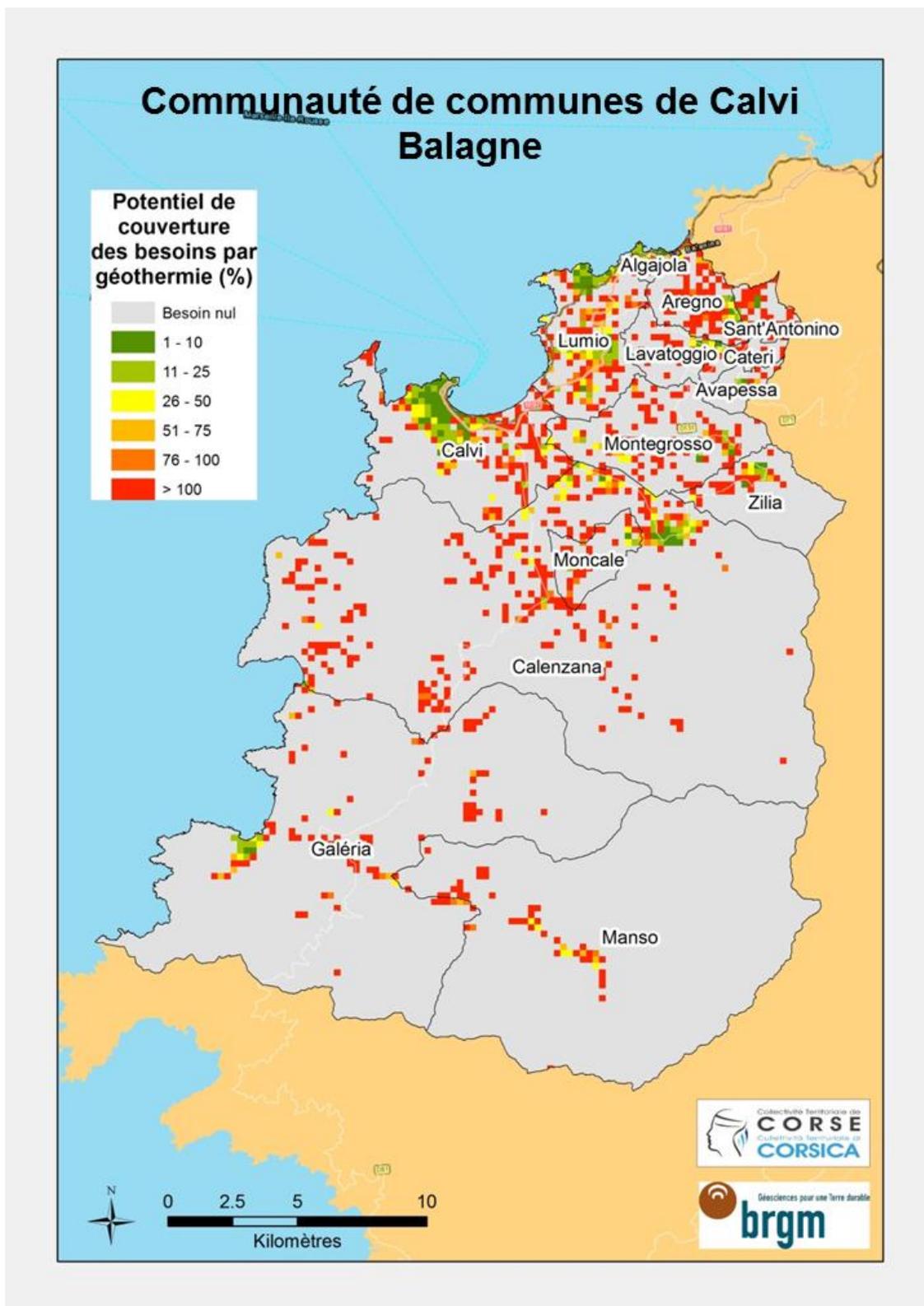


Illustration 53 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la Communauté de communes de Calvi Balagne

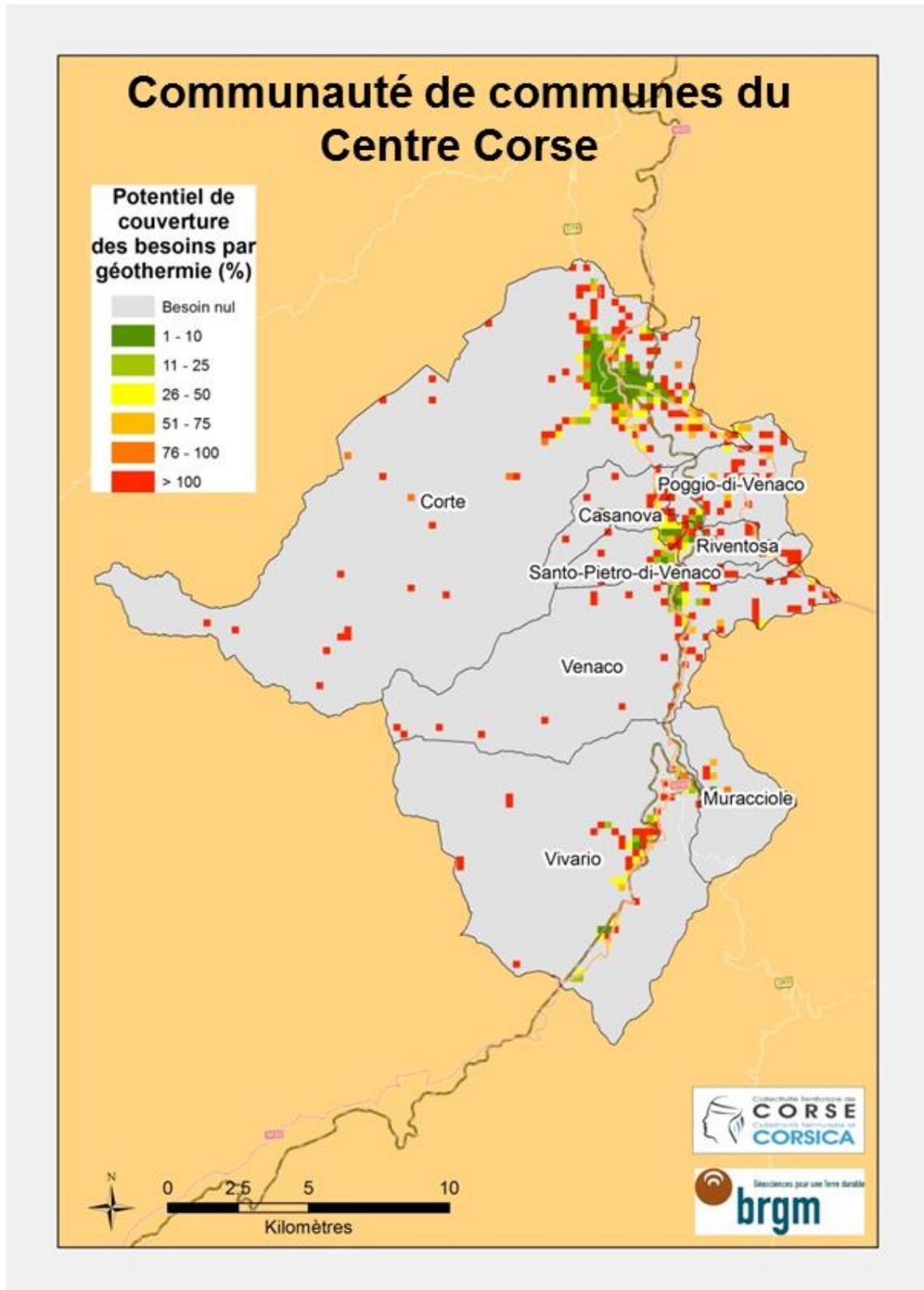


Illustration 54 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la Communauté de communes du Centre Corse

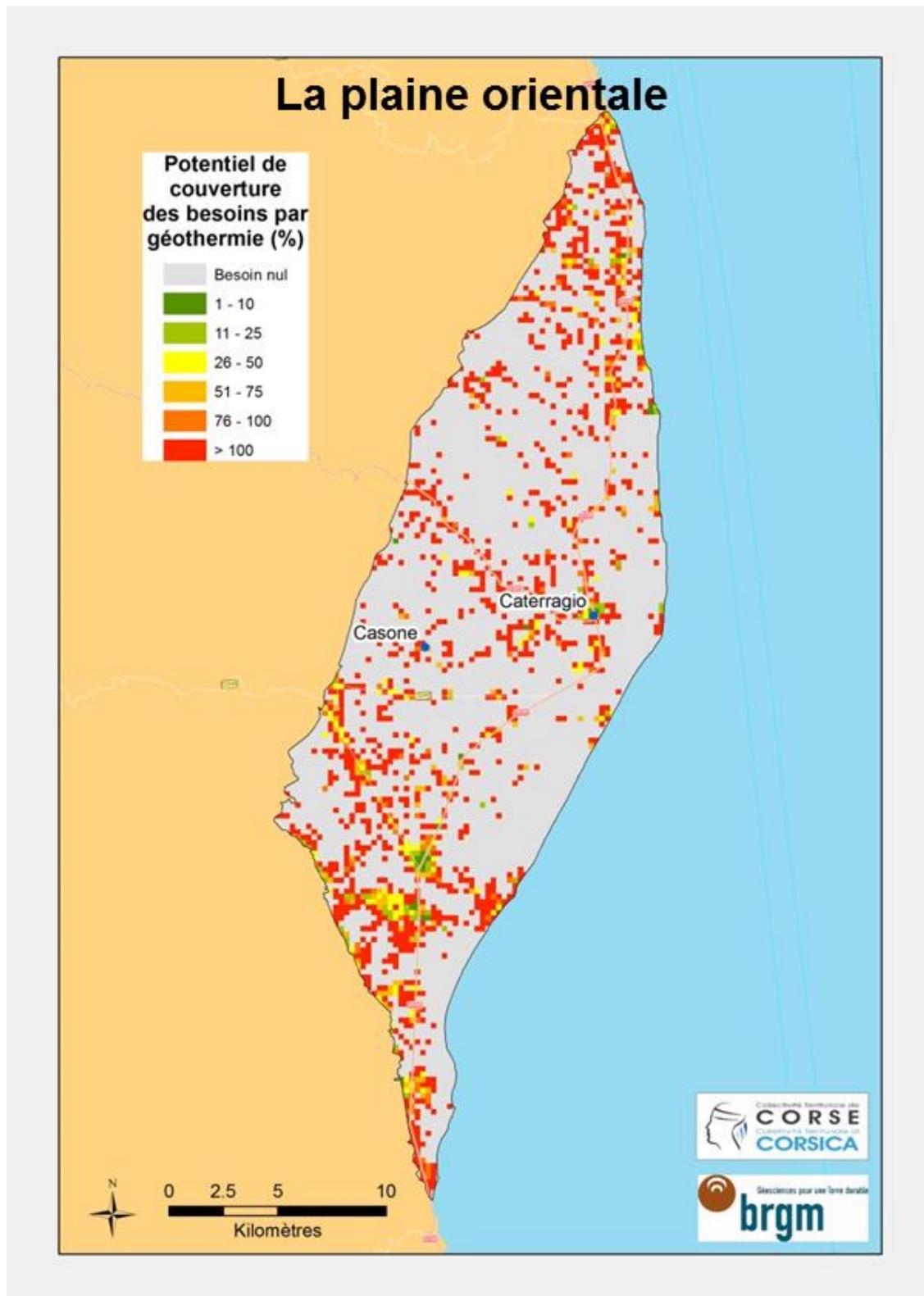


Illustration 55 : Potentiel géothermique sur aquifère superficiel de la plaine orientale

Les résultats de ce croisement montrent que le potentiel géothermique de ces territoires est relativement faible, notamment pour les zones d'Ajaccio et de Corte où le taux de couverture possible du chauffage et de l'ECS par la géothermie ne dépasse pas 10% dans le meilleur des cas (c'est-à-dire que moins de 10% de la consommation énergétique du territoire dans son ensemble liée au chauffage et à l'ECS pourrait être couverte par géothermie).

Seule la plaine orientale dispose d'un potentiel géothermique conséquent dépassant 50 % de taux de couverture.

Zone de croisement	Potentiel géothermique (%)
Communauté d'agglomération de Bastia	11
Communauté d'agglomération du Pays Ajaccien	6
Communauté de communes de Calvi Balagne	21
Communauté de communes du Centre Corse	9
La plaine orientale	54

Illustration 56 : Taux de couverture maximal des besoins thermiques (chauffage + ECS) par géothermie sur aquifère superficiel au niveau des zones étudiées

11. Conclusion

La géothermie représente une énergie renouvelable dont le développement est en pleine expansion. Elle est considérée comme une énergie verte et permet de diminuer les émissions de CO₂. La géothermie à très basse énergie, pour laquelle la température des eaux est inférieure à 30°C, est la plus employée pour le chauffage et la climatisation. Ce type de géothermie nécessite toutefois l'utilisation de pompes à chaleur.

La caractérisation de la ressource géothermale aquifère très basse énergie en Corse a principalement été réalisée à partir des données de la BSS et d'ADES. Ces informations ont été colligées dans la base de données créée pour le projet, qui a ensuite été transférée dans ArcGis afin de pouvoir visualiser les différentes informations. Un important travail de validation a été réalisé via la vérification précise de l'ensemble des données. Suite à la validation, la classification et spatialisation des données a été réalisée par aquifère pour chaque critère.

La spatialisation a permis de classer la ressource géothermale de toute l'île, à l'exception des aquifères sédimentaires. Ces derniers présentent un important manque de données rendant la détermination de la ressource géothermale difficile. Les résultats de la spatialisation mettent en évidence une ressource en géothermie sur nappe superficielle peu favorable sur la majorité de l'île, tant pour la période estivale (89%) que celle hivernale (78%). Les zones présentant des ressources favorables à la géothermie sont plus importantes en hiver (14,4%) qu'en été (3,3%).

Cette distribution des classes de la ressource géothermique est principalement causée par de trop faibles débits d'exploitation. Pour la saison estivale, la ressource est encore moins favorable puisque la température des eaux est supérieure à 20°C, restreignant ainsi les possibilités de recours à la géothermie pour la production de froid via géocooling. Néanmoins en période hivernale, les hautes températures facilitent le chauffage, favorisant ainsi le recours à la géothermie.

Dans la seconde phase de l'étude, le taux d'adéquation entre les capacités de la ressource géothermale sur aquifère superficiel et les besoins thermiques en surface (chauffage + eau chaude sanitaire) a été déterminé de manière cartographique sur cinq zones spécifiques :

- Communauté d'agglomération de Bastia ;
- Communauté d'agglomération du Pays Ajaccien ;
- Communauté de communes de Calvi Balagne ;
- Communauté de communes du Centre Corse ;
- la Plaine orientale.

Le choix de ces territoires qui couvrent 20% de la superficie corse et qui regroupent plus de la moitié population de l'île, a été fixé par le comité de pilotage de l'étude au regard de la densité des besoins thermiques et l'aspect relativement favorable de la ressource dans ces zones (particulièrement pour Ajaccio et Bastia).

Hormis la Plaine orientale, les résultats de ce croisement montrent que le potentiel géothermique de ces territoires est relativement faible notamment pour les zones d'Ajaccio et de Corte où le taux de couverture du chauffage et de l'ECS par géothermie ne dépasse guère 10% dans le meilleur des cas.

Le tableau suivant présente le taux de couverture maximal des besoins thermiques (chauffage + ECS) par géothermie sur aquifère superficiel au niveau des zones étudiées.

Zone de croisement	Potentiel géothermique (%)
Communauté d'agglomération de Bastia	11
Communauté d'agglomération du Pays Ajaccien	6
Communauté de communes de Calvi Balagne	21
Communauté de communes du Centre Corse	9
La Plaine orientale	54

Suite à ce projet, une journée de sensibilisation à la géothermie en Corse a été organisée le 4 juin 2015 à Porticcio, en partenariat entre l'ADEME, la CTC, EDF, l'AFPG et le BRGM pour partager une connaissance commune sur les différentes filières de la géothermie, le montage de projets... et créer une dynamique en faveur de la géothermie en Corse en tenant compte de ses spécificités locales.

Le projet a pu donc apporter dans son ensemble une perception de la ressource géothermale sur nappe superficielle en Corse. Cette ressource, bien que ses capacités géothermales soient faibles, met en évidence la présence de conditions physiques adéquates au développement géothermique. Il faudra pour cela réaliser un choix précis sur le bâti concerné notamment dans les zones à fortes densités. De plus, pour optimiser le potentiel géothermique des zones peu favorables, il faudra privilégier le recours aux sondes géothermiques horizontales/ verticales.

Il est à noter que le manque d'informations et de bases de données disposant de plus de précisions sur le bâti corse n'a pas permis de d'envisager des scénarios d'aménagements types et d'établir un plan d'actions pour accélérer l'intégration de la géothermie très basse énergie en Corse.

Ces éléments pourront être approfondis dans le cadre d'un futur programme d'étude.

12. Bibliographie

M. Analy, Y. Husson (2013). - Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie. Tome 3 : Étude du potentiel de développement de la géothermie en région Picardie. Rapport final. BRGM/RP-62381-FR. 83 p., 24 ill., 3 ann.

Y. Caballero, R. Wyns, J.-M. Miehé et al (2007). - Estimation de la réserve en eau souterraine participant au soutien d'étiage des rivières dans le socle granitique de Corse. Application au bassin versant du haut-Rizzanese. Rapport final. BRGM/RP-55121-FR. 106 p., 65 ill., 1 ann.

M. Genevier, V. Mardhel, N. Frissant, coll. G. Bodéré (2011). – Actualisation de la synthèse hydrogéologique de la région Corse. Rapport final. BRGM/RP-59924-FR. 99 p., 18 ill., 6 ann.

S. Caritg et al. (2009). - Carte géologique harmonisée du département de la Haute-Corse. BRGM/RP-57748-FR. 483 p., 28 fig., 2 tab ; 3 pl. hors texte.

S. Caritg et al. (2009). - Carte géologique harmonisée du département de la Corse-du-Sud. BRGM/RP-57749-FR. 292 p., 16 fig., 2 tab ; 3 pl. hors texte.

D. Maton, M. Analy, P. Durst, O. Goyeneche, P. Herniot, C. Zammit, R. Pissy Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie, Tome 1 : Méthodologie et conception de l'Atlas, Tome 2 : Etat des lieux et perspectives de développement de la filière géothermie. Rapport final. BRGM/RP-61365-FR. 2 vol., 210 p., 7 ann., 2 CD.

J. Picot, K. Pira, B. Bourguine, P. Herniot. (2011) - Atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Nord-Pas de Calais - Tome 1 : Généralités et aide à la géothermie, Tome 2 : Méthodologie et conception de l'Atlas - Rapport final. BRGM/RP-60244-FR. 2 tomes, 274 p., 90 fig., 19 tab., 10 ann.

A. Poux, O. Goyeneche, M. Le brun, J.-C. Martin, S. Noel, C. Zammit, D. Salquebre (2011) Prospectives de développement de la géothermie en région Centre (GEOPOREC). Rapport final. BRGM/RP-60336-FR. 97 p., 28 ill., 4 ann.

Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de la Corse (2013).

Wyns R., Baltassat J.-M., Lachassagne P., Legchenko A., Vairon J., Mathieu F. (2004). “ Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France)”. Bull. Soc. Geol. FR. 175 (1), pp 21 – 34.

www.corse.fr

www.corse.ademe.fr

Annexe 1

Méthodes d'interpolation de profondeur de la nappe pour les aquifères alluviaux

Aquifère	N données	Méthode d'interpolation
Alluvions quaternaires de Tollare	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de Meria	4	Moyenne
Alluvions quaternaires du Luri	10	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de Pietracorbara	14	krigeage
Alluvions quaternaires du Sisco	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de la plaine alluviale de la Marana-Casinca	107	krigeage
Alluvions quaternaires du Petrignani	4	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Bucatoggio	5	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de l'Alesani	6	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Bravona	12	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Tavignano	11	IDW
Alluvions quaternaires du Fium'Orbo et de l'Abatesco	28	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Travo	39	krigeage
Alluvions quaternaires de la Solenzara	3	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de Tarco	5	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Cavo	9	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de l'Oso	7	IDW
Alluvions quaternaires de Stabiacco-Pietroso	13	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de la Plaine de Figari	0	N/A
Aquifère	N données	Méthode d'interpolation
Alluvions quaternaires du Rizzanese	18	krigeage

Alluvions quaternaires du Baracci	13	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Taravo	11	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de la Gravone et du Prunelli	31	krigeage
Alluvions quaternaires de la Liscia	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Liamone	20	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de Sagone	6	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Chiuni	12	krigeage
Alluvions quaternaires de Bussaglia	3	séparation de l'aquifère
Alluvions quaternaires de Tuara	0	N/A
Alluvions quaternaires de Girolata	6	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Fango	3	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Fiume Secco et du Figarella	36	krigeage
Alluvions quaternaires de l'Algajola	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires du Régino	8	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de l'Ostriconi	5	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de l'Aliso et du Poggio	21	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires de la Strutta	6	krigeage
Alluvions quaternaires du Fium'Albinu	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
Alluvions quaternaires Asco-Golo	4	attribution de la classe à tout l'aquifère

Annexe 2

Méthodes d'interpolation des températures de l'eau

Libellé entité	Aquifère	DONNÉES HIVERNALES		DONNÉES ESTIVALES	
		Nombre de données	Méthode d'interpolation	Nombre de données	Méthode d'interpolation
Aquifères alluvionnaires récents	606AA001	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA002	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA003	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA004	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA005	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA006	11	krigeage	5	krigeage des données du réseau de suivi
	606AA007	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA008	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA009	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA010	3	attribution de la classe du réseau à tout l'aquifère	3	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA011	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	0	N/A
	606AA012	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA013	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	6	moyenne
	606AA014	3	attribution de la classe à tout l'aquifère	3	attribution de la classe du réseau de suivi à tout l'aquifère
	606AA015	2	attribution de la classe à tout l'aquifère	2	IDW
	606AA016	0	N/A	0	N/A
	606AA017	0	N/A	0	N/A
	606AA018	0	N/A	0	N/A
	606AA019	0	N/A	0	N/A
	606AA020	6	attribution de la classe à tout l'aquifère	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA021	5	moyenne	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA022	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	0	N/A
	606AA023	8	attribution de la classe à tout l'aquifère	0	N/A
	606AA024	0	N/A	0	N/A
	606AA025	8	moyenne	0	N/A
	606AA026	0	N/A	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA027	2	attribution de la classe du réseau à tout l'aquifère	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA028	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA029	0	N/A	0	N/A
	606AA030	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA031	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	2	attribution de la classe du réseau de suivi à tout l'aquifère
	606AA032	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère; autre = inconnu
	606AA033	0	N/A	0	N/A

	606AA034	0	N/A	0	N/A
	606AA035	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA036	3	moyenne	2	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA037	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
	606AA038	0	N/A	0	N/A
	606AA039	0	N/A	1	attribution de la classe à tout l'aquifère
Aquifères du socle granitique	602AA	7	attribution de la classe à tout l'aquifère	11	IDW
	602AB	5	krigeage	10	krigeage
	602AC	9	krigeage	13	krigeage
	602AD	5	IDW	15	Krigeage
	602AE	4	IDW	3	moyenne
Formations métamorphiques	604AA	0	N/A	0	N/A
	604AB	26	krigeage	50	krigeage
	604AC	17	krigeage	45	krigeage
	600AA	5	IDW	9	krigeage
	600AE001	1	attribution de la classe à tout l'aquifère	2	attribution de la classe à l'aquifère
	600AE004	0	N/A	1	attribution de la classe à l'aquifère
	600AE007	3	attribution de la classe à tout l'aquifère	0	N/A
	600AE013	0	N/A	9	krigeage



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction Régionale Corse

Zoning Industriel Furiani

20600 – Bastia – France

Tél. : 04 95 58 04 33