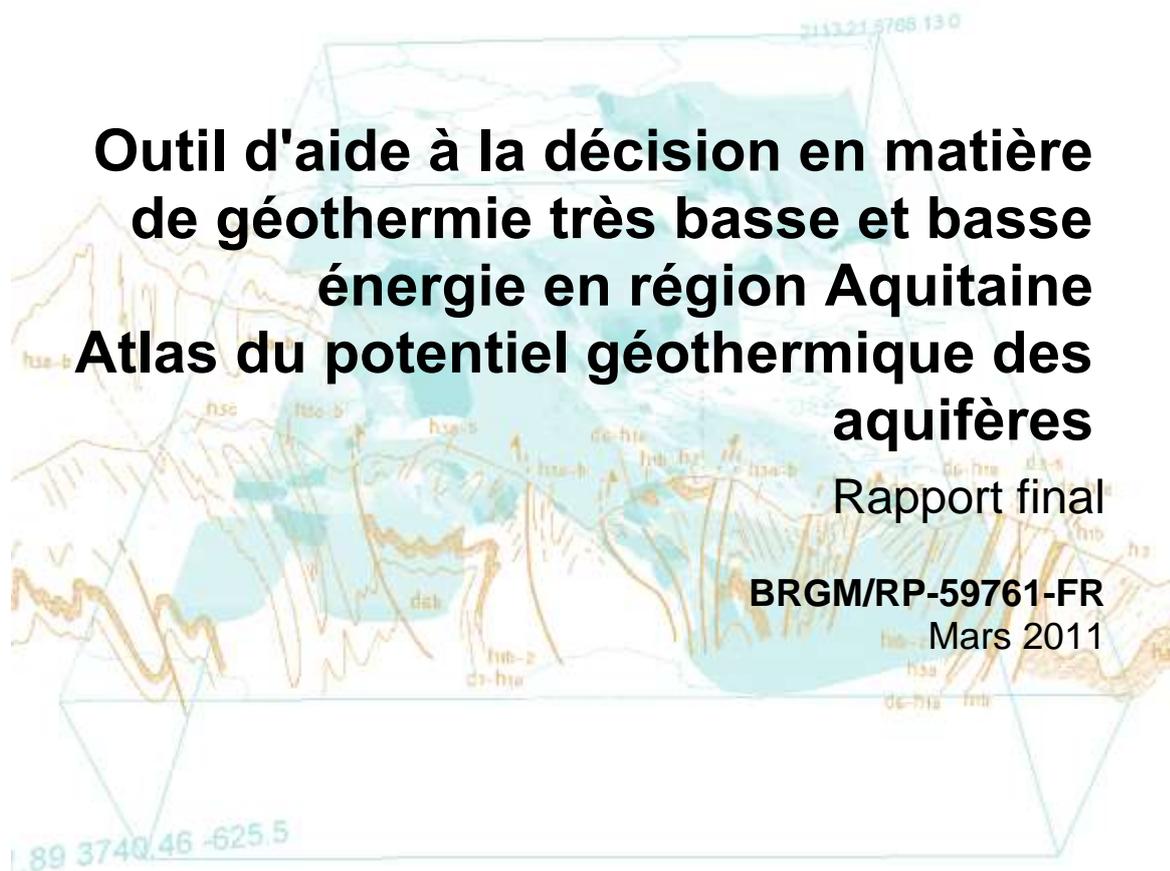


Document public



Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie en région Aquitaine Atlas du potentiel géothermique des aquifères

Rapport final

BRGM/RP-59761-FR

Mars 2011



Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie en région Aquitaine Atlas du potentiel géothermique des aquifères

Rapport final

BRGM/RP-59761-FR

Mars 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 05EAUF08

P. Durst, B. Ayache, M. Saltel, A. Abou Akar
avec la collaboration de
JP. Platel

Vérificateur : J.C. MARTIN

Approbateur : N. LENÔTRE

En l'absence de signature, et pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.



Mots clés : Géothermie, Atlas, Aquifères, Potentiel, Très basse énergie, Basse énergie, Aquitaine

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

Durst P., Ayache B., Saltel M., Abou Akar A. avec la collaboration de Platel J.P. (2011). Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie en région Aquitaine - Atlas du potentiel géothermique des aquifères - Rapport final. BRGM/RP-59761-FR. 175 p., 87 fig., 11 ann.

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre du développement des énergies renouvelables, le Conseil régional d'Aquitaine, l'ADEME (Agence de l'Environnement et la Maitrise de l'Énergie) et le BRGM avec le concours financier du FEDER (Fonds européen de développement régional), ont décidé de réaliser un outil d'aide à la décision permettant de déterminer, l'exploitabilité des aquifères pour alimenter une installation géothermique très basse énergie type pompe à chaleur eau - eau ou basse énergie type échange direct. Cet outil, constitué d'un Atlas du potentiel géothermique des aquifères, a été mis en ligne sur un site dédié à la géothermie.

Ce rapport présente le contenu de cet Atlas, avec tout d'abord un aperçu des différentes techniques d'exploitation de l'énergie géothermique ainsi qu'un volet sur la réglementation en cours concernant l'exploitation d'une telle ressource. Suit un chapitre présentant le contexte régional de l'Aquitaine avec une synthèse du contexte géologique et hydrogéologique et un bilan des réalisations existantes dans la région.

Enfin, la réalisation de l'atlas est décrite avec ses principales étapes :

- Recueil des données,
- Établissement des cartes monocritères,
- Analyse multicritère Cartes d'exploitabilité,
- Principe de diffusion des données en ligne.

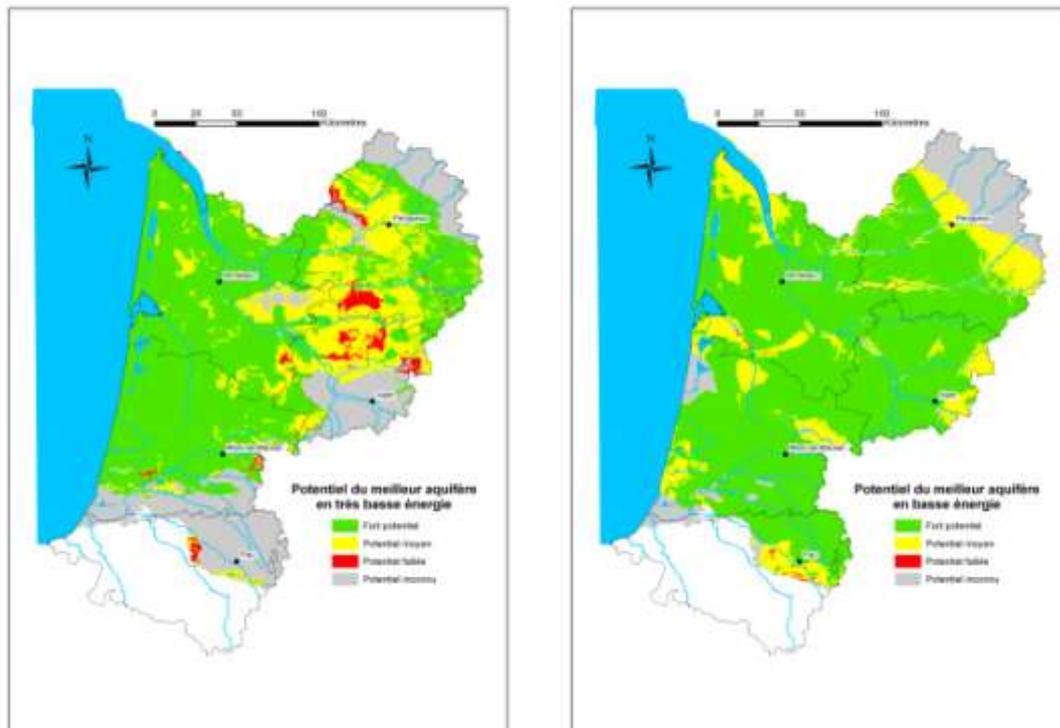
L'évaluation du potentiel géothermique très basse énergie (aquifères superficiels) et basse énergie (aquifères plus profonds) en Région Aquitaine a été réalisée sur la base de données existantes, notamment celles issues des modèles hydrodynamiques et géologiques, de la Banque du Sous-Sol (BSS), de la banque d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES) et du référentiel hydrogéologique dans sa version 2 (BD-LISA). Suite à un important travail d'identification, de collecte et de traitement des données disponibles, celles-ci ont été intégrées dans un Système d'Informations Géographiques (SIG) pour permettre leur visualisation et leur traitement.

L'atlas permet d'afficher en tout point du territoire de la région Aquitaine (lorsque les données disponibles le permettent) le potentiel géothermique des aquifères en vue d'une utilisation très basse énergie ou basse énergie. Il est accessible sur le site institutionnel ADEME-BRGM dédié à la géothermie <http://www.geothermie-perspectives.fr/>, dans l'onglet « la géothermie en région ».

Des informations complémentaires d'ordre hydrogéologique (aquifère concerné, gamme de débits exploitables, profondeur de l'aquifère, température), hydrochimique (lorsqu'elles peuvent perturber l'exploitation) ou règlementaire (présence d'un forage d'alimentation en eau potable captant le même aquifère à proximité) sont également fournies pour chaque maille d'interrogation (de taille 500 m x 500 m).

L'atlas constitue ainsi une aide à la décision pour déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie lors d'un choix énergétique. Cependant, l'échelle de réalisation étant régionale, il ne peut et ne doit se substituer à une étude de faisabilité réalisée à l'échelle de la parcelle par des bureaux d'études compétents.

A l'échelle de l'Aquitaine, le potentiel, tant en très basse qu'en basse énergie, est important puisque 50 % de la surface de la région présente un fort potentiel très basse énergie et 68 %, un fort potentiel basse énergie.



Sommaire

1. Introduction.....	13
2. Présentation de la géothermie.....	15
2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE	15
2.2. DIFFERENTES RESSOURCES GEOTHERMALES	15
2.3. DIFFERENTS TYPES DE GÉOTHERMIE.....	16
2.3.1. Géothermie moyenne et haute énergie	16
2.3.2. Géothermie basse énergie	16
2.3.3. Géothermie très basse énergie	16
2.4. DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES D'EXPLOITATION GÉOTHERMIQUE	17
2.4.1. Echange direct de chaleur	17
2.4.2. Pompe à chaleur (PAC) - Principes de fonctionnement.....	20
2.4.3. Pompe à chaleur sur aquifère	23
2.4.4. Pompe à chaleur sur le sous-sol	26
2.4.5. Installations mixtes.....	28
2.4.6. Installations terminales de chauffage	30
2.4.7. La géothermie très basse énergie (TBE) - Plusieurs technologies adaptées aux besoins	31
2.4.8. Surveillance et maintenance des installations	36
2.5. LA PRODUCTION GEOTHERMIQUE DANS LE MONDE, EN EUROPE ET EN FRANCE	39
2.5.1. Production mondiale de chaleur géothermique	39
2.5.2. Production de chaleur géothermique européenne	40
2.5.3. Production de chaleur géothermique française	41
2.5.4. Enjeux de la géothermie en France, dans les domaines des économies d'énergie, de l'environnement et du développement durable.....	42
2.5.5. Perspectives de développement de la géothermie en France	45
2.5.6. Aperçu des objectifs énergétiques mondiaux, européens, nationaux et locaux pour limiter l'émission de gaz à effet de serre	47
2.6. PRINCIPAUX MÉCANISMES D'ACCOMPAGNEMENT ET PROCEDURES INCITATIVES POUR LE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE	52

2.6.1. Mesures de garanties contre le risque géologique	52
2.6.2. Démarche qualité pour les sondes géothermiques verticales : Qualiforage	54
2.6.3. Les aides financières.....	56
2.6.4. Conclusions	63
2.7. CONTEXTE REGLEMENTAIRE DE LA GEOTHERMIE	64
2.7.1. Le code minier.....	64
2.7.2. Le code de l'Environnement.....	67
2.7.3. Le code de la Santé Publique.....	73
2.7.4. Le code Général des Collectivités Territoriales.....	73
2.7.5. Evolutions en cours	74
3. La géothermie en Aquitaine.....	75
3.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE	75
3.1.1. Généralités et géodynamique.....	75
3.1.2. Types de réservoirs.....	78
3.1.3. Réservoirs du Plio-Quaternaire	79
3.1.4. Généralités sur les réservoirs du Tertiaire	80
3.1.5. Aquifères du Miocène.....	81
3.1.6. Aquifères de l'Oligocène.....	84
3.1.7. Aquifères de l'Éocène	88
3.1.8. Aquifère du Paleocène	90
3.1.9. Généralités sur les réservoirs du Crétacé supérieur	91
3.1.10. Aquifère du Campanien supérieur - Maastrichtien	94
3.1.11. Aquifères du Coniacien-Santonien.....	96
3.1.12. Aquifère du Turonien	99
3.1.13. Aquifère du Cénomaniens	102
3.1.14. Aquifères du Crétacé inférieur	105
3.1.15. Généralités sur les réservoirs du Jurassique	107
3.1.16. Aquifères du Tithonien.....	109
3.1.17. Aquifère du Kimméridgien.....	113
3.1.18. Aquifères du Bathonien-Calovo-Oxfordien	116
3.1.19. Aquifère du Bajocien.....	118

3.2. LES OPÉRATIONS DE GÉOTHERMIE CONNUES EN AQUITAINE	120
4. Atlas du potentiel géothermique basse et très basse énergie des aquifères de l'Aquitaine	123
4.1. PRINCIPE GÉNÉRAL DE CONCEPTION	123
4.1.1. Méthodologie générale.....	123
4.1.2. Critères de potentialité géothermique.....	123
4.1.3. Détermination de l'étendue des aquifères concernés	125
4.1.4. Cartographie du potentiel géothermique	135
4.2. CARTOGRAPHIE DES DIFFERENTS CRITÈRES DE POTENTIALITÉ GÉOTHERMIQUE	138
4.2.1. Profondeur d'accès à la ressource	138
4.2.2. Productivité des aquifères	141
4.2.3. Température de la ressource	144
4.3. EVALUATION DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE : PONDERATION DES DIFFERENTS CRITERES	146
4.4. CRITÈRES SUPPLÉMENTAIRES.....	148
4.4.1. Qualité chimique des eaux.....	148
4.4.2. Proximité d'un ouvrage servant à l'alimentation en eau potable	149
4.4.3. Localisation des forages pétroliers éventuellement réutilisables	150
5. Diffusion des résultats - Mise en ligne	151
5.1. CRÉATION D'UNE GRILLE COUVRANT L'ENSEMBLE DE LA RÉGION AQUITAINE	151
5.2. MISE EN LIGNE DES DONNÉES SUR LE SITE GÉOTHERMIE PERSPECTIVES.....	157
5.2.1. Données générales du site.....	157
5.2.2. Outil de consultation à l'échelle de l'Aquitaine.....	158
6. Limites d'utilisation des données, avertissements	163
7. Conclusions	165
8. Bibliographie.....	167

Liste des illustrations

Figure 1 : Principe de l'échange direct de chaleur - Source : d'après BRGM im@gé.	17
Figure 2 : Dispositifs de pompage - Source : BRGM im@gé.	18
Figure 3 : Doublets géothermiques avec différentes technologies de forage - Source BRGM im@gé.	20
Figure 4 : Evolution du COPréel en fonction de la température d'évaporation (Te) et de la température de condensation à la source chaude (Tc)	21
Figure 5 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur à compression (source : Guide technique sur les pompes à chaleur géothermiques sur aquifère – ADEME, ARENE, BRGM mars 2008).	22
Figure 6 : Schémas de principe d'une pompe à chaleur sur eau de nappe	24
Figure 7 : Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur sondes géothermiques	26
Figure 8 : Schéma d'un champ de sondes géothermiques.....	27
Figure 9 : Schéma de principe du fonctionnement de la PAC réversible avec un puits de production.....	28
Figure 10 : Schéma de principe du fonctionnement de la PAC réversible avec deux puits de production.	29
Figure 11 : Schéma de principe du fonctionnement d'une thermofrigopompe.	30
Figure 12 : Solution de capteur horizontal et de capteur vertical	32
Figure 13 : Représentations de pieux géothermiques	33
Figure 14 : Opération de stockage souterrain	34
Figure 15 : Schéma d'une installation de réseau de chaleur urbain géothermique (tel qu'existant en région parisienne)	35
Figure 16 : Caractéristiques des principaux types d'échangeurs géothermiques très basse énergie	37
Figure 17 : Les usages de la chaleur géothermique dans le monde (Source : Word Geothermal Congress, 2010)	39
Figure 18 : Utilisation directe de la chaleur géothermique (hors pompes à chaleur) dans les pays de l'Union Européenne) en 2008 (source : Etat des énergies renouvelables en Europe, édition 2009, 9ème bilan EurObserv'ER).....	40
Figure 19 : Principaux marchés de pompes à chaleur géothermique dans les pays de l'Union européenne (en nombres d'unités installés en 2007 et 2008 (estimations)	41
Figure 20 : Marché français des Pompes à Chaleur (Données AFPAC, 2010).....	42

Figure 21 : Evolution de la consommation finale énergétique nationale par secteur (source : « Observatoire de l'énergie : l'énergie en France - repères Edition 2007 »)	43
Figure 22 : Consommation en énergie finale par usage des résidences principales en 2002 (d'après « Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment »), IC = Immeubles collectifs, MI = Maison Individuelles	43
Figure 23 : Répartition de la chaleur renouvelable et supplément à acquérir d'ici 2012 et 2020.....	45
Figure 24 : Objectifs de production de chaleur renouvelable d'origine géothermique en ktep (source : COMOP 10)	46
Figure 25 : Objectifs de développement de la production de chaleur d'origine géothermique en France.....	47
Figure 26 : Faits marquants de la politique mondiale et européenne en matière de réduction des gaz à effet de serre.....	48
Figure 27 : Sinistres garantis par le fond de garantie Long Terme	54
Figure 28 : Vue en 3D du bassin d'Aquitaine (source : BRGM, 1986)	76
Figure 29 : Coupe nord-sud du bassin d'Aquitaine, le long du littoral (source : Serrano et al., 2006)	77
Figure 30 : Extension et géométrie schématiques du toit (en isohypses) des réservoirs du Miocène (d'après Allard, 1981)	83
Figure 31: Coupe synthétique des réservoirs oligocènes en région bordelaise (d'après Platel et al., 2000).	85
Figure 32 : Extension des formations réservoirs de l'Oligocène et de l'Eocène dans le secteur nord des Landes (d'après Platel et Dubreuilh, 1991).....	86
Figure 33 : Superposition des réservoirs calcaires de l'Oligocène et de l'Eocène dans le secteur nord des Landes (d'après Platel et Dubreuilh, 1991).....	87
Figure 34 : Superposition des réservoirs multicouches de l'Eocène moyen dans Bordelais.	89
Figure 35 : Coupe lithostratigraphique des formations du Crétacé du Périgord Noir (Dordogne) et de Lot-et-Garonne	93
Figure 36 : Formations réservoirs et épontes dans la série du Crétacé supérieur du forage Landes de Siougos 1 (d'après Serrano, 2001)	98
Figure 37 : Coupe géologique des réservoirs Turonien et Cénomaniens sous l'agglomération de Bordeaux (d'après Platel et al., 2008).	100
Figure 38 : Coupe du réservoir Cénomaniens - Turonien sous Bordeaux - sondage de Mériadeck - 08036X0948 (d'après Platel et al., 2008)	103
Figure 39 : Coupe lithostratigraphique des formations du Jurassique moyen et supérieur du Quercy	108

Figure 40 : Faciès et porosité de la Dolomie de Mano du Tithonien carottée à 1 148 m de profondeur dans le sondage d'exploration Trensacq 1	110
Figure 41 : Coupes des réservoirs du Tithonien dans le sous-bassin de l'Adour et de Mirande : à gauche dans le secteur de Vicq-Bilh et à droite dans celui de Castéra-Lou (SNEA.P, 1979 in Serrano et al., 2006)	111
Figure 42 : Extension de la Dolomie de Mano dans les sous-bassins de Parentis et de l'Adour-Mirande (BRGM et al., 1974).....	112
Figure 43 : Puissance de l'aquifère du Kimméridgien.....	115
Figure 44 : Puissance du réservoir du Bathonien-Callovien-Oxfordien sur la région nord-aquitaine	117
Figure 45 : Puissance du réservoir du Bajocien sur la région nord-aquitaine.	119
Figure 46 : Localisation des réalisations remarquables en Aquitaine.	121
Figure 47 : Forages captant l'aquifère Cenomano-Turonien au droit de la CUB.....	122
Figure 48 : Principe de l'élaboration des cartes du potentiel géothermique régional.....	124
Figure 49 : Extension des aquifères du Plio-Quaternaire.	125
Figure 50 : Extension de l'aquifère du Langhien-Serravalien.	126
Figure 51 : Extension de l'aquifère de l'Aquitain-Burdigalien.....	126
Figure 52 : Extension de l'Aquifère de l'Oligocène.	127
Figure 53 : Extension de l'aquifère de l'Eocène supérieur.....	127
Figure 54 : Extension des aquifères de l'Eocène moyen Nord-Aquitain et des Sables Infra-Molassiques.....	128
Figure 55 : Extension des aquifères de l'Eocène inférieur Nord-Aquitain et de l'Eocène basal Sud-Aquitain.	128
Figure 56 : Extension de l'aquifère du Paléocène	129
Figure 57 : Extension de l'aquifère du Campanien-Maastrichtien.....	129
Figure 58 : Extension de l'aquifère du Coniacien-Santonien.	130
Figure 59 : Extension de l'aquifère du Turonien Nord-Aquitain.....	130
Figure 60 : Extension de l'aquifère du Cénomanién Nord-Aquitain.	131
Figure 61 : Extension de l'aquifère du Tithonien.	131
Figure 62 : Extension de l'aquifère du Kimméridgien.	132
Figure 63 : Extension de l'aquifère du Bathonien-Callovien-Oxfordien.	132
Figure 64 : Extension de l'aquifère du Bajocien.	133
Figure 65 : Extension de l'ensemble des aquifères concernés.....	133
Figure 66 : Empilement des 16 couches aquifères prises en compte dans l'atlas.	134

Figure 67 : Principe de la spatialisation des données (source ArcGis Desktop).	136
Figure 68 : Principe de l'analyse multicritères.	137
Figure 69 : Schéma explicitant les différents régimes de nappe (source BRGM).	138
Figure 70 : Extension de l'emprise des trois modèles utilisés.....	140
Figure 71 : Relation transmissivité / débit spécifique.....	142
Figure 72 : Nombre de points de mesure de température par aquifère et nombre total de mesures.	144
Figure 73 : Points de mesure de température du Cénomaniens et gradient géothermique, avant correction (à gauche) et après (à droite).	146
Figure 74 : Critère de classification des potentialités géothermiques des aquifères.....	147
Figure 75 : Zones présentant des caractéristiques chimiques potentiellement défavorables dans l'Eocène moyen.	149
Figure 76 : Localisation des forages pétroliers.	150
Figure 77 : Potentiel du meilleur aquifère en très basse et basse énergie.....	152
Figure 78 : Pourcentage de surface pour chaque potentiel, par couche.....	153
Figure 79 : Exemple des effets de profondeur trop élevée (TBE) et de température trop faible (BE).....	154
Figure 80 : Exemple d'effet du traitement multicritères.....	155
Figure 81 : Exemple de l'effet de la topographie sur le caractère artésien d'un aquifère, causant une baisse du potentiel basse énergie.....	156
Figure 82 : Page d'accueil du site geothermie-perspectives.	157
Figure 83 : Fenêtre d'accueil de l'espace régional Aquitaine.	158
Figure 84 : Fenêtre d'interrogation de l'outil via la carte régionale.	159
Figure 85 : Fenêtre de recherche par commune.	159
Figure 86 : Fenêtre cartographique à l'échelle communale.....	160
Figure 87 : Fiche de renseignements fournie pour une maille contenant un potentiel aquifère.	161

Liste des annexes

Annexe 1 Procédure AQUAPAC	171
Annexe 2 Aides pour les opérations de rénovation	177
Annexe 3 Fiche-type d'opérations standardisées concernant la géothermie (Annexe 1 de l'arrêté du 28 juin 2010)	183
Annexe 4 Régimes juridiques applicables à la géothermie sur nappe : code minier et code de l'environnement	193
Annexe 5 Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement (Titres 1 et 5).....	197
Annexe 6 Fiche de déclaration en mairie des prélèvements, puits et forages réalisés à des fins domestiques	203
Annexe 7 Fiches des opérations remarquables en Aquitaine	207
Annexe 8 Cartes des critères de potentialité géothermique par aquifère.....	255
Annexe 9 Cartes des potentialités géothermiques par aquifère.....	353
Annexe 10 Cartes des potentialités géothermiques de l'Aquitaine	413
Annexe 11 Glossaire et échelle des temps simplifiée.....	425

1. Introduction

Dans le cadre du développement des énergies renouvelables, le Conseil Régional d'Aquitaine, l'ADEME (Agence de la Maîtrise de l'Énergie) et le BRGM, avec le concours financier du FEDER (Fonds Européen de Développement Régional), ont décidé de réaliser un outil d'aide à la décision permettant de déterminer, l'exploitabilité locale des aquifères pour alimenter une installation géothermique très basse énergie et basse énergie type pompe à chaleur eau - eau.

L'outil sera présenté sous la forme d'un atlas des ressources en eau souterraine pouvant être exploitées en géothermie très basse énergie. Il sera interrogeable sous la forme d'un SIG qui au choix de la Région sera disponible sur Internet (site ADEME - BRGM sur la géothermie <http://www.geothermie-perspectives.fr/> ou/et site régional à définir selon les besoins).

L'exploitation de l'outil permettra de juger de la pertinence d'apporter un soutien, à une collectivité ou à des professionnels, pour prendre une décision argumentée lors d'un choix énergétique. Il permettra en outre au BRGM et à l'ADEME de répondre aux questions de tout maître d'ouvrage potentiel en fournissant une première estimation du potentiel géothermique en un lieu donné. L'outil permettra par ailleurs de répondre à l'un des objectifs prioritaires du Conseil Régional d'Aquitaine qui est de disposer des informations suffisantes pour sélectionner parmi les lycées des cinq départements, ceux qui sont susceptibles de bénéficier d'une ressource géothermique valorisable.

Ce rapport présente d'abord un aperçu des différentes techniques d'exploitation de l'énergie géothermique ainsi qu'un volet sur la réglementation en cours concernant l'exploitation d'une telle ressource. Suit un chapitre traitant de la situation en Aquitaine avec une synthèse du contexte géologique et hydrogéologique et un bilan des réalisations existantes dans la région.

Enfin, la réalisation de l'atlas est décrite avec ses principales étapes :

- Recueil des données ;
- Établissement des cartes monocritères ;
- Analyse multicritère - Cartes d'exploitabilité ;
- Principe de diffusion des données en ligne.

2. Présentation de la géothermie

2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE

La géothermie se définit comme l'exploitation de la chaleur stockée dans l'écorce terrestre et ayant pour origine à la fois le refroidissement du noyau terrestre et surtout la désintégration naturelle des éléments radioactifs contenus dans les roches profondes¹. L'énergie géothermique est présente partout à la surface du globe ; elle se manifeste par le gradient géothermique (élévation de la température avec la profondeur) qui est en moyenne de 3,3°C par 100 m à l'échelle de la Terre. Ce gradient géothermique provient du flux géothermique égal en moyenne à 60 mW/m². Des variations locales de gradient géothermique sont néanmoins observées ; elles sont reliées à l'âge des formations géologiques et à leur composition.

L'énergie géothermique peut être utilisée pour le chauffage, la climatisation, ou la production d'électricité par le biais de différentes technologies. La possibilité de mettre en œuvre chacune de ces technologies dépend du contexte géologique et hydrogéologique local.

2.2. DIFFERENTES RESSOURCES GEOTHERMALES

Dans le cas de l'utilisation de géothermie pour la production de chaleur, un système géothermal est constitué d'une source de chaleur, associée à un dispositif de prélèvement de chaleur permettant son transfert pour utilisation. La source de chaleur est caractérisée, d'une part par son niveau de température (en °C) et par la nature et les caractéristiques du milieu concerné.

La température dépend de la profondeur et du gradient géothermique local. En ce qui concerne le milieu souterrain où l'on envisage de prélever de la chaleur, il peut être constitué de roches perméables ou imperméables, compactes, poreuses ou fissurées.

Lorsque les formations géologiques sont suffisamment poreuses et/ou fissurées et gorgées d'eau, elles sont dites « aquifères » ou « nappes d'eau souterraine » ou désignées comme « réservoirs ». Les caractéristiques physiques de ces aquifères permettent le prélèvement de l'eau en quantité suffisante par captage.

Les formations aquifères se rencontrent dans des couches géologiques sédimentaires (craie, calcaire, sable, ...), cristallines ou volcaniques.

Sont distingués ensuite les aquifères superficiels des aquifères profonds. Les aquifères profonds se trouvent, dans les bassins sédimentaires, au-delà d'une centaine de mètres et peuvent atteindre pour certains des profondeurs dépassant 2 000 m.

¹ Varet J., 1982 – Géothermie basse énergie : usage direct de la chaleur. Masson.

Les principaux bassins sédimentaires français sont le Bassin parisien et le Bassin aquitain mais on trouve également d'autres bassins ou fossés d'effondrement de taille plus modeste : Alsace, Couloir rhodanien, Bresse, Limagne, Hainaut, etc.

2.3. DIFFERENTS TYPES DE GÉOTHERMIE

On distingue généralement : la géothermie très basse énergie, la géothermie basse énergie, la géothermie moyenne énergie, et la géothermie haute énergie.

2.3.1. Géothermie moyenne et haute énergie

Ces types d'énergie géothermique correspondent à l'utilisation des ressources thermiques (eau et vapeur) dont la température est comprise entre 90 et 150°C (moyenne énergie) ou supérieure à 150°C (haute énergie). Ces ressources sont utilisées directement ou indirectement pour la production d'électricité et sont localisées à proximité des grands arcs volcaniques ou des zones à fort gradient géothermique.

Du fait de son contexte géologique, l'Aquitaine n'est pas concernée par ces types de géothermie, le gradient géothermique y étant égal au gradient moyen soit 3,3°C pour 100 m. En effet pour ce gradient, il faut descendre au-delà de 3 000 m de profondeur pour espérer atteindre une température de 100°C.

2.3.2. Géothermie basse énergie

La géothermie basse énergie correspond à l'utilisation des ressources thermiques dont la température est comprise entre 30 et 90°C. Ces ressources sont exploitables de plusieurs manières, en fonction de la température de la ressource : soit par échange direct de chaleur, soit par l'intermédiaire d'une **Pompe à Chaleur (PAC)**.

Ce type d'énergie géothermique est surtout localisé dans les bassins sédimentaires tels le Bassin parisien ou le Bassin aquitain, en présence d'un aquifère offrant une perméabilité satisfaisante et une température acceptable.

2.3.3. Géothermie très basse énergie

La géothermie très basse énergie correspond à l'utilisation des ressources thermiques dont la température est inférieure à 30°C. A cette température, la ressource ne peut généralement pas être exploitée par un simple échangeur de chaleur. Elle nécessite donc la mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) (cf. paragraphe 2.4.2) qui prélève l'énergie de la source de chaleur à basse température (roche, nappe aquifère) pour augmenter la température d'un fluide secondaire jusqu'à une température compatible avec l'usage.

La ressource géothermique de très basse énergie correspond à l'énergie naturellement présente dans le proche sous-sol, ou dans les aquifères peu profonds.

2.4. DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES D'EXPLOITATION GÉOTHERMIQUE

Selon la température de la ressource et l'existence ou pas d'un aquifère au droit du site visé, plusieurs technologies d'exploitation sont envisageables : les technologies par échange de chaleur direct ou assistées par PAC, par prélèvement sur nappes ou par échange sur sous-sol.

Pour les dispositifs équipés de PAC, selon les besoins, il est possible de fournir du chaud, du froid ou les deux alternativement ou simultanément.

Enfin, quelle que soit la technologie utilisée pour produire de la chaleur ou du rafraîchissement, les dispositifs terminaux doivent être compatibles avec le niveau de température de la chaleur fournie.

2.4.1. Echange direct de chaleur

Les installations fonctionnant par échange direct de chaleur utilisent les eaux géothermales et s'intéressent donc aux nappes d'eau souterraine dont la température est naturellement élevée (géothermie basse énergie).

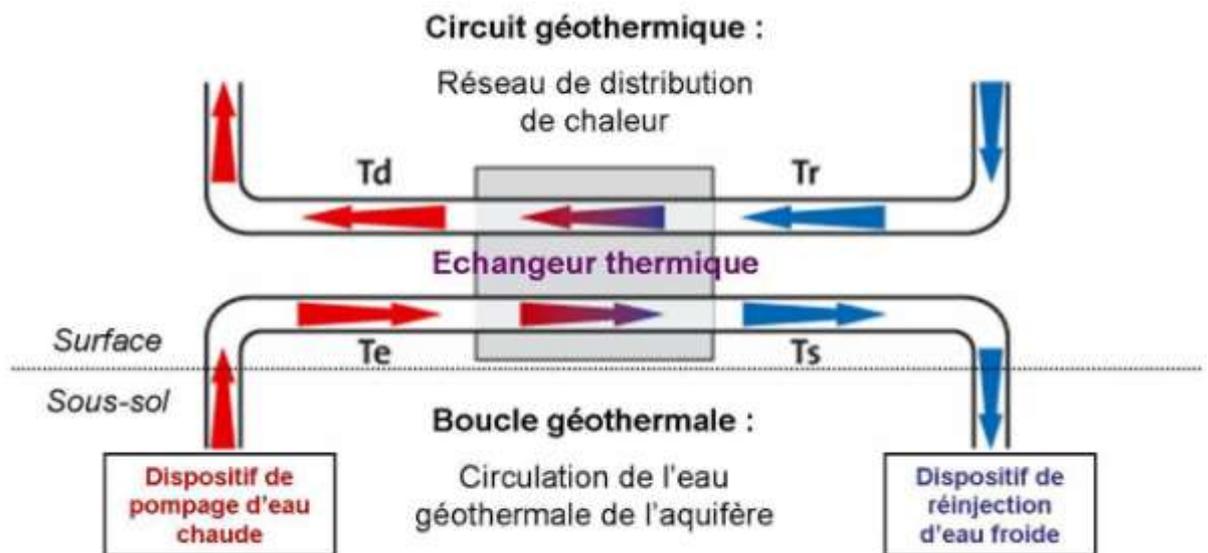


Figure 1 : Principe de l'échange direct de chaleur - Source : d'après BRGM im@gé.

L'eau géothermale est prélevée dans l'aquifère au niveau d'un forage de prélèvement ou **puits de production**, puis elle circule jusqu'à un échangeur de chaleur qui permet de transférer la chaleur depuis l'eau prélevée vers le « circuit géothermique ». L'eau géothermale refroidie est ensuite renvoyée dans l'aquifère d'origine par le biais d'un second forage dit **puits d'injection**.

Le chemin suivi par l'eau géothermale, depuis son prélèvement jusqu'à sa réinjection, constitue la « **boucle géothermale** ». Ce fonctionnement comprenant un puits de prélèvement et un puits d'injection est appelé « doublet géothermique ».

Le « circuit géothermique » correspond au réseau de distribution de la chaleur ; il permet l'approvisionnement en chaleur des utilisateurs.

Les installations de ce type nécessitent donc la création de forages. Ceux-ci doivent être réalisés selon les règles de l'art (norme AFNOR expérimentale NF X10-999 et fascicule FD X10-980) afin d'assurer une durée de vie correcte à l'installation et d'éviter tout risque de dégradation de la ressource en eau souterraine.

a) Dispositif de pompage

Pour fonctionner, ce type d'installation géothermique doit bénéficier d'un débit d'eau régulier et suffisant. Dans certains cas, si le niveau de l'eau contenue dans le réservoir est supérieure à l'altitude du sol, le débit est *artésien* et peut se suffire à lui-même jusqu'à un certain débit. Dans le cas contraire, pour exploiter un débit supérieur au débit artésien, il est alors nécessaire d'avoir recours à un dispositif de pompage.

Les pompes comportent toutes une partie hydraulique immergée descendue en profondeur et un moteur. On distingue généralement trois types de pompes selon l'emplacement du moteur :

- Pompes immergées (cas le plus fréquent) : le moteur est immergé sous le dispositif hydraulique ;
- Pompes à arbre long : le moteur est placé en surface ;
- Turbopompe : ce système fonctionne grâce à une circulation d'eau géothermale surpressée en surface ; il présente un rendement inférieur aux deux autres types de pompes mais une durée de vie supérieure aux pompes immergées.

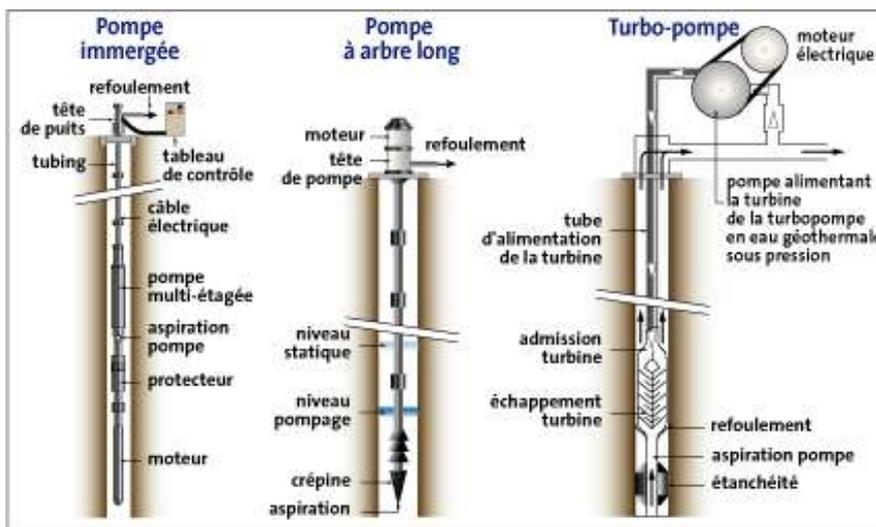


Figure 2 : Dispositifs de pompage - Source : BRGM im@gé.

La *colonne d'exhaure* amène ensuite l'eau de la pompe à la surface du sol où elle est reprise par d'autres canalisations jusqu'à l'échangeur de chaleur. Les pompes immergées sont largement utilisées dans le Bassin parisien pour pomper la nappe du Dogger. Elles permettent d'obtenir des débits importants supérieurs à 300 m³/h.

b) Les échangeurs de chaleur

Dans le cas d'une installation géothermique de basse énergie, un échangeur de chaleur est placé entre la « boucle géothermale » et le « circuit géothermique » de distribution de chaleur. L'eau chaude issue de l'aquifère, chargée de sels minéraux, circule alors uniquement dans la « boucle géothermale ». Les eaux géothermales étant généralement corrosives, ce fonctionnement permet d'éviter la corrosion du réseau de chaleur. Les échangeurs peuvent être de types différents : échangeurs multitubulaires, échangeurs spirales, échangeurs à plaques. Les échangeurs à plaques, plus performants et plus commodes pour la maintenance, sont les plus utilisés.

La performance d'un échangeur placé dans une installation de géothermie est caractérisée par l'écart entre les températures à l'entrée de la boucle géothermale (**Te**) et à la sortie du circuit géothermique (**Td**) (Figure 1). Cet écart appelé « pincement », doit être aussi faible que possible (de l'ordre de 2°C).

Les échangeurs à plaques sont constitués de plaques de faible épaisseur, assemblées verticalement les unes à la suite des autres. Les espaces entre les plaques sont alternativement traversés par le circuit primaire (eau géothermale) et par le circuit secondaire (circuit géothermique). Ces échangeurs permettent d'avoir une surface d'échange importante pour un espace réduit. Ils peuvent être agrandis en ajoutant le nombre de plaques nécessaires. Les matériaux utilisés dans les échangeurs doivent pouvoir résister à la corrosion inhérente à la majorité des fluides géothermaux. Ils peuvent être constitués en acier revêtu, en acier inoxydable ou en titane. Ce dernier matériau s'est révélé particulièrement adapté aux exigences d'exploitation du fluide du Dogger du Bassin parisien chargé notamment en sulfures.

c) Réinjection

Pour des raisons de protection quantitative de la ressource en eau souterraine, il est recommandé de pratiquer la réinjection de l'eau géothermale refroidie (à la température T_s) dans l'aquifère d'origine. Cette technique permet de maintenir les pressions au sein du réservoir aquifère. Aussi, les dispositifs de pompage sans réinjection ne seront pas évoqués dans le présent rapport.

Sur le plan thermique, ce dispositif entraîne la création d'une zone froide d'extension progressivement croissante autour du forage d'injection. Le doublet doit donc être dimensionné de façon à ce que le front froid n'atteigne pas le puits de production avant amortissement de celui-ci (20 à 30 ans) et ne perturbe pas les exploitations voisines. Il s'agit de gérer durablement la ressource et son exploitation.

Le dimensionnement de ces dispositifs est basé sur une bonne connaissance du contexte hydrogéologique. Le risque de recyclage thermique, la distance à respecter entre les puits (de production, d'injection et d'autres usages) et le temps de percée thermique du doublet (temps nécessaire à la contamination thermique du puits de production par l'eau injectée dans le puits d'injection) doivent être évalués lors de l'étude de dimensionnement des installations.

Ces considérations spatiales, associées à l'obligation de respect des périmètres de protection autour des puits de prélèvement et de réinjection, peuvent avoir des impacts fonciers importants, qui ne sont pas toujours acceptables, surtout en contexte urbain. Dans de telles situations, le recours à des technologies de forage particulières, comme les forages inclinés ou déviés, peut pallier le manque d'espace disponible en surface. En effet, ceux-ci permettent un écartement important entre les puits de production et d'injection, tout en limitant l'impact foncier en surface.

Les forages déviés ne sont envisageables que pour les aquifères profonds comme le Dogger. Pour les aquifères supérieurs, la déviation ne conduirait pas à un écartement suffisant des points de prélèvement et de réinjection.

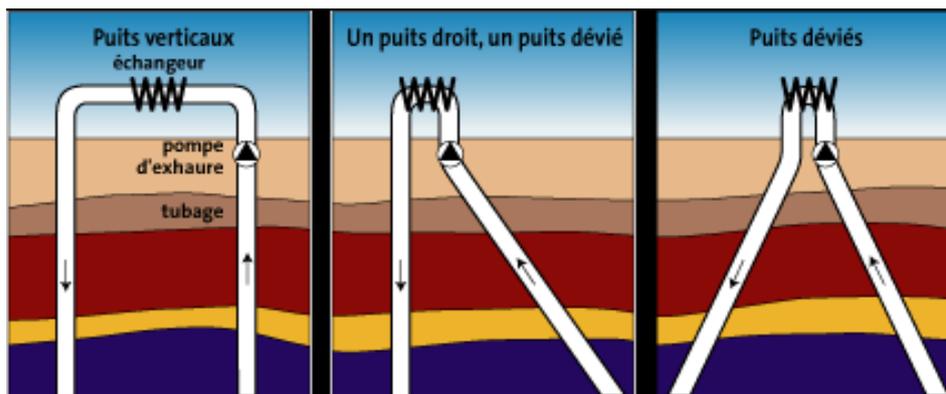


Figure 3 : Doublets géothermiques avec différentes technologies de forage - Source BRGM im@gé.

Dans le cas où l'aquifère pourrait présenter des eaux de qualité suffisante pour être une ressource en eau potable, il est possible d'envisager un système de pompage géothermique en doublet fonctionnant toute l'année et couplé à un système d'Alimentation en Eau Potable (AEP) utilisé seulement en cas de nécessité (réserve de secours). Des mesures de précaution seront alors nécessaires.

2.4.2. Pompe à chaleur (PAC) - Principes de fonctionnement

Si la température naturelle de la ressource en eau souterraine n'est pas suffisamment élevée pour mettre en pratique l'échange direct de chaleur, le recours aux pompes à chaleur permet malgré tout de produire de la chaleur et/ou de la fraîcheur.

Une pompe à chaleur est un système thermodynamique qui fonctionne entre deux sources : une source froide et une source chaude. Le principe consiste à prélever des

calories à basse température dans un milieu (source froide) et de les transférer à plus haute température dans un autre (source chaude). Ce transfert se fait via un fluide caloporteur ou fluide frigorigène qui présente un point d'ébullition à basse température.

Le fluide circule en circuit fermé, et le transfert de chaleur de la source froide vers la source chaude ne peut se réaliser que s'il y a apport extérieur d'énergie² (compresseur). Dans un fonctionnement classique en mode chauffage, la source froide correspond au milieu extérieur (nappe aquifère, sous-sol) et la source chaude correspond au bâtiment cible à chauffer.

Une pompe à chaleur est caractérisée par son Coefficient de Performance COP, qui est le rapport entre l'énergie récupérée et l'énergie dépensée sous forme mécanique. L'énergie mécanique est généralement apportée par un compresseur entraîné par un moteur électrique. Les autres constituants de la PAC sont un échangeur côté source froide dénommé « évaporateur » et un échangeur côté source chaude nommé « condenseur ». Dans la pratique, du fait de la difficulté d'évoluer selon le cycle théorique de Carnot et des rendements des équipements du système (moteurs, échangeurs, pertes de charges des circuits frigorifiques...), le COP réel est affecté d'un coefficient de 0,4 à 0,7. Le COP sera d'autant plus élevé que l'écart de température entre la source et le milieu à chauffer sera faible.

La performance du système est fonction à la fois de la température où l'on prélève les calories (source froide) et du milieu où on transfère la chaleur (source chaude).

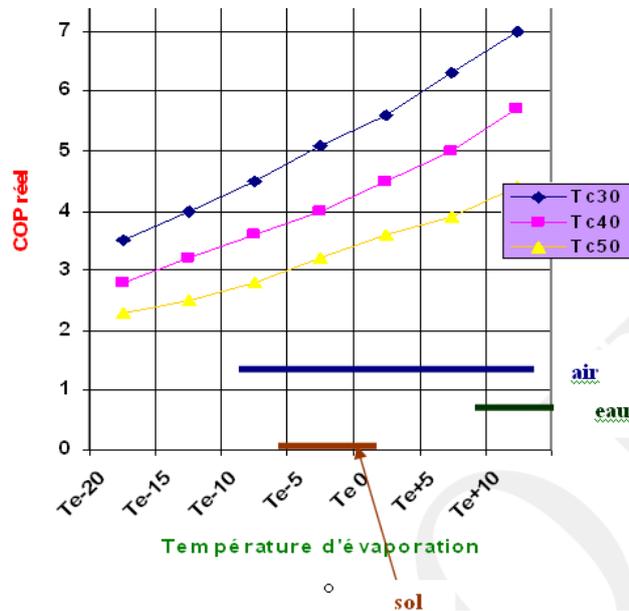


Figure 4 : Evolution du COP réel en fonction de la température d'évaporation (T_e) et de la température de condensation à la source chaude (T_c).

² ADEME, ARENE, BRGM, EDF, 2008 - Guide technique – Pompe à chaleur géothermique sur aquifère - Conception et mise en œuvre.

Il existe aujourd'hui deux grandes familles de pompes à chaleur selon la nature de l'énergie apportée au système :

- les pompes à chaleur à **compression** (énergie mécanique),
- les pompes à chaleur à **absorption** (énergie thermique) largement moins diffusées.

a) Pompe à chaleur à compression

Dans le cas d'une PAC à compression, l'apport d'énergie se fait sous forme de travail mécanique (Figure 5). La chaleur est prélevée à la source froide (aquifère, sous-sol) par le fluide frigorigène au niveau de l'« évaporateur ». Le fluide réchauffé passe à l'état de vapeur à haute température. La vapeur est dirigée vers le « compresseur » qui la comprime et augmente sa pression. La vapeur haute pression et haute température est alors dirigée vers le « condenseur ». En se condensant, la vapeur transmet sa chaleur à la source chaude (milieu à chauffer), ce qui a pour effet de diminuer sa température et le fluide passe à l'état liquide. Le liquide à haute pression et basse température redescend à basse pression via un « détendeur » avant d'être réintroduit dans la boucle.

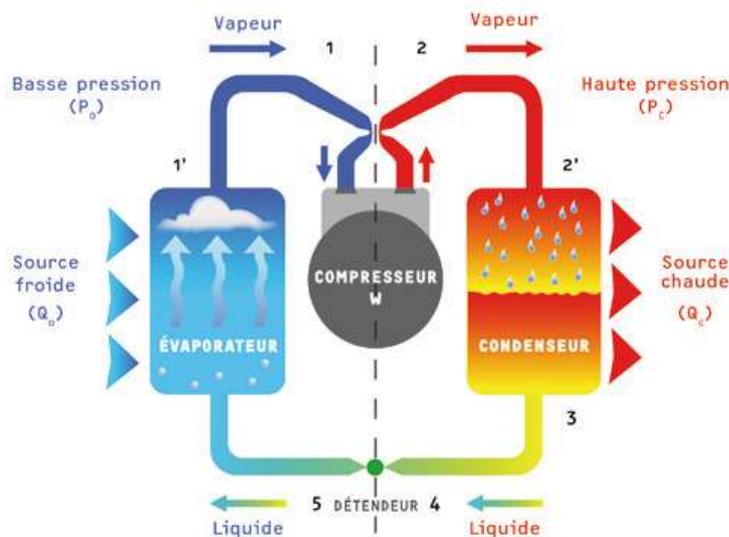


Figure 5 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur à compression (source : Guide technique sur les pompes à chaleur géothermiques sur aquifère –ADEME, ARENE, BRGM mars 2008).

Ce système fonctionne grâce à un apport extérieur **d'énergie mécanique** : le compresseur est entraîné par un moteur électrique.

b) Pompe à chaleur à absorption

La PAC à absorption se distingue de la PAC à compression par le fait que l'énergie apportée au système est de **l'énergie thermique**. Ce système présente l'avantage de

pouvoir produire de la chaleur ou du froid sans avoir de pièces en mouvement. Généralement, les PAC à absorption sont utilisées pour la production de froid. Le principe de fonctionnement général de la PAC à absorption est le même que celui de la PAC à compression sauf que la chaleur est produite par une réaction exothermique différente : absorption de vapeur dans une solution frigorigène au lieu de compression de vapeur. Le COP fourni par une PAC à absorption est nettement inférieur à celui des PAC à compression. Cette technologie est peu utilisée pour la géothermie en France.

Selon la nature de la source froide, milieu de prélèvement des calories, il est également possible de distinguer deux types de PAC :

- **Pompe à chaleur sur aquifère** : la source froide correspond à l'eau d'une nappe souterraine ;
- **Pompe à chaleur sur le sous-sol** : la source froide correspond au sous-sol lui-même indépendamment de la présence d'un aquifère. Le prélèvement de calories se fait par échange.

2.4.3. Pompe à chaleur sur aquifère

a) Principe de fonctionnement

Le principe des pompes à chaleur sur aquifère repose sur le prélèvement et le transfert des calories contenues dans les eaux souterraines, (généralement situées à des profondeurs inférieures à 100 m). Il existe donc une infrastructure souterraine destinée à assurer le flux d'eau depuis la nappe jusqu'à son point de rejet, en passant par la PAC.

Le principe de fonctionnement est le même que dans le cas des échanges directs de chaleurs, mais ici, la boucle est complétée par la PAC :

Boucle géothermale {

- prélèvement d'eau souterraine ;
- production de chaleur au niveau de la PAC ;
- réinjection dans l'aquifère d'origine.

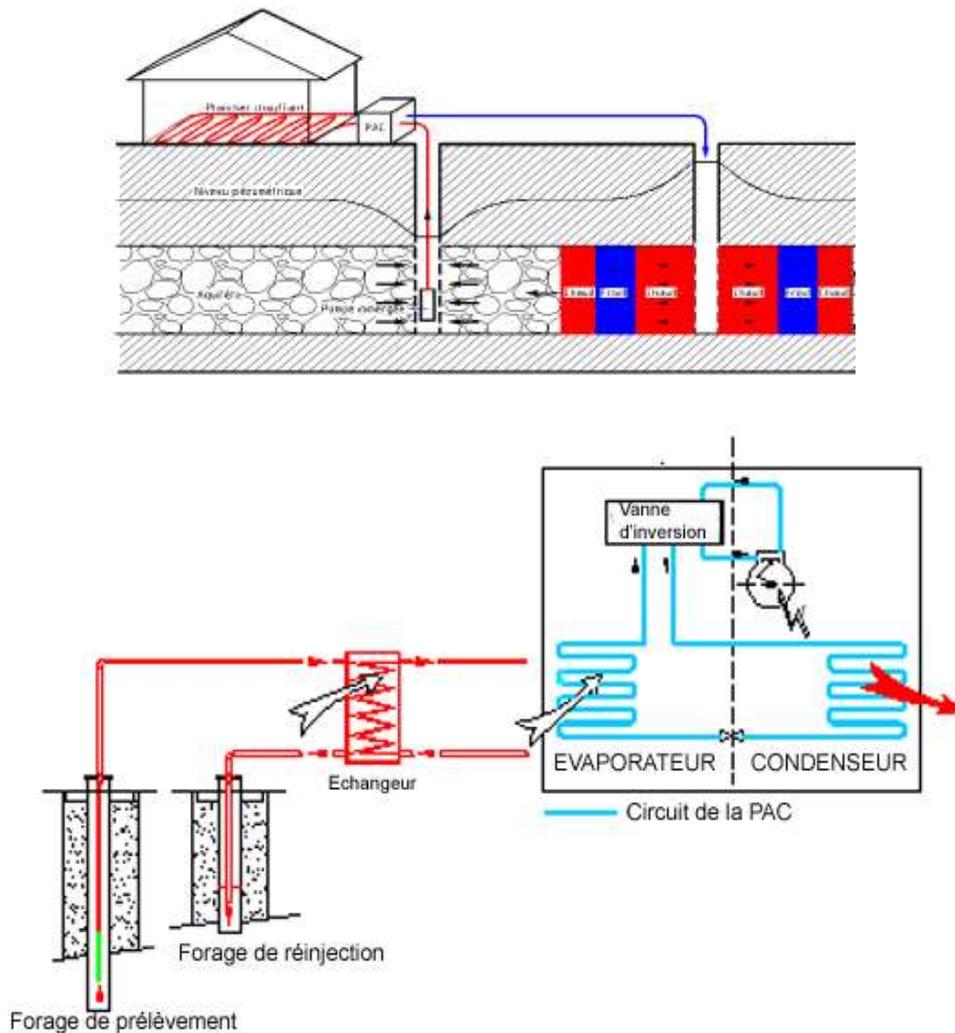


Figure 6 : Schémas de principe d'une pompe à chaleur sur eau de nappe

L'eau est prélevée à travers un premier forage et généralement réinjectée, après passage par la PAC, dans un deuxième forage (principe du doublet). Le dispositif de doublet géothermique est conservé, et les mêmes précautions de dimensionnement et de réalisation doivent être prises (éviter les interférences hydrauliques et thermiques entre puits d'injections et puits de production et entre doublet géothermique et forages environnants, réalisation des forages conformément aux règles de l'art...).

Ces opérations permettent de couvrir des besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire (ECS) et/ou de froid (cf. fonctionnement en page 28). En fonction des caractéristiques de l'aquifère (débit, température), il est possible de fournir des puissances de chauffage de plusieurs centaines de kW à plusieurs MW.

b) Procédure technique pour la mise en œuvre de pompes à chaleur sur aquifère

La validation d'un projet de pompe à chaleur sur nappe nécessite, en plus des études de conception nécessaires à tout projet, une approche spécifique de la connaissance de la ressource en eau souterraine qui sera sollicitée.

Les principales étapes de la mise en œuvre sont les suivantes :

- **Détermination des besoins ;**

Il s'agit de déterminer les puissances chaud et froid qu'il faudra fournir au bâtiment.

- **Convertir ces deux puissances en débit d'eau à prélever sur la nappe ;**

- **Identification préalable de la ressource ;**

L'analyse des données de l'atlas et l'estimation du débit nécessaire pour satisfaire tout ou partie des besoins thermiques permettra une première orientation.

Dans l'analyse de l'adéquation besoins/ressources, il n'est pas toujours pertinent de chercher à couvrir la totalité des besoins avec la solution PAC sur nappe. L'analyse du fonctionnement dynamique du bâtiment et des systèmes peut mettre en évidence des fluctuations importantes d'appel de puissance sur de faibles parts du temps de fonctionnement.

- **Etude de faisabilité hydrogéologique ;**

Cette étape requiert l'intervention d'un bureau d'étude spécialisé, car il s'agit d'affiner la démarche d'identification préalable de la ressource, en intégrant en particulier le nombre et le dimensionnement préalable des ouvrages, leur positionnement prévisionnel en fonction des contraintes du site.

Une première approche réglementaire peut également être réalisée à ce niveau ; ce qui permettra de connaître les documents administratifs à prévoir.

- **Conception, suivi, réception des travaux en sous-sol ;**

Dans cette étape, le bureau d'étude hydrogéologique intervient en tant qu'assistant à la maîtrise d'œuvre, de la phase de conception jusqu'à la réception des travaux, tant pour les aspects techniques et financiers des ouvrages (forages, équipements, maintenance) que pour la partie administrative et réglementaire.

Enfin, il faut noter qu'il existe une procédure de « garantie sur la ressource en eau souterraine à faible profondeur utilisée à des fins énergétiques ». Il s'agit de la procédure AQUAPAC (cf. fonctionnement en page 52), destinée à couvrir le risque d'aléa sur la ressource et sa pérennité.

Ces différentes étapes doivent être menées en concertation avec les autres intervenants du projet, afin d'obtenir le meilleur ajustement besoin - ressource. Une analyse économique devra comprendre une étude comparative afin de justifier la solution pompes à chaleur sur nappe, intégrant les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement (énergie, maintenance), ainsi que l'aspect environnemental.

2.4.4. Pompe à chaleur sur le sous-sol

Dans les endroits où le sous-sol ne révèle pas d'aquifères exploitables, ou si l'exploitation des aquifères superficiels présente des difficultés, il est possible, pour des usages thermiques, de récupérer la chaleur emmagasinée dans le sous-sol par le biais de sondes géothermiques. Dans ce cas, l'énergie du sous-sol est directement exploitée et non la chaleur de l'eau d'un aquifère. Les PAC sur sol sont préférentiellement adaptées aux zones dépourvues de nappe d'eau souterraine exploitable. Il existe deux types de capteurs, les **sondes verticales** et les **capteurs horizontaux**.

Sondes verticales ou géothermiques

Les sondes géothermiques correspondent à des capteurs géothermiques verticaux qui descendent à une profondeur généralement inférieure à 100 m, mais qui pourrait être supérieure. Elles sont également appelées « géosondes » ou « sondes sèches ». Elles présentent l'avantage d'avoir une faible emprise foncière et sont donc adaptées aux projets où la surface disponible est limitée.

La sonde correspond à deux tubes en U en matériau synthétique placés dans le forage. Le contact entre ce capteur et le sous-sol se fait par l'intermédiaire d'un mélange de ciment et de bentonite. Le système est parcouru par un liquide antigel qui est ensuite mené à la PAC en surface (Figure 7).

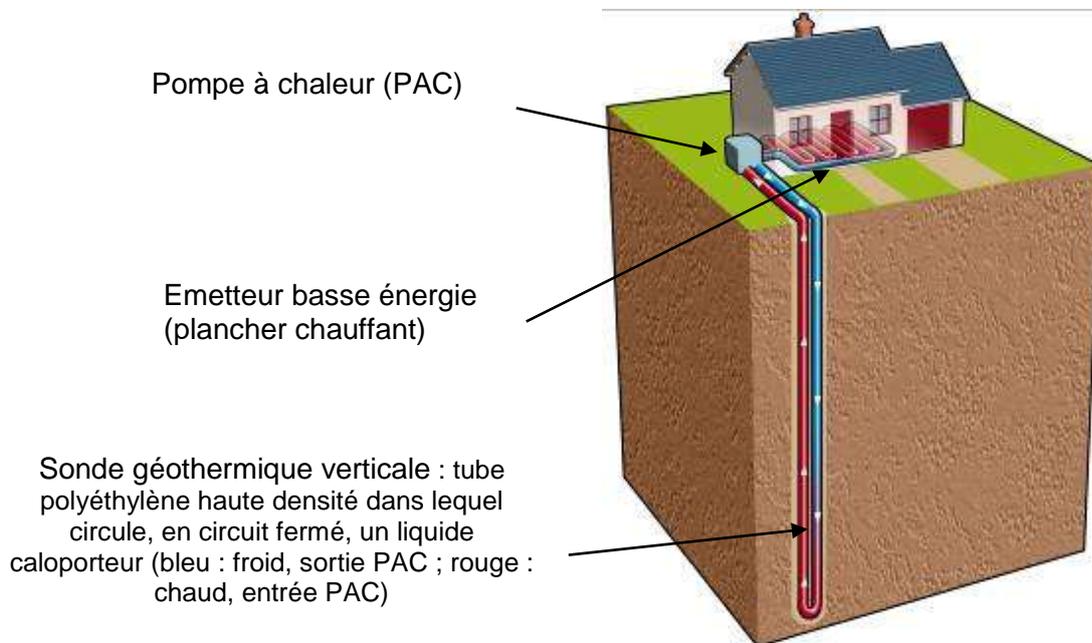


Figure 7 : Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur sondes géothermiques

La PAC restitue en surface, en l'amplifiant, la chaleur prélevée pour chauffer une habitation, de préférence au moyen d'un plancher chauffant. En été, le système peut être inversé pour fonctionner en mode rafraîchissement (cas d'une PAC réversible, cf. principe de fonctionnement en page 28).

La capacité de prélèvement de chaleur dépend du contexte géologique et de la nature des roches traversées (conductivité thermiques...). **Elle est de l'ordre de 50W/m.** Pour assurer des puissances comparables à celles prélevées sur aquifère, il est nécessaire d'utiliser plusieurs sondes dont l'implantation doit respecter certaines dispositions. On constitue alors un « champ de sondes » (Figure 8). Ces opérations sont constituées en moyenne de 10 à 50 sondes.



Figure 8 : Schéma d'un champ de sondes géothermiques

La norme NF X10-970 sur la sonde géothermique verticale de janvier 2011 précise les conditions de dimensionnement et de mise en œuvre d'une sonde géothermique verticale.

Capteurs horizontaux

Les capteurs horizontaux permettent d'exploiter la chaleur géothermique à très faible profondeur. Ces capteurs sont organisés en réseau de tubes horizontaux installés en boucles et enterrés à une profondeur allant de 60 cm à 1,20 m qui vont permettre le prélèvement de l'énergie contenue dans le proche sous-sol.

Dans les tubes, un fluide circule en circuit fermé et, selon la technologie employée, il peut s'agir, soit d'eau additionnée d'antigel (dans ce cas les tubes sont en polyéthylène), soit du fluide frigorigène qui circule également dans la PAC.

Généralement la surface de terrain à mobiliser pour installer le capteur doit correspondre à 1,5 à 2 fois la surface habitable à chauffer. Ces conditions de surface ne sont pas toujours envisageables, d'autant plus dans un contexte à forte pression foncière comme le contexte francilien. Cette technique est généralement réservée aux pavillons individuels disposant d'un terrain suffisant.

2.4.5. Installations mixtes

a) Pompe à chaleur réversible

Il est également possible d'utiliser des installations mixtes, PAC réversibles, qui assurent la production de chaleur en hiver et la production de froid en été. Pour ce faire, il convient d'inverser le sens de circulation du fluide frigorigène dans la PAC grâce à une vanne.

La chaleur est prélevée au milieu intérieur (source froide) et rejetée dans le milieu extérieur (source chaude). Dans les mêmes conditions qu'une PAC classique, les PAC réversibles pourront utiliser soit la chaleur du sous-sol, soit la chaleur d'une nappe d'eau souterraine.

Notons que dans certaines configurations il est possible de faire du rafraîchissement direct (free cooling) sans utiliser la PAC.

Pour les dispositifs sur **nappe souterraine** qui fonctionnent en doublet, il existe deux configurations possibles :

- **Un seul puits de production** : Seul le puits de production est équipé d'une pompe d'exhaure. Le fluide réinjecté en été est plus chaud que la température normale de l'aquifère, et le fluide réinjecté en hiver est plus froid (Figure 9). Il faudra néanmoins tenir compte de l'hydrodynamisme de la nappe pour l'implantation des forages ;

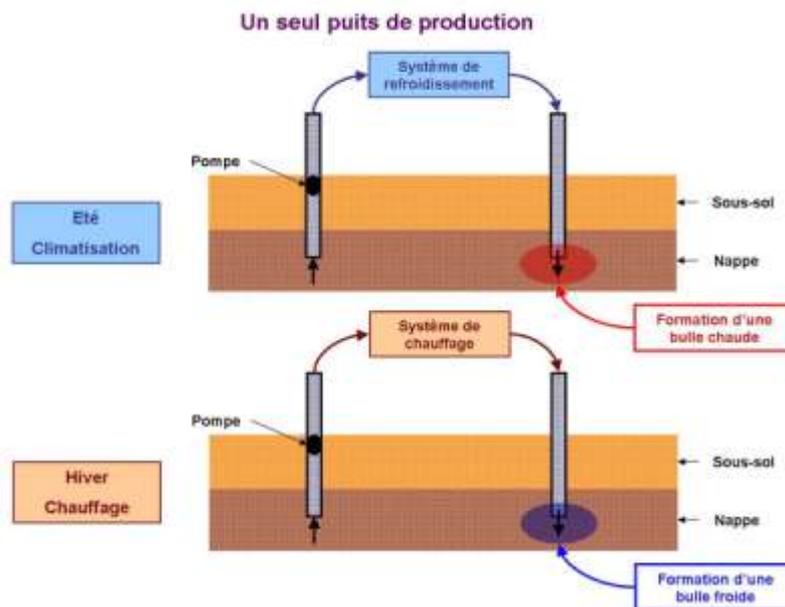


Figure 9 : Schéma de principe du fonctionnement de la PAC réversible avec un puits de production.

- **Deux puits de production** qui fonctionnent alternativement. L'été, l'eau est prélevée dans le puits dit « froid » et l'eau réchauffée après passage dans le système de refroidissement est réinjectée dans le puits « chaud ». En hiver, le sens de circulation dans la boucle géothermique est inversé. L'eau de chauffage est prélevée au puits « chaud » et l'eau refroidie est réinjectée dans le puits « froid ». Un tel système s'avèrera très efficace lorsque l'écoulement de la nappe est faible ou nul car on observera la formation d'une bulle chaude et froide respectivement au droit des puits « chaud » et « froid », augmentant la performance du système au cours du temps (Figure 10).

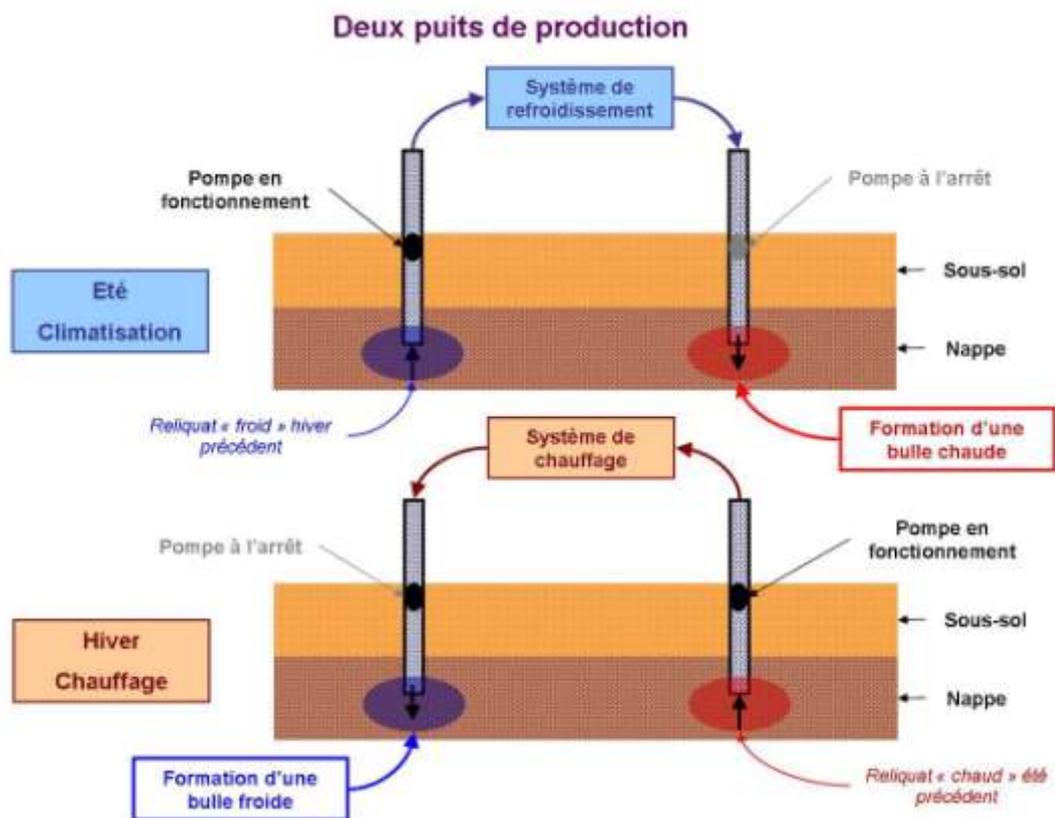


Figure 10 : Schéma de principe du fonctionnement de la PAC réversible avec deux puits de production.

b) Thermofrigopompe

Une pompe à chaleur produit simultanément du chaud et du froid. Certains bâtiments du tertiaire ont des besoins de froid et de chaud toute l'année (cliniques, hypermarchés...).

Le principe de la thermofrigopompe est de satisfaire les besoins de chaleur et du froid par deux réseaux distinctifs (Figure 11).

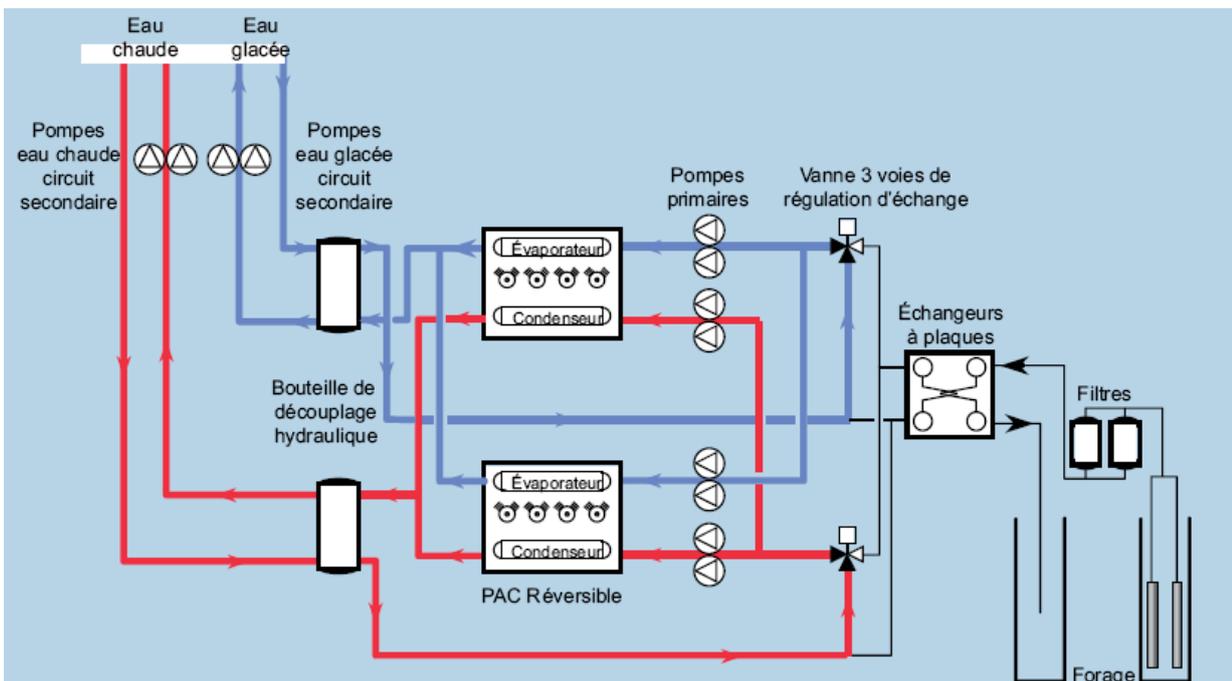


Figure 11 : Schéma de principe du fonctionnement d'une thermofrigopompe.

2.4.6. Installations terminales de chauffage

Quelle que soit la technologie utilisée pour émettre de la chaleur ou du froid, un système terminal est nécessaire pour chauffer ou climatiser un bâtiment.

L'efficacité d'un système géothermique est conditionnée par les températures aller-et-retour des émetteurs de chauffage. Le dispositif sera d'autant plus performant que les températures de ces émetteurs seront basses.

On distingue généralement deux modes d'émission de chaleur ou de froid : le mode hydraulique ou aéraulique.

a) Emission en mode hydraulique

Ces technologies se basent sur la circulation d'un fluide (chaud ou froid) pour satisfaire les besoins. On distingue :

- **Radiateurs à eau** : ils sont généralement caractérisés par leur température aller-retour pour la température extérieure la plus basse (exemple : aller 90°C - retour 90°C) Pour être compatible avec une ressource géothermique (limité à 55°C pour les systèmes avec PAC), il est nécessaire de mettre en place des émetteurs de grande surface. Les radiateurs ne permettent pas d'envisager la réversibilité ;
- **Planchers chauffants** : ils sont bien adaptés à un chauffage par PAC du fait de leur grande surface d'émission. Ces planchers peuvent être réversibles si l'on prend les précautions nécessaires notamment en terme de condensation sur le plancher lors du refroidissement l'été ;
- **Plafonds rayonnants hydrauliques** : ils sont bien adaptés à un système de climatisation associé à une PAC du fait de leur grande surface d'émission, et aussi pour les parties de bâtiment ayant surtout des besoins de rafraîchissement.

b) Emission en mode aéraulique

Le mode aéraulique permet l'émission de chaleur ou de froid par air raccordé à un circuit d'eau chauffée ou rafraîchie par PAC.

Le système le plus couramment utilisé est le **ventilo-convecteur**. Certaines techniques émergentes comme les **plafonds diffusants** ou **poreux** sont performantes mais leurs coûts demeurent à l'heure actuelle très élevés.

Les inconvénients souvent attachés à ce mode d'émission sont, en cas de défaut de dimensionnement : courants d'air, niveau sonore, sensations de trop chaud ou trop froid.

2.4.7. La géothermie très basse énergie (TBE) - Plusieurs technologies adaptées aux besoins

La géothermie très basse énergie (TBE), associée aux systèmes de pompes à chaleur, (cf. principe de fonctionnement au paragraphe 2.4.2) peut apporter une réponse énergétique et environnementale satisfaisante dans le domaine du chauffage (et rafraîchissement) résidentiel et tertiaire (logements, bureaux, commerces). La chaleur prélevée provient, soit d'aquifères superficiels par le biais de forages, soit du sol et du sous-sol (sans eau) par le biais de capteurs enterrés, horizontaux ou verticaux (sonde géothermique).

Les pompes à chaleur ayant un rendement optimal avec des émetteurs de chaleur basse température (de type "planchers chauffants"), le marché principal est celui du neuf. Cependant, cas le cas d'une rénovation importante de bâtiments existants, prenant en compte les émetteurs de chaleur (avec la mise en place par exemple d'un plancher basse température), la géothermie peut également être mise en œuvre.

a) La géothermie pour le particulier

En France, la technique la plus courante est celle du captage enterré horizontal. Cette technique est réservée de préférence à la maison individuelle car l'emplacement nécessaire pour implanter les capteurs requiert de 1,5 à 2 fois la surface à chauffer.

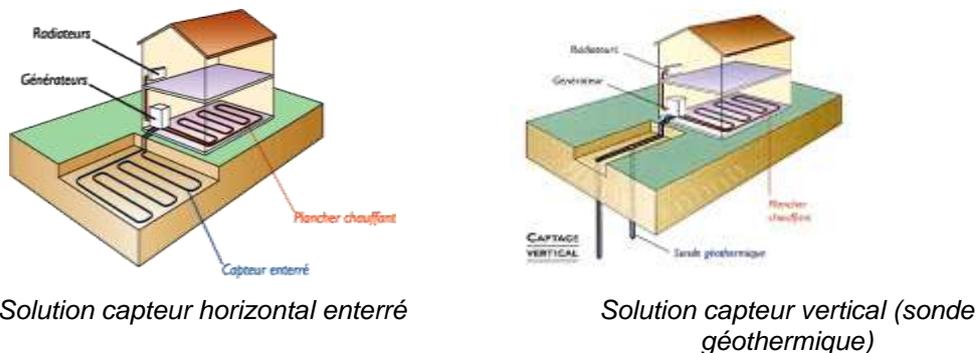


Figure 12 : Solution de capteur horizontal et de capteur vertical

Le captage enterré vertical est également mis en œuvre particulièrement lorsque se présentent des contraintes de place. Cette technique est encore relativement peu répandue en France compte tenu de son coût encore élevé mais elle connaît des croissances comparativement importantes.

Les puits canadiens, dits également provençaux, sont aussi des techniques géothermiques utilisées dans les bâtiments. Il s'agit de systèmes de préchauffage ou de rafraîchissement et sont majoritairement utilisés dans l'habitat individuel. Leur principe consiste à faire circuler de l'air ambiant nécessaire au renouvellement jusqu'à l'intérieur de l'habitat, via un tuyau étanche, enterré à 1 ou 2 mètres de profondeur. En hiver, l'air froid prélevé se réchauffe en circulant dans le tuyau ; en été, il se rafraîchit.

b) La géothermie pour le tertiaire et le résidentiel collectif

Cette filière, qui valorise la plupart du temps de la géothermie très basse énergie par le biais de pompes à chaleur, correspond généralement à des opérations de taille moyenne. On distingue :

- **Les opérations de "pompes à chaleur sur aquifères superficiels" (cf. principe de fonctionnement en paragraphe 2.4.3)**

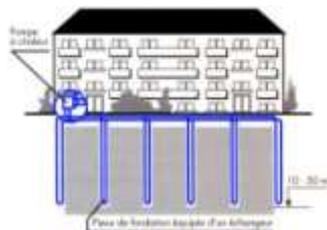
Ces opérations permettent de couvrir des besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire (ECS) et/ou de froid. En fonction des caractéristiques de l'aquifère (débit, température), il est possible de fournir des puissances de chauffage de plusieurs centaines de kW à plusieurs MW.

- **Les champs de sondes géothermiques (cf. principe de fonctionnement en paragraphe 2.4.4)**

Les opérations avec champs de sondes géothermiques se multiplient à l'étranger depuis plusieurs années. En France, le développement est plus récent.

- **Les fondations géothermiques ou thermo-actives**

Certains bâtiments nécessitent, pour des raisons de portance, d'être construits avec des fondations sur pieux en béton. Le principe des pieux énergétiques consiste à y intégrer lors de leur fabrication ou de leur mise en place sur site un système de captage de l'énergie (tube en polyéthylène noyé dans le pieu renforcé par une armature en fer et dans lequel il est possible de faire circuler de l'eau (voir photo ci-dessous). Le système de captage est connecté à une pompe à chaleur.



Exemple de dispositions de pieux géothermiques

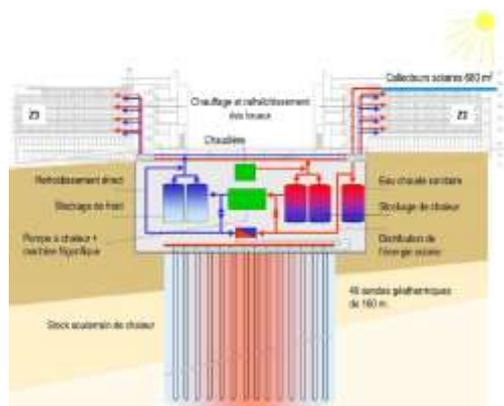


Armatures d'un pieu géothermique

Figure 13 : Représentations de pieux géothermiques

- **Les opérations de stockage thermique souterrain**

Le stockage d'énergie thermique dans le sous-sol consiste à mettre à profit les propriétés des formations géologiques pour emmagasiner une énergie disponible et excédentaire à un instant donné - c'est à dire sans utilisation immédiate, et pour l'exploiter ultérieurement en période de demande. Le domaine d'application le plus courant du stockage thermique souterrain est celui de la gestion de l'énergie dans les bâtiments. La chaleur prélevée l'été pour refroidir les bâtiments peut être stockée pour être utilisée l'hiver. Mais d'autres applications existent comme celle du chauffage des serres maraîchères ou horticoles. On distingue deux types de stockage : les stockages diffusifs – c'est à dire avec champ de sondes géothermiques, et les stockages sur aquifères.



Vue schématique d'un stockage diffusif réalisé à Root en Suisse

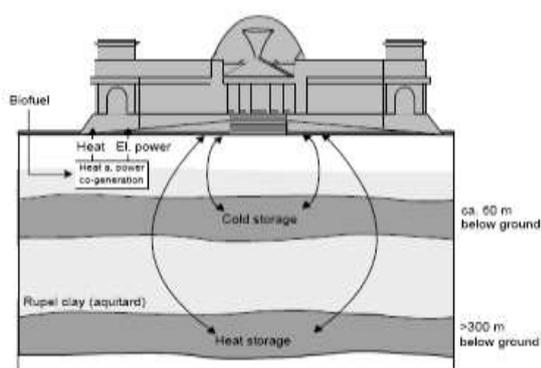


Schéma du stockage thermique sur aquifère au Reichstag à Berlin

Figure 14 : Opération de stockage souterrain

c) La géothermie pour alimenter les réseaux de chaleur

Un réseau de chaleur, ou chauffage urbain, est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire. Le réseau de chaleur est constitué d'un réseau primaire de canalisations empruntant le domaine public ou privé, transportant de la chaleur, qui alimente des postes de livraison (appelés sous-stations) installés dans les immeubles des utilisateurs. Sur les mêmes principes, il existe des réseaux distribuant du froid, transporté sous forme d'eau glacée et destiné à la climatisation de locaux.

Les collectivités territoriales (communes ou groupement de communes) ont compétence pour créer un service public local de distribution d'énergie calorifique. Il y a actuellement en France³ près de 450 réseaux de chaleur qui chauffent l'équivalent de plus de 2 millions d'habitants dans leur vie quotidienne, au travail ou dans leurs loisirs, dans plus de 350 villes. Cela représente annuellement près de 25 000 GWh d'énergie distribuée à 24 000 sous-stations. En France, les 2/3 des bâtiments chauffés par des réseaux de chaleur sont des logements ; le tiers restant est constitué essentiellement de bâtiments du secteur tertiaire (dans lesquels on compte les établissements de santé, d'enseignement ...).

Compte tenu de l'importance des investissements sous-sol que nécessitent la valorisation des aquifères profonds et l'utilisation de l'énergie géothermale par échange direct, un réseau de chaleur est généralement associé. Ces réseaux, aptes à desservir plusieurs milliers de logements par opération, permettent ainsi de répartir sur un plus

³ Source SNCU

grand nombre de postes de consommation la charge des investissements sous-sol de production géothermique.

Selon les cas, la production peut se faire soit via un puits unique associé à un échangeur thermique, soit plus fréquemment via un "doublet géothermique" (un forage de production, un forage d'injection) assorti d'un échangeur. Réinjecter l'eau après prélèvement des calories évite de polluer la surface si l'eau est salée et de maintenir la pression du réservoir géothermal exploité.

Parmi les installations de géothermie existant en France et produisant plus de 100 tep/an, la moitié (soit 80% de la production géothermale) est concentrée dans le Bassin parisien et exploite l'aquifère dit du Dogger (du nom de la période concernée de l'ère Jurassique). Cet aquifère s'étend sur une surface de 15 000 km² et alimente les 29 réseaux de chaleur géothermique de l'Île-de-France.

Pour fixer un ordre de grandeur, une opération-type de la région parisienne permet de chauffer environ 4 000 à 5 000 équivalent-logements. L'eau géothermale exploitée est captée à environ 2 000 m de profondeur ; sa température atteint 80°C.

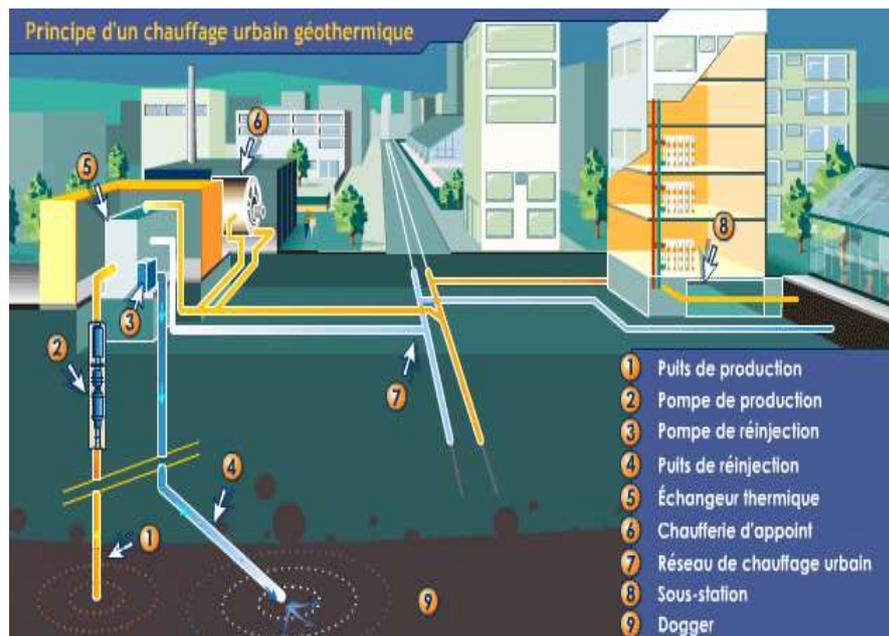


Figure 15 : Schéma d'une installation de réseau de chaleur urbain géothermique (tel qu'existant en région parisienne)

Les réseaux de chaleur géothermiques sont des réseaux multi-énergies. La base est assurée par la géothermie et le complément par des énergies fossiles, utilisées en appoint lors des jours les plus froids et également en secours. Il n'est alors pas nécessaire de dimensionner la puissance géothermique à la puissance maximale : en dimensionnant la puissance géothermique à seulement la moitié de la puissance maximale, il est possible d'assurer jusqu'à 80% des besoins, tout en limitant fortement l'investissement qui est proportionnel à la puissance installée.

d) Récapitulatif des différents types d'exploitation géothermique de très basse énergie

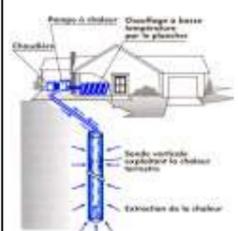
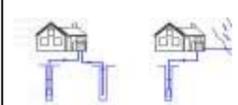
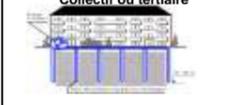
La Figure 16 présentée ci-après récapitule les différents types d'exploitation géothermique de très basse énergie.

2.4.8. Surveillance et maintenance des installations

Toute installation géothermique requiert une maintenance tant préventive que curative pour contribuer à :

- La fiabilité du fonctionnement et la continuité de service ;
- La performance énergétique.

Le maître d'ouvrage doit souscrire à un contrat d'entretien couvrant l'intégralité des installations de forage et de génie climatique.

Type d'échangeur géothermique	Principe Conditions d'implantation Profondeur moyenne	Paramètres dimensionnement Puissance extraction Coût investissement	Réglementation et procédures administratives liées au sous-sol	Avantages / inconvénients
CAPTEURS HORIZONTAUX Applications : Individuel 	Principe : Prélèvement de la chaleur dans le sol à partir d'un réseau de tuyaux (en polyéthylène) dans lequel circule un fluide frigorigène ou de l'eau glycolée (selon la technologie de PAC utilisée), enterré horizontalement dans le jardin Conditions d'implantation : Sol meuble ou reconstitué. Espace demandé ~2 fois la surface à chauffer. Proscrit dans les terrains en pente. Attention aux racines d'arbres et à l'écrasement des tuyaux Profondeur moyenne (m) : 0.80 - 1.50	Paramètres de dimensionnement du sous-sol : Nature du sol (conductivité thermique qui va influencer la puissance d'extraction par m ² de sol en W/m ²), diamètre des tubes PE (20 - 32 mm), espacement des tubes (0.30 - 0.75 m) Puissance d'extraction (W/m) : 3.3 - 21.1 W/m ¹ Coût d'investissement (€) : 30 - 45 €/ml ²	Déclaration à la DRIRE - Ingénieur en chef des mines si : Profondeur < 10 m + gîte géothermique à basse température de minime importance (débit calorifique maximum calculé par référence à 20 °C < 200 th/h et profondeur < 100 m) Références : Code minier : Art. 102 + 131 Décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié : Art. 17	Avantages : Coût d'investissement selon les cas (nature du sol, coût du décapage) Inconvénient : COP influencé par les conditions climatiques (température extérieure, pluies) et ne bénéficiant pas du gradient géothermique. Nécessite une grande surface de pose. Jouissance de la parcelle limitée
SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES Applications : Individuel, collectif, tertiaire 	Principe : Prélèvement de la chaleur par conduction dans le sous-sol à partir d'un échangeur thermique vertical dans lequel circule, en circuit fermé, un liquide caloporteur de qualité alimentaire. Conditions d'implantation : Tous types de sous-sol avec présence ou absence d'eau souterraine. Espace demandé sur le terrain pour une sonde (0,120 - 0,180 m) et espace recommandé entre 2 sonde 10 m Profondeur moyenne (m) : 80 - 100 3)	Paramètres de dimensionnement du sous-sol : Conductivité thermique des terrains qui va influencer la puissance d'extraction en W/m de sonde, présence d'eau souterraine, écoulement souterrain, diamètre des tubes (25 - 32 mm), conductivité thermique du laithier de scellement. Ratios de dimensionnement utilisés pour prédimensionnement : 50 W/m (terrains saturés); 30 W/m (terrains secs). Pour les champs de sondes, le dimensionnement sera réalisé par un bureau d'étude et validé in-situ par un ou plusieurs tests de réponse thermique. Puissance d'extraction (W/m) : 20 - 85 W/m ⁴ Coût d'investissement (€) : 30 - 80 €/ml de sonde posée (inclus travaux de forage) ⁵⁾	Déclaration à la DRIRE - Ingénieur en chef des mines si : Profondeur de l'ouvrage (puits, forage) dépasse 10 m Ou Débit calorifique prélevé (calculé par référence à 20 °C) est < 200 th/h (232.5 kW) Références : Code minier : Art. 102 + 131 Décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié : Art. 17 Demande d'autorisation à la Préfecture : Pour les travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques Si profondeur est > 100 m ou débit calorifique prélevé (calculé par référence à 20 °C) est > 200 th/h (232.5 kW) Si l'ouvrage est situé dans une zone de protection d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public Si l'ouvrage est de nature à détruire les frayères ou les zones d'alimentation de la faune piscicole Références : Code minier : Art. 83 et Art. 98 à 102 Code environnement : Art. R214-1 (5.1.2.0) Décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié : Art. 17 Code santé publique : Art. L.1322-4 Code environnement : Art. L.214-1 à L.214-6 et R214-1 (3.1.5.0)	Avantages : Technique simple et sûre (pas besoin d'eau souterraine). Rendements élevés (température d'entrée dans la PAC stable) et bénéficient du gradient géothermique. Nécessite un espace d'implantation réduit (zones urbaines). Jouissance totale de la parcelle. Entretien pluri-annuel minimum. Inconvénients : Coût d'investissement élevé en fonction de la profondeur totale forée et du type de terrain (tubage à l'avancement)
PAC SUR AQUIFERES Applications : Individuel, collectif, tertiaire 	Principe : Prélèvement de la chaleur dans l'eau souterraine par l'intermédiaire d'un puits de pompage et d'un forage de réinjection (doublet). Après son passage dans la pompe à chaleur, l'eau peut être également rejetée, après autorisation, dans un réseau, un cours d'eau ou un lac. Conditions d'implantation : Tous les types de sols à perméabilité de pore ou de fissure permettant l'écoulement de l'eau souterraine. Distance entre le puits de prélèvement et le forage de réinjection à déterminer en fonction des conditions hydrogéologiques locales (perméabilité, sens d'écoulement de la nappe...) Profondeur moyenne (m) : "profondeur de l'aquifère déterminée par la géologie"	Paramètres de dimensionnement du sous-sol : Profondeur de la nappe, débit disponible pérenne dans le temps et température de l'eau souterraine. La garantie AQUAPAC pourra être souscrite (pour les puissances >30 kW) permettant de garantir le risque d'échec sur la ressource (débit insuffisant) et la pérennité de la ressource à long terme (diminution du débit). Puissance d'extraction (W/m) : 10 000 W par m ³ /h pompé ⁶⁾ Coût d'investissement (€) : 40 - 150 €/ml ⁷⁾	Déclaration à la Commune (mairie) pour : Dispositifs de prélèvements, puits ou forages à des fins d'usage domestique de l'eau (débit <1000 m ³ /an) Références : Décret n° 2008-652 du 2 juillet 2008 Déclaration à la Préfecture : Pour prélèvement souterrain temporaire ou permanent non destiné à un usage domestique (débit >1000 m ³ /an) Si 10 000 m ³ /an < débit < 200 000 m ³ /an Si débit entre 400 et 1000 m ³ /h ou 2 et 5% débit cours d'eau Références : Code environnement : Art. R214-1 (1.1.2.0) Code environnement : Art. R214-1 (1.2.1.0) Code environnement : Art. R214-1 (1.3.1.0) Demande d'autorisation à la Préfecture : Si débit ≥ 200 000 m ³ /an Pour prélèvement en plan d'eau si débit ≥1000 m ³ /h ou 5% débit du cours d'eau Zones où mesures permanentes de répartition quantitative des eaux souterraines si débit ≥8 m ³ /h Références : Code environnement : Art. R214-1 (1.1.2.0) Code environnement : Art. R214-1 (1.2.1.0) Code environnement : Art. R214-1 (1.3.1.0)	Avantages : Excellent rendement (COP gén. > 4) favorisé par une température de l'eau souterraine stable et plus ou moins élevée. Adapté aux grosses puissances Inconvénients : Réinjection parfois problématique. Problèmes de colmatage, de corrosion ou d'incrustation liés à la qualité de l'eau souterraine à vérifier. Coûts d'investissement élevés si aquifère profond ou mauvaise qualité de l'eau
GEOSTRUCTURES Applications : Collectif ou tertiaire 	Principe : Pieux géotechniques équipés de tubes PEHD, identiques à ceux des sondes géothermiques verticales. Conditions d'implantation : Terrains dont les caractéristiques mécaniques montrent une faible portance sur une épaisseur de plus de 5 - 8 m depuis la surface. Terrains cibles : sables, argiles, limons, marnes, graviers. Profondeur moyenne (m) : 20 - 30 m	Paramètres de dimensionnement du sous-sol : Même approche que pour les sondes géothermiques verticales, avec en plus les paramètres liés à la résistance thermique (conductivité thermique du ciment) et mécanique (résistance à la compression simple, angle de frottement, interne, cohésion) des pieux, ainsi qu'aux modifications physico-chimiques de ces paramètres notamment en présence d'eau souterraine. Valeurs cibles : Conductivité thermique et capacité thermique volumique de l'ordre de 2.0 [W/mK] et de 2.3 [MJ/m ³ K] respectivement. En tous les cas, la conductivité thermique du sol devrait être d'au moins 1.3 [W/mK] et si possible supérieure à 1.8 [W/mK] pour un bon fonctionnement d'un système.	Idem que sondes géothermiques verticales Déclaration à la Préfecture : Si la puissance électrique absorbée par la PAC est comprise entre 50 kW et 500 kW Demande d'autorisation à la Préfecture : Si la puissance électrique absorbée par la PAC est > 500 kW Références : Rubrique 2920 des ICPE	Avantages : Valorisation énergétique d'un système nécessitant une structure porteuse. Implantation au-dessous du bâtiment. Inconvénients : Coût d'investissement élevé. Système nécessitant une étude globale englobant la géotechnique, la thermique, l'hydrogéologie et les altérations physico-chimiques des pieux à terme.

¹⁾ Pour une boucle de 100 m. Principaux paramètres : nature du sol (puissance d'extraction par m² de sol en W/m²), diamètre du PE (20 - 32 mm), espacement des tubes (0.30 - 0.75 m)

²⁾ Le prix dépendra essentiellement de la nature du sol et du coût du décapage

³⁾ Il s'agit d'une profondeur moyenne des sondes réalisées en France pour le domestique. A noter qu'en Suisse ou en Allemagne, des sondes sont couramment réalisées à une profondeur de 150 m et qu'une sonde a déjà été réalisée en Suisse à une profondeur de 706 m.

⁴⁾ La puissance linéaire d'extraction va dépendre du type de roche (20 w/m pour des sables secs à 85 W/m pour des roches consolidées type gneiss par exemple)

⁵⁾ Le prix dépendra essentiellement de la technique de forage utilisée (MFT ou rotary, le deuxième se situant dans la fourchette haute des prix).

⁶⁾ Puissance extraite avec un delta T°C de 6°C et un COP de l'ordre de 3.0

⁷⁾ Le prix tient compte du forage de prélèvement, du forage de réinjection et de la pompe de prélèvement (immergée). Il dépendra essentiellement de la profondeur de la nappe et du tubage à l'avancement

Figure 16 : Caractéristiques des principaux types d'échangeurs géothermiques très basse énergie

2.5. LA PRODUCTION GEOTHERMIQUE DANS LE MONDE, EN EUROPE ET EN FRANCE

2.5.1. Production mondiale de chaleur géothermique

En matière de production de chaleur par usage direct sur un total de 78 pays, et pour l'année 2009, la capacité globale est de 50,6 MW_{th} et la production annuelle de 121 600 GWh. Les cinq principaux pays producteurs, en termes de capacité installée, sont les USA, la Chine, la Suède, la Norvège et l'Allemagne (60% de la capacité mondiale). En termes d'énergie produite, il s'agit de la Chine, des Etats-Unis, de la Suède, de la Turquie et du Japon (55% de l'énergie géothermique par usage direct mondiale)⁴. La Figure 17 ci-dessous présente la répartition des usages de la chaleur au niveau mondial : le chauffage par pompes à chaleur est prépondérant.

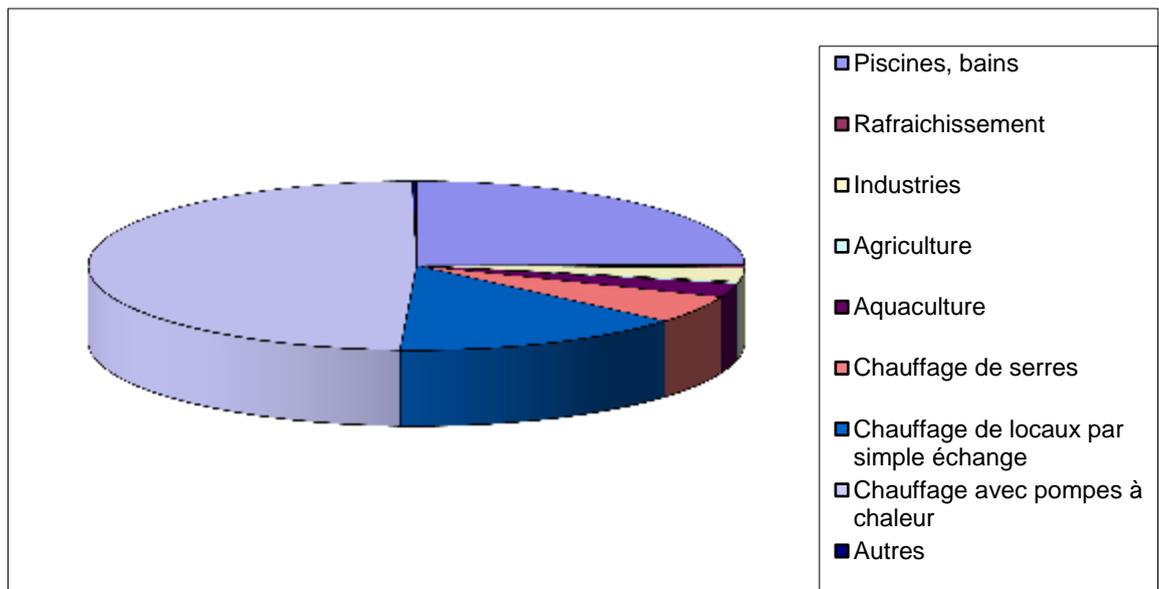


Figure 17 : Les usages de la chaleur géothermique dans le monde (Source : World Geothermal Congress, 2010)

⁴ Source : Lund et al, Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review, Proceedings World Geothermal Congress 2010

2.5.2. Production de chaleur géothermique européenne

Le bilan ci-après présente la production de chaleur avec usage direct de la chaleur géothermale. Ces chiffres comprennent l'énergie produite pour alimenter des réseaux de chaleur mais également les autres usages (balnéothérapie, agriculture..).

Utilisation directe de la chaleur géothermique (hors pompes à chaleur géothermiques) en 2007 et 2008 dans les pays de l'Union européenne. Direct uses of geothermal energy (excluding geothermal heat pumps) in 2007 and 2008* in the European Union countries.*

	2007		2008*	
	Puissance/Capacity (MWth)	Énergie prélevée Captured energy (ktep/ktoe)	Puissance/Capacity (MWth)	Énergie prélevée Captured energy (ktep/ktoe)
Hungary	694,2	189,6	694,2	189,6
Italy	500,0	176,7	500,0	176,7
France	307,0	109,0	312,0	114,0
Germany	240,0	13,8	280,0	14,0
Romania	145,1	67,9	145,1	67,9
Slovakia	131,0	10,5	142,8	13,0
Poland	110,0	10,3	110,0	11,5
Austria	97,0	12,3	97,0	16,0
Bulgaria	109,6	39,8	77,7	25,9
Greece	69,8	12,5	69,8	12,5
Slovenia	44,7	14,7	44,7	14,7
Portugal	30,4	10,3	30,4	10,3
Spain	22,3	8,3	22,3	8,3
Lithuania	17,0	8,7	17,0	8,7
Belgium	9,0	1,5	9,0	1,6
Czech Rep.	4,5	2,1	4,5	2,1
United Kingdom	3,0	1,9	3,0	1,9
Ireland	0,4	0,5	0,4	0,5
Total EU	2 535,1	690,5	2 559,9	689,2

* Estimation. Estimate.
Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma. Source EurObserv'ER 2009

Figure 18 : Utilisation directe de la chaleur géothermique (hors pompes à chaleur) dans les pays de l'Union Européenne) en 2008 (source : Etat des énergies renouvelables en Europe, édition 2009, 9ème bilan EurObserv'ER)

En Europe, la Suède, l'Allemagne et la France sont, de loin, les plus importants marchés du secteur.

Principaux marchés de la PACg dans les pays de l'Union européenne (en nombre d'unités installées) en 2007 et 2008.
Main European Union ground source heat pumps markets (numbers of installed units) in 2007 and 2008*.*

	2007	2008*
Germany	26 887	34 450
Sweden	27 938	25 138
France	21 200	21 725
Austria	8 288	8 566
Finland	5 300	7 500
United Kingdom	3 000	5 000
Netherlands	3 529	4 098
Czech Rep.	1 792	2 203
Ireland	2 608	2 095
Belgium	1 200	1 300
Poland	1 700	1 000
Estonia	1 123	972
Slovenia	420	405
Greece	65	n.c.
Total	105 050	114 452

** Estimation. Estimate.
Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma.
Source EuroObserv'ER 2009*

Figure 19 : Principaux marchés de pompes à chaleur géothermique dans les pays de l'Union européenne (en nombres d'unités installés en 2007 et 2008 (estimations))

2.5.3. Production de chaleur géothermique française

En France, la puissance de la **géothermie profonde** a légèrement augmenté en 2008, avec la réhabilitation, en région parisienne, de deux installations alimentant chacune un réseau de chaleur. La production de la centrale thermique d'Orly (Val-de-Marne) est ainsi passée de 3 à 4 ktep grâce au remplacement d'un doublet existant, faisant passer le débit total de l'installation de 250 m³/heure à 300 m³/heure. La mise en service d'un nouveau puits dans la centrale thermique de Sucy-en-Brie (Val-de-Marne) a également permis à la production d'augmenter de 2 à 3 ktep, le débit s'établissant à 300 m³/heure contre 200 auparavant. Ces deux réhabilitations représentent une puissance supplémentaire de l'ordre de 5 MWth, soit une puissance totale de l'ordre de 312 MWth.

En France, selon les chiffres de l'AFPAC (Association Française pour les Pompes à Chaleur), les ventes de **pompes à chaleur** (de 5 à 50 kW) ont subi en 2009 leur première baisse (- 20,7%) depuis trois ans. L'AFPAC croit cependant à un inversement de la tendance pour 2010. Pour l'association, il s'agit de l'effet de la crise ayant impacté le marché de la construction neuve et donc celui de l'équipement et du chauffage. De plus, le taux du crédit d'impôt a baissé (de 50% à 40% en 2009) et un déstockage massif, *conséquence des stocks importants constitués fin 2008 après trois années de forte croissance consécutives*, a été nécessaire, indique l'association.

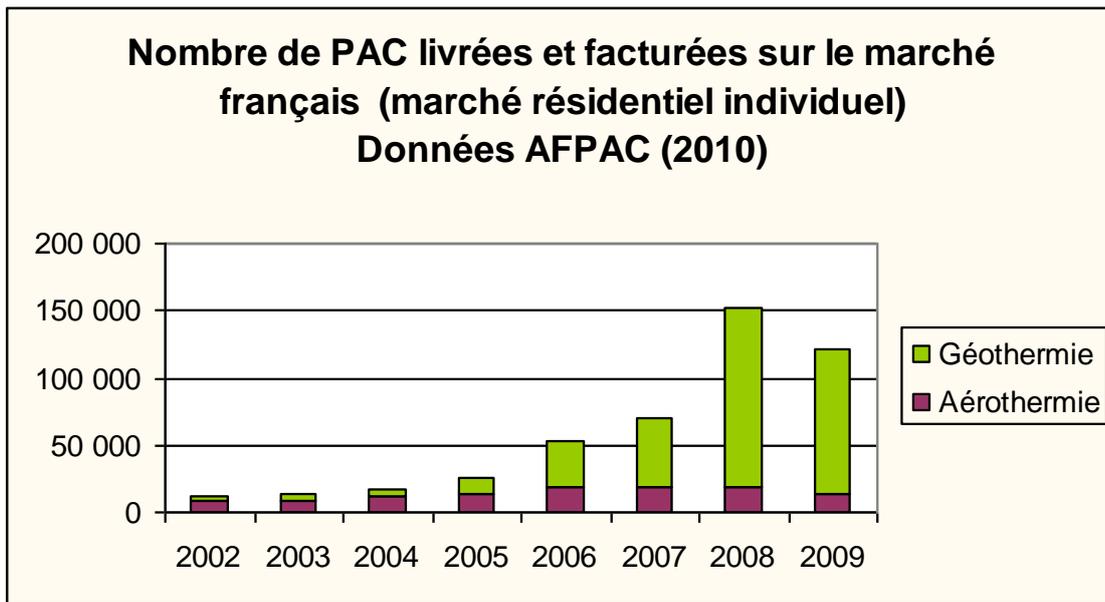


Figure 20 : Marché français des Pompes à Chaleur (Données AFPAC, 2010)

2.5.4. Enjeux de la géothermie en France, dans les domaines des économies d'énergie, de l'environnement et du développement durable

La France va être confrontée dans les années à venir à de grands enjeux énergétiques : maîtriser sa consommation énergétique globale, sécuriser ses approvisionnements et diviser par un facteur 4 d'ici 2050 ses émissions de CO₂ pour limiter le réchauffement climatique.

Cependant la consommation finale d'énergie dans le résidentiel - tertiaire continue à augmenter (Figure 21), du fait de l'augmentation du parc (en nombre et en surface) et de l'augmentation du confort (y compris le recours accru à la climatisation durant l'été).

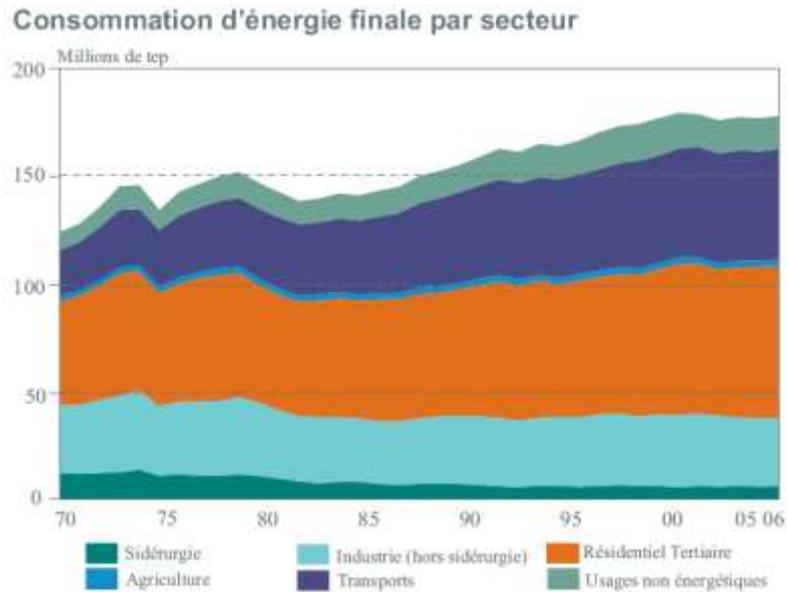


Figure 21 : Evolution de la consommation finale énergétique nationale par secteur (source : « Observatoire de l'énergie : l'énergie en France - repères Edition 2007 »)

Selon l'ADEME, le secteur du bâtiment produit plus de 20% des émissions de CO₂ totales et 43% de la consommation d'énergie finale en France. Près de 70% de la consommation d'énergie du résidentiel est liée aux besoins du chauffage (Figure 22). Il y a donc dans ce domaine une source importante d'amélioration qui doit passer tout d'abord par la qualité des bâtiments et par les comportements individuels, mais également par la pénétration des énergies renouvelables dans le Marché et de l'efficacité énergétique des dispositifs de chauffage.

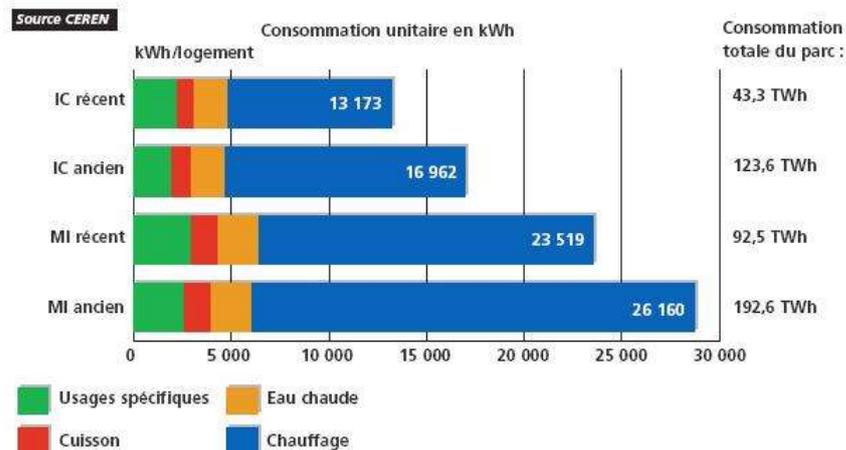


Figure 22 : Consommation en énergie finale par usage des résidences principales en 2002 (d'après « Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment »), IC = Immeubles collectifs, MI = Maison Individuelles

L'énergie géothermique présente des avantages non négligeables qui lui permettent de participer au développement de solutions durables. C'est une énergie :

- locale : Lorsque les ressources sont disponibles et en adéquation avec les besoins en surface, aucun transport d'énergie n'est nécessaire. Cela permet également un développement local
- peu productrice de gaz à effet de serre
- régulière : La géothermie n'est pas tributaire des conditions climatiques extérieures : elle dépend uniquement des caractéristiques intrinsèques du sous sol
- renouvelable : Correctement gérée, la chaleur du sous-sol reste stable ou est régénérée (au travers des écoulements souterrains, de manière naturelle ou artificielle)
- économiquement compétitive : La géothermie est une énergie capitalistique : les investissements élevés sont compensés par des coûts d'exploitation faibles.

Regain d'intérêt pour les réseaux de chaleur :

Pour utiliser au mieux la chaleur géothermique, les réseaux de chaleur ont un rôle essentiel à jouer car ils permettent d'acheminer la chaleur d'origine renouvelable, tout en affranchissant l'utilisateur final des contraintes éventuelles liées à l'approvisionnement et à la manipulation de la source (le bois par exemple). Parmi l'ensemble des solutions renouvelables disponibles pour alimenter les réseaux de chaleur, la solution géothermie a son rôle à jouer.

S'appuyant sur des installations de production d'énergie de taille significative, ils permettent également une meilleure maîtrise des émissions polluantes (particules, oxydes d'azote, ...). Les réseaux de chaleur desservent aujourd'hui un peu plus d'un million de logements, c'est-à-dire 4% du parc national. Les énergies renouvelables ou de récupération représentent actuellement un peu plus de 20% de la consommation des réseaux. Il y a donc un grand potentiel pour accroître la part de ces énergies dans le bouquet énergétique des réseaux.

La prise de conscience des risques de pollution et de dégradation de la qualité de notre environnement, par le biais des émissions de gaz à effet de serre (le protocole de Kyoto), et l'augmentation du prix des hydrocarbures conduisent progressivement à la mise en place de nouveaux objectifs énergétiques, tant au niveau européen, que national ou local.

2.5.5. Perspectives de développement de la géothermie en France

Le Grenelle Environnement prévoit de porter à au moins 23% en 2020 la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale (ce qui équivaut à un doublement par rapport à 2005). Atteindre cet objectif suppose d'augmenter de 20 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) la production annuelle d'énergies renouvelables d'ici 2020, en portant celle-ci à 37 Mtep. Parmi ces 20 Mtep, 10 millions seront valorisées sous forme de chaleur.

Concernant le partage entre les différentes énergies renouvelables, la prospective dressée par le comité opérationnel énergie renouvelable est la suivante :

- Chaleur : + 10 millions tep
- Électricité : + 7 millions de tep
- Biocarburants : + 3 millions de tep

Concernant la chaleur renouvelable, la répartition est la suivante, en milliers de tep :

(Equivalent ENR en ktep)	2006	2012	2020	Supplément 2012	Supplément 2020
Bois Individuel	7 400	7 400	7 400	0	0
Biomasse collectif industrie	1 400	3 040	7 600	1 640	6 200
géothermie	220	535	1 300	315	1 080
PAC aérothermiques	160	960	1 050	800	890
Solaire thermique	27	185	927	158	900
UIOM et bois DIB (Part EnR)	400	470	900	70	500
Biogaz	55	60	555	5	500
TOTAL	9 662	12 650	19 732	2 988	10 070

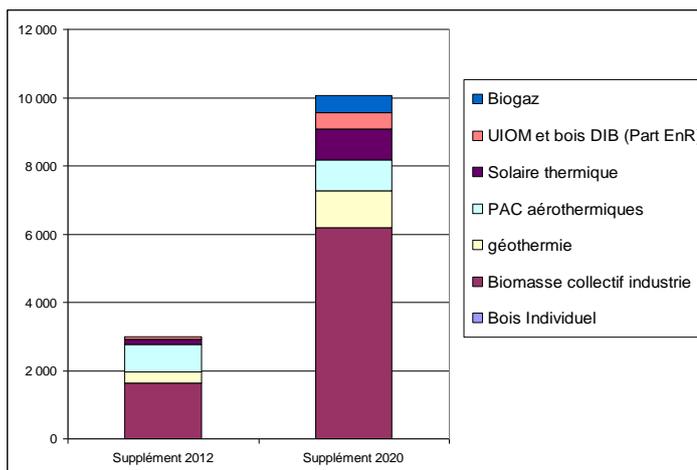


Figure 23 : Répartition de la chaleur renouvelable et supplément à acquérir d'ici 2012 et 2020

Le Comité Opérationnel «énergies renouvelables» (COMOP) du Grenelle Environnement a proposé une multiplication par 6 de la production de géothermie et des pompes à chaleur à l'horizon 2020, soit une contribution de 2 millions de tonnes équivalent pétrole représentant 10% de l'augmentation de la production d'énergies renouvelables à cet horizon.

Plus précisément, pour la chaleur géothermique, l'évolution serait la suivante :

(Equivalent ENR en ktep)	2006	2012	2020	Supplément 2020
Réseaux de chaleur géothermiques	130	195	500	370
PAC géothermiques tertiaire et collectif	50	100	250	200
PAC géothermiques individuelles	40	240	550	510
Total géothermie	220	535	1 300	1 080

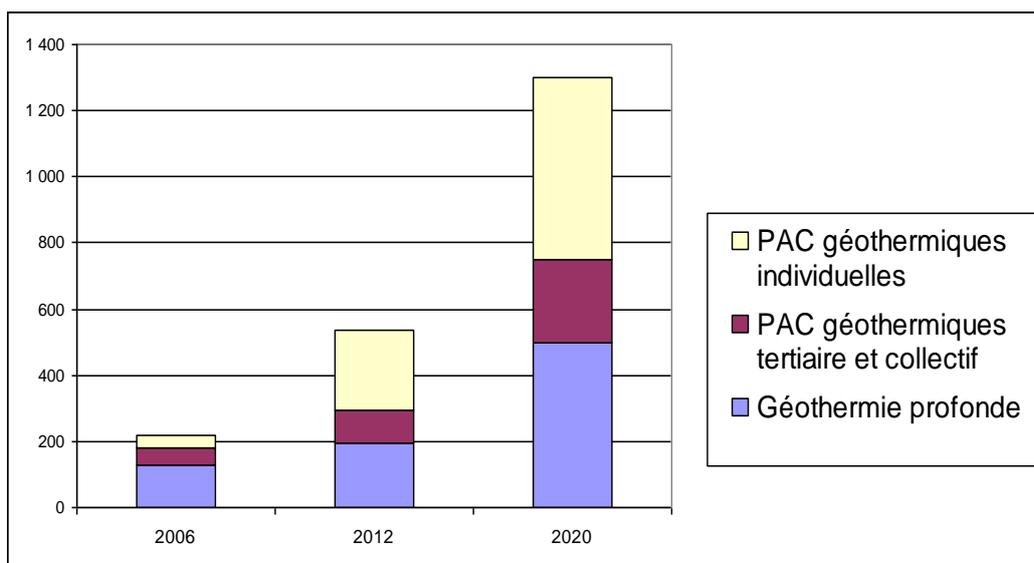


Figure 24 : Objectifs de production de chaleur renouvelable d'origine géothermique en ktep (source : COMOP 10)

Les objectifs de développement de la géothermie, proposés par les Comités Opérationnels du Grenelle, ont été fixés par l'arrêté du 15 décembre 2009, relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production de chaleur. Les objectifs de développement de la production de chaleur, à partir d'énergie géothermiques en France (PPI Chaleur 2009-2020) sont les suivants, en termes de production globale :

	Au 31 décembre 2012	Au 31 décembre 2020
Géothermie profonde	195 ktep	500 ktep
Géothermie intermédiaire	100 ktep	250
Pompes à chaleur individuelles	1 200 ktep	1 600

Figure 25 : Objectifs de développement de la production de chaleur d'origine géothermique en France

Les nouveaux moyens mis en place comme le Fond Chaleur Renouvelable, pour les opérations du secteur du logement collectif et du tertiaire, ou la modification du crédit d'impôt, pour les particuliers, vont permettre d'accélérer la mise en place d'opérations de géothermie.

Parallèlement à cela, le Grenelle de l'Environnement met également en avant le développement des réseaux de chaleur. La PPI chaleur 2009-2020 propose un doublement des équivalent-logements raccordés aux réseaux de chaleur d'ici 2020. La géothermie est capable d'alimenter des réseaux de chaleur, et notamment la géothermie profonde.

2.5.6. Aperçu des objectifs énergétiques mondiaux, européens, nationaux et locaux pour limiter l'émission de gaz à effet de serre

a) Politique internationale

Les éléments marquants de la politique internationale sont présentés dans la Figure 26 :

Echelle	Date	Evènement / Document Clé	Point(s) clé
Mondiale	1992	Sommet de la Terre, à Rio de Janeiro	Texte fondateur de 27 principes « Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement » et adoption d'un programme d'action pour le 21ème siècle, appelé Agenda 21
	1997	3e Conférence des Nations unies sur les changements climatiques à Kyoto	Adoption du protocole de Kyoto
	2002	Sommet de Johannesburg	
	2005	Ratification du protocole de Kyoto	Objectif de - 8% d'émissions de GES en 2008-2012 par rapport à 1990 pour la communauté européenne
	2009	Conférence de Copenhague sur le climat	
Européenne	2003	Directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté	Mise en place du Plan National d'affectation des quotas
	2008	Paquet climat-énergie (ou Plan Climat-énergie)	Triple objectif aux pays de l'Union Européenne à l'horizon 2020 : réduire de 20 % leur émissions de gaz à effet de serre par rapport à leur niveau de 1990, porter la part des énergies renouvelables à 20% de leur consommation et réaliser 20 % d'économie d'énergie.
	2001	Directive sur la promotion de l'électricité à partir d'énergies renouvelables 2001/77/CE	Mise en place d'un cadre communautaire pour la promotion des sources d'énergie renouvelables dans la production d'électricité. Elle fixe comme objectif une contribution de 21% des sources d'énergie renouvelables et prévoit des mesures spécifiques concernant, entre autres, l'évaluation de l'origine de l'électricité, le raccordement au réseau et les procédures administratives. La directive 2001/77/CE est abrogée par la directive 2009/28/CE, en vigueur à partir du 1er janvier 2012.
	2009	Directive relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables 2009/28/CE	La présente directive établit un cadre commun d'utilisation des énergies provenant des sources renouvelables afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre et de promouvoir un transport plus propre. À cet effet, des plans d'action nationaux sont définis. Ils prévoient 23% d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale française d'ici 2020.

Figure 26 : Faits marquants de la politique mondiale et européenne en matière de réduction des gaz à effet de serre

b) Politique nationale

• **Quotas carbone**

Dans le cadre du Protocole de Kyoto, les Etats signataires se voient assigner un objectif de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Différentes mesures en découlent et peuvent concerner le secteur de la géothermie sur aquifères profonds dont le plan national d'affectation de quotas d'émission de CO₂ (PNAQ).

La directive européenne sur les quotas d'émissions (2003/87/CE) a mis en place l'établissement d'un marché de quotas d'émission de gaz à effet de serre au sein de l'Union européenne, à partir du 1er janvier 2005.

Le tonnage d'émission national est réparti par l'État, à travers un plan national d'affectation de quotas (PNAQ), entre les différents exploitants d'installations émettrices de gaz à effet de serre (entreprises des secteurs de l'industrie et de la production d'énergie, dont les grands réseaux de chauffage urbain de plus de 20 MW).

• **Plan National de Lutte contre le Changement Climatique 2000 (PNLCC)**

Il définit une stratégie nationale, axée sur des actions domestiques, sans recourir aux mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto. Ce plan répartit l'engagement national de stabilisation en matière d'émission de gaz à effet de serre, en attribuant des objectifs différenciés par secteurs : transports, bâtiment, énergie, industrie, agriculture, déchets.

Ce plan devrait permettre à la France de respecter ses engagements internationaux pris dans le cadre du protocole. Mais de nombreuses mesures du PNLCC n'ont pas été mises en œuvre. Des dérives sectorielles ont par ailleurs été constatées dans les secteurs des transports et du bâtiment. C'est pourquoi, pour rendre le PNLCC plus efficace, un Plan Climat a été adopté en juillet 2004.

• **Plan Climat**

L'application du PNLCC ayant été insuffisante pour assurer le maintien des émissions françaises de gaz à effet de serre et en particulier pour enrayer l'augmentation des émissions de certains secteurs, le Plan Climat 2004 est un plan d'action qui doit permettre à la France d'atteindre cet objectif. Il reprend certaines mesures du PNLCC et en introduit de nouvelles. Il engage aussi une réflexion sur la mise en œuvre de mesures d'adaptation aux impacts du changement climatique.

Il retient huit orientations fortes : campagne nationale de sensibilisation et adaptation ; transports durables ; bâtiment et écohabitat ; industrie, *énergie* et déchets ; agriculture durable et forêts ; climatisation durable ; plans climats territoriaux et État exemplaire ; recherche, international et prospective après 2010.

Le plan a été réactualisé en 2006, puis en 2009. Le plan Climat 2009 fait la synthèse des mesures prises par la France en termes de lutte contre les changements climatiques et permet d'évaluer l'impact des objectifs du Grenelle sur les émissions de GES.

En effet, la loi POPE (présentée ci-dessous) stipule que "La lutte contre le changement climatique est une priorité de la politique énergétique qui vise à diminuer de 3 % par an en moyenne les émissions de gaz à effet de serre de la France. En conséquence, l'Etat élabore un "plan climat", actualisé tous les deux ans, présentant l'ensemble des actions nationales mises en œuvre pour lutter contre le changement climatique."

- **Loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique Française (Loi 2005-781 du 13 Juillet 2005 dite loi POPE et décrets du 23 mai 2006)**

La Loi POPE est l'aboutissement d'un processus engagé en janvier 2003 avec le Débat national sur les Energies. La loi fixe les quatre grands objectifs de politique énergétique française et les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir :

- contribuer à l'indépendance énergétique ;
- assurer des prix d'énergies compétitifs ;
- préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre ;
- garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès de tous à l'énergie.

Ces objectifs induisent les axes d'action suivants :

- maîtriser la demande d'énergie ;
- diversifier les sources d'approvisionnement ;
- développer la recherche dans les domaines de l'énergie.

Cette loi fixe des objectifs chiffrés :

- diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 3% par an ;
- porter la production intérieure d'électricité d'origine renouvelable de 16% à 21% de la consommation intérieure d'électricité totale à horizon 2010 ;
- augmenter de 50% la production de chaleur d'origine renouvelable à l'horizon 2012.

• Le Grenelle de l'Environnement

Les autorités françaises ont mis en place en 2007 une démarche originale, le « Grenelle de l'environnement ». Pour la première fois, l'Etat, les collectivités territoriales et les représentants de la société civile ont été réunis afin de définir une feuille de route en faveur de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables, en établissant notamment un plan de mesures concrètes recueillant un accord le plus large possible des participants. 34 « comités opérationnels » (COMOP), dédiés chacun à un thème spécifique, ont été constitués afin de traduire les objectifs fixés en mesures concrètes. Plusieurs programmes ont été définis, dont le programme en faveur des énergies renouvelables (COMOP n°10).

Ces discussions ont abouti à la mise en place de deux lois importantes :

- La loi de programmation de mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite « loi Grenelle 1 » a été adoptée par le parlement le 23 juillet 2009 (et promulguée le 3 août 2009). Cette loi reprend les engagements du Grenelle, avec une rédaction adaptée au cadre législatif, et notamment les éléments du Plan National pour le développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale, annoncé par J.L. Borloo en 2008. Si la thématique énergie est un point clé pour la géothermie, les thématiques bâtiments et urbanisme vont également influencer sur le développement de cette énergie renouvelable. D'après le site officiel du Grenelle⁵, « L'année 2009 a été riche en réalisations pour le Grenelle Environnement. 88% des engagements qui devaient être réalisés avant la fin 2009 ont été tenus ».
- La loi portant engagement national pour l'environnement, dite « loi Grenelle 2 », a été votée par le Parlement le 29 juin 2010. Elle rassemble la quasi-totalité des mesures législatives normatives nécessaires à la mise en œuvre des engagements du Grenelle et ne relevant pas d'une loi de Finance. Elle est décomposés en 6 titres : Bâtiment et Urbanisme, Transports, Energie, Biodiversité, Risques / Santé / Déchets, Gouvernance et met en place des mesures phares, dans l'ensemble de ces thématiques.

⁵ <http://www.legrenelle-environnement.fr>

2.6. PRINCIPAUX MÉCANISMES D'ACCOMPAGNEMENT ET PROCEDURES INCITATIVES POUR LE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE

2.6.1. Mesures de garanties contre le risque géologique

a) Garantie AQUAPAC®, pour les opérations de Pompes à Chaleur sur aquifères superficiels (ANNEXE 1)

Pour pallier l'incertitude locale sur la présence et/ou la pérennité de la nappe d'eau souterraine, la garantie Aquapac® a été initiée en 1983 sous l'égide de l'ADEME (AFME à l'époque), d'EDF et du BRGM.

Elle offre une double garantie portant sur les ressources pérennes en eau souterraine :

La garantie « recherche » couvre le risque d'échec consécutif à une ressource en eau souterraine insuffisante pour fournir le débit d'eau nécessaire. Le taux de cotisation pour cette garantie est de 5 %⁶ du montant des ouvrages garantis en recherche ;

La garantie « pérennité » couvre le risque de diminution du débit exploitable à terme qui serait liée à une détérioration prouvée de la ressource (non considérées les variations saisonnières du débit et/ou les cycles hydrologiques statistiquement normaux). La garantie ne concerne pas les éventuels incidents de chantier, ni les conséquences des défauts de conception, de réalisation ou de maintenance. En aucun cas, AQUAPAC n'a pour objet de se substituer aux polices d'assurances dommage-ouvrage ou de responsabilité décennale au titre desquelles les opérateurs doivent normalement être couverts.

La durée de cette garantie est de 10 ans⁷, et le taux de cotisation pour cette garantie est de 4% du montant des ouvrages garantis en pérennité. Cette garantie est limitée aux installations d'une puissance thermique minimale de 30 kW et des ouvrages de moins de 100 m de profondeur.

La gestion de la garantie est confiée à la SAF Environnement⁸. L'instruction des dossiers de demande de garantie et la décision d'octroi de garantie sont décidées par un comité Aquapac composé de trois représentants de : l'ADEME, de EDF et du BRGM. Ce comité se réunit périodiquement, avec la participation de la SAF Environnement. Il statue également sur la recevabilité des éventuels sinistres.

⁶ Le taux initial de 10 % a été abaissé à 5 % depuis le 1^{er} septembre 2005.

⁷ La durée initiale de la garantie était de 5 ans et a été portée à 10 ans en 1997.

⁸ SAF Environnement, 195 boulevard Saint-Germain, 75007 Paris tél : 01 58 50 76 76

b) SAF-Environnement, pour les opérations de géothermie sur aquifères profonds

Compte tenu du poids financier important d'une opération de géothermie et de la durée élevée d'amortissement des installations, les pouvoirs publics ont mis en place, dès 1981, une procédure de couverture des risques inhérents à cette activité spécifique.

Ce fond, équilibré par les dotations de l'ADEME, les cotisations des assurés et les placements, est géré par la SAF Environnement créée à cet effet en 1981.

Deux catégories de risques sont couvertes par ce fond :

- Le risque d'obtenir, lors du premier forage, une ressource géothermale aux caractéristiques de débit et de température insuffisantes, ne permettant plus alors la rentabilité de l'opération. C'est le risque appelé « Court Terme ».
- Le risque de voir cette ressource diminuer ou disparaître avant l'amortissement des installations, ainsi que les risques de sinistres affectant les puits, les matériels et équipements de la boucle géothermale. Ce sont les risques à « Long Terme ».

• Le risque Court Terme

Le système mis en place garantit la majeure partie du coût du premier forage en cas d'échec total ou partiel (c'est-à-dire si la ressource géothermale découverte se révèle insuffisante pour assurer une rentabilité minimale des installations). Les critères d'appréciation de succès ou d'échec sont déterminés, en fonction des résultats du premier forage à partir d'une courbe établie après une étude de sensibilité aux variations du couple (débit, température) sur la rentabilité du projet.

En cas d'échec total, le fond prend en charge 65% du coût du forage (après taxes et moins les subventions reçues). Certaines régions, comme la région Ile-de-France, la Provence Alpes Côte d'Azur et l'Alsace, apportent une participation complémentaire de 25%.

Le plafond est fixé à 4 200 000 € par forage.

La souscription au fond Court terme est validée après acceptation du dossier par le comité technique. Le montant de cette souscription est de 3,5% du coût assuré pour les opérations du Bassin parisien et varie de 3,5 à 5% pour les autres régions en fonction de la connaissance du risque géologique.

• Le risque Long Terme

La garantie long terme porte sur :

- les puits,
- les matériels et les équipements de la boucle géothermale (à condition que l'incident survienne pendant la durée de vie normale du matériel),

- le débit et la température du fluide géothermal, c'est-à-dire la puissance thermique de l'installation.

Qualification du dommage		Compensation financière assurée par le Fond
Incident réparable (baisse de puissance de l'installation provisoire et récupérable)		Coût de la réparation des sinistres (pour autant qu'ils résultent d'une cause géologique ou géothermique) Indemnité d'immobilisation de l'installation consécutive au sinistre
Incident non réparable (baisse de puissance de l'installation irréversible irrécupérable et définitive)	Sinistre partiel ($P > 50\% P_0$)	Proportionnelle à la perte de puissance occasionnée.
	Sinistre total ($P < 50\% P_0$)	Globale, avec plafond fixé à 1 250 000 € et franchise de 100 000€ (en valeur 2008).

Figure 27 : Sinistres garantis par le fond de garantie Long Terme

La durée du contrat est de 20 ans.

La souscription au fond est validée si les législations en vigueur et règles techniques sont bien suivies. Le montant de cette souscription est de 12 500€ par an (valeur 2008).

2.6.2. Démarche qualité pour les sondes géothermiques verticales : Qualiforage

L'AFPAC, Association Française pour les Pompes à Chaleur, regroupe un nombre important de fabricants et d'installateurs de pompes à chaleur (<http://www.afpac.org>).

L'ADEME et le BRGM proposent une démarche d'engagement qualité auprès des entreprises de forage pour l'installation des sondes géothermiques. Cette démarche vise à encadrer le marché des pompes à chaleur sur sondes géothermiques verticales grâce à :

- la mise en place d'un « standard de qualité », avec un cahier des charges de référence pour la réalisation de sondes selon les règles de l'art,
- la promotion d'une image de marque optimale de la sonde géothermique verticale.

La gestion de la démarche engagement qualité ainsi que la sélection des entreprises sont pilotées par le BRGM.

La performance de l'ensemble de l'installation de chauffage est conditionnée par la bonne mise en œuvre de la sonde géothermique. Les entreprises adhérant à Qualiforage s'engagent à respecter les règles de l'art pour :

- le dimensionnement des sondes, en fonction notamment de la nature des terrains, et de la présence ou non d'eau souterraines, pour répondre correctement aux besoins de chauffage,
- le respect de l'espacement minimal de dix mètres entre deux sondes pour éviter le gel du sous-sol,
- les conditions techniques de réalisation avec la mise en œuvre d'une technique de forage adaptée, la mise en place des tubes à l'aide d'un touret pour ne pas endommager la sonde, la cimentation sous pression depuis la base de la sonde,
- le test in-situ de l'étanchéité des sondes,
- le respect de la réglementation et la clarification des responsabilités entre le foreur, le chauffagiste et le client.

Outre la réalisation des ouvrages selon les règles de l'art, les entreprises qui adhèrent à la démarche s'engagent formellement à :

- souscrire une assurance décennale avec la mention "sondes géothermiques,
- participer à une journée technique d'information organisée par le BRGM,
- déclarer les forages à la DREAL conformément à la réglementation,
- renouveler annuellement la demande d'adhésion à la démarche Qualiforage.

La liste des entreprises de forage adhérant à cette démarche qualité sur l'ensemble du territoire français peut être consultée sur le site <http://www.geothermie-perspectives.fr>, ou sur le site Promotelec (<http://www.promotelec.com>, puis ouvrir la rubrique "Matériels homologués", puis "Produits répondant aux exigences du Label Promotelec habitat neuf").

Pour les forages d'eau et les sondes géothermiques verticales, on peut se référer à la norme AFNOR NF X10-970. Qualiforage s'engage à appliquer cette norme.

2.6.3. Les aides financières

a) Pour les particuliers

Le crédit d'impôt développement durable est le principal mécanisme d'aide pour les particuliers, à l'échelon national. Des aides régionales et départementales peuvent cependant venir s'ajouter.

Le crédit d'impôt est une disposition permettant aux ménages de déduire de leur impôt sur le revenu une partie des dépenses réalisées pour certains travaux d'amélioration énergétique portant sur une résidence principale. Le taux du crédit d'impôt est fixé chaque année par les lois de finance. Les lois des Finances rectificatives pour 2009 et pour 2010, adoptées en décembre 2009, ont modifié le crédit d'impôt : si le taux de 40% pour les solutions de géothermie n'a pas changé, l'assiette inclut maintenant la pose de l'échangeur.

Le crédit d'impôt porte sur le prix des équipements et des matériaux, hors main d'œuvre (travaux de forage et pose des sondes ou de la pompe par exemple). L'installation doit être réalisée par une entreprise et une facture (ou une attestation fournie par le vendeur ou le constructeur du logement neuf), qui porte la mention des caractéristiques requises dans l'arrêté, doit être établie pour les services fiscaux.

Les particuliers peuvent également profiter du taux réduit de TVA (5,5%) appliqué par les entreprises qui vendent le matériel et en assurent la pose, à condition que la pompe à chaleur soit installée dans une résidence principale ou secondaire achevée depuis plus de deux ans.

Pour un même contribuable, le montant des dépenses donnant droit au crédit d'impôt en faveur du développement durable ne peut excéder la somme de 8 000 € pour une personne seule et de 16 000 € pour un couple. Ce plafond est majoré pour tenir compte de la situation de famille du contribuable. Ces montants sont majorés de 400 € par personne à charge (dont le premier enfant) au sens des articles 196 à 196 B du Code général des impôts. Cette majoration est portée à 500 € pour le second enfant ; 600 € par enfant à compter du troisième.

Des aides particulières peuvent s'ajouter au crédit d'impôt pour des opérations de rénovation (éco prêt à taux zéro, aides de l'ANAH...) (cf. Annexe 2).

En cas d'aide publique supplémentaire à l'investissement (Conseil Régional, Conseil Général, Agence nationale de l'habitat (ANAH)...), par exemple, pour l'achat d'équipements permettant d'utiliser les énergies renouvelables ou les pompes à chaleur, le calcul du crédit d'impôt se fait sur le coût des équipements, déductions faites des aides publiques, selon les modalités qui seront définies dans l'instruction fiscale.

Les espaces info-énergie de l'ADEME permettent d'aiguiller vers les différents types d'aide possibles.

b) Pour les opérations collectif et tertiaires (dont réseaux de chaleur, hors particulier)

• **Dispositifs incitatifs de l'ADEME adopté le 14/02/08 (Système d'aide ADEME aux énergies renouvelables 2008-2013 : délibération n° 08-2-2 du CA ADEME)**

L'ADEME a mis en place un dispositif d'aides financières spécifique à la géothermie permettant de financer :

- des études de faisabilité et des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage,
- des investissements tant pour la réhabilitation d'opérations existantes que pour la réalisation de nouvelles opérations, avec la mise en place du Fonds Chaleur. Les aides sont ramenées au coût du MWh géothermal produit.

Cinq types d'aides sont proposés :

Les aides à la décision

Pour accompagner les organismes et collectivités à étudier l'opportunité d'utilisation des énergies renouvelables, l'ADEME propose des outils méthodologiques et des aides financières, sous forme de subventions, aux organismes des secteurs concurrentiel et non concurrentiel qui font appel à un prestataire pour réaliser plusieurs types d'interventions : pré diagnostic, diagnostic ou étude de faisabilité.

Le système général des aides à la décision⁹ s'applique sans dérogation, hormis pour les projets de géothermie dont l'ampleur n'est pas compatible avec les plafonds prévus par le système général. Pour les opérations de géothermie profonde, le plafond de l'assiette est porté à 300 000 €, avec un taux d'aide maximum de 50%.

Les aides à la démonstration

Elles concernent des premières mises en œuvre de technologies issues de la R&D ou de technologies existantes transférées vers des applications nouvelles. L'ADEME propose d'aider ces opérations à un taux déterminé par une analyse économique. Dans tous les cas, ce taux sera au maximum de 40% et compatible avec l'encadrement communautaire des aides d'Etat en faveur de l'environnement en vigueur.

⁹ Délibération n° 06-5-3 du Conseil d'administration du 11 octobre 2006

Les opérations exemplaires

Elles visent à introduire et développer, dans un territoire (par exemple, région ou département) ou un secteur d'activités (branches industrielles ou agricoles, par exemple), des technologies, des pratiques ou modes d'organisation permettant de progresser de manière exemplaire dans la voie d'un développement plus "durable".

Les aides à la diffusion

Outre les aides mentionnées précédemment, par nature très sélectives, l'Agence propose, dans des domaines particuliers, des aides plus systématiques à la diffusion de technologies ou de bonnes pratiques, de manière à surmonter des obstacles de marché, notamment dans la perspective de la baisse importante des coûts attendue de la croissance des volumes commercialisés. Elles visent principalement à structurer les filières concernées.

Le Fonds Chaleur

La mise en place du Fonds Chaleur renouvelable est un des engagements du Grenelle de l'environnement. Il concerne les opérations dans les secteurs de l'habitat collectif, du tertiaire et de l'industrie. Le principe régissant le calcul des aides du Fond Chaleur est de permettre à la chaleur renouvelable d'être vendue à un prix inférieur d'au moins 5 % à celui de la chaleur produite à partir d'énergie conventionnelle. Le montant exact des aides sera évalué au cas par cas pour les projets de géothermie. Le niveau d'aide proposé peut être atteint par le Fonds Chaleur seul ou en combinaison avec des aides régionales et/ou le FEDER (Fond Européen de Développement Régional) (cf. paragraphe suivant).

Lancé en décembre 2008, un premier bilan sur les aides octroyées a été publié en octobre 2009. Concernant les projets de géothermie, 29 projets ont été aidés pour un montant total de 19 653 584 € (sur un coût total d'opérations de 90 874 672 €). A cela s'ajoutent les aides spécifiques au développement des réseaux de chaleur qui permettent l'acheminement de réseaux d'énergie géothermique.

Pour continuer à développer les énergies renouvelables, la dotation du fonds « Chaleur renouvelable » est doublée en 2010, passant à 314 millions d'euros contre 154 millions en 2009. Ce fonds devrait permettre de produire 350 000 tonnes équivalent pétrole en 2010 en plus des 250 000 réalisées au cours de cette année.

Pour les opérations sur aquifères profonds, l'octroi de l'aide sera subordonné à l'adhésion de l'opération au Fonds de garantie géothermie de la SAF-Environnement.

Plus d'informations...

L'instruction des dossiers par l'ADEME se fait au cas par cas.

Les aides sont généralement allouées en trois versements :

- 50% à la notification
- 30% à la réception de l'installation
- 20% sur présentation des résultats de la première ou des deux premières années selon la taille de l'installation.

Puissance minimum délivrée par la PAC (pour les dossiers déposés avant le 1^{er} octobre 2010) :

- Eau de nappe : 50 kW
- Champs de sondes : 30 kW

Des informations plus détaillées sur le Fonds Chaleur sont disponibles sur le site de l'ADEME, à l'adresse suivante :

www.ademe.fr/fondschaleur/

- **Fonds FEDER**

Le rôle du FEDER (Fond européen de développement régional) est de promouvoir l'investissement et de contribuer à réduire les déséquilibres entre les régions de l'Union européenne. La recherche, l'innovation, les questions environnementales et la prévention des risques représentent les domaines prioritaires pour les financements FEDER. Chaque région a son propre programme opérationnel (PO FEDER), qui définit les priorités financées par le fonds européen pour la nouvelle programmation 2007-2013.

Pour la période 2007-2013, les enjeux pour la région Aquitaine sont résumés dans l'objectif prioritaire du programme : "faire de l'innovation et du développement durable les moteurs de la compétitivité en région". Le programme articule son action autour de quatre axes :

- **Axe 1.** Promouvoir l'économie de la connaissance
- **Axe 2.** Développer les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) au service de la société de l'information
- **Axe 3.** Valoriser le potentiel énergétique et environnemental de l'Aquitaine
 - Objectif 3.1- Relever le défi climatique et énergétique : organiser des modes de production et de consommation durables ; mettre en œuvre le Plan climat ; promouvoir les modes durables de transports et de déplacements.
- **Axe 4.** Développer durablement les territoires spécifiques.

Ces axes se déclinent en différentes fiches action décrivant les critères d'éligibilité des projets et les démarches à suivre. Les opérations de géothermie, s'inscrivent dans le cadre l'objectif 3.1.

Les bénéficiaires potentiels des aides FEDER sont les maîtres d'ouvrage publics et privés. Le guichet instructeur des demandes de subvention se situe à la Préfecture de département sauf pour la Gironde où il se situe à la Préfecture de région.

Des compléments d'informations sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.europe-en-aquitaine.fr/feder-2>

- **Certificats d'économie d'énergie (CEE)**

La loi POPE met en place un mécanisme déjà éprouvé par ailleurs, en particulier en Angleterre : **les certificats d'économie d'énergie (CEE)**. Ce dispositif repose principalement sur l'obligation pour les fournisseurs d'énergie de déclencher chez leurs clients la réalisation d'économies d'énergie.

Le but des CEE est de relancer les économies d'énergie là où existent des gisements importants, mais diffus et difficiles d'accès (notamment dans les secteurs résidentiels et tertiaires), en mobilisant les acteurs du Marché (offre/demande) sans recourir à des subventions. Il s'agit donc d'un nouveau mécanisme de financement des projets d'efficacité énergétique adapté à un Marché libéralisé venant en complément d'outils publics existants (crédits d'impôt, subventions...).

Grâce à la création d'un véritable Marché de l'efficacité énergétique, le dispositif des CEE devrait ainsi permettre d'injecter 500 à 1'000 millions d'euros dans les trois années à venir. Seule serait définie la période de rodage du dispositif (2006-2008) à l'issue de laquelle 54 TWh d'économie d'énergie devront avoir été réalisés. Cet objectif de 54 TWh représente environ 2,13 TWh d'économie par an, soit 0,14% de la consommation française annuelle totale, dont 1 TWh pour les réseaux de chaleur ou de froid.

Principe du dispositif CEE : l'obligation d'économie d'énergie s'impose aux principaux opérateurs (EDF, GDF, CPCU, etc.) qui fournissent au moins 400 GWh d'énergie finale par an (ce qui représente une vingtaine d'obligés).

Les fournisseurs de fioul sont également soumis à obligation. Cependant, le Marché étant constitué d'une myriade de petites entreprises, la loi POPE a prévu explicitement une possibilité de regroupement. Pour l'instant, les fournisseurs de carburants ont été exclus du dispositif.

Pour s'acquitter de cette obligation, les opérateurs disposent de trois voies possibles (variantes) :

- Investir sur leur propre patrimoine ;
- Inciter, par de la sensibilisation ou l'octroi d'aides financières, les clients (particuliers, petites entreprises, collectivités locales...) à réaliser des investissements permettant de réaliser des économies en énergie ;
- Acheter des certificats d'économie d'énergie auprès d'autres acteurs (dits éligibles).

C'est pourquoi ce dispositif s'accompagne de la mise en place d'un Marché de CEE.

L'offre de certificats provient de toute personne morale (acteur éligible) présentant un programme d'actions de taille suffisante (au moins 3 GWh d'économies d'énergie finale réalisées par programme, actualisées sur toute la période du programme présenté). Le dossier devra être validé par les DREAL (Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement).

La demande de certificats vient des « Obligés », qui doivent atteindre leurs objectifs d'économies d'énergie fixés par décret, en complétant éventuellement leurs propres économies par l'achat de certificats auprès d'acteurs éligibles. Ainsi, ce dispositif ouvre à d'autres acteurs (collectivités publiques et territoriales, notamment), la possibilité de participer à la réalisation d'économies d'énergie.

Le CEE est immatériel, il est inscrit dans un registre national et peut faire l'objet de tractations négociées. Les certificats d'économies d'énergie concernent la géothermie, puisque le bénéfice des CEE a été élargi aux énergies renouvelables pour le chauffage des bâtiments, lorsqu'elles viennent se substituer aux énergies fossiles. C'est le cas de la géothermie sur réseaux de chaleur.

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie devrait ainsi constituer une source de financement appréciable permettant de lancer de nouveaux projets de géothermie, sachant que les premières évaluations de projets potentiels ont montré que parmi les actions standards proposées, la géothermie sur réseaux de chaleur offrait les coûts de certificats parmi les moins élevés.

Remarque : Les aides du Fonds Chaleur ne sont pas cumulables, ni avec les Certificats d'Economie d'Energie (lorsque ceux-ci portent sur le même objet que l'aide du Fonds Chaleur) ni avec les projets domestiques. Par contre, les entreprises ou réseaux de chaleur soumis au PNAQ sont éligibles aux aides du Fonds Chaleur.

Les aides pour la production d'électricité géothermale ne sont pas évoquées dans ce document. De même des aides spécifiques pour les territoires d'Outre-Mer pourraient être évoquées.

Des aides spécifiques pour les réseaux de chaleur existent également, comme la TVA à 5,5% pour les réseaux alimentés à plus de 50% en énergie renouvelable et/ou fatale.

• Opérations standardisées

Le décret du 23 mai 2006, relatif aux conditions d'application des certificats d'économies d'énergie, a introduit la notion d'opérations standardisées : un calcul forfaitaire, attribué pour une installation nouvelle type, par rapport à une situation de référence. Les économies réalisées permettent aux obligés de revendiquer des certificats. Le dispositif est entré en vigueur le 1^{er} juillet 2006. L'arrêté du 28 juin 2010 définit les opérations éligibles au titre de ce dispositif. A cet effet, il modifie et complète divers arrêtés publiés précédemment.

Des fiches d'opérations standardisées ont été élaborées pour faciliter le montage d'actions d'économies d'énergie, définissant, pour les opérations les plus fréquentes, les conditions d'éligibilité et des montants forfaitaires d'économies d'énergie.

Quatre fiches concernent la géothermie :

- Pompe à chaleur de type eau/eau pour le résidentiel et pour le tertiaire ;
- Raccordement d'un bâtiment résidentiel à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ;
- Raccordement d'un bâtiment tertiaire à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ;
- Production de chaleur renouvelable en réseau (France métropolitaine).

Les fiches types concernant la géothermie sont présentées en Annexe 3.

- **Amortissement fiscal exceptionnel**

Les entreprises du tertiaire ont droit à l'amortissement fiscal exceptionnel, qui offre aux entreprises la possibilité de pratiquer un amortissement immédiat, sur douze mois à compter de leur mise en service, des matériels destinés à produire de l'énergie renouvelable (PAC, matériels de télégestion, matériels divers ...).

2.6.4. Conclusions

Toutes les mesures progressivement mises en place sont favorables au développement de la géothermie en général, des pompes à chaleur géothermiques utilisées dans le neuf ou dans la rénovation, pour assurer les besoins de chaleur et de rafraîchissement en particulier.

Les pompes à chaleur géothermiques contribuent en effet à la réduction des consommations d'énergies fossiles, à la valorisation énergétique (par leur COP) et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

2.7. CONTEXTE REGLEMENTAIRE DE LA GEOTHERMIE

Les principaux textes réglementaires s'appliquant à l'exploitation des eaux souterraines par forage et à l'exploitation des calories souterraines, donc aux opérations de géothermie sont :

- le Code minier et ses textes d'application, qui relèvent du ministre chargé des mines (la réglementation est appliquée par les Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement : DREAL) ;
- le Code de l'environnement, qui relève du ministre chargé de l'environnement ;
- le Code de la Santé Publique, qui relève du ministre chargé de la santé ;
- le Code Général des Collectivités Territoriales, qui relève du ministre de l'Intérieur.

2.7.1. Le code minier

La géothermie est régie par le code minier¹⁰ en vertu de son article 3 qui donne une définition de la géothermie et du régime juridique qui lui est applicable.

Ainsi, « *les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent* », sont considérés comme des mines.

Une substance minière appartient à l'Etat et non au propriétaire du sol. L'exploitation d'une ressource minière nécessite donc des autorisations accordées par l'Etat. L'instruction des demandes d'autorisation est effectuée par le préfet du département concerné avec l'appui des DREAL qui se prononcent sur la recevabilité des demandes et sur les garanties financières et techniques exigées par la réglementation en vigueur.

Plusieurs types d'exploitations géothermiques sont distingués : les gîtes à « haute température » (supérieure à 150°C) et les gîtes à « basse température » (inférieure à 150°C)¹¹.

Des règles spécifiques s'appliquent à chacun, mais des dispositions communes s'appliquent à tous. Un tableau simplifié des différentes situations rencontrées et des régimes juridiques applicables à la géothermie sur sonde est fourni en Annexe 4.

¹⁰ Principaux textes d'application du code Minier : décret n°78-498 du 28 mars 1978, décrets n°2006-648 et n°2006-649 du 2 juin 2006.

¹¹ Température mesurée à la surface du sol au cours des forages d'exploration.

a) Dispositions spécifiques à chaque type d'exploitation géothermique

• Les opérations haute température (pour mémoire)

Elles sont régies par les titres II, III, IV, VI bis, VIII, IX et X du code minier. Le décret n°2006-648 du 2 juin 2006 relatif aux titres miniers et aux titres de stockage souterrain précise les dispositions du code Minier à leur égard :

- **Recherche de mine** (titre II) : lorsque sont entreprises des recherches de mines par une personne autre que le propriétaire des terrains, celle-ci doit alors soit recueillir le **consentement du propriétaire**, soit détenir une **autorisation** du ministre chargé des mines après mise en demeure du propriétaire, soit détenir un **permis exclusif de recherches**. Ce permis est délivré à l'issue d'une procédure d'enquête publique et de mise en concurrence, pour une période de 5 ans au plus renouvelable deux fois, à un explorateur qui jouit de l'exclusivité du droit d'effectuer tous travaux de recherches dans le périmètre dudit permis et de disposer librement des produits extraits à l'occasion des recherches et des essais qu'elles peuvent comporter ;
- **Exploitation de mine** (Titre III) : l'exploitation est soumise à l'octroi d'une **concession** par décret en Conseil d'Etat (Article 25 du code minier). Cette concession peut être accordée à titre exclusif au demandeur déjà titulaire d'un permis de recherches, à l'intérieur du périmètre de ce permis, pendant la durée de sa validité et sur des substances mentionnées par celui-ci. Une concession est octroyée pour une période ne pouvant pas excéder 50 ans, renouvelable par périodes de 25 ans maximum.

Les procédures d'attribution de ces titres miniers (permis exclusif et concession) sont décrites dans le décret 2006-648 du 2 juin 2006.

• Les opérations basse température

Les opérations basse température sont soumises à un Titre spécifique du code minier, le titre V (articles 98 à 103), qui institue une procédure plus simple que celle établie par les titres II et III.

Les opérations basse température (régime normal)

- **Recherche de gîte géothermique de basse température** : une demande d'autorisation de recherches doit être adressée au Préfet (article 98 du Code Minier). Il s'agit de conférer une autorisation de recherches par arrêté préfectoral après enquête publique. Celle-ci, désignée également par l'appellation « permis exclusif de recherches », est accordée, en vertu du décret n°78-498 du 28 mars 1978, après instruction du dossier du demandeur pour une durée maximale de trois ans ;
- **Exploitation de gîte géothermique de basse température** : elle est soumise à l'obtention d'un **permis d'exploitation** minier accordé par le préfet après enquête publique (article 99 du Code Minier) pour une durée maximale de 30 ans renouvelable par périodes de 15 ans maximum. Le titulaire d'une

autorisation de recherches peut seul obtenir, pendant la durée de cette autorisation, un permis d'exploitation aux conditions de l'article 99 du code minier.

Les procédures de demande et d'attribution de ces permis sont détaillées dans les articles 3 à 7 du décret n°78-498 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques.

Les opérations basse température de minime importance (régime dérogatoire)

Texte de référence : article 17 du décret 78-498 pris en application de l'article 102 du code minier.

- **Définition** : « sont considérées comme des exploitations géothermiques à basse température de minime importance les prélèvements de chaleur souterraine :
 - dont le débit calorifique maximal possible calculé par rapport à une température de 20 degrés Celsius est inférieur à 200 thermies par heure (=230 kW)
 - ET dont la profondeur est inférieure à 100 mètres ».
- **Régime réglementaire** : ce type d'exploitation est dispensées de l'autorisation de recherches et du permis d'exploitation prévus aux articles 98 et 99 du code minier ; elles sont en revanche soumises à **déclaration préalable**, au service interdépartemental de l'industrie et des mines (la DREAL aujourd'hui) un mois avant leur réalisation.

Cette formalité doit être effectuée par le maître d'ouvrage ou par le foreur. L'article 17 du décret de 1978 précité indique que l'accomplissement de cette formalité s'effectue « selon les modalités prévues pour les déclarations de fouille en application de l'article 131 du code minier » et par lettre recommandée avec accusé de réception.

Cette déclaration tient lieu de la déclaration prévue à l'article 131 du code minier.

b) Dispositions applicables à toutes les opérations de travaux de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques

• Ouverture de travaux de géothermie

L'article 83 du Code Minier prévoit que « toute ouverture de travaux d'exploration ou d'exploitation de mines est subordonnée à une **autorisation administrative**, accordée, après enquête publique et consultation des communes intéressées, dans les conditions prévues par un décret en Conseil d'Etat ».

Cet article fait partie du Titre IV du Code Minier qui s'applique à toute opération de géothermie (haute température, basse température et basse température de minime importance).

Les procédures de demande d'autorisation sont précisées par le décret n°2006-649 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines.

Une adaptation du droit minier est en cours sur ce sujet, afin de, s'agissant des installations de minimales importance, limiter les procédures administratives applicables à de simples déclarations.

- **Réalisation d'un forage**

L'article 131 du code minier impose la déclaration préalable à la DREAL, par le maître d'ouvrage ou par le foreur, au moins un mois avant sa réalisation, de tout ouvrage, installation ou sondage de plus de 10 mètres de profondeur.

Pour les opérations de géothermie de minime importance, la déclaration préalable prévue par l'article 17 du décret de 1978 tient lieu de déclaration prévue à l'article 131.

La demande d'autorisation au titre de l'article 83 du code minier vaut déclaration au titre de l'article 131.

Le BRGM est chargé « de recueillir, directement ou auprès d'autres détenteurs, valider, archiver et mettre à la disposition des usagers sous une forme appropriée les informations couvrant le territoire national ainsi que le plateau continental, parmi lesquelles celles concernant les fouilles, forages et levés géologiques recueillis en application du code minier » (article 3 du décret n°2004-991 relatif à l'organisation administrative et financière du BRGM et pris en application de l'article 132 du code minier).

En conséquence, la déclaration préalable ainsi qu'un dossier de fin de travaux sont transmis par la DREAL au Service Géologique Régional (SGR) du BRGM, afin de permettre l'inscription des ouvrages dans la Base de données du Sous-Sol (BSS).

Un logiciel (GESFOR), mis en place par le BRGM et distribué aux maîtres d'œuvre, permet de simplifier ces démarches de déclaration.

La BSS est publique (article 132 du code minier) ; toutes les informations (650 000 forages ou ouvrages répertoriés) sont gratuitement accessibles sur le site Infoterre (<http://infoterre.brgm.fr>) géré par le BRGM.

Un tableau simplifié des régimes juridiques applicables à la géothermie sur nappe (Codes minier et de l'environnement) figure en Annexe 4.

2.7.2. Le code de l'Environnement

Le code de l'environnement ne traite pas de la géothermie en particulier, mais uniquement, dans le cadre de la préservation des ressources en eau et de la prévention des pollutions, des risques et des nuisances, pour certaines activités pouvant avoir un impact sur la ressource en eau.

a) Réglementation relative à l'eau et aux milieux aquatiques

Les objectifs du code de l'Environnement dans le domaine de l'eau sont :

- d'aboutir à la gestion équilibrée de la ressource et la protection de toutes les eaux vis-à-vis des pollutions (article L.211-1 du code de l'environnement) ;
- de mettre en place la « nomenclature Eau » (article L.214-3) : régimes d'autorisation ou de déclaration des ouvrages ou activités susceptibles de représenter un danger ou d'avoir un impact sur la ressource en eau (cf. nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en Annexe 5).

Ces dispositions sont issues de la loi sur l'eau de 1992, puis celle de 2003, lesquelles ont été codifiées depuis dans le code de l'environnement. La législation sur l'eau figure donc désormais au livre II (Milieux physiques), Titre 1^{er} (Eau et milieux aquatiques) de ce code.

• Procédures d'autorisation et de déclaration s'appliquant aux opérations de géothermie

L'article L.214-1 du Code de l'environnement indique que sont soumis à la « nomenclature Eau » :

- les installations non ICPE ;
- les ouvrages, travaux et activités réalisés à des fins **non domestiques** et entraînant des **prélèvements** sur les eaux superficielles ou souterraines, restitués ou non, une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux, la destruction de frayères, de zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole ou des déversements, écoulements, **rejets** ou dépôts directs ou indirects, chroniques ou épisodiques, même non polluants.

L'article L.214-2, du même code, définit la « nomenclature Eau » : « Les installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) visés à l'article L.214-1 sont définis dans une nomenclature, établie par décret en Conseil d'Etat » et sont « soumis à autorisation ou déclaration suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques compte tenu notamment de l'existence des zones et périmètres institués pour la protection de l'eau et des milieux aquatiques ».

Cet article ajoute que le décret définit les critères de l'usage domestique.

• Usage domestique - usage non domestique

Aux termes de l'article R. 214-5 du code de l'environnement, constituent un usage domestique de l'eau :

- les prélèvements et rejets destinés à la satisfaction des besoins des personnes physiques et animaux résidents (consommation, hygiène, lavage, productions végétale et animale familiale) ;

- tout prélèvement inférieur à 1 000 m³ /an.

Les usages géothermiques de l'eau ne constituent que rarement des usages domestiques et ils sont donc la plupart du temps concernés par la « nomenclature eau ».

- **La « nomenclature eau »**

La nomenclature, répartissant les installations ouvrages, travaux et activités (IOTA) soumis à autorisation ou déclaration, figure à l'article R. 214-1 du Code de l'environnement. Le principe du fonctionnement de la « nomenclature eau », d'après les circulaires d'application¹², consiste à appliquer soit le régime déclaratif, soit le régime d'autorisation, soit, pour les IOTA entrant dans plusieurs des rubriques, le régime le plus contraignant (c'est-à-dire le régime d'autorisation).

Les opérations de géothermies sont concernées par la « nomenclature Eau » dans différents cas de figure :

- Pour la réalisation d'ouvrages souterrains en lien avec les eaux souterraines ;
- Lorsqu'elles impliquent des prélèvements d'eau souterraine ;
- Lorsqu'elles impliquent des rejets dans le milieu naturel.

Rubriques « réalisation de forages en lien avec les eaux souterraines »

- **Rubrique 1.1.1.0. :** sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau sont soumis à déclaration.

Rubriques « prélèvements »

- **Rubrique 1.1.2.0. :** les prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé sont soumis à :
 - Autorisation si le volume total prélevé est supérieur ou égal à 200 000 m³/an ;
 - Déclaration si le volume total prélevé est supérieur à 10 000 m³/an mais inférieur à 200 000 m³/an.
- **Rubrique 1.3.1.0. :** les prélèvements dans des zones où des mesures permanentes de répartition quantitative sont instituées (Zones de Répartition des Eaux), sont soumis à :

¹² Circulaire du 16 mars 2004 et circulaire du 22 octobre 2006

- Autorisation si leur débit est supérieure ou égale à 8 m³/h ;
- Déclaration dans les autres cas.

Rubriques spécifiques « ouvrages géothermiques » (« réalisation de forage » et « rejets »)

- **Rubrique 5.1.1.0 :** la réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie est soumise à :
 - Autorisation si la capacité totale de réinjection est supérieure ou égale à 80 m³/h ;
 - Déclaration si la capacité totale de réinjection est supérieure à 8 m³/h mais inférieure à 80 m³/h.
- **Rubrique 5.1.2.0. :** les travaux de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques sont soumis à autorisation.

Ces rubriques renvoient à l'autorisation de travaux régie par le décret 2006-649 d'application de l'article 83 du Code Minier et une autorisation obtenue au titre du Code Minier (Art 83) vaut autorisation ou déclaration au titre du Code de l'Environnement, sous réserve que le dossier de demande comporte les éléments exigés par le code de l'Environnement (dispositions définies aux articles R.214-6 dans le cas d'une autorisation et R.214-32 dans le cas d'une déclaration).

Par ailleurs, comme prévu par le décret n°2006-649 du 2 juin 2006, les demandes d'autorisation et les déclarations prévues par le Code de l'Environnement valent déclaration au titre de l'article 131 du code minier.

Enfin, d'autres rubriques peuvent être appliquées à la géothermie : notamment les rubriques prélèvement (1.2.1.0. et 1.2.2.0) ou rejet (2.2.1.0., 2.2.2.0., 2.2.3.0. et 2.3.2.0) s'appliqueront, le cas échéant. Les prescriptions techniques qui leurs sont assorties sont également applicables (cf. Annexe 5).

Un tableau simplifié des régimes juridiques applicables à la géothermie sur nappe (Codes minier et de l'environnement) figure en Annexe 4.

b) Réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

Les opérations de géothermie peuvent également être soumises à déclaration ou autorisation au titre de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement qui figure au Code de l'Environnement (Livre V "Prévention des pollutions, des risques et des nuisances" - titre 1er "Installations classées pour la protection de l'environnement").

• Forages

Dans la législation applicable aux opérations relevant des installations classées pour la protection de l'environnement, les forages en eux-mêmes ne font pas l'objet d'une

rubrique de la nomenclature des installations classées. Toutefois, ils sont considérés comme des ouvrages connexes des activités soumises à autorisation ou déclaration lorsqu'ils sont nécessaires à leur fonctionnement et à ce titre, ils relèvent de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement définies à l'article L.511-1 du code de l'environnement.

Ainsi, l'autorisation d'exploiter délivrée au titre de la législation des installations classées vaut autorisation au titre de la loi sur l'eau pour les forages.

Les prescriptions applicables à ces ouvrages sont celles fixées par les arrêtés ministériels applicables à l'activité :

- pour les activités soumises à autorisation, il s'agit :
 - de l'arrêté ministériel du 2 février 1998 modifié relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation ;
 - des arrêtés ministériels plus spécifiques à l'activité ;
 - des dispositions de l'arrêté préfectoral d'autorisation.
- pour les activités relevant du régime déclaratif, il s'agit :
 - des arrêtés ministériels applicables à l'activité (L.512-10 du code de l'environnement) ;
 - des prescriptions générales préfectorales (L.512-9 et R.512-51 du Code de l'Environnement) imposées par secteur d'activité ;
 - des dispositions imposées par arrêté préfectoral spécifiquement à l'installation (L. 512-12 et R.512-52 du Code de l'Environnement).

Il convient de noter que l'arrêté ministériel du 11 septembre 2003 portant application du décret n°96-102 du 2 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables aux sondages, forages, création de puits ou d'ouvrage souterrain soumis à déclaration, même s'il n'est juridiquement pas applicable, peut constituer une référence utile à prendre en considération.

Par ailleurs, et conformément à l'article L.214-7 du code de l'environnement, les forages nécessaires au fonctionnement d'ICPE *« sont soumis aux dispositions des articles L. 211-1, L. 212-1 à L. 212-11, L. 214-8, L. 216-6 et L. 216-13, ainsi qu'aux mesures prises en application des décrets prévus au 1° du II de l'article L. 211-3. Les mesures individuelles et réglementaires prises en application de la législation des installations classées fixent les règles applicables aux installations classées ayant un impact sur le milieu aquatique, notamment en ce qui concerne leurs rejets et prélèvements »* :

- Article L.211-1, qui a pour objet une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau (cette gestion prend en compte les adaptations nécessaires au changement climatique).

- Article L.212-1 à L.212-11, relatif aux documents de planification par bassin, sous-bassins ... (SDAGE, SAGE...);
- Article L.214-8, relatif à l'instrumentation avec des moyens de mesure, à la charge des exploitant ou des propriétaires, des installations permettant d'effectuer à des fins non domestiques des prélèvements en eau superficielle ou des déversements, ainsi que toute installation de pompage des eaux souterraines ;
- Article L. 211-3 alinéa 1^{er} du point II, relatif aux mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau, pour faire face à une menace ou aux conséquences d'accidents, de sécheresse, d'inondations ou à un risque de pénurie ;
- Articles L.216-6 à L .216-13 imposant des sanctions pénales en cas d'infraction à différentes dispositions prévues pour protéger les intérêts mentionnés à l'article L.211-1 du code de l'environnement (loi sur l'eau).

c) Articulation avec le code de la Santé Publique

Le code de l'Environnement prévoit dans son article R214-4 que, « Lorsqu'ils sont situés à l'intérieur du périmètre de protection d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public et qu'ils comportent des opérations de sondage ou de travail souterrain, les installations, ouvrages, travaux et activités soumis à déclaration par la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 sont également soumis à l'autorisation prévue à l'article L. 1322-4 du code de la santé publique.

d) Bilan sur l'application du Code de l'Environnement aux opérations de géothermie

Au final, une opération de géothermie avec prélèvement d'eau :

- doit disposer de l'autorisation de travaux délivrée dans les conditions prévues par l'article 2006-649 d'application de l'article 83 du code minier (et qui remplace la déclaration au titre de l'article 131 du code Minier) ;
- doit avoir obtenue cette autorisation en fournissant les documents prévus par le code de l'environnement (au titre de la législation « Eau » et/ou de la législation « ICPE ») et par le code de la Santé Publique, pour que cette autorisation vaille au titre du code de l'Environnement ;
- doit être réalisée en conformité avec les prescriptions de l'arrêté du 11 septembre 2003 précisant les conditions techniques de respect de la rubrique 1.1.1.0 ;
- doit répondre, le cas échéant, aux prescriptions des arrêtés correspondants aux autres rubriques de la nomenclature « Eau » et « ICPE » dans lesquelles entre cette opération, au titre de ses prélèvements, ou rejets, ou réinjections, etc.

2.7.3. Le code de la Santé Publique

Le code de la Santé Publique s'applique au cas particulier des forages destinés à un usage alimentaire (notamment eau destinée à la consommation humaine ou utilisée dans l'industrie agroalimentaire).

Si l'ouvrage destiné à un usage thermique est également utilisé pour une application entrant dans ce champ, il tombe sous le coup du Code de la Santé Publique.

Ainsi, lorsque le prélèvement d'eau dans le milieu naturel est destiné à la consommation humaine ou à une entreprise agroalimentaire, il est soumis à autorisation (articles R1321-6 à R1321-10 et R1322-4 du code de la santé publique).

Le captage doit respecter les prescriptions énoncées par son arrêté d'autorisation spécifique, pris en application de la législation sur l'eau et du code général de la santé. Il doit éviter les risques de pollution par retour d'eau (double réseau ou manchon souple). Les matériaux utilisés ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.

Pour un usage alimentaire et/ou sanitaire collectif (captage d'alimentation en eau potable - AEP), le captage et la zone affectée par le prélèvement est protégé par des prescriptions spécifiques détaillées dans les différents périmètres de protection du captage :

- Périmètre de protection immédiate : surface clôturée de quelques ares ;
- Périmètre de protection rapprochée : zone d'appel du captage dont la surface varie suivant le type d'aquifère (nappe captive ou aquifère karstique...);
- Périmètre de protection éloigné : zone d'alimentation du captage.

2.7.4. Le code Général des Collectivités Territoriales

Depuis le 1er janvier 2009, tout particulier utilisant ou souhaitant réaliser un ouvrage de prélèvement d'eau souterraine (puits ou forage), à des fins d'**usage domestique** doit **déclarer** cet ouvrage ou son projet en mairie. Les informations relatives à cette déclaration sont tenues à disposition du représentant de l'Etat dans le département et des agents des services publics d'eau potable et d'assainissement (décret 2008-652 du 2 juillet 2008 pris en application de l'article L. 2224-9 du code général des collectivités territoriales).

Une fiche déclarative est définie dans l'arrêté de 17 décembre 2008 ; elle est fournie en Annexe 6 et est disponible au téléchargement sur le site Internet : <http://www.foragesdomestiques.developpement-durable.gouv.fr>.

2.7.5. Evolutions en cours

La réglementation relative à la géothermie est en cours de modification. Les changements envisagés sont importants et, dans cette période charnière (réorganisation des services de l'Etat), il est recommandé aux maîtres d'ouvrage de se rapprocher des services locaux (départementaux et régionaux) en charge de l'instruction des dossiers de déclaration et d'autorisation : DDT et DREAL.

3. La géothermie en Aquitaine

3.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Note : Afin de faciliter la compréhension, un glossaire et une échelle des temps géologiques simplifiée ont été inclus en annexe 11 à la fin de ce rapport.

Le bassin d'Aquitaine, qui comprend actuellement la majorité de la Région Aquitaine, est un bassin péri-atlantique sur croûte continentale, qui a fonctionné du Permien (275 millions d'années environ - Ma) à nos jours. Il est ouvert sur le golfe de Gascogne où il se prolonge par un large plateau continental. Intensément étudié par les compagnies pétrolières, ce bassin a fait l'objet de plusieurs synthèses (BRGM, ELF-Re, ESSO-Rep et SNPA, 1974 ; Curnelle et Dubois, 1986 ; Serrano et al., 2006).

Les bordures actuelles du bassin, qui ne traduisent pas ses limites au cours des temps géologiques, sont très différentes. Au nord et à l'est, il s'appuie sur le socle du Massif armoricain et du Massif central, structurés durant l'ère Paléozoïque (ou Primaire). A l'ouest, sa limite date du Crétacé inférieur pour le Golfe de Gascogne et au sud, sa bordure actuelle est constituée par la chaîne des Pyrénées, dont les phases orogéniques beaucoup plus jeunes datent du milieu du Tertiaire.

3.1.1. Généralités et géodynamique

Massif Central et massif Armoricaire sont les restes des puissants reliefs montagneux qui couvraient une partie de l'Europe, un peu avant la fin du Paléozoïque. Ces terrains paléozoïques sont hérités de gigantesques soulèvements montagneux (orogénèses anciennes), dont le plus récent s'est produit pendant la phase varisque (hercynienne), au cours du Carbonifère, il y a plus de 300 Ma. Encore visibles aujourd'hui dans ces massifs périphériques, ils sont maintenant recouverts par les sédiments du bassin dont ils forment le soubassement (Figure 28).

C'est l'enfoncement (subsidence) de ce soubassement, particulièrement actif pendant une partie des ères Mésozoïque - ou Secondaire, et Cénozoïque - ou Tertiaire (Brunet, 1984), qui a permis aux sédiments alimentés par l'altération et l'érosion des reliefs de bordure de s'accumuler et de se conserver dans le bassin. La distribution actuelle de ces sédiments, aujourd'hui transformés en roches (ou terrains et formations géologiques), de plus en plus récents en allant du Massif central à la région landaise, atteste de la distinction au cours des temps géologiques d'un domaine septentrional de plate-forme, relativement stable et faiblement subsident, et d'un domaine méridional très fortement subsident.

Ainsi la puissance totale des formations sédimentaires (depuis le Permo-Trias jusqu'au Quaternaire) s'accroît de 1 000 m environ en Dordogne et en Lot-et-Garonne, pour atteindre 2 000 m sous la Gironde, 3 000 à 4 000 m sous les landes et dépasse 8 000, voire localement 10 000 m au pied de la chaîne pyrénéenne.

Le bassin enregistre depuis le Trias les mouvements relatifs des plaques Ibérie et Eurasie (Choukroune, 1976; Choukroune et Mattauer, 1978; Curnelle et al., 1980; Brunet, 1983; Curnelle, 1983; Brunet, 1991; Olivet et al., 1996) et son évolution est fortement contrôlée par les structures héritées de l'histoire hercynienne.

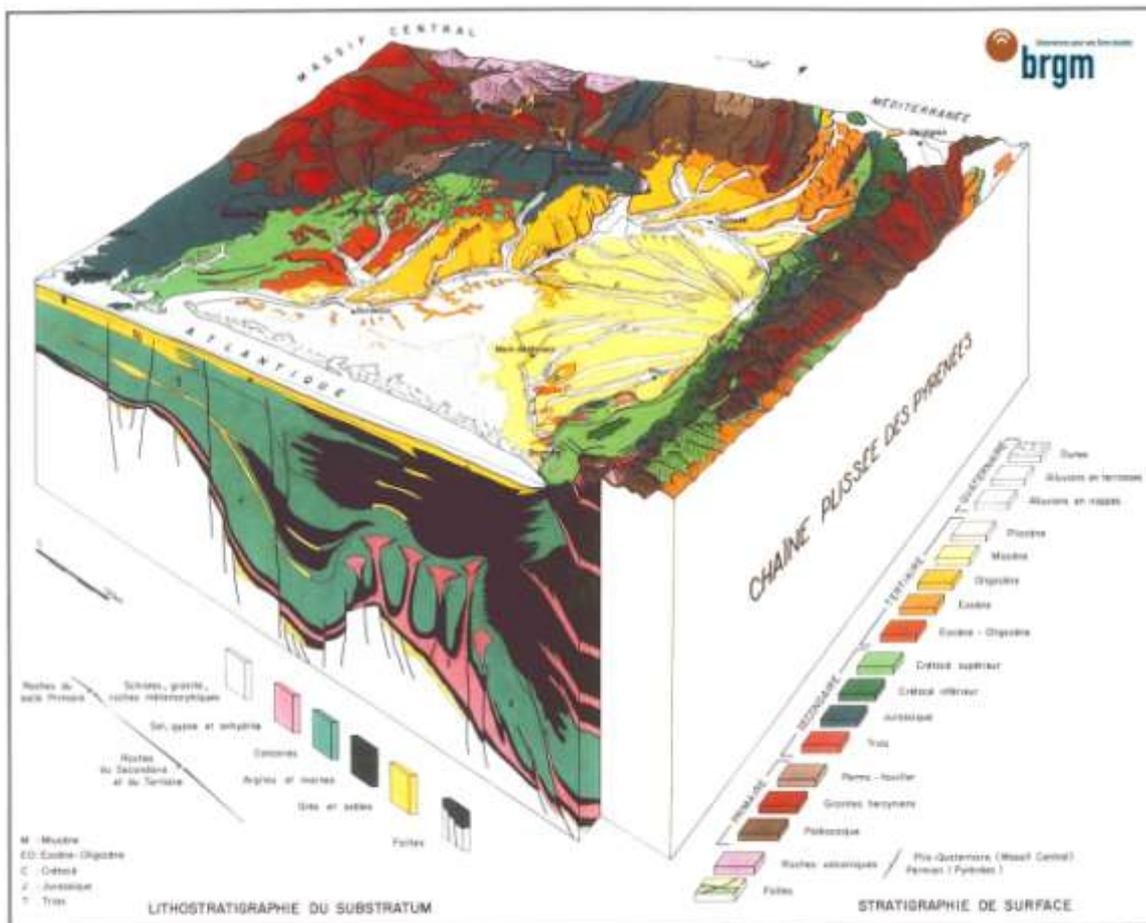


Figure 28 : Vue en 3D du bassin d'Aquitaine (source : BRGM, 1986)

Il est assujéti à l'évolution successive de deux domaines océaniques, Téthys et Océan Atlantique, et a évolué globalement d'un stade extensif (Trias au Crétacé inférieur) à un stade compressif (Crétacé supérieur au Tertiaire). L'histoire du bassin a été une suite de tentatives de rifting, dans le contexte de l'ouverture progressive du Golfe de Gascogne.

Ce sont les contrecoups de la distension qui s'installe au Permien dans le substratum paléozoïque, qui vont induire les premières structures subsidentes où sont piégés les **dépôts évaporitiques du Trias**.

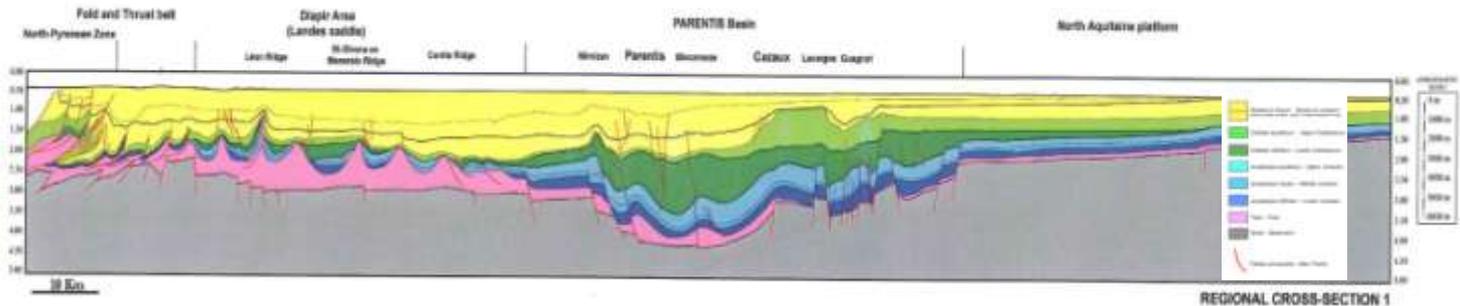


Figure 29 : Coupe nord-sud du bassin d'Aquitaine, le long du littoral (source : Serrano et al., 2006)

La progression vers le nord de l'ouverture de l'Atlantique, à partir de l'Atlantique central, est d'abord responsable de l'orientation nord-sud des domaines sédimentaires marins, lors de la **première grande transgression marine au Jurassique** qui dépose des formations sédimentaires à dominante carbonatée.

En atteignant le golfe de Gascogne, **au Crétacé inférieur**, l'ouverture océanique provoque la rotation du bloc ibérique vers l'est le long d'un réseau de failles parallèles aux futures Pyrénées ("faille nord-pyrénéenne", de direction dominante est-ouest). A partir de ce moment et jusqu'aux ultimes phases post-orogéniques pyrénéennes de l'Oligocène, cette nouvelle direction est-ouest gouverne de plus en plus l'histoire du domaine méridional aquitain (**subsidence des grandes fosses** et siège du **diapirisme** des masses salifères du Trias, Figure 29).

C'est au cours du **Crétacé supérieur**, alors que l'Atlantique Nord est en pleine ouverture, que se produit la **deuxième et dernière grande transgression marine** dans le bassin, contemporaine d'une élévation du niveau des mers à l'échelle mondiale (eustatisme).

Avec le **Tertiaire**, alors que se structurent, surgissent puis s'érodent les Pyrénées, commence une longue période globalement régressive de la mer ; la **continentalisation du bassin** va progresser et s'achever pour l'essentiel au début du Quaternaire par le comblement définitif de la dépression landaise.

3.1.2. Types de réservoirs

Les réservoirs, ou "formation aquifère", constitués par des roches poreuses dotées d'une certaine perméabilité, donc renfermant de l'eau mobilisable, sont de deux types : les réservoirs poreux et les réservoirs fissurés ou karstiques.

Les réservoirs poreux

Ils sont constitués par deux groupes de formations sédimentaires :

• Formations silicoclastiques

Ce sont les grès et les sables continentaux existant en bordure des massifs anciens, localement très développés aux époques post-orogéniques où se produit une érosion intense des terres émergées (grès du Permien et du Trias du bassin de Brive, "grès de Gensac" en bordure de la chaîne pyrénéenne, ou Eocène et Oligocène continentaux de la plate-forme nord-aquitaine, par ex). Ils prennent une grande importance quand ils correspondent à de vastes épandages sur le piémont des zones en surrection (Sables infra-molassiques de l'Eocène au moment de la principale phase de surrection des Pyrénées). Les grès et sables peuvent également appartenir au domaine littoral (Turonien supérieur en Dordogne et Lot-et-Garonne, par ex.). Ces formations peuvent aussi exister en milieu marin, dans les zones à fort courant de turbidité; c'est le cas des "Grès de Contis" à l'Eocène ou de l'Albo-aptien du sous-bassin de Parentis.

• Formations carbonatées

Présentant une porosité de matrice, elles sont constituées par les calcaires granulaires (oolitiques et/ou graveleux) et par les dolomies. Les premiers, déposés dans les domaines de plate-forme à barrière ou de haut-fond, se sont formés en l'absence de tout apport détritique, en mer chaude et agitée où la précipitation biogénique des carbonates est importante.

Les dolomies, très largement représentées dans le Bassin Aquitain, correspondent soit aux domaines marins très peu profonds, à caractère confiné ("dolomies primaires"), soit peuvent résulter de la diagenèse de calcaire par dissolution et recristallisation de la roche ("dolomies secondaires").

Les réservoirs fissurés ou karstiques

Le deuxième type de réservoir est constitué par des roches carbonatées qui ont été fracturées ou ayant subi une karstification, qu'elles soient initialement poreuses ou non.

Ainsi, tous les calcaires des domaines de plate-forme interne, essentiellement compacts peuvent potentiellement constituer des réservoirs. Dans ce type de réservoir, il est difficile de quantifier la perméabilité en tout point. En effet la rencontre d'un drain y reste aléatoire et la probabilité de traverser des couches productrices est très

variable en fonction de la proximité de structures anticlinales (sud du Bassin Aquitain, par ex.). Mais le caractère karstique et fracturé de la plupart des formations carbonatées du Bassin Aquitain est un trait fondamental de cette région.

3.1.3. Réservoirs du Plio-Quaternaire

- **Le Quaternaire**

Au *Quaternaire ancien*, l'ultime comblement de la région des Landes de Gascogne (et du Médoc) est marqué par l'arrivée franche du froid en Europe moyenne et du sud.

Lors des phases quaternaires, la région landaise est soumise aux phénomènes périglaciaires, mais aussi à un ruissellement et à une éolisation intense. Se déposent alors des sables fins, blanchâtres, d'origine fluviatile (formation de Castets), éolisés par la suite au Würm récent, pour donner le Sable des Landes.

Au sein de la zone d'étude, le Quaternaire affleurant est essentiellement représenté par la formation dite du Sable des Landes et la formation de Castets. Il s'agit d'un revêtement superficiel éolien et hydro-éolien très étendu et relativement homogène qui marque la fin du comblement du Bassin Aquitain. Deux autres faciès appartenant aux épisodes quaternaires sont remarquables :

- les accumulations éoliennes détritiques sableuses *holocènes*, elles constituent, à l'ouest, un cordon dunaire côtier d'environ 6 km de large ;
- les alluvions récentes constituées de dépôts détritiques (sables et argiles silteuses grises). Elles représentent l'ultime comblement des chenaux creusés lors de la dernière phase glaciaire wurmienne.

- **Le Pliocène**

En Aquitaine, le *Pliocène inférieur à moyen* (Brunssumien à Reuvérien) est marqué par une régression marine.

Le trait de côte est souligné par des accumulations ligniteuses (dépôts organiques de Solférino et de Mézos) alors que le talus continental se situe un peu à l'ouest du trait de côte actuel. La région landaise reçoit alors un maximum d'épandages détritiques grossiers (formation d'Arengosse).

Au *Pliocène moyen* (Prétiglien) le comblement du Triangle landais-médocain se poursuit avec le dépôt de la formation d'Onesse marquant les premiers indices d'un refroidissement du climat, puis au *Pliocène supérieur* (Tiglien) par le dépôt, sous climat plus chaud, de la formation de Belin, équivalent latéral des graviers de l'Entre-Deux-Mers et des Sables et graviers de Méric du Médoc.

Ce comblement s'effectue selon un mouvement en éventail balayant l'ouest puis le nord-ouest de la région nord-aquitaine.

3.1.4. Généralités sur les réservoirs du Tertiaire

Ces réservoirs sont en majorité constitués par des formations silicoclastiques, notamment dans le nord du bassin, plus proche des apports détritiques en provenance des massifs paléozoïques. Leurs puissances sont généralement très variables et les changements de faciès y sont fréquents et parfois rapides, car les transgressions et régressions se sont succédées fréquemment. La mer ouverte correspondait à l'océan atlantique actuel et en s'éloignant du domaine margino-littoral toujours situé à l'est, des formations calcaires de plate-forme proximale à moyenne se développent. Plus au sud-ouest en bordure de la cote actuelle, les réservoirs disparaissent plus ou moins rapidement dans des marnes imperméables de faciès de bassin semi-profond.

De haut en bas, les principaux réservoirs sont :

- les grès et sables du **Miocène moyen (Langhien-Serravallien)**, aussi appelé de façon ancienne "**aquifère de l'Helvétien**", qui n'existent qu'à l'ouest de la Garonne;
- les grès coquilliers et grès calcaires du **Miocène inférieur (Aquitaniens-Burdigaliens)** qui correspondent en particulier aux faluns de Saucats et de Léognan;
- les calcaires bioclastiques et grès de l'**Oligocène (Formation du calcaire à Astéries principalement)**, bien développé dans l'Entre-Deux-Mers, le Bourgeais et le Bordelais ;
- les calcaires, grès et sables de l'**Eocène inférieur à moyen** et plus rarement **supérieur** ;
- les calcaires, dolomies, grès et sables du **Paléocène** existant seulement dans le sud du bassin.

Ces réservoirs sont souvent des multicouches qui sont localement subdivisés en "sous-réservoirs".

Les épontes imperméables intra-Tertiaire sont de haut en bas :

- les **Sables fauves** qui, en discordance parfois, surmontent partout les réservoirs du Miocène ; ils peuvent localement être légèrement aquifères ;
- les marnes de la base du Miocène moyen ou du sommet du Burdigalien, qui existent assez généralement entre les deux aquifères miocènes ;
- les marnes de l'Oligocène supérieur (Chattien - *Formation de Sainte-Christine* ou *Argiles de Labrède* dans le Bordelais) auxquelles s'ajoutent ou non les marnes de la base de l'Aquitaniens ;
- les calcaires argileux de la base de l'Oligocène inférieur (ex *Sannoisien* en Bordelais) ;
- les marnes grises de la base de l'Eocène supérieur ;
- les puissantes marnes de l'Eocène inférieur (Marnes à nummulites du Bordelais).

L'ensemble de ces épontes et des réservoirs passent vers l'est du bassin aux séries molassiques de l'Armagnac, de l'Agenais, du Fronsadais et argiles à Paleotherium (de haut en bas), les réservoirs y disparaissant presque totalement, sauf certaines séries sableuses.

3.1.5. Aquifères du Miocène

Situés juste en dessous des nappes phréatiques du Plio-Quaternaire, ce sont les aquifères les plus accessibles, car les moins profonds. Au Miocène inférieur (à partir de -23 Ma), des mers très peu profondes s'avancent depuis l'Atlantique jusque dans les environs d'Agen ne laissant partout que des dépôts littoraux silicoclastiques (faluns coquilliers de l'Aquitaniens et du Burdigalien).

Pendant la deuxième partie du Miocène (jusqu'à - 11 Ma), une régression marine s'amorce et le bassin peu profond se réduit progressivement à une vasière marneuse sud-landaise qui finit par disparaître, comblée par les grès et les sables fauves du Langhien-Serravallien. Simultanément, les apports détritiques alimentés par l'érosion des Pyrénées (cône du Lannemezan) et du Massif central recouvrent de plus en plus les plaines molassiques et des lacs carbonatés s'y concentrent (calcaires de l'Agenais, Capdeville, 1987).

A la fin du Miocène, le bassin possède déjà pour l'essentiel les grands traits de son architecture actuelle ; sur ses bordures, les reliefs actuels des Pyrénées et de la Montagne noire sont en place. Sous la partie méridionale du bassin, la montée des diapirs se ralentit peu à peu. Dans le domaine landais, la subsidence se poursuit plus modérément ; la tendance au comblement et à la continentalisation est de moins en moins contrariée par les timides avancées de la mer. Après l'épisode majeur de la phase pyrénéenne, la tectonique post-oligocène ne provoque plus que le rejeu d'accidents anciens.

De haut en bas, les principaux réservoirs miocènes sont :

- les grès et sables du **Miocène moyen** aussi appelé de façon ancienne "**aquifère de l'Helvétien**", qui n'existent que très à l'ouest de la Garonne;
- les grès et grès calcaires du **Miocène inférieur**, relayés de façon discontinue vers l'est par les calcaires lacustres de l'Agenais.

Faciès et extension

Au début du **Miocène inférieur (Aquitaniens)** a débuté une transgression et la mer a avancé vers l'Est jusque très près d'Agen. C'est l'avancée maximale vers l'Est de la série miocène qui correspond en particulier à des grès, sables coquilliers plus ou moins argilo-glauconieux des *Faluns de Labrède, Saucats et de Léognan*. La régression amorcée à la fin de l'Aquitaniens s'est poursuivie et au **Burdigalien**, le rivage de la mer se situait approximativement sur un tracé passant au nord de l'étang d'Hourtin, à Saucats, St-Symphorien et s'infléchissant au sud-ouest vers St Paul-les-Dax et Soustons. Les faciès burdigaliens sont très semblables à ceux de l'Aquitaniens.

Puis au **Miocène moyen (Langhien-Serravallien)**, la mer a recouvert une partie seulement des dépôts burdigaliens et aquitaniens avec une limite de transgression se tenant 10 à 20 km environ en retrait de l'avancée aquitaniennne et se situant à quelques dizaines de kilomètres à l'est-sud-est de Mont-de-Marsan. Le réservoir est constitué par des grès très grossiers et coquilliers, généralement bruns, surmontés par la base des Sables fauves avec lesquels ils s'interstratifient localement (partie moins productive du réservoir de "Helvétien").

Dans le Bordelais, les trois étages du Miocène viennent à l'affleurement dans la plupart des ruisseaux affluents de la rive gauche de la Garonne (Jalle de St Médard, l'Eau Bourde, l'Eau Blanche et le Saucats, etc), ainsi qu'à Salles sur les bords de l'Eyre. Ce domaine sub-affleurant se prolonge dans la partie orientale des Landes par la vallée du Ciron et le secteur de Bazas où de nombreux affleurements sont également visibles (*Formation des Grès de Bazas*).

Les réservoirs miocènes s'approfondissent dans la zone centrale et occidentale du bassin, c'est-à-dire dans toute la partie du département des Landes située au Nord de l'Adour et de la Midouze. Ils réapparaissent au sud dans la vallée de la Douze (*Faluns de St Avit, de Tartas et du Frêche*) et à Mont-de-Marsan, ainsi que dans le secteur de Villeneuve-de-Marsan pour les dépôts du Miocène moyen.

Quelques lacunes de sédimentation et/ou d'érosion, consécutives à des mouvements tectoniques, existent notamment à Roquefort, Villagrains-Landiras, Garein et St Paul-les-Dax. Vers l'est du bassin tous ces réservoirs viennent se biseauter dans les marnes silteuses des *Molasses de l'Armagnac*.

Profondeur et puissance

La géométrie schématique du toit des réservoirs du Miocène est esquissée sur la Figure 30. Elle correspond à un modèle de plateforme faiblement pentée vers l'ouest, depuis +30 m NGF jusqu'à - 80 m NGF au droit du littoral médocain. Quelques alignements de talus à pente plus accentuée soulignent les grands traits structuraux comme la faille Nord-Arcachonnaise, mais aussi les paléovallées creusés lors de la régression messinienne puis comblées par les sédiments sablo-graveleux deltaïques du Pliocène (axe Captieux, Luxey, Labouheyre, secteur de Cazaux-Biscarrosse vers - 90 m NGF ou bien encore la profonde incision de partie émergée du Gouf de Capbreton qui atteint - 60 m NGF).

La puissance totale des réservoirs du Miocène est comprise entre 50/80 m à l'est et 150/200 m près du littoral, mais de très nombreuses assises de faciès compacts s'y interstratifient, l'épaisseur effective des réservoirs productifs est bien moindre.

3.1.6. Aquifères de l'Oligocène

Les réservoirs de l'Oligocène, assez variables en lithologie et généralement peu puissants, appartiennent presque tous à la partie inférieure de l'étage, le Rupélien (les termes de *Stampien* et de *Sannoisien* étant maintenant obsolètes).

Faciès et extension

La base des terrains de l'Oligocène inférieur (Rupélien) est constituée par la *Formation des Molasses du Fronsadais*, essentiellement composée d'assises argilo-carbonatées dans sa partie inférieure et de niveaux grésosableux constituant un réservoir local dans sa partie supérieure. Ces molasses sont d'origine essentiellement fluviale ou palustre.

Elle est surmontée par la *Formation de Castillon* constituée de calcaires micritiques gris rosé, alternant avec des marnes vertes et des niveaux argileux à nodules de calcaire.

Par la suite en Gironde, la *Formation du Calcaire à Astéries* s'est déposée, découpée en trois membres. Seuls les deux supérieurs à faciès calcaires constituent le réservoir (membres B et C du découpage actuel – Platel et al., 2000, Saltel et al., 2010).

A la base, le membre B caractérisé par une transgression affirmée est constitué par des calcaires grainstone bioclastiques gris à jaunes. Dans le détail, en fonction des aires de sédimentation, des faciès différents apparaissent, calcaire grisâtre packstone à wackestone à mollusques, calcaire bioconstruit récifaux à polypiers et algues. Quelques faciès de calcaires gréseux existent à l'Est de Langon. Ces calcaires qui sont entaillés par la partie basale des cours inférieurs des affluents de la rive gauche de la Garonne, constituent la partie médiane des coteaux de l'Entre-Deux-Mers et du Bourgeais.

Au sommet de ce membre, existent des assises massives de calcaires bioclastiques jaunes à stratifications obliques qui progradent en direction générale de l'ouest (Saint-Emilion). Tout ce réservoir est parcouru par des conduits karstiques associés ou non à des fissures élargies dont la formation date du Quaternaire.

Au-dessus de marnes intermédiaires, la partie supérieure du réservoir du Calcaire à Astéries, correspondant à l'intervalle transgressif de la dernière séquence oligocène (membre C) est surtout constituée par des calcaires grainstones bioclastiques très fossilifères comprenant de nombreux débris d'échinodermes, lamellibranches, foraminifères, bryozoaires, etc. C'est le niveau des falaises de Saint-Macaire au nord de Langon. Ces calcaires massifs, à couches progradantes déposées pendant le haut niveau marin, sont organisés en grands cliniformes ou stratifications obliques. Les calcaires massifs de ce sont souvent karstifiés et érodés, en relation avec la transgression du Miocène inférieur ou le ravinement par la Garonne (Figure 31).

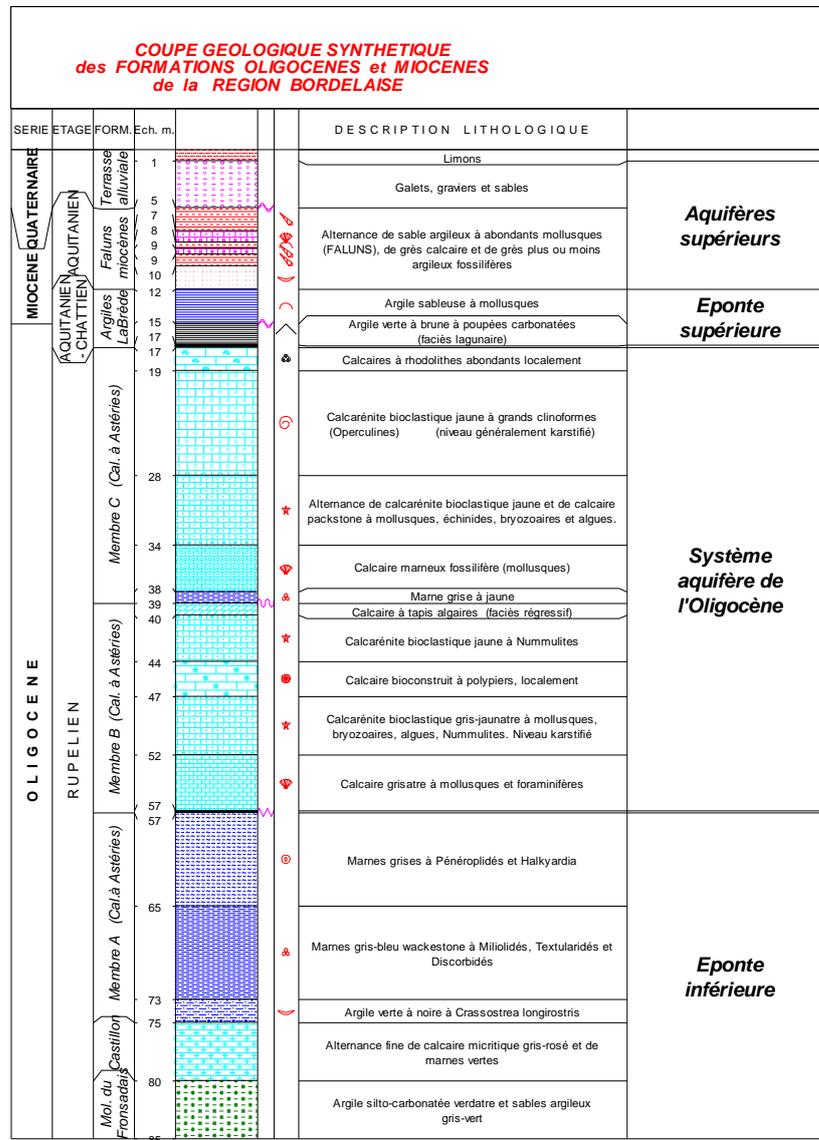
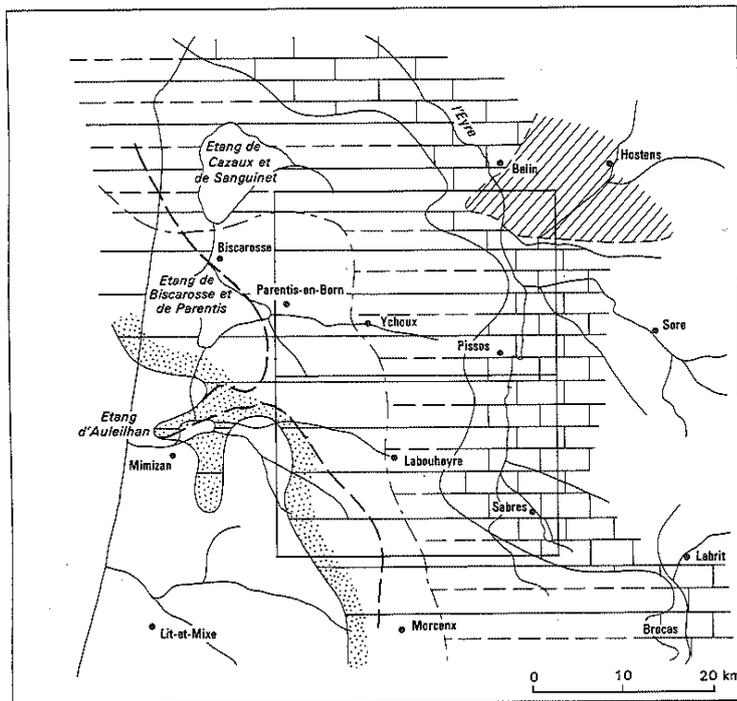


Figure 31: Coupe synthétique des réservoirs oligocènes en région bordelaise (d'après Platel et al., 2000).

Vers le nord-est de la Gironde et la Dordogne, le réservoir oligocène est essentiellement sablo-graveleux (*Formation de Boisbreteau* pars), mais peut aussi se développer dans les calcaires de Castillon lorsqu'ils sont karstifiés.

Vers l'ouest, les réservoirs calcaires se poursuivent jusqu'au littoral médocain et dans le nord des Landes où ils passent progressivement aux marnes compactes déposés dans le bassin plus profond. (Figure 32)



-  Limite orientale des faciès argileux et marneux du Tertiaire marin de type bassin
-  Limite occidentale des faciès calcaires de l'Eocène inférieur et moyen
-  Limite occidentale des faciès calcaires gréseux de l'Oligocène "supérieur"
-  Limite occidentale des faciès calcaires de l'Oligocène
-  Zone de non-dépôt

Figure 32 : Extension des formations réservoirs de l'Oligocène et de l'Eocène dans le secteur nord des Landes (d'après Platel et Dubreuilh, 1991)

Dans le sud des Landes (Roquefort, Audignon), les réservoirs plus souvent de type multicouche sont des grès carbonatés, parfois en petits bancs interstratifiés de marnes (*Formations de Batan et de Mugron*), mais quelquefois entièrement calcaires (Tuc de Saumon près de Tartas).

Profondeur et puissance

Alors qu'ils affleurent, ou se trouvent à très faible profondeur dans le nord-est du bassin (Dordogne, Lot-et-Garonne, Est-Gironde), les réservoirs oligocènes s'enfoncent régulièrement vers le sud-ouest du bassin pour se situer vers 250 m de profondeur à son toit au droit du littoral du bassin d'Arcachon, qui s'abaisse très progressivement jusqu'à 450 m au droit de Mimizan.

L'épaisseur des grès et sables des Molasses du Fronsadais est de l'ordre de 5 à 10 mètres.

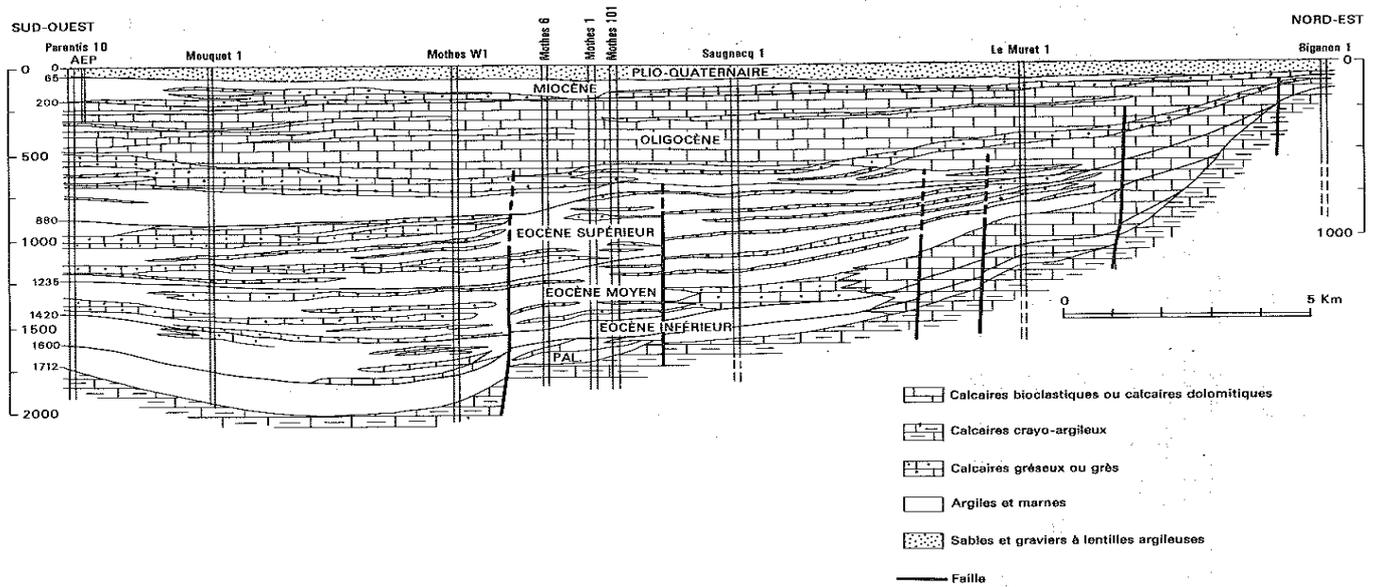


Figure 33 : Superposition des réservoirs calcaires de l'Oligocène et de l'Eocène dans le secteur nord des Landes (d'après Platel et Dubreuilh, 1991).

L'épaisseur de la Formation de Castillon est généralement d'une dizaine de mètres mais se réduit fortement vers l'ouest (environ 1 à 5 m), car elle est souvent érodée par les niveaux sus-jacents du Rupélien marin.

La puissance cumulée des réservoirs des Calcaires à Astéries est très variable, généralement comprise entre 25 et 60 m en Gironde, mais dépassant 100 m dans l'ouest du département. Dans les Landes, cette puissance augmente pour dépasser 400 m près de Liposthey, mais de nombreuses assises plus marneuses réduisent la hauteur effective du réservoir. En Chalosse et autour de Dax, la partie méridionale du réservoir présente une puissance moyenne de 80 m environ (Figure 33).

3.1.7. Aquifères de l'Éocène

Les formations aquifères de l'Eocène, qui s'étendent sur presque toute la surface du Bassin Aquitain, sont constituées par des dépôts sableux en périphérie et carbonatés au centre, qui forme un système aquifère multicouche très complexe aux faciès hétérogènes très alternants.

Dans tout l'est et le sud du bassin, elles constituent le premier réservoir important sous la très puissante épente de dépôts molassiques à dominante argileuse (sud du Lot et Garonne, est des Landes, Gers).

Faciès et extension

Dans l'Eocène, existent deux grands types de réservoirs qui peuvent être superposés mais passent aussi latéralement l'un à l'autre en fonction de la position plus ou moins distale sur les plates-formes ceinturant le bassin central à dominante marneuse (ouest des Landes) :

- les **sables et graviers continentaux et littoraux** de l'Eocène inférieur à moyen (au sud du bassin "Sables infra-molassiques", "Sable de Lussagnet", en bordure Dordogne / Gironde "Formations de Guizengeard et de Boisbretteau", "Sables inférieurs du Bordelais", "Sables du Libournais" entre autres – Dubreuilh, 1987). Du fait du type de sédimentation, ces réservoirs sableux sont très hétérogènes. La granulométrie y est très variable (depuis les sables fins jusqu'aux conglomérats à galets) et les intercalations argileuses peuvent être localement importantes.

- ils sont surmontés en Gironde par les **dépôts carbonatés à gréseux du domaine de plate-forme marine** de l'Eocène moyen ("Calcaires de Blaye, de Listrac et de Couquèques" par exemple), puis par ceux de l'Eocène supérieur ("Calcaire de Saint-Estèphe" par exemple) (Figure 34). Tout l'ouest de la Gironde et les environs du bassin d'Arcachon sont entièrement dans le domaine de sédimentation des calcaires de plate-forme assez homogènes.

On retrouve ce type de faciès dans le sud des Landes ("Grès à nummulites", "Calcaire de Brassempouy et de Nousse", "Couches à Grandes nummulites") autour des structures diapiriques.

Les calcaires et grès carbonatés sont disposés en nombreux bancs moyens interstratifiés de niveaux argileux d'autant plus abondants que l'on se rapproche des domaines de bassin marin ou au contraire du domaine littoral.

Mais dans le flanc sud du sous-bassin de Parentis (secteur de Mimizan-Contis) existe par ailleurs un troisième type de dépôt, constitué de chenaux gréseux pélagiques du Bartonien (Eocène moyen), qui correspond à des épandages par courants turbides dans le domaine marin profond. Mais le caractère discontinu de ces sédiments rend leur présence aléatoire.

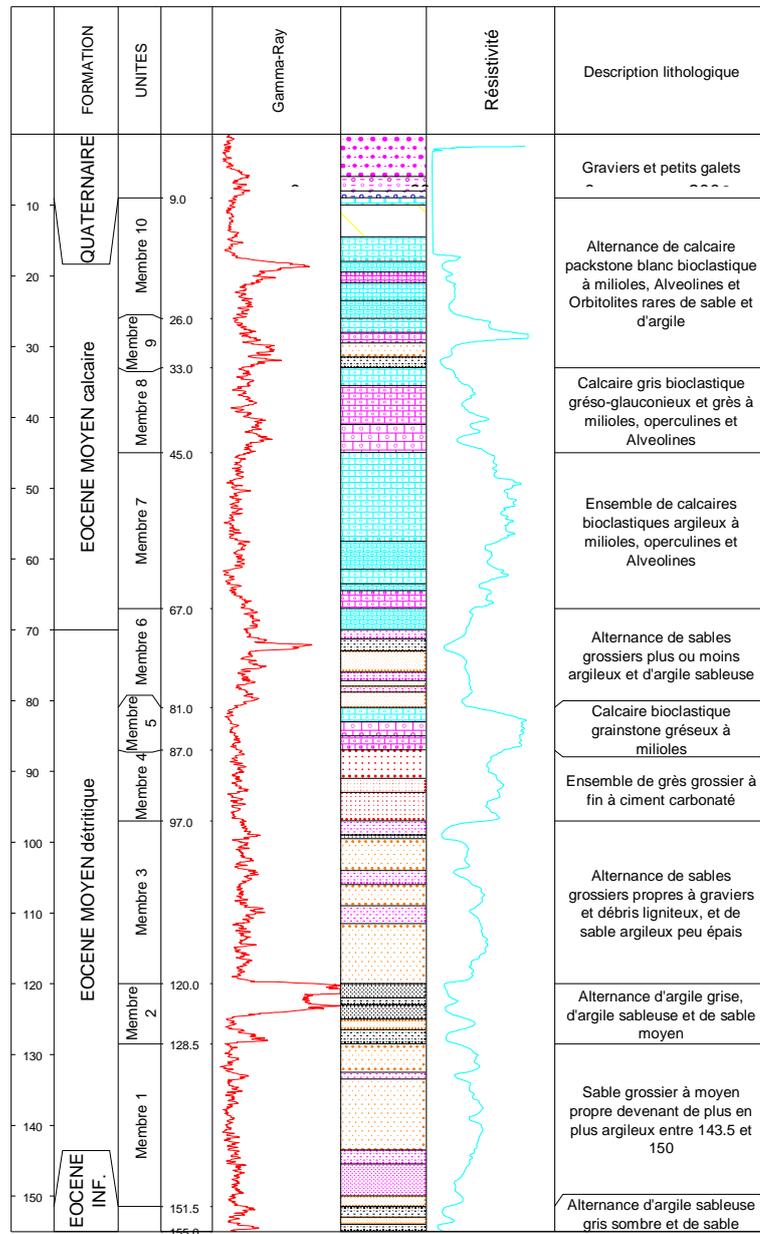


Figure 34 : Superposition des réservoirs multicouches de l'Eocène moyen dans Bordelais.

Profondeur et puissance

Au nord (région de Libourne, Bordeaux, Médoc), les forages d'eau captant la nappe éocène ont atteint le réservoir à moins de 200 m de profondeur. Au sud de la vallée de la Garonne jusqu'aux abords du Gers, il se trouve à déjà 500 m, de même qu'au sud d'Arcachon et dans le centre des Landes. La structuration importante du sud du bassin fait varier très rapidement sa profondeur entre 500 et plus de 1000m en Chalosse et dans le secteur de Mont-de-Marsan.

Les puissances des réservoirs intéressants s'accroissent corrélativement du nord-est au sud-ouest : de 20 à 50 m en Dordogne, jusqu'à 200 m dans le nord et l'ouest des Landes.

Plus au sud en Chalosse les épaisseurs cumulées des réservoirs éocènes dépassent rarement 100 m.

Autour de Pau les Grès à nummulites et les sables infra-molassiques ont de des puissances totales comprises entre 40 et 100 m environ.

3.1.8. Aquifère du Paléocène

Presque tout le bassin d'aquitaine est recouvert par de minces dépôts continentaux argilo sablo-ferrugineux pendant le Paléocène correspondant à une époque de très bas niveau marin global, ce qui a induit d'intenses érosions et la karstification des massifs créacés.

Mais dans le sud du bassin, les formations, principalement calcaires, du Paléocène (communément appelées de façon ancienne "Dano-Paléocène") forment un seul réservoir carbonaté qui couvre une surface large de 100 à 50 km entre les Landes, les Pyrénées-Atlantiques et l'Ariège. Les calcaires sont le siège de réseaux karstiques, qui font varier d'un point à un autre et dans de grandes proportions les qualités de réservoir alimentés par interconnexion avec d'autres aquifères captifs.

Faciès et extension

Les formations aquifères du Paléocène se répartissent en formations carbonatées et formations détritiques, dont la disposition schématique est, selon un alignement ouest-est, pratiquement limitée au nord par les structures anticlinales de Roquefort, Créon d'Armagnac, Cézán-Lavardens. Les réservoirs se ferment vers l'ouest des Landes par leur interstratification dans les faciès marneux marins.

Les **réservoirs carbonatés** se rencontrent sous deux faciès:

- dans le domaine de plate-forme au nord-ouest (Landes), les calcaires à *Microcodium* et dolomies du Danien-Sélandien ("Formation d'Arcet") sont surmontés directement par les calcaires à algues et polypiers du Thanétien.

- en bordure externe du domaine de plate-forme à la base du Danien ("Formation des Calcaires de Lasseube") et dans le Thanétien ("Calcaires inférieurs" de la ride d'Antin-Maubourguet). Les "Calcaires de Lasseube" se rencontrent également dans le bassin d'avant-pays pyrénéen, au-dessus des Marnes de Nay qui termine la série des flyschs du Crétacé (secteurs de Pau, Orthez, Peyrehorade).

Les réservoirs détritiques sont représentés par les sables et grès à intercalations argileuses, d'origine littorale ou continentale, datés du Paléocène, se développant de plus en plus au sud-est du bassin. Les "conglomérats de Vielle-Adour", intercalés dans le flysch du bassin d'avant-pays pyrénéen peuvent aussi localement constituer un réservoir aquifère aux caractères très hétérogènes.

Profondeur et puissance

Compte tenu de la grande complexité structurale du sud du bassin, les réservoirs paléocènes sont affleurants autour des structures anticlinales (Audignon, sud de Roquefort) et diapiriques de façon assez discontinue (Dax, Thétieu, St-Pandelon, Bastennes). Mais ils s'enfoncent rapidement profondément dans les synclinaux où il n'est pas rare de les retrouver vers 1500 m, voire 2 000 m dans la vallée de l'Adour entre St-Sever et Mugron et dans celle du Luy de France.

Les épaisseurs totales des formations paléocènes s'accroissent régulièrement du nord au sud de moins de 50 m à plus de 200 m en Chalosse. Dans le bassin d'avant-pays pyrénéen (Vallée du Luy), les plus grandes puissances de plus de 400 m, sont à considérer avec prudence sachant qu'elles se situent en bordure du domaine marin profond où les interstratifications de niveaux argileux y sont de plus en plus nombreuses.

3.1.9. Généralités sur les réservoirs du Crétacé supérieur

Dans la série du Crétacé supérieur de la plate-forme nord-aquitaine (Dordogne, Charentes, Lot-et-Garonne, Gironde), il existe quatre principaux aquifères plus ou moins karstiques (Platel, 1987). Ils sont surtout captés en Dordogne, car relativement peu profonds (300 à 400 m), mais n'existent pas dans la moitié sud-orientale du Lot-et-Garonne, car érodés sous la discordance des terrains du Tertiaire. Ces réservoirs sont, de haut en bas (Figure 35) :

- les calcaires et grès du **Campanien supérieur-Maastrichtien** (50 / 100 m de puissance),
- les calcaires et grès ou sables du **Coniacien-Santonien** (30 / 275 m),
- les calcaires, grès et sables du **Turonien moyen et supérieur** (30 / 80 m),
- les calcaires, grès et sables du **Cénomaniens** (dont l'épaisseur est très variable entre 0 et 160 m env.).

Ces réservoirs peuvent être localement subdivisés en "sous-réservoirs", comme dans le cas du Santonien-Coniacien qui comprend localement deux aquifères séparés par des marnes dans le Santonien.

Les épontes imperméables intra-Crétacé supérieur sont de haut en bas :

- les craies plus ou moins marneuses du Campanien inférieur à supérieur basal (150 / 200 m environ) qui séparent partout les réservoirs santoniens de l'aquifère du Crétacé sommital,
- les marnes du Santonien moyen (5 / 10 m),
- les marnes grises du Coniacien inférieur-Turonien sommital (10 / 20 m), qui disparaissent progressivement vers le nord-ouest,
- les calcaires crayo-marneux du Turonien inférieur (30 / 60 m).

Dans le centre et le sud du bassin ces réservoirs sont moins individualisés.

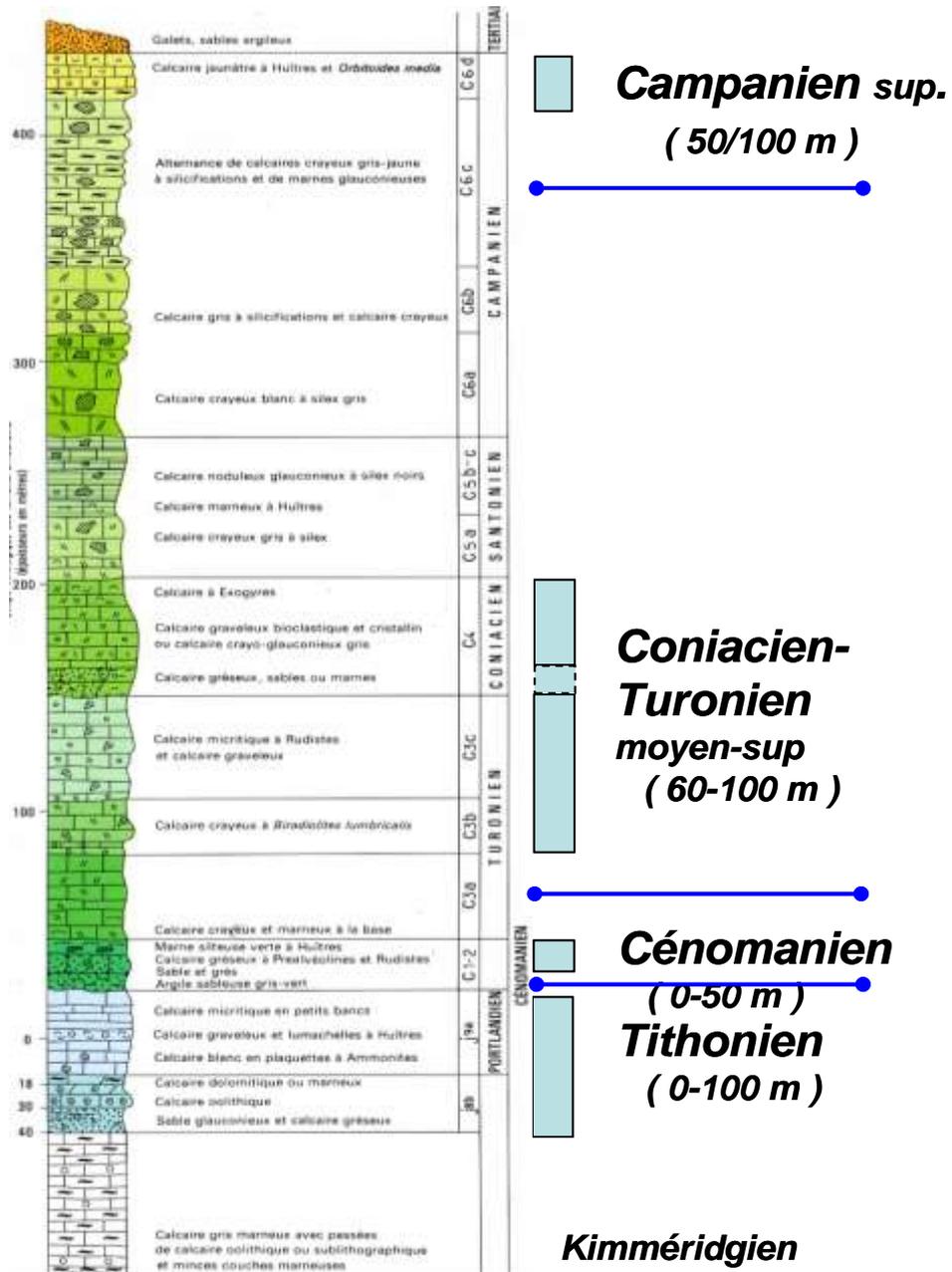


Figure 35 : Coupe lithostratigraphique des formations du Crétacé du Périgord Noir (Dordogne) et de Lot-et-Garonne

3.1.10. Aquifère du Campanien supérieur - Maastrichtien

Avec la régression majeure de la mer à la fin du Crétacé, les faciès auparavant distaux crayo-marneux du Campanien inférieur et moyen, compacts et imperméables (correspondant principalement aux *Formations de Biron, de Coursac* au nord, *de Pé-Marie* au sud, font partout place au Campanien supérieur à une sédimentation proximale de calcaires bioclastiques vers le nord-ouest (*Formations d'Aubeterre, de Mussidan et de Maurens*) et de calcaires gréseux jaunes plus ou moins massifs vers le sud-est en Périgord Noir (*Formations de Lalinde et de Couze*).

Dans les secteurs du bassin d'Arcachon, le réservoir se complète vers le haut par des calcaires plus ou moins dolomités du Maastrichtien inférieur. Dans le sud des Landes et la Chalosse (Roquefort, Créon, Audignon) tout le réservoir est constitué par les calcaires bioclastiques granulaires du Maastrichtien (*Formations de Roquefort, de Dumes*).

Ces terrains qui ont été émergés pendant presque tout le Maastrichtien et le Paléocène ont subi de fortes altérations et/ou érosions et une intense karstification et constituent donc une formation réservoir localement importante.

Faciès et extension

Dans la majorité du territoire, le réservoir est constitué par des calcaires bioclastiques granulaires jaunes plus ou moins fissurés et karstifiés. En Dordogne, des grès s'intercalent dans la série de façon de plus en plus fréquente vers l'est du département. Vers l'ouest, une dolomitisation parfois intense affecte certaines parties du réservoir (secteurs du bassin d'Arcachon, du sud Médoc et de l'ouest des Landes).

Les zones d'affleurement de ce réservoir traversent le nord du bassin en diagonale depuis les falaises de Royan en Charente-Maritime jusqu'à l'est de Beaumont-du-Périgord en passant par le bord du synclinal de Barbezieux, le sud de Ribérac et Mussidan. Elles prennent de l'extension au nord-est de Bergerac et au nord du Bugue. L'aquifère s'étend captif vers le sud-ouest sous les formations tertiaires sans différenciation majeure. Il se retrouve à l'affleurement ou est très proche de la surface autour des grands anticlinaux du centre du bassin (Villagrains-Landiras, Roquefort, Créon-d'Armagnac, Audignon). Mais le réservoir est inexistant par érosion dans tout un vaste territoire qui couvre la majorité du Lot-et-Garonne et l'est des Landes.

Dans le sud du bassin, les réservoirs se ferment en passant aux faciès compacts des Marnes de Nay et des flyschs du sommet du Crétacé.

Profondeur et puissance

Le pendage général vers le centre du bassin abaisse régulièrement le toit du réservoir depuis +150 / 200 NGF dans la zone affleurante de Dordogne jusque vers -400 NGF dans le secteur de Saint-Emilion ; dans la partie nord du bassin, son toit atteint sa plus

grande profondeur dans l'ouest du sud-Médoc entre Lacanau et le Bassin d'Arcachon (-750 / -800 NGF), alors qu'il dépasse déjà -550 NGF sous l'agglomération bordelaise.

Dans le sud de la plate-forme nord-aquitaine, il culmine dans l'anticlinal de Villagrains-Landiras vers +80 NGF à l'est de la lacune par érosion de Saint-Magne. Il s'approfondit très rapidement par failles dans le secteur de Mano-Belhade pour dépasser -700 NGF à l'ouest de Sore et -1 100 NGF vers Pissos. A l'ouest de la RN 10, le réservoir carbonaté disparaît dans les faciès marneux latéraux d'environnement de bassin.

Dans le nord-ouest de la plate-forme, le réservoir du Campanien supérieur-Maastrichtien représente un aquifère d'une puissance assez constante de l'ordre de 40 à 60 m généralement, qui peut s'épaissir jusqu'à plus de 120 m au nord de Bordeaux et dans l'ouest de Bergerac par moindre érosion, ainsi qu'en Périgord Noir par variation de faciès (plus de 150 m), les calcaires bioclastiques apparaissant plus précocement.

Les variations de puissance sont plus importantes dans le Bordelais en fonction du découpage structural et de la dolomitisation, passant de moins de 20 m localement à plus de 140 m en quelques dizaines de kilomètres. Le réservoir s'épaissit à plus de 175 m sous le bassin d'Arcachon et dans le secteur nord de Landes (Sore, Commensacq, Lencouacq et Captieux) le réservoir terminal du Crétacé dépasse fréquemment 100 m de puissance. De même dans le sud du bassin, une puissance totale de 150 à 175 m est souvent attestée, mais les variations de karstification peuvent réduire nettement l'épaisseur effective.

3.1.11. Aquifères du Coniacien-Santonien

Au début du *Coniacien*, une nouvelle vaste transgression venant du sud-ouest s'avance sur tout le bassin d'Aquitaine, installant des milieux de dépôts de plate-forme moyenne, où prédomine la sédimentation d'abord sableuse puis nettement carbonatée (*Formations de Saint-Césaire, de Cognac, de Bourdeilles et de Périgueux*). Des apports de sables venant du Massif central donnent naissance à de puissantes formations de grès calcaires dans l'est du département de la Dordogne (*Formation des Eyzies*).

Durant le *Santonien*, la montée de la mer se poursuit et les environnements de plate-forme distale se généralisent, comme le montre l'extension des faciès crayeux à silex en Charentes et en Périgord Blanc (*Formations de Saintes et de Coutures*). De fortes influences du continent sont attestées dans tout le Sarladais, par des apports silicoclastiques de sables fins et de grès venant de l'est à plusieurs périodes (*Formations de Boussitran et de Saint-Félix-de-Reilhac*) ainsi qu'à la limite de la Charente et de la Dordogne (anticlinal de Mareuil - *Formation de Combiers*).

Faciès et extension

Les terrains coniaciens et santonien représentent un aquifère complexe avec variations verticales et latérales de faciès, qui se développe à la fois dans des calcaires granulaires à porosité de fissures et conduits karstiques, et dans des assises grésosableuses à porosité interstitielle, souvent séparées par des formations crayeuses ou marneuses. Dans le nord-ouest de la Dordogne, l'ouest de la Gironde (et dans le Sud-Charentes), la nappe coniacienne est en communication avec celle du Turonien, alors qu'au sud de Périgueux et en Bergeracois, elle en est séparée par les marnes du sommet du Turonien et celles du Coniacien inférieur. Dans le centre et le sud du bassin, les faciès sont moins individualisés et en continuité avec ceux du Turonien.

Les zones d'affleurement du réservoir coniacien traversent en diagonale le nord-est de la plate-forme depuis la Charente-Maritime dans des bandes d'affleurement parallèles à celles du Turonien, passent par le secteur des anticlinaux de Mareuil et de la Tour-Blanche (La Rochebeaucourt - Lisle - Brantôme) jusqu'en Périgord Noir où, augmentée des zones d'affleurement des réservoirs santonien, elles forment tous les plateaux disséqués du Sarladais, de part et d'autre de la vallée de la Vézère. Ces terrains affleurent également au sud de l'anticlinal de St-Cyprien jusqu'à la limite avec le Lot-et-Garonne. Vers le sud-ouest l'aquifère existe partout avec des faciès uniquement calcaires sous recouvrement imperméable du Campanien inférieur.

Vers l'ouest le réservoir disparaît par passage latéral aux faciès marneux profonds du sous-bassin de Parentis, le long de la faille de la Leyre jusque vers Mano et Labrit.

Dans le sud des Landes (Audignon, Roquefort, Mont-de-Marsan), un réservoir carbonaté puissant de 40 m environ, plus ou moins séparé de celui du Turonien, existe la partie supérieure de la *Formation de Jouansalle* (Figure 36).

Enfin les faciès réservoirs à dominante carbonatée sont pratiquement absents du département des Pyrénées-Atlantiques, en fonction des érosions sur les blocs structuraux séparés par de grandes failles.

Ainsi ce réservoir n'existe pas à l'approche du front nord-pyrénéen (Lasseube, Gan, Lacommande). Mais juste au sud de Pau existe un réservoir de qualité moyenne, qui s'allonge suivant le haut de la structure de Meillon-Saint-Faust, constitué sur 130 m par des calcaires cristallins bioclastiques parfois bréchiques (partie supérieure de la *Formation de Mazères* ou *Calcaire de Saint-Vincent*). On retrouve aussi ces calcaires dans la haute chaîne pyrénéenne, ce sont les "*Calcaire des canyons*" qui reposent en discordance sur le socle paléozoïque.

Profondeur et puissance

La profondeur du réservoir suit celle du Turonien avec la zone la plus profonde de la plate-forme allongée le long d'un axe déprimé est-ouest allant de Bergerac jusqu'au nord du bassin d'Arcachon. Par enfouissement général le toit du réservoir le plus élevé, qui se situe autour de +150/180 NGF à proximité de l'anticlinal de La Tour-Blanche, plonge rapidement vers -250 NGF au sud de Ribérac et au nord de Bergerac pour dépasser -700 NGF sous le Landais et le secteur de Vélignes - Lamothe-Montravel. Dans le nord du bassin, les plus grandes profondeurs (-1 200 NGF) sont situées autour du Porge.

La structuration sud-aquitaine induit toujours de grandes variations de profondeur avec des maxima de – 3 000 m environ dans les zones synclinales, alors que la série affleure dans les anticlinaux comme Audignon.

Dans toute la moitié nord-occidentale du bassin, l'aquifère ne correspond seulement qu'à la partie inférieure du système (calcaires bioclastiques du Coniacien moyen et grès et sables du Coniacien inférieur) ; mais à l'est d'une ligne approximative Thenon - Vergt - Issigeac et surtout en Périgord Noir plusieurs nappes se superposent dans des réservoirs plus élevés du système : calcaires du Coniacien moyen-supérieur, grès calcaires et sables du Santonien inférieur et du Santonien supérieur.

La puissance totale de ces nappes est donc très variable, comprise entre 30 et 50 m dans le nord-ouest du département de la Dordogne (Coniacien seul) pour s'épaissir à plus de 250 m en Périgord Noir (Coniacien + Santonien inférieur + parfois Santonien supérieur).

En Gironde, alors que la puissance du réservoir Coniacien peut dépasser 100 m entre Carcans et Le Porge, il n'est souvent épais que de 10-20 m dans le secteur de Bordeaux et l'Entre-Deux-Mers.

Dans les Landes, la puissance du réservoir varie de 120 m environ vers Casteljaloux à moins de 20 m au nord de Créon d'Armagnac, avec 40 m environ à l'ouest de Mont-de-Marsan.

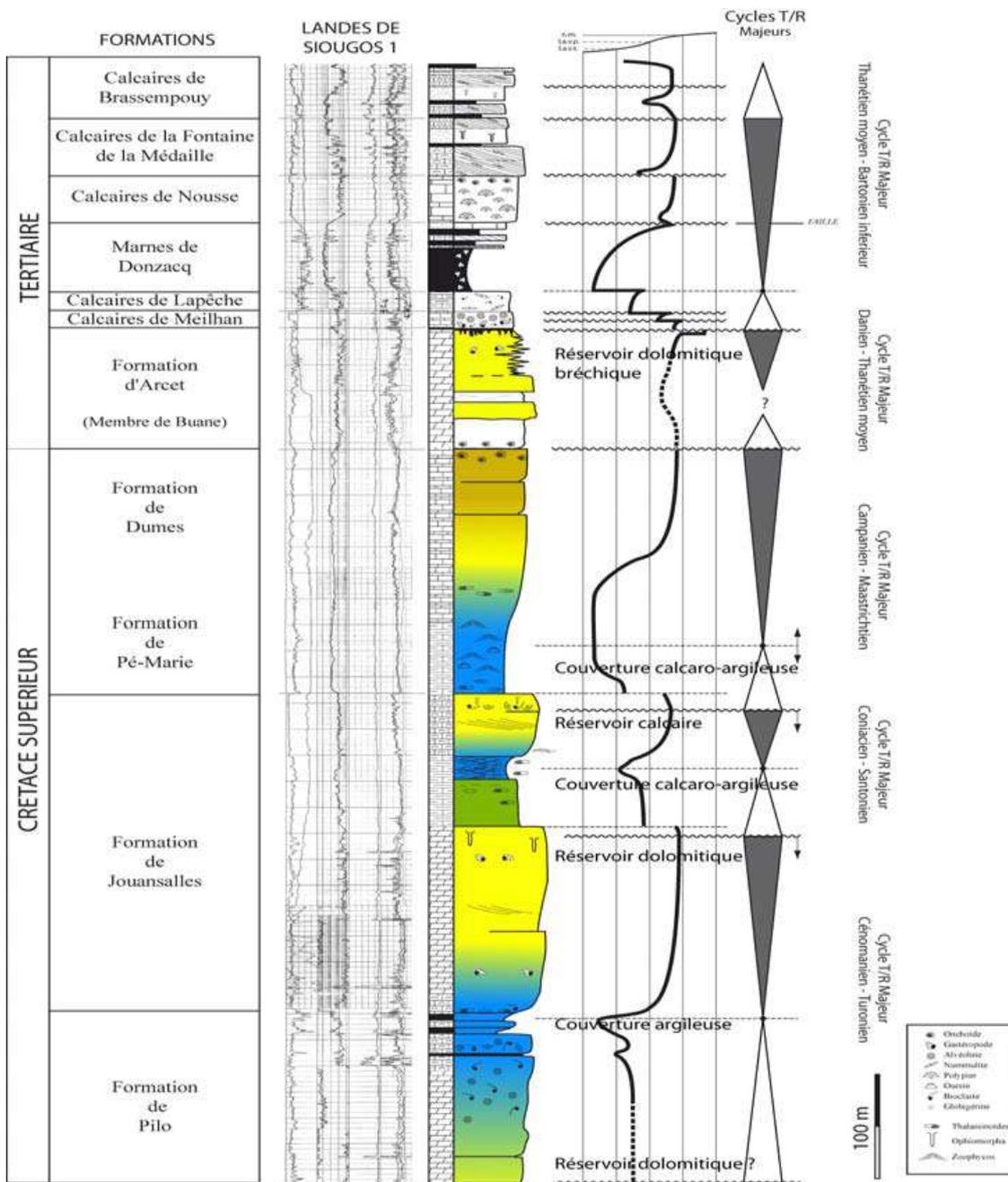


Figure 36 : Formations réservoirs et épontes dans la série du Crétacé supérieur du forage Landes de Siougos 1 (d'après Serrano, 2001)

3.1.12. Aquifère du Turonien

A la suite de la transgression cénomaniennne, une phase marine de sédimentation de plate-forme carbonatée s'installe sur une grande partie de l'Aquitaine pendant le Turonien (*Formations de la Couronne, de Domme et de Villars*, surmontées par les *Formations d'Angoulême*, puis de *Bourg-des-Maisons*). Des variations latérales de faciès apparaissent pendant cette période sur la bordure nord-orientale de la plate-forme carbonatée en raison de nombreux épandages silicoclastiques (*Formations de Saint-Cirq, de Sauveterre et de Sainte-Mondane*).

Dans le sud du bassin le réservoir correspond à la *Formation de Jouansalle*, qui est bien caractérisée autour des structures positives des Landes (Audignon, Tercis, Roquefort,...).

La faible régression marine, amorcée durant le Turonien moyen, s'est amplifiée pendant le Turonien supérieur et a finalement permis des émergences localisées au Les faciès carbonatés fossilifères avec des érosions ponctuelles.

Faciès et extension

Au-dessus du Turonien inférieur constitué partout de calcaires crayeux surmontant des marnes dans le nord-ouest, les faciès réservoir sont à dominante calcaire : granulaires à microgranulaires dans le Sud-Charentes ou crayo-bioclastiques (*Formation d'Angoulême*) surmontés par des calcaires micritiques (*Formation de Bourg-des-Maisons*) entre Angoulême, La Tour-Blanche et Périgueux. Des communications hydrogéologiques peuvent exister avec la nappe du Coniacien en particulier dans la partie nord-ouest du département de la Dordogne et dans le sud des Charentes, c'est-à-dire en l'absence d'éponte imperméable marneuse au contact Coniacien - Turonien.

Dans tout l'est de la Dordogne et le nord-est du Lot-et-Garonne (Périgord Noir et Bouriane), la puissance du réservoir se réduit alors que les faciès deviennent progressivement gréseux puis sableux vers l'est (*Formations de St-Cirq, de Sauveterre et de Ste-Mondane*). Ces formations gréso-sableuses présentent globalement des potentialités intéressantes compte tenu du développement de la porosité interstitielle et de la perméabilité de fissures.

La partie libre du réservoir s'étend depuis l'est du département de Lot-et-Garonne (secteur de *Fumel - Sauveterre*) jusqu'à la côte atlantique (secteur de *Rochefort*) en passant par le nord-est de la Dordogne (secteurs de *Carlux, Montignac, La Chapelle-Faucher, Beaussac*) et la Charente (*Angoulême, Chateauneuf, Cognac*). Le réservoir réapparaît à l'affleurement au niveau des structures anticlinales de Saint-Cyprien, Périgueux, La-Tour-Blanche, Brantôme, Mareuil et autour du vaste anticlinal de Jonzac (*Le Gua, Pons, Jonzac*).

Vers le sud-est et le sud, le réservoir Turonien est absent de toute la moitié sud-orientale du Lot-et-Garonne par suite de l'érosion ante-tertiaire. Sa limite d'extension

suit approximativement la vallée du Lot jusqu'à sa confluence, se poursuit vers le sud jusqu'à Mézin, puis se prolonge vers le nord-ouest jusque vers Labrit en longeant les anticlinaux de Créon-d'Armagnac et Roquefort). Elle remonte ensuite approximativement vers le nord dans le secteur de Sore, puis repart vers le nord-ouest par Mano, pour longer ensuite la vallée de L'Eyre, puis la côte nord-est du bassin d'Arcachon. Tous les terrains turoniens situés à l'ouest de cette limite depuis Labrit sont marneux et le réservoir captif se ferme donc rapidement à l'est.

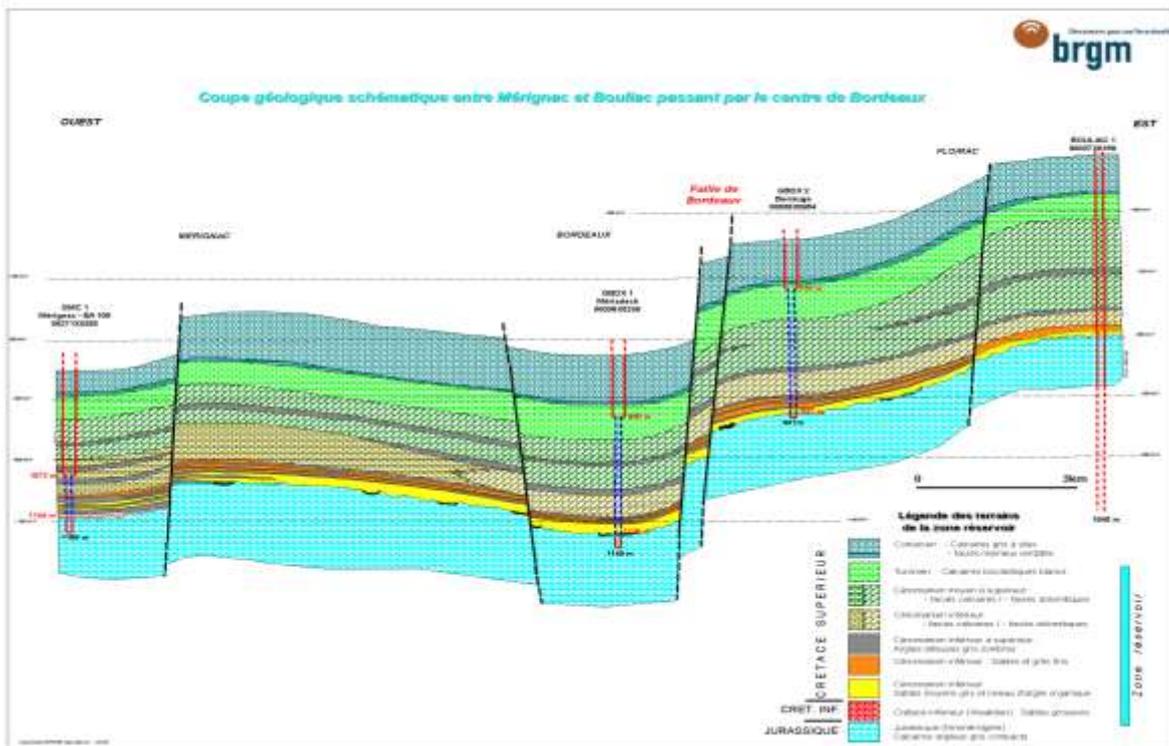


Figure 37 : Coupe géologique des réservoirs Turonien et Cénomaniens sous l'agglomération de Bordeaux (d'après Platel et al., 2008).

Dans le secteur de Saint-Magne en Sud-Gironde, le réservoir n'existe pas car il y a une très importante lacune d'érosion de toute la partie supérieure de la série crétacée, les terrains du Miocène reposant directement sur les calcaires du Cénomaniens (le récent forage 08515X0052/F1, profond de 315 m réalisé en 2007 par le SMEGREG, confirmant les attributions des vieux sondages de reconnaissance pétrolière Saint-Magne 1 et Beliet 1).

En dehors de ces zones, l'aquifère devient rapidement captif vers le sud, ne réapparaissant qu'à la faveur des structures de Roquefort et d'Audignon, contenu dans les calcaires fossilifères souvent très recristallisés de la partie inférieure de la Formation de Jouansalle.

Profondeur et puissance

L'enfoncement général de l'aquifère s'effectue vers le sud-ouest, fortement influencée par les anticlinaux et les structures synclinales qui les séparent. L'ensemble de ces structures conditionne l'importance relative de la fissuration des calcaires turoniens.

Le mur de l'aquifère atteint -500 NGF à partir d'une ligne passant par le Verdon, longeant l'estuaire, passant par La Roche-Chalais, Mussidan, Bergerac pour retourner vers le sud-ouest près de Issigeac, puis vers l'ouest par la Réole jusqu'à la Garonne près de Cadillac, pour rejoindre la faille de la Leyre près de Biganos.

La zone la plus profonde (> -800 NGF) de la plate-forme orientale est située entre Libourne et Sainte-Foy-la-Grande. Mais c'est à l'ouest de Bordeaux que le réservoir entièrement carbonaté est le plus profond (> -1000 NGF) (Figure 37). Il remonte jusqu'au sol de part et d'autre de l'anticlinal de Saint-Magne–Villagrains par biseau progressif d'érosion. Au sud de cette structure et jusqu'à celle de Roquefort où il affleure, le réservoir s'approfondit d'est en ouest jusqu'à plus de -900 NGF à l'ouest de Sore.

Quand il existe, le toit du réservoir dépasse localement 3 000 m de profondeur dans le bassin d'avant-pays pyrénéen (Meillon, Jurançon).

La puissance de l'aquifère est assez variable, de l'ordre de 40 à 60 m avec des secteurs pouvant dépasser 70 m en Dordogne. C'est également le cas dans le secteur sud du Médoc et le nord de la Gironde (Bourgeois) avec des puissances dépassant 70 m et atteignant 100 m environ entre Carcans et Brach. Les puissances reconnues, dans les sondages géothermiques qui le captent sous l'agglomération bordelaise et dans les sondages pétroliers, sont dans la moyenne des valeurs. Par contre dans l'est de la Dordogne et du Lot-et-Garonne, la puissance du réservoir se réduit à 40 m environ, voire moins, avec l'apparition des faciès silicoclastiques.

3.1.13. Aquifère du Cénomanién

Pendant tout le Cénomanién, la phase de transgression se fait par débordements successifs en onlap sur les terrains antérieurs. Ainsi l'est du département de la Dordogne n'est atteint par la mer qu'au Cénomanién supérieur, dont les environnements margino-littoraux riches en tourbières ligniteuses n'ont cependant pas recouvert le secteur de Terrasson, Sarlat et Gourdon ; des vallées incisées assez profondes, des paléoreliefs et dépressions karstiques ont été mises en évidence (Platel, 1987) dans les calcaires jurassiques du secteur de La Chapelle-Péchaud entre Le Bugue et Belvès. Les réservoirs cénomaniens sont de puissance et de lithologie très variable (sables grès, calcaires localement dolomités), fonction des paléogéographies au cours de l'avancée de la transgression.

Faciès et extension

L'aquifère du Cénomanién est constitué par un multicouche assez complexe dans le détail, dont l'organisation générale évolue de réservoirs sablo-gréseux à orbitolinidés à la base, caractérisant le Cénomanién inférieur, vers des réservoirs carbonatés (calcaires ou calcaires dolomitiques à alvéolinidés du Cénomanién moyen) puis en certains endroits par la réapparition de réservoirs gréseux dans le Cénomanién supérieur.

Dans le Bordelais, le réservoir silicoclastique n'est restreint qu'à la base de l'aquifère, mais c'est lui qui fournit les 4/5 de la production des forages géothermiques de l'agglomération – Figure 38 (Platel et al., 2008).

Des parties fortement dolomitisées et profondément karstifiées existent dans le centre et le sud du bassin (Formation de *Cousseilhat* à Roquefort et *Formation de Pilo* autour d'Audignon et de Mont-de-Marsan). A noter que le faciès sédimentaire du niveau fortement producteur du Cénomanién, dans le forage géothermique de Mont-de-Marsan (GMM-1), ne présente pas de caractéristiques réservoir. Il s'agit d'un calcaire wackestone/packestone bioclastique, légèrement dolomitisé à nombreux bioclastes de mollusques. Mais avec son évolution diagénétique ultérieure ou par fracturation, il a pu produire les débits enregistrés à GMM-1.

Les zones d'affleurement des réservoirs cénomanién traversent le nord du bassin en diagonale depuis le cœur de l'anticlinal de Jonzac, les secteurs de Saintes, Cognac et Angoulême. Compte tenu de sa réduction de puissance il se fait plus discret en Dordogne dans les secteurs de Mareuil et de la Tour-Blanche et n'affleure qu'épisodiquement au sud de Thiviers et au nord de Périgueux.

L'aquifère bien développé s'étend dans la région de Bordeaux où il est exploité par plusieurs forages géothermiques autour de 900 à 1000 m de profondeur. Il est par contre très proche de la surface dans l'axe de l'anticlinal de Villagrains-Landiras, et affecté d'une certaine érosion sous le Tertiaire dans son prolongement vers l'ouest (secteur de Saint-Magne – Beliet). Il couvre presque tout le département de la Gironde

(Médoc, Bordelais), sauf au sud de la faille de la Leyre (bassin d'Arcachon) au droit de laquelle il passe rapidement à des marnes de bassin.

Le réservoir est inexistant dans toute une zone qui couvre la moitié orientale de la Dordogne (est de Périgueux et de Bergerac) et la majorité du Lot-et-Garonne (est de Marmande). Vers le sud, il ne dépasse pas une ligne Casteljalous, Mézin, Condom, où il se retrouve à l'affleurement dans les anticlinaux de Roquefort et Créon-d'Armagnac.

On le retrouve jusque vers Labrit et Sabres, mais il disparaît dans des faciès marneux de bassin dans l'ouest des Landes. Dans le sud-ouest des Landes (Dax, Gourbera), la dolomitisation envahit le tout réservoir.

Dans l'extrême sud du bassin et notamment dans le secteur de Pau, le réservoir est remplacé par les faciès imperméables des flyschs.

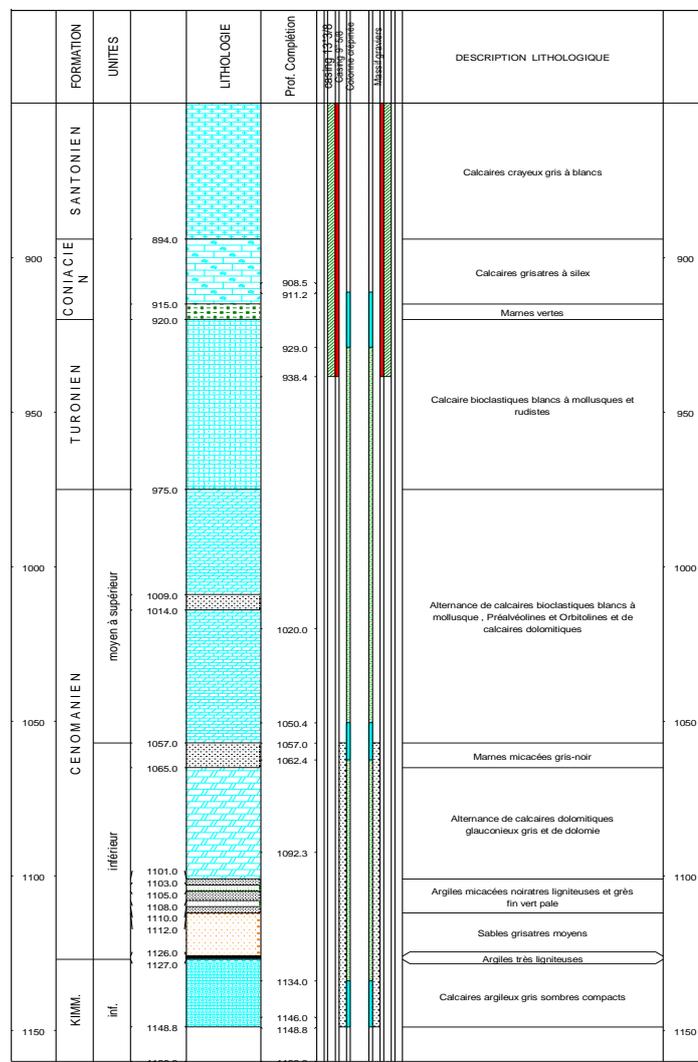


Figure 38 : Coupe du réservoir Cénomaniens - Turonien sous Bordeaux - sondage de Mériadeck - 08036X0948 (d'après Platel et al., 2008)

Profondeur et puissance

La géométrie de l'aquifère, dont l'enfoncement général s'effectue vers le sud-ouest, est très influencée par les structures anticlinales (Jonzac, Chalais, Villagrains – Landiras / St-Magne, Blaye, Bouglon, Roquefort / Créon) et les grands accidents (Failles de Bordeaux et de la Leyre).

Au cœur de la plate-forme nord-aquitaine, le toit du réservoir dessine une vaste zone en gouttière (vers -800/-900 NGF) qui part du secteur de Bergerac, longe la vallée de la Dordogne et se prolonge jusqu'en Médoc au sud de Lesparre. Tout le sud du département de la Gironde correspond à une zone haute axé sur une ligne Marmande, Langon, Belin, alors qu'à l'ouest de Bordeaux ainsi qu'à l'ouest de la Leyre se marquent des dépressions.

C'est dans le secteur compris entre Lacanau - Saint-Jean-d'Illac que le réservoir est le plus profond (toit inférieur à -1200 NGF). Son toit est situé à -500 NGF en moyenne sous les villes de Marmande, Bergerac et remonte vers -230 NGF sous Mussidan.

Dans tout le nord-est de la plate-forme, le réservoir du Cénomaniens est peu épais, suivant en cela la faible puissance totale de l'étage, avec des valeurs assez constantes de l'ordre de 20 à 40 m généralement, mais parfois moins épais (inférieur à 10 m) au nord de Périgueux; il faut cependant noter qu'il peut y être assez discontinu. Par contre, il s'épaissit nettement en direction du Médoc jusqu'à plus de 150 m à Hourtin et à Soulac en bordure du littoral. Dans tout le secteur de Bordeaux la puissance du Cénomaniens est supérieure à 140 m et atteint presque 200 m par endroit (Saint-Jean-d'Illac, Bouliac).

La plus forte puissance de la formation réservoir est atteinte dans le sud de la Gironde (250 m à Saint-Magne, près de 450 m dans le sondage d'exploration pétrolière Biganon 1, et 300 m dans celui de Mano 1). Des zones de faible puissance voire de disparition du réservoir existent toutefois entre ces secteurs, par suite de variations de faciès vers des marnes (est de la faille de la Leyre).

Séparés du réservoir turonien par une épaisse éponte marneuse, les faciès réservoirs calcaréo-dolomitiques ont une puissance de 60 à 100 m dans le secteur central des Landes (Roquefort, Créon). Plus au sud autour d'Audignon, c'est la même disposition qui se retrouve avec un réservoir de 120 m de calcaires dolomités sous 90 m de marnes.

3.1.14. Aquifères du Crétacé inférieur

Suite à la très importante régression de la fin du Jurassique, les mers du Crétacé inférieur ne se sont restreintes que dans les zones les plus subsidentes du bassin. De ce fait, les formations du Crétacé inférieur se cantonnent à deux zones géographiques distinctes qui correspondent à deux sous-bassins de sédimentation : le sous-bassin de Parentis à l'ouest et le sous-bassin de l'Adour-Mirande au sud. Dans ces secteurs, la dispersion et les variations très rapides des faciès sédimentaires entraînent une répartition et une imbrication très complexes des aquifères et des couvertures souvent très puissantes.

Faciès et extension

L'organisation verticale des différents niveaux stratigraphiques permet de les regrouper en deux séries communes aux deux sous-bassins. Leur séparation correspond d'une part à un changement important dans l'évolution des faciès dans le sous-bassin de Parentis et d'autre part à la présence des "*Marnes de Sainte-Suzanne*" de l'Aptien inférieur sur une grande surface du sous-bassin de l'Adour.

Série supérieure (Aptien supérieur-Albien)

Dans le secteur de Parentis, les réservoirs carbonatés sont localisés à la périphérie de la zone subsidente qui correspond au domaine de plate-forme, avec une extension plus importante au nord. Les calcaires récifaux de l'Albien, parfois très puissantes (Mimizan) sont les meilleures formations réservoir. Les réservoirs gréseux sont localisés au centre du sous-bassin; ils correspondent aux chenaux dus aux courants de turbidité dans le domaine marin profond et sont disséminés dans les dépôts argileux; ce type de réservoir est hétérogène.

Dans le sous-bassin d'Adour-Mirande, les formations aquifères sont constituées d'une part par les calcaires bioclastiques à faciès "urgonien" du domaine de plateforme interne plus ou moins dolomités et souvent fracturés, karstifiés (surtout dans le secteur occidental du bassin), d'autre part par les calcaires bioclastiques et récifaux du domaine de plate-forme externe situé de part et d'autre du sillon marneux sous-pyrénéen (*Formation de Clèdes, Calcaires de Lacq*). Cet ensemble carbonaté, équivalent du "faciès urgonien" pyrénéen, bien développé dans les Arbailles, le massif de la Pierre Saint-Martin et dans les chainons anticlinaux calcaires (Sarrance par ex.) constitue le meilleur réservoir du Crétacé inférieur dans tout le sud du bassin.

Au sud-ouest du sous-bassin de l'Adour, le réservoir est constitué par des grès côtiers perméables. Ces grès passent progressivement à des calcaires gréseux dans le domaine de plate-forme et se retrouvent également dans les marnes du domaine pélagique où ils peuvent constituer quelques réservoirs aquifères (nord de Peyrehorade).

Série inférieure (Berriasien à Barrémien)

Dans le secteur de Parentis, les aquifères de la base du Crétacé inférieur occupent une plus grande étendue que ceux de l'ensemble supérieur. De plus, ils sont souvent en continuité avec ceux du Jurassique supérieur, donnant un système aquifère complexe.

Les réservoirs carbonatés du domaine de plate-forme sont localisés presque exclusivement au sud et à l'est du domaine. Les dépôts détritiques (grès et calcaire gréseux) correspondent au domaine côtier de la bordure septentrionale du bassin alimenté par l'érosion des terres émergées du nord-est aquitain.

Sur la quasi totalité du sous-bassin d'Adour-Mirande, les *Marnes de Sainte-Suzanne* (Aptien inférieur) isolent nettement cette série de la précédente. Seuls les calcaires bioclastiques du Barrémien constituent un réservoir potentiellement important, surtout intéressants au nord du sous-bassin de l'Adour, l'Albo-Aptien ayant un faciès marneux ("fosse de l'Adour"). En dessous, le Néocomien (Berriasien- Valanginien-Hauterivien) offre peu d'intérêt par rapport aux réservoirs sus-jacents du Crétacé inférieur, car les assises réservoirs ("*calcaires à Annélides*") sont très interstratifiées par des épontes argilo-marneuses ("*Argiles du latéolog*", "*Argiles du gamma-ray*"). Au total cette série inférieure est donc nettement moins intéressante que celle de l'Albo-Aptien.

Profondeur et puissance

Il n'est pas possible dans cet aperçu de détailler les différentes profondeurs et géométries de ces réservoirs très complexes car discontinus. Il est renvoyé à la récente synthèse sismique et pétrolière du bassin d'Aquitaine qui décrit en détail les sous-bassins (Serrano et al., 2006).

Dans le sous-bassin de Parentis, le toit de l'enveloppe supérieure des premiers niveaux aquifères se situe à plus de 1 000 m de profondeur, dépassant 2 000 m en son centre (niveaux gréseux des courants de turbidité aptiens) et dans le secteur de Mimizan (calcaires récifaux albiens).

La puissance totale de tous les aquifères du Crétacé inférieur (incluant toutes les assises imperméables interstratifiées) est comprise généralement entre 250 à 800 m, mais peut dépasser 1 000 m en périphérie quand les calcaires albiens sont développés.

Dans le sous-bassin de l'Adour – Mirande, le toit des réservoirs de la série supérieure (limite supérieure de l'Albien dans le sous-bassin de Mirande ou niveau situé plus bas dans l'Albien ou l'Aptien supérieur dans le secteur nord de la fosse subsidente de l'Adour et le domaine de plate-forme externe autour de Pau) est très profond. Il se trouve à souvent plus de 1 500 m, pouvant atteindre 3 000 m, voire dépasser 4 000 m de profondeur dans le secteur de Pau-Meillon. Les calcaires du Barrémien n'ont été atteints que vers 5 000 à 6 000 m dans le secteur de la vallée du Luy de France au sud-ouest d'Hagetmau.

La puissance des formations aquifères de la série supérieure (Albien-Aptien supérieur) est très grande dans les sous-bassins méridionaux (entre 500 et 1 000 m) présentant un intérêt d'autant plus grand que les réservoirs sont dolomités et fracturés.

3.1.15. Généralités sur les réservoirs du Jurassique

Les formations jurassiques sont puissantes de 1 200 m au maximum en Dordogne, y compris la formation à anhydrite hettangienne (base du Lias - 200 m environ). Elles peuvent être un peu plus puissantes dans l'ouest du Lot-et-Garonne, par l'épaississement de la formation à anhydrite (200 à 500 m environ).

Il est possible d'individualiser de façon assez générale cinq réservoirs jurassiques et leurs épontes dans la série jurassique (Figure 39).

Quatre principaux réservoirs aquifères calcaires plus ou moins karstiques, qui s'étendent sur la majorité des départements de Lot-et-Garonne et de la Dordogne, sont séparés par des formations marneuses ou marno-calcaires. Ce sont, de bas en haut (avec leurs variations d'épaisseurs moyennes indiquées entre parenthèses) :

- les grès et calcaires dolomitiques du **Lias inférieur et moyen** (70 / 100 m),
- les calcaires et dolomies du **Bajocien** (30 / 170 m),
- les calcaires du **Bathonien supérieur / Callovien / Oxfordien** (100 / 650 m),
- les calcaires du **Kimméridgien basal** (50 / 210 m).

Ces réservoirs étant parfois subdivisés en "sous-réservoirs", comme dans le cas du Lias inférieur à moyen (du haut en bas le Pliensbachien, le Sinémurien-Hettangien et l'Hettangien basal) et dans celui du Bathonien-Oxfordien.

- un cinquième réservoir carbonaté existant très localement au-dessus de des marno-calcaires du Kimméridgien, constitué sur 50 à 100 m d'épaisseur par les calcaires plus ou moins dolomitiques du **Tithonien** (ex-Portlandien), contenant deux nappes libres en Dordogne : à l'est dans le Causse de Florimont-Gaumier et à l'ouest, déconnecté du secteur précédent, aux environs de Chapdeuil-La Tour-Blanche. Mais la plus grande extension de ces réservoirs sommitaux du jurassique correspond à celle des aquifères captifs très profonds et de grande extension dans le sous-bassin de Parentis et dans celui d'Adour-Mirande.

Les épontes imperméables intra-jurassiques sont de bas en haut :

- les marnes du Toarcien (30 / 40 m), seule éponte continue,
- les calcaires à niveaux marneux du Bathonien inférieur (50 / 70 m) qui ont tendance à disparaître vers l'ouest,
- les marnes de l'Oxfordien supérieur (100 / 150 m),
- les marno-calcaires du Kimméridgien (plus de 200 m) qui séparent presque partout les aquifères jurassiques des aquifères crétacés.

Les réservoirs du Lias inférieur et moyen ne seront pas traités dans ce rapport, car très profonds, de grandes variabilités de faciès réservoirs, de productivité très aléatoire et de qualité des eaux souvent saumâtres à franchement salées.

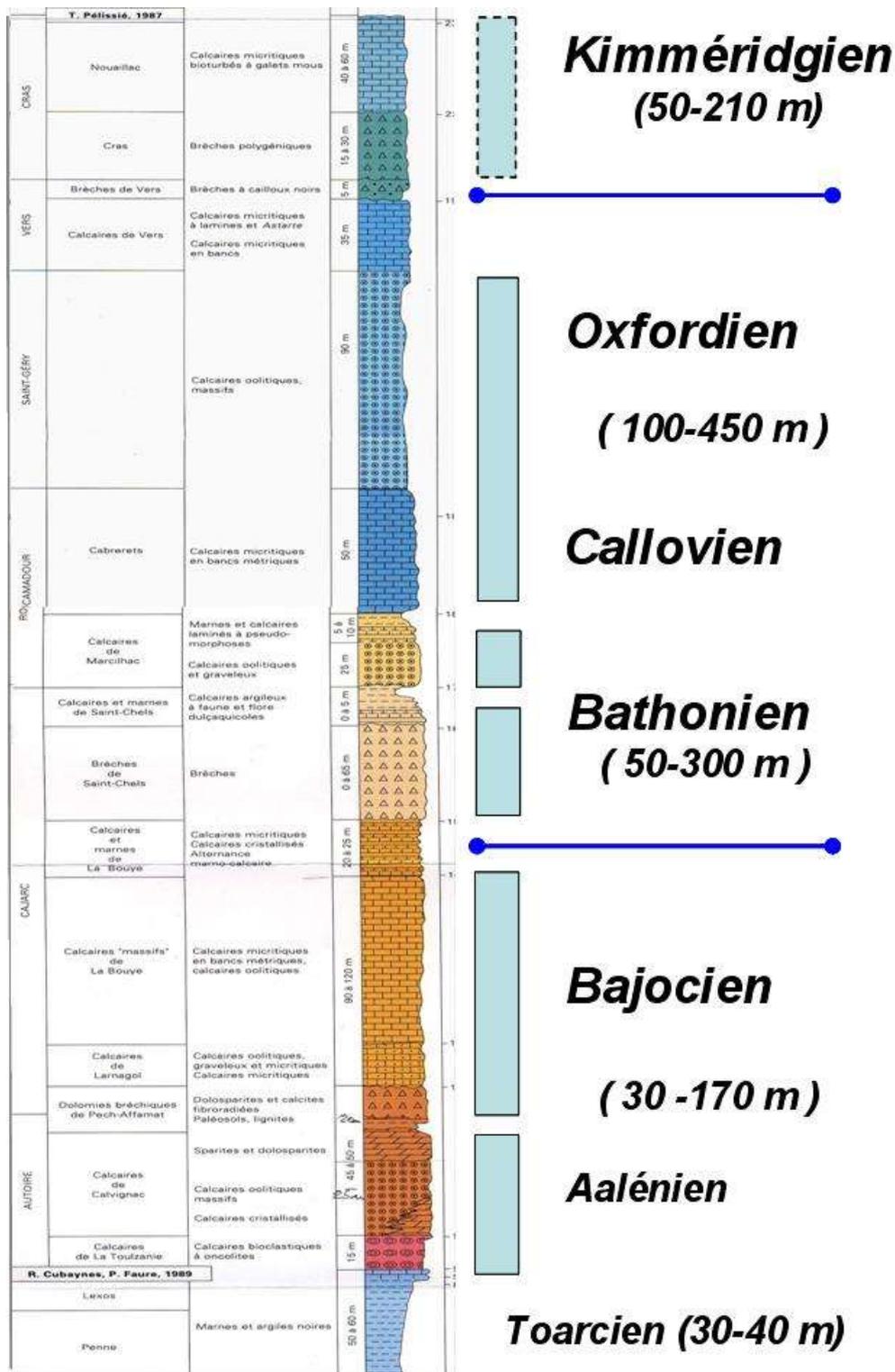


Figure 39 : Coupe lithostratigraphique des formations du Jurassique moyen et supérieur du Quercy

3.1.16. Aquifères du Tithonien

Après la régression généralisée sur la plate-forme aquitaine et à cause des très fortes érosions qui l'ont suivie, le réservoir du sommet du Jurassique est d'assez faible extension, de qualité variable et sa profondeur peut constituer un handicap. Il est constitué par plusieurs formations géologiques existant dans trois secteurs déconnectés les uns des autres suite à l'érosion post-jurassique. Tous ces réservoirs correspondent aux terrains anciennement dénommés "Portlandien".

- **secteur du Périgord-Quercy** – Entre Mercuès et le Bugue, où elles ont été définies, deux formations carbonatées d'âge Tithonien constituent le réservoir tithonien, à la base la **Formation de Salviac** (quasi équivalent de la Formation de **Peyrilles**), au sommet la **Formation de Cazals**.
- **secteur des Charentes** – Le réservoir correspond pour sa zone affleurante aux **Formations de La Martelle et de Cercles**, reconnues au cœur de l'anticlinal de Chapdeuil, d'âge Tithonien inférieur-Kimméridgien terminal.
- **sous-bassin de Parentis** – nettement plus développé dans ce secteur ouvert vers l'océan en termes de puissance, extension et karstification profonde, il s'agit de la **Formation de Mano**, définie dans les grands sondages d'exploration pétrolière du nord des Landes, d'âge Tithonien à Berriasien. D'une puissance variable en fonction de la dolomitisation, elle constitue localement un très bon réservoir lorsqu'elle est fracturée et en position structurale favorable (Cazaux, Parentis). Dans certains gisements pétroliers existent deux niveaux différents, qui peuvent être séparés (Cazaux, Tamaris) ou non (Parentis, Lugos).
- **sous-bassin de l'Adour-Mirande (ou sous-bassin d'Arzacq)** - dans presque tout le sud du bassin d'Aquitaine, c'est la zone la plus grande, mais aussi la plus structurée où existe la dolomie de la **Formation de Mano**, surmontée par les faciès des brèches de la **Formation de Garlin** (Figure 41).

Faciès et extension

En Quercy, les terrains de la base de ce réservoir (Formation de Salviac) expriment une rapide diminution de la profondeur, avec le passage d'une sédimentation de milieu restreint à une sédimentation intertidale et supratidale. Ils correspondent à des calcaires fins, micritiques, en bancs décimétriques réguliers à laminites dolomitiques, avec intercalation de quelques bancs massifs. La partie supérieure du réservoir (Formation de Cazals) est constituée par une série plus épaisse à faciès assez semblables de micrites et de calcaires dolomitiques.

Au nord de la Dordogne, les faciès du Tithonien sont principalement des calcaires micritiques en petits bancs qui surmontent une partie plus perméable à la base du

réservoir, constituée de grès bioclastique carbonaté, de calcaires oolitiques et de sables d'âge Kimméridgien supérieur, bien développés (sur 10 m d'épaisseur) dans la vallée du Buffebale (anticlinal de Chapdeuil). Cette série se prolonge dans le Sud-Charentes, mais les sables ont tendance à disparaître.

Dans le sous-bassin de Parentis, la "Dolomie de Mano" est presque partout constituée par des calcaires dolomitiques et des calcaires micritiques gris clair à lits argileux noirâtres. Dans la moitié occidentale du secteur s'étend la plate-forme externe à faciès de biomicrites graveleuses, parfois oolitiques. Dans la moitié orientale, la diagenèse a fortement affecté cette série qui comprend de nombreux bancs de dolomie azoïque, brune, beige ou blanche, microcristalline, compacte ou bréchique, localement très poreuse grâce à de nombreuses zones dissoutes ou géodiques (Figure 40).



Figure 40 : Faciès et porosité de la Dolomie de Mano du Tithonien carottée à 1 148 m de profondeur dans le sondage d'exploration Trensacq 1

Dans le sous-bassin de l'Adour-Mirande, les réservoirs du Tithonien correspondent à la base à la Dolomie de Mano, plus ou moins fissurée, surmontée par un faciès de brèche dolomitique, attestant de l'émersion avec collapse de faciès évaporitique régressifs puis de l'altération-karstification du bâti jurassique au début du Crétacé.

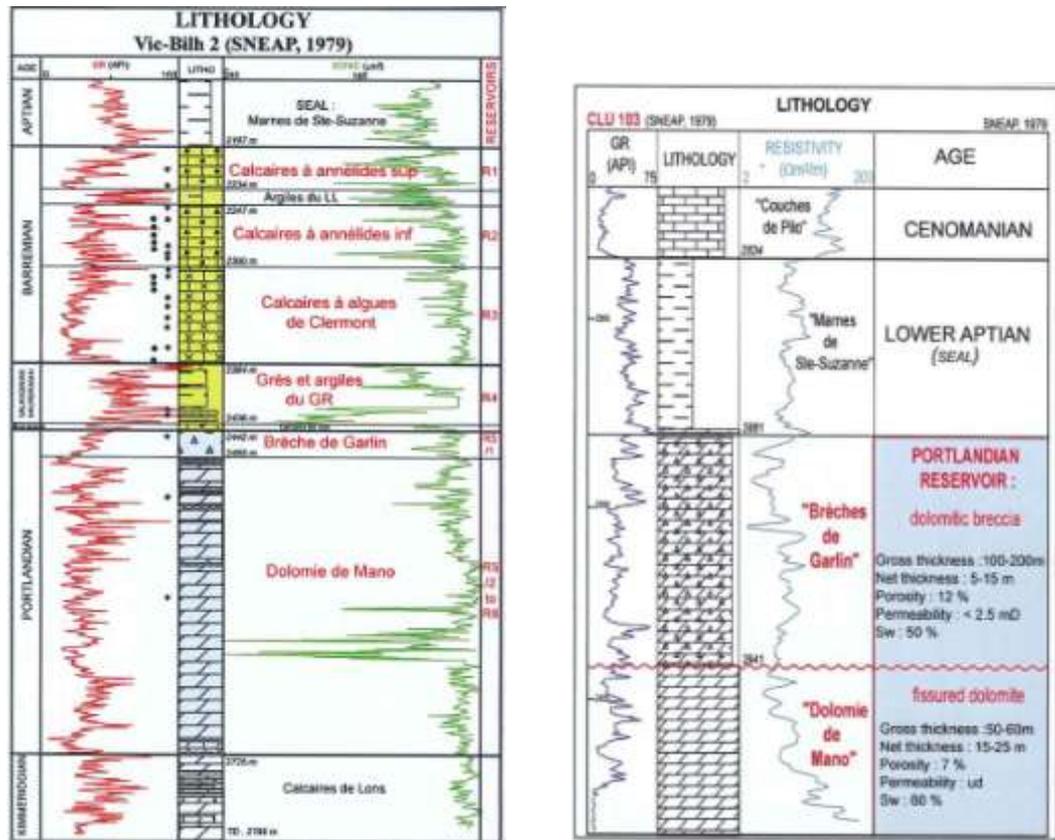


Figure 41 : Coupes des réservoirs du Tithonien dans le sous-bassin de l'Adour et de Mirande : à gauche dans le secteur de Vicq-Bilh et à droite dans celui de Castéra-Lou (SNEA.P, 1979 in Serrano et al., 2006)

Les limites du réservoir Tithonien ne coïncident avec les zones d'affleurements qu'en bordure d'érosion pour le secteur oriental et ont pu être tracées à partir des données de subsurface dans le secteur charentais et les sous-bassins de Parentis et de l'Adour-Mirande.

- **secteur du Périgord-Quercy** – La zone d'affleurement s'étend sur l'emprise de l'anticlinal de Saint-Cyprien dans le département du Lot (secteur de *Catus – Thédirac – Salviac et Gourdon*) et dans celui de la Dordogne (secteur de *Florimont-Gaumier - Bouzic* et jusqu'au Bugue). sur le flanc occidental de la structure, le réservoir doit s'étendre jusqu'à une ligne Castelfranc au sud et Journiac au nord en passant par Villefranche-du-Périgord et Belvès.
- **secteur des Charentes** – L'extension du réservoir a été tracée de façon à se raccorder aux affleurements tithoniens connus au nord-ouest des Charentes. Il doit donc s'étendre depuis la vallée de la *Dronne* jusqu'au nord de *Royan* en passant par *Montmoreau, Baignes*, le sud de *Jonzac* et *Gémozac*.
- **sous-bassin de Parentis** – La Formation de Mano correspond approximativement à l'étendue du sous-bassin de Parentis très subsident au

cours du Crétacé inférieur (Figure 42). Cette formation est connue au sud dans le secteur landais de *Sabres – Luxey* –, atteint le département de la Gironde dans celui de *Captieux*, s'étend jusqu'au *Mas d'Agenais* en Lot-et-Garonne, mord sur une partie de l'Entre-Deux-Mers (*La Réole, Cadillac*) et en passant dans la grande banlieue sud de Bordeaux, rejoint le littoral atlantique juste au nord du Bassin d'Arcachon. Sur la moitié méridionale du secteur et par suite de la structuration des anticlinaux de la ride d'Ychoux, la régression plus précoce n'a permis qu'un faible dépôt de cette dernière formation jurassique que les érosions crétacées ont, la plupart du temps, fait totalement disparaître. Dans tout ce secteur sud-occidental, les données assez nombreuses sont fournies par les sondages d'exploration pétrolière et il a été ainsi possible de limiter le réservoir vers l'ouest, passant par une ligne ondulante au sud du Bassin d'Arcachon et dans le secteur de la vallée de la Leyre.

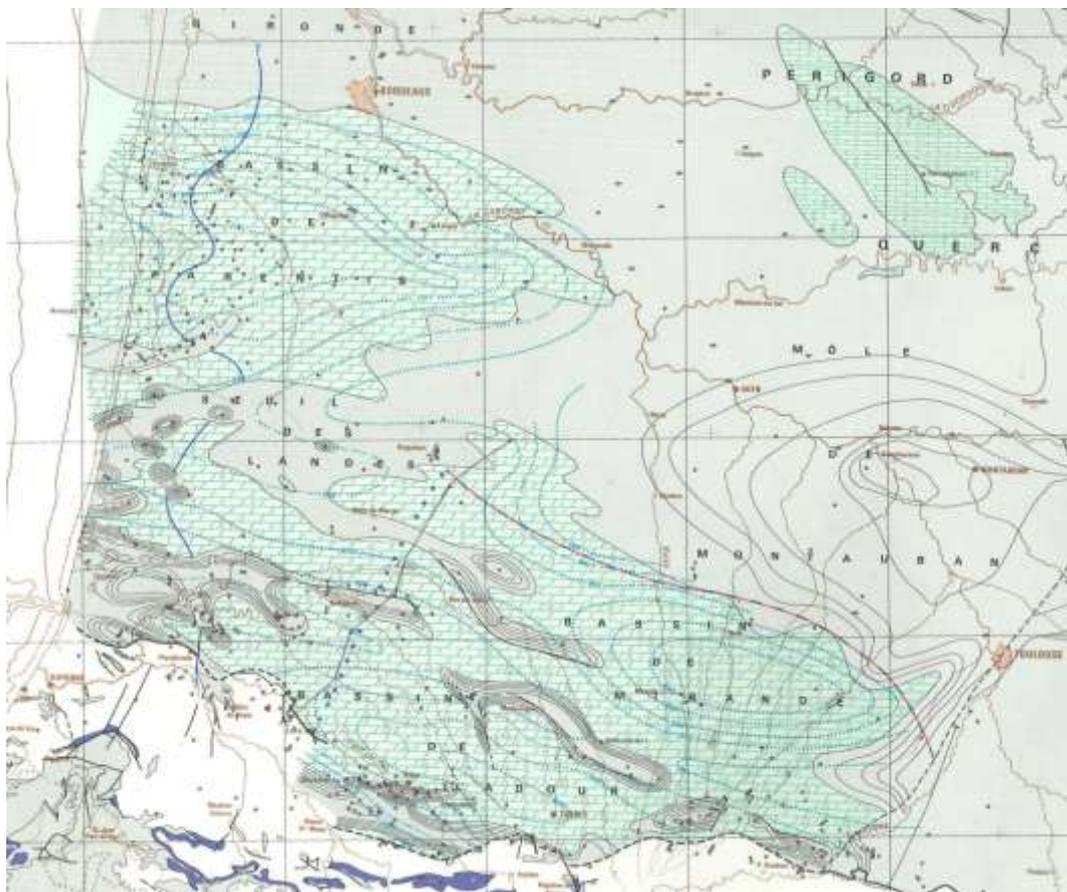


Figure 42 : Extension de la Dolomie de Mano dans les sous-bassins de Parentis et de l'Adour-Mirande (BRGM et al., 1974).

- **sous-bassin de l'Adour-Mirande** – séparé du précédent secteur par le "seuil des Landes", ce sous-bassin particulièrement subsident est limité au nord-est par la remontée des terrains plus profonds du Jurassique sur le môle de Montauban et s'étend à l'ouest presque jusqu'au littoral dans la zone des diapirs landais (Magescq, Mézos, Bias).

Profondeur et puissance

La géométrie de l'aquifère, dont l'enfoncement général s'effectue vers l'ouest, est largement influencée par les structures anticlinales et les grands accidents (St-Cyprien, Villagrains, Saint-Magne, Bouglon, Failles de Bordeaux et de la Leyre). Le toit du réservoir se trouve entre +300 et -300 NGF dans le Lot et la Dordogne. Se situant plus profondément sur la plate-forme en Gironde, le toit dessine deux gouttières de part et d'autre de la structure de Villagrains-Landiras, entre -750 NGF environ à l'est et -2 350 m à Parentis et -3 100 m à Cazaux sur la cote à l'ouest. Sur l'axe positif Bouglon-Saint-Magne, il évolue entre +215 et -900 NGF. C'est dans le secteur du Bassin d'Arcachon que le réservoir est le plus profond (mur du réservoir plus bas que -2000 NGF).

Dans le sous-bassin de l'Adour, le toit du réservoir se trouve généralement plus bas que -2 500 m NGF, avec des zones plus profondes au nord-est de Tartas et au sud-est de Mont-de-Marsan (inférieures à -3 500 m NGF). Dans la basse vallée du Louts et au sud des structures de Bastennes et d'Audignon, la Dolomie de Mano s'enfonce encore rapidement plus profondément plus bas que -5 000 m NGF.

Dans l'est et le nord du bassin, la puissance de l'aquifère est assez faible, de l'ordre de 30 à 50 m dans l'ouest du Quercy et le nord de la Dordogne.

Dans le sous-bassin de Parentis la puissance du réservoir est très variable, allant de moins de 70 m sur les bordures (réduction par érosion sous la discordance crétacée) à des épaisseurs pouvant dépasser 450 m quand il est complet et entièrement karstifié, principalement au sud de la faille de la Leyre (sud de Belin, Mios, Saint-Magne).

Dans le sud du bassin, les puissances sont aussi très variables, entre 50 et 400 m, suite aux différences de la profondeur d'érosion sous la discordance crétacée. Par exemples, dans le secteur de Vicq-Bilh la Formation de Mano atteint 260 m de puissance, alors que la Brèche de Garlin n'est épaisse que de 23 m. Dans le secteur de Castéra-Lou, la première est réduite à 50-60 m, alors que la seconde s'épaissit jusqu'à 60 m.

3.1.17. Aquifère du Kimméridgien

Ce réservoir vient en complément de celui du Batho-Callovo-Oxfordien sous-jacent, dont il n'est séparé que par une assez faible épaisseur de terrain, mais il est beaucoup moins étendu.

Il est constitué par la majeure partie de la **Formation de Cras** d'âge Oxfordien terminal / Kimméridgien basal, affleurante et définie dans les Causses du Quercy (Delfaud, 1969).

Faciès et extension

A la base se sont déposés des brèches plus ou moins cimentées résultant de la dissolution des évaporites développées dans des environnements de sabkhas - Pélissié, 1985) ; ces faciès passent au sommet à des calcaires micritiques de plate-forme interne. Au-dessus se sont sédimentés des calcaires micritiques à oncolites puis des calcaires micritiques bioturbés.

Les limites du réservoir kimméridgien coïncident avec les zones d'affleurements en bordure d'érosion (Figure 43). Celles-ci s'étendent depuis le département du Tarn-et-Garonne et le centre de celui du Lot jusqu'au sud-est de la Dordogne (secteur est de Sarlat). Vers le sud-est et le sud, la limite du Kimméridgien aquifère se situe une dizaine de kilomètres plus à l'ouest que celle du réservoir jurassique sous-jacent, passant approximativement par le nord d'Agen, Vianne et Durance.

Vers l'ouest la limite du réservoir a été estimée à une ligne méridienne partant d'Angoulême jusqu'à Marmande puis s'infléchissant au sud-ouest jusqu'à Roquefort. A l'ouest de cette limite tous les terrains kimméridgiens sont marneux par variation de faciès en plate-forme externe.

Profondeur et puissance

En région Aquitaine, la puissance de l'aquifère est assez constante, de l'ordre de 30 à 80 m avec des secteurs atteignant 140 m quand il est entièrement karstifié comme à Mareuil et Saint-Astier, par ex. Les plus fortes puissances, dépassant 180 m, sont situées dans le centre-ouest du département du Lot.

A la différence du Tithonien, la géométrie de l'aquifère, dont l'enfoncement général s'effectue vers le sud-ouest, est peu influencée par les anticlinaux, sauf ceux de Saint-Cyprien et de Roquefort. Elle dessine une vaste zone en dépression évasée centrée sur Sainte-Foy-la-Grande et remontant jusqu'au secteur de Belvès en Périgord.

Le toit du réservoir est situé à - 70 / 90 NGF en moyenne sous les villes de Périgueux et Sarlat et à - 350 m NGF sous Villeneuve/Lot. La zone profonde sur la plate-forme (mur du réservoir plus bas que - 700 NGF) est située à l'ouest d'une ligne Aubeterre, Mussidan, Bergerac et Eymet. Le réservoir est ainsi plus profond que -1 000 NGF dans le secteur de Sainte-Foy-la-Grande.

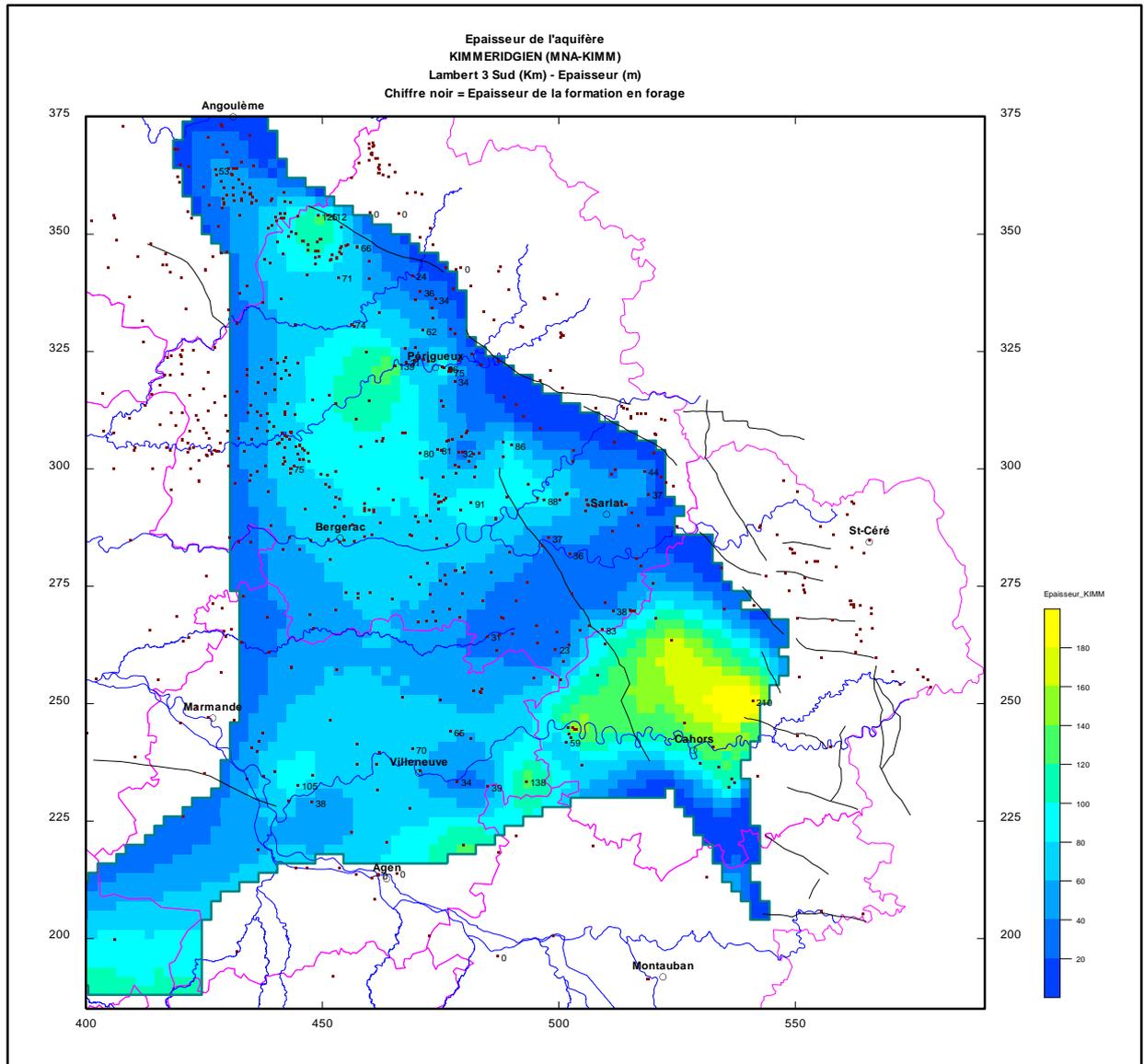


Figure 43 : Puissance de l'aquifère du Kimméridgien.

3.1.18. Aquifères du Bathonien-Callovo-Oxfordien

Par sa grande puissance et sa vaste extension, c'est l'aquifère principal du Jurassique nord-aquitain, qui est constitué par plusieurs formations géologiques dans lesquelles se développent un réservoir complexe généralement bien karstifié.

Quatre formations calcaires s'y superposent dont les faciès s'organisent sur une vaste plate-forme barrée, séparant un domaine interne à l'est d'un domaine externe à l'ouest. De la base au sommet, ce sont la *Formation de Cajarc* (partie supérieure) d'âge Bathonien moyen à supérieur, la *Formation de Rocamadour* d'âge Bathonien terminal à Callovien, la *Formation de Saint-Géry* et localement la *Formation de Vers* (partie inférieure) quand elle est karstifiée, toutes deux d'âge Oxfordien, qui affleurent largement dans les Causses du Quercy où elles ont été définies (Delfaud, 1969).

Faciès et extension

Dans les sondages du Périgord, de l'Agenais et du centre de la plate-forme, le réservoir du Bathonien-Callovo-Oxfordien se reconnaît généralement par la fréquence des faciès de calcaires oolitiques alternant avec des calcaires dolomitiques crème, l'ensemble étant assez fortement karstifié comme en attestent les fréquentes pertes de circulation.

La base de ce réservoir est constituée par des calcaires oolitiques, des micrites à pseudomorphoses, puis des calcaires recristallisés à structure bréchique. Au-dessus se succèdent des micrites laminées, puis des calcaires marneux.

La Formation de Rocamadour est constituée par un niveau de calcaires granulaires, et par des calcaires micritiques massifs. Au sommet, existe un ensemble massif de micrites avec quelques récurrences de faciès granulaires et des niveaux de micrites laminées de dépôts intertidaux.

La partie supérieure du réservoir (Formation de Saint-Géry) est constituée par une série monotone de calcaires oolitiques à intercalations micritiques. Cette grande barrière oolitique se réduit vers l'est où elle s'enrichit en faciès oncolitiques.

Les limites orientales du réservoir à l'affleurement s'étendent depuis le département du Tarn-et-Garonne, l'est du Lot jusqu'en Charente en passant par le nord-est de la Dordogne et le sud de la Corrèze. Vers le sud-est et le sud, la limite du Bajocien aquifère suit une ligne qui épouse approximativement la limite entre les départements du Tarn-et-Garonne, du Lot-et-Garonne et du Lot.

Dans tout le secteur occidental, du fait des données très éparses fournies par les rares sondages d'exploration pétrolière, le réservoir a été arbitrairement limité vers l'ouest au littoral médocain, puis à une bordure ondulante au nord du Bassin d'Arcachon, contournant les structures anticlinales faillées de Villagrains – Belin et du secteur de Labrit. Au nord-ouest le réservoir se limite au flanc occidental de l'anticlinal de Saintonge.

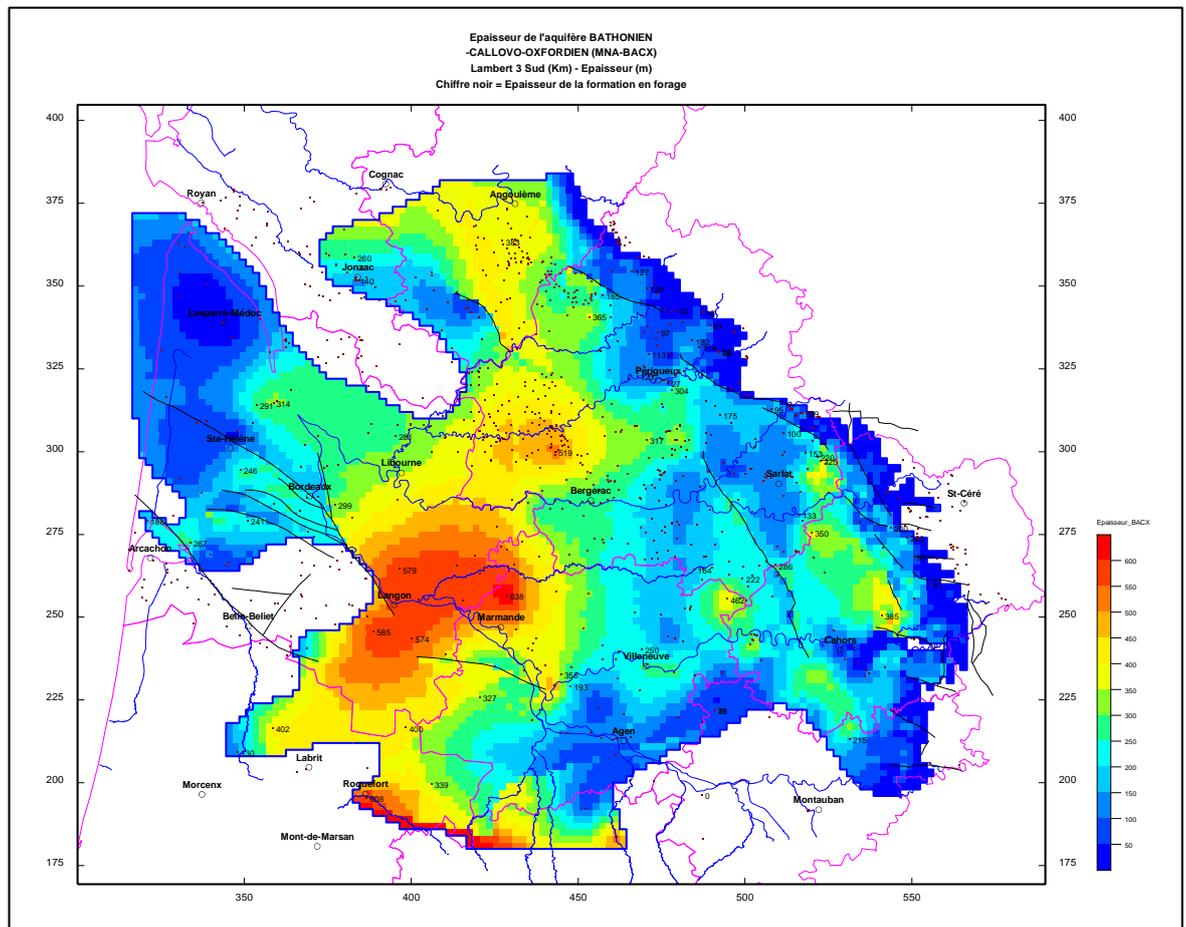


Figure 44 : Puissance du réservoir du Bathonien-Calvo-Oxfordien sur la région nord-aquitaine

Profondeur et puissance

La géométrie de l'aquifère, dont l'enfoncement général s'effectue vers le sud-ouest, semble assez influencée par les structures anticlinales et les grands accidents. Le toit du réservoir dessine une vaste zone en gouttière évasée qui part du secteur de Cahors jusqu'à la vallée de la Dordogne en aval de Bergerac.

Le toit du réservoir est situé à -200 NGF en moyenne sous les villes de Périgueux et Sarlat, mais plonge déjà à -500 sous Villeneuve et -700 NGF sous Marmande. La zone profonde (mur du réservoir > -1000 NGF) est située à l'ouest d'Angoulême, Bergerac, Villeneuve et Montréal. C'est dans le secteur compris entre Roquefort, Langon et le Sud-Médoc que le réservoir est le plus profond (inférieur à -1800 NGF).

La puissance de l'aquifère est assez variable, de l'ordre de 130 à 200 m dans le Quercy (Figure 44) avec des secteurs pouvant dépasser 300 m quand il est complet et entièrement karstifié (Causses du Quercy, Sauveterre-la-Lémance).

Les plus fortes puissances sont situées le long d'un axe sub-méridien partant d'Angoulême au nord, passant par Mussidan, Langon, Captieux et Roquefort au sud. Cet axe correspond aux faciès à dominante oolitique et récifale de la barrière à l'époque oxfordienne, actuellement plus ou moins dolomitisés et karstifiés. Le maximum de puissance est situé entre le Langonnais et le nord de Marmande avec un réservoir de plus de 500 m de hauteur. De très fortes puissances existent aussi au sud sur les anticlinaux de Roquefort et de Créon-d'Armagnac. A l'ouest la puissance du réservoir diminue progressivement jusqu'à 50 m environ dans le Médoc (calcaires de plus en plus marneux) et d'une probable moindre karstification.

3.1.19. Aquifère du Bajocien

Ce réservoir est principalement constitué par les dépôts du Bajocien, mais dans le sud-est de la plate-forme, sa base comprend aussi ceux de l'Aalénien (par simplification il sera seulement dénommé "aquifère du Bajocien" dans la suite du rapport.

A la suite de la diminution de la tranche d'eau au cours du Toarcien, qui a vu la sédimentation de marnes noires dans de vastes vasières, la régression plus marquée du début du Jurassique moyen se traduit par le dépôt des calcaires de la *Formation d'Autoire* d'âge Aalénien à Bajocien moyen, puis de la base de la *Formation de Cajarc*, d'âge Bajocien supérieur à Bathonien basal, définies à l'affleurement dans les Causses du Quercy (Delfaud, 1969).

Faciès et extension

Dans les sondages du Périgord et du centre de la plate-forme, le réservoir du Bajocien se reconnaît généralement par la superposition d'une série de calcaires oolitiques blanc à gris surmontant des dolomies cristallines brunes parfois grossières.

A la base se sont déposés des alternances marno-calcaires progressivement relayées par les calcaires bioclastiques à oncolites, couronnés par un hard-ground ferrugineux. Au-dessus s'est sédimenté un ensemble de calcaires oolitiques massifs recristallisés à la base, surmonté de calcaires sparitiques et dolosparitiques.

Puis existent des séquences de comblement présentant successivement des calcaires granulaires à laminations obliques, des calcaires micritiques et des dolosparites bréchiques de dessiccation,. De fréquents hard-grounds marquent les discontinuités parfois angulaires.

Les limites du réservoir bajocien coïncident avec les zones d'affleurements en bordure d'érosion, qui s'étendent depuis le département du Tarn-et-Garonne et l'est de celui du Lot jusqu'en Charente passant par le nord-est de la Dordogne et le sud de la Corrèze.

Vers le sud-est et le sud, la limite de l'aquifère du Bajocien suit une ligne qui épouse approximativement la limite entre les départements du Tarn-et-Garonne, du Lot-et-Garonne et du Lot.

Vers l'ouest le réservoir est grossièrement limité à une ligne ondulante partant de Jonzac au nord jusqu'à Montréal du Gers au sud, en passant par Montguyon, Saint-Emilion, Cadillac et Casteljaloux. Dans le secteur occidental, les données très éparées fournies par les rares sondages d'exploration pétrolière montrent que tous les terrains bajociens situés à l'ouest de cette limite sont généralement marneux, sauf dans deux zones situées en Médoc (autour de Lesparre et du Verdon) et à l'ouest de Bordeaux (entre Saint-Médard et le bassin d'Arcachon) ; ces zones réservoirs sont totalement déconnectées de l'extension principale et très profondes (entre 1 200 et 3 500 m).

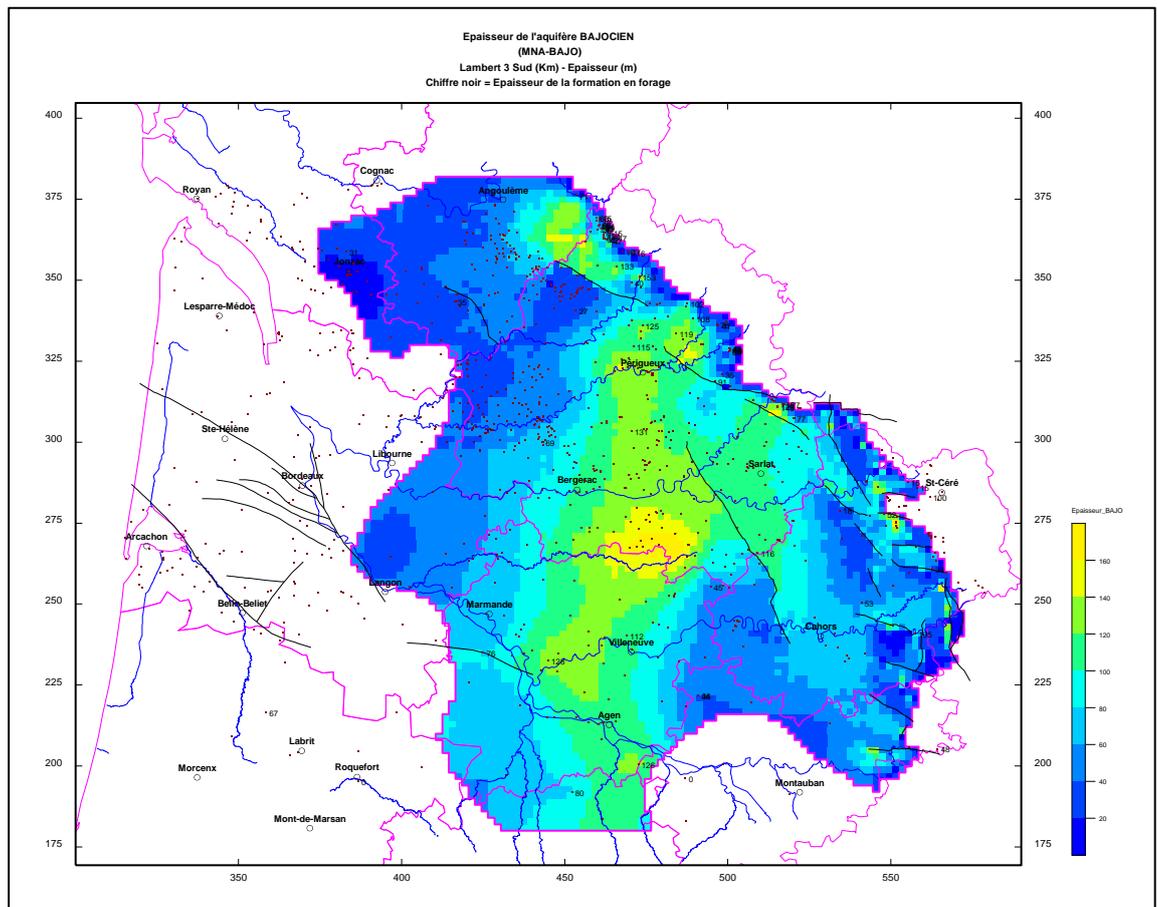


Figure 45 : Puissance du réservoir du Bajocien sur la région nord-aquitaine.

Profondeur et puissance

La géométrie de l'aquifère, dont l'enfoncement général s'effectue vers le sud-ouest, est peu influencée par les anticlinaux et les structures synclinales qui les séparent. Elle dessine une vaste zone en gouttière évasée qui part de la confluence Lot-Célé jusqu'à la vallée de la Couze en Périgord.

Le toit du réservoir bajocien est situé à -300 NGF en moyenne sous les villes de Périgueux, Sarlat et Cahors. La zone profonde de la plate-forme est située à l'ouest d'Angoulême, Bergerac, Villeneuve et Montréal (mur du réservoir > -1 000 NGF). C'est dans le secteur de Langon que le réservoir entièrement carbonaté est le plus profond (inférieur à -2000 NGF).

La puissance de l'aquifère est assez variable, de l'ordre de 60 à 90 m dans le Quercy avec des secteurs pouvant dépasser 120 m quand il est complet et entièrement karstifié (Figure 45).

Les plus fortes puissances sont situées le long d'un axe méridien Périgueux, Eymet, Ste-Livrade, se prolongeant sur Charras au nord (Charente) et sur Agen – Astaffort au sud. Comme pour le réservoir du Bathonien-Callovo-Oxfordien, cet axe, d'emprise moins large, correspond aux faciès à dominante oolitique de la barrière à l'époque bajocienne, qui sont actuellement plus ou moins dolomités et karstifiés. Cette zone de surépaisseur est située 50 km environ plus à l'est que celle du réservoir Bathonien-Callovo-Oxfordien.

La puissance du réservoir diminue progressivement vers l'ouest jusqu'à 40 m environ dans le Sud-Charentes et l'est de l'Entre-Deux-Mers par suite de la variation progressive de faciès (calcaires de plus en plus marneux) et d'une probable moindre karstification. Il n'y a plus de réservoir vraiment repérable dans les grands sondages d'exploration pétrolière à l'ouest de Jonzac, de Libourne et de Langon.

3.2. LES OPÉRATIONS DE GÉOTHERMIE CONNUES EN AQUITAINE

Les opérations de géothermie connues en Aquitaine se concentrent principalement autour de trois pôles (Figure 46). Elles sont listées sous forme de fiches dans l'Annexe 7.

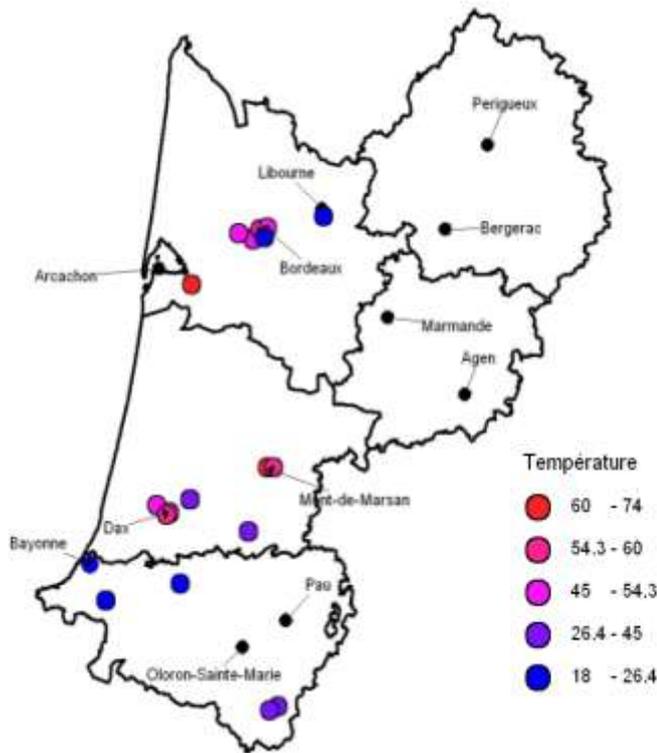


Figure 46 : Localisation des réalisations remarquables en Aquitaine.

Le premier pôle, historiquement parlant, concerne essentiellement le thermalisme et l'exploitation de salines dans les Landes (Dax, Saint-Paul-les-Dax, Mont-de-Marsan, Hagetmau, Préchacq-les-Bains) et Salies-de-Béarn. Certains des forages existants ont été par la suite utilisés pour le chauffage des bâtiments et de nouveaux forages ont été réalisés dans ce but.

Le deuxième pôle comprend les stations thermales des Pyrénées-Atlantiques (Eaux-Chaudes, Eaux-Bonnes, Cambo-les Bains...).

Le troisième pôle, enfin, est constitué des exploitations sur le territoire de la Communauté Urbaine de Bordeaux. Dans ce secteur, six forages, dont quatre en exploitation, captent les aquifères du Turonien et du Cénomaniens à une profondeur d'environ 1 000 m (Figure 47). Ces forages assurent le chauffage d'une partie des bâtiments du quartier Mériadeck, de la cité de Saige, de la base Aérienne 106 et d'une piscine dans le quartier de la Benauge.

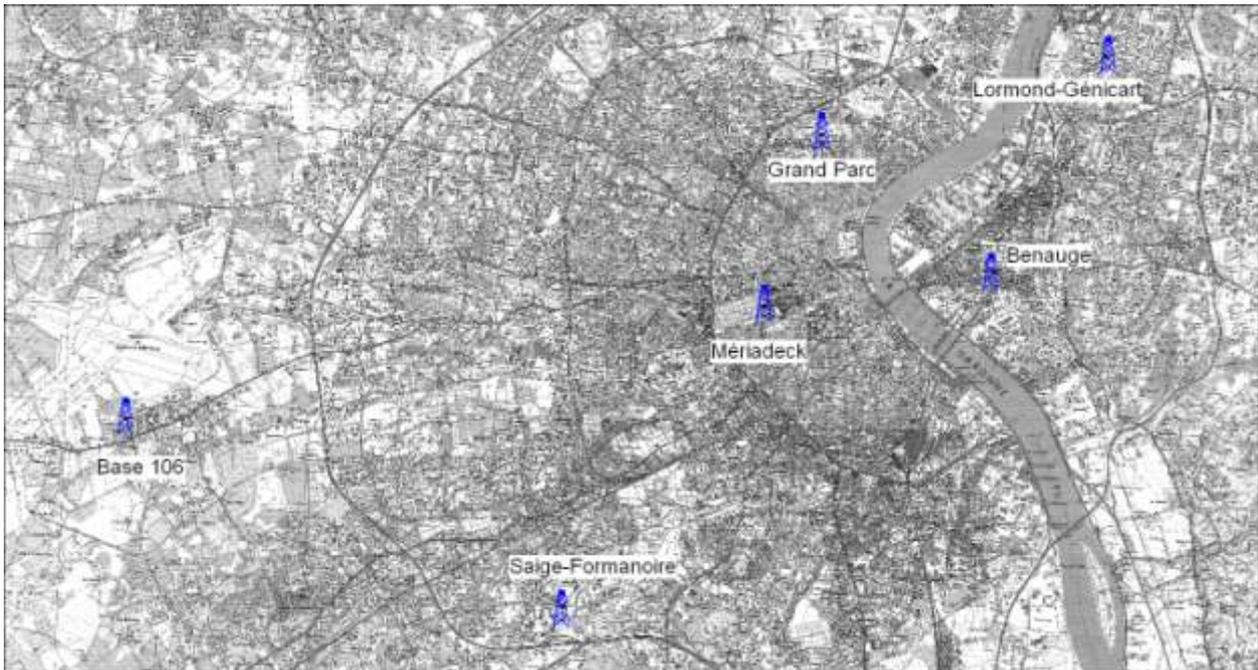


Figure 47 : Forages captant l'aquifère Cenomano-Turonien au droit de la CUB.

Un autre forage exploite l'aquifère du Campanien-Maastrichtien et fournit l'eau chaude de la piscine universitaire de Pessac-Stadium, Enfin un doublet à l'Eocène, actuellement arrêté, a été utilisé avec succès sur la commune de Bègles pour le chauffage de locaux industriels.

En dehors de ce dernier, tous les forages existants ont été conçus avec un puits unique et sont actuellement en voie de modernisation de manière à limiter les quantités d'eau pompée et à valoriser l'eau, jusqu'alors rejetée.

Enfin, deux autres réalisations remarquables ont été identifiées : le chauffage de la Caisse Primaire d'Assurance Maladie de Bayonne par géothermie très basse énergie et la réhabilitation d'un ancien forage pétrolier au Teich pour un usage en pisciculture.

4. Atlas du potentiel géothermique basse et très basse énergie des aquifères de l'Aquitaine

4.1. PRINCIPE GÉNÉRAL DE CONCEPTION

4.1.1. Méthodologie générale

Le principe général de conception de l'atlas repose sur une méthode de cartographie à index avec pondération de critères. Cette méthode est basée sur la combinaison pondérée de cartes de paramètres (dites cartes unicritères) intervenant dans l'évaluation d'une propriété régionale (ici, le potentiel géothermique des aquifères).

Cette méthode permet la prise en compte relative de chaque critère influençant le potentiel général d'un aquifère. La difficulté lors de sa mise en œuvre réside essentiellement dans le choix des critères, leur notation et le poids qu'on leur attribue.

La cartographie et la combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement cartographique (SIG) ; les données sont traitées sous forme de polygones correspondant aux contours des aquifères issus de la BD Lisa (référentiel hydrogéologique français dans sa version 2), puis intégrées dans une grille avec des mailles de 500 m de côté. Toutes les cartes produites sont géo-référencées.

La Figure 48 synthétise la méthodologie de cartographie du potentiel géothermique régional proposée.

4.1.2. Critères de potentialité géothermique

Pour rendre compte du potentiel géothermique très basse énergie et basse énergie des aquifères d'Aquitaine, trois critères sont pris en compte :

- Productivité de l'aquifère ou débit exploitable ;
- Température de la ressource ;
- Profondeur d'accès à la ressource.

Les deux premiers sont représentatifs du rendement de l'exploitation de l'aquifère pour un usage géothermique ; le troisième est dit « économique » car il impacte directement le coût d'investissement et le coût d'exploitation d'un projet.

Leur analyse simultanée permet de rendre compte de l'intérêt d'une opération de géothermie.

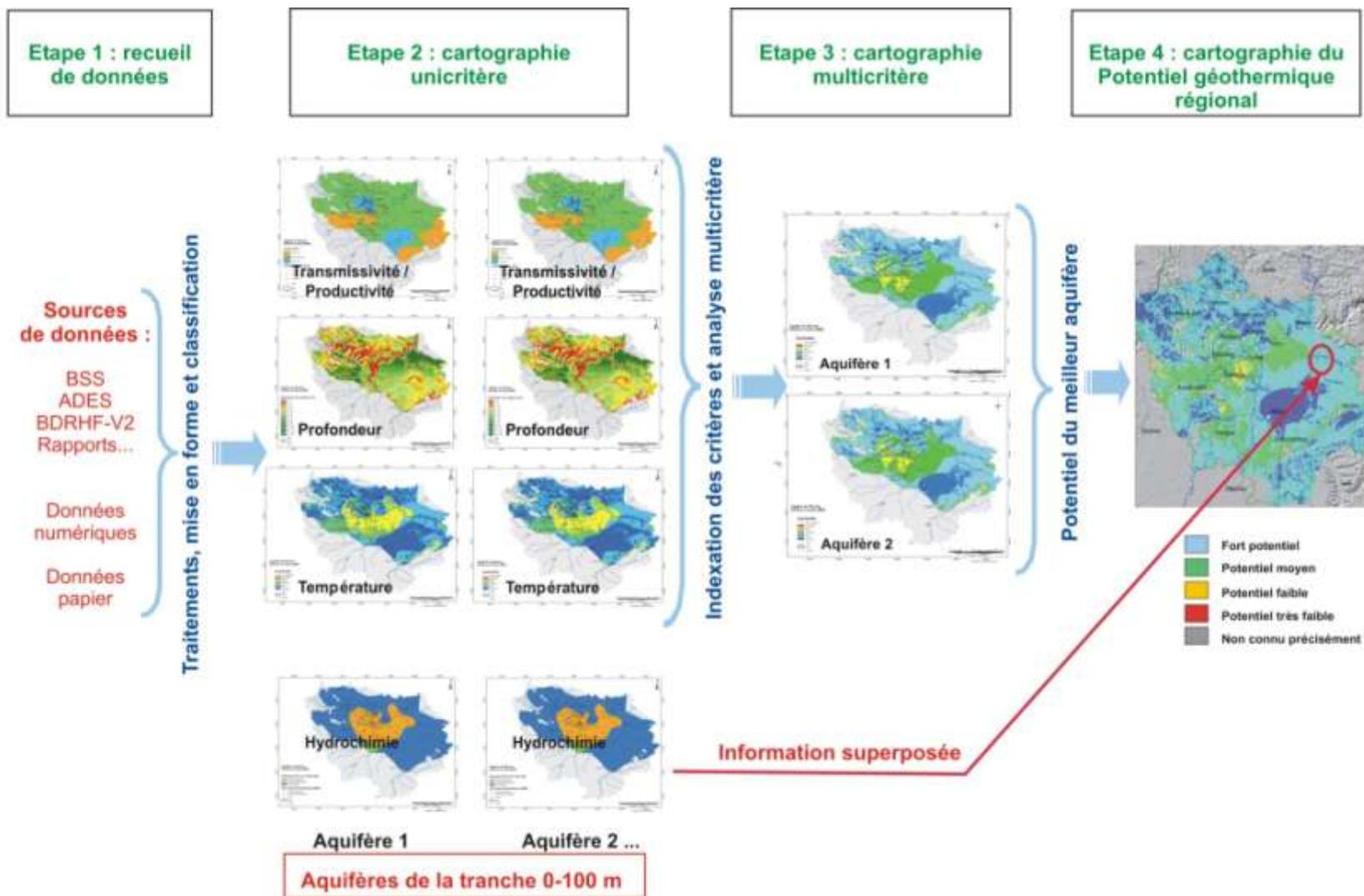


Figure 48 : Principe de l'élaboration des cartes du potentiel géothermique régional

4.1.3. Détermination de l'étendue des aquifères concernés

L'étendue des aquifères susceptibles d'être exploités en géothermie basse et très basse énergie a été déterminée sur la base des informations issues de la base de données LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères fournissant les contours des entités hydrogéologiques françaises à 3 échelles de précision (N1 : nationale, N2 : régionale et N3 : locale).

Les aquifères retenus ont été regroupés en seize couches, de la moins profonde à la plus profonde.

Couche 1. Les aquifères du Plio-Quaternaire (Figure 49) regroupent l'ensemble du Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc ainsi que les terrasses alluviales.

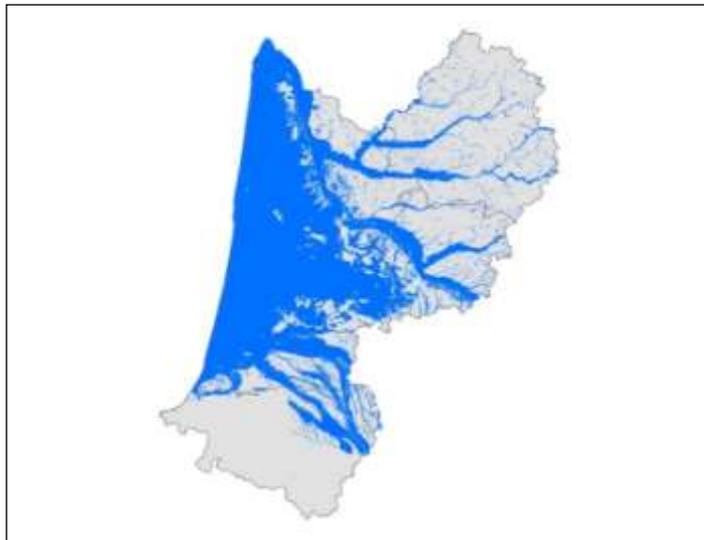


Figure 49 : Extension des aquifères du Plio-Quaternaire.

Couche 2. Elle est constituée de l'aquifère du Langhien-Serravalien (Miocène) (anciennement appelé Helvétien) (Figure 50).



Figure 50 : Extension de l'aquifère du Langhien-Serravalien.

Couche 3. Elle est constituée de l'aquifère de l'Aquitaniens-Burdigalien (Miocène) (Figure 51).



Figure 51 : Extension de l'aquifère de l'Aquitaniens-Burdigalien.

Couche 4. La couche Oligocène est essentiellement constituée des calcaires à astéries du Rupélien (anciennement appelé Stampien) (Figure 52).



Figure 52 : Extension de l'Aquifère de l'Oligocène.

Couche 5. Elle est constituée du système aquifère l'Eocène supérieur (Figure 53).



Figure 53 : Extension de l'aquifère de l'Eocène supérieur.

Couche 6. Elle est constituée de l'aquifère de l'Eocène moyen au nord et des Sables Infra-Molassiques au sud (Figure 54).



Figure 54 : Extension des aquifères de l'Eocène moyen Nord-Aquitain et des Sables Infra-Molassiques.

Couche 7. Elle est constituée de l'aquifère de l'Eocène inférieur au nord et de celui de l'Eocène basal au sud (Figure 55).



Figure 55 : Extension des aquifères de l'Eocène inférieur Nord-Aquitain et de l'Eocène basal Sud-Aquitain.

Couche 8. Elle est constituée de l'aquifère du Paléocène (Figure 56).



Figure 56 : Extension de l'aquifère du Paléocène

Couche 9. Elle est composée de l'aquifère du Campanien-Maastrichtien (Figure 57). La partie sud, s'étendant stratigraphiquement plus bas que le Campanien-Maastrichtien, a aussi été appelée Sénonien supérieur.



Figure 57 : Extension de l'aquifère du Campanien-Maastrichtien.

Couche 10. Elle est composée de l'aquifère du Coniacien-Santonien (Figure 58). Pour la partie sud, cet aquifère s'étend stratigraphiquement au Turonien supérieur et a aussi été appelé Sénonien inférieur.



Figure 58 : Extension de l'aquifère du Coniacien-Santonien.

Couche 11. Elle est composée de l'aquifère du Turonien Nord-Aquitain (Figure 59).



Figure 59 : Extension de l'aquifère du Turonien Nord-Aquitain

Couche 12. Elle est composée de l'aquifère du Cénomanién Nord-Aquitain (Figure 60).



Figure 60 : Extension de l'aquifère du Cénomanién Nord-Aquitain.

Couche 13. Elle est composée de l'aquifère du Tithonien (Figure 61).

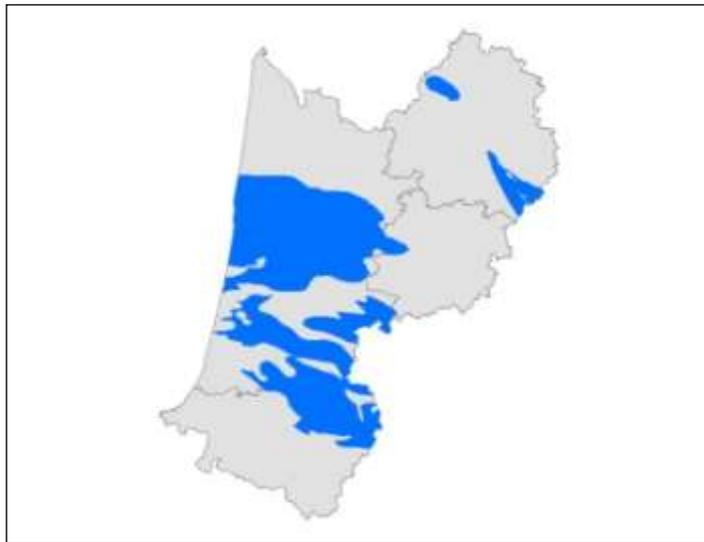


Figure 61 : Extension de l'aquifère du Tithonien.

Couche 14. Elle est composée de l'aquifère du Kimméridgien (Figure 62).



Figure 62 : Extension de l'aquifère du Kimméridgien.

Couche 15. Elle est composée de l'aquifère du Bathonien-Callovien-Oxfordien (Figure 63).



Figure 63 : Extension de l'aquifère du Bathonien-Callovien-Oxfordien.

Couche 16. Elle est composée de l'aquifère du Bajocien (Figure 64).



Figure 64 : Extension de l'aquifère du Bajocien.

La Figure 65 présente l'extension totale de l'emprise de l'atlas et la Figure 66 l'empilement vertical des seize couches.



Figure 65 : Extension de l'ensemble des aquifères concernés.

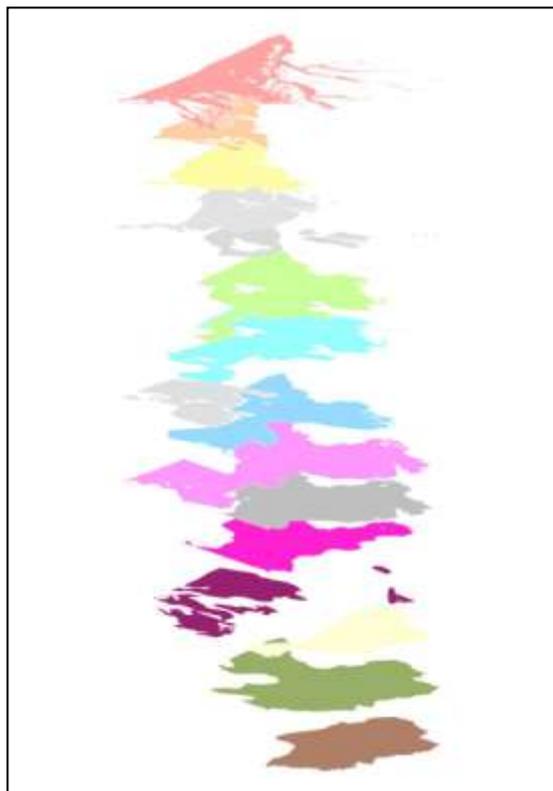


Figure 66 : Empilement des 16 couches aquifères prises en compte dans l'atlas.

Deux zones n'ont pas été traitées dans le cadre de cet atlas. Il s'agit du nord-est de la Dordogne, constitué de socle, et de la zone intensément plissée des Pyrénées. En effet pour ces deux zones, la variabilité spatiale des propriétés, tant aquifères que thermiques ou géométriques, ne permettent pas d'envisager une cartographie à l'échelle de cet atlas.

Enfin, les aquifères alluviaux accompagnants les fleuves et les rivières de la région, ainsi que la partie de l'Oligocène située en rive droite de la Garonne, n'ont pu être renseignés quant à leur potentiel, du fait du manque actuel de données en dehors de secteurs ponctuels. Il est à noter que les aquifères du Crétacé inférieur et du Jurassique existent dans le sud du Bassin où ils sont exploités pour la production d'hydrocarbures. Néanmoins, du fait de leur profondeur importante (souvent supérieur à 4 000 m) et du manque de données, ils n'ont pas été intégrés à l'atlas.

Au final, l'atlas couvre 37 569 km² ce qui correspond à 90% de la région Aquitaine.

4.1.4. Cartographie du potentiel géothermique

L'atlas du potentiel géothermique est constitué de l'ensemble des cartes unicritères de chaque aquifère, d'une carte multicritères ou carte du potentiel géothermique par aquifère superficiel d'intérêt régional et une carte de synthèse générale, dite carte du potentiel géothermique régional, qui correspond à la compilation des meilleures potentialités par aquifère.

Sa réalisation repose sur trois étapes :

a) Recueil de données relatives à chaque critère

Cette étape comprend le recueil de données disponibles au format numérique dans différentes bases de données et le recueil, la numérisation et la bancarisation (mise en base de données) de données bibliographiques non numériques.

Il est important de noter que la réalisation de l'atlas repose avant tout sur le recueil de données et que la qualité des cartes produites est directement liée à la qualité et à la densité des données disponibles. La première étape de recueil des données est donc très importante ; elle permet de décider des options de cartographie à mettre en œuvre lors des étapes suivantes.

Les sources de données utilisées pour l'atlas aquitain sont :

- Le Modèle hydrodynamique Nord-Aquitain de gestion des nappes (MONA) ;
- Le Modèle Sud Adour Garonne (MSAG) ;
- Le modèle géologique du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc (Corbier et Karnay, 2008 et 2010) ;
- BSS : la Banque de données du Sous-Sol apporte des données sur la géométrie et la nature des formations géologiques, sur la piézométrie et la productivité des aquifères et sur la physico-chimie des eaux souterraines ;
- ADES : la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines qui apporte des données physico-chimiques et piézométriques complémentaires ;
- Cartes géologiques au 1/50 000 ;
- Base bibliographique du BRGM et données complémentaires fournies par les bureaux d'études ;
- BD LISA : la base de données sur l'extension des systèmes aquifères.

b) Cartographie par critère - classification, spatialisation et indexation des critères

● **Classification des données :**

Pour rendre lisible les cartes de chaque critère, les données utilisées pour leur élaboration sont triées par classes.

- **Spatialisation des données :**

L'objectif de la spatialisation est de passer de données ponctuelles échantillonnées de manière aléatoire (données disponibles relatives à des ouvrages ponctuels) à une couverture régulière de valeurs estimées du critère considéré, et ce pour l'ensemble de la surface de chaque aquifère. La Figure 67 ci-dessous explicite le principe de spatialisation des données.

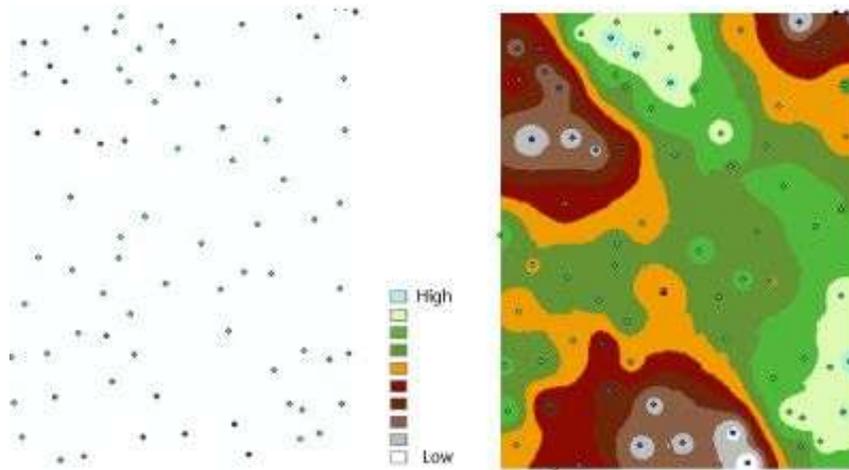


Figure 67 : Principe de la spatialisation des données (source ArcGis Desktop).

En d'autres termes, cela revient à estimer des valeurs de surface en des points non échantillonnés, sur la base d'une formule mathématique utilisant des valeurs de surface connues des points environnants. Plusieurs approches existent ; chaque approche utilisant une formule mathématique différente.

Le traitement réalisé pour aboutir aux cartes spatialisées a été différent selon l'aquifère et le critère considérés, en fonction de la quantité de données disponibles, leur homogénéité et leur répartition géographique.

Ainsi, plusieurs types de traitement ont été réalisés, faisant appel soit à une interpolation mathématique, soit à une approche statistique.

c) Analyse multicritères : calcul du potentiel géothermique de chaque aquifère

- **Pondération des critères :**

Certains critères ont une influence plus forte que d'autres sur le potentiel géothermique de l'aquifère. Pour rendre compte de cet état de fait, un poids est attribué à chaque critère en fonction de son importance vis-à-vis du potentiel géothermique. Un poids fort est attribué aux critères les plus sensibles, un poids faible pour les critères moins importants.

- **Cartographie du potentiel géothermique par aquifère :**

La carte du potentiel géothermique de chaque aquifère est obtenue par combinaison pondérée des cartes unicritères. Un indice de potentialité géothermique est calculé par addition pondérée des index de potentialité unicritère, attribués dans chaque maille de la grille cartographique. Une carte de répartition des indices de potentialité est alors établie ; elle correspond à la carte du potentiel géothermique de l'aquifère.

Le principe du calcul multicritères est présenté en Figure 68, ci-après.

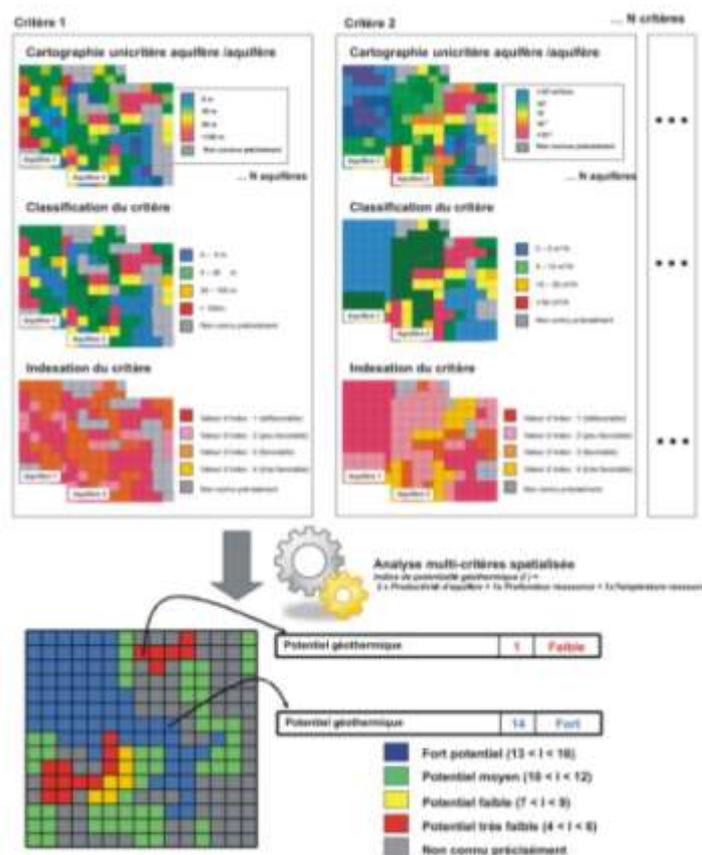


Figure 68 : Principe de l'analyse multicritères.

4.2. CARTOGRAPHIE DES DIFFERENTS CRITÈRES DE POTENTIALITÉ GÉOTHERMIQUE

4.2.1. Profondeur d'accès à la ressource

a) Définition

La profondeur d'accès à la ressource dans le cas d'un aquifère libre correspond à la piézométrie de la nappe. Dans le cas d'un aquifère captif, elle correspond à la profondeur du toit de l'aquifère considéré (Figure 69).

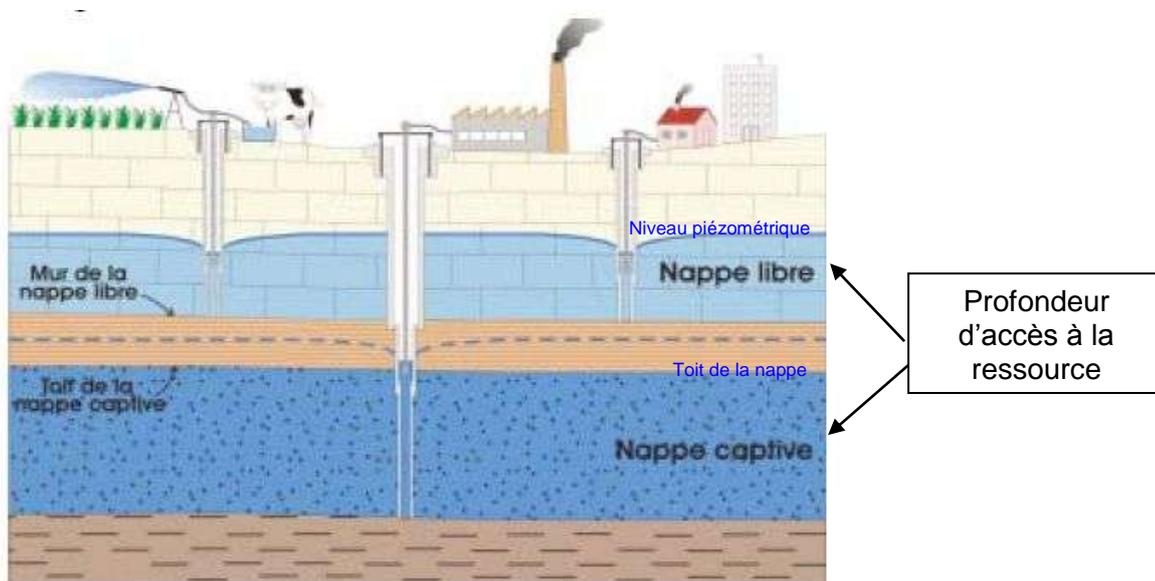


Figure 69 : Schéma explicitant les différents régimes de nappe (source BRGM).

Ce critère rend compte de deux aspects de la potentialité géothermique d'un aquifère :

- Le coût de l'opération : coûts de foration (directement lié à la profondeur des forages), coûts d'équipement (type et puissance de pompe liée à la hauteur de refoulement) et coûts de fonctionnement (consommation électrique de la pompe) ;
- Le risque que la surcôte piézométrique provoquée par l'injection de l'eau prélevée soit défavorable au projet (débordement de nappe, ennoyage d'aménagements souterrains).

b) Sources de données et traitement

Afin de calculer cette profondeur d'accès, il a été nécessaire dans un premier temps de reconstruire la géométrie des différentes couches (altitude du toit et du mur). Plusieurs sources de données ont été utilisées.

- Le modèle numérique de terrain (MNT) de l'Institut Géographique National au pas de 500 m a fourni la topographie à 1 m de précision pour l'ensemble de l'Aquitaine. Ce modèle fournit l'altitude au centre de la maille et est donc susceptible de fournir des résultats peu représentatifs pour certaines mailles présentant des variations importantes de topographie.
- Le modèle géologique du Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc au pas de 250 m a fourni, après interpolation bilinéaire le mur de la couche Plio-quaternaire (le toit correspondant à la topographie de surface). Ces données ont été ré-interpolées au pas de 500 m.
- La dernière version du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes (les dernières modifications datant du début de l'année 2011 – MONA V3.3) au pas de 2 km a fourni, après interpolation bilinéaire, les murs et les toits des 15 couches suivantes, dans leur partie nord, lorsque celle-ci est distincte de la partie sud. Ces données ont été ré-interpolées au pas de 500 m.
- Le Modèle Sud Adour Garonne (MSAG V1) au pas de 2 km a fourni, après interpolation bilinéaire, les murs et les toits de la couche Paléocène ainsi que de la partie sud des couches Eocène moyen (Sables Infra-Molassiques), Eocène inférieur Eocène basal), Campanien-Maastrichtien (Sénonien supérieur) et Coniacien-Santonien (Sénonien inférieur). Ces données ont été ré-interpolées au pas de 500 m.
- Les modèles MONA et MSAG ayant été calés sur la piézométrie observée, la piézométrie la plus récente (2002 pour MSAG et 2007 pour MONA), issue de ces modèles, a elle aussi ré-interpolée au pas de 500 m.

La Figure 70 présente l'emprise de ces trois modèles.

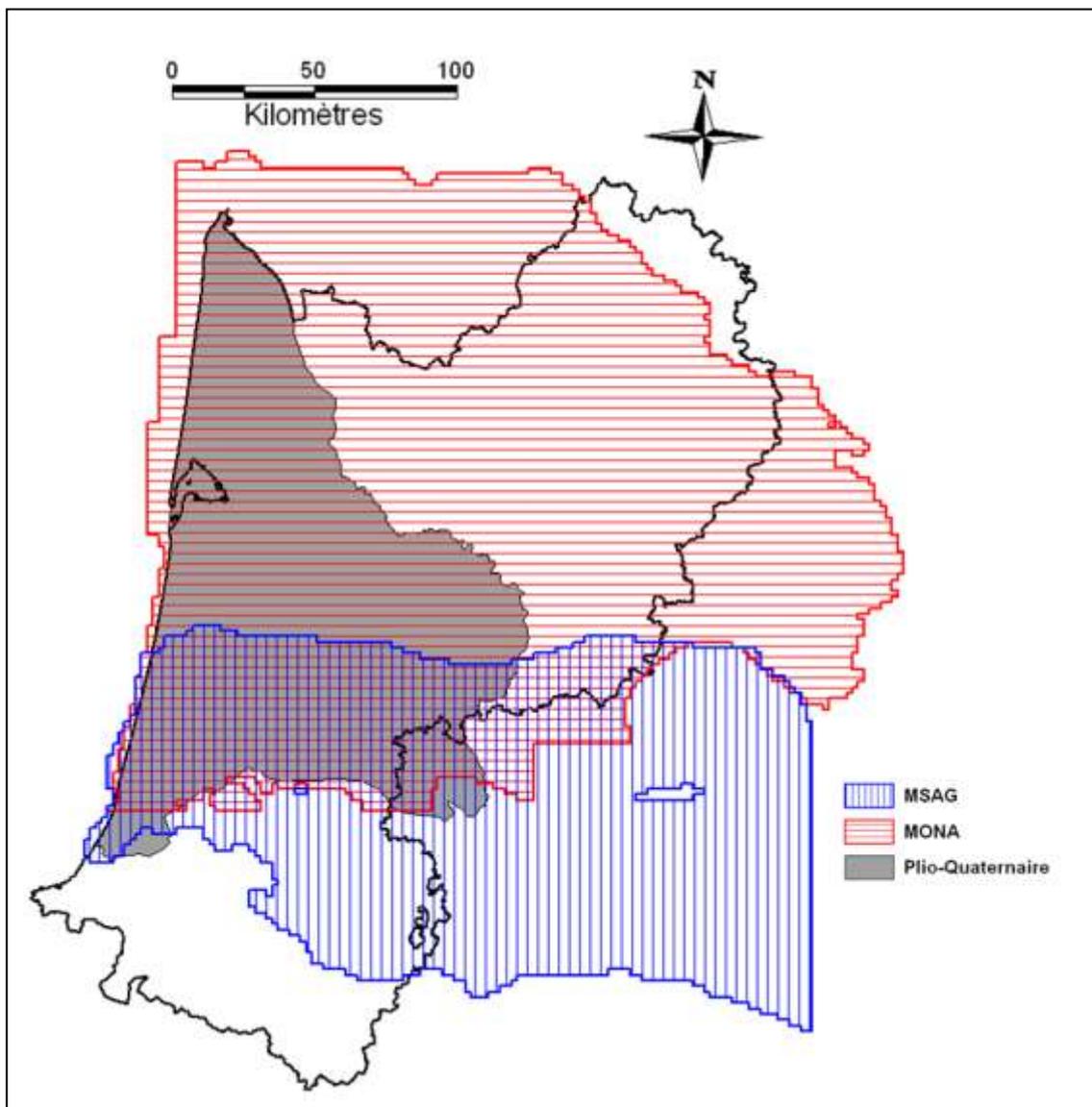


Figure 70 : Extension de l'emprise des trois modèles utilisés.

Une fois ces données compilées au sein d'un même Système d'Information Géographique, des tests de cohérence ont été effectués de manière à s'assurer que le toit d'une couche ne pouvait pas être plus élevé que le mur de la couche supérieure, ou que la topographie et que le niveau piézométrique dans les zones libres des aquifères ne pouvaient dépasser l'altitude du sol. Enfin, les zones correspondantes aux diapirs de Dax et de Préchacq-les-Bains ont été corrigées manuellement maille par maille.

La cartographie des données de profondeurs d'accès de chaque aquifère est disponible en Annexe 8.

4.2.2. Productivité des aquifères

a) Définition et sources de données

La productivité d'un aquifère correspond à l'évaluation de la ressource en eau extractible du réservoir aquifère. Les données de base utilisées pour l'évaluer sont :

- la transmissivité (notée T) et la perméabilité (notée k) : paramètres intrinsèques à l'aquifère (représentant sa capacité de production), très représentatifs de la ressource.

Les données de perméabilité doivent être couplées aux données d'épaisseur mouillée d'aquifère (notée e) pour reconstituer les données de transmissivité ($T = k \times e$).

- l'épaisseur mouillée de l'aquifère (e), correspond à la différence entre la profondeur de la base de l'aquifère (mur) et la profondeur du niveau piézométrique observé au droit de l'ouvrage ou la profondeur du toit de l'ouvrage lorsque celui-ci est intégralement saturé en eau (aquifère captif).

Les données de base pour T et k sont issues :

- o des rapports de pompages d'essai (souvent archivés en BSS). La densité de ces données intrinsèques est faible, ce qui rend difficile leur exploitation pour une cartographie régionale. Pour l'épaisseur mouillée, les données proviennent des coupes lithologiques des ouvrages, archivées en BSS.
- o des modèles MONA et MSAG, où ces données sont des paramètres de calage. Le résultat obtenu permet d'avoir des valeurs de transmissivité spialisées pour l'ensemble des aquifères modélisés. Il convient toutefois de noter que si les cartes de transmissivité ainsi obtenues permettent au mieux de reproduire les variations et les évolutions des niveaux d'eau observées dans les aquifères, elles ne constituent pas des références absolues.
- le débit spécifique (noté Q_s) correspond au rapport du débit pompé dans un ouvrage rapporté à la hauteur de rabattement dans l'ouvrage. Ce paramètre est représentatif des propriétés de l'aquifère, mais également des propriétés techniques des ouvrages de captage. Il est donc moins représentatif de la ressource que la transmissivité, mais les données qui permettent de le cartographier sont plus nombreuses. Les données de base sont l'ensemble des mesures ponctuelles de débits/rabattement disponibles en BSS et pas forcément associées à des pompages d'essais complets.
- les débits de production de forage : ce paramètre correspond à des débits exploitables, mais est surtout représentatif des propriétés techniques des ouvrages de captage et des besoins associés aux usages de la ressource. Il est peu représentatif de la capacité de production de la ressource proprement dite.

La quantité de données disponibles pour l'ensemble de la zone couverte et les seize couches représentent :

- ▲ 304 valeurs de débit spécifique,
- ▲ 1 valeur de débit critique,
- ▲ 9 valeurs de débit maximum exploitable,
- ▲ 981 valeurs de transmissivité,
- ▲ 21 valeurs de coefficient de perméabilité.

Pour 255 points de mesure, on dispose à la fois d'une valeur de débit spécifique et d'une valeur de transmissivité. Parmi ceux-ci, en ne sélectionnant que les valeurs jugées fiables lors de leur introduction dans les bases ADES et BSS, on constate un rapport Q_s/T variant entre 0,8 et 1,2 pour la grande majorité des mesures (Figure 71).

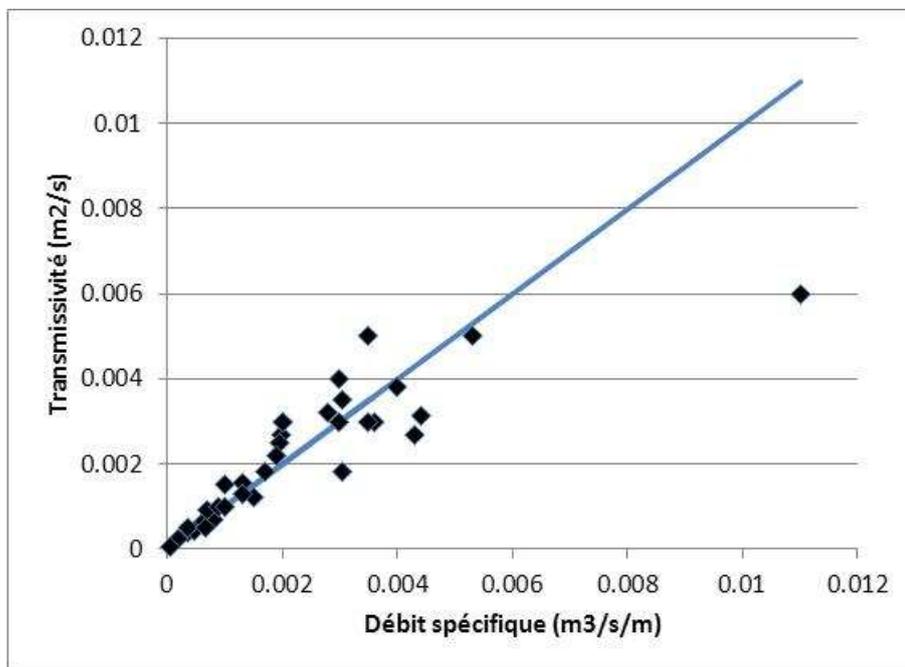


Figure 71 : Relation transmissivité / débit spécifique.

Les tentatives de spatialisation des valeurs s'écartant de cette tendance, notamment par la méthode des polygones de Thiessen, n'ayant pas abouti à des résultats exploitables, il a été décidé de partir des données de transmissivité des modèles hydrodynamiques et, dans un premier temps, de définir des valeurs de débit exploitable (Q_{exp}) par la méthode suivante :

- $Q_s=T$
- $Q_{exp}=Q_s*S_{acc}$

où S_{acc} représente le rabattement acceptable fixé à 10 m pour les nappes captives et au tiers de l'épaisseur mouillée pour les nappes libres, avec un maximum de 5 m.

Ces données ont ensuite été réexaminées aquifère par aquifère en les bornant et en les recalant par rapport aux caractéristiques connues (données de prélèvements, rapports et dires d'experts). Dans certains secteurs, ces données ont été retouchées à la main de manière à se conformer à certaines particularités connues ou de précédents travaux comme l'Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine (Bichot et al., 2001).

Enfin, étant donné les incertitudes pesant sur ce paramètre, les débits exploitables ont été réunis en classes : de 0 à 5 m³/h, de 5 à 10 m³/h, de 10 à 50 m³/h, de 50 à 100 m³/h et supérieur à 100 m³/h.

La cartographie des données de débits exploitables de chaque aquifère est disponible en Annexe 8.

4.2.3. Température de la ressource

a) Sources de données

Les données prises en compte pour la cartographie de ce critère sont les suivantes :

- mesures ponctuelles en forage, issues de la Banque de données du Sous-Sol et de la Banque ADES (Figure 72) ;
- mesures ponctuelles issues de la recherche bibliographique.

Aquifère	Nombre de points de mesure	Nombre de mesures
Pio-Quaternaire	183	1360
Langhien-Serravalien	79	351
Aquitaniens Burdigaliens	166	811
Oligocène	196	2147
Eocène supérieur	10	42
Eocène moyen et Sables Infra-Molassiques	217	1669
Eocène inférieur et Eocène basal	15	108
Paléocène	9	84
Campanien Maastrichtien	71	301
Coniacien Santonien	22	102
Turonien	20	77
Cénomaniens	19	85
Tithonien	8	16
Kimméridgien	7	38
Bathonien Callovien Oxfordien	39	189
Bajociens	17	67

Figure 72 : Nombre de points de mesure de température par aquifère et nombre total de mesures.

Les points de mesure, quoique nombreux, sont mal répartis, non seulement selon les aquifères, mais aussi géographiquement au sein d'un même aquifère. De ce fait, il a semblé peu judicieux d'essayer de spatialiser directement la température à partir de ces données. La méthode retenue pour valoriser au mieux ces mesures a été la suivante :

- Pour chaque aquifère, la valeur moyenne de chaque point de mesure est comparée à la profondeur moyenne de l'aquifère en ce même point de manière à déterminer un gradient géothermique moyen propre à cet aquifère.
- Les points de mesures s'écartant significativement de ce gradient sont ensuite examinés en prenant en compte plusieurs facteurs, sachant que les protocoles de ces mesures sont très rarement connus :
 - ⤴ un point de mesure, présentant une seule mesure dont la valeur semble aberrante, est éliminé ;
 - ⤴ un point de mesure, présentant des valeurs fluctuant en fonction de la période de l'année, et donc de la température externe, est éliminé ;
 - ⤴ pour un point de mesure présentant plusieurs valeurs similaires et une valeur réellement différente, cette dernière est éliminée. Par exemple, si pour trois mesure nous avons 18, 19 et 11 °C, la mesure à 11 est éliminée et la moyenne retenue est donc de 18,5 °C ;
 - ⤴ pour certains points, une recherche dans les documents contenus en BSS a permis de retrouver une valeur de température mesurée en fin d'essai de pompage. Cette valeur est alors préférée aux autres mesures ;
- Le gradient géothermique est alors recalculé pour l'aquifère. Ce gradient est ensuite appliqué à l'ensemble de la grille au pas de 500 m de la couche aquifère.
- Les points de mesure jugés fiables et présentant un écart significatif avec cette valeur sont ensuite modifiés, soit ponctuellement, soit le cas échéant par secteur.

Par exemple, pour l'aquifère du Cénomaniens, on peut constater (Figure 73) qu'après correction des données brutes, trois points (en rouge) de mesure sont toujours situés 6 à 7°C au-dessus du gradient. Ces trois points correspondent aux forages géothermiques situés au sud-ouest de la faille de Bordeaux ; la température de tout ce secteur sera donc relevée de 6,5°C (le même traitement sera appliqué à l'aquifère Turonien situé juste au-dessus et en connexion hydraulique avec le Cénomaniens). De plus, deux points (en bleu) restent nettement en dessous du gradient. Le secteur étant connu pour ses circulations karstiques pouvant amener une eau plus froide, les mailles correspondant à ces deux points seront ramenées à la valeur mesurée et les mailles adjacentes à la moyenne entre la valeur mesurée et celle déterminée par le gradient.

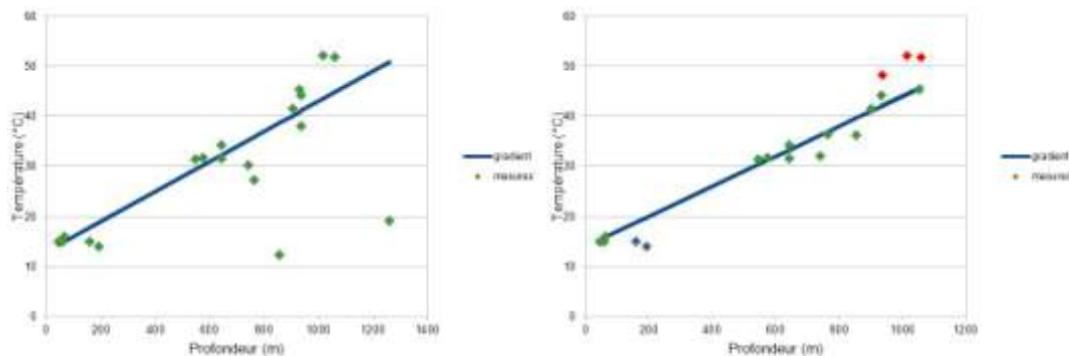


Figure 73 : Points de mesure de température du Cénomanien et gradient géothermique, avant correction (à gauche) et après (à droite).

La cartographie des données de température de chaque aquifère est disponible en Annexe 8.

4.3. EVALUATION DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE : PONDERATION DES DIFFERENTS CRITERES

Après avoir procédé au recueil des données de base, réalisé des cartes spatialisées par critère et par aquifère (à partir des données de base ponctuelles), il a été procédé à une analyse simultanée de ces cartes par le biais d'un calcul automatisé multicritères, mené sous SIG. Ce calcul aboutit à une carte du potentiel géothermique pour chaque aquifère.

La méthode de calcul employée a été fixée nationalement, afin d'homogénéiser les rendus des atlas des différentes régions.

Cette méthode revient à évaluer la potentialité géothermique uniquement sur la base des critères productivité, température et profondeur d'accès.

Le code de calcul multicritères pris en compte est le suivant :

Potentiel géothermique =
2 x (Productivité de l'aquifère) + 1 x (Température) +1 x (Profondeur d'accès)

La classification par critère est présentée Figure 74.

Critère de potentialité géothermique	Très basse énergie		Basse énergie	
	Classification de critères	Indexation des classes	Classification de critères	Indexation des classes
Productivité de l'aquifère	$Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$	1	$Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$	1
	$5 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 10 \text{ m}^3/\text{h}$	2	$50 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 100 \text{ m}^3/\text{h}$	3
	$10 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$	3	$Q > 100 \text{ m}^3/\text{h}$	5
	$50 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 100 \text{ m}^3/\text{h}$	4		
	$Q > 100 \text{ m}^3/\text{h}$	5		
Température de la ressource	$T < 10^\circ\text{C}$	2	$20^\circ\text{C} \leq T < 30^\circ\text{C}$	1
	$10^\circ\text{C} \leq T < 15^\circ\text{C}$	4	$30^\circ\text{C} \leq T < 60^\circ\text{C}$	3
	$T > 15^\circ\text{C}$	3	$T > 60^\circ\text{C}$	5
Profondeur d'accès à la ressource	$0 < \text{Prof} < 5 \text{ m}$	1	Artésianisme	
	$5 \text{ m} < \text{Prof} < 15 \text{ m}$	4	$0 < \text{Prof} < 200 \text{ m}$	5
	$15 \text{ m} < \text{Prof} < 30 \text{ m}$	3	$200 \text{ m} < \text{Prof} < 500 \text{ m}$	4
	$30 \text{ m} < \text{Prof} < 100 \text{ m}$	2	$500 \text{ m} < \text{Prof} < 1000 \text{ m}$	3
	$100 \text{ m} < \text{Prof} < 250 \text{ m}$	1	$\text{Prof} > 1000 \text{ m}$	2
	$\text{Prof} > 250 \text{ m}$	0	Non-artésianisme	
			$0 < \text{Prof} < 200 \text{ m}$	5
			$200 \text{ m} < \text{Prof} < 500 \text{ m}$	5
			$500 \text{ m} < \text{Prof} < 1000 \text{ m}$	4
			$\text{Prof} > 1000 \text{ m}$	3

Figure 74 : Critère de classification des potentialités géothermiques des aquifères.

L'échelle de cartographie du potentiel géothermique est de 500 m (ce qui correspond à une précision au 1/50 000).

Malgré cela et du fait des différentes approximations réalisées (approximations liées au zonage des critères et aux calculs de productivité), l'échelle de restitution des informations aux utilisateurs ne doit pas excéder le 1/100 000 et doit éventuellement se limiter à l'échelle de la commune.

Les cartes du potentiel géothermique pour chaque aquifère figurent en Annexe 9.

4.4. CRITÈRES SUPPLÉMENTAIRES

4.4.1. Qualité chimique des eaux

Un recueil des données de chimie des eaux contenues dans les bases ADES et BSS a été effectué. Cette compilation de plus de 10 000 mesures a servi à déterminer des zones dans lesquelles certains paramètres physico-chimiques des eaux pouvaient nécessiter un dimensionnement spécifique des installations du fait de leur caractère encroutant ou corrosif.

Du fait de la variabilité des paramètres physico-chimiques, ces zones ne peuvent être prises qu'à titre indicatif (exemple de l'Eocène moyen : Figure 75). De plus, pour certains paramètres, trop peu de mesures sont disponibles pour pouvoir établir un tel zonage.

Les paramètres retenus et intégrés dans l'atlas sont les suivants :

- Risques d'encrouement :
 - Fer total > 0,5 mg/l
 - Sulfates > 600 mg/l
 - Bicarbonates (HCO_3^-) > 250 mg/l
- Risques de corrosion :
 - pH < 6
 - Salinité > 1,5 g/l

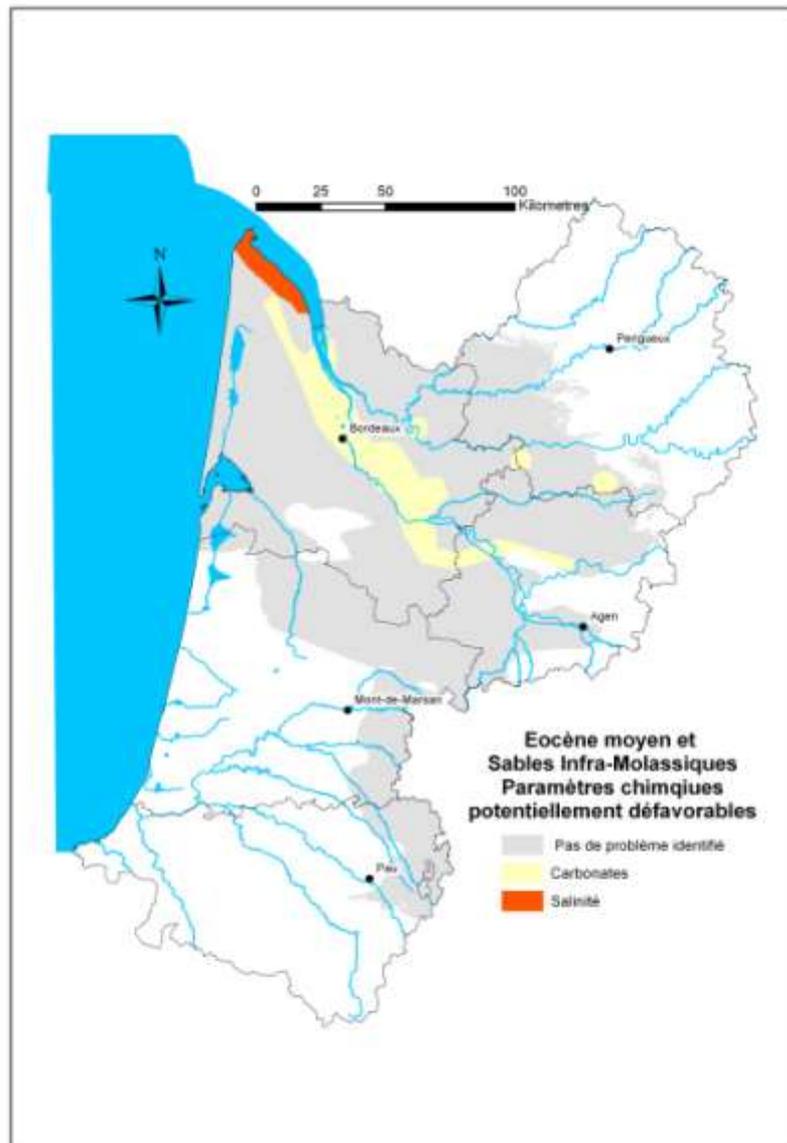


Figure 75 : Zones présentant des caractéristiques chimiques potentiellement défavorables dans l'Eocène moyen.

4.4.2. Proximité d'un ouvrage servant à l'alimentation en eau potable

Dans l'optique de limiter les risques de conflit d'usage, la présence d'un ouvrage captant le même aquifère dans un rayon de deux kilomètres est signalée. Cette proximité n'entraîne pas forcément l'impossibilité d'une exploitation géothermique, mais sera soumise à un examen de la part des autorités compétentes, dans le département concerné.

4.4.3. Localisation des forages pétroliers éventuellement réutilisables

La présence d'un grand nombre de forages pétroliers dans la région, dont certains abandonnés, permet d'envisager, dans plusieurs cas, leur réhabilitation en vue d'une exploitation géothermique, comme pour le forage du Teich, qui est actuellement utilisé pour la pisciculture. Dans ce but, les forages recensés par le BEPH (Bureau exploration-production des hydrocarbures) figurent sur l'outil de consultation en ligne (Figure 76).

Il convient toutefois de noter que certains de ces forages ne sont pas réhabilitables et qu'en tous cas, la réhabilitation a un coût qui, bien qu'inférieur à un forage neuf, n'est pas négligeable.

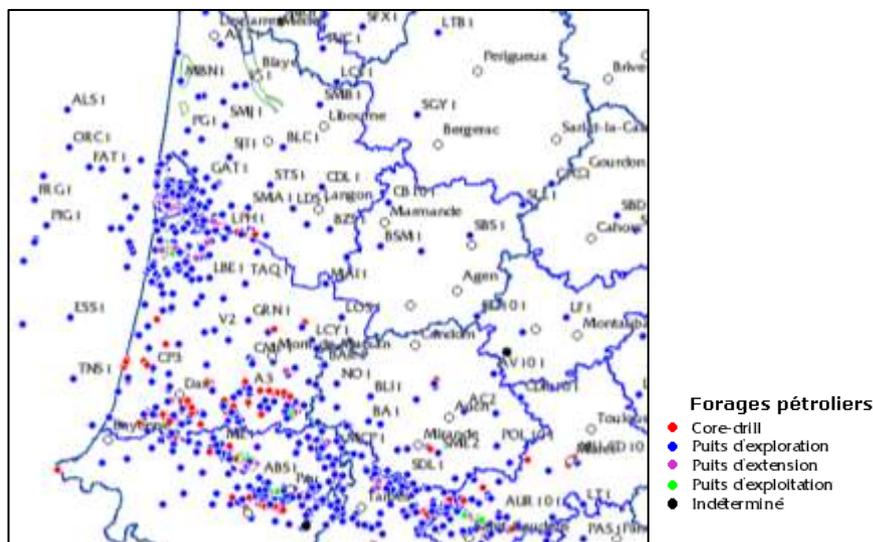


Figure 76 : Localisation des forages pétroliers.

5. Diffusion des résultats - Mise en ligne

5.1. CRÉATION D'UNE GRILLE COUVRANT L'ENSEMBLE DE LA RÉGION AQUITAINE

Un maillage régulier couvrant l'ensemble de la région Aquitaine a été créé afin d'attribuer à chacune des mailles (carrées et de 500 m de côté) un certain nombre d'informations (Identifiant, données géologiques et hydrogéologiques...).

La cartographie des critères de potentialité géothermique s'est faite dans un premier temps **par entité hydrogéologique ou par formation géologique**. Ce sont les unités d'observation dont on connaît les propriétés.

Ensuite, pour faciliter la diffusion des données via le site Géothermie Perspectives <http://www.geothermie-perspectives.fr/>, les résultats ont été attribués **aux mailles de 500 m sur 500 m** d'une grille, couvrant l'ensemble de la région Aquitaine. La taille de la maille permet de refléter l'échelle d'information. Le passage d'une donnée par secteur à une donnée par maille permet aussi de gommer les contours, les lignes frontières, qui ne sont pas des représentations tout à fait conformes à la réalité.

Les opérations décrites dans le chapitre 4 ont permis d'aboutir à la création d'une grille pour chacune des seize couches, reprenant l'ensemble des critères ainsi que les potentiels très basse et basse énergie. Deux couches supplémentaires ont été créées permettant de visualiser le meilleur potentiel connu, très basse et basse énergie, au droit de chaque maille et de savoir à quel aquifère il correspond (Figure 77).

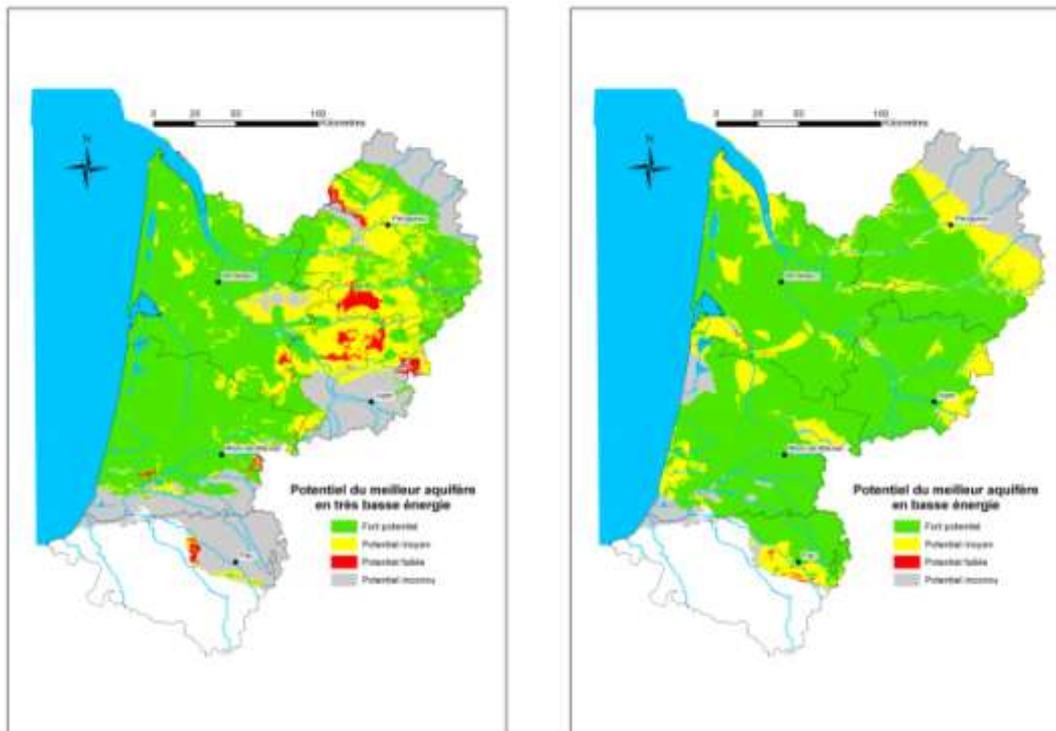


Figure 77 : Potentiel du meilleur aquifère en très basse et basse énergie.

Les cartes du meilleur potentiel géothermique pour chaque maille figurent en Annexe 10.

La superficie de chaque couche, ainsi que les pourcentages de surface correspondant à des potentiels fort, moyen, faible ou inconnu, est visible Figure 78. On peut y voir que plus de la moitié de la surface couverte par l'atlas (soit 37 569 km²) correspond à un potentiel très basse énergie fort ; le pourcentage passe à plus des deux tiers pour le potentiel basse énergie.

	Taille (km ²)	Potentiel très basse énergie (%)				Potentiel basse énergie (%)			
		fort	moyen	faible	n.c.	fort	moyen	faible	n.c.
Atlas Aquitaine	37569	56	20	2	22	71	19	0	10
Pio-Quaternaire	17643	39	14	7	41				
Langhien- Serravalien	8652	46	40	9	5				
Aquitaniens Burdigaliens	11820	45	45	3	7				
Oligocène	12497	32	37	6	25	13	14	1	72
Eocène supérieur	7290	2	17	43	38	0	31	6	63
Eocène moyen et Sables Infra- Molassiques	20695	23	19	10	48	13	34	1	52
Eocène inférieur et Eocène basal	23619	8	13	8	72	12	42	5	41
Paléocène	8313	2	1	1	97	42	42	2	14
Campanien Maastrichtien	18440	5	15	7	74	17	58	2	24
Coniacien Santonien	27993	4	12	4	80	22	45	12	21
Turonien	21287	4	13	0	83	20	58	6	16
Cénomaniens	17115	1	6	0	93	62	30	0	8
Tithonien	12052	2	3	0	96	0	39	1	60
Kimméridgien	10624	0	3	9	88	4	83	6	8
Bathonien Callovien Oxfordien	22740	3	3	0	93	36	58	0	6
Bajociens	14775	3	3	0	94	36	57	0	7

Figure 78 : Pourcentage de surface pour chaque potentiel, par couche.

Les trois premiers aquifères ne présentent pas de potentiel basse énergie : ceci est dû à une température inférieure à 20°C sur l'ensemble de ces aquifères.

D'une façon générale, les surfaces où le potentiel est inconnu correspondent surtout :

- à une température inférieure à 20°C pour la basse énergie ;
- à une profondeur d'accès supérieure à 250 m pour la très basse énergie.

La Figure 79 illustre ces effets et montre la transition entre un potentiel très basse énergie et un potentiel basse énergie. La surface où les deux potentiels coexistent est assez restreinte.

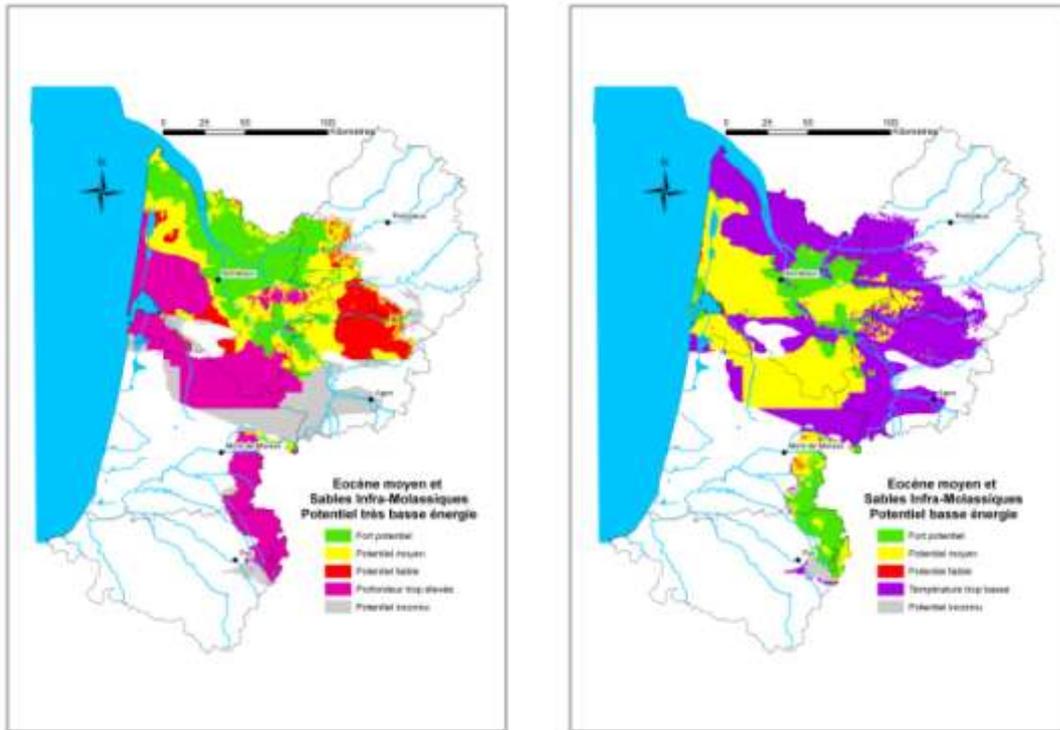


Figure 79 : Exemple des effets de profondeur trop élevée (TBE) et de température trop faible (BE).

L'exemple du potentiel basse énergie du Bathonien-Callovien-Oxfordien (Figure 80) permet d'illustrer les effets du traitement multicritères. La progression vers des zones plus chaudes (favorable au potentiel) s'accompagne de l'augmentation de la profondeur d'accès (défavorable au potentiel) et crée une succession de zones de potentiel moyen et de zones de fort potentiel.

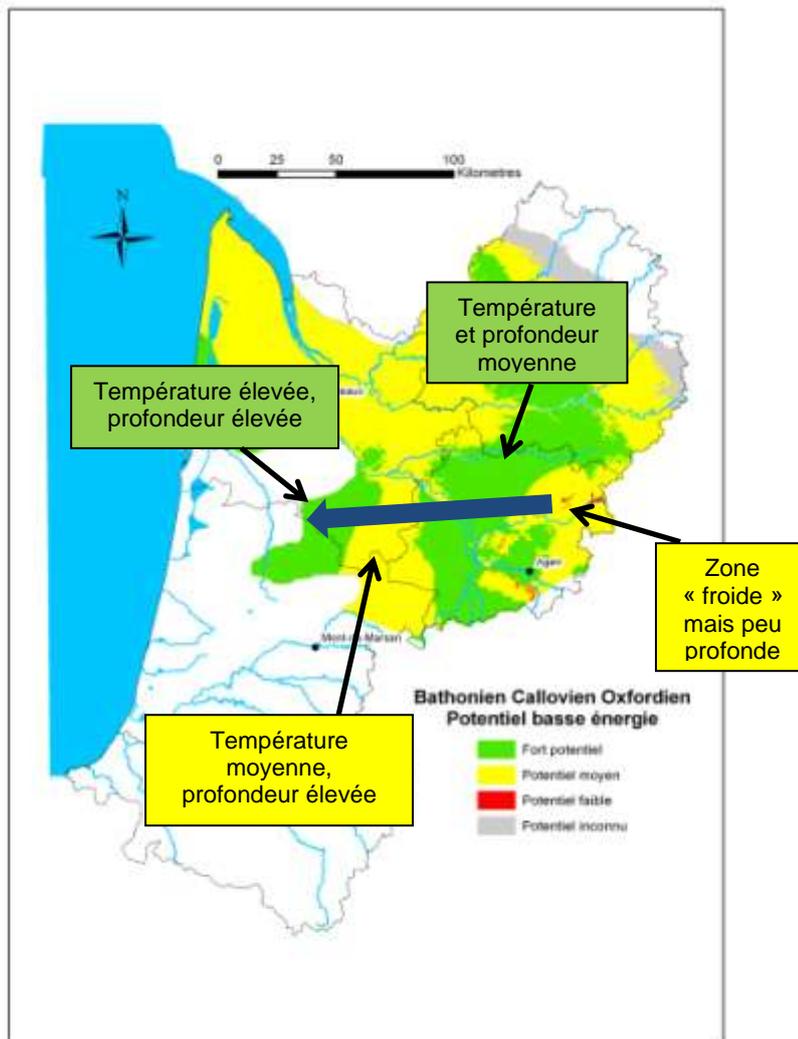


Figure 80 : Exemple d'effet du traitement multicritères.

Un autre effet notable provient de la prise en compte du caractère artésien ou non des aquifères. Par exemple, pour le Cénomaniens (Figure 81) l'altitude du sol, plus basse le long des fleuves et rivières, peut entraîner un artésianisme dans ces zones donc dégrader le potentiel géothermique.

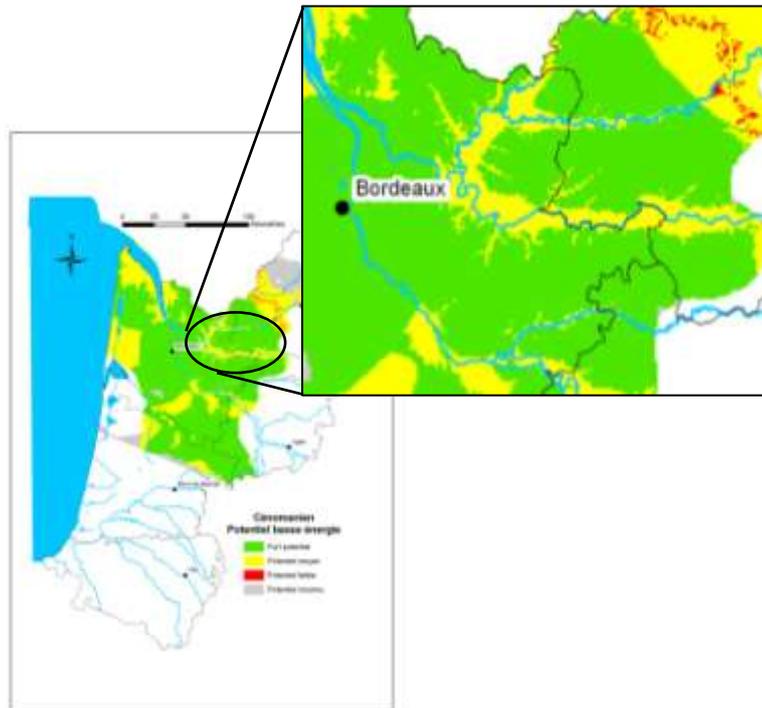


Figure 81 : Exemple de l'effet de la topographie sur le caractère artésien d'un aquifère, causant une baisse du potentiel basse énergie.

5.2. MISE EN LIGNE DES DONNÉES SUR LE SITE GÉOTHERMIE PERSPECTIVES

L'atlas réalisé est mis en ligne sur le site Géothermie Perspectives <http://www.geothermie-perspectives.fr/>

5.2.1. Données générales du site

Outre les atlas réalisés à l'échelle régionale, un certain nombre de documents sont mis à disposition des utilisateurs sur le site Géothermie Perspectives :

- Synthèse des mécanismes d'aides mobilisables ;
- Synthèse sur la réglementation en vigueur ;
- Présentation des acteurs locaux de la géothermie (administrations, foreurs, bureaux d'études,...) ;
- Exemples de réalisations ;
- Documents divers.

La Figure 82 ci-après présente des exemples d'informations fournies sur la page d'accueil du site Géothermie Perspectives.

The screenshot shows the homepage of the 'Géothermie Perspectives' website. At the top, there is a header with the site's logo and tagline 'Toute l'information sur l'énergie de la Terre'. Below this, a navigation bar offers links for 'Je chauffe ma maison', 'Chauffer des bâtiments', 'Les réseaux de chaleur', and 'Autres Utilisateurs'. The left sidebar contains a menu with categories such as 'La géothermie', 'La géothermie en France', 'Recherche-Développement', 'Actualités/Presse', 'Méthodologie', 'FAQ/Glossaire', 'Liens', 'La géothermie en région', and 'Espace professionnel'. The main content area is organized into several sections: 'Une information proche de chez vous' featuring a map of France and links to project potential and qualification searches; 'Formations 2011' listing events like 'Journée de sensibilisation en région Bourgogne' and 'Introduction à la géothermie'; 'Ouvrages' highlighting publications like 'La géothermie et les réseaux de chaleur' and 'Pompe à chaleur géothermique sur applique'; and 'Partenariat' for 'Les Journées de la Géothermie 14-15 déc. 2011'. A right sidebar includes 'A la Une' with a newsletter link and an 'Agenda' section. The footer contains logos for ADEME and BRGM, along with the text 'Qui sommes-nous ?' and 'Informations légales'.

Figure 82 : Page d'accueil du site geothermie-perspectives.

5.2.2. Outil de consultation à l'échelle de l'Aquitaine

L'outil de consultation constitué à l'échelle de l'Aquitaine permet d'obtenir des informations utiles à l'analyse de la faisabilité d'un projet de géothermie très basse énergie et basse énergie, notamment :

- Potentiel géothermique très basse et basse énergie des aquifères ;
- Données d'exploitabilité des aquifères en présence (profondeur d'accès à la ressource en eau souterraine, débit exploitable, température...) ;
- Localisation des forages pétroliers ;
- Données concernant la nature simplifiée des formations géologiques.

Les informations fournies revêtent un caractère indicatif, qui doit permettre d'orienter un projet de pompe à chaleur, mais la détermination exacte des caractéristiques de la ressource nécessite une étude spécifique. En effet, les cartes, fournies à l'échelle du 1/50 000, sont construites à partir de la régionalisation de paramètres caractéristiques et leur degré de précision est acceptable à l'échelle régionale, mais pas à l'échelle d'un projet qui nécessite une analyse fine des potentialités locales des aquifères.

Les informations sont accessibles via une recherche cartographique ou à partir du nom de la commune.

a) Accès aux données par une recherche cartographique

La recherche cartographique est accessible depuis la fenêtre d'accueil de l'espace régional Aquitaine (Figure 83).



Figure 83 : Fenêtre d'accueil de l'espace régional Aquitaine.

La Figure 84 ci-après montre la fenêtre d'interrogation de l'outil via la carte régionale.

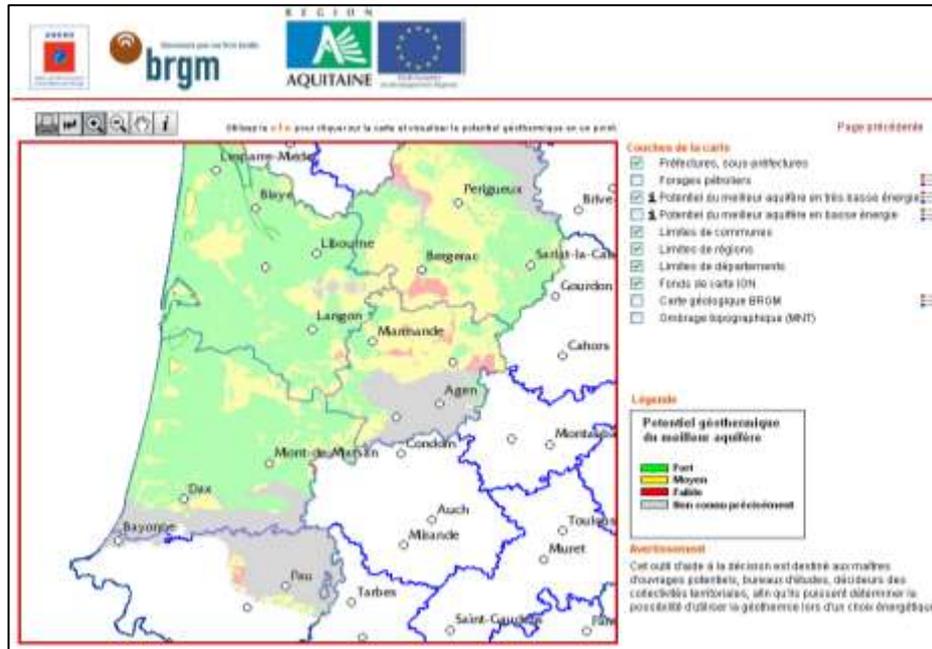


Figure 84 : Fenêtre d'interrogation de l'outil via la carte régionale.

b) Accès aux données via une recherche par commune

Depuis la page d'accueil du site régional Aquitaine, il est possible d'accéder aux données à l'aide d'une recherche par commune.



Figure 85 : Fenêtre de recherche par commune.

Après sélection de la commune, une fenêtre cartographique s'affiche à l'échelle communale, selon Figure 86 ci-après. Elle affiche le potentiel du meilleur aquifère, soit en très basse énergie, soit en basse énergie.

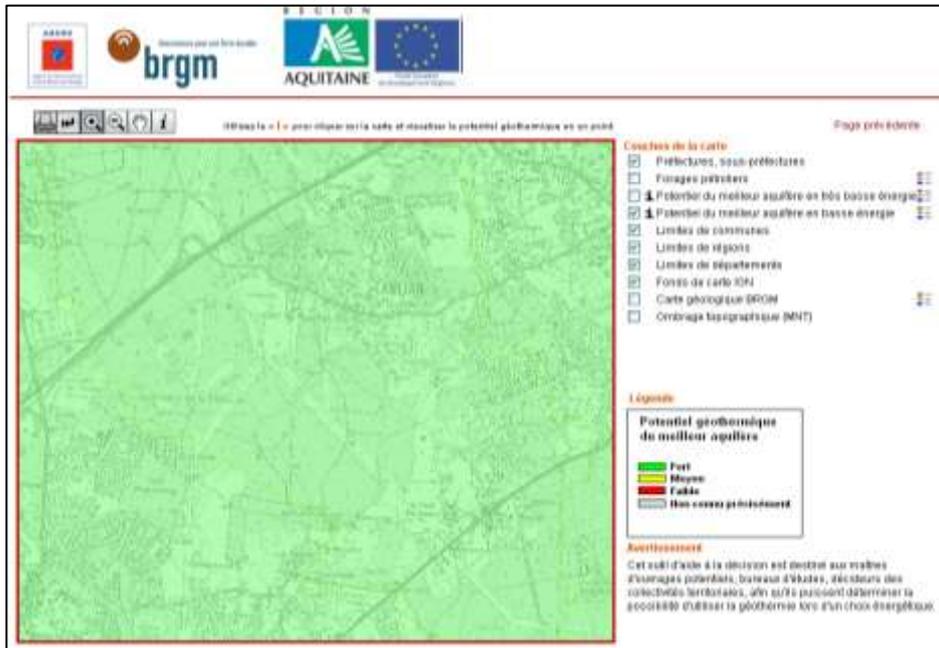


Figure 86 : Fenêtre cartographique à l'échelle communale.

Une fois la fenêtre cartographique affichée, l'utilisateur peut cliquer sur une maille de son choix sur la carte, à l'aide du « i » de la barre d'outils située au-dessus de la carte. Chaque maille contient les informations soit d'un aquifère soit de plusieurs aquifères.

c) Fiche de renseignements au droit d'une maille contenant un ou plusieurs aquifères

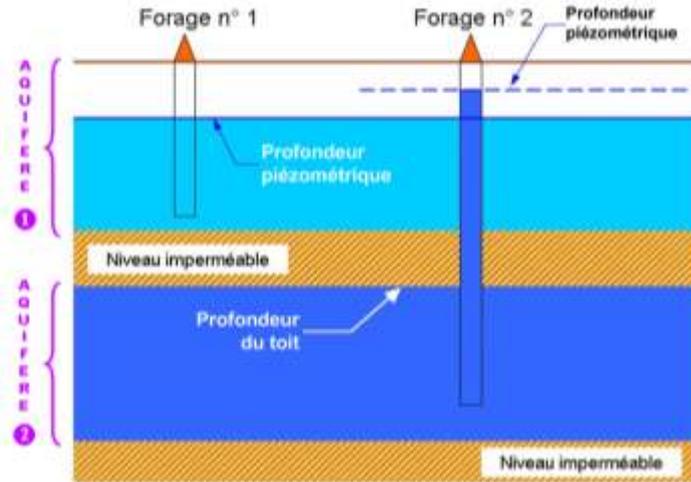
Un exemple de fiche de renseignements pour une maille située au droit de plusieurs aquifères est proposée Figure 87.



Potentiel Géothermique sur la commune de de : SAINT-SELVE (33474)

Description au point sélectionné

X / Y (Lambert 2 France) : 375 097 m / 1 966 454 m
 X / Y (Lambert 93) : 422 680 m / 4 402 966 m
 Z (NGF) : 18 m



Aquifère	Profondeur toit (m)	Profondeur mer (m)	Profondeur piézo (m)	Profondeur d'accès (m)	Température °C	Débit exploitable	Classe	Ouvrage AEP (*)	Type d'aquifère	Potentiel TEB	Potentiel DE
Oligocène	1	26	0	0	14	Supérieure à 100	Carbonates	Non	Non artésien	Fort potentiel	Potentiel incertain
Eocène-supérieur	88	95	15	88	16	0 à 5		Non	Non artésien	Potentiel faible	Potentiel incertain
Eocène-moyen-SM	135	170	22	135	18	Supérieure à 100		Non	Non artésien	Fort potentiel	Potentiel incertain
Eocène-inférieur	182	215	22	182	18	10 à 50		Non	Non artésien	Potentiel moyen	Potentiel incertain
Campans-Maestrachien	256	330	1	256	22	50 à 100		Non	Non artésien	Potentiel incertain	Potentiel moyen
Comacina-Saatchien	491	580	-11	491	20	0 à 5		Non	Artésien	Potentiel incertain	Potentiel faible
Turonien	554	540	-13	554	20	10 à 50		Non	Artésien	Potentiel incertain	Potentiel faible
Côcoanien	599	732	-13	599	33	50 à 100		Non	Artésien	Potentiel incertain	Potentiel moyen
Blésois	1112	1325	-14	1112	40	0 à 10		Non	Artésien	Potentiel incertain	Potentiel faible

(*) Potentiel d'un captage exploitable à l'échelle pour l'alimentation en eau potable dans un rayon de 20m.

Figure 87 : Fiche de renseignements fournie pour une maille contenant un potentiel aquifère.

6. Limites d'utilisation des données, avertissements

Cet atlas ayant été constitué à l'échelle régionale, la précision et la qualité des données sont liées aux informations disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol (informations non exhaustives).

L'échelle de cartographie du potentiel géothermique est de 500 m (ce qui correspond à une précision au 1/50 000).

Toutefois, plusieurs facteurs liés au traitement et à la nature des données engendrent des approximations, en particulier :

- la réalisation des cartes de productivité par aquifère, à partir d'un calcul basé sur des hypothèses simplificatrices et d'après les données disponibles peu nombreuses ;
- la spatialisation des différents critères entrant dans le calcul du potentiel géothermique (peu de données disponibles et présentant pour certains critères une grande variabilité) ;
- le passage d'une donnée par secteur à une donnée par maille (pour constituer la grille) ;
- l'intégration des données du potentiel des aquifères et du potentiel des formations traversées au sein d'une grille unique.

Du fait de ces différentes approximations, l'échelle de restitution des informations aux utilisateurs ne doit pas excéder le 1/100 000 et doit éventuellement se limiter à l'échelle de la commune.

L'atlas constitue ainsi une première approche à destination des maîtres d'ouvrages potentiels, bureaux d'études, décideurs des collectivités territoriales, afin qu'ils puissent déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie lors d'un choix énergétique. Les informations transmises ne peuvent ni ne doivent remplacer l'étude de faisabilité réalisée par des bureaux d'étude compétents à l'échelle parcellaire.

La profondeur d'accès à la ressource des nappes alluviales d'Aquitaine sur le secteur des Landes de Gascogne (aquifère Plio-Quaternaire) est pour la grande majorité inférieure à 5 m (selon les données disponibles analysées). Dans le cas d'une PAC sur nappe, la faible profondeur du niveau de la nappe peut provoquer un risque de remontée d'eau jusqu'en surface (surcôte piézométrique), lors de l'injection de l'eau de la nappe dans le forage. Il conviendra aux maîtres d'ouvrages de s'assurer de l'absence de tel risque lors d'un projet de réalisation de PAC sur nappe, par le biais d'une étude de faisabilité adaptée.

Par ailleurs, l'existence de zones de restriction d'exploitation ou de travaux (périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable, par exemple) devra être prise en compte au stade de l'étude de faisabilité du projet.

Le pétitionnaire devra également s'assurer de la compatibilité de son projet avec la réglementation en vigueur (Code Minier, LEMA, SDAGE...).

7. Conclusions

L'évaluation du potentiel géothermique très basse énergie et basse énergie en région Aquitaine a été réalisée sur la base de données existantes, notamment celles issues des modèles hydrodynamiques et géologiques, de la Banque du Sous-Sol, de la banque d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines et du référentiel hydrogéologique BD-LISA. Suite à un important travail d'identification, de collecte et de traitement des données disponibles, celles-ci ont été intégrées à un SIG pour permettre leur visualisation et leur traitement.

L'atlas permet d'afficher en tout point du territoire de la région Aquitaine (lorsque les données disponibles le permettent) le potentiel géothermique des aquifères en vue d'une utilisation très basse énergie ou basse énergie. Il est accessible sur le site géothermie perspectives <http://www.geothermie-perspectives.fr/>, dans l'onglet « la géothermie en région ».

Des informations complémentaires d'ordre hydrogéologique (aquifère concerné, gamme de débit exploitable, profondeur de l'aquifère, température), hydro-chimique (lorsqu'elles peuvent perturber l'exploitation) ou réglementaire (présence d'un forage d'alimentation en eau potable captant le même aquifère à proximité), sont également fournies pour chaque maille d'interrogation (de taille 500 m x 500 m).

La recherche peut se faire par le choix de la commune désirée, ou via un accès cartographique.

L'atlas constitue ainsi une aide à la décision pour déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie lors d'un choix énergétique. Cependant, l'échelle de réalisation étant régionale, il ne peut et ne doit se substituer à une étude de faisabilité réalisée à l'échelle de la parcelle par des bureaux d'études compétents.

A l'échelle de l'Aquitaine, 50% de la surface de la région présente un fort potentiel très basse énergie et 68% un fort potentiel basse énergie.

En sus de l'atlas du potentiel géothermique très basse énergie et basse énergie de la région et de la méthodologie mise en œuvre pour l'élaborer, sont fournis, dans ce rapport, des éléments concernant les différentes techniques d'exploitation géothermique, les principaux mécanismes d'accompagnement et procédures incitatives pour le développement de la géothermie, ainsi qu'un volet lié à la réglementation.

8. Bibliographie

ADEME, ARENE IDF, BRGM (2008) – Guide technique pompe à chaleur géothermique sur aquifère, Conception et mise en œuvre, 72 p.

Allard A. (1981) – La nappe du Miocène des Landes de Gascogne. 66 p.

Bichot F., Alexandre A., Baraton A., (2001) Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Année 5. Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines. Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine. Rapport BRGM/RP-51175-FR.

Bourgine B., Capdeville J.P., Lachassagne P., Schoen R., Seguin J.J., Sourisseau B. (1999). Outil de gestion des systèmes aquifères du Sud du bassin Adour-Garonne. Base de données géoréférencées et modèle conceptuel. Rapport BRGM R 40633. 103 p.

BRGM, SNPA, ESSO-REP, ELF-Re (1974) - Géologie du Bassin d'Aquitaine - Atlas de 27 planches.

BRGM (1981) – Utilisation d'eaux souterraines pour les pompes à chaleur, 14 p., 2 cartes.

Capdeville J.P. (1987) - Synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluvio-lacustres tertiaires du Nord du bassin aquitain entre Lot et Dordogne - Thèse Doctorat d'Etat ès Sciences, Bordeaux III, 295 p - Document du BRGM n° 175 (1989).

Cubaynes R., Faure P., Hantzpergue P., Pélissié T. et Rey J. (1989). Le Jurassique du Quercy : unités lithostratigraphiques, stratigraphie et organisation séquentielle, évolution sédimentaire. Géologie de la France, n° 3, p. 33-62.

David A. (2010). Synthèse et valorisation des connaissances sur les aquifères profonds du Tertiaire et du Crétacé du Sud du bassin Adour-Garonne. BRGM RP-57867-FR, 82 p, 29 fig., 15 tab., 10 annexes.

Dubreuilh J. (1987) - Synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluvio-lacustres tertiaires du nord du Bassin d'Aquitaine. Passages aux formations palustres, lacustres et marines. Thèse Doctorat d'Etat ès-Sciences, Bordeaux III, 461 p., 79 fig., 9 tab, Documents du BRGM n° 172 (1989).

Gourmez P., avec la collaboration de Monnot P. (2006) - Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France. Partie 2 : Guide technique, administratif et méthodologique. Rapport final. BRGM/RP-53306-FR, 149 p., 14 fig., 7 ann.

Housse B., Maget Ph. (1977) – Potentiel géothermique du bassin aquitain. Rapport BRGM – SNEA-P (contrat DGRST- 76.7-1332), 167 p., 38 planches., 4 annexes

Karnay G., Corbier P. avec la collaboration de R. Blanchin, T. Jaouen, M. Porquet et M. Peter (2008) - Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE - Module 7 - Année 1 - BRGM/RP-56475-FR, 73 pages, 25 figures, 6 tableaux.

Pedron.N., Lopez.B. (2006). Actualisation du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes. Période 2001 – 2003 - BRGM/RP-54220-FR - Rapport final

Pedron.N., Platel.J.P., Lopez.B. (2005). Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine. Développements et maintenance du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes. Module 4. Année 2 - BRGM/RP-53659-FR - Rapport final

Pedron.N., Platel.J.P., Bourguine.B., (2006). Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine. Développements et maintenance du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes. Module 4 - Année 3 - BRGM/RP-55242-FR - Rapport final.

Pédron N., Platel J.P., Bourguine B. et Loiseau J.B. (2008) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine – Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 – Année 4. *Rapport BRGM/RP-56614-FR*, 99 pages, 49 figures, 6 annexes.

Platel J.P. (1987) – Le Crétacé supérieur de la plate-forme septentrionale du bassin d'Aquitaine. Stratigraphie et évolution géodynamique. Thèse Doctorat d'Etat es-Sciences, Bordeaux III, 573 p. avec atlas. Documents du BRGM, n° 164 (1989).

Platel J.P., Abou Akar A., Durst P. (2008) – Etude sur les possibilités de valorisation et de réinjection des eaux de rejet des forages géothermiques de Mériadeck et de La Benauges, commune de Bordeaux (Gironde) – Rapport BRGM/RP-56120-FR, 106 p., 37 fig., 4 tab. et 5 annexes

Platel J.P., Schnebelen N., Le Nindre Y.M., Sourisseau B. (2000) - Gestion des eaux souterraines en Aquitaine - Année 4 – Etude sectorielle - Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise. Synthèse des connaissances géologiques. Etat des connaissances hydrogéologiques. Rapport BRGM/RP-50468-FR, 70 p., 36 figures, 5 cartes annexes

Saltel M., Pédron N., Platel J.P., Corbier P., Bourguine B., collab. Loiseau J.B. (2010) - Atlas des zones à risques du SAGE Nappes Profondes de Gironde – Phase 2 – Etude sectorielle – Problématique du dénoyage de l'Oligocène au sud de l'agglomération bordelaise. Rapport BRGM/RP-58156-FR, 123 p., 64 figures, 7 annexes.

Schoen R., Seguin J.J., Sourisseau B. (2000) Outil de gestion des aquifères du Sud du Bassin Adour-Garonne – Année 3. Calage du modèle hydrodynamique en régime permanent. Rapport BRGM/RP-52041-FR.

Seguin J.J. (2003) Outil de gestion des aquifères du Sud du Bassin Adour-Garonne – Année 4. Calage du modèle hydrodynamique en régime transitoire. Rapport BRGM/RP-50241-FR. 37 p, 39 figures, 17 tableaux, 3 annexes.

Serrano O. (2001) - Le Crétacé supérieur – Paléogène du bassin compressif nord-pyrénéen (bassin de l'Adour). Sédimentologie, stratigraphie, géodynamique. Thèse d'Université, Univ. Rennes 1, 159 p.

Serrano O., Delmas J., Hanot F., Vially R., Herbin JP., Huel P., Tourlière B. (2006) - Le Bassin d'Aquitaine : valorisation des données sismiques, cartographie structurale et potentiel pétrolier. *Ed. BRGM*, 245 p., 142 figures, 17 tableaux, 17 annexes.

SMEGREG (2004). Inventaire descriptif des installations géothermiques et valorisation de l'eau géothermale en Gironde. Note de synthèse N° 4310008. 13 p.

Varet J. (1982) – Géothermie basse énergie : usage direct de la chaleur. Masson.

Annexe 1

Procédure AQUAPAC



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



Géosciences pour une Terre durable

brgm



**GARANTIE SUR LA RESSOURCE
EN EAU SOUTERRAINE
A FAIBLE PROFONDEUR
UTILISEE
A DES FINS ENERGETIQUES**

Les nappes d'eau souterraines de faible profondeur
recèlent un potentiel énergétique utilisable grâce aux pompes à chaleur.

Cependant, il peut exister une incertitude sur les conditions d'utilisation de la ressource
naturelle qui dépend des caractéristiques géologiques locales.

La garantie **AQUAPAC**[®], créée par l'**ADEME**, le **BRGM**, et **EDF** prend en charge la
couverture financière de ce risque géologique,

Gestion administrative et financière du système de garantie :

SAF-ENVIRONNEMENT
195, Boulevard Saint Germain
75007 PARIS
Tél : 01 58 50 76 76
Fax : 01 58 50 06 80

Herve.raimbault@caissedesdepots.fr

AQUAPAC est une assurance qui couvre les risques **géologiques** liés à la possibilité d'exploitation énergétique d'une ressource aquifère située en général à **moins de 100 m de profondeur**, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique en faveur des installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique **supérieure à 30 KW**. C'est donc une double garantie, dont les deux aspects sont indissociables :

- **La garantie de recherche** couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour le fonctionnement des installations tel qu'il avait été prévu,

- **La garantie de pérennité** couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation.

AQUAPAC assure pendant 10 ans les investissements réalisés pour le captage et le transfert de la ressource jusqu'à l'échangeur eau-eau et sa réinjection.

La garantie ne concerne pas les éventuels incidents de chantier, ni les conséquences des défauts de conception, de réalisation ou de maintenance.

Le Maître d'Ouvrage conserve l'entière responsabilité du respect de la réglementation, du choix des bureaux d'études ou entreprises, et de la réalisation de l'opération.

En aucun cas, **AQUAPAC** n'a pour objet de se substituer aux polices d'assurances dommage-ouvrage ou de responsabilité décennale au titre desquelles les opérateurs doivent normalement être couverts.

BENEFICIAIRES DE LA GARANTIE AQUAPAC

Les Maîtres d'ouvrages ou leurs mandataires (bureaux d'études, entreprises, prestataires de services, exploitants) désireux de se prémunir vis-à-vis des aléas géologiques liés à l'utilisation énergétique de l'eau souterraine à des fins de **chauffage** et/ou de **climatisation** peuvent souscrire la garantie **AQUAPAC**.

Cette garantie s'applique à tous les secteurs économiques: habitat, tertiaire, industriel ou agricole, qu'il s'agisse de bâtiments neufs ou existants, et quelle que soit la puissance de l'installation thermique.

ATTRIBUTION DE LA GARANTIE

Un Comité composé des représentants de l'ADEME, du BRGM, et d'EDF, assisté de la SAF-Environnement, décide de l'attribution, ou non, de la garantie, après examen d'un dossier que le requérant aura déposé auprès de la Saf-Environnement .

Ce dossier, dont un modèle peut être demandé auprès de la Saf-Environnement doit comprendre :

- **L'identification** de l'opération concernée, sa localisation et ses différents acteurs,

- **Une fiche descriptive** des besoins thermiques, et du mode d'évaluation des besoins en eau,

- **Une étude de faisabilité du projet** comportant une évaluation des contraintes réglementaires et environnementales, les caractéristiques de la ressource, le mode de captage et de réinjection, les essais et mesures hydrogéologiques prévus, la description de l'installation et des ouvrages de sous-sol et de surface,

- **les éléments économiques** comprenant les coûts prévisionnels d'investissement et de fonctionnement : études préalables, forages, tests et analyses, équipements des puits, échangeur, PAC,

- **Le montant des investissements** pour lesquels la garantie est demandée, qui devra être clairement établi.

Si l'avis du Comité **AQUAPAC** est favorable, un contrat est alors signé entre la SAF et le Maître d'Ouvrage qui verse **en une seule fois, et au moment de la souscription de chaque garantie**, les cotisations et commissions forfaitaires suivantes :

- *Pour la garantie de recherche :*

- une cotisation égale à **5%** du montant des ouvrages garantis en recherche,

- *Pour la garantie de pérennité :*

- une cotisation égale à **4%** du montant des ouvrages garantis en pérennité,

FONCTIONNEMENT DE LA GARANTIE

Garantie de recherche

Risques couverts

Le risque couvert est celui de l'échec quant à la découverte du débit d'eau maximal de production fixé dans le contrat de garantie comme suffisant au fonctionnement correct des installations, à partir des éléments techniques fournis.

Le risque couvert est aussi celui de l'échec quant à la possibilité de réinjection du débit.

Montant garanti en recherche

Le montant garanti en recherche, fixé dans le contrat, est égal au coût réel des études préalables, forages, tests et analyses, équipements des puits, désignés dans la demande de recherche, (plafonné au montant prévisionnel), déduction faite des subventions reçues.

Lorsque plusieurs forages sont prévus, le contrat est établi pour le premier, et étendu par avenant au suivant après chaque constat de succès.

Fonctionnement de la garantie

La garantie prend effet dès la signature du contrat et le versement des primes de la garantie de recherche.

Le Maître d'Ouvrage peut alors faire réaliser les travaux de forage.

Il doit informer la Saf-Environnement de la date des essais et de la date de réception des ouvrages.

La capacité des ouvrages est mesurée à la fin des travaux, et le rapport de fin de forage avec les résultats des essais hydrogéologiques doit être envoyé à la Saf-Environnement

Évaluation du résultat du forage

Suivant la valeur du débit mesuré au cours des essais, il y aura succès, échec partiel ou échec total :

- *Succès* : le débit trouvé est supérieur ou égal au débit contractuel ;
- *Echec total* : le débit trouvé est inférieur à la moitié du débit contractuel ;
- *Echec partiel* : le débit trouvé est compris entre ces deux valeurs.

En cas de succès le demandeur reçoit alors l'appel de cotisation pour la garantie de pérennité, qui est accordée pour dix ans à partir de la date de réception du paiement de la cotisation correspondante.

Calcul de l'indemnité « recherche »

En cas d'échec total, le Comité AQUAPAC déclenche le versement de l'indemnité, égale au montant garanti.

En cas d'échec partiel, le Maître d'ouvrage peut néanmoins exploiter la ressource en son état et bénéficier alors de la garantie de pérennité :

- la nouvelle valeur du débit exploitable est définie par un avenant au contrat de garantie ;
- le montant de l'indemnité est alors proportionnel au déficit en eau sur le débit garanti initial

Garantie de pérennité

Risques couverts :

Sous réserve d'un entretien correct des ouvrages et des équipements d'exploitation, attesté par un carnet de maintenance ou des factures de prestations de services, la garantie de pérennité couvre les risques suivants :

- a) *diminution des débits d'exhaure ou de réinjection* au-dessous de la valeur garantie :

- *sinistre partiel* : le débit diminue et atteint une valeur comprise entre la valeur garantie et la moitié de cette valeur.

- *sinistre total* : le débit atteint une valeur inférieure à la moitié du débit de garantie

b) *dommages* aux matériels de puisage et de réinjection et/ou aux équipements du circuit primaire, y compris l'échangeur, occasionnés par des changements survenus dans les caractéristiques de la ressource dus à des causes naturelles ou de voisinage.

Durée de la Garantie

La garantie est accordée pour une période de **10 ans** à partir de la date effective de mise en service.

Elle peut être différée en cas de forage d'essai. Si ce délai dépasse 6 mois, un nouvel essai de pompage devra être effectué.

Montant garanti en pérennité

Le montant garanti, fixé par contrat, est égal au coût de l'ensemble des ouvrages primaires neufs : forages, pompes, matériels de surface, y compris l'échangeur eau-eau. Ces coûts s'entendent toutes subventions déduites.

Pour tenir compte de l'amortissement de l'installation, ce montant garanti diminue de 5 % par semestre écoulé.

En cas d'échec total, le coût prévisionnel des travaux nécessaires à la restauration fonctionnelle de l'installation, peut être également garanti.

Calcul de l'indemnité « pérennité »

L'assiette **A** de l'indemnisation est calculée ainsi :

- a) *Diminution des débits d'exhaure ou de réinjection* :
- en cas de sinistre partiel, **A** = la fraction du montant garanti proportionnelle au déficit en eau,
 - en cas de sinistre total, **A** = montant garanti

b) *Dommages* :

- en cas de poursuite de l'exploitation, **A** = coût réel des travaux de remise en état, plafonné au montant garanti,
- en cas d'abandon de l'exploitation, **A** = montant garanti.

Fonctionnement de la garantie

En cas de constat de modification des caractéristiques de la ressource de nature à perturber l'exploitation, le maître d'ouvrage ou l'exploitant adresse une déclaration de sinistre à la Saf-Environnement.

Des essais hydrogéologiques peuvent alors être réalisés par le maître d'ouvrage, en accord avec le Comité qui pourra mandater un expert.

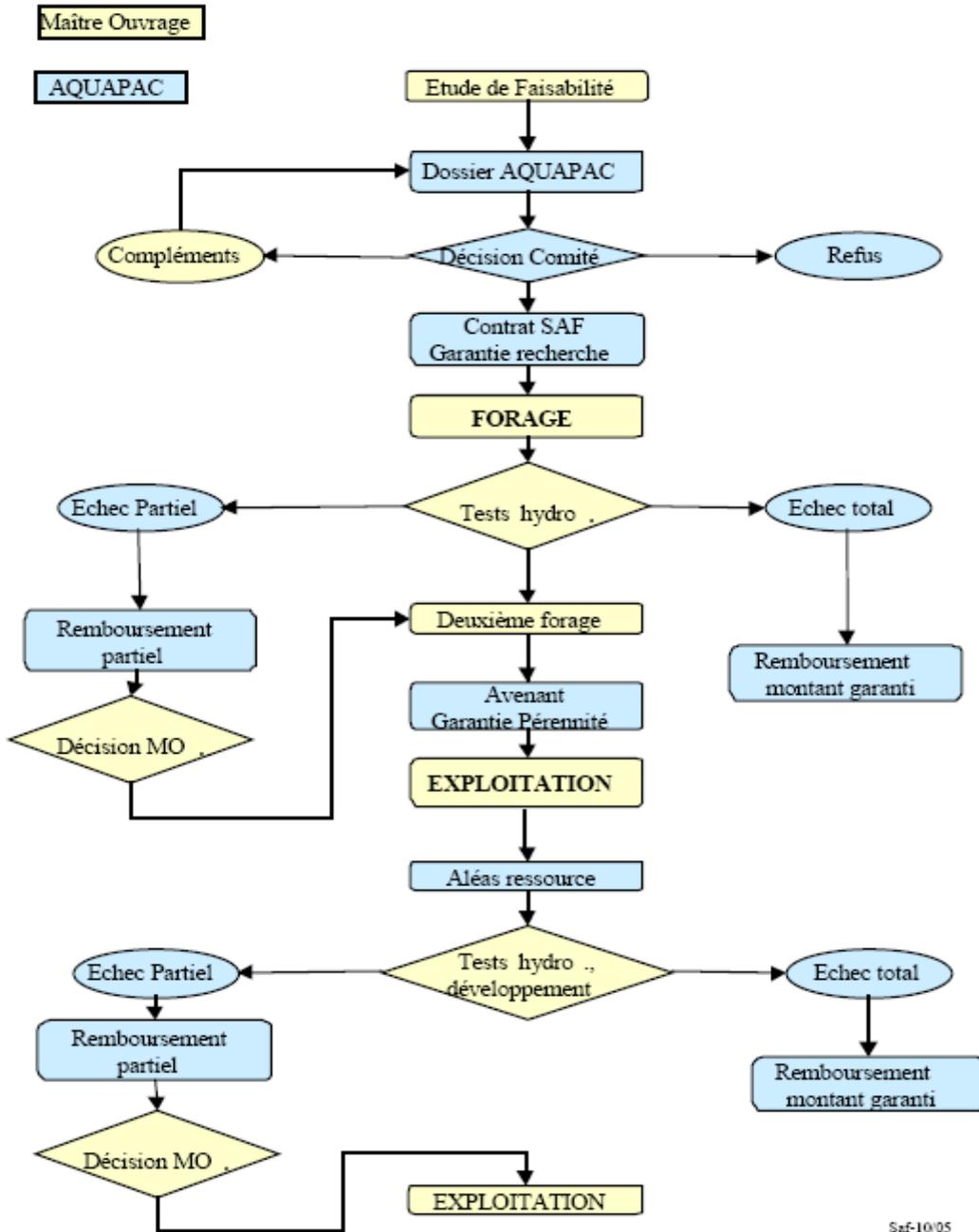
Ensuite, le Comité apprécie la recevabilité du sinistre et déclenche, s'il y a lieu, le paiement des indemnités.

Le Comité se réserve toutefois la possibilité en lieu d'indemnisation de restaurer le forage ou l'installation.

PLAFOND

Les indemnisations sont plafonnées à **115 000 Euros** par sinistre.

Procédure AQUAPAC



Saf-10/05

Annexe 2

Aides pour les opérations de rénovation

Date de mise à jour : avril 2009

Synthèse

Différentes aides existent pour la modification de votre système de chauffage et l'installation d'un système de géothermie : si le logement a plus de deux ans, bénéficiez de la TVA à 5,5%. Comme pour le neuf, le crédit d'impôt permet d'économiser jusqu'à 40% de l'investissement pour l'achat de la pompe à chaleur.

A cela peuvent s'ajouter des aides de l'ANAH (Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat) sous conditions de revenus, et des aides des régions ou des collectivités locales.

Enfin sachez que vous pouvez financer votre investissement, pour votre résidence principale construite avant 1990, avec un Eco prêt à taux zéro, en empruntant jusqu'à 30 000€ à une banque qui a signé une convention avec l'état. Ce dernier est cumulable avec le crédit d'impôt pour le développement durable sous conditions de revenus.

Pour connaître l'ensemble des aides disponibles, n'hésitez pas à vous adresser à l'Espace Info Energie de l'ADEME le plus près de chez vous !

Aides

- Aides de l'ANAH (Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat)

Pour les propriétaires occupants : L'installation de système à usage domestique utilisant les énergies nouvelles ou renouvelables comme la géothermie figure dans la liste des travaux éligibles.

Les subventions sont accordées aux propriétaires qui occupent leur logement mais qui ont des revenus limités.

Les travaux éligibles doivent de plus :

- être d'un montant minimum de 1 500 €
- être commencés après le dépôt de la demande de subvention
- être réalisés par des professionnels du bâtiment.

Chaque projet sera étudié au cas par cas en étudiant le montage économique, technique et social. L'attribution de l'aide n'est pas systématique.

Les taux de référence nationaux maximum sont indiqués ci-dessous, ils peuvent varier en fonction du contexte local.

⇔ TAUX MAXIMUM DE SUBVENTION			
	Plafonds de travaux par logement	Taux applicables aux propriétaires sous plafonds de ressources « de base »	Taux applicables aux propriétaires sous plafonds de ressources « prioritaires »
Cas général		20 %	35 %
OPAH rénovation urbaine, revitalisation rurale ou copropriétés dégradées	13 000 €	30 %	35 %

Source :

ANAH

Dans le cadre de la politique de l'ANAH en faveur de la lutte contre la précarité énergétique, une éco-prime de 1 000 € peut venir compléter cette subvention, si :

- le logement doit être classé en étiquette F ou G à l'occasion de l'évaluation thermique effectuée avant les travaux
- le gain énergétique obtenu après réalisation des travaux doit être d'au moins 30% sur la consommation conventionnelle.

Pour les propriétaires bailleurs : Les propriétaires qui louent ou souhaitent louer un bien immobilier en réalisant ou non des travaux peuvent conventionner leur logement, obtenir un rabatement fiscal et également obtenir une subvention supplémentaire de l'ANAH, ou éco-prime de 2 000€.

Conditions d'obtentions :

- le diagnostic de performance énergétique après travaux doit attester d'un gain d'au moins deux classes d'étiquette « énergie »
- le niveau de performance énergétique atteint doit être au minimum l'étiquette C ou D suivant le contexte local
- le logement doit faire l'objet d'un conventionnement social ou très social ou d'un financement au titre de la sortie d'insalubrité ou de péril.

Pour les copropriétés : Les syndicats de copropriétés, pour des travaux sur les parties communes, peuvent également obtenir des aides de l'ANAH, dans le cas où 75% des « lots » sont des habitations principales et où le logement a été achevé depuis au moins 15 ans à la date où la décision d'accorder la subvention est prise.

Le taux de subvention est de 35% dans la limite d'un plafond de 13 000 € par lot d'habitation pour les immeubles en OPAH copropriété dégradée et de 50% hors plafond de travaux pour les immeubles en plan de sauvegarde ou en OPAH copropriété présentant des pathologies lourdes.

Les aides de l'ANAH sont cumulables avec l'éco-prêt et le crédit d'impôt en faveur des économies d'énergie et du développement durable.

ANAH	Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat
OPAH	Opération programmée d'amélioration de l'Habitat
ANIL	Agence Nationale pour l'Information sur le Logement

- L'Eco Prêt à taux zéro

Fixé par les décrets et l'arrêté du 30 mars 2009

L'Eco Prêt à taux zéro est destiné à financer des travaux d'amélioration de la performance énergétique des logements achevés.

Conditions d'obtentions :

- Sans condition de ressources
- Logement existant construit avant le 1er janvier 1990
- Logement occupé à titre de résidence principale.

Les travaux doivent être composés d'au moins 2 travaux parmi une liste prédéfinie et présentée ci-dessous ou doivent permettre l'amélioration de la performance énergétique globale du logement.

Catégories de travaux éligibles	Caractéristiques et performances
1. Isolation de la toiture Planchers de combles perdus Rampants de combles aménagés Toiture terrasse	$R \geq 5 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$ $R \geq 4 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$ $R \geq 3 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$
2. Isolation des murs donnant sur l'extérieur Isolation par l'intérieur ou par l'extérieur	$R \geq 2,8 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$
3. Remplacement des fenêtres et des portes-fenêtres donnant sur l'extérieur et remplacement éventuel des portes donnant sur l'extérieur Fenêtre ou porte-fenêtre Fenêtre ou porte-fenêtre munies ou non de volets Seconde fenêtre devant une fenêtre existante Porte donnant sur l'extérieur (uniquement si réalisé en complément des fenêtres) Réalisation d'un sas donnant sur l'extérieur (pose devant la porte existante d'une 2ème porte) (uniquement si réalisé en complément des fenêtres)	$U_w \leq 1,8 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ $U_{jn} \leq 1,8 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ $U_w \text{ ou } U_{jn} \leq 2 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ $U_w \leq 1,8 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ $U_w \text{ ou } U_{jn} \leq 2 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$
4. Installation ou remplacement d'un système de chauffage (associé le cas échéant à un système de ventilation performant) ou d'une production d'eau chaude sanitaire (ECS) Chaudière + programmeur de chauffage PAC* chauffage + programmeur de chauffage PAC* chauffage + eau chaude sanitaire + programmeur de chauffage	à condensation (ou basse température, mais seulement en bâtiment collectif quand l'installation d'une chaudière à condensation est impossible*) $\text{COP} \geq 3,3^{**}$ $\text{COP} \geq 3,3^{**}$
5. Installation d'un système de chauffage utilisant une source d'énergie renouvelable Chaudière bois + programmeur Poêle à bois, foyer fermé, insert de cheminée intérieur	classe 3 au moins rendement \geq à 70 %
6. Installation d'une production d'eau chaude sanitaire utilisant une source d'énergie renouvelable Capteurs solaires	certification CSTBat, Solar Keymark ou équivalent

** Pompes à chaleur géothermique à capteur fluide frigorigène (sol / sol ou sol / eau) : COP \geq 3,3 pour une température d'évaporation de -5°C et une température de condensation de 35°C.

Pompes à chaleur géothermique de type eau glycolée / eau : COP \geq 3,3 pour des températures d'entrée et de sortie d'eau glycolée de 0°C et -3°C à l'évaporateur et des températures d'entrée et de sortie d'eau de 30°C et de 35°C au condenseur.

Pompes à chaleur géothermique de type eau / eau : COP \geq 3,3 pour des températures d'entrée et de sortie d'eau de 10°C et 7°C à l'évaporateur et de 30°C et 35°C au condenseur.

Le montant du prêt est a priori limité au montant des travaux, plafonné à 30 000 € pour le choix de 3 catégories.

L'Eco Prêt peut se cumuler avec :

- les prêts et aides suivants :
 - un prêt conventionné (CCH : R. 331-72),
 - un prêt à 0% (lorsque pour financer une acquisition accompagnée de travaux, un prêt à 0% est octroyé, le coût total de l'opération ne comprend pas les travaux financés par l'Eco Prêt),
 - les aides de l'ANAH,
 - les aides des collectivités territoriales en faveur du développement durable,
 - les éco-prêts liés au Livret de développement durable, mis en place par les banques en 2007 suite à la transformation du CODEVI en livret de développement durable, pourront être utilisés comme prêt complémentaire à l'Eco Prêt ou pour financer des travaux non éligibles à l'Eco Prêt ;
- certains dispositifs fiscaux :
 - le crédit d'impôt en faveur du développement durable pour les ménages dont les revenus fiscaux de référence de l'avant dernière année précédant l'offre d'Eco Prêt (N-2) n'excèdent pas 45.000 € et pour les années 2009 et 2010 (loi de finances rectificative pour 2009 : art. 8 / CGI : art. 44 quater U I 7° modifié).

Pour les autres ménages, le crédit d'impôt en faveur du développement durable ne sera possible que pour les travaux non financés par l'Eco Prêt ;

- le crédit d'impôt sur les intérêts d'emprunt pour l'acquisition pour les propriétaires occupants
- la déduction de charges pour la détermination des revenus fonciers pour les propriétaires bailleurs.

<http://ecocitoyens.ademe.fr/category/arborescence/financer-mon-projet/renovation/-savoir>

http://www.rendezvous-habitatdurable.fr/IMG/pdf/Guide_Aides_Anah.pdf

www.anil.org

<http://192.6.3.209/servlet/getBin?name=5A194438113D416C385286C2E1DD2BEF1239023443879.pdf>

<http://www.industrie.gouv.fr/energie/developp/econo/textes/credit-impot-2005.htm>

Annexe 3

Fiche-type d'opérations standardisées concernant la géothermie (Annexe 1 de l'arrêté du 28 juin 2010)



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **BAR-TH-03**

Pompe à chaleur de type eau / eau

1. Secteur d'application

Bâtiments résidentiels existants.

2. Dénomination

Mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) de type eau / eau.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Coefficient de performance (COP), mesuré selon la norme EN 14511-2 pour des températures d'entrée et de sortie d'eau de 10° C et 7° C à l'évaporateur, et de 30° C et 35° C au condenseur, égal ou supérieur à 3,4.

La pompe à chaleur a une certification NF PAC ou un label EHPA ou l'Eco-Label européen ou des caractéristiques de performance et de qualité équivalentes établies par un organisme établi dans l'Espace économique européen et accrédité selon les normes NF EN ISO/CEI 17025 et NF EN 45011 par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de European co-operation for Accreditation (EA), coordination européenne des organismes d'accréditation.

Mise en place réalisée par un professionnel.

Pour les actions engagées à partir du 01/01/2011, l'installateur doit obligatoirement être signataire de la charte QUALIPAC ou disposer d'une qualification professionnelle dans le domaine des pompes à chaleur géothermiques.

4. Durée de vie conventionnelle

16 ans



5. Montant de certificats en kWh cumac

Pour une maison individuelle :

COP	Zone climatique	Montant unitaire en kWh cumac		Facteur correctif	Surface habitable en m ²
3,5 > COP ≥ 3,4	H1	160 000	X	0,2	< 35
	H2	130 000		0,4	35 - 60
	H3	84 000		0,7	60 - 80
4 > COP ≥ 3,5	H1	160 000		0,9	80 - 100
	H2	130 000		1,1	100 - 130
	H3	87 000		1,4	> 130
COP ≥ 4	H1	170 000			
	H2	140 000			
	H3	91 000			

Pour un appartement :

COP	Zone climatique	Montant unitaire en kWh cumac
3,5 > COP ≥ 3,4	H1	64 000
	H2	53 000
	H3	35 000
4 > COP ≥ 3,5	H1	67 000
	H2	54 000
	H3	36 000
COP ≥ 4	H1	69 000
	H2	57 000
	H3	38 000



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° BAT-TH-13

Pompe à chaleur de type eau / eau

1. Secteur d'applicationBâtiment tertiaire : locaux du secteur tertiaire existants, de surface totale inférieure à 5000 m².**2. Dénomination**

Mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) de type eau / eau sur un système de chauffage électrique direct.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Coefficient de performance (COP) mesuré selon la norme EN 14511 pour une température d'évaporation correspondant au point nominal de la norme et une température de sortie d'eau de 35°C égal ou supérieur à 3,3.

Mise en place réalisée par un professionnel.

4. Durée de vie conventionnelle

20 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant unitaire en kWh cumac / m ²					Surface en m ²	x	S	x	Zone climatique		Facteur correctif
Branche d'activité	3 ≤ COP < 3,3 <i>uniquement pour des actions engagées avant le 01/01/2008</i>	3,3 ≤ COP < 3,5	3,5 ≤ COP < 4	4 ≤ COP					H1	H2	
Bureaux	1 000	1 100	1 100	1 200	x	S	x	1,1	0,9	0,6	
Enseignement	680	710	720	760				0,9	0,6		
Commerces	760	790	820	850							
Hôtellerie – Restauration	820	860	880	930							
Santé	950	990	1 000	1 100							



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **BAR-TH-37**

Raccordement d'un bâtiment résidentiel à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération

1. Secteur d'application

Appartements existants.

2. Dénomination

Raccordement d'un appartement existant à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Descriptif du réseau de chaleur à fournir : moyens de production et énergies utilisées sur les 3 dernières années (en précisant les éléments spécifiques aux énergies renouvelables ou de récupération).

Mise en place réalisée par un professionnel.

Application de cette opération non cumulable avec l'application de l'opération standardisée RES-CH-01 « Production de chaleur renouvelable ou de récupération en réseau (France métropolitaine) ».

4. Durée de vie conventionnelle

20 ans

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant unitaire pour un appartement en kWh cumac		
Zone climatique	Chauffage	Chauffage et eau chaude sanitaire
H1	220 000	280 000
H2	180 000	230 000
H3	120 000	150 000

X T

T (%) correspond à la part des besoins couverts par les énergies renouvelables ou de récupération, au sein du réseau de chaleur (et non du bâtiment), avant ce nouveau raccordement.



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **BAT-TH-27**

Raccordement d'un bâtiment tertiaire à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération

1. Secteur d'application

Bâtiments tertiaires existants.

2. Dénomination

Raccordement d'un bâtiment tertiaire existant à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

La puissance totale raccordée sur une année ne peut excéder 10 % de la puissance souscrite au réseau avant ces nouveaux raccordements.

Descriptif du réseau de chaleur à fournir : moyens de production et énergies utilisées sur les 3 dernières années (en précisant les éléments spécifiques aux énergies renouvelables ou de récupération).

Mise en place réalisée par un professionnel.

Application de cette opération non cumulable avec l'application de l'opération standardisée RES-CH-01 « Production de chaleur renouvelable en réseau ou de récupération (France métropolitaine) ».

4. Durée de vie conventionnelle

20 ans



5. Montant de certificats en kWh cumac

		Montant unitaire en kWh cumac / m ²		Surface totale chauffée en m ²	Secteur d'activité	Facteur d'occupation
		Chauffage	Chauffage et ECS			
Zone Climatique	H1	2 200	2 400	X S	Bureaux	1,1
	H2	1 700	2 000		Enseignement	0,8
	H3	1 100	1 300		Commerces	0,9
					Hôtellerie – restauration	1,1
					Santé	1,4
					Autres	0,8

T (%) correspond à la part des besoins couverts par les énergies renouvelables ou de récupération, au sein du réseau de chaleur (et non du bâtiment), avant ce nouveau raccordement.



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° RES-CH-01

Production de chaleur renouvelable ou de récupération en réseau (France métropolitaine)

1. Secteur d'application

Appartements existants et bâtiments tertiaires existants en France métropolitaine.

2. Dénomination

Mise en place d'un système de production de chaleur renouvelable ou de récupération (géothermie, incinération, bois-énergie, biogaz, chaleur industrielle, etc.) sur un réseau de chaleur.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Cette opération s'applique aux installations non soumises à la directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre.

Le réseau de chaleur peut alimenter également des bâtiments neufs, non concernés par cette opération. La proportion de bâtiments existants alimentés par le réseau doit être fournie.

La chaleur renouvelable ou de récupération nette est déterminée par une étude spécifique.

Le terme kWh_n est égal au nombre de kWh renouvelables ou de récupération nets produits et valorisés par an par l'installation.

4. Durée de vie conventionnelle

Pour les sources d'énergie comme le bois-énergie et le biogaz : 15 ans

Pour les autres sources d'énergie, notamment les unités d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) ou la géothermie : 20 ans



5. Montant de certificats en kWh cumac

Source d'énergie	Coefficient cumac		Chaleur renouvelable nette/ an		
Bois-énergie et biogaz	11,563				
UIOM – déchets géothermie autres	14,134	X	kWh_{th}	X	C

C (%) = [surface des bâtiments existants alimentés par le système de production de chaleur renouvelable ou de récupération] / [surface de l'ensemble des bâtiments alimentés par le réseau (neufs + existants)]

Annexe 4

Régimes juridiques applicables à la géothermie sur nappe : code minier et code de l'environnement

Code minier (CM)		Code de l'environnement (CE)
Géothermie haute température	Titres II - Travaux de recherche : permis de recherche	<p>Régime CM vaut pour régime CE </p> <p>Régime CE vaut pour régime CM </p> <p>Régime CM vaut pour régime CE </p> <p>Régime CE vaut pour régime CM </p> <p>Régime CM vaut pour régime CE </p> <p>Régime CE vaut pour régime CM </p>
	Titre III - Travaux d'exploitation : concession minière	
	Titre IV - Ouverture de travaux (Art 83) :	
	Titre VIII (Art 131) - Réalisation ouvrage souterrain > 10m : déclaration	
	Titre IV (Art 83) : Ouverture de travaux	
Géothermie basse température (régime normal)	Titre V (Art.98) : Travaux de recherche : permis de recherche	<p>Régime CM vaut pour régime CE </p> <p>Régime CE vaut pour régime CM </p> <p>Régime CM vaut pour régime CE </p> <p>Régime CE vaut pour régime CM </p>
	Titre V (Art. 99) - Travaux d'exploitation : permis d'exploitation	
	Titre VIII (Art 131) - Réalisation ouvrage souterrain > 10m : déclaration	
	Titre IV (Art 83) : Ouverture de travaux	
	Titre V (Art. 102) + décret 78-498 (Art 17) – Minimale importance : déclaration selon modalités Art 131.	
Géothermie basse température de minimale importance	Titre VIII (Art 131) - Réalisation ouvrage souterrain > 10m : déclaration	<p>Régime CM vaut pour régime CE </p> <p>Régime CE vaut pour régime CM </p>

⁴ Pour qu'il y ait équivalence inter-code, le dossier de déclaration et/ou d'autorisation déposé auprès des administrations compétentes doit comporter l'ensemble des pièces exigées indépendamment par chacun des codes.

⁵ ZRE : Zone de Répartition des Eau (zone où des mesures permanentes de répartition quantitative de la ressource sont instituées)

Annexe 5

Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement (Titres 1 et 5)

**Annexe du décret n°93-743 du 29 mars 1993 relatif à la
nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à
déclaration en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier
1992 sur l'eau (abrogé au 23 mars 2007)**

**Modifié par Décret 2006-881 2006-07-17 art. 1 2° JORF 18 juillet 2006 en vigueur
le 1er octobre 2006**

Abrogé par Décret n°2007-397 du 22 mars 2007 - art. 4 (V) JORF 23 mars 2007

Le débit de référence du cours d'eau s'entend comme le débit moyen mensuel sec de récurrence cinq ans ci-après dénommé le débit. Les niveaux de référence R1, R2, S1, N1 et N2, les teneurs à prendre en compte ainsi que les conditions de dérogation sont fixés par arrêté conjoint du ministre chargé de la mer et du ministre chargé de l'environnement.

TITRE 1er

PRÉLÈVEMENTS

1.1.1.0. Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau (D).

1.1.2.0. Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, le volume total prélevé étant :

1° Supérieur ou égal à 200 000 m³/h/an (A) ;

2° Supérieur à 10 000 m³/an mais inférieur à 200 000 m³/an (D).

1.2.1.0. A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, dans sa nappe d'accompagnement ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe :

1° D'une capacité totale maximale supérieure ou égale à 1 000 m³/heure ou à 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau (A) ;

2° D'une capacité totale maximale comprise entre 400 et 1 000 m³/heure ou entre 2 et 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau (D).

1.2.2.0. A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, dans un cours d'eau, sa nappe d'accompagnement ou un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe, lorsque le débit du cours d'eau en période d'étiage résulte, pour plus de moitié, d'une réalimentation artificielle. Toutefois, en ce qui concerne la Seine, la Loire, la Marne et l'Yonne, il n'y a lieu à autorisation que lorsque la capacité du prélèvement est supérieure à 80 m³/h (A).

1.3.1.0. A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées, notamment au titre de l'article L. 211-2 du code de l'environnement, ont prévu l'abaissement des seuils :

1° Capacité supérieure ou égale à 8 m³/h (A) ;

2° Dans les autres cas (D).

TITRE 5

RÉGIMES D'AUTORISATION VALANT AUTORISATION AU TITRE DES ARTICLES L. 214-1 ET SUIVANTS DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Les règles de procédure prévues par le décret n° 93-742 du 29 mars 1993 ne sont pas applicables aux installations, ouvrages, travaux et activités figurant dans ces rubriques, lesquels sont régis par des dispositions particulières.

5.1.1.0. Réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie, l'exhaure des mines et carrières ou lors des travaux de génie civil, la capacité totale de réinjection étant :

1° Supérieure ou égale à 80 m³/h (A) ;

2° Supérieure à 8 m³/h, mais inférieure à 80 m³/h (D).

5.1.2.0. Travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques (A).

5.1.3.0. Travaux de recherche, de création, d'essais, d'aménagement ou d'exploitation des stockages souterrains soumis aux dispositions du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 :

a) Travaux de création et d'aménagement de cavités visées au 4° de l'article 3 (A) ;

b) Travaux de forage de puits visés au 5° de l'article 3 (A) ;

- c) Essais visés au 6° de l'article 3 (A) ;
- d) Mise en exploitation d'un stockage souterrain visée au 7° de l'article 3 (A) ;
- e) Travaux de forage de recherche de cavité ou de formations souterraines visées au 2° de l'article 4 (D) ;
- f) Travaux de forage de puits de contrôle visés au 3° de l'article 4 (D) ;
- g) Essais visés au 4° de l'article 4 (D).

5.1.4.0. Travaux d'exploitation de mines :

- a) Travaux d'exploitation de mines effectués dans le cadre de l'autorisation d'exploitation mentionnée à l'article 21 du code minier (D) ;
- b) Autres travaux d'exploitation (A).

5.1.5.0. Travaux de recherche et d'exploitation des stockages souterrains de déchets radioactifs :

- a) Travaux de recherche nécessitant un ou plusieurs forages de durée de vie supérieure à un an (A) ;
- b) Autres travaux de recherche (D) ;
- c) Travaux d'exploitation (A).

5.1.6.0. Travaux de recherches des mines :

- a) Travaux de recherche visés au 2° de l'article 3 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 (A) ;
- b) Autres travaux de recherche visés au même décret (D).

5.1.7.0. Travaux de prospection, de recherche et d'exploitation de substances minérales ou fossiles non visées à l'article 2 du code minier et contenues dans les fonds marins du domaine public (A).

5.2.1.0. Effluents radioactifs provenant d'une installation nucléaire de base (INB) (A).

5.2.2.0. Entreprises hydrauliques soumises à la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique (A).

5.2.3.0. Les travaux décidés par la commission d'aménagement foncier comprenant des travaux tels que l'arrachage des haies, l'arasement des talus, le comblement des fossés, la protection des sols, l'écoulement des eaux nuisibles, les retenues et la distribution des eaux utiles, la rectification, la régularisation et le curage des cours d'eau non domaniaux (A).

Annexe 6

Fiche de déclaration en mairie des prélèvements, puits et forages réalisés à des fins domestiques



Déclaration d'ouvrage Prélèvements, puits et forages à usage domestique

1/2
cerfa
N° 13837*01

Au titre de l'article L. 2224-9 du code général des collectivités territoriales
Pour des travaux prévisionnels Pour des travaux exécutés

Cette déclaration doit être remplie par le propriétaire de l'ouvrage ou son utilisateur (si différent) et transmise en mairie

Conformément au décret n°91-1147 du 14 octobre 1991, toute personne désirant réaliser un forage domestique doit se renseigner au préalable auprès de sa mairie sur l'existence et les zones d'implantation éventuelles d'ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques impactés par son projet et envoyer une demande de renseignements (DR) à chacun des exploitants de ces ouvrages afin que les travaux envisagés puissent être exécutés en toute sécurité.

Les informations recueillies font l'objet d'un traitement informatique destiné à permettre une meilleure connaissance des ouvrages de prélèvement d'eau souterraine à des fins d'usage domestique, à mieux connaître les pressions qu'exercent ces ouvrages sur les nappes phréatiques et à limiter les risques de contamination des réseaux publics d'adduction d'eau potable. Les destinataires des données sont les personnels des services de la commune où a été déposée la déclaration, les agents des corps de contrôle visés à l'article L.521-12 du code de l'environnement et les agents de l'Etat autorisés hors corps de contrôle et qui auront un accès restreint aux données anonymisées.

Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent, que vous pouvez exercer en vous adressant aux services de la commune dans laquelle vous avez déclaré votre ouvrage de prélèvement d'eau souterraine à des fins d'usage domestique.

1 - Renseignements concernant le propriétaire

Nom : Prénom :
Raison sociale :
Adresse Numéro : Voie :
Lieu-dit : Localité :
Code postal (.....) BP (.....) cedex (.....)
Téléphone fixe : (.....) Portable : (.....)
Courriel* :@.....

2 - Renseignements concernant le déclarant (si différent du propriétaire)

Qualité : Utilisateur Autre :
Nom : Prénom :
Raison sociale :
Adresse Numéro : Voie :
Lieu-dit : Localité :
Code postal (.....) BP (.....) cedex (.....)
Téléphone fixe : (.....) Portable : (.....)
Courriel* :@.....

3 - Renseignements concernant le maître d'ouvrage (personne ou société qui fait ou a fait réaliser les travaux)

Nom : Prénom :
Raison sociale :
Adresse Numéro : Voie :
Lieu-dit : Localité :
Code postal (.....) BP (.....) cedex (.....)
Téléphone fixe : (.....) Portable : (.....)
Courriel* :@.....

4 - Renseignements concernant l'entreprise (personne ou société chargée de l'exécution des travaux)

Nom : Prénom :
Raison sociale :
Adresse Numéro : Voie :
Lieu-dit : Localité :
Code postal (.....) BP (.....) cedex (.....)
Téléphone fixe : (.....) Portable : (.....)
Courriel* :@.....

5 - Localisation de l'ouvrage. Veuillez joindre à la déclaration un plan de localisation de l'ouvrage à l'échelle du 1/25000 ou un extrait du cadastre. Les coordonnées GPS de l'ouvrage pourront être également communiquées.

Adresse Numéro : _____ Voie : _____
 Lieu-dit : _____ Localité : _____
 Code postal | _ | _ | _ | _ | | BP | _ | _ | _ | ; cedex | _ | _ |
 Cadastre : Section(s) _____ Parcelle(s) n° _____
 Code BSS (Banque du Sous-Sol) pour tout ouvrage existant : _____
 Coordonnées GPS de l'ouvrage* :
 Longitude (deg : mn,ss) _____ Latitude (deg : mn,ss) _____

Nous vous rappelons qu'une déclaration spécifique doit être faite auprès des services déconcentrés régionaux chargés des mines, pour tout ouvrage de plus de 10 mètres de profondeur ; cette déclaration permet un enregistrement dans la Banque du Sous-Sol (BSS) et un code BSS est ainsi attribué à l'ouvrage (article 131 code minier). Adresse et Contact disponibles sur le site : www.drire.gouv.fr

6 - Type d'ouvrage (veuillez cocher la case correspondante).

Forage Puits Autres à préciser, _____
 Date de création¹ (cas d'un ouvrage ancien) | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ |
 Date prévisionnelle d'achèvement des travaux (cas d'un nouvel ouvrage) | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ |

7 - Usages auxquels l'ouvrage est destiné (veuillez cocher les cases correspondantes).

Utilisation de l'eau pour la consommation humaine (au sens de l'article R. 1321-1 du code de la santé publique) Oui Non
 En cas d'utilisation de l'eau pour la consommation humaine :
 pour un usage unifamilial², une analyse de l'eau de type P1, à l'exception du chlore, définie dans l'arrêté du 11 janvier 2007 (relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution) doit être réalisée et jointe à la déclaration ; pour les ouvrages à réaliser l'analyse est transmise après travaux ;
 pour les autres cas, une autorisation préfectorale doit être demandée au titre de l'article L.1321-7 du code de la santé publique.
 Autres usages de l'eau Oui Non
 Si oui, préciser : _____
 Existence d'un réseau de distribution d'eau intérieur au bâtiment alimenté par l'ouvrage Oui Non
 Après usage, existence d'un rejet des eaux issues du pompage dans le réseau public de collecte des eaux usées Oui Non
 Après usage, existence d'un rejet des eaux issues du pompage dans le réseau public de collecte des eaux pluviales Oui Non

8 - Caractéristiques de l'ouvrage (veuillez indiquer les caractéristiques réelles pour les ouvrages existants, et les prévisions pour les nouveaux ouvrages à réaliser).

Nom ou type de la nappe dans lequel le prélèvement va être effectué (si connu) : _____
 Profondeur de l'ouvrage : _____ (en m) Diamètre de l'ouvrage : _____ (en mm)
 Débit de prélèvement : _____ (en m³/h) Volume annuel prélevé : _____ (en m³/an)
 Présence d'une margelle béton autour de la tête du forage ou puits : Oui Non
 Ouvrage réalisé en se conformant à la norme NFX 10-999 forages d'eau et de géothermie : Oui Non
Le respect de cette norme permet de garantir que l'ouvrage est réalisé dans les règles de l'art et permet notamment de protéger la ressource souterraine de toute infiltration directe d'eau de ruissellement superficielle potentiellement polluée.
Il est rappelé que tout pompage doit être équipé d'un compteur volumétrique (article L.214-8 du code de l'environnement)

Fait à : _____ le | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ |
 Nom, Prénom : _____
 Signature

¹ ou date d'achèvement d'un nouvel ouvrage.
² unifamilial : usage restreint aux besoins d'une seule famille.
 Les champs suivis de (*) sont facultatifs

Annexe 7

Fiches des opérations remarquables en Aquitaine

Nom de la réalisation : Mériadeck**Localisation :**

Département Gironde
Commune Bordeaux
XL2E (m) 368630.2
YL2E (m) 1986092.7
Z sol (NGF) 336329.7

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature 1868271.1
Indice / Désignation 08036X0948/GBDX1
Date fin travaux / mise en service janv.-81
Profondeur (m) 1148,8
Débit artésien (m3/h) 25
Pompe pompe immergée à 200
 m
Débit de pompage possible (m3/h) 125

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Cénomano-Turonien
Zone productrice (m) 930,30-1127
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 54,3
salinité (mg/l) 410
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Gaz de
 Bordeaux
Maître d'Œuvre BRGM
usage Chauffage bâtiments
 tertiaires
documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : La Benauge

Localisation :

Département Gironde
Commune Bordeaux
XL2E (m) 372117.7
YL2E (m) 1986582.1
Z sol (NGF) 4

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / **Désignation**
 08036X0954/GBDX2
Date fin travaux / mise en service oct.-
 81
Profondeur (m) 941
Débit artésien (m3/h) 98
Pompe pompe immergée à
 100 m
Débit de pompage possible (m3/h) 215

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sables et Calcaires
 du Cénomano-
 Turonien
Zone productrice (m) 726-932
Transmissivité (m2/s) 5,3.10-3
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 45
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Gaz
 de Bordeaux
Maître d'Œuvre BRGM
usage Chauffage
 bâtiments, piscine, pas d'échangeur
documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Saige-Formanoir

Localisation :

Département Gironde
Commune Pessac
XL2E (m) 365520.6
YL2E (m) 1981395.6
Z sol (NGF) 37

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 08272X0500/GBDX3
Date fin travaux / mise en service février
 1982/1984
Profondeur (m) 1084,8
Débit artésien (m3/h) 5
Pompe pompe immergée à 130
 m
Débit de pompage possible (m3/h) 193 (130 à
 200)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Cénomaniens Inférieurs
Zone productrice (m) 825-50-1034,50 (209m)
Transmissivité (m2/s) 8.10-3
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 50/48,4
salinité (mg/l) 360
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu La Gironde
 (81), DOMOFrance (91)
Maître d'Œuvre BRGM, TETA CERAC
usage Chauffage bâtiments et
 eau chaude sanitaire en hiver, panneaux sol (env.
 1526 équiv. logements). Eau chaude sanitaire en été.
 Taux de couverture de la géothermie : 55 %.
documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Stadium

Localisation :

Département Gironde
Commune Pessac
XL2E (m) 366582.8
YL2E (m) 1982374.3
Z sol (NGF) 24.82

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 08272X0056/F1
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 700
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sommet du Crétacé supérieur

Zone productrice (m)

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C) 50

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Rectorat/SIGDU

Maître d'Œuvre Institut de Géodynamique (EGID)

usage Captage AEP au départ. Après approfondissement, le captage d'eau à 50°C, a permis d'alimenter la piscine universitaire et les sanitaires sportifs.

documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Base aérienne 106

Localisation :

Département Gironde
Commune Mérignac
XL2E (m) 358822.2
YL2E (m) 1984368.8
Z sol (NGF) 49.8

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 08271X0255/GMC1
Date fin travaux / mise en service 01/12/1984 / 1987
Profondeur (m) 1169
Débit artésien (m3/h) 0
Pompe pompe immergée
Débit de pompage possible (m3/h) 240
 lors du forage (60 à 200 moy 90)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Cénomaniens
 Inférieur - Wealdien
Zone productrice (m) 1068-1092 et 1103-1139
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 53,8 / 51,8
salinité (mg/l) 360
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Etat
Maître d'Œuvre SNEA-P
usage Chauffage
 centralisé de la base aérienne 106 de Mérignac : bureaux, logements et hangars + eau chaude sanitaire. Taux de couverture de la géothermie : environ 70% (début 90)
documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Grand Parc

Localisation :

Département Gironde
Commune Bordeaux
XL2E (m) 369520
YL2E (m) 1988737.5
Z sol (NGF) 3

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation
 08036X0978/GBDX4
Date fin travaux / mise en service juil.-
 85
Profondeur (m) 1001
Débit artésien (m3/h) 45
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h) 150

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaires turoniens
 et Sables du Cénomaniens
Zone productrice (m) 770-980
Transmissivité (m2/s) 80 Dm
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 49,2
 (47,5 ?)
salinité (mg/l) 650
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Gaz
 de Bordeaux
Maître d'Œuvre Geotherma
usage N'a jamais été mis
 en service, 3 puits de réinjection dans la nappe
 alluviale ont été prévus
documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Lormont-Génicart**Localisation :**

Département Gironde
Commune Lormont
XL2E (m) 373924
YL2E (m) 1989916
Z sol (NGF) 58.12

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 08037X0398/F1
Date fin travaux / mise en service 1969
 (AEP)
Profondeur (m) 1058
Débit artésien (m3/h)
Pompe oui
Débit de pompage possible (m3/h) 157

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Cénomano-Turonien
Zone productrice (m) 840-1049
Transmissivité (m2/s) 4.10-3
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 46
salinité (mg/l) 640
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de Lormont
Maître d'Œuvre Ponts et Chaussées
usage Ancien forage pétrolier, n'a jamais servi en géothermie. Projet de l'utiliser pour alimenter une base de loisirs
documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Le Teich Pirac 1, ex Mios 2 bis

Localisation :

Département Gironde
Commune Le Teich
XL2E (m) 337015.7
YL2E (m) 1961755.2
Z sol (NGF) 8.62

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation
 08502X0069/GLTP1
Date fin travaux / mise en service 1983
 (pour GTH)
Profondeur (m) 3758
Débit artésien (m3/h) 130
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h) 200

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Grès Purbecko-Wealdien et Dolomie de Mano (Portlandien-Jurassique Sup.)
Zone productrice (m) 1701-1853 (23 m chez Henry)
Transmissivité (m2/s) 180-290 Dm
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 74,5 / 74,2
salinité (mg/l) 3700
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu District d'Arcachon, Gujan-Mestras, La Teste et Le Teich
Maître d'Œuvre BRGM
usage Ancien puits pétrolier mitraillé en 1983 et 1989. Chauffage de 5 ha de serres horticoles
documents consultés R 34642/R 0579

Nom de la réalisation : doublet hydrothermique : P1C

Localisation :

Département Gironde
Commune Bègles
XL2E (m) 370845.3
YL2E (m) 1982527.2
Z sol (NGF) 12.3

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 08272X0505/F1
Date fin travaux / mise en service juin-82
Profondeur (m) 250
Débit artésien (m3/h)
Pompe pompe immergée à 80 m
Débit de pompage possible (m3/h) 33 à 36
 max.

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaires de l'Eocène
Zone productrice (m) 135-250
Transmissivité (m2/s) 5,0.10⁻⁴
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 20,8
salinité (mg/l) 320
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l) 0.245
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Esso Rep
Maître d'Œuvre Ent. Dallay
usage Chauffage bureaux, taux de couverture de la géothermie : 90 à 95 % début 90 (doublet hydrothermique : P2F et P1C sont distants de 180 m)
documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : doublet hydrothermique : P2F

Localisation :

Département Gironde
Commune Bègles
XL2E (m) 370605.3
YL2E (m) 1982607.6
Z sol (NGF) 11.4

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 08272X0506/F2
Date fin travaux / mise en service juin-82
Profondeur (m) 250
Débit artésien (m³/h)
Pompe pompe immergée à 80 m
Débit de pompage possible (m³/h) 33 à 36 max.

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaires de l'Eocène
Zone productrice (m) 135-250
Transmissivité (m²/s) 5,0.10⁻⁴
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 20,8

salinité (mg/l) 320

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l) 0.245

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Esso Rep

Maître d'Œuvre Ent. Dallay

usage Chauffage bureaux, taux de couverture de la géothermie : 90 à 95 % début 90 (doublet hydrothermique : P2F et P1C sont distants de 180 m)

documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Gueyrosse

Localisation :

Département Gironde
Commune Libourne
XL2E (m) 398092.7
YL2E (m) 1991568.8
Z sol (NGF) 11.18

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 08046X0080/F4
Date fin travaux / mise en service 1983
Profondeur (m) 303
Débit artésien (m3/h)
Pompe pompe immergée
Débit de pompage possible (m3/h) 250 (70 à 150 selon saison)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sables éocènes
Zone productrice (m) 216-300
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 22,7 en tête
salinité (mg/l) 250
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de Libourne
Maître d'Œuvre SBRU
usage 3 PAC en série inversées permettant de transférer la chaleur prélevée à l'eau géothermale et de la restituer au réseau de distribution à une température de 58°C. Chauffage HLM, résidences, écoles, piscines, hôpital (1250 équiv. logements). Taux de couverture
documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Tire-Ganache

Localisation :

Département Landes
Commune Dax
XL2E (m) 323300
YL2E (m) 1862028
Z sol (NGF) 6

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09764X0034/GDX1
Date fin travaux / mise en service 15-juin-79
Profondeur (m) 2350
Débit artésien (m3/h)
Pompe oui
Débit de pompage possible (m3/h) 153 (130 à 200)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Cénomaniens (Calcaires marneux et Dolomies cristallines)

Zone productrice (m) 2201-2341

Transmissivité (m2/s) 1,04.10⁻⁴

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C) 56

salinité (mg/l) 680

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de Dax, Régie municipale de Eaux

Maître d'Œuvre BRGM

usage Géothermie - projet : chauffage ZAC, hôpital, eau chaude sanitaire, mais en attente depuis 1981

documents consultés R 34642/R 0437

Nom de la réalisation : ROTH**Localisation :**

Département Landes
Commune Dax
XL2E (m) 327027
YL2E (m) 1862472
Z sol (NGF) 6

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09771X0155/FROTH
Date fin travaux / mise en service 09/03/1988
Profondeur (m) 608
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h) 50

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sommet du Crétacé supérieur
Zone productrice (m) 211,5-293
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 44
salinité (mg/l) 800
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de Dax, Régie municipale de Eaux
Maître d'Œuvre BRGM
usage Thermalisme
documents consultés R 0772

Nom de la réalisation : Forage thermal de la Fontaine

Localisation :

Département Landes
Commune Dax
XL2E (m) 326565
YL2E (m) 1862472
Z sol (NGF) 8

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09771X0021/ESPLAN
Date fin travaux / mise en service 1967,
réhabilité en 1990
Profondeur (m) 150,15
Débit artésien (m3/h)
Pompe oui
Débit de pompage possible (m3/h) 138

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sommet du Crétacé supérieur
Zone productrice (m) 77-150,15 (trou nu)
Transmissivité (m2/s) 1.10-2
Facès chimique de l'eau sulfaté, bicarbonaté, chloruré, sodique et calcique
Température init Aquif / Surface (°C) 61 à 62
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm) 1000
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de Dax, Régie municipale de Eaux
Maître d'Œuvre BRGM
usage Thermalisme
documents consultés R 31810 AQI 4S 90 / R 934

Nom de la réalisation : Forage thermal de la Place de la Course

Localisation :

Département Landes
Commune Dax
XL2E (m) 326705
YL2E (m) 1862462
Z sol (NGF) 9.55

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09771X0015/POSTE
Date fin travaux / mise en service 1975,
réhabilité en 1990
Profondeur (m) 65
Débit artésien (m3/h)
Pompe oui
Débit de pompage possible (m3/h) 150

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sommet du Crétacé supérieur
Zone productrice (m) 59,40 - 65
Transmissivité (m2/s) 4.10-3
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 59 à 60,4
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion oui, importante
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de Dax, Régie municipale de Eaux
Maître d'Œuvre BRGM
usage Thermalisme
documents consultés R 31656 AQI 4S 90 / R 913

Nom de la réalisation : Stade

Localisation :

Département Landes
Commune Dax
XL2E (m) 326978
YL2E (m) 1862582
Z sol (NGF) 5

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09771X0076/F2BIS
Date fin travaux / mise en service 1974,
réhabilité en 1989 et en 1992
Profondeur (m) C'est le forage thermal le
plus profond
Débit artésien (m3/h)
Pompe oui
Débit de pompage possible (m3/h) 36

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sommet du Crétacé
supérieur
Zone productrice (m) 512-538 (trou nu)
Transmissivité (m2/s) 1,5.10⁻³
Facès chimique de l'eau Chlorurée
sodique de minéralisation
élevée
Température init Aquif / Surface (°C) 52,2
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm) 1170 à 1320
Fer (mg/l)
Problème de corrosion oui, percement de la
chambre de
pompage

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de
Dax, Régie municipale de Eaux
Maître d'Œuvre BRGM
usage Thermalisme
documents consultés R 30525 AQI 4S 90 / R
829 et R 35643 AQI 4S 92 / R 1284

Nom de la réalisation : Boulogne 2**Localisation :**

Département Landes
Commune Dax
XL2E (m) 325522
YL2E (m) 1861790
Z sol (NGF) 6

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09771X0124/F2
Date fin travaux / mise en service début 1985
Profondeur (m) 243,4
Débit artésien (m3/h)
Pompe oui
Débit de pompage possible (m3/h) 165

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Dolomie du Crétacé supérieur

Zone productrice (m) 188-243,40

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau
 bicarbonaté sodique, sulfaté

Température init Aquif / Surface (°C) jusqu'à 56,8

salinité (mg/l) 880

Conductivité (µS/cm) résistivité 850 à 870 ohms.cm

Fer (mg/l)

Problème de corrosion

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de Dax, Régie municipale de Eaux

Maître d'Œuvre BRGM

usage thermalisme. Remplace le forage Boulogne 1

documents consultés R 85 SGN 218 AQI / R 634

Nom de la réalisation : Stade

Localisation :

Département Landes
Commune Hagetmau
XL2E (m) 363513
YL2E (m) 1854288
Z sol (NGF) 87

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09782X0008/F3
Date fin travaux / mise en service 1980/1986
Profondeur (m) 698,4 700
Débit artésien (m3/h)
Pompe pompe immergée à 63 m
Débit de pompage possible (m3/h) 116

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaires gréseux et sables grossiers de l'Yprésien et calcaires du Paléocène

Zone productrice (m)

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C) 32,7 en tête

salinité (mg/l) 530 à 550

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Commune d'Hagetmau

Maître d'Œuvre BRGM

usage Chauffage pavillons (panneaux sols). Eau chaude sanitaire pour le camping, aérothermes pour la salle omnisport et les vestiaires, chauffage de l'eau de la piscine, eau potable pour la commune. Il existe 3 échangeurs et une pompe à chaleur.

documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Stade

Localisation :

Département Landes
Commune Hagetmau
XL2E (m) 363503
YL2E (m) 1854323
Z sol (NGF) 87

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09782X0021/F4
Date fin travaux / mise en service 1991/1992
Profondeur (m) 698,5 701
Débit artésien (m3/h) précisé jaillissant dans SIGESAQI
Pompe pompe immergée à 70 m
Débit de pompage possible (m3/h) 175

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaires gréseux et sables grossiers de l'Yprésien et calcaires du Paléocène

Zone productrice (m)

Transmissivité (m2/s)

Facès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C) 30,5 en tête

salinité (mg/l) 530 à 550

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Commune d'Hagetmau

Maître d'Œuvre BRGM

usage Le forage n'avait pas encore été mis en service en 1991

documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Mont-de-Marsan 1

Localisation :

Département Landes
Commune Mont-de-Marsan
XL2E (m) 372001
YL2E (m) 1882317
Z sol (NGF) 48

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09513X0021/GMM1
Date fin travaux / mise en service 1976/1976
Profondeur (m) 1850
Débit artésien (m3/h)
Pompe pompe immergée à 30-35 m de
Débit de pompage possible (m3/h) 150-260

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sénonien inférieur et Turonien

Zone productrice (m) 1479,5-1822 (42,5 m)

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C) 61/60

salinité (mg/l) 398

Conductivité (µS/cm) 850

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Ville de Mont-de-Marsan

Maître d'Œuvre COGETEC

usage Chauffage de la base aérienne 116, résidence Hélène Boucher (300 logements), hôpital psychothérapeutique Sainte Anne, eau chaude sanitaire. Taux de couverture de la Géothermie : 80 %.

documents consultés R 34642 / 01 AQI 27

Nom de la réalisation : Mont-de-Marsan 2**Localisation :**

Département	Landes
Commune	Mont-de-Marsan
XL2E (m)	374939
YL2E (m)	1882287
Z sol (NGF)	55

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature	Forage
Indice / Désignation	09513X0033/GMM2
Date fin travaux / mise en service	août 1981/1984
Profondeur (m)	2014, comblé entre 1814 et 2014 par un
Débit artésien (m3/h)	
Pompe	pompe immergée à 300 m de profondeur
Débit de pompage possible (m3/h)	61

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté	Sénonien inférieur et Cénomaniens
Zone productrice (m)	1497-1814 (317 m)
Transmissivité (m2/s)	
Faciès chimique de l'eau	
Température init Aquif / Surface (°C)	57/56
salinité (mg/l)	80
Conductivité (µS/cm)	
Fer (mg/l)	
Problème de corrosion	oui, tête de puits par l'eau de pluie stagnante dans la cave

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu	Ville de Mont-de-Marsan
Maître d'Œuvre	COGETEC
usage	Chauffage de la caserne de gendarmerie Maridor, environ 560 équivalents logements : radiateurs, panneaux sols. Eau chaude sanitaire. Taux de la couverture de la Géothermie : 70 %.
documents consultés	R 34642 / 01 AQI 27

Nom de la réalisation : Sébastopol

Localisation :

Département Landes
Commune Saint-Paul Les Dax
XL2E (m) 321119
YL2E (m) 1865973
Z sol (NGF) 34.8

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09764X0082/GT F
Date fin travaux / mise en service 1955
 (pétrolier)/1975 travaux pour mise
Profondeur (m) 2155/ bouchon à 865 m
Débit artésien (m3/h)
Pompe pompe centrifuge
 immergée à 30 m
Débit de pompage possible (m3/h) 130 (entre
 80 et 90)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté nappe de la Dolomie du
 Crétacé Supérieur
Zone productrice (m) 603,70-865 (261,3 m)
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 47/46
salinité (mg/l) 739
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Thermes
 ADOUR
Maître d'Œuvre Thermes ADOUR
usage Thermalisme puis
 géothermie : chauffage : centre de réadaptation
 Napoléon (90 chambres et piscine), hôtel du Lac et
 établissement thermal de Christus (251 chambres et
 3 piscines), Résidence des chênes (fermée 3 mois
 pendant l'année, 108 studios). Taux de couverture de
 la géothermie : Centre Napoléon : 100 %. Hôtel et
 thermes : environ 90 %

documents consultés R 34642

Nom de la réalisation : Forage Source Vieille Nord (Trésor)

Localisation :

Département Pyrénées Atlantiques
Commune Eaux-Bonnes
XL2E (m) 377072
YL2E (m) 1778138
Z sol (NGF) 750

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 10694X0042/OB.2
Date fin travaux / mise en service 16/11/1984
Profondeur (m) 100,2
Débit artésien (m3/h) 34. A chuté jusqu'à 26,2 m3/h en
Pompe non
Débit de pompage possible (m3/h) besoins compris entre 3 et 10 m3/h

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaires du Coniacien
Zone productrice (m) trou nu entre 50 et 100,20 mètres

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C) 40,8°C. En augmentation croissante

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm) 806 à 881

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu
 Commune/Eurothermes France

Maître d'Œuvre

usage Chauffage des bâtiments entre 1985 et 1988. Captage autorisé pour être exploité comme eau minérale naturelle le 28 janvier 1993.

documents consultés RP 50178-FR / R 1574

Nom de la réalisation : Forage Source des Eaux-Chaudes

Localisation :

Département Pyrénées Atlantiques
Commune Eaux-Chaudes
XL2E (m) 373081
YL2E (m) 1776373
Z sol (NGF) 656

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 10694X0046/EC1
Date fin travaux / mise en service 12/04/1990
Profondeur (m) 93
Débit artésien (m3/h) ~ 2
Pompe on ne sait pas
Débit de pompage possible (m3/h) inférieur à 7,5 m3/h

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Pyrénées Occidentales / Massif des eaux chaudes
Zone productrice (m) trou nu à partir de 11,20 m
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 31
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm) 434
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant **connu**
 Commune/Entraide Sociale des Pyrénées Atlantiques depuis 1954
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme
documents consultés RP 50177-FR / R 1575

Nom de la réalisation : Occident Nord

Localisation :

Département Pyrénées Atlantiques
Commune Cambo-les-Bains
XL2E (m) 297562
YL2E (m) 1824182
Z sol (NGF) 24

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 10271X0030/C11
Date fin travaux / mise en service 1987
Profondeur (m) 202,6. Forage rebouché entre 160 et
Débit artésien (m3/h) 30
Pompe oui
Débit de pompage possible (m3/h) 50

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaire aquifère du Lias inférieur
Zone productrice (m) 110-114 ; 122-126 et fond
Transmissivité (m2/s) 6.10-4
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 22
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm) 2225
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Thermes de Cambo-les-Bains / Chaîne Thermale du Soleil
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme/ eau minérale naturelle
documents consultés RP 50104-FR / R 1576

Nom de la réalisation : Honorine

Localisation :

Département Pyrénées Atlantiques
Commune Cambo-les-Bains
XL2E (m) 297562
YL2E (m) 1824202
Z sol (NGF) 23.1

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 10271X0014/C3
Date fin travaux / mise en service juin-77
Profondeur (m) 200 m, ramenée à 110,4 m en 1982
Débit artésien (m³/h) 22
Pompe oui
Débit de pompage possible (m³/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaires massifs
aquifères du Lias inférieur

Zone productrice (m) 87 à 100,40 m

Transmissivité (m²/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C) 21 à 22

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Thermes de Cambo-les-Bains / Chaîne Thermale du Soleil

Maître d'Œuvre

usage Thermalisme/ eau minérale naturelle

documents consultés RP 50104-FR / R 1576

Nom de la réalisation : ORAAS ou source de la Reine

Localisation :

Département Pyrénées Atlantiques
Commune Salies de Béarn
XL2E (m) 331974
YL2E (m) 1831535
Z sol (NGF) 65

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 10036X0029/F2
Date fin travaux / mise en service 1843
Profondeur (m) 190
Débit artésien (m3/h)
Pompe oui
Débit de pompage possible (m3/h) 15 m3/h
auparavant, de l'ordre de 3 m3/h en 1999

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Trias salifère
Zone productrice (m)
Transmissivité (m2/s)
Facès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 17 à 19°C
salinité (mg/l) 250 000
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Corporation des Parts Prenants de la Fontaine Salée
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme, production de sel, autrefois embouteillage. Ce forage était le seul à être exploité en 1999 pour l'ensemble des besoins et des différents usages, sans possibilité de secours s'il arrive un problème
documents consultés RP 50176-FR / R 1577

Nom de la réalisation : Forage C ou source Centrale

Localisation :

Département Pyrénées Atlantiques
Commune Ogeu les Bains
XL2E (m) 369353
YL2E (m) 1800145
Z sol (NGF) 319

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 10513X0007/F
Date fin travaux / mise en service 1993
Profondeur (m) 277
Débit artésien (m³/h)
Pompe pompe immergée à 70 m
Débit de pompage possible (m³/h) 40

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Calcaire gris et calcaires marneux de l'Aptien supérieur

Zone productrice (m) trou nu de 260 à 277 m

Transmissivité (m²/s) 2.10-3

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C) 14

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm) 430

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Société des Eaux Minérales d'Ogeu

Maître d'Œuvre

usage Eau minérale destinée à la consommation humaine (AP du 13 février 1995)

documents consultés RP 50174-FR / R 1578

Nom de la réalisation : La Commanderie sud

Localisation :

Département Pyrénées Atlantiques
Commune Lurbe-Saint-Christau
XL2E (m) 361389
YL2E (m) 1794958
Z sol (NGF) 302

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 10512X0032/SC9
Date fin travaux / mise en service 17-janv.-94
Profondeur (m) 451
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h) 18

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Chaînon calcaire / Bielle Lurbe

Zone productrice (m) 323-451

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau
 bicarbonaté, chloruré, sulfaté, calcique
 et sodique

Température init Aquif / Surface (°C) 44 à 45

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Société Thermale de Saint-

Christau/Chaîne

Thermale du Soleil

Maître d'Œuvre

usage L'objectif était d'utiliser les eaux pour le thermalisme. Le forage était arrêté en 1999

documents consultés RP 50175-FR / R 1579

Nom de la réalisation : La Hire

Localisation :

Département Landes
Commune Préchacq-les Bains
XL2E (m) 336425.4
YL2E (m) 1868054.7
Z sol (NGF) 9

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage captant source
Indice / Désignation 09506X0007/LAHIRE
Date fin travaux / mise en service 31/12/1928
Profondeur (m) 14.7
Débit artésien (m3/h) 20
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté
Zone productrice (m) 9-14.7
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 59
salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm) R=568 OHMS.CM
Fer (mg/l) 0
Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Association des eaux et établissement thermal de Préchacq

Maître d'Œuvre Association des eaux et établissement

usage Thermalisme

documents consultés

Nom de la réalisation : Darroze**Localisation :**

Département Landes
Commune Préchacq-les Bains
XL2E (m) 336425.4
YL2E (m) 1868058.7
Z sol (NGF) 9

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage captant source
Indice / Désignation 09506X0010/DARROZ
Date fin travaux / mise en service 1910
Profondeur (m) 11.5
Débit artésien (m3/h) 3
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté
Zone productrice (m) 9-11.5
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 59
salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm) R=557 OHMS.CM**Fer (mg/l)** 0.12**Problème de corrosion** non précisé**Exploitant et usage :**

Maître d'ouvrage/Exploitant **connu**
 Association des eaux et établissement

thermal de Préchacq

Maître d'Œuvre Association des eaux et
 établissement

usage Thermalisme**documents consultés**

Nom de la réalisation : Montaigne

Localisation :

Département Landes
Commune Préchacq-les Bains
XL2E (m) 336417.4
YL2E (m) 1868056.7
Z sol (NGF) 9

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage captant source
Indice / Désignation 09506X0011/MONTAI
Date fin travaux / mise en service 1903
Profondeur (m) 10.1
Débit artésien (m3/h) 25 à 30
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté
Zone productrice (m) 9-10.1
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 55
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm) R=557 OHMS.CM
Fer (mg/l) 0.1
Problème de corrosion non précisé

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Association des eaux et établissement

thermal de Préchacq
Maître d'Œuvre Association des eaux et
établissement

usage Thermalisme

documents consultés

Nom de la réalisation : T5**Localisation :**

Département Landes
Commune Préchacq-les Bains
XL2E (m) 336329.7
YL2E (m) 1868271.1
Z sol (NGF) 10

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09506X0053/T5
Date fin travaux / mise en service 30/11/1987
Profondeur (m) 18
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Galets et sables gris du Crétacé sup
Zone productrice (m) 12-18
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C) 26,4
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm) R=555 OHMS.CM
Fer (mg/l) 0.68
Problème de corrosion non précisé
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu
 Compagnie fermière du Mont-Dore-
 Préchacq
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme
documents consultés

Nom de la réalisation : Mont-1

Localisation :

Département Landes
Commune Préchacq-les Bains
XL2E (m) 336445.4
YL2E (m) 1868040.6
Z sol (NGF) 9

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09506X0054/MONT-1
Date fin travaux / mise en service 31/12/1986
Profondeur (m) 30
Débit artésien (m3/h) 30
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Sables dolomitiques du Crétacé sup

Zone productrice (m)

Transmissivité (m2/s)

Facès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C)

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Compagnie fermière du Mont-Dore-

Préchacq

Maître d'Œuvre

usage Thermalisme

documents consultés

Nom de la réalisation : Mont-2**Localisation :**

Département Landes
Commune Préchacq-les Bains
XL2E (m) 336389.4
YL2E (m) 1868073.8
Z sol (NGF) 9

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09506X0055/MONT-2
Date fin travaux / mise en service 31/12/1986
Profondeur (m) 30
Débit artésien (m3/h) 20
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Dolomie du Crétacé sup
Zone productrice (m)
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C)
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu
 Compagnie fermière du Mont-Dore-Préchacq
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme
documents consultés

Nom de la réalisation : Forage thermal de Baignot

Localisation :

Département Landes
Commune Dax
XL2E (m) 325640
YL2E (m) 1862699
Z sol (NGF) 7

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature forage
Indice / Désignation 09771X0123/F4
Date fin travaux / mise en service 14/03/1983
Profondeur (m) 56.6
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Crétacé supérieur

Zone productrice (m)

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C)

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu Thermes de Dax

Maître d'Œuvre

usage Thermalisme

documents consultés

Nom de la réalisation : Forage ELVINA

Localisation :

Département Landes
Commune Saint-Paul Les Dax
XL2E (m) 326885.6
YL2E (m) 1862491.3
Z sol (NGF) 7.5

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature forage
Indice / Désignation 09771X0089/ELVINA
Date fin travaux / mise en service 01/07/1963
Profondeur (m) 134
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Crétacé supérieur
Zone productrice (m)
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C)
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu Thermes
 Adour
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme et
 embouteillage
documents consultés

Nom de la réalisation : AVENUE

Localisation :

Département Landes
Commune Prehacq-les-Bains
XL2E (m) 336630.4
YL2E (m) 1868430.8
Z sol (NGF) 10

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09506X0006/AVENUE
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 9.5
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Crétacé supérieur

Zone productrice (m)

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C)

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu

Maître d'Œuvre

usage Thermalisme

documents consultés

Nom de la réalisation : LABORDE-RAJA**Localisation :**

Département Landes
Commune Saubusse
XL2E (m) 315684.8
YL2E (m) 1859980
Z sol (NGF) 8

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09763X0086/F4
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 121.5
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Crétacé supérieur
Zone productrice (m)
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C)
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme
documents consultés

Nom de la réalisation : SEBASTOPOL

Localisation :

Département Landes
Commune Saint Paul lès Dax
XL2E (m) 321118
YL2E (m) 1865972
Z sol (NGF) 34.8

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09764X0005/FSE1-2
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 2155/ bouchon à 865
pour exploitation
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Crétacé supérieur

Zone productrice (m)

Transmissivité (m2/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C)

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu

Maître d'Œuvre

usage ancien forage pétrolier
transformé en forage eau 0876 4X 0082

documents consultés

Nom de la réalisation : CHRISTUS**Localisation :**

Département Landes
Commune Saint Paul lès Dax
XL2E (m) 325366.7
YL2E (m) 1864136.6
Z sol (NGF) 10

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09771X0163/SPDX1
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 1697
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Paléocène
Zone productrice (m)
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C)
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme
documents consultés

Nom de la réalisation : EF2

Localisation :

Département Landes
Commune Eugénie les Bains
XL2E (m) 380654
YL2E (m) 1858621
Z sol (NGF) 101

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09784X0025/EF2
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 89.6
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Eocène - Yprésien
Zone productrice (m)
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C)
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme
documents consultés

Nom de la réalisation : IMPERATRICE-EF1**Localisation :**

Département	Landes
Commune	Eugénie les Bains
XL2E (m)	380628.4
YL2E (m)	1858656.4
Z sol (NGF)	99.3

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature	Forage
Indice / Désignation	09784X0024/EUGENI
Date fin travaux / mise en service	
Profondeur (m)	87.55
Débit artésien (m3/h)	
Pompe	
Débit de pompage possible (m3/h)	

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté	Eocène - Yprésien
Zone productrice (m)	
Transmissivité (m2/s)	
Faciès chimique de l'eau	
Température init Aquif / Surface (°C)	
salinité (mg/l)	
Conductivité (µS/cm)	
Fer (mg/l)	
Problème de corrosion	
Exploitant et usage :	
Maître d'ouvrage/Exploitant connu	
Maître d'Œuvre	
usage	Thermalisme
documents consultés	

Nom de la réalisation : CHRISTINE-MARIE

Localisation :

Département Landes
Commune Eugénie les Bains
XL2E (m) 380638.4
YL2E (m) 1858647.4
Z sol (NGF) 99.6

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09784X0018/F
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 260
Débit artésien (m³/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m³/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Eocène - Yprésien

Zone productrice (m)

Transmissivité (m²/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C)

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu

Maître d'Œuvre

usage Thermalisme

documents consultés

Nom de la réalisation : AQUA IMPERATRICE**Localisation :**

Département Landes
Commune Eugénie les Bains
XL2E (m) 381409
YL2E (m) 1858563
Z sol (NGF) 107

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09784X0036/ALIENO
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 131.6
Débit artésien (m3/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m3/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Eocène - Yprésien
Zone productrice (m)
Transmissivité (m2/s)
Faciès chimique de l'eau
Température init Aquif / Surface (°C)
salinité (mg/l)
Conductivité (µS/cm)
Fer (mg/l)
Problème de corrosion
Exploitant et usage :
Maître d'ouvrage/Exploitant connu
Maître d'Œuvre
usage Thermalisme
documents consultés

Nom de la réalisation : MARIE-CHRISTINE

Localisation :

Département Landes
Commune Eugénie les Bains
XL2E (m) 380634
YL2E (m) 1858611
Z sol (NGF) 91

Caractéristiques de l'ouvrage :

nature Forage
Indice / Désignation 09784X0011/F
Date fin travaux / mise en service
Profondeur (m) 272
Débit artésien (m³/h)
Pompe
Débit de pompage possible (m³/h)

Caractéristiques Aquifère :

Aquifère capté Eocène - Yprésien

Zone productrice (m)

Transmissivité (m²/s)

Faciès chimique de l'eau

Température init Aquif / Surface (°C)

salinité (mg/l)

Conductivité (µS/cm)

Fer (mg/l)

Problème de corrosion

Exploitant et usage :

Maître d'ouvrage/Exploitant connu

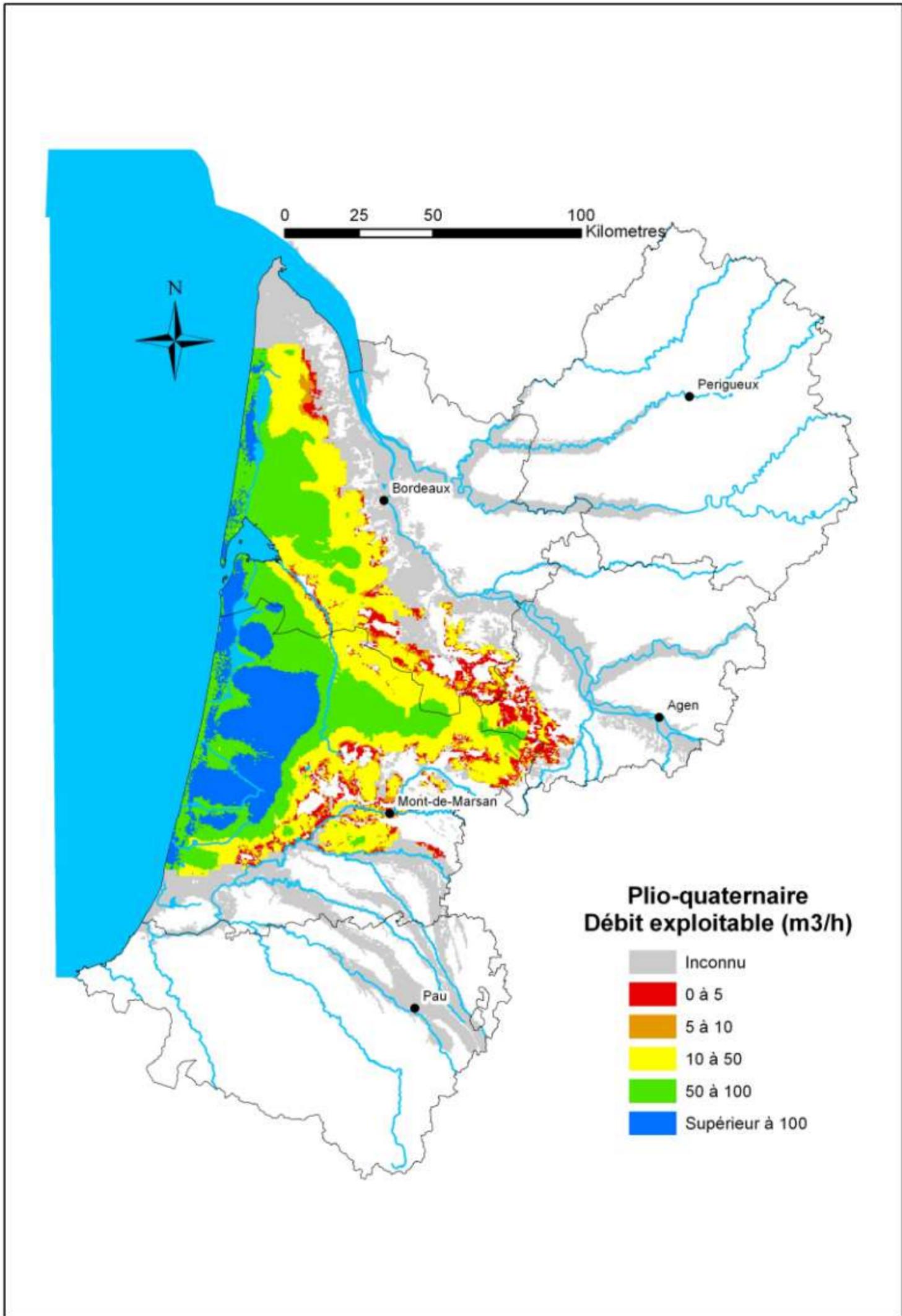
Maître d'Œuvre

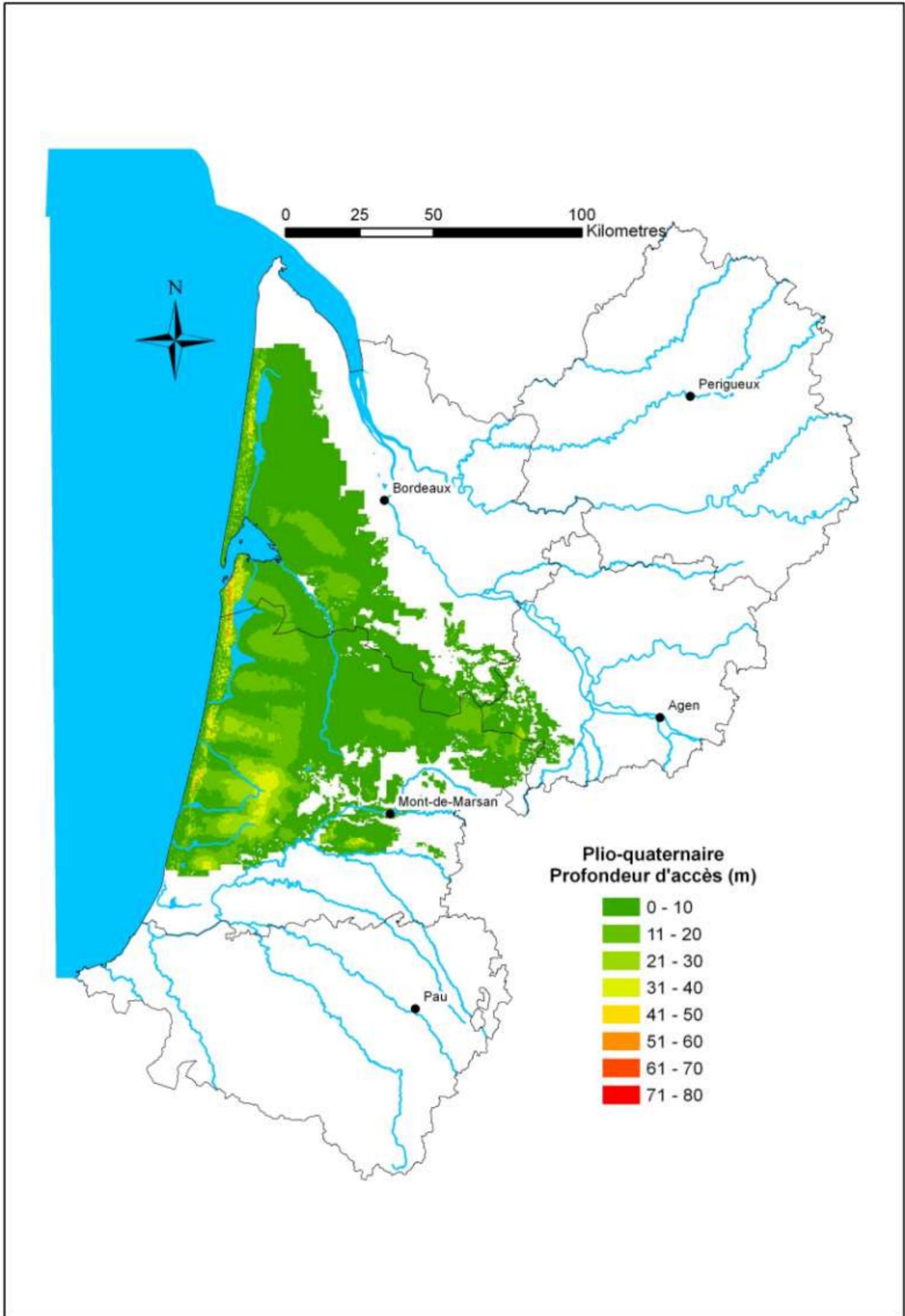
usage Thermalisme

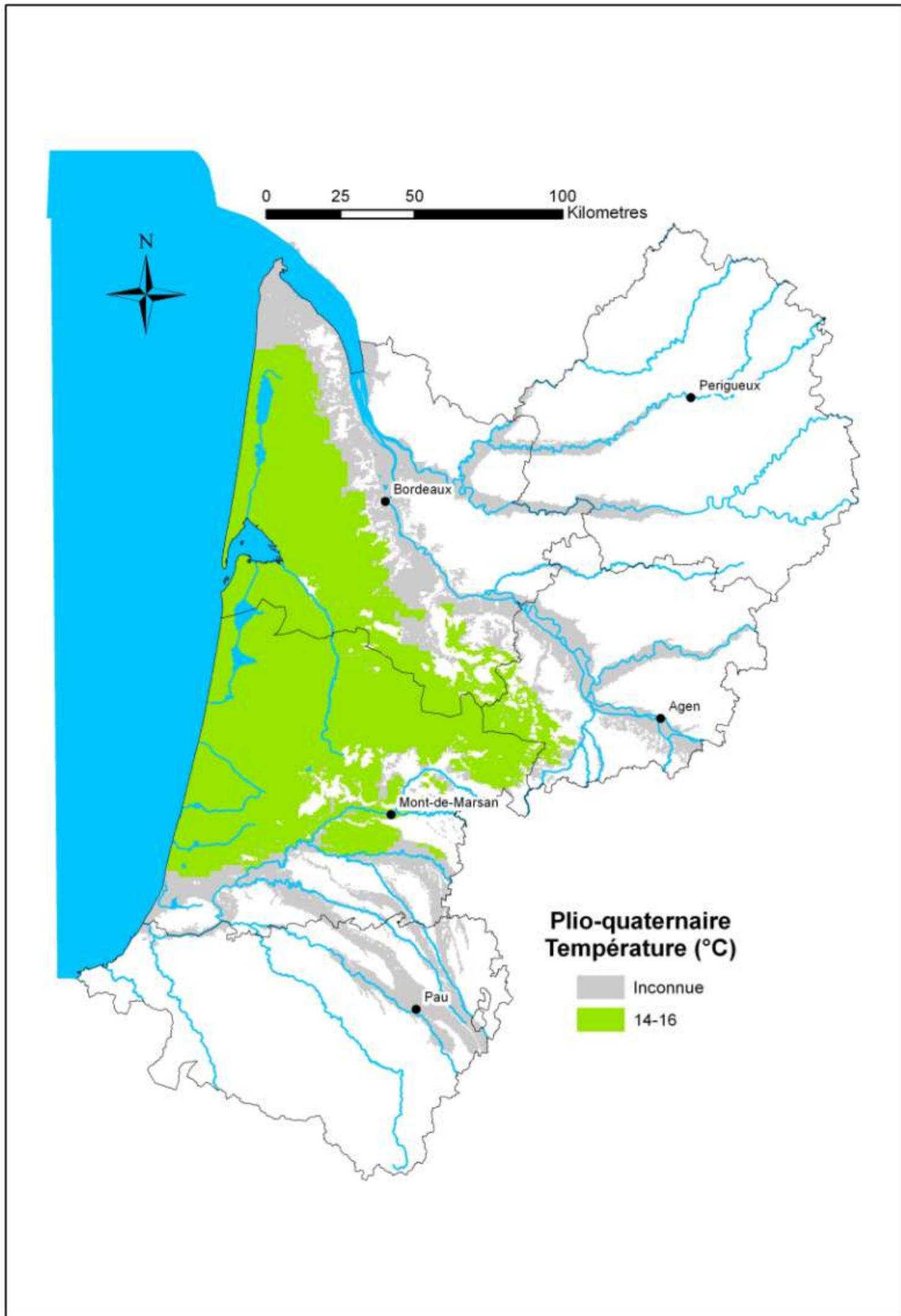
documents consultés

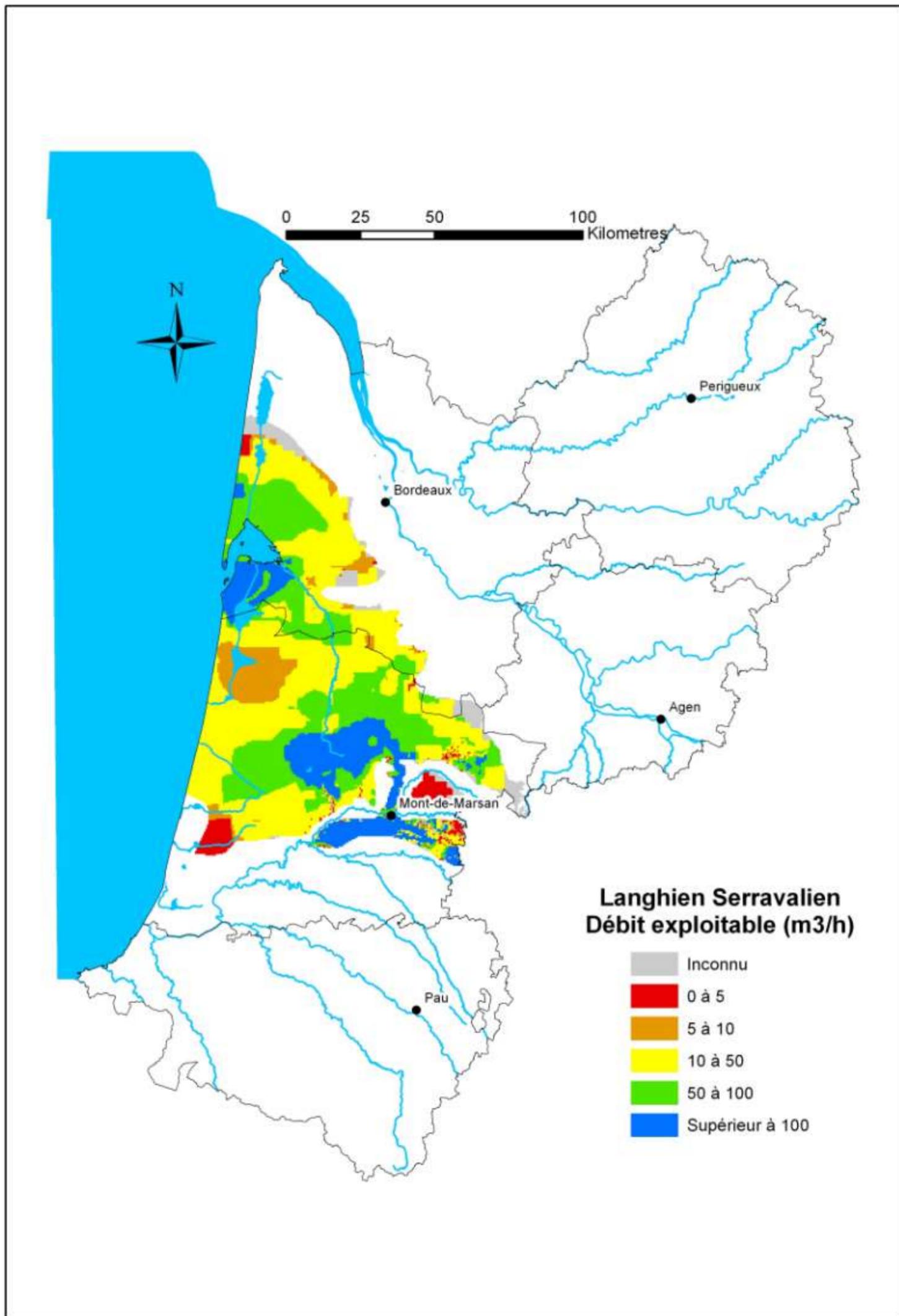
Annexe 8

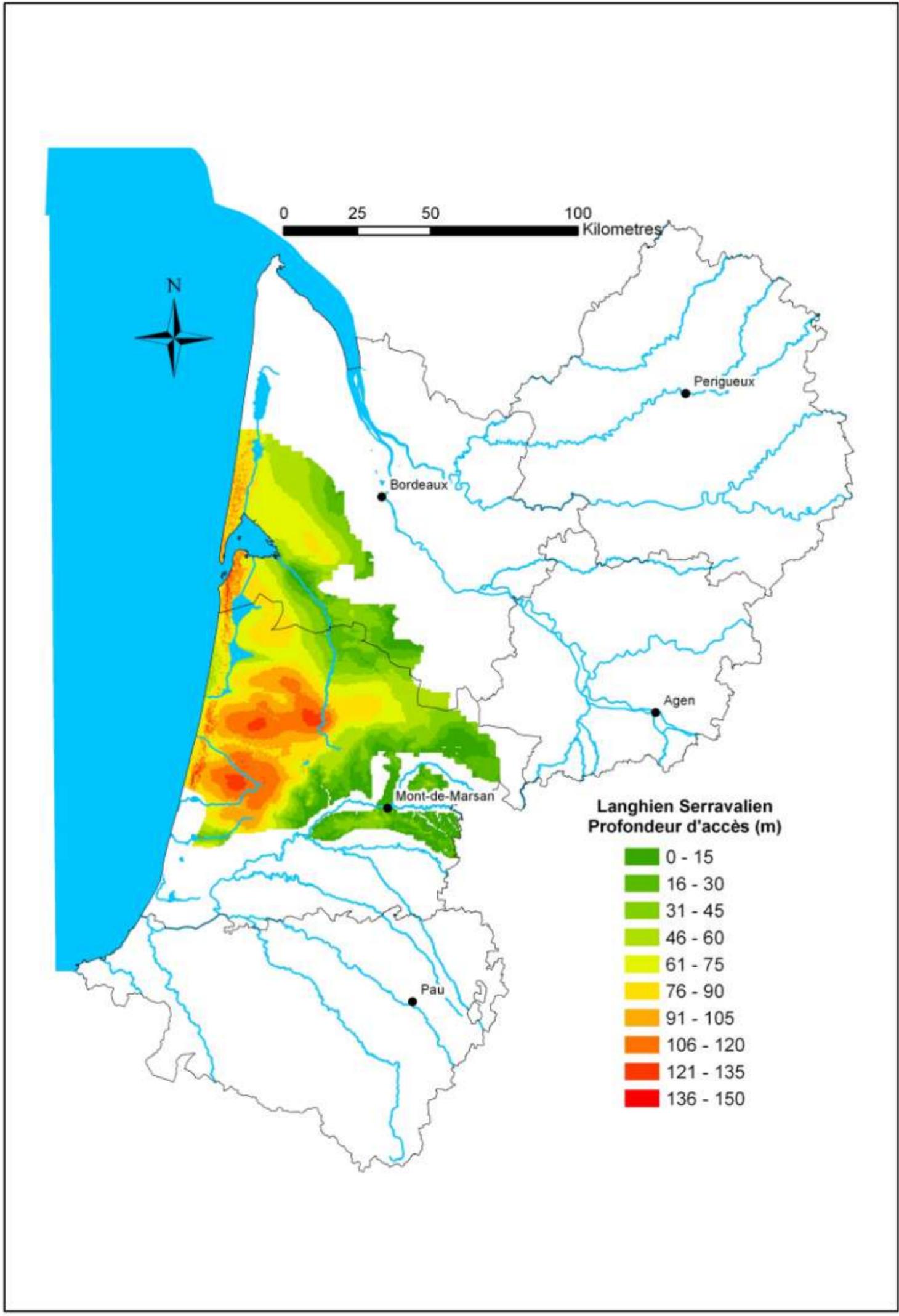
Cartes des critères de potentialité géothermique par aquifère

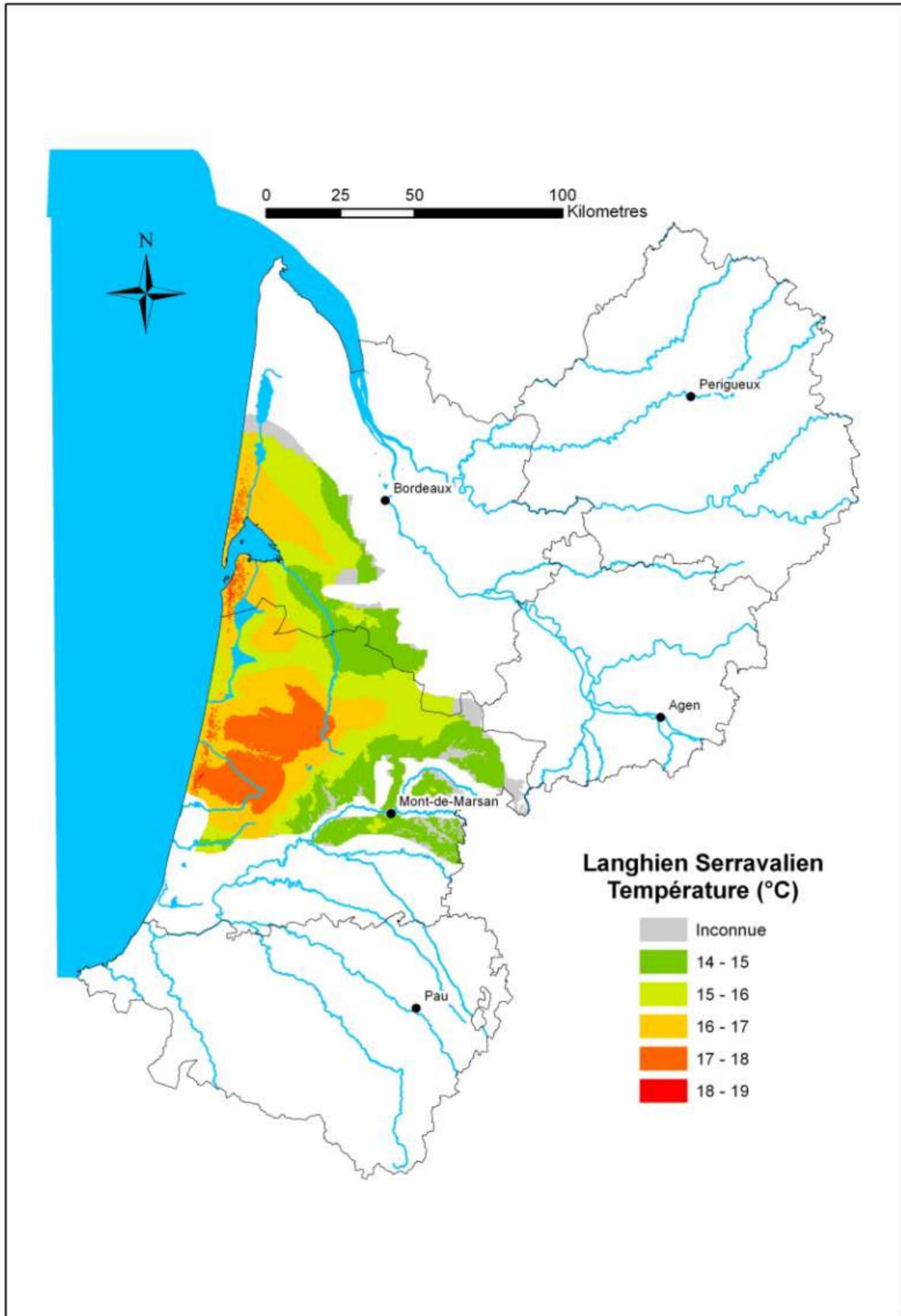


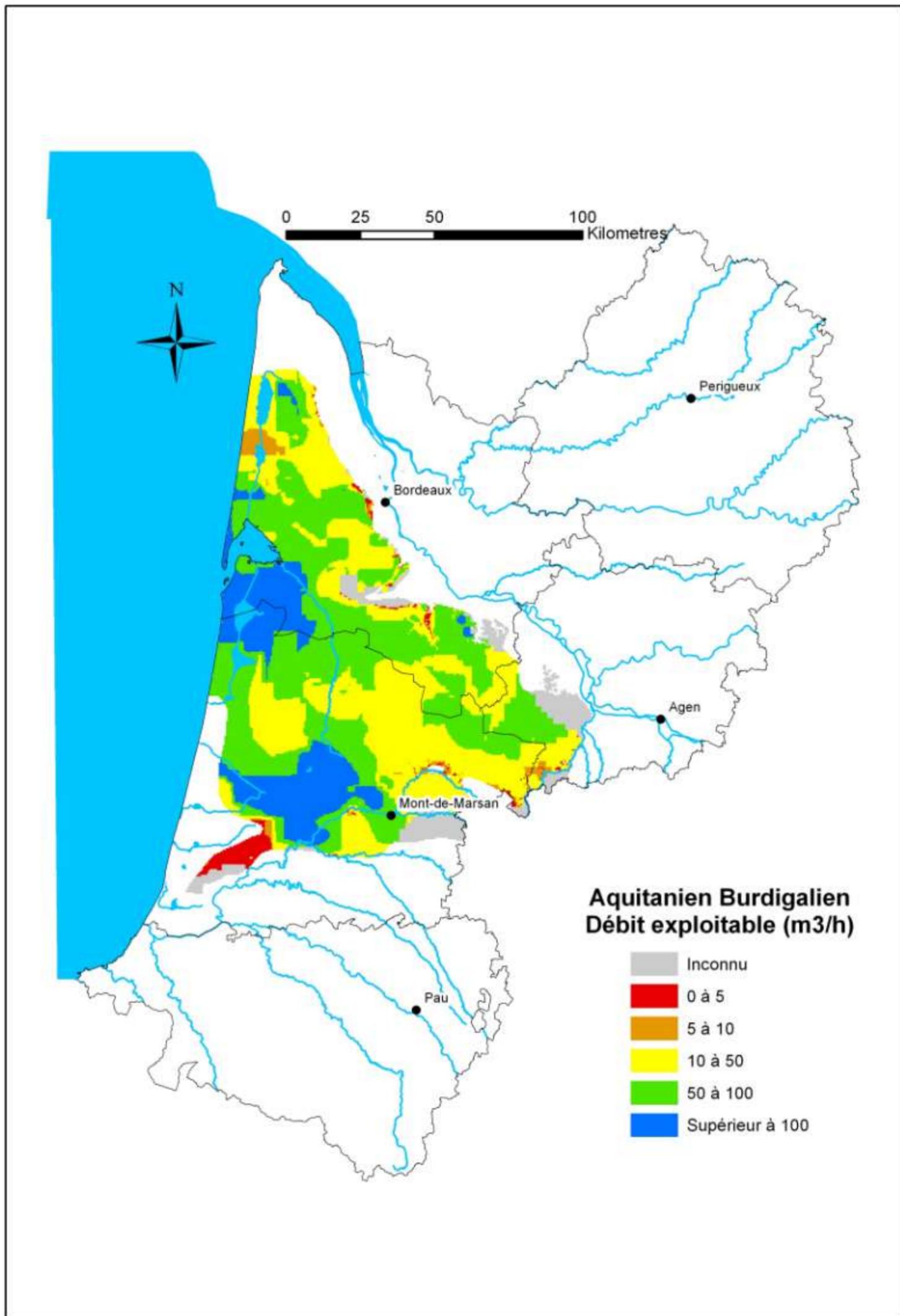


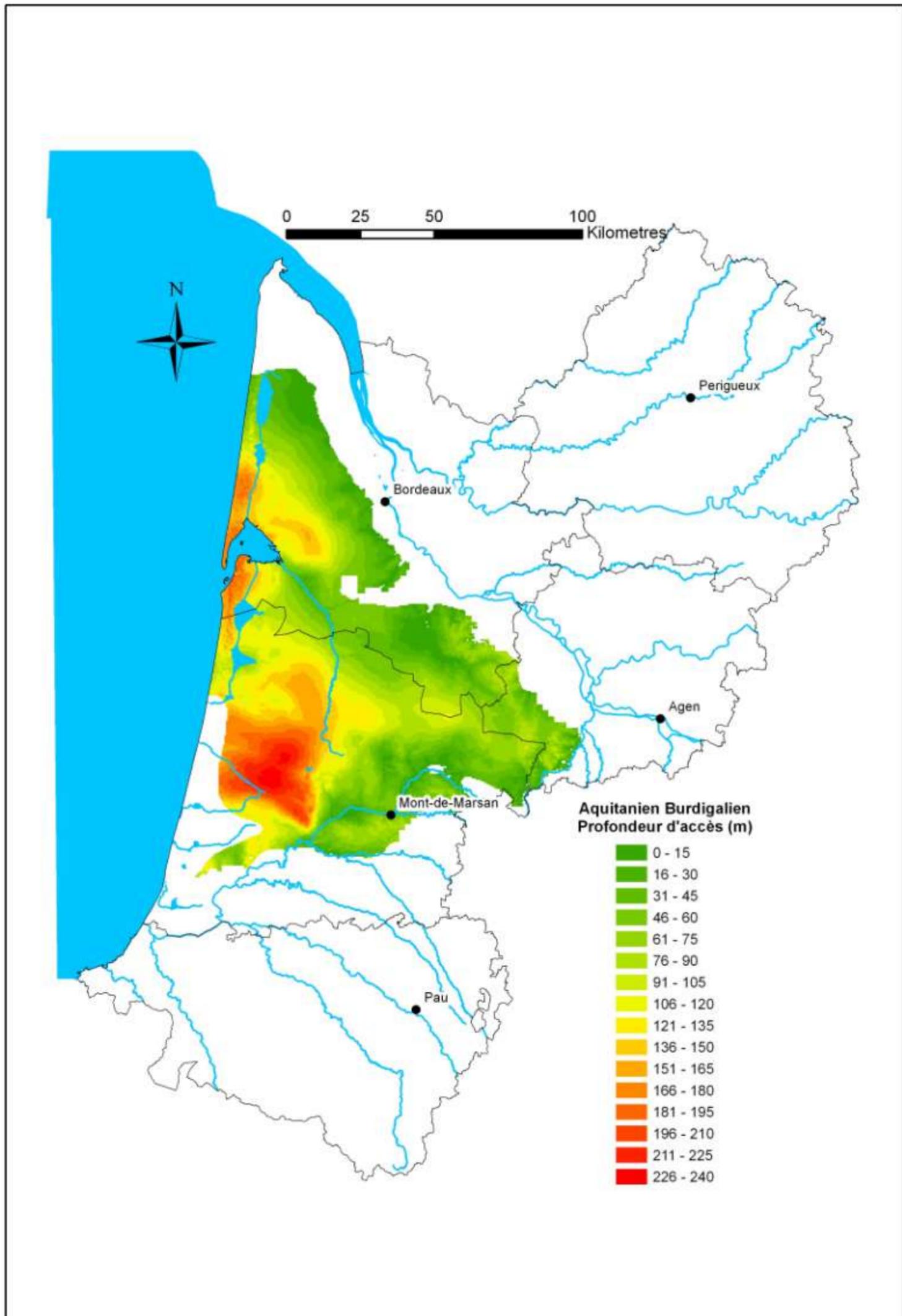


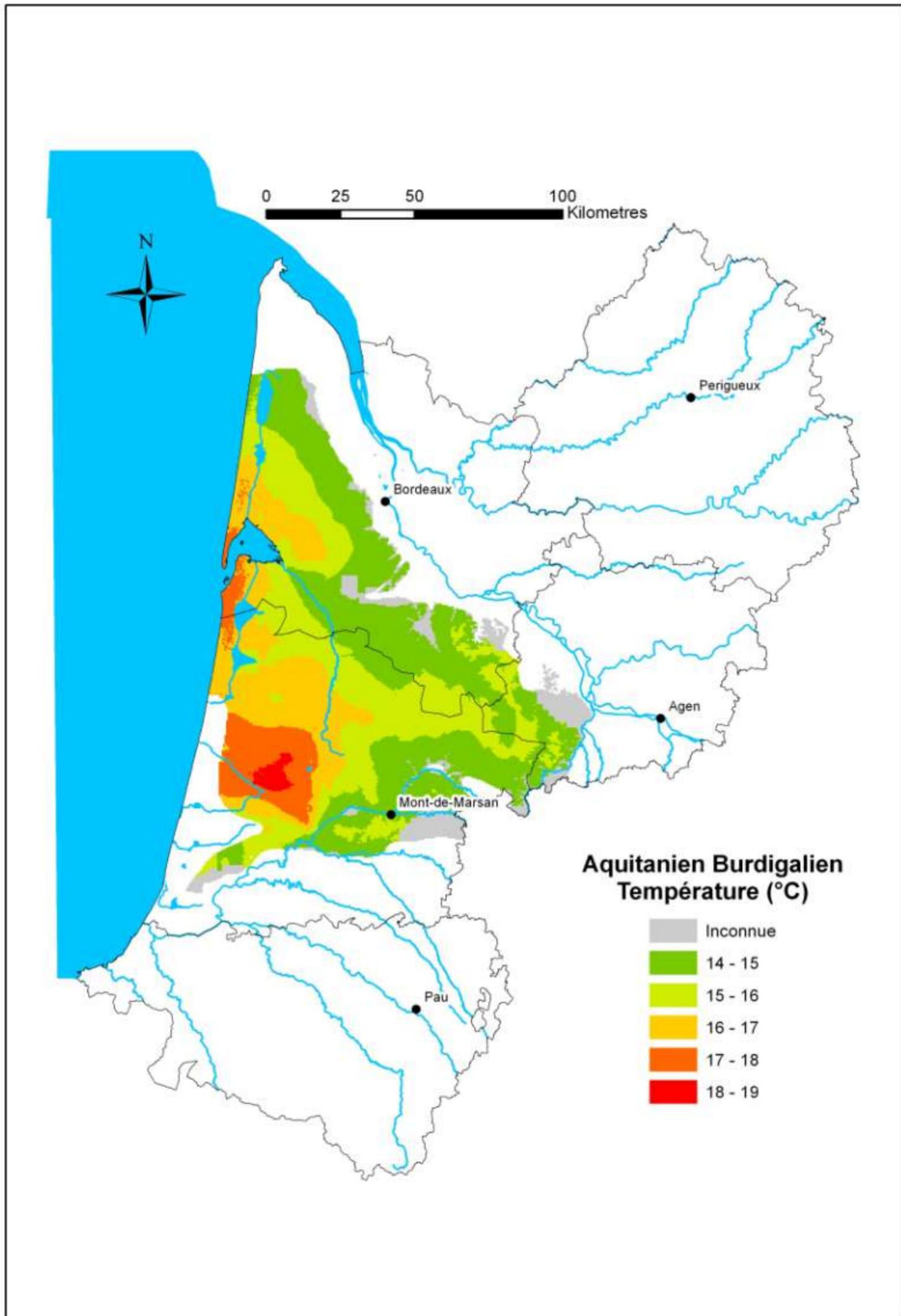


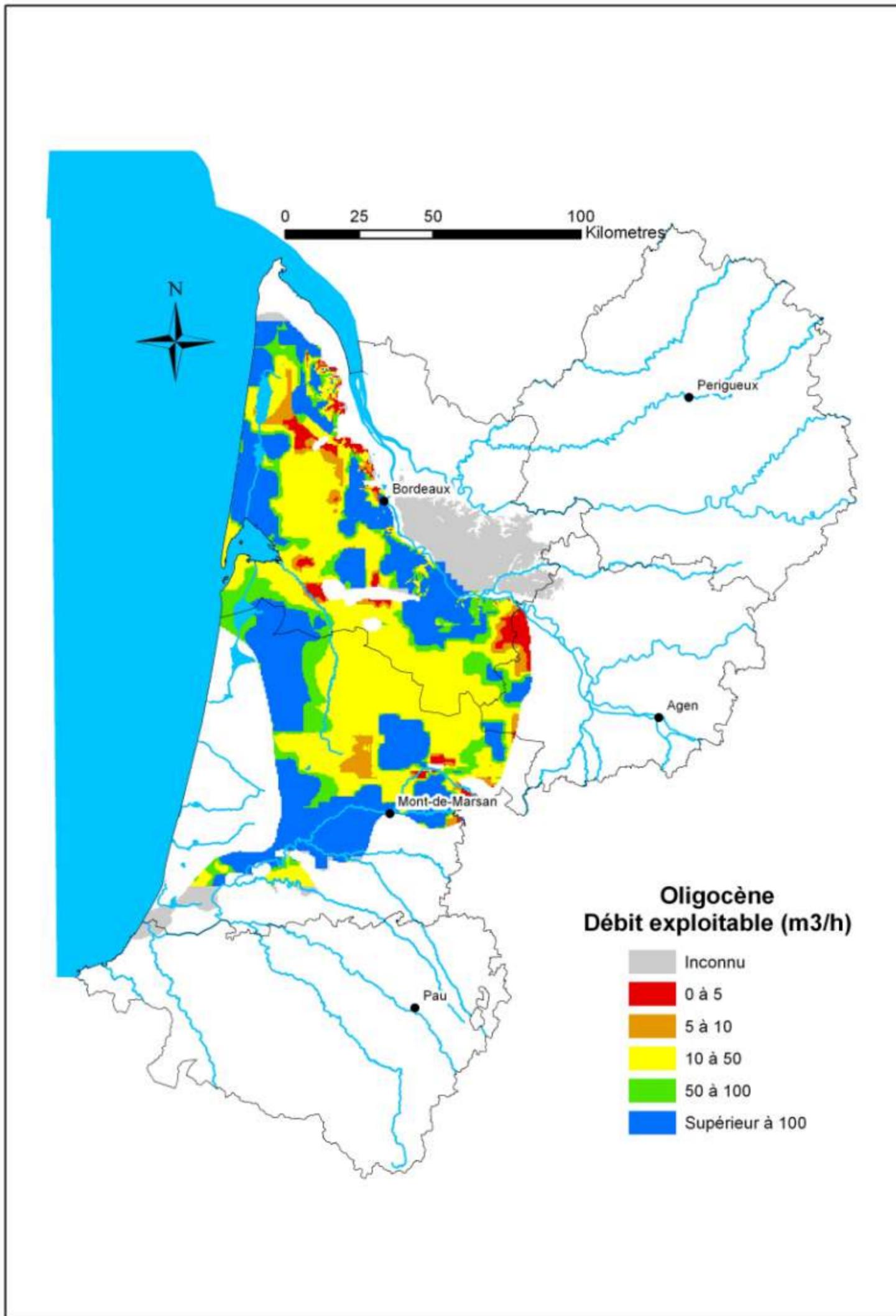


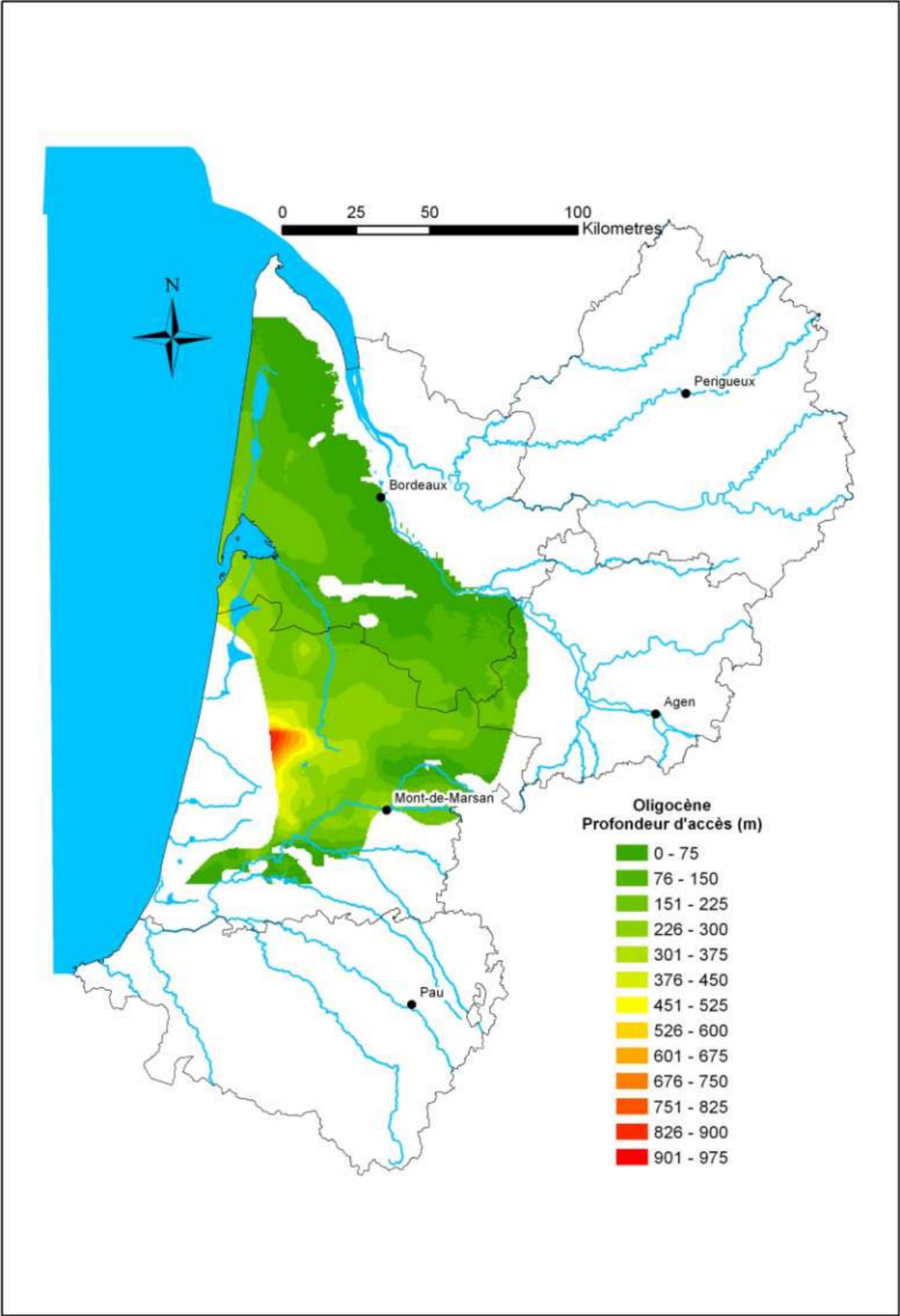


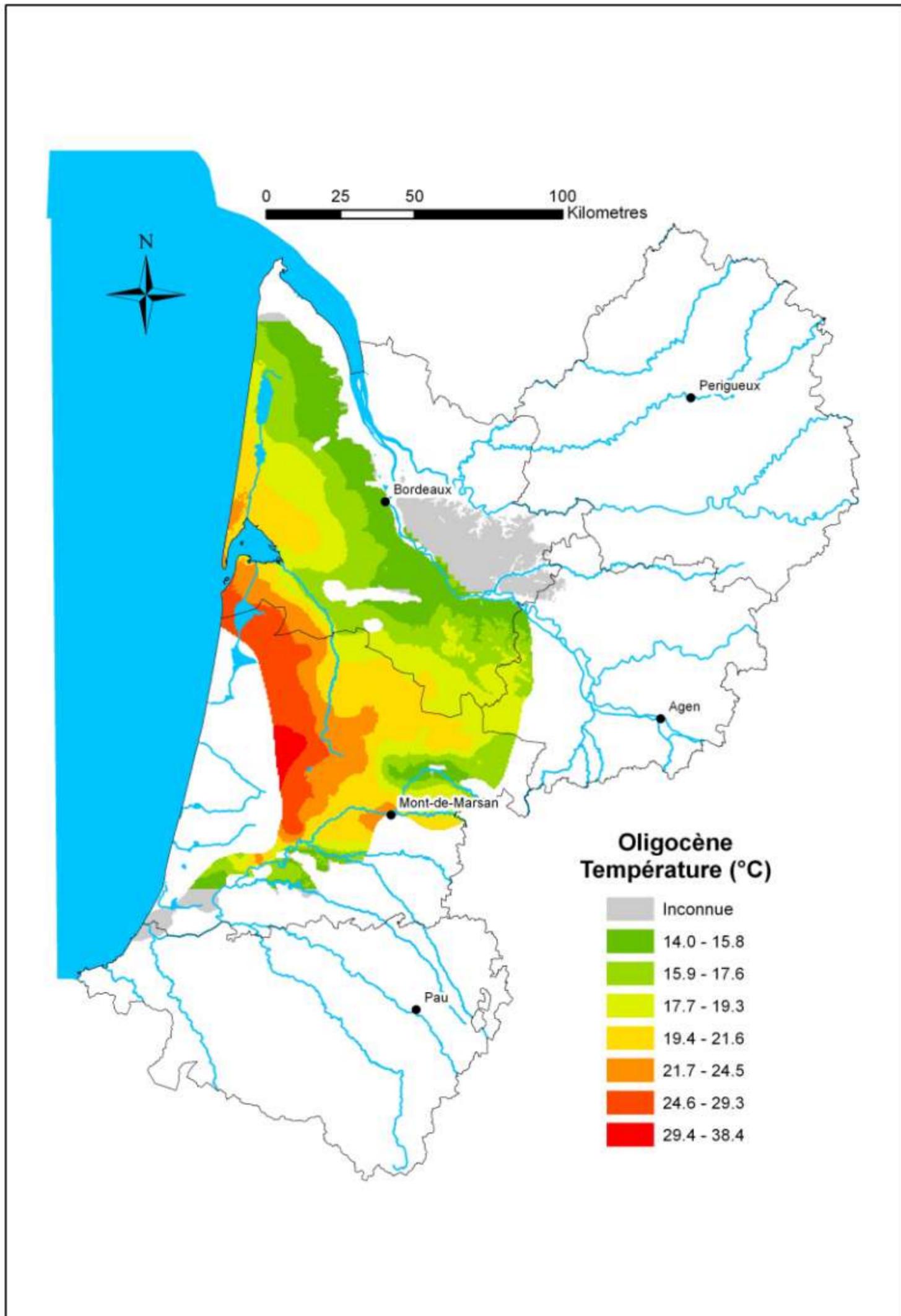


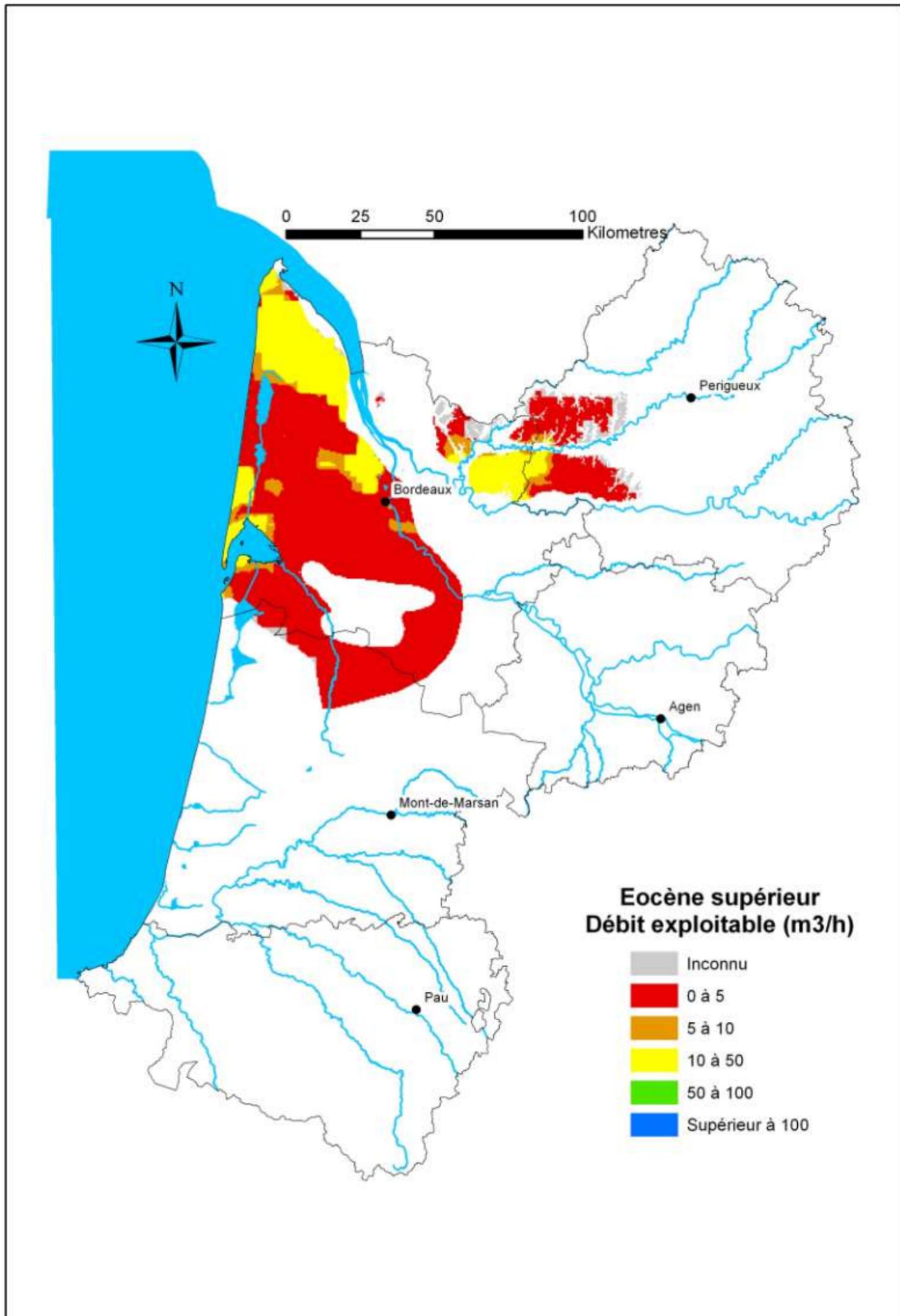


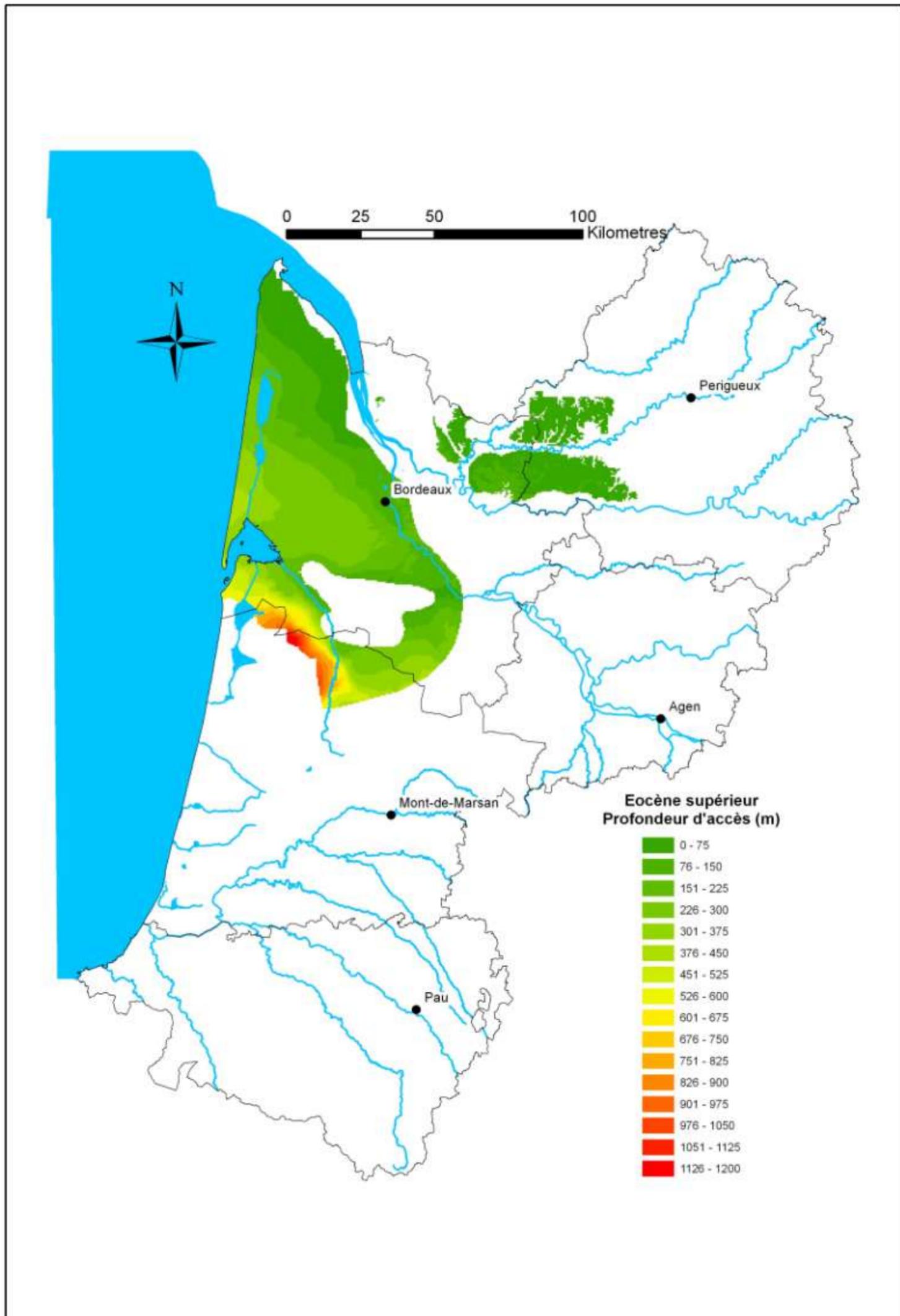


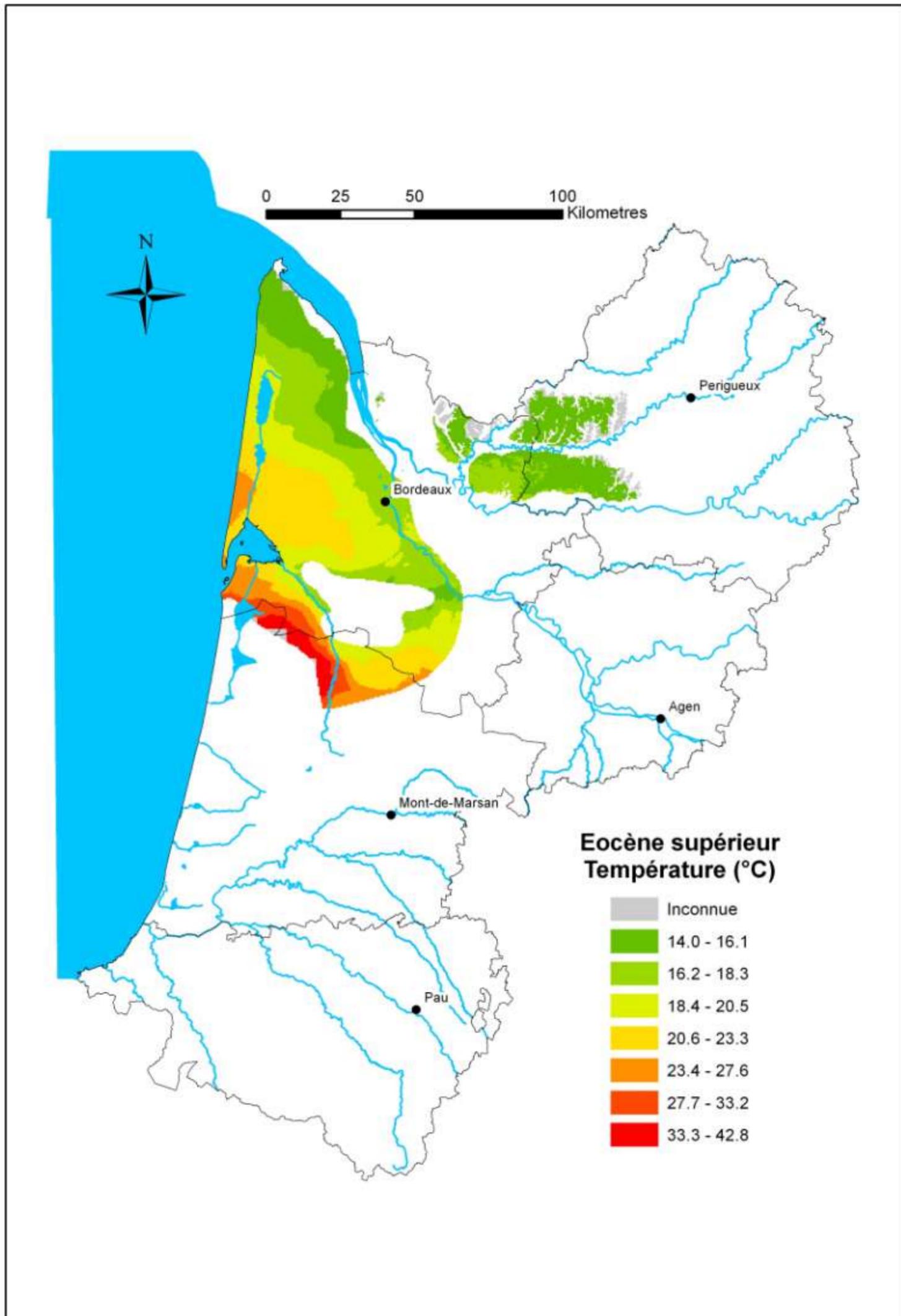


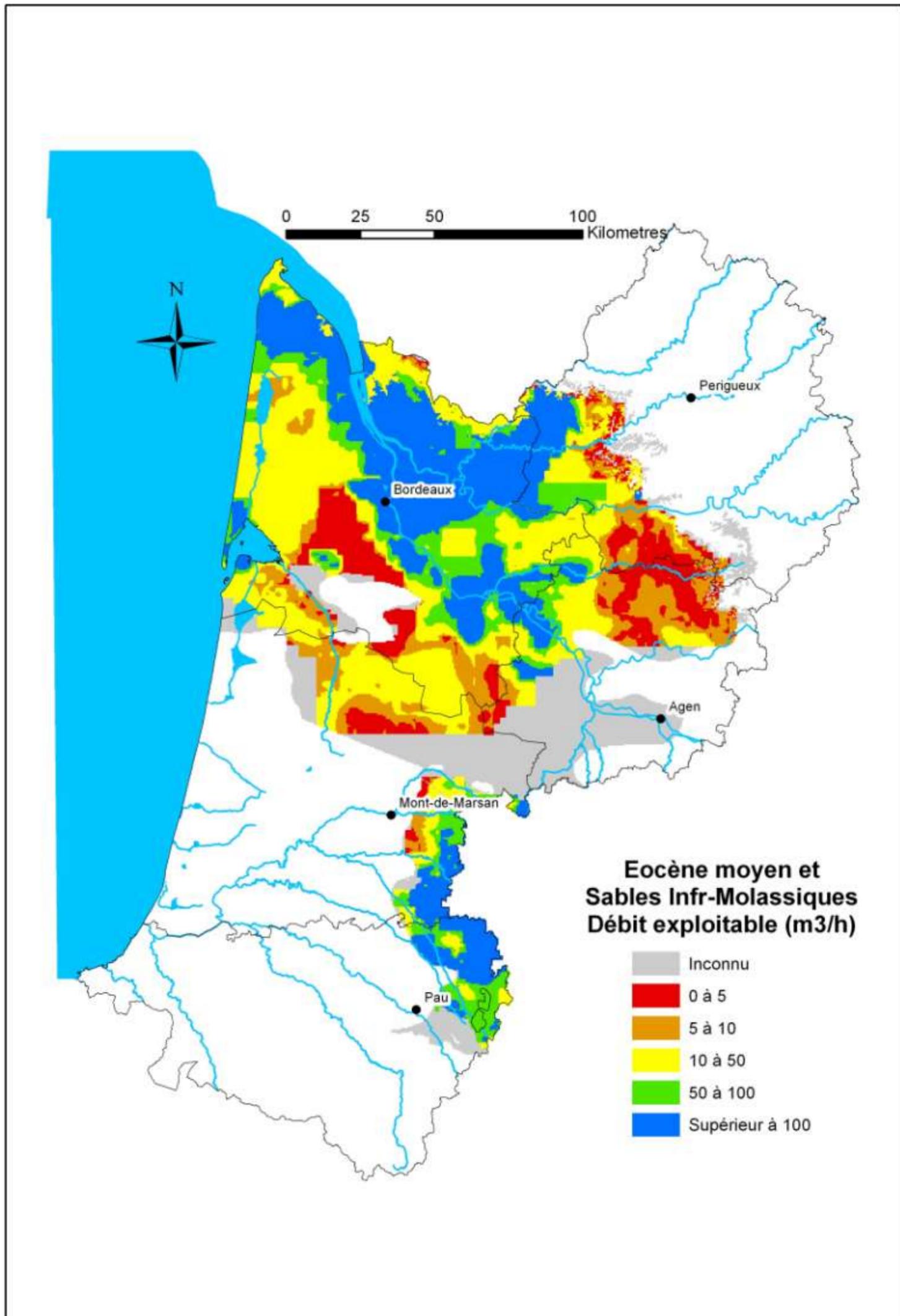


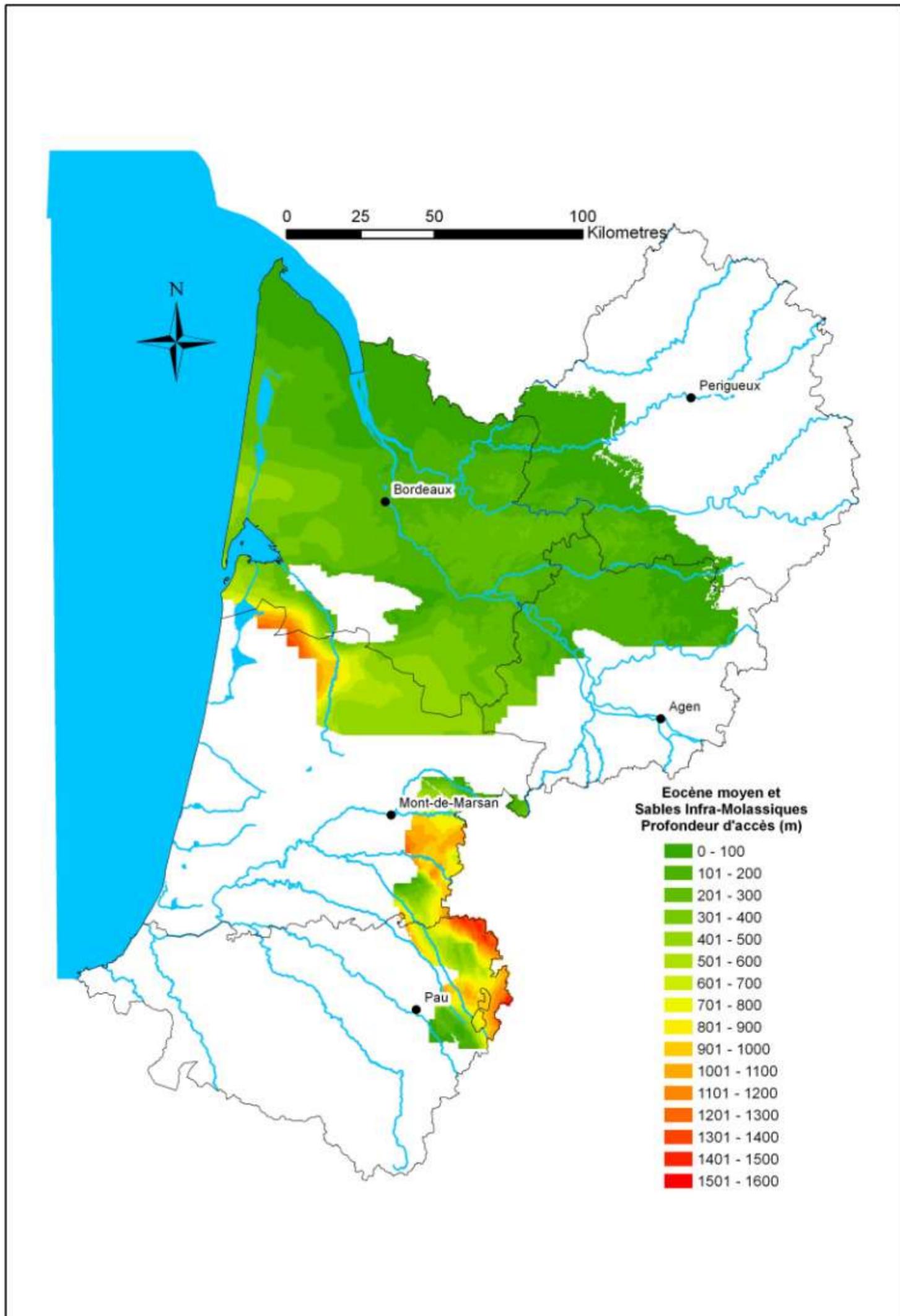


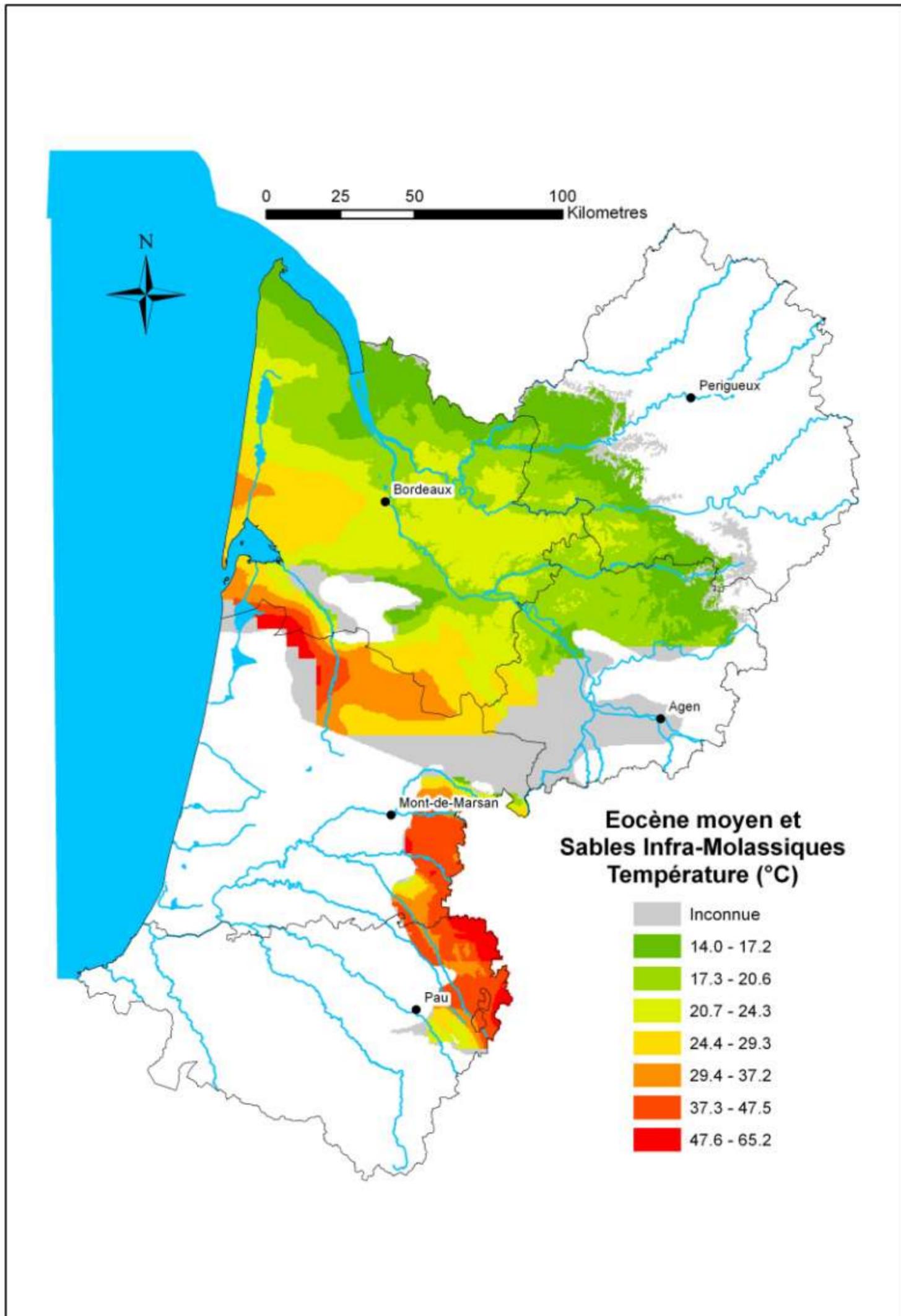


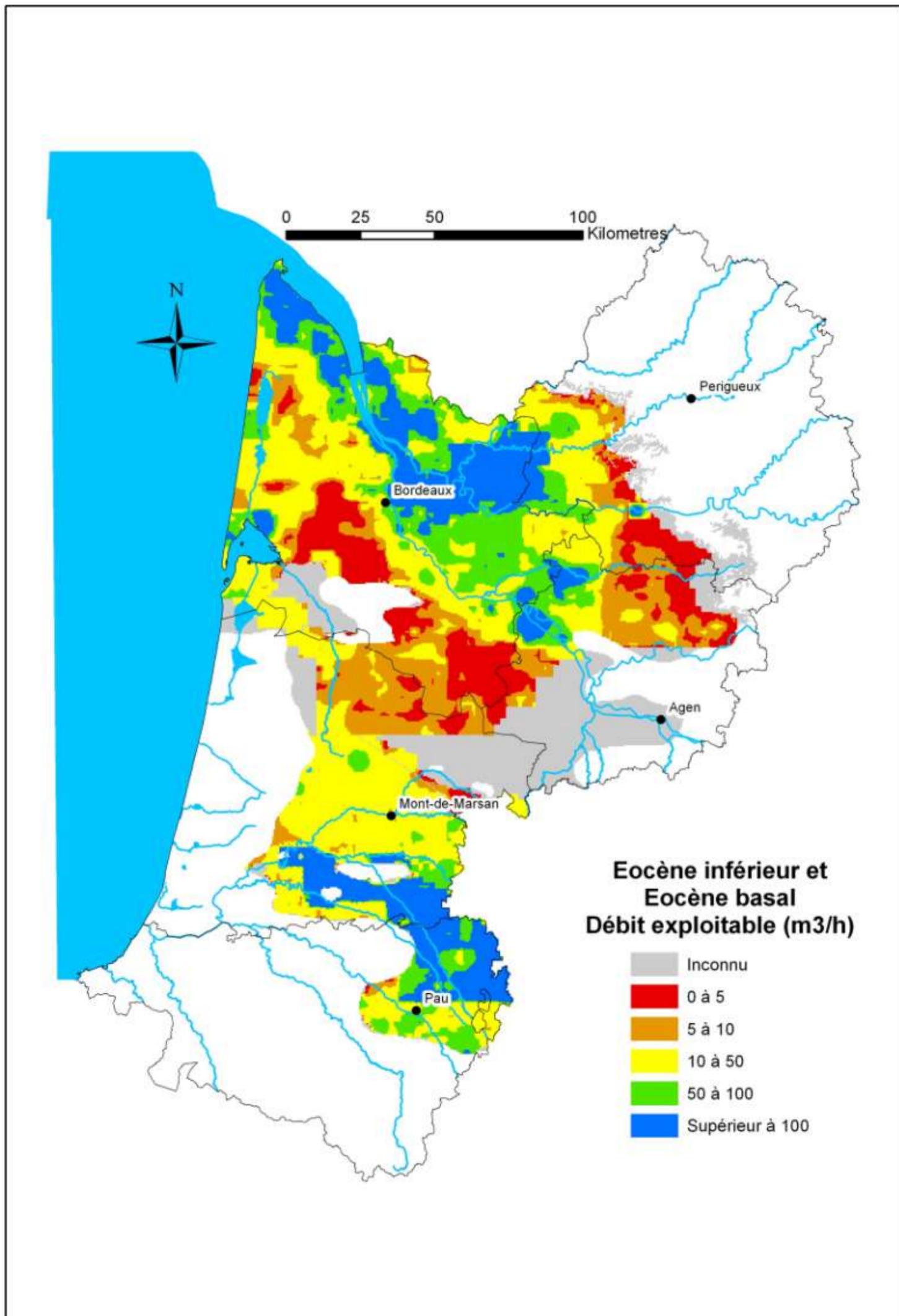


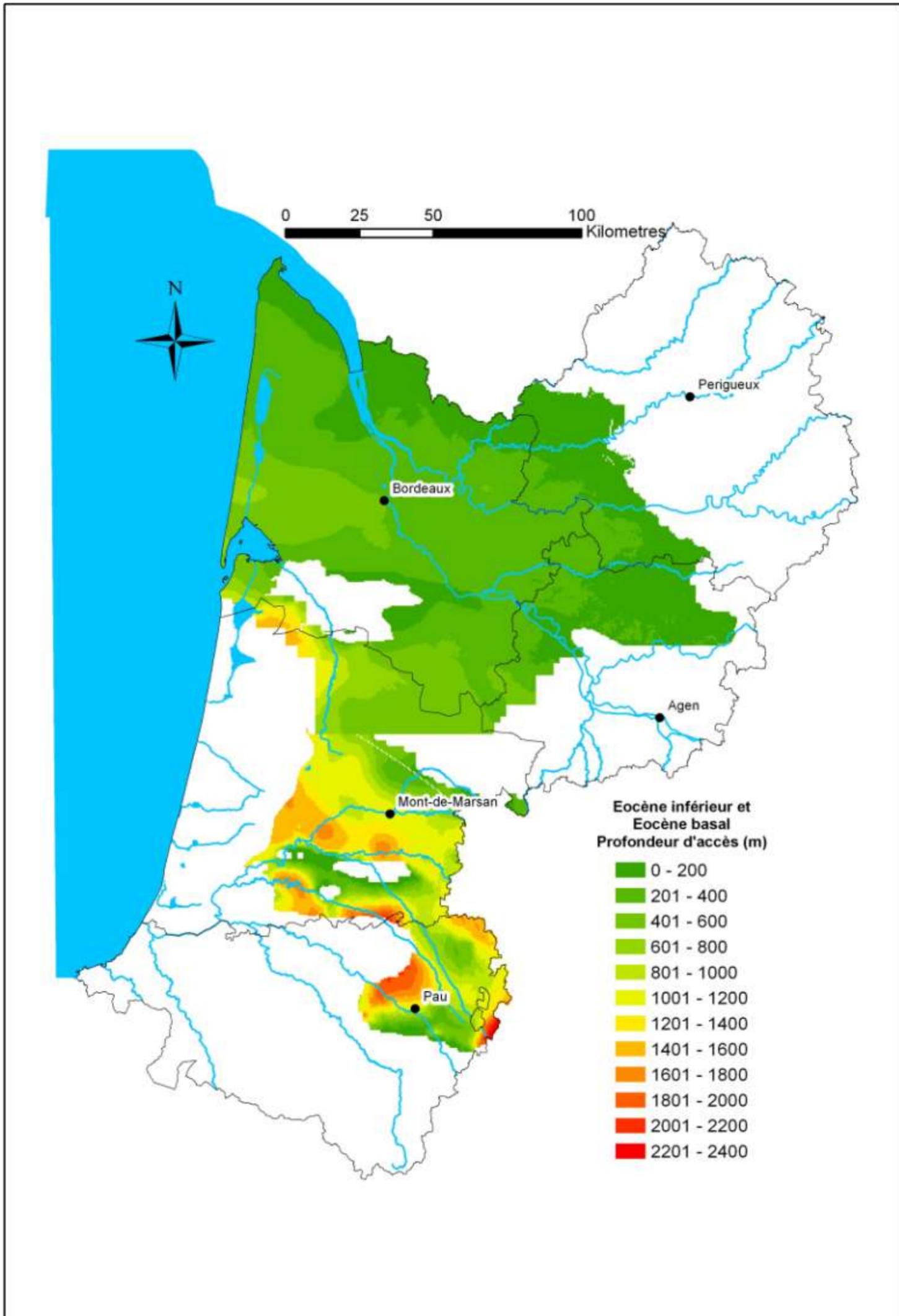


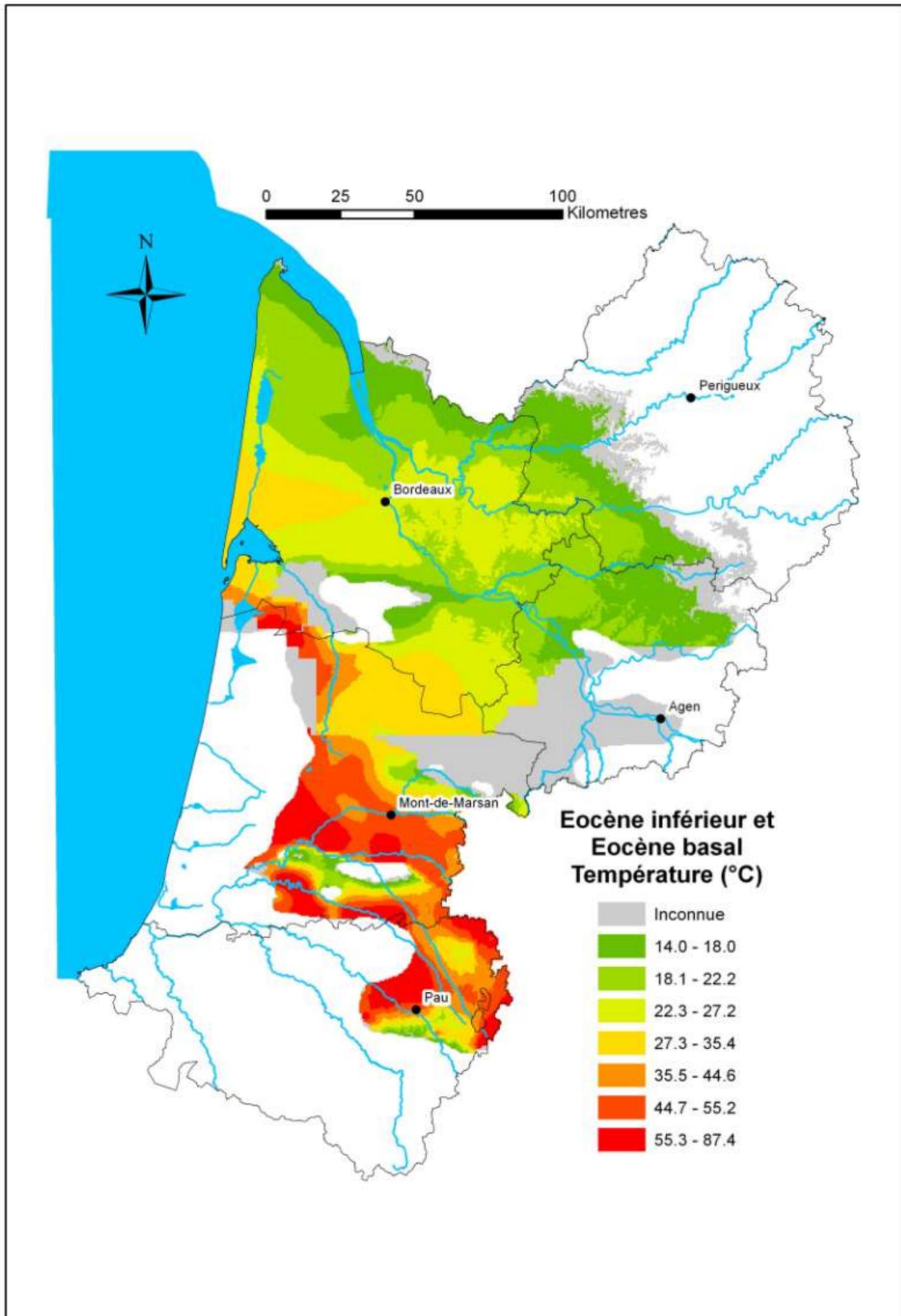


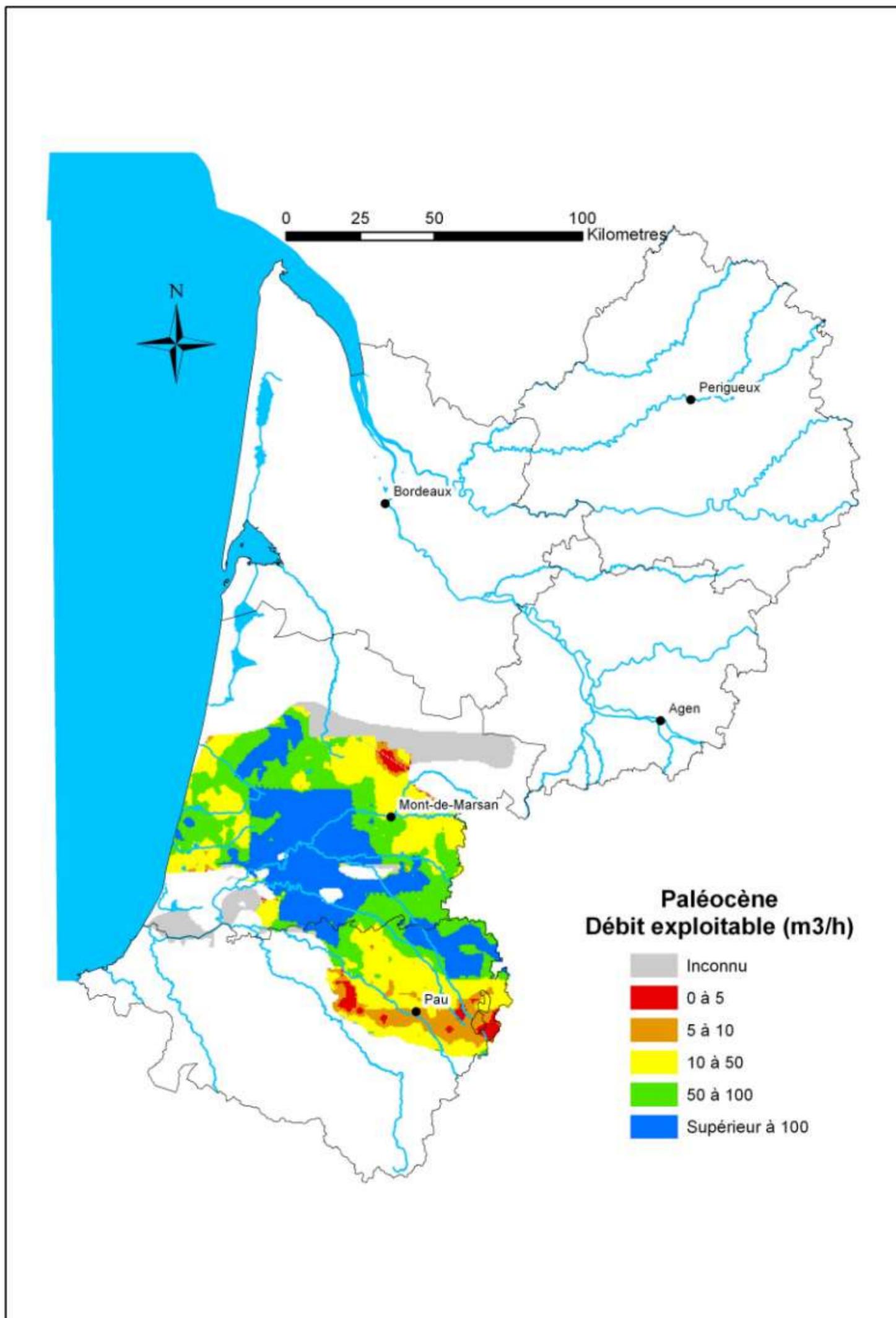


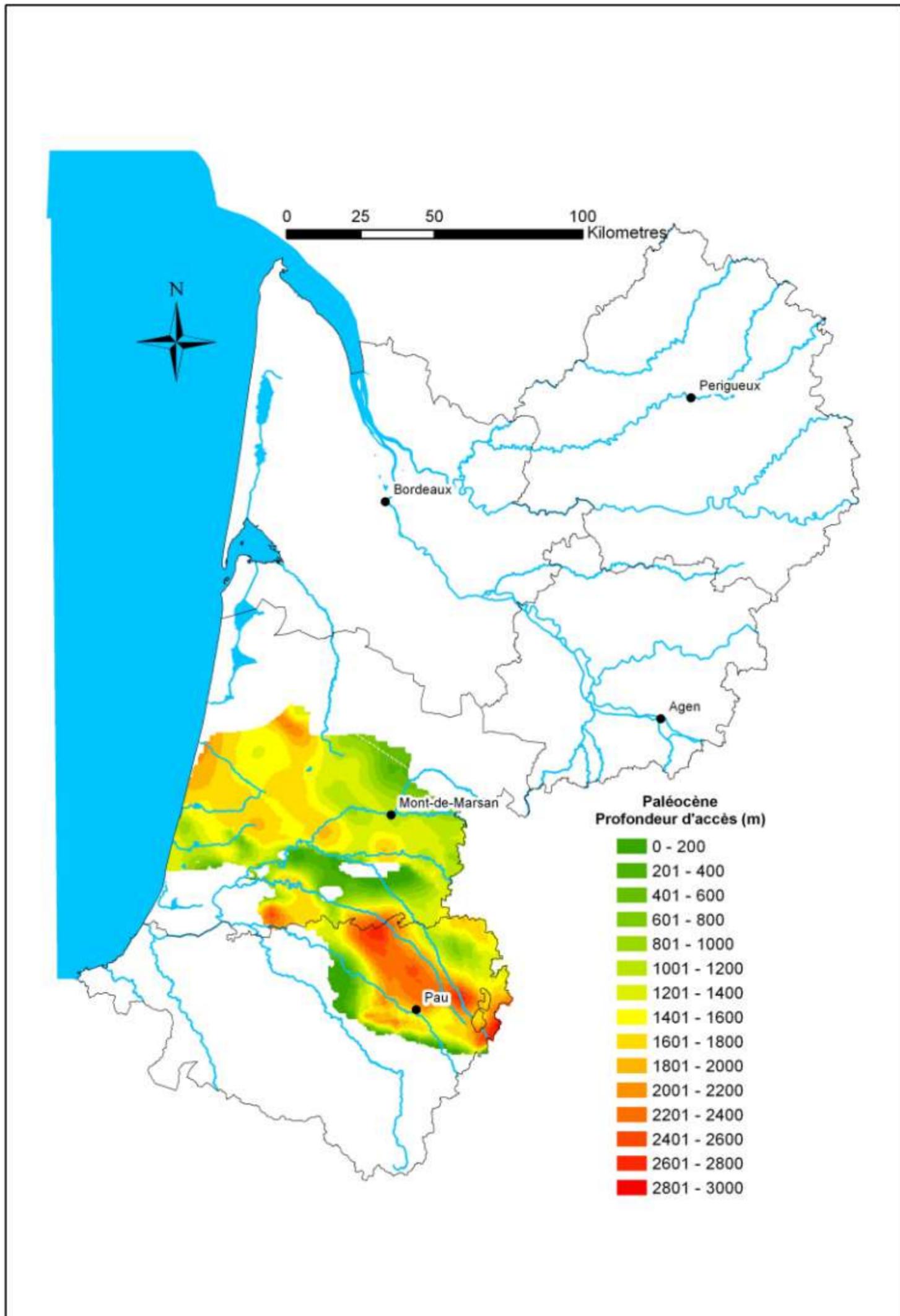


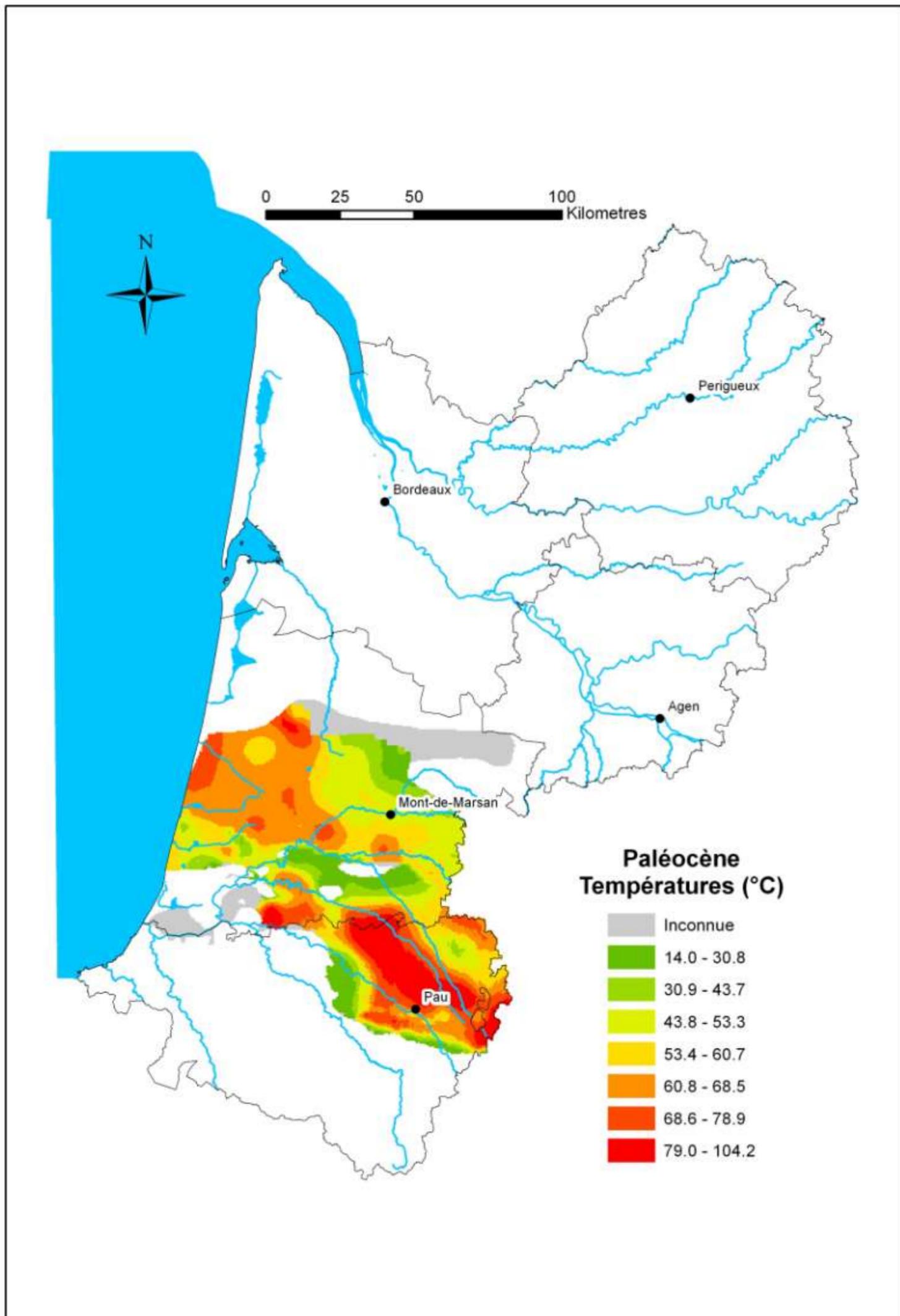


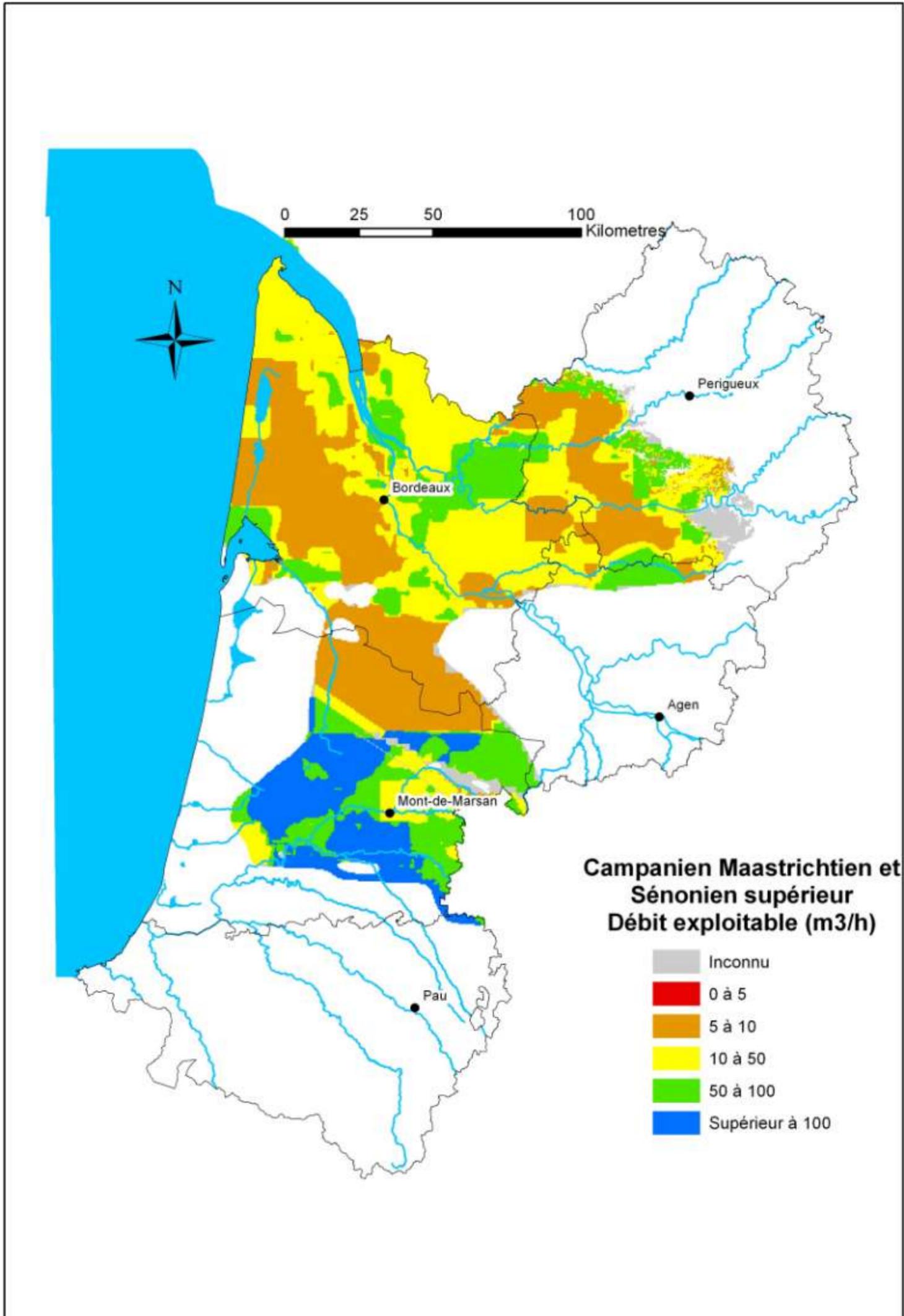


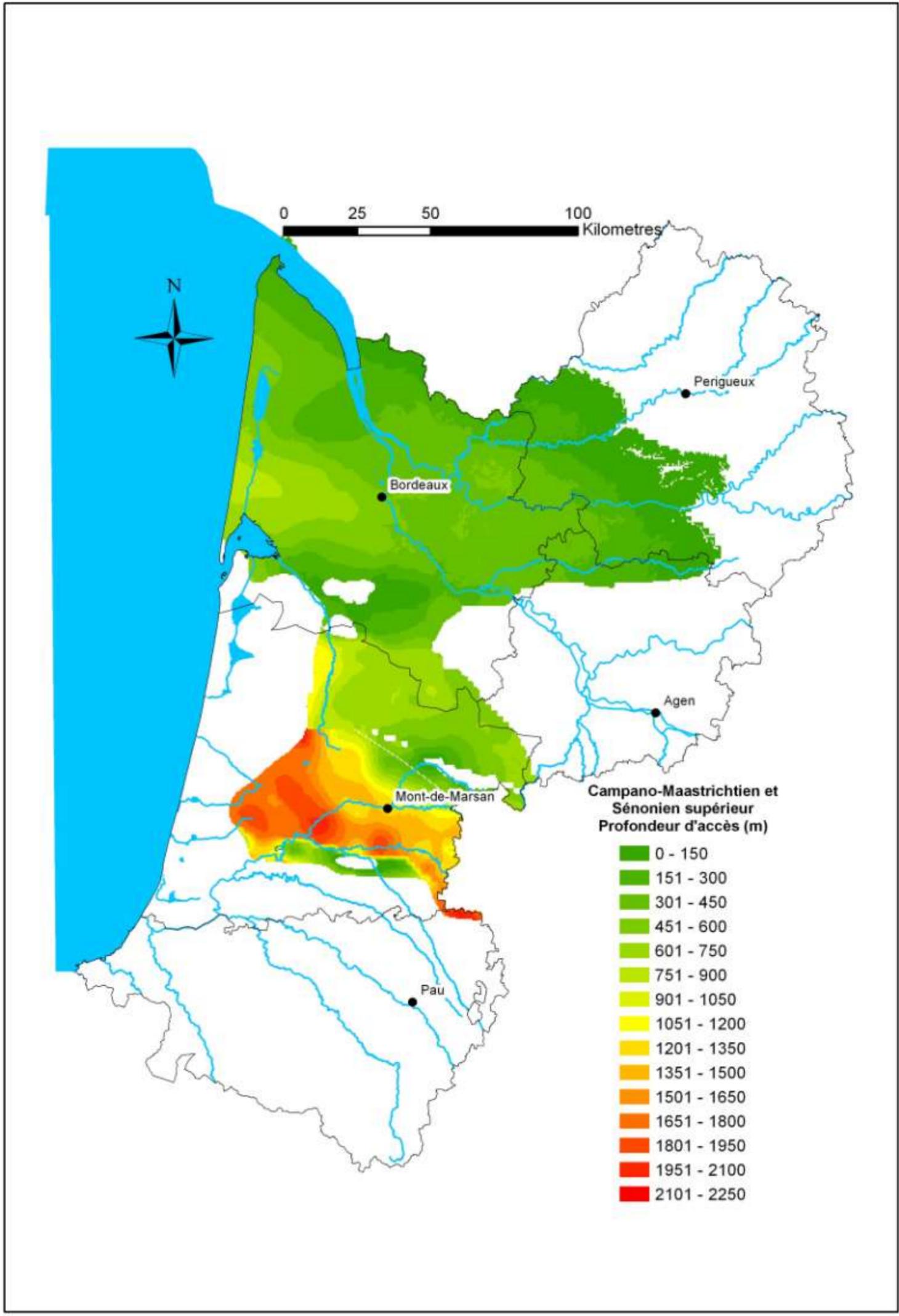


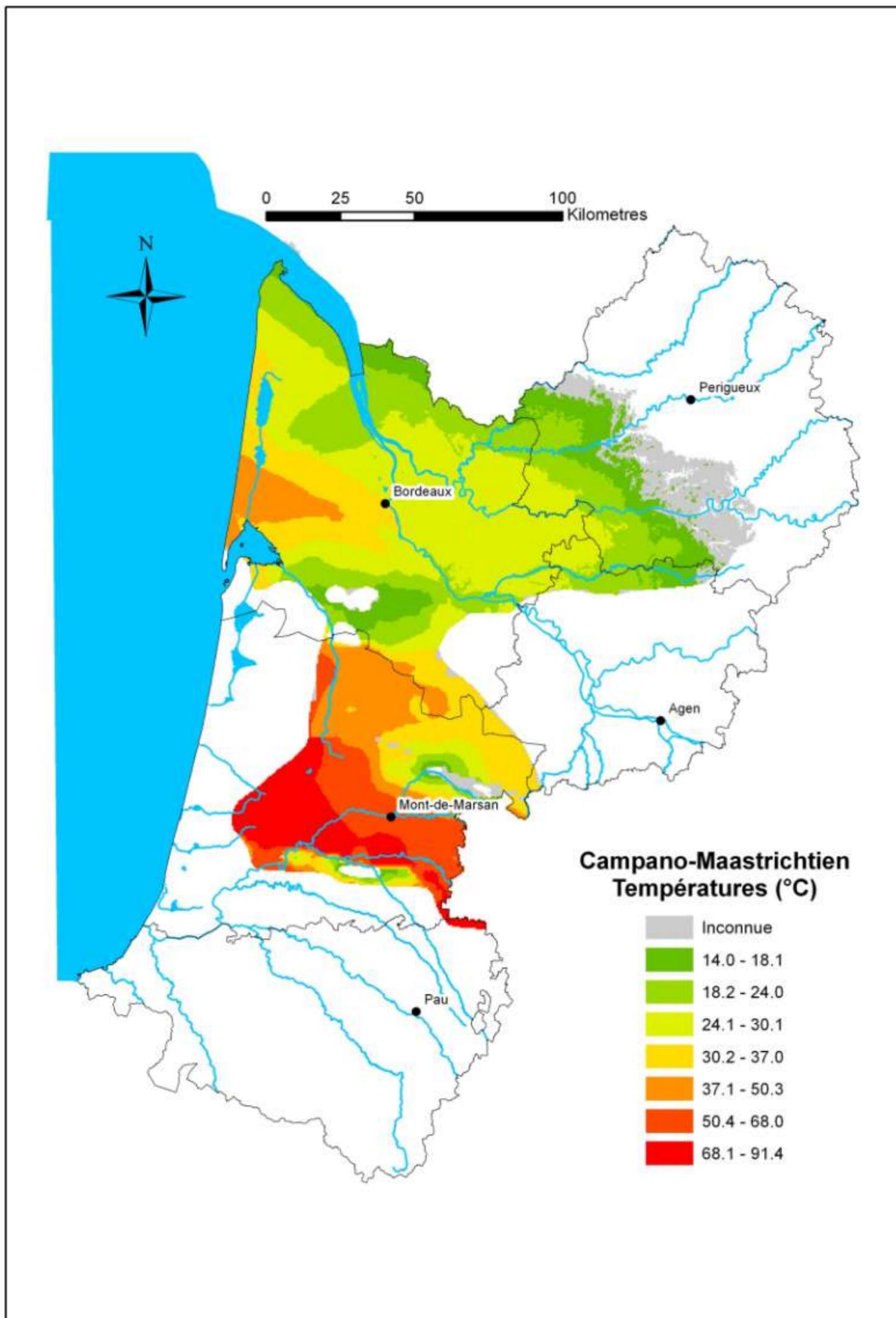


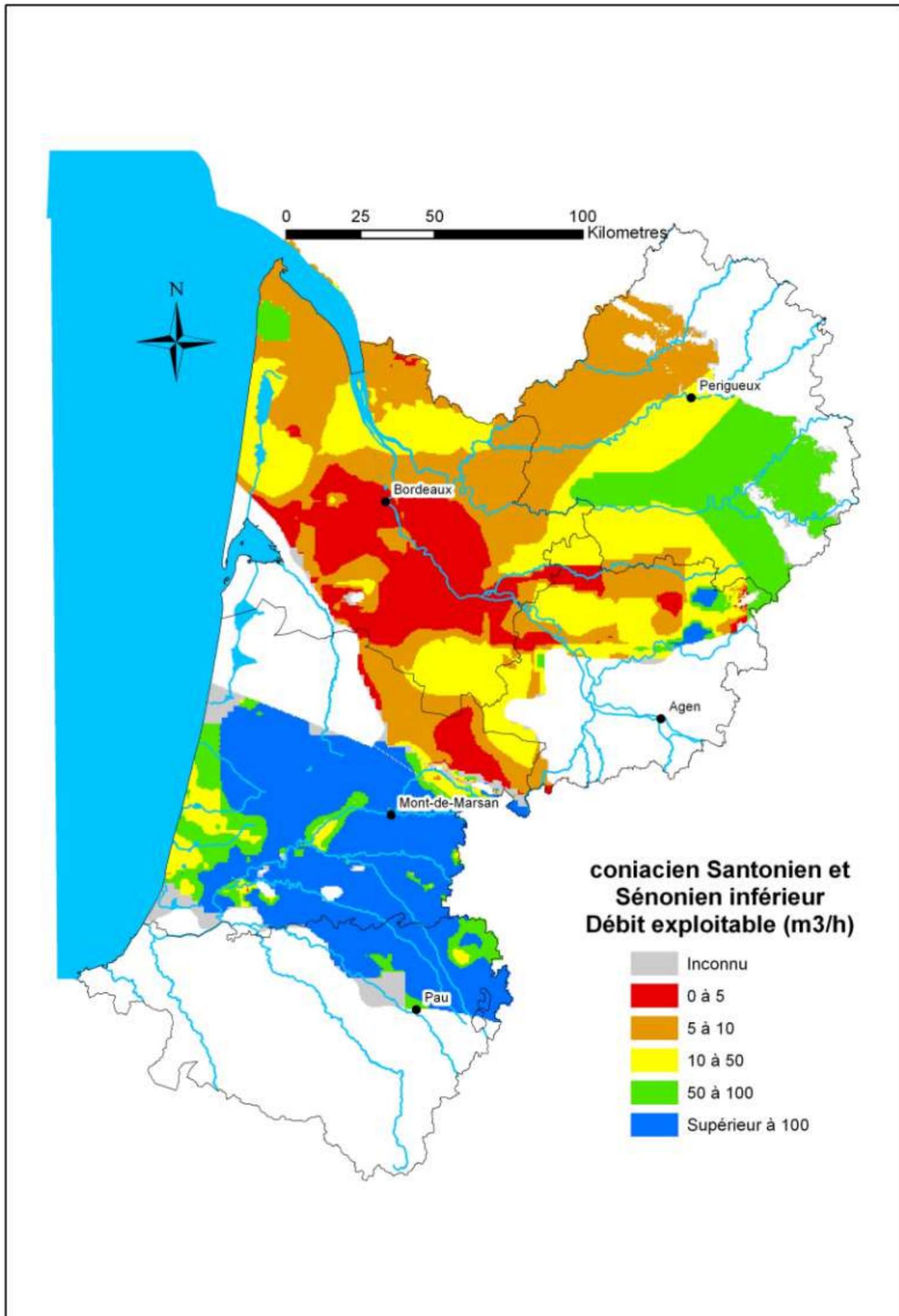


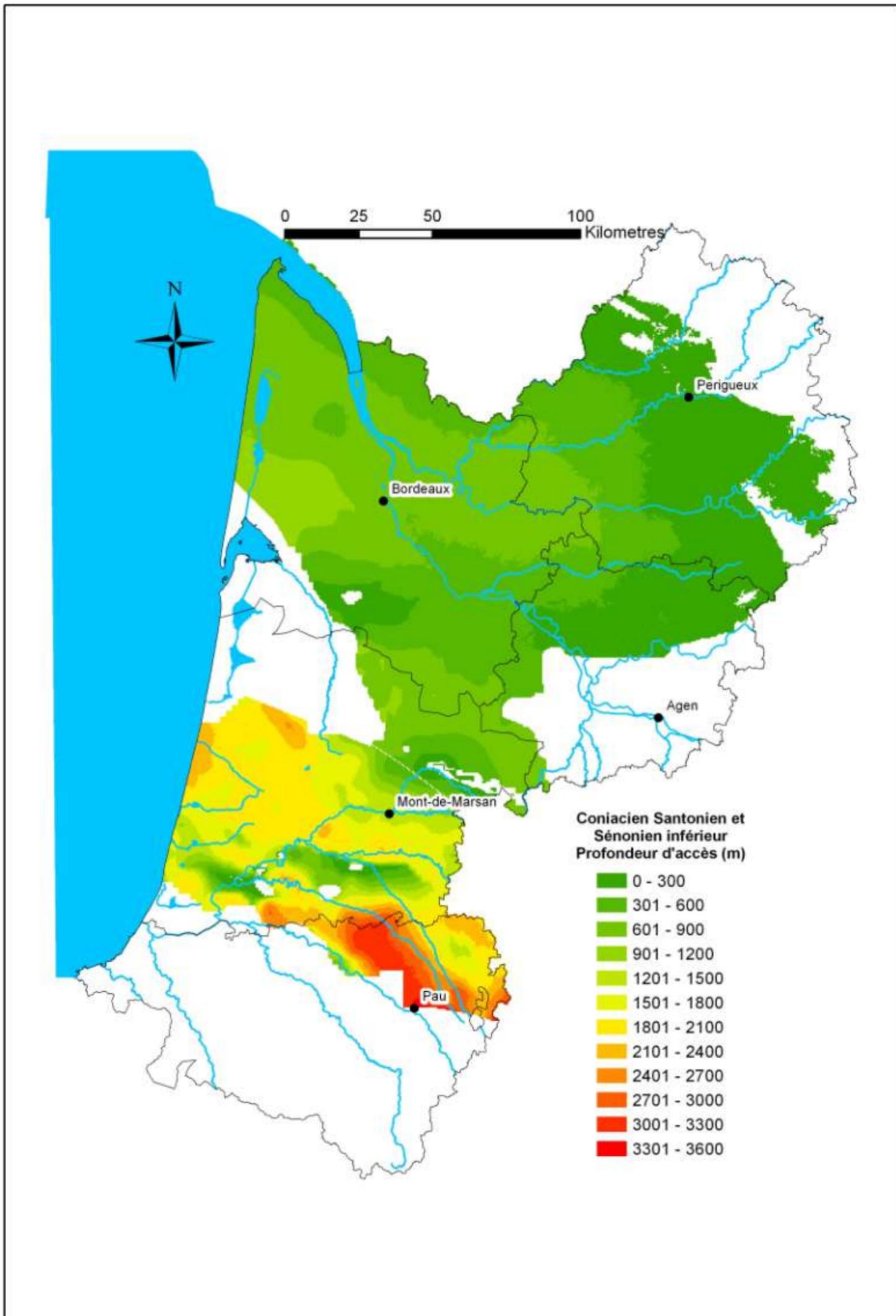


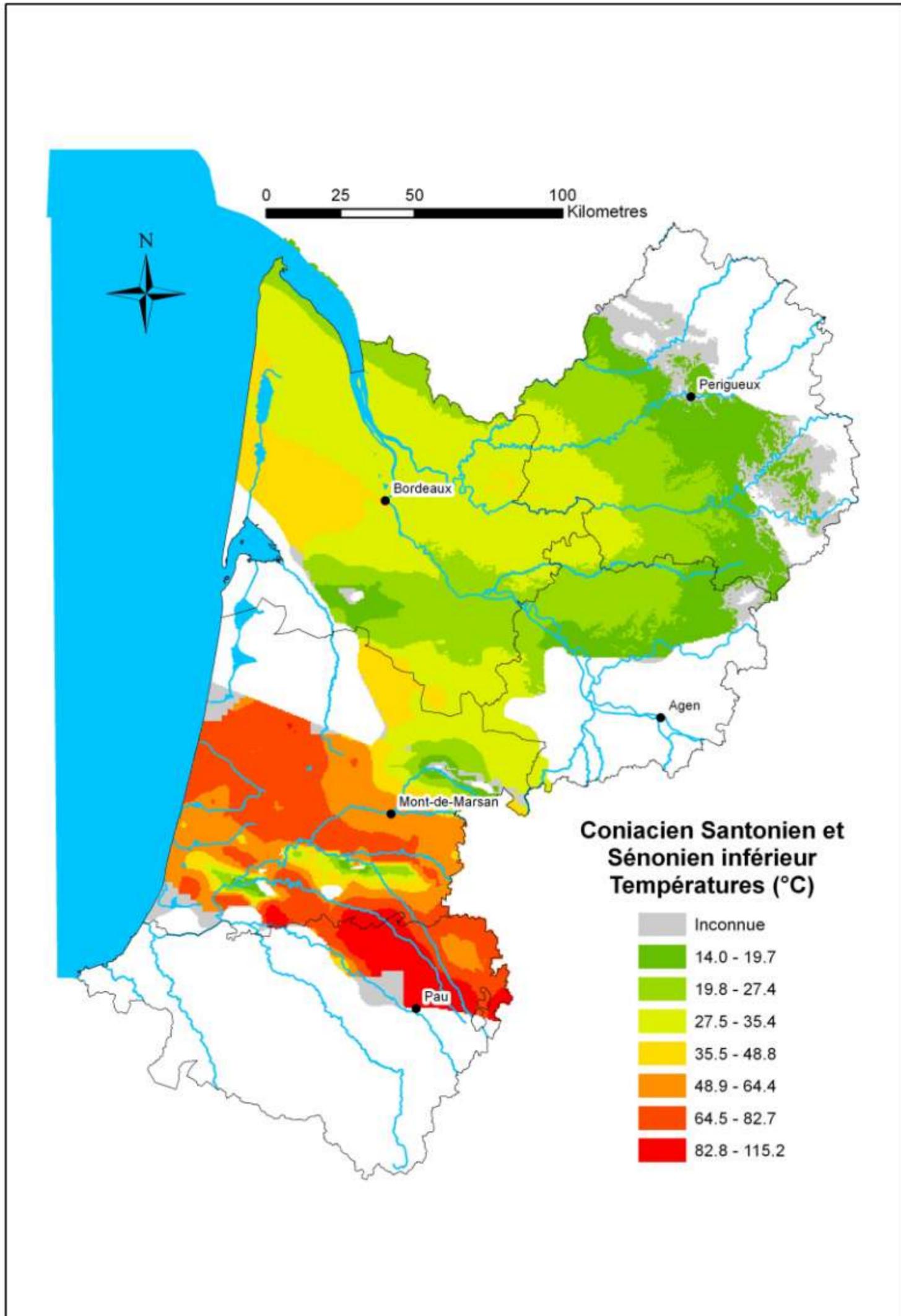


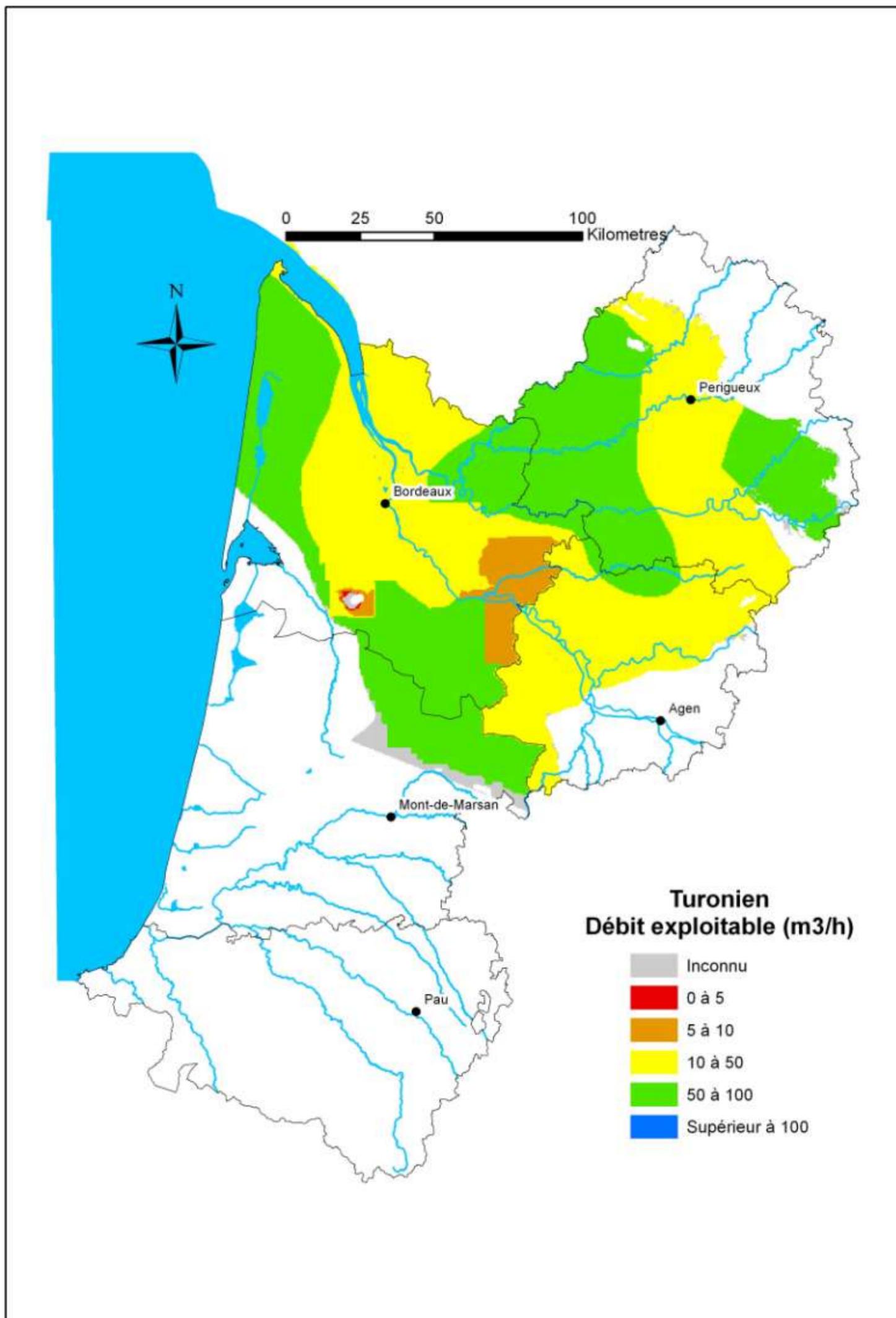


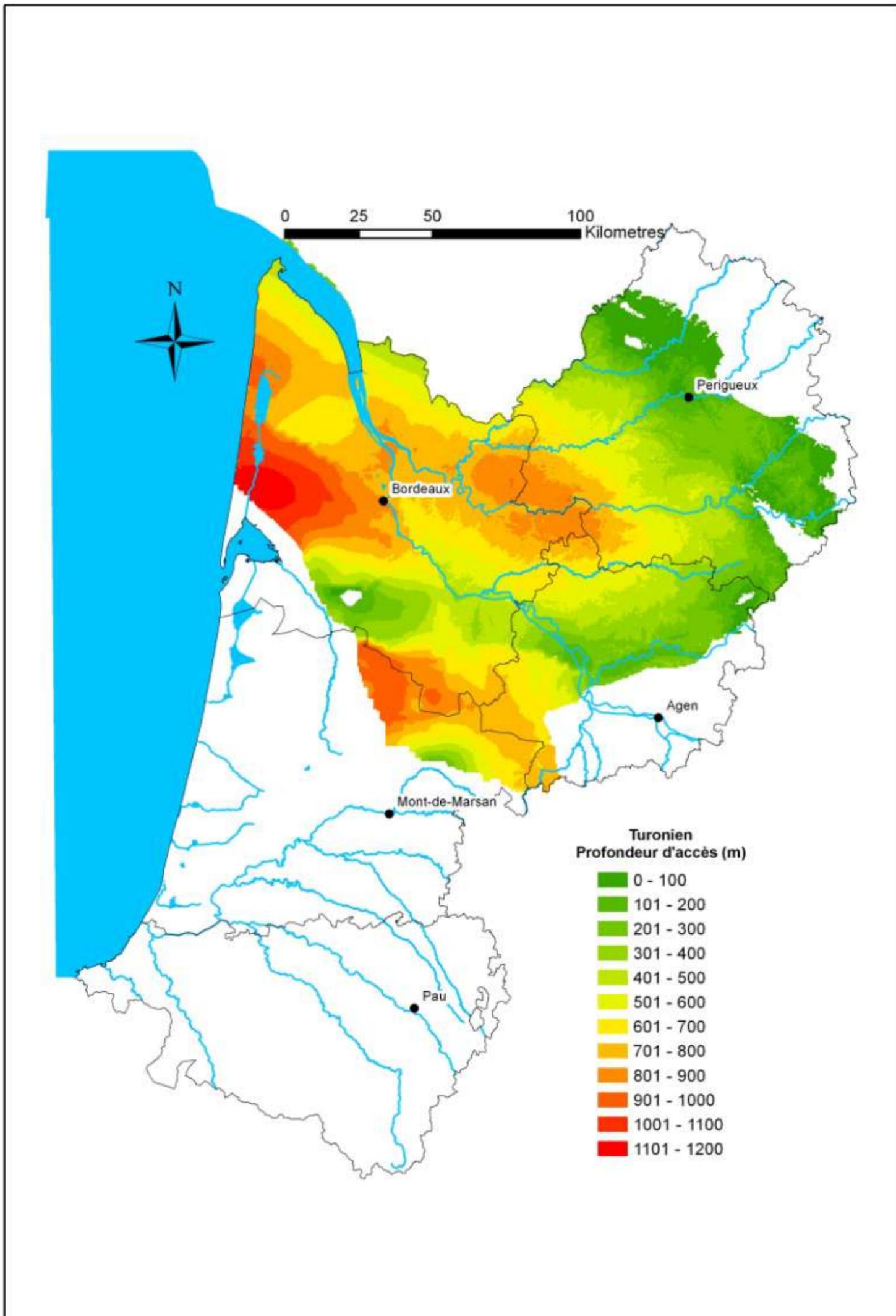


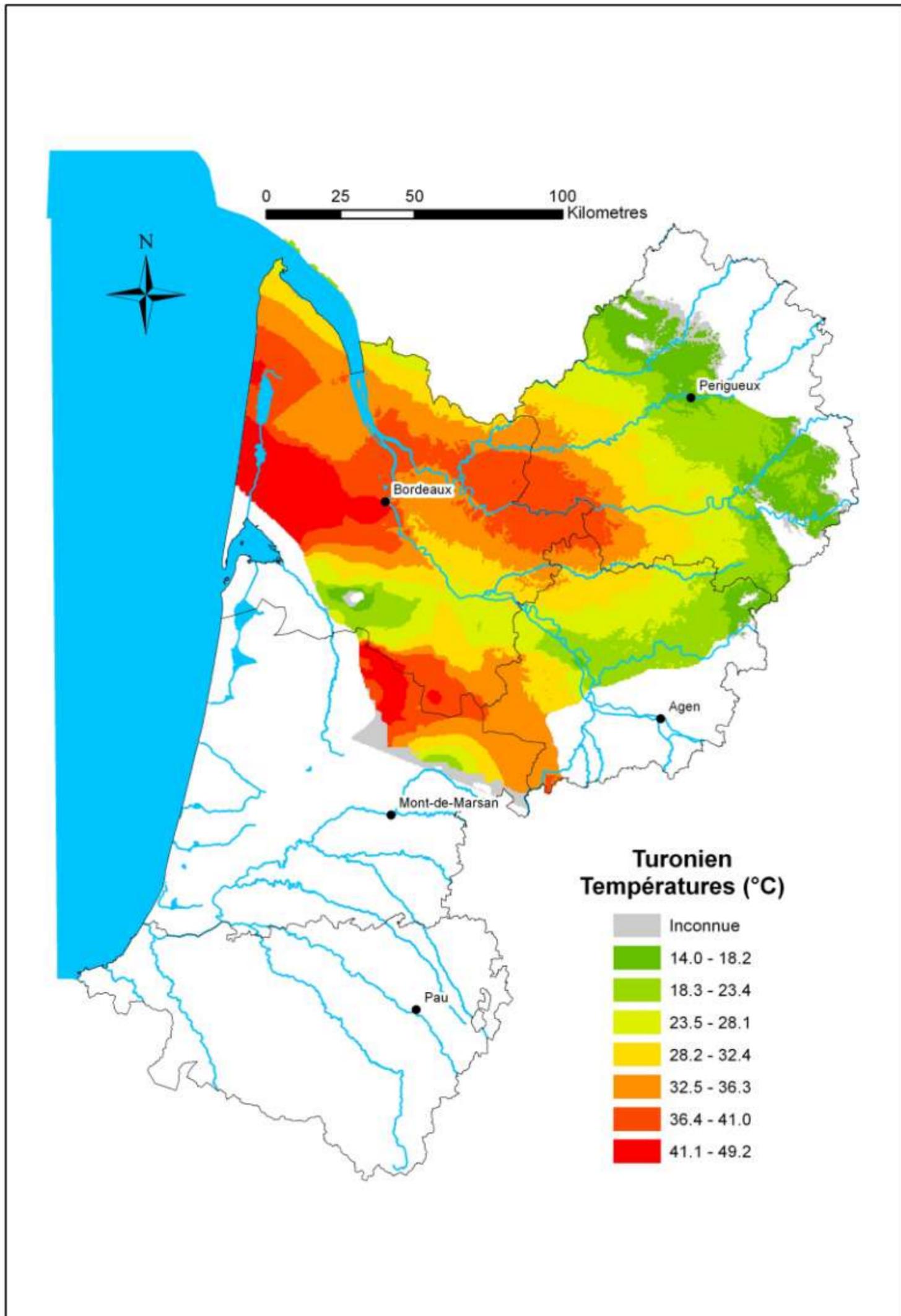


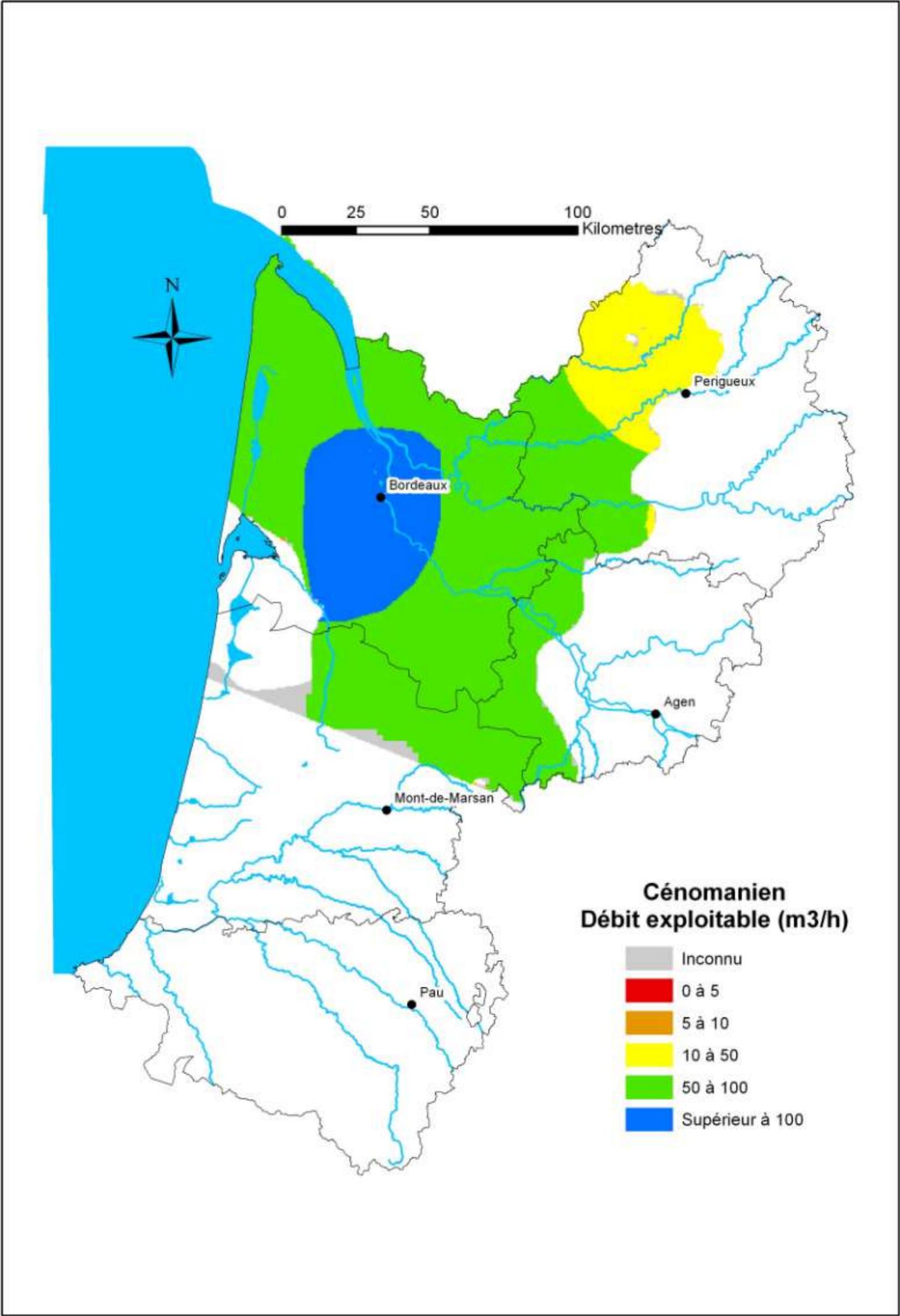


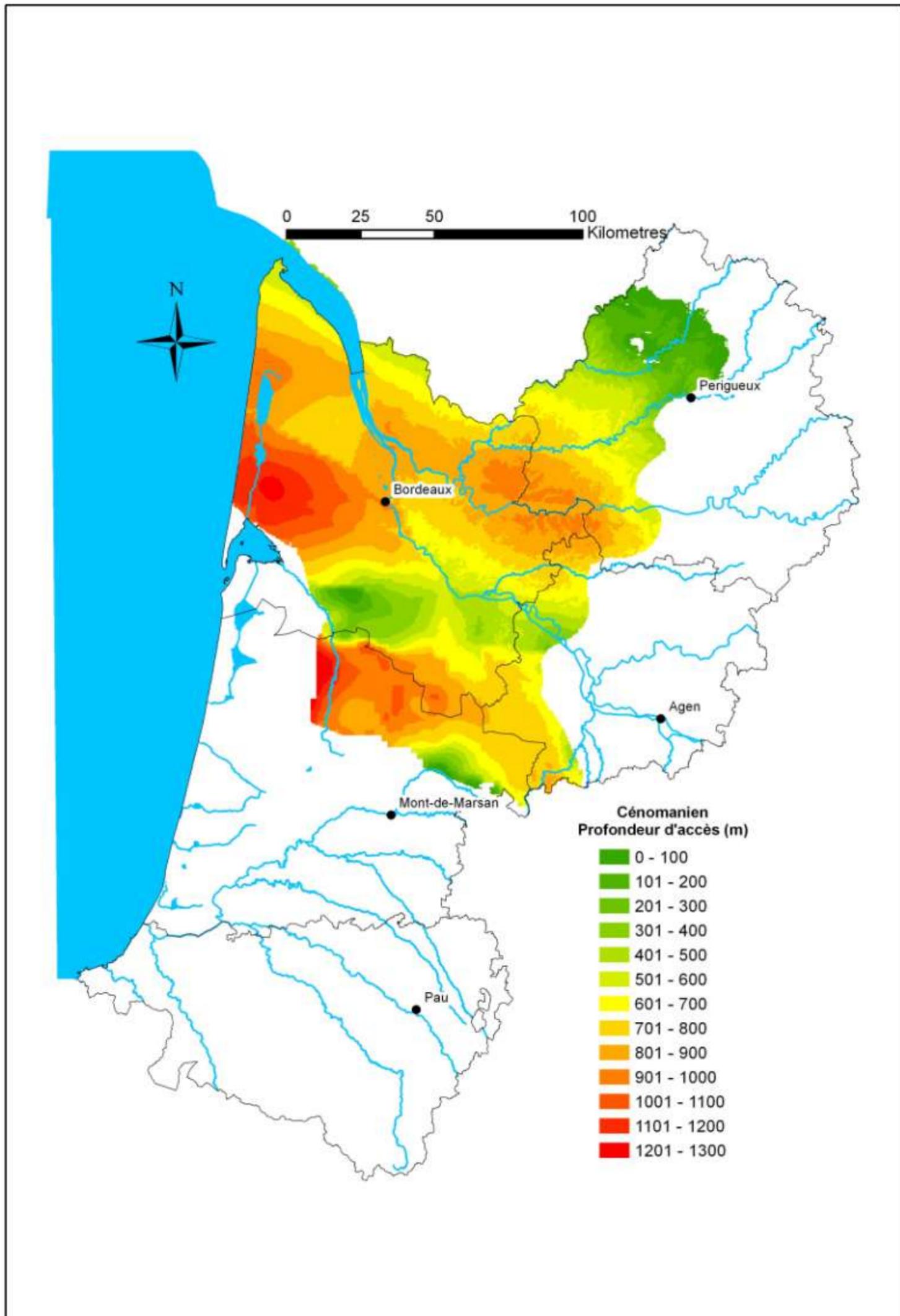


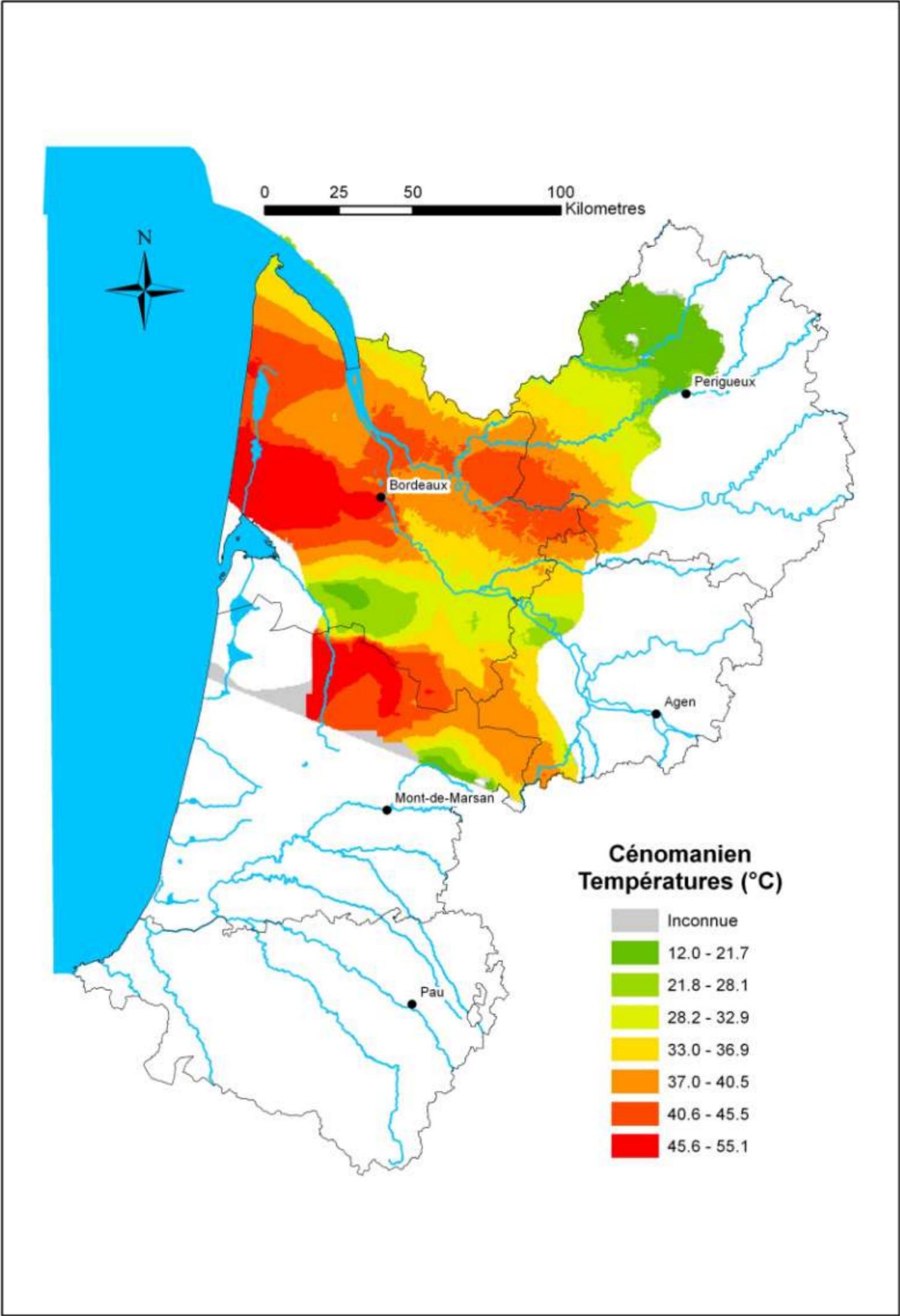


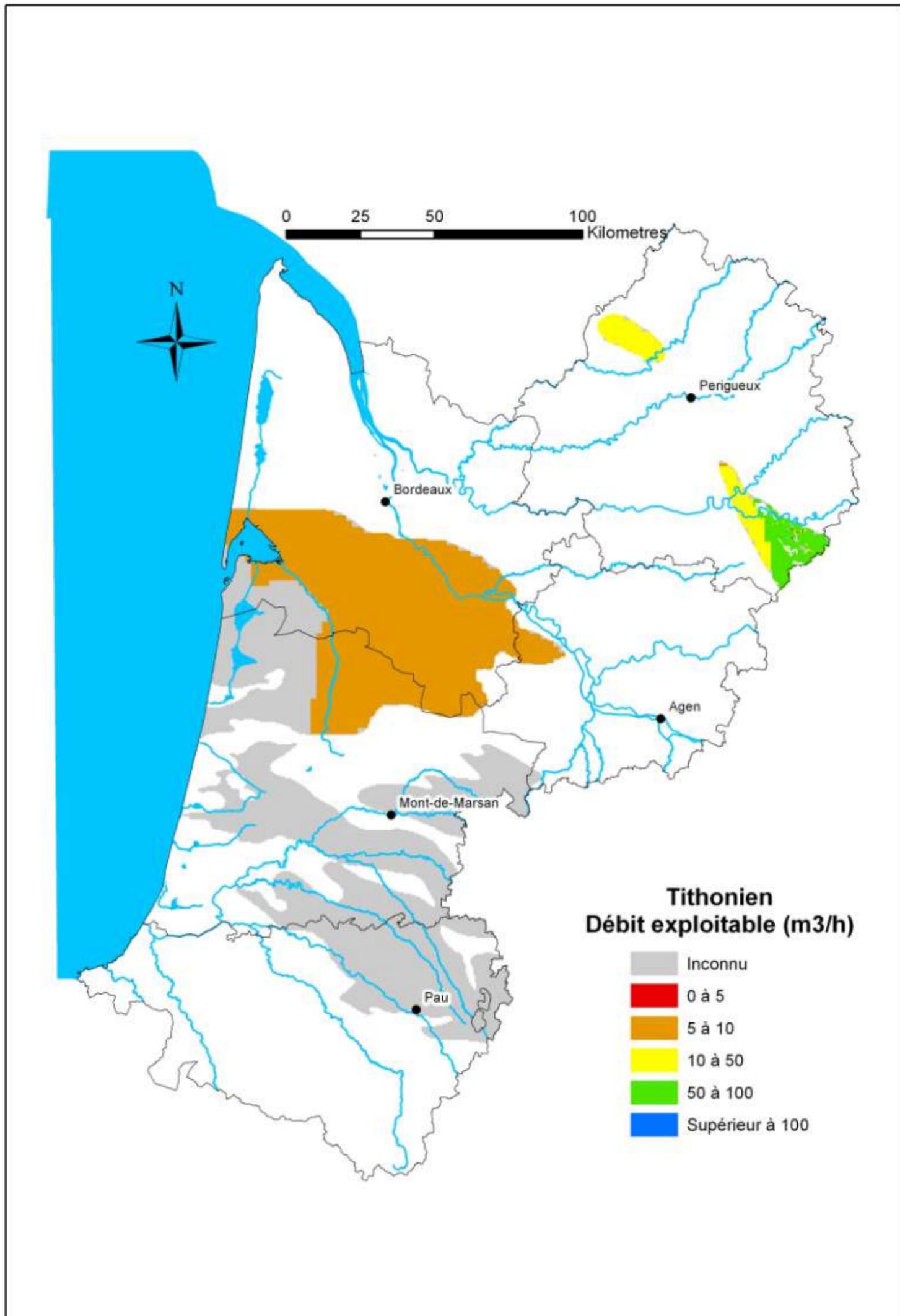


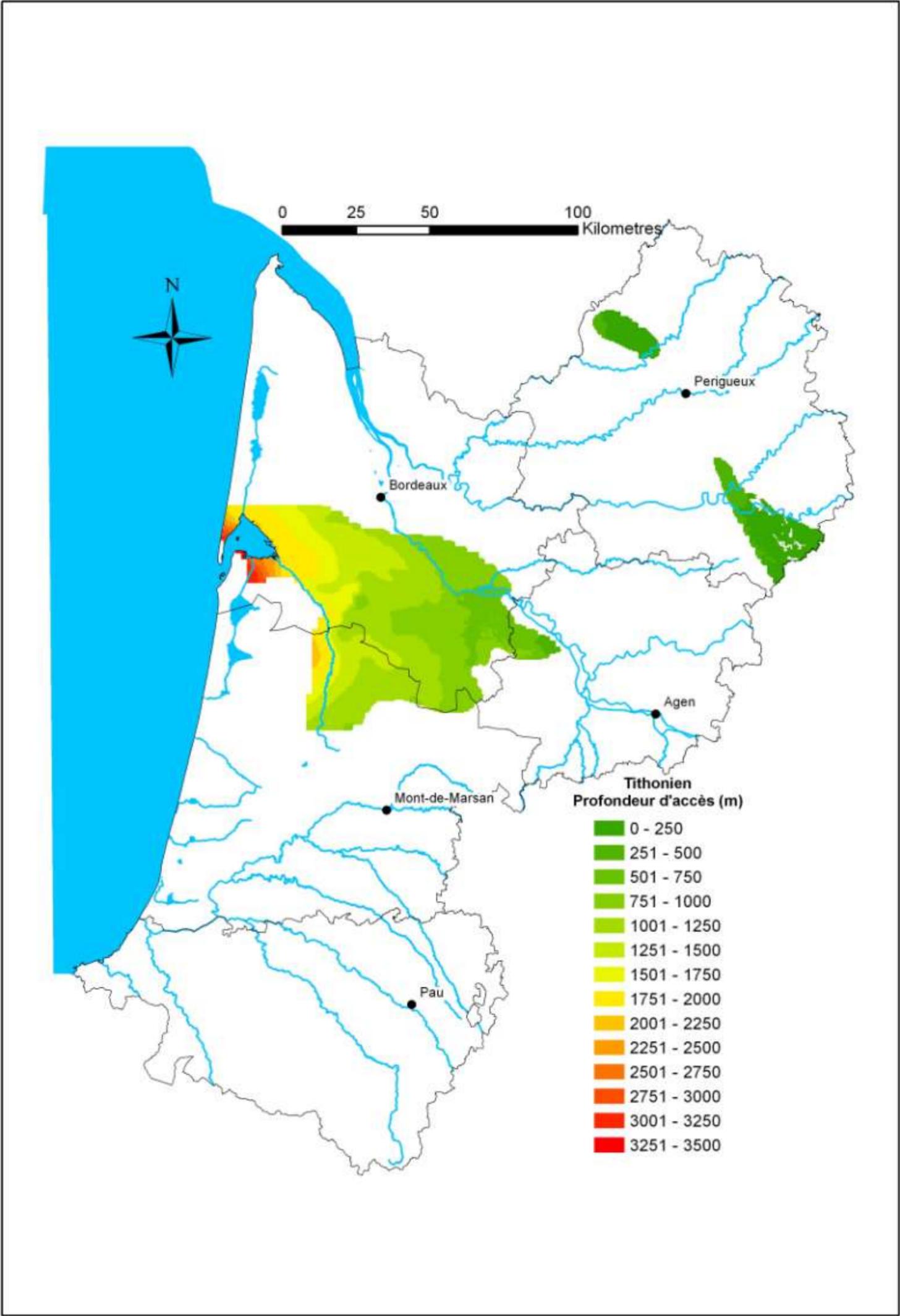


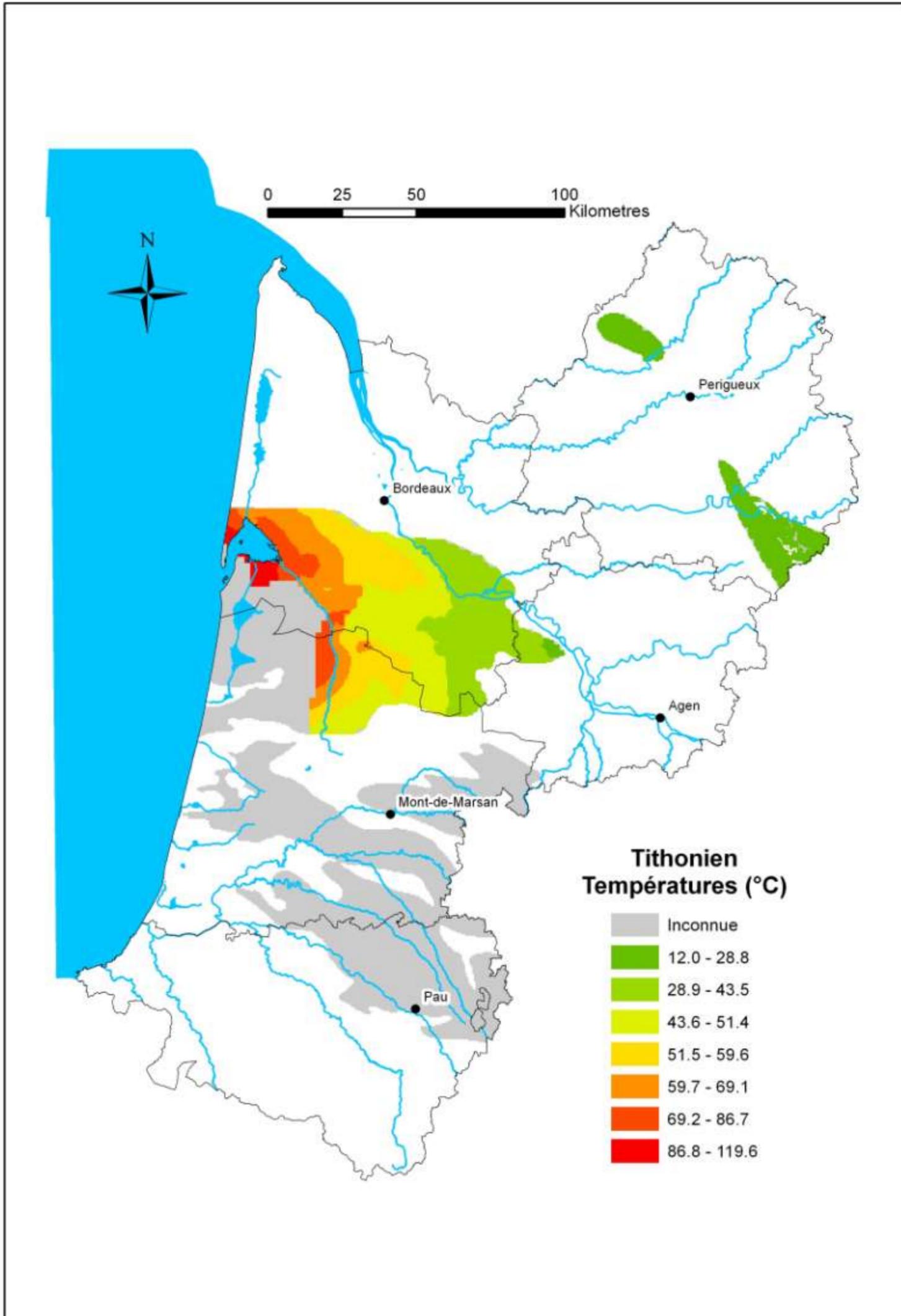


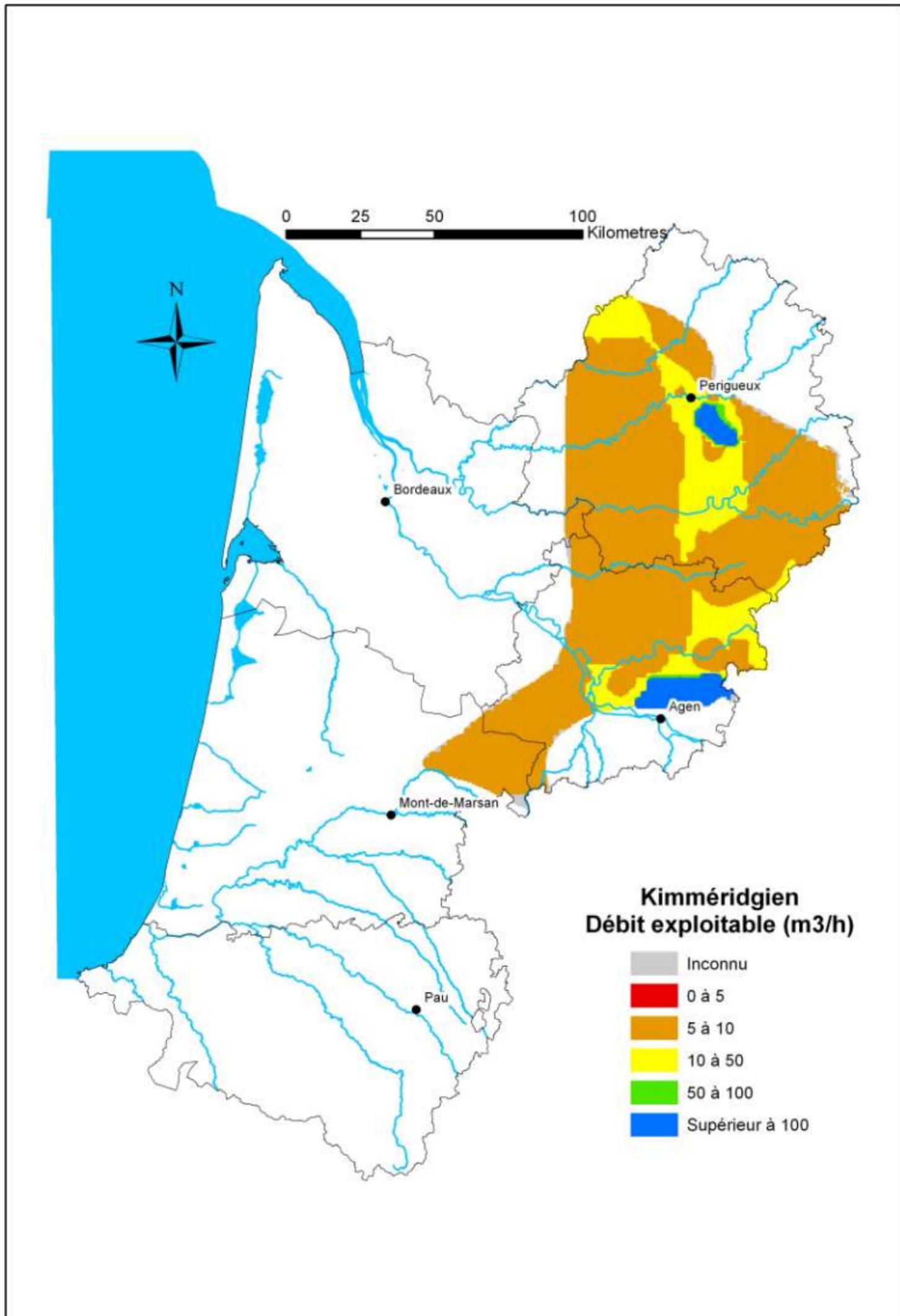


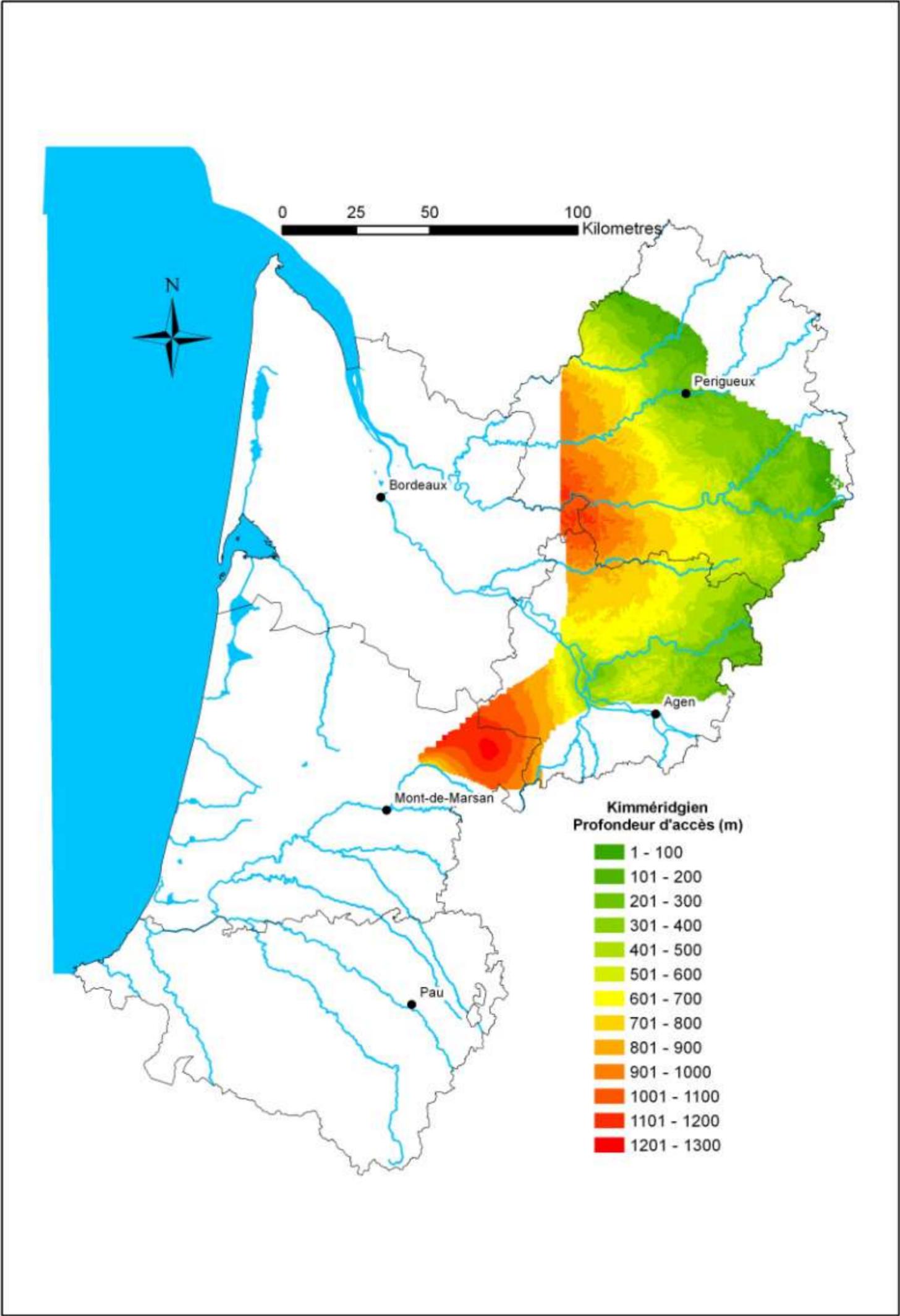


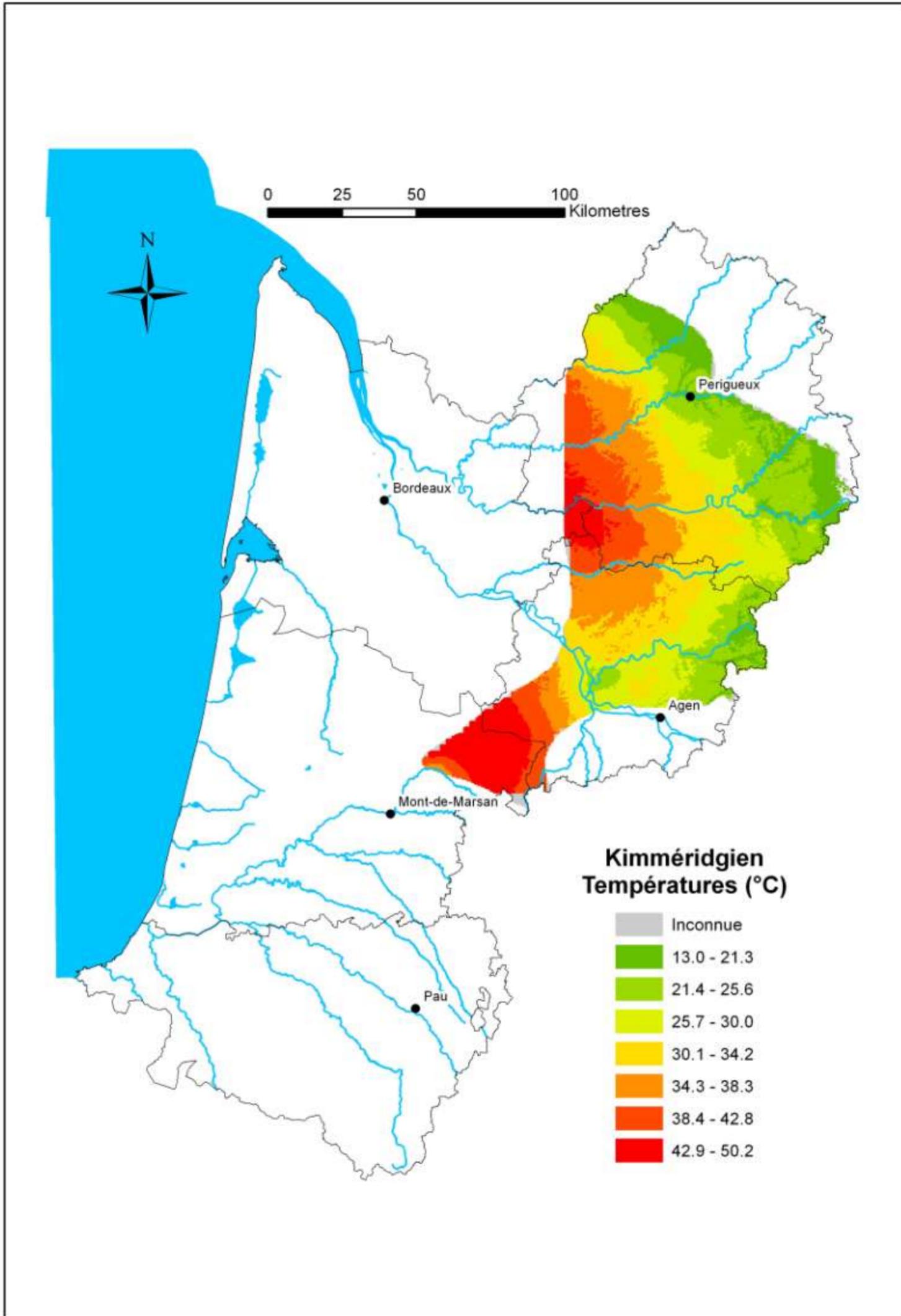


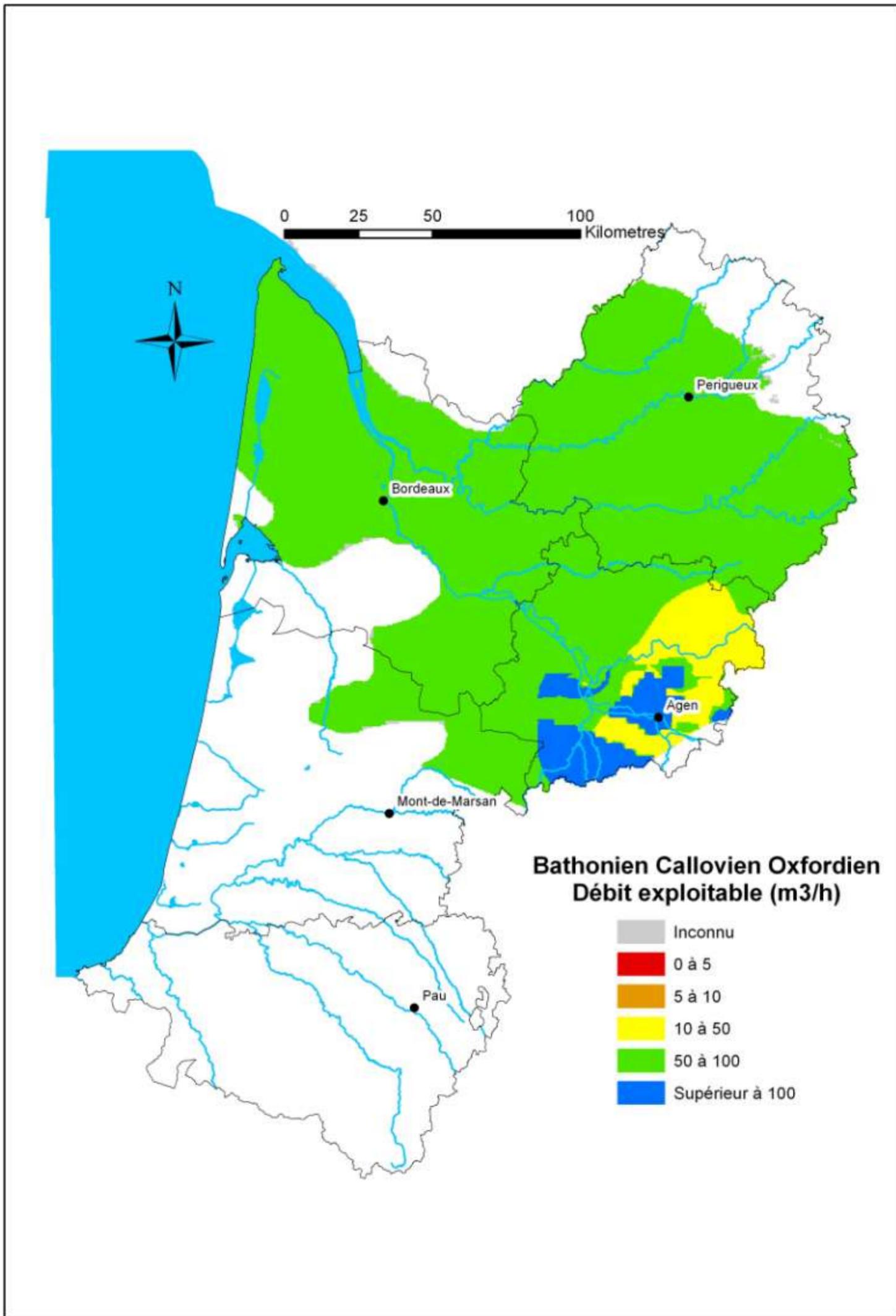


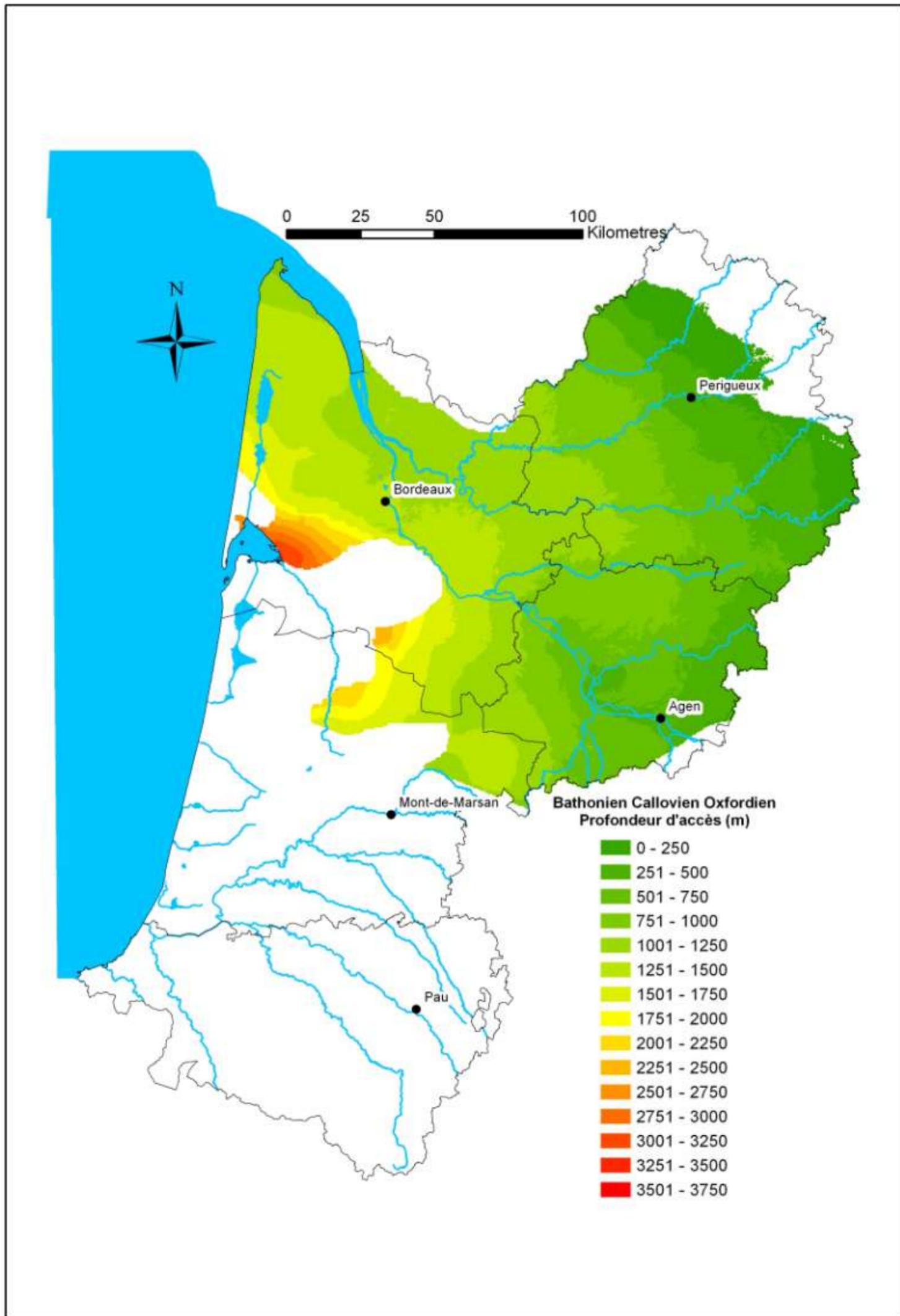


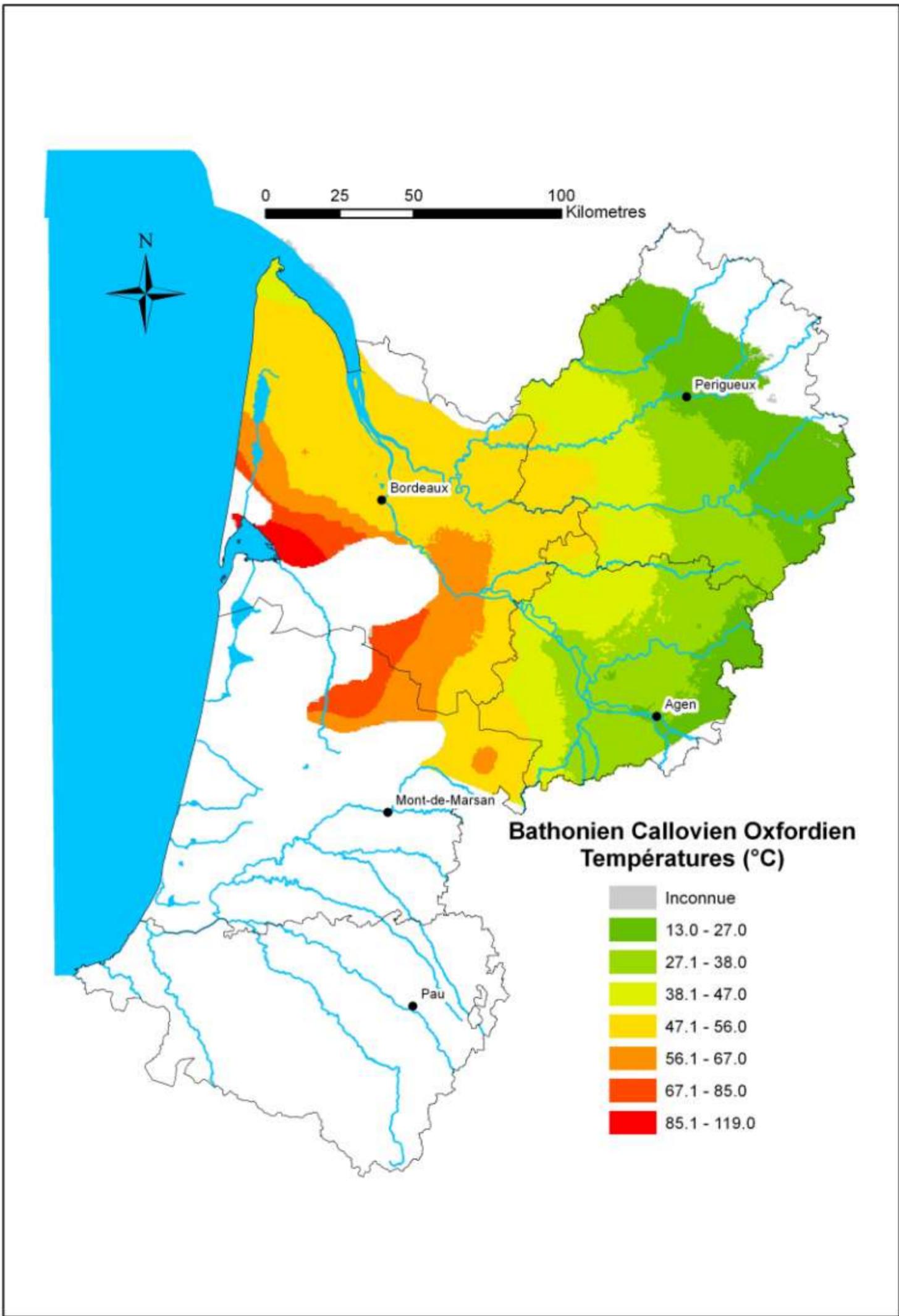


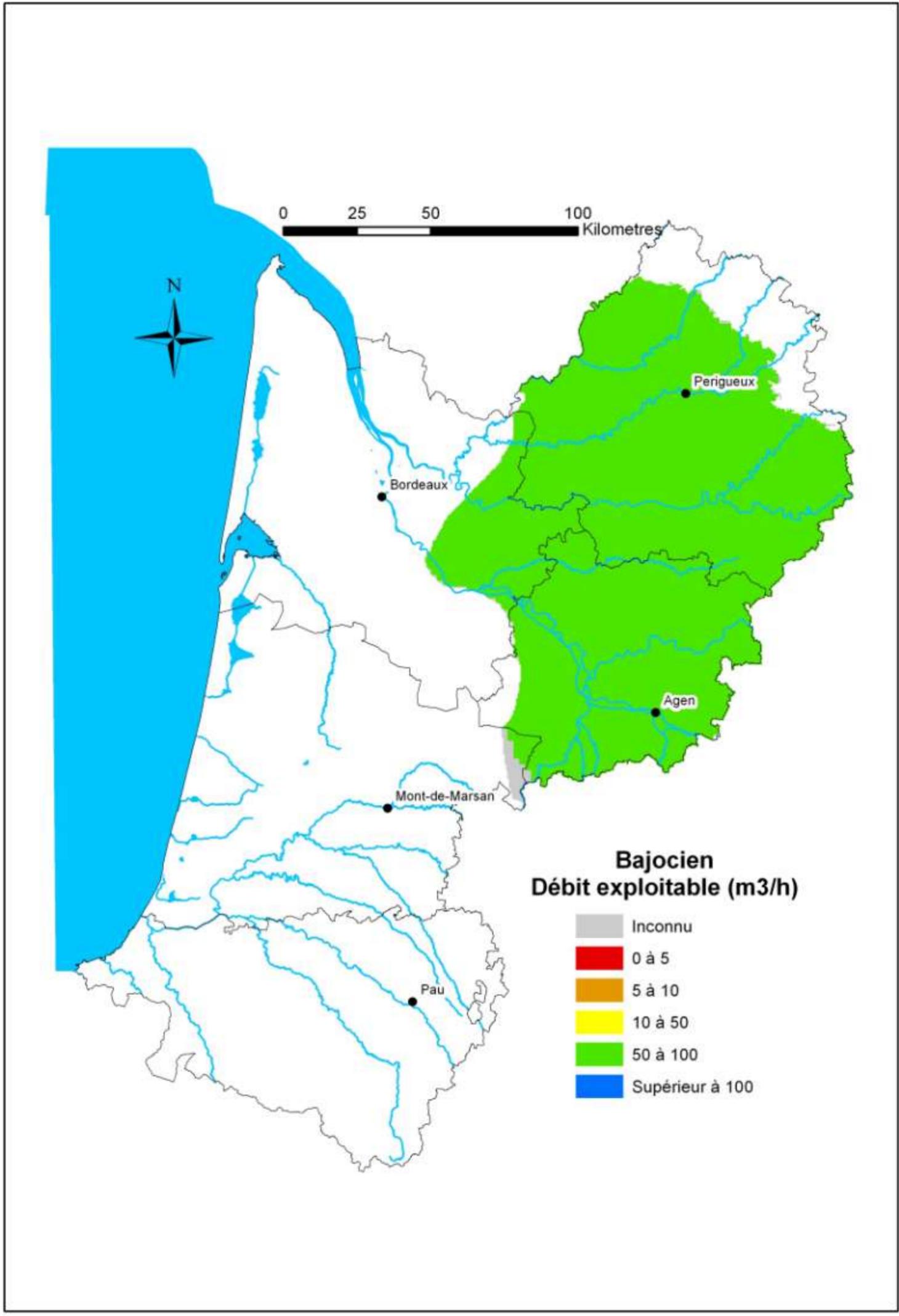


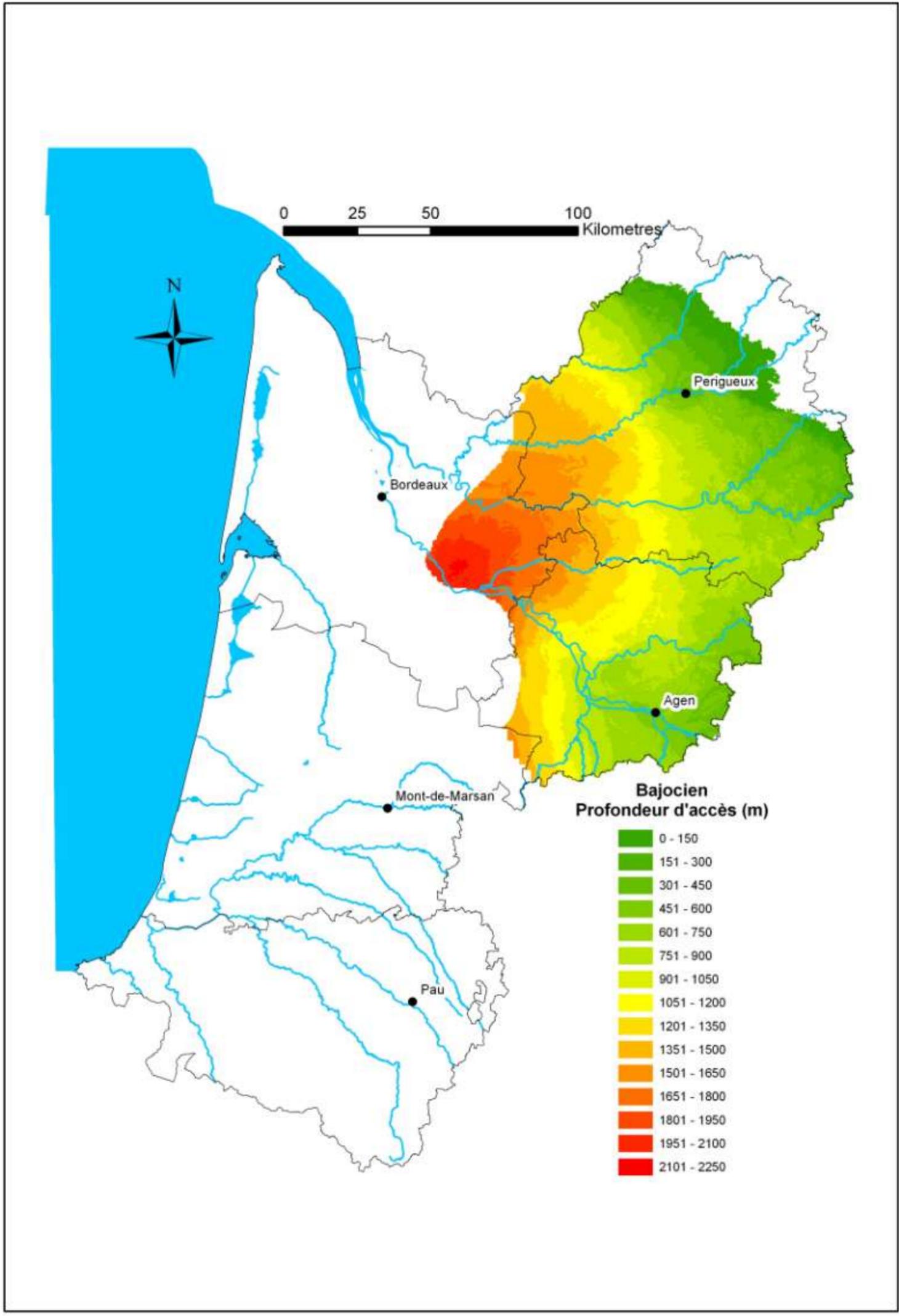


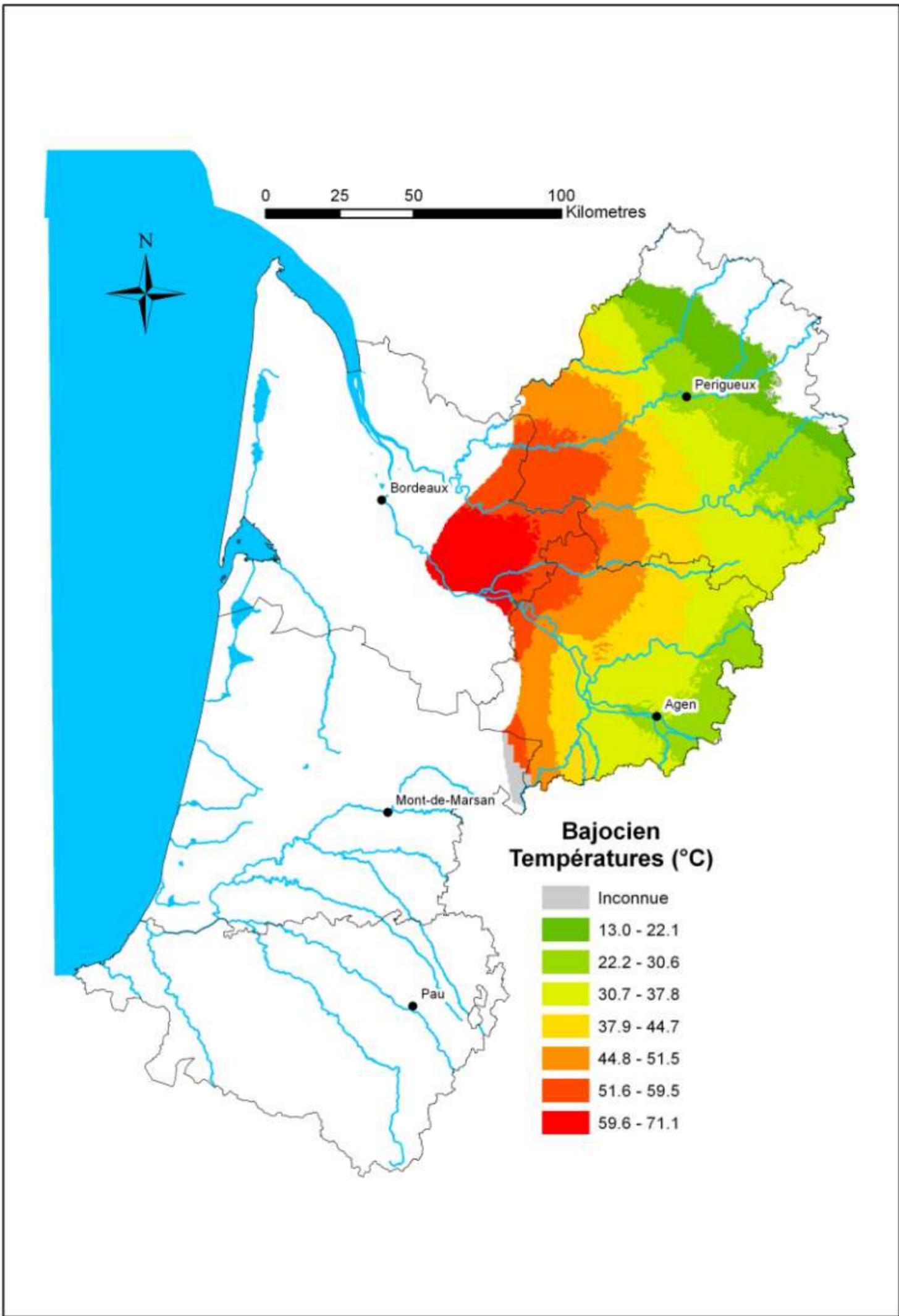








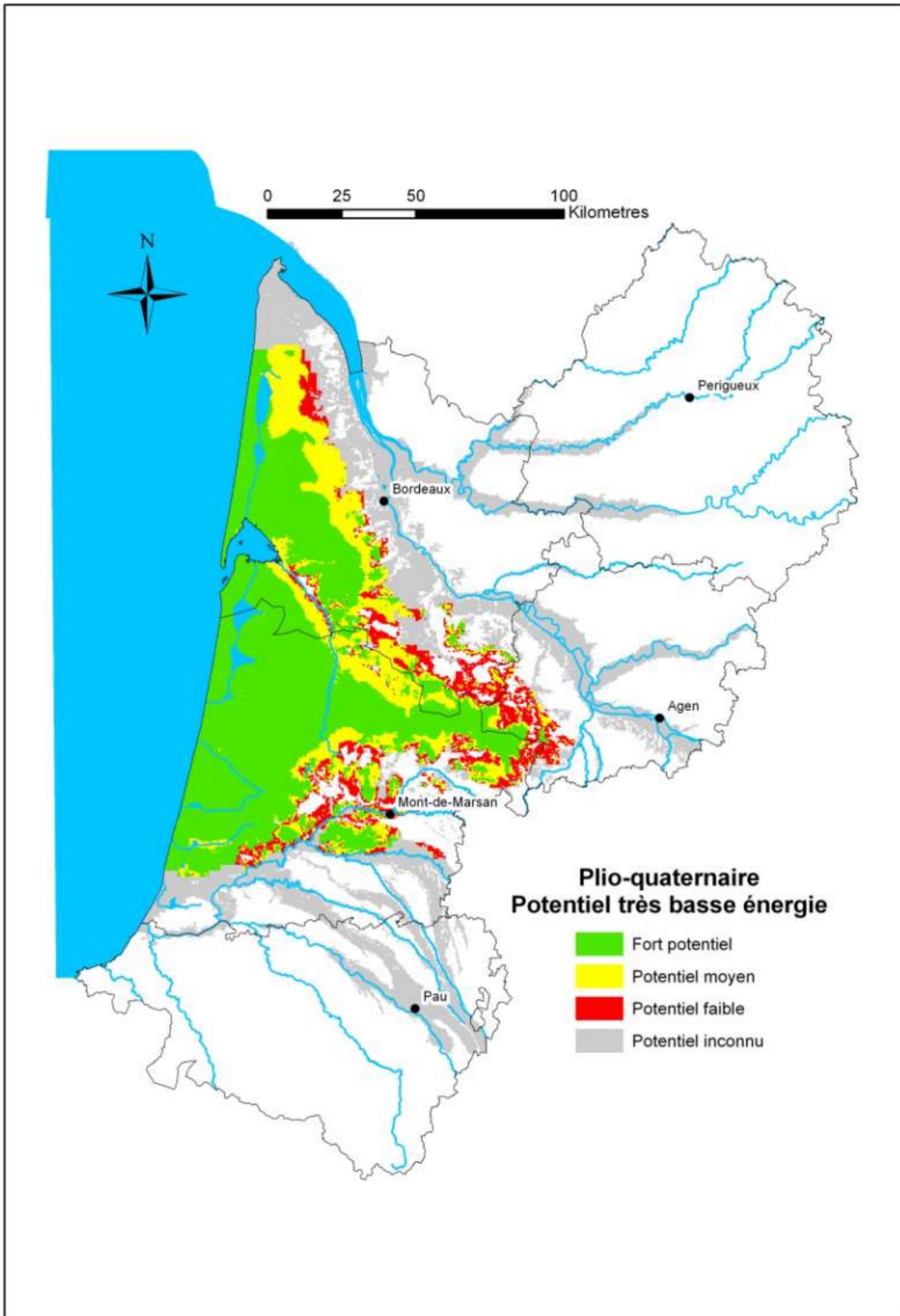


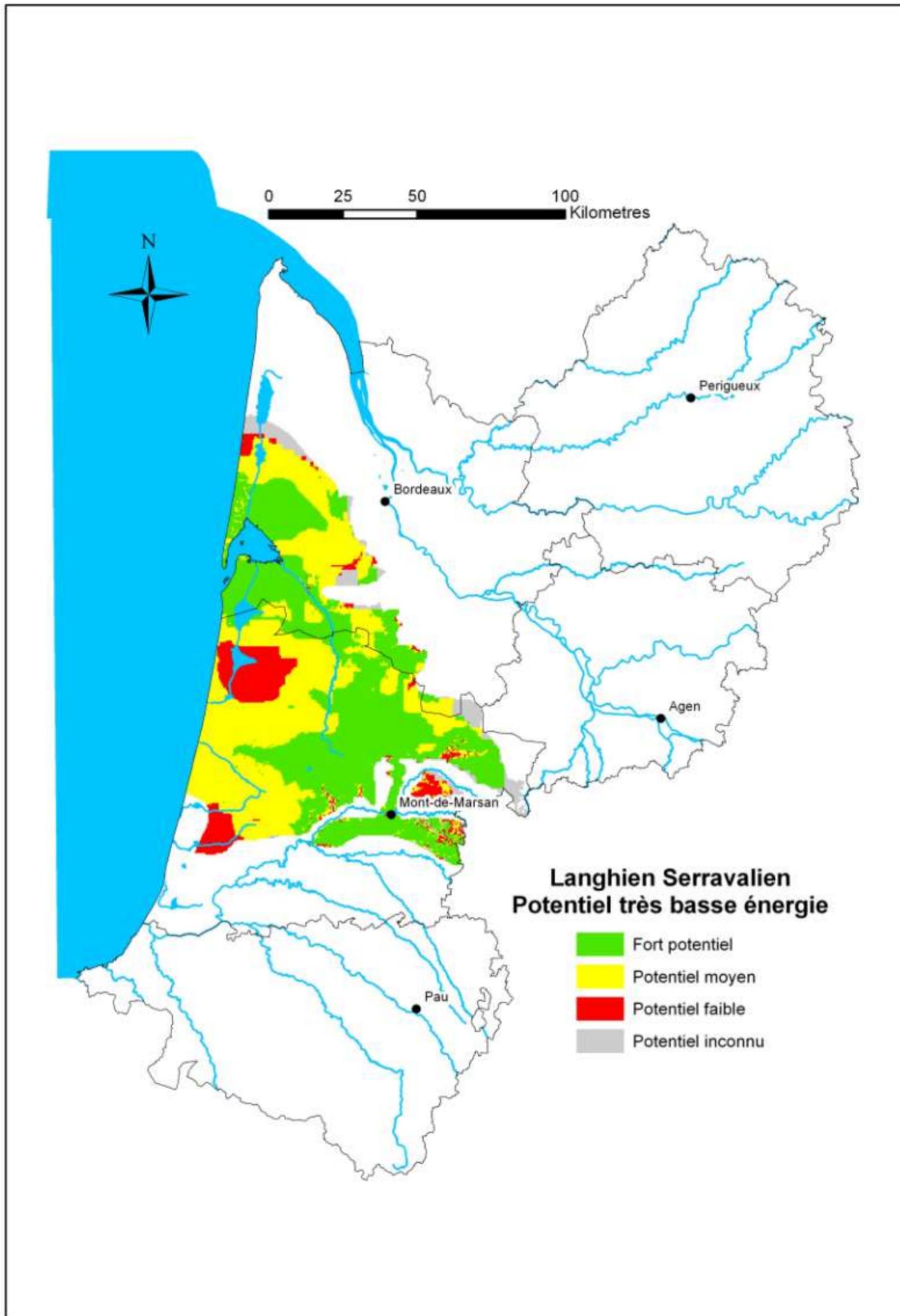


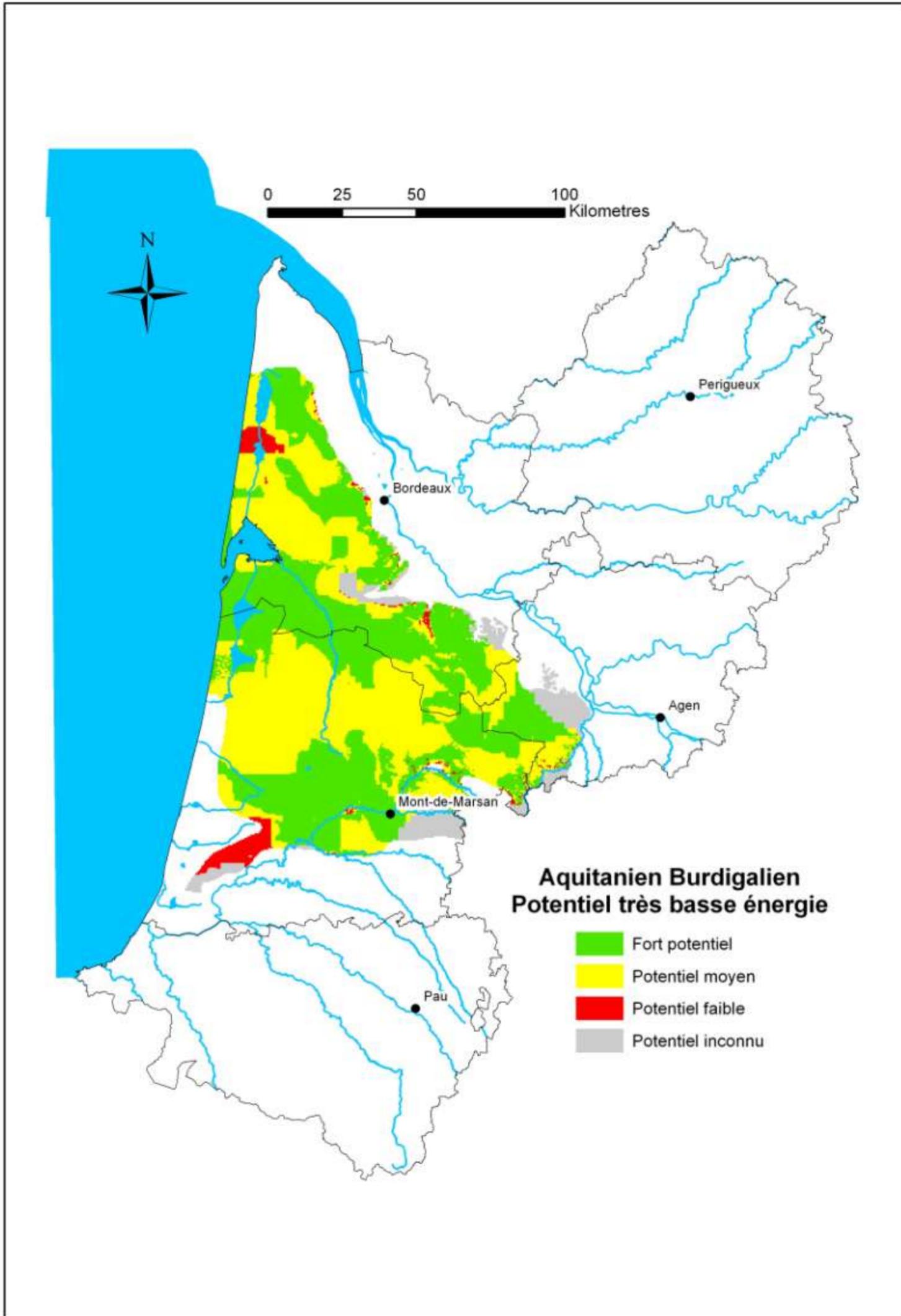
Annexe 9

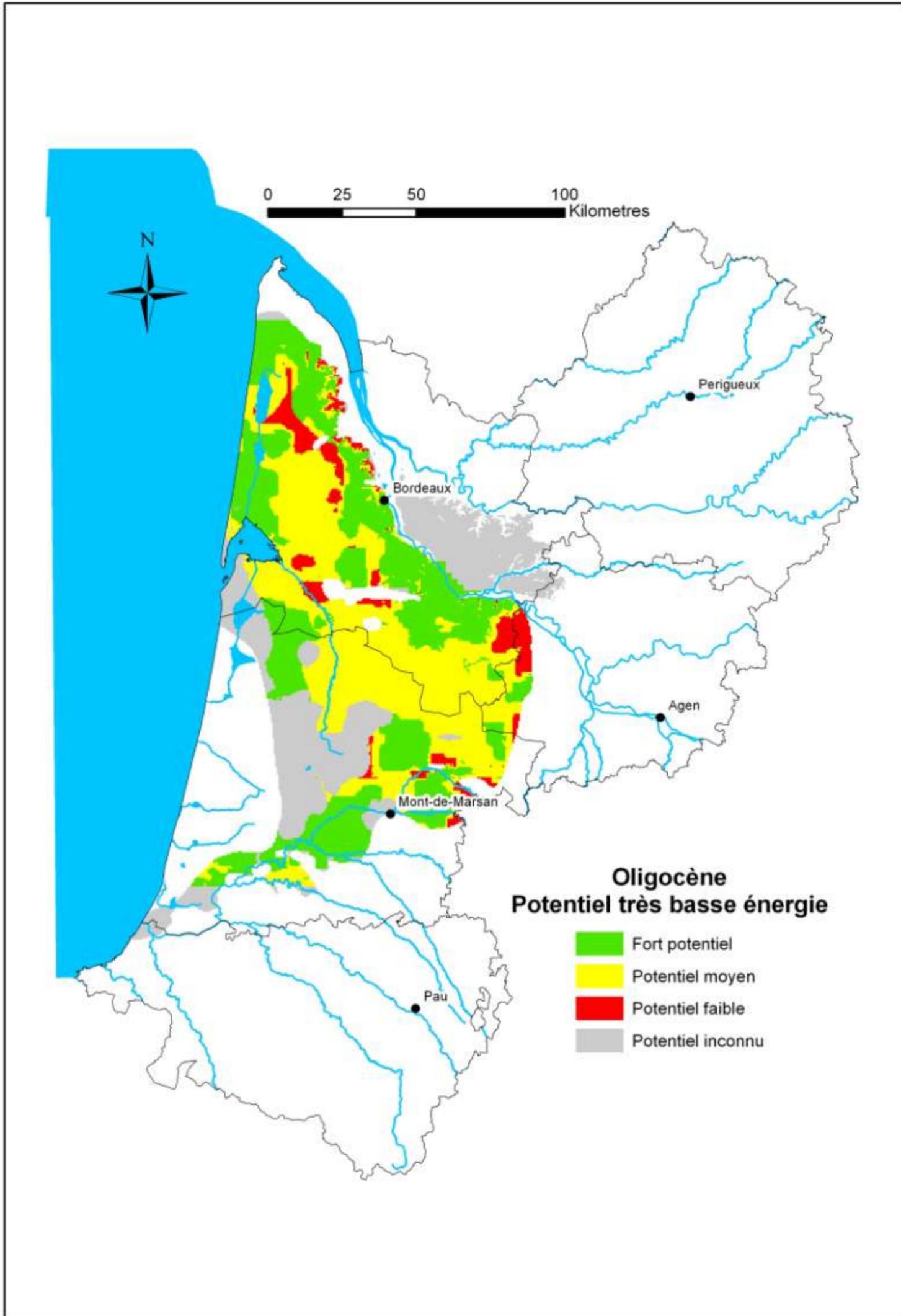
Cartes des potentialités géothermiques par aquifère

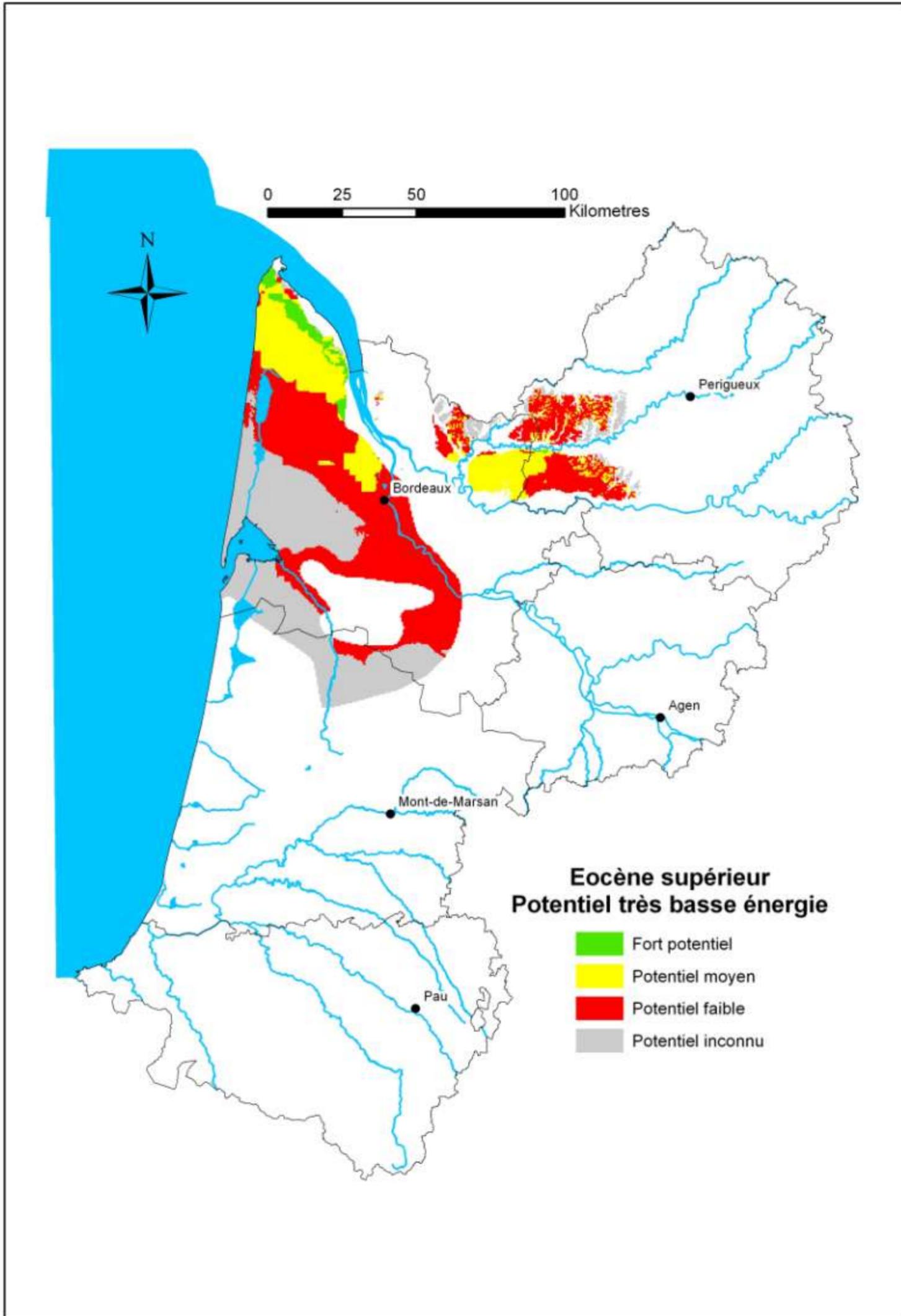
POTENTIEL TRÈS BASSE ÉNERGIE

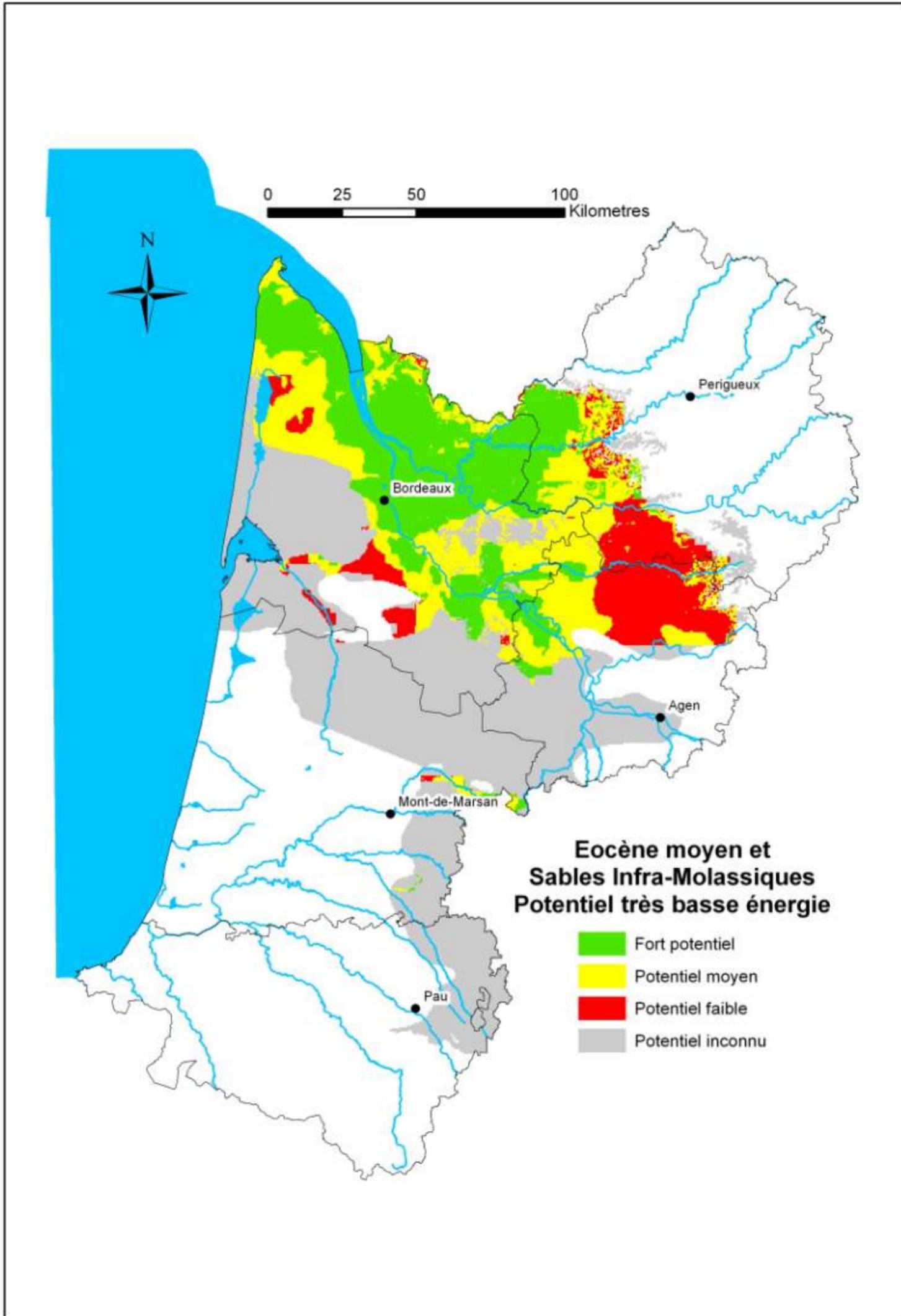


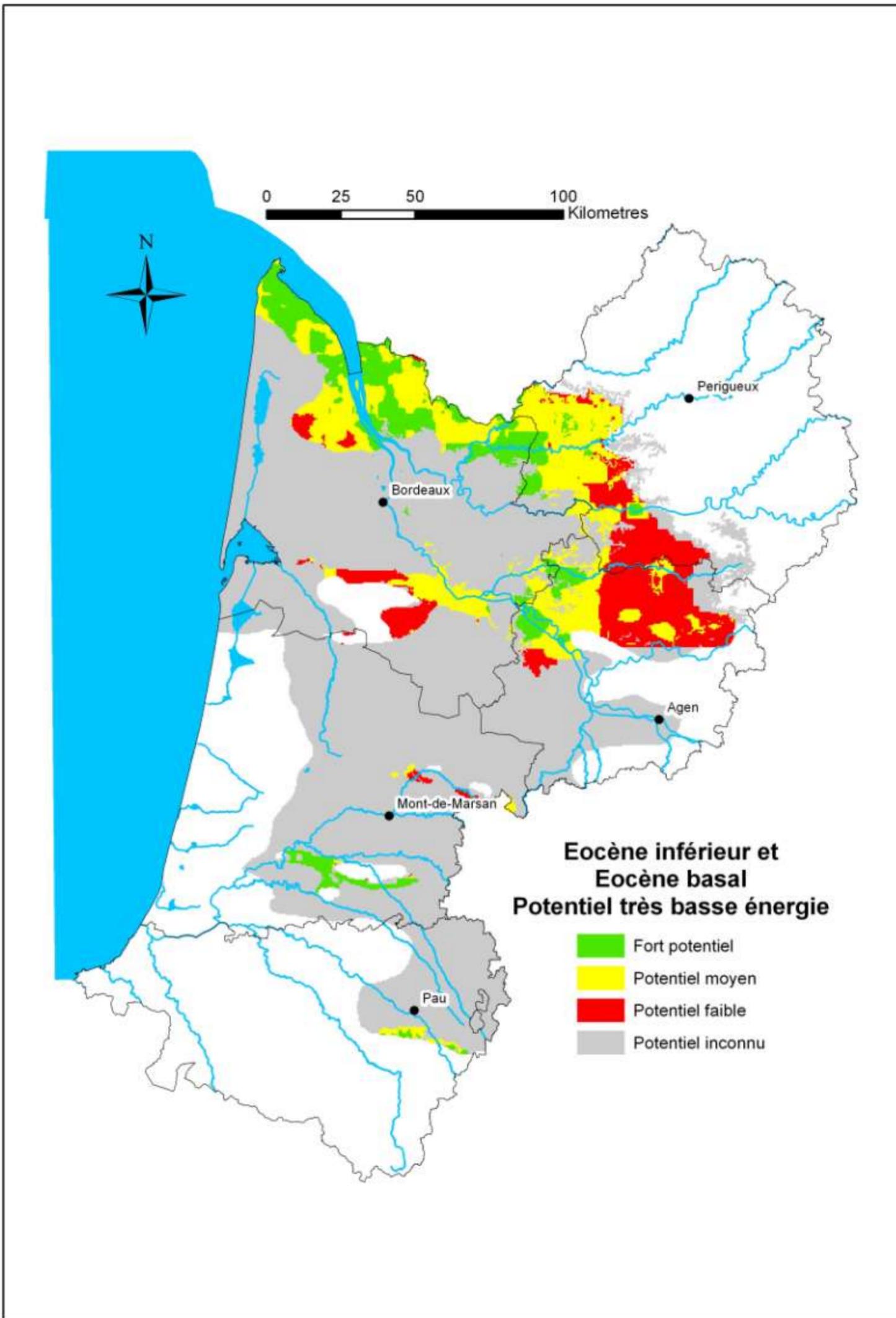


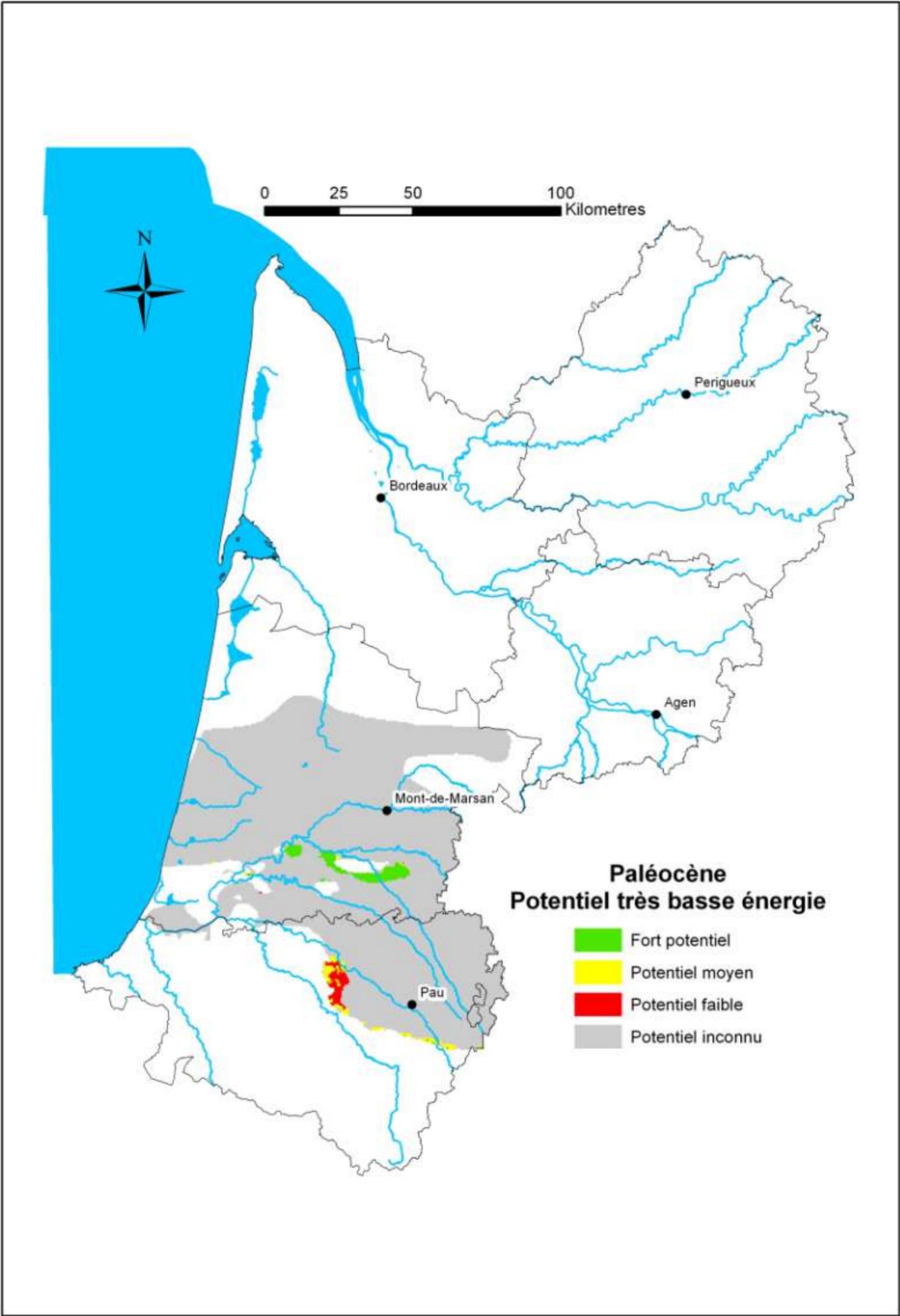


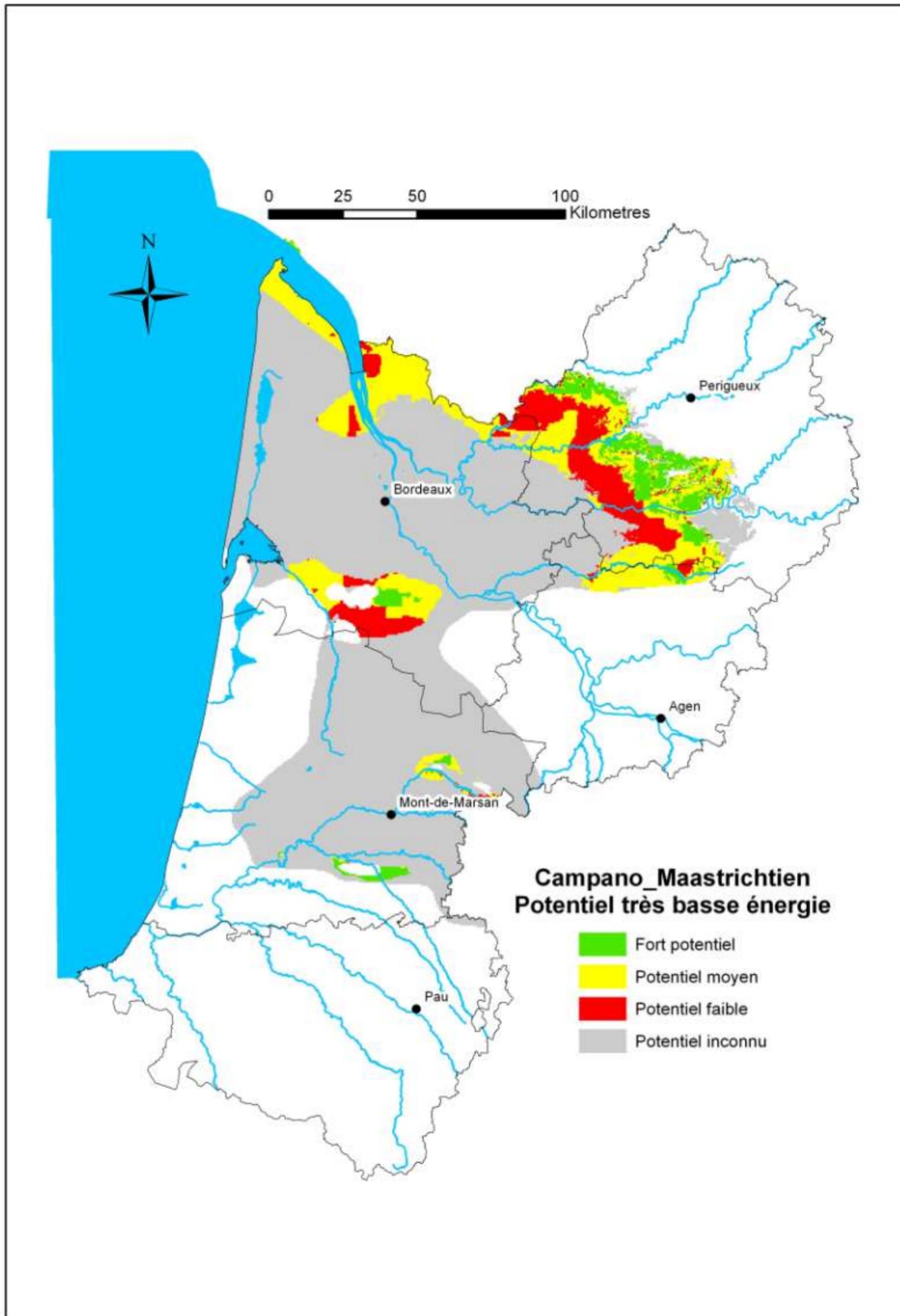


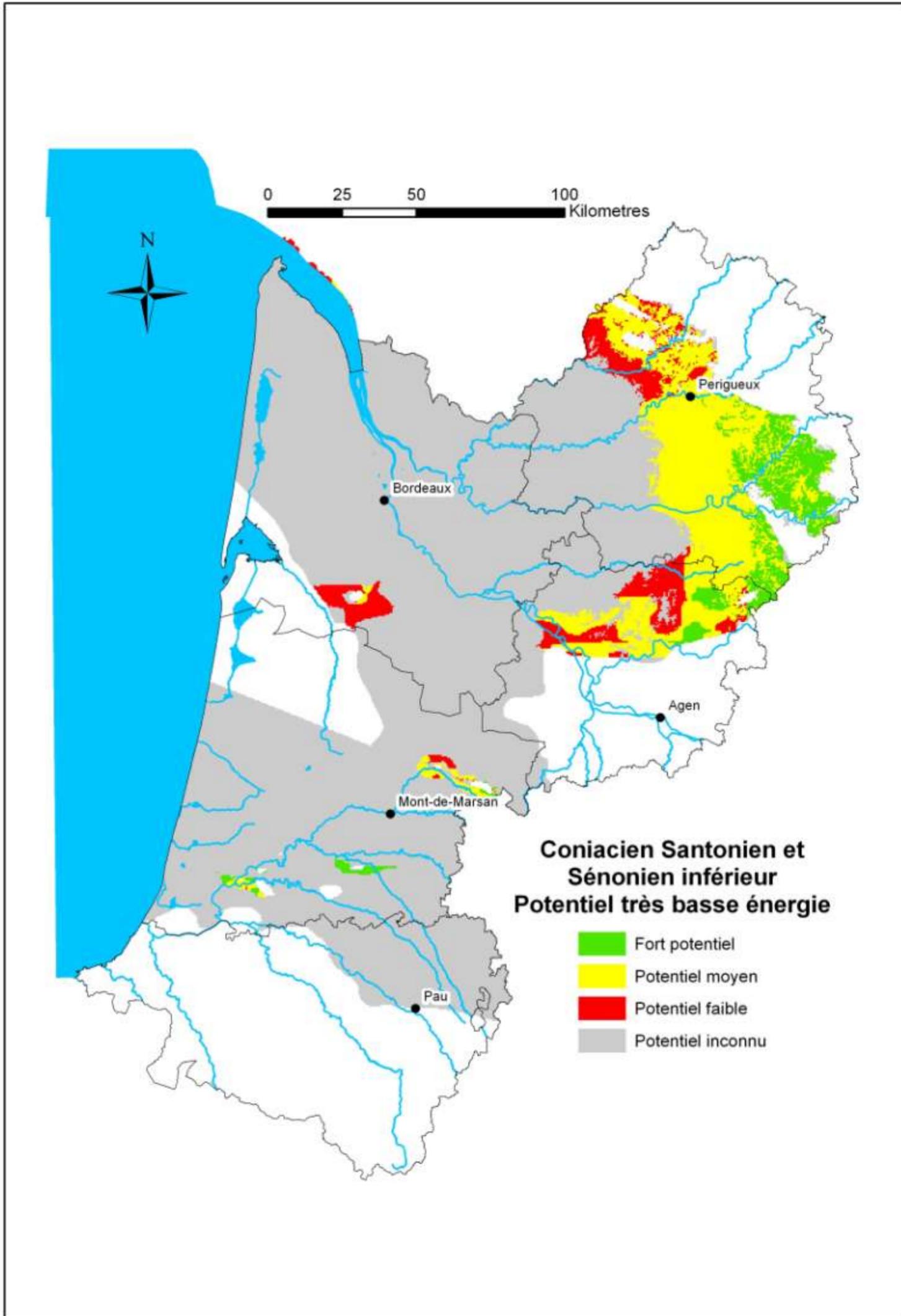


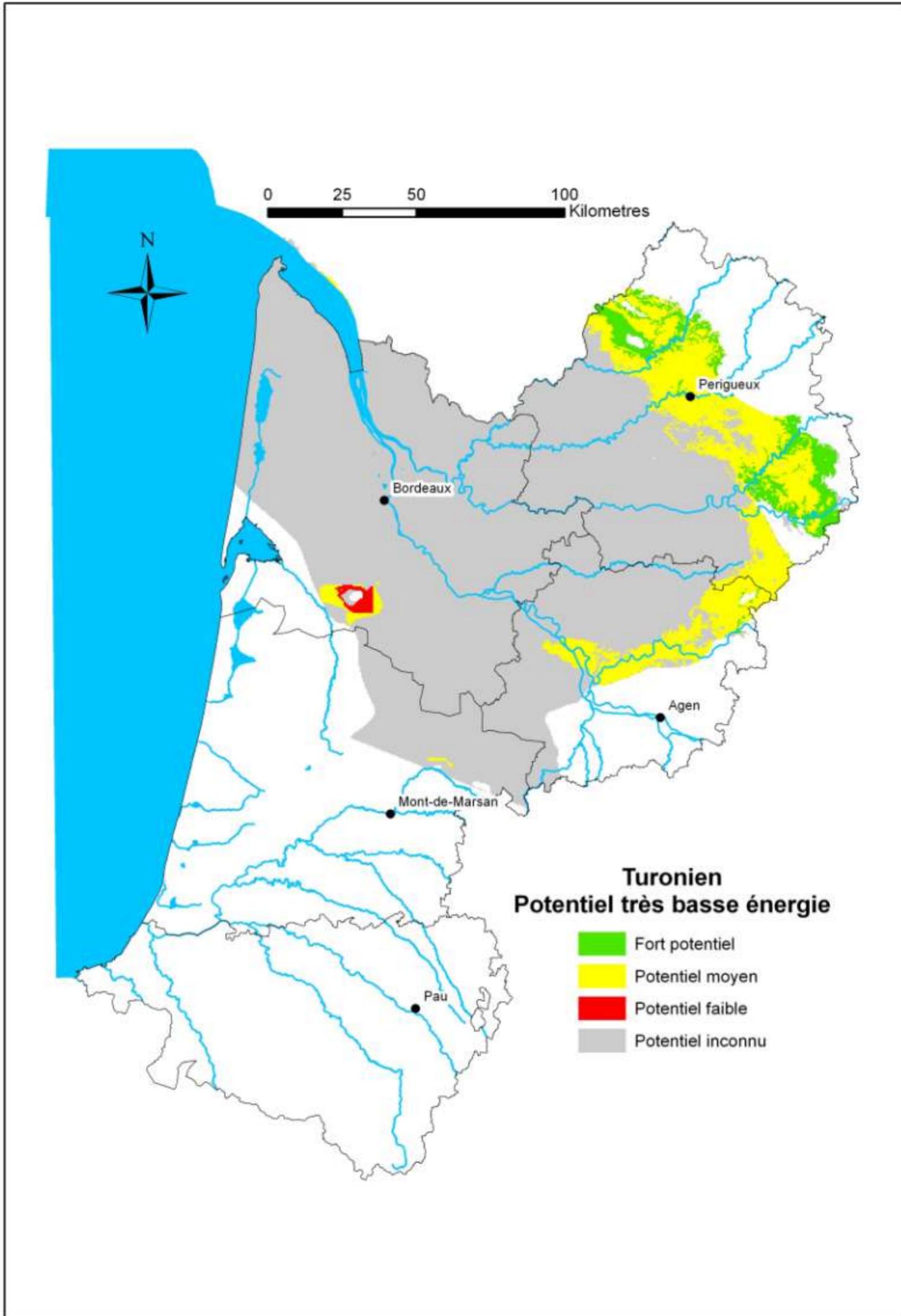


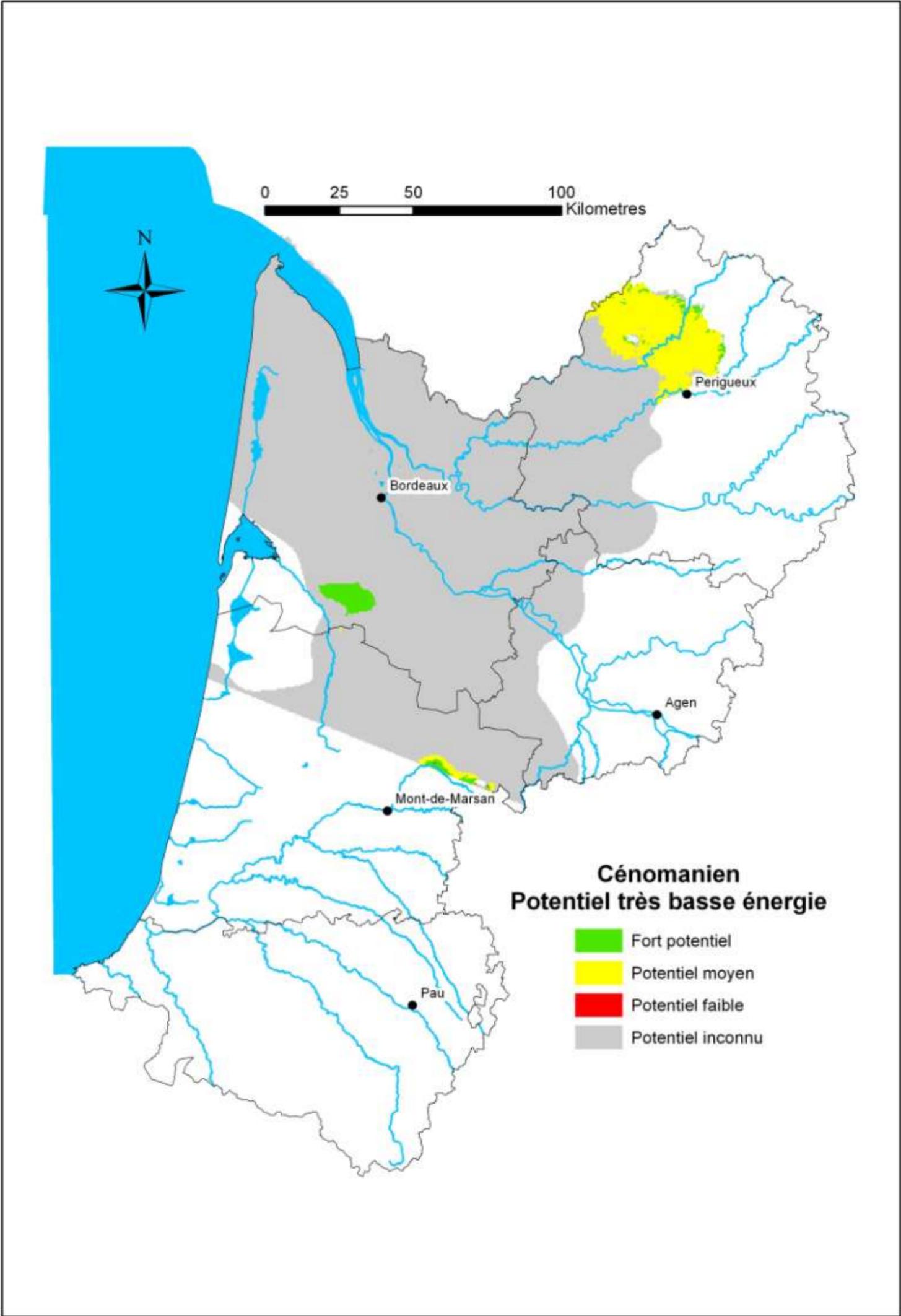


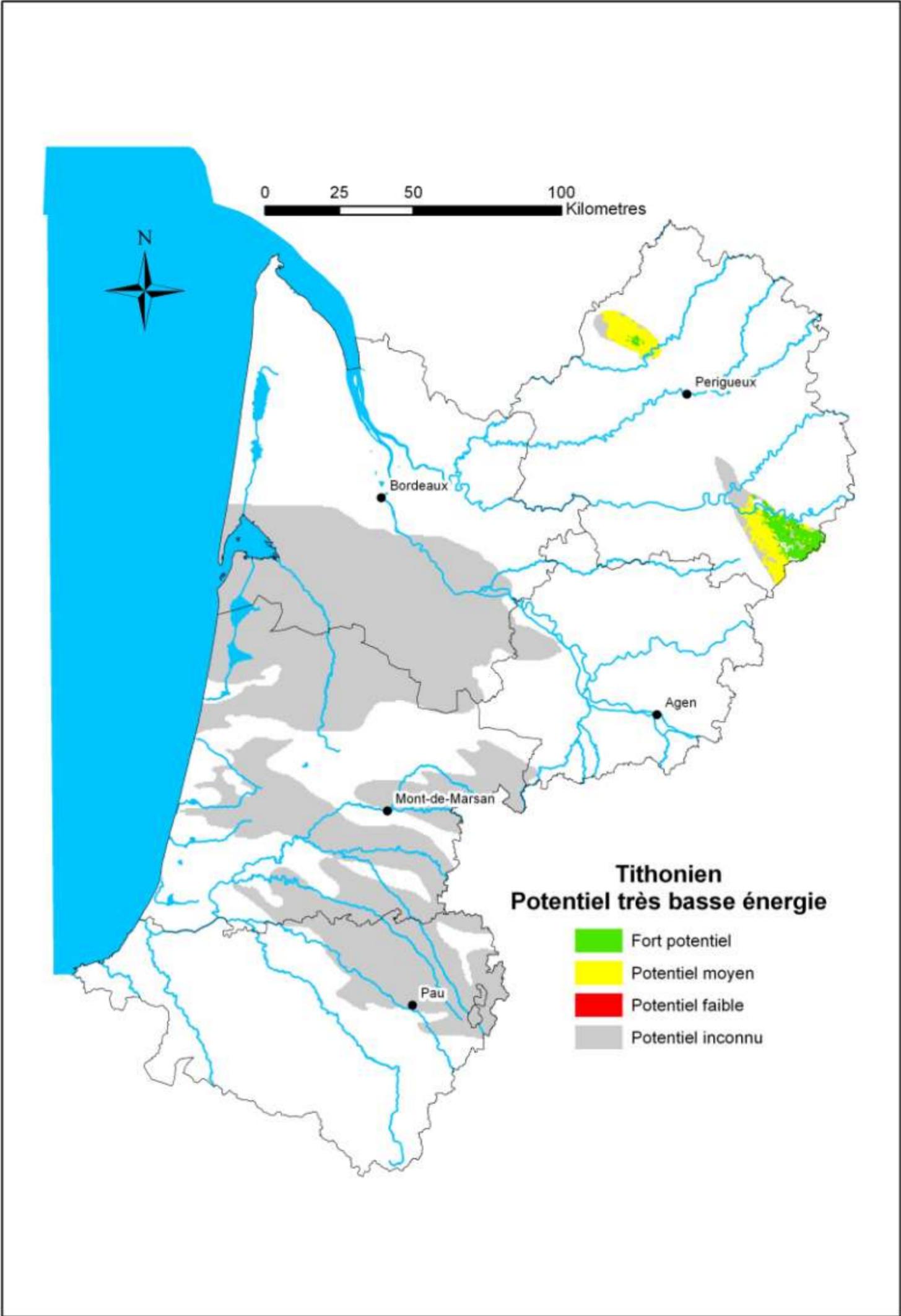


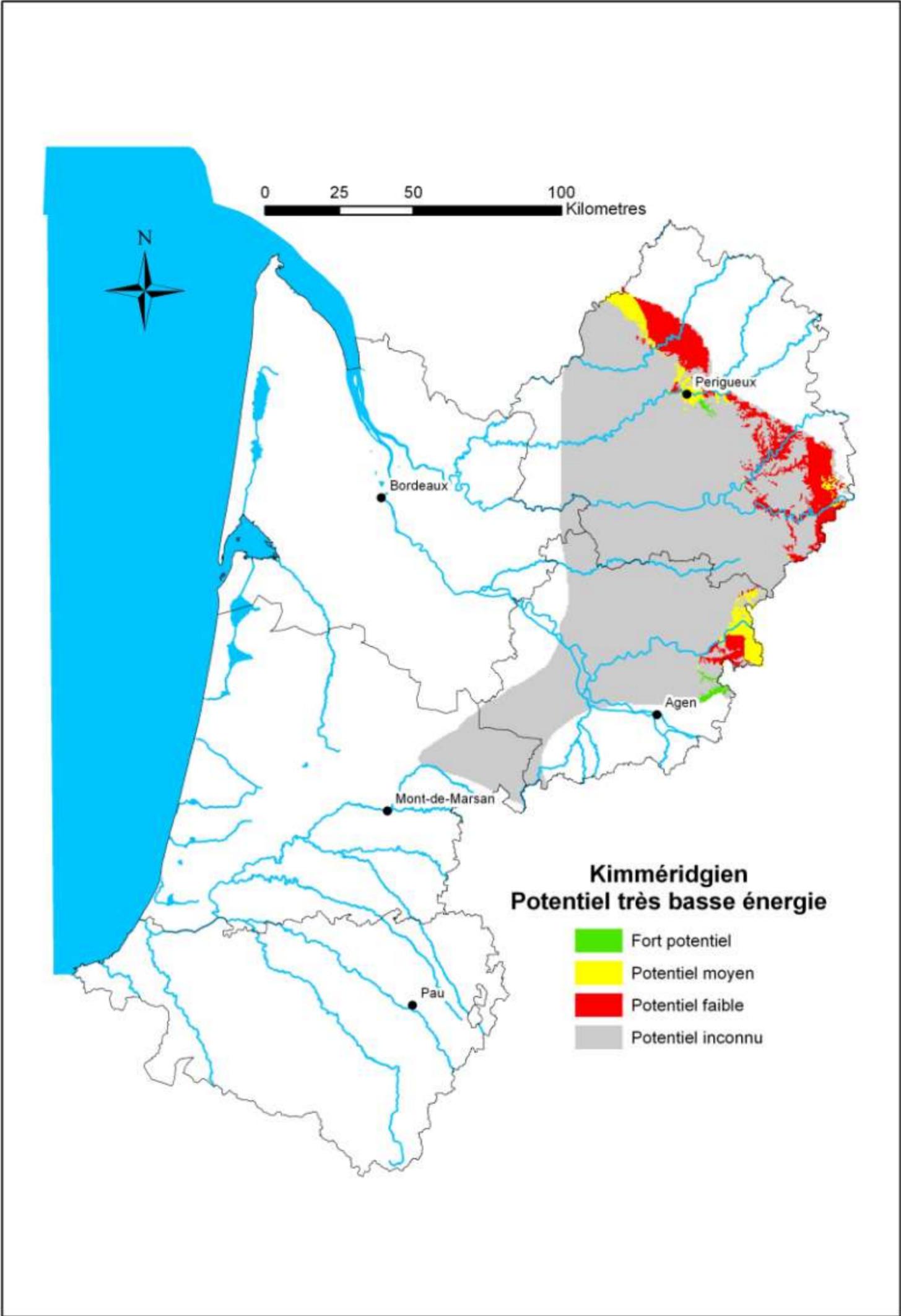


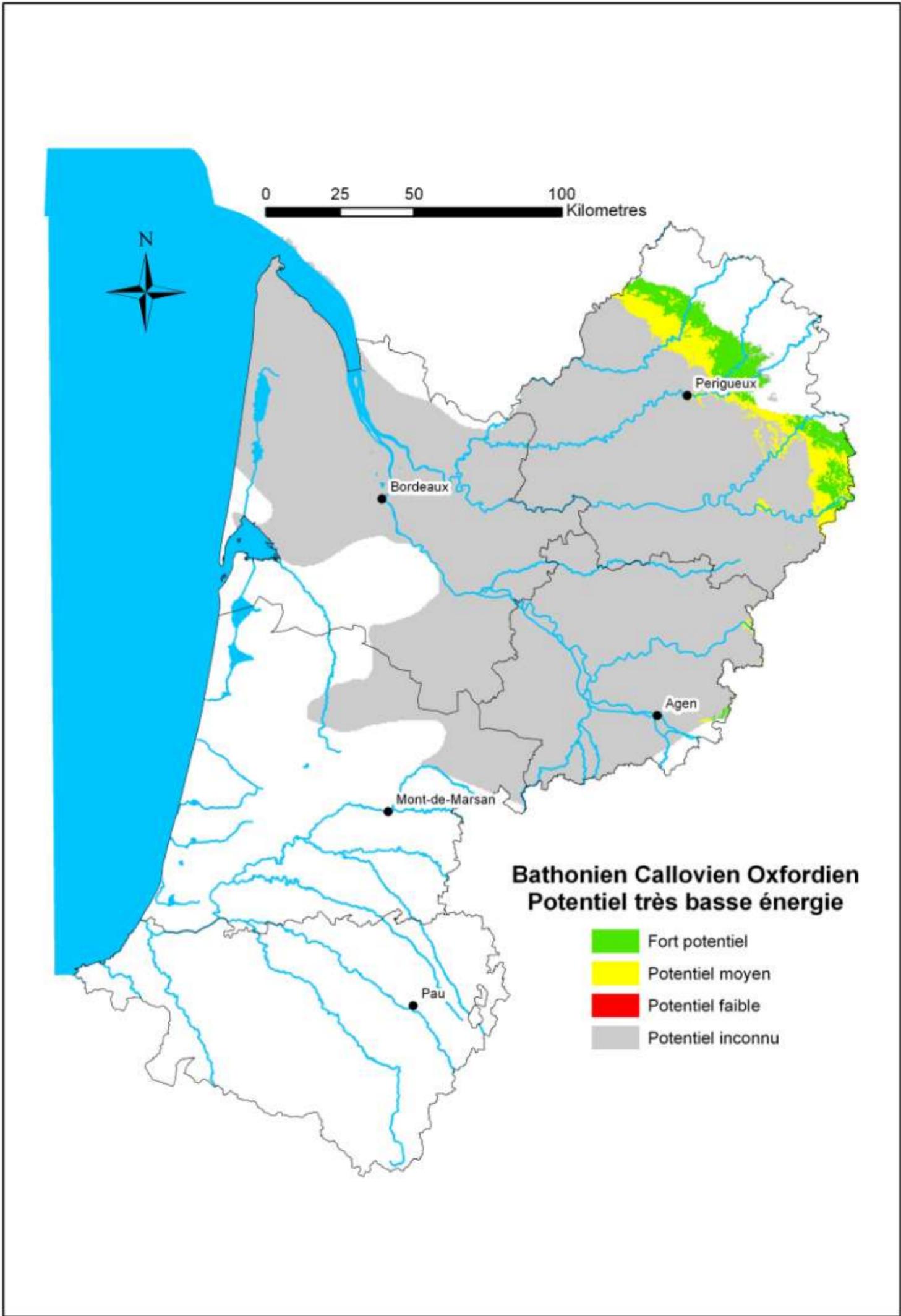


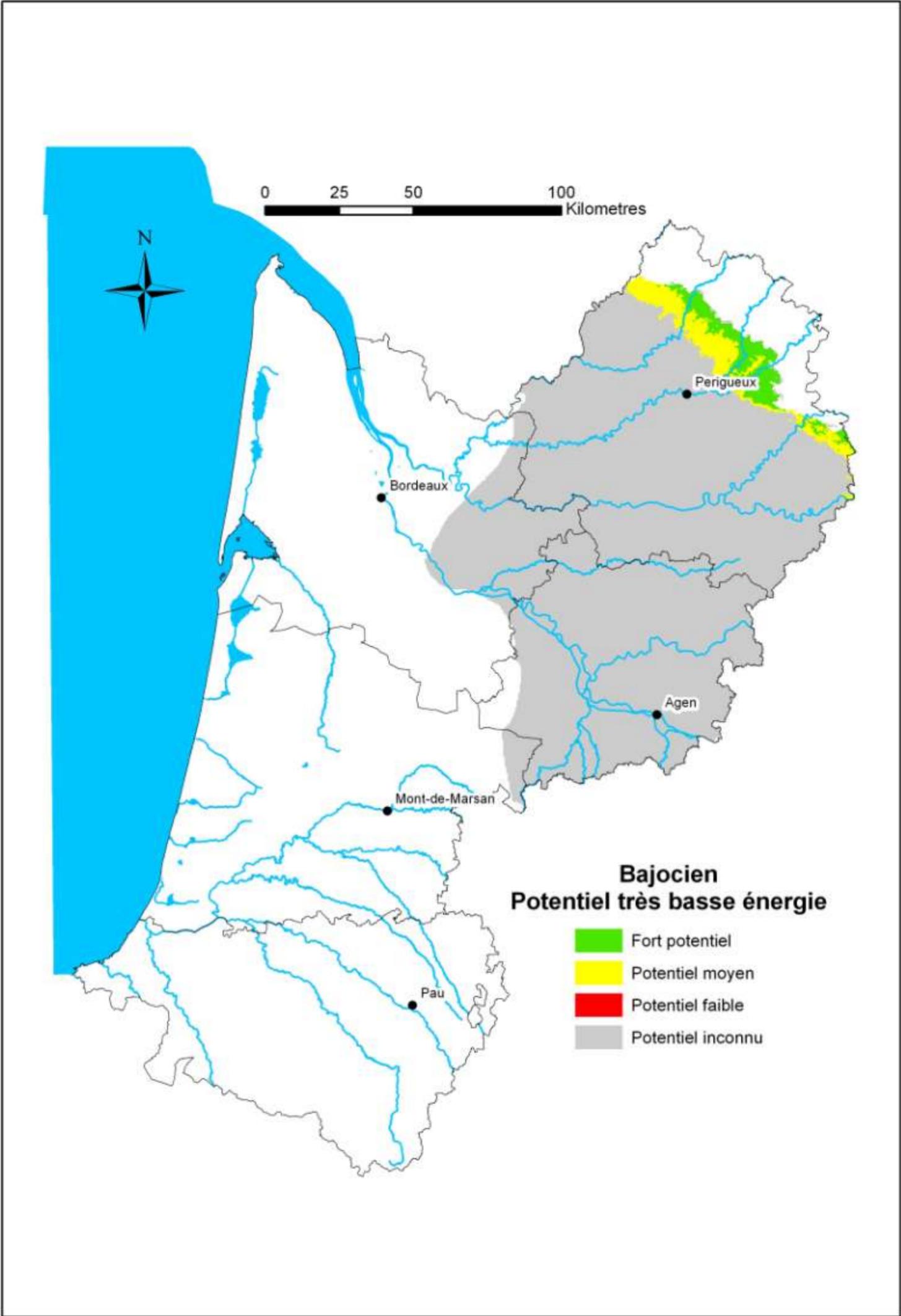




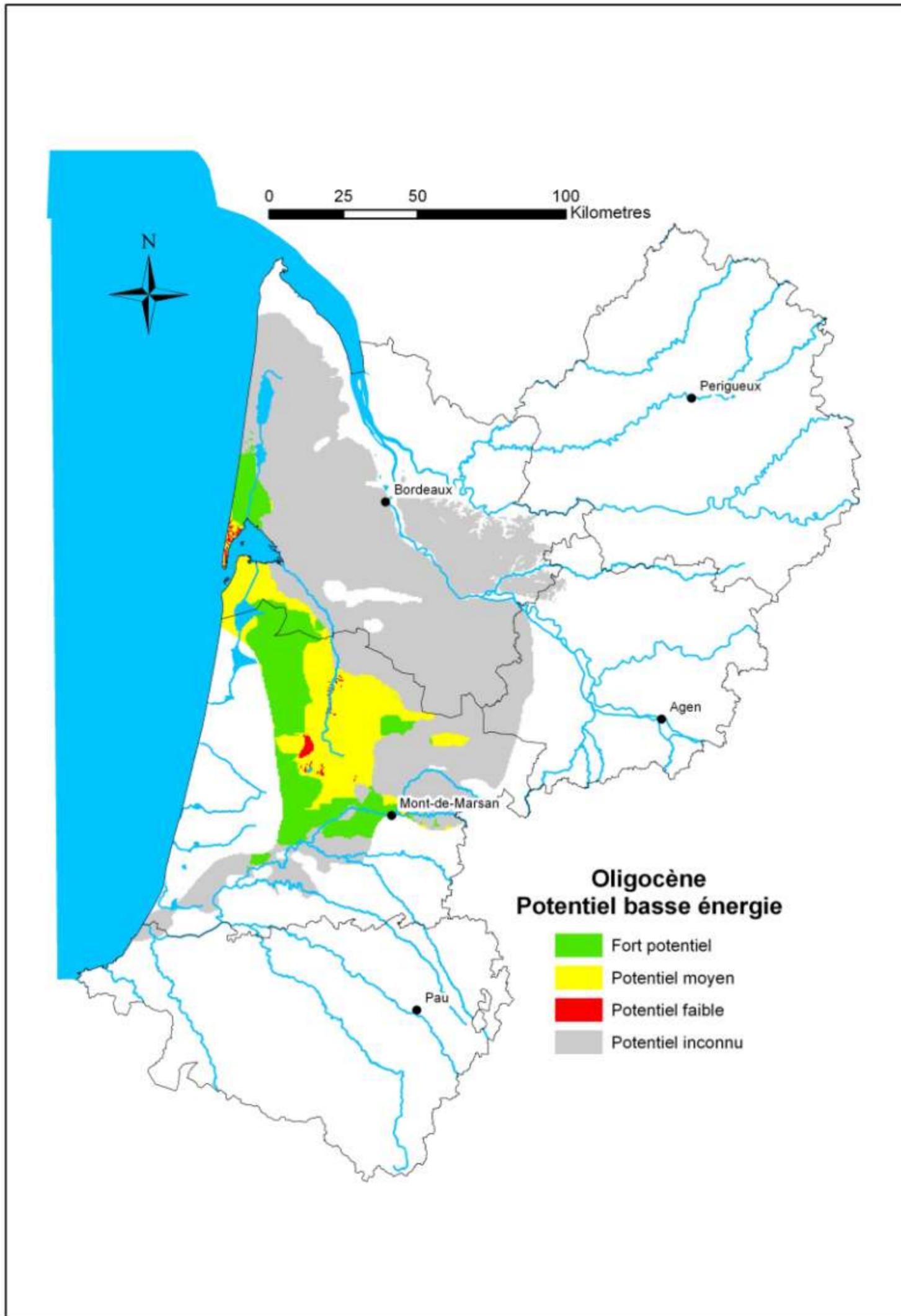


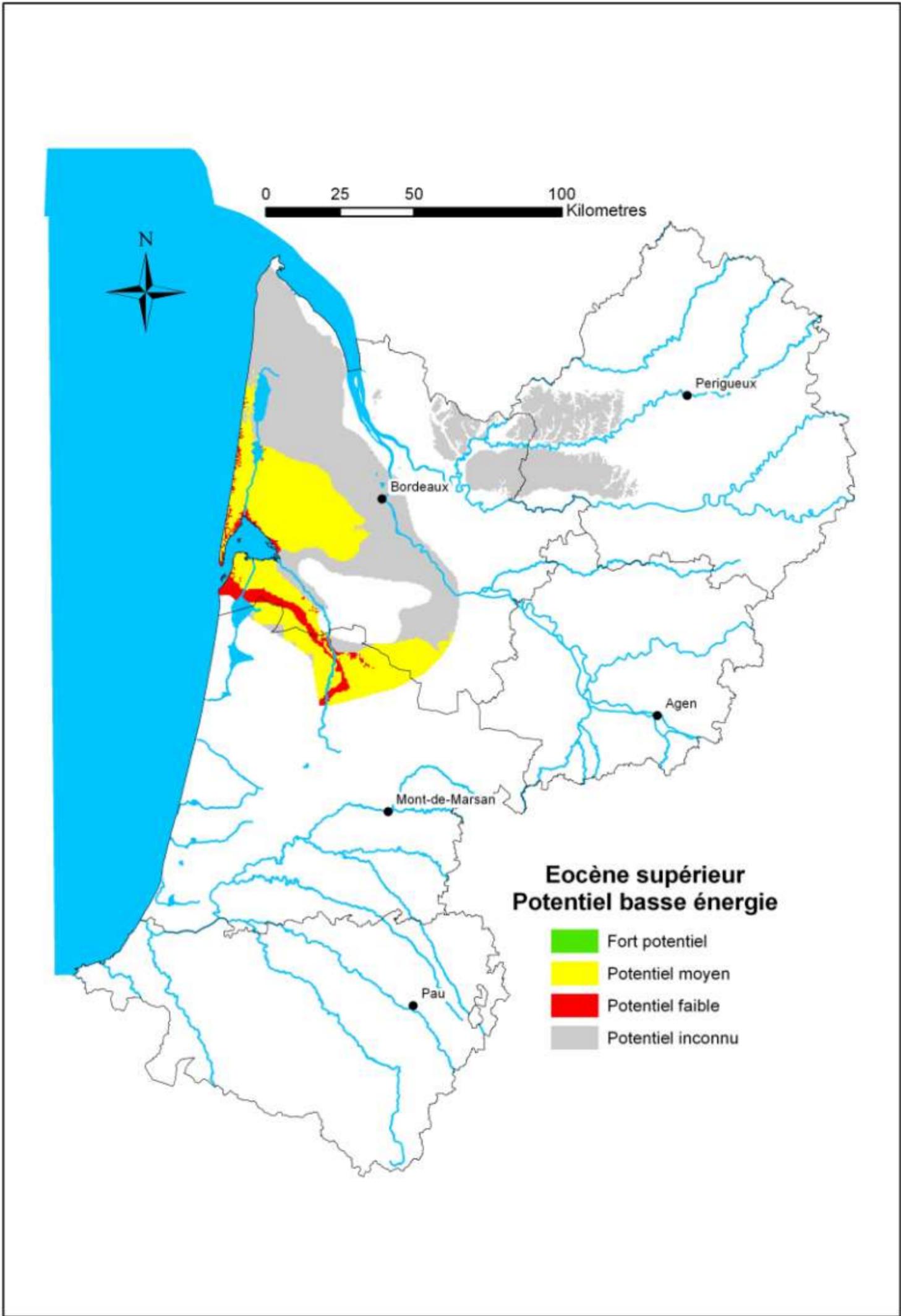


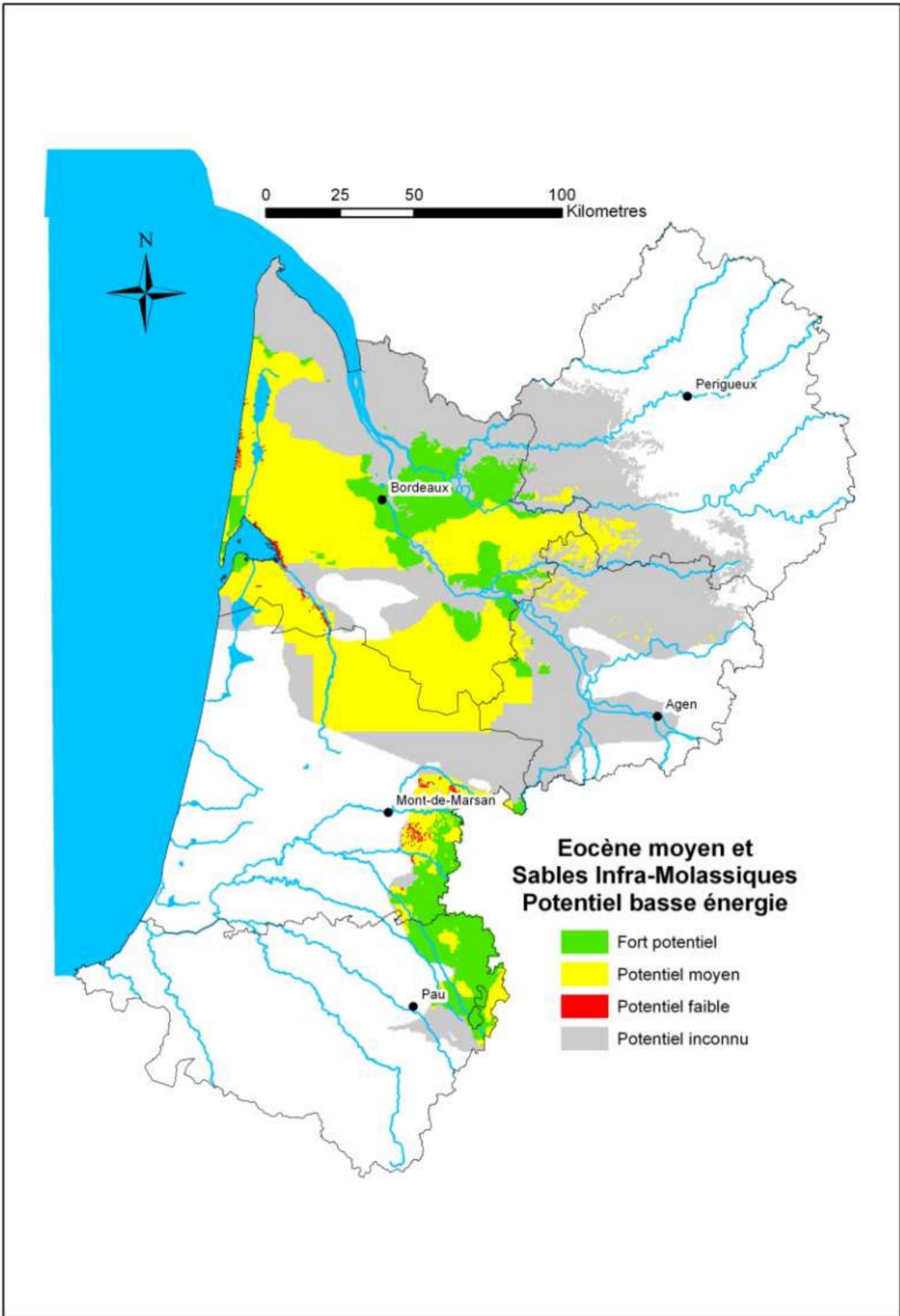


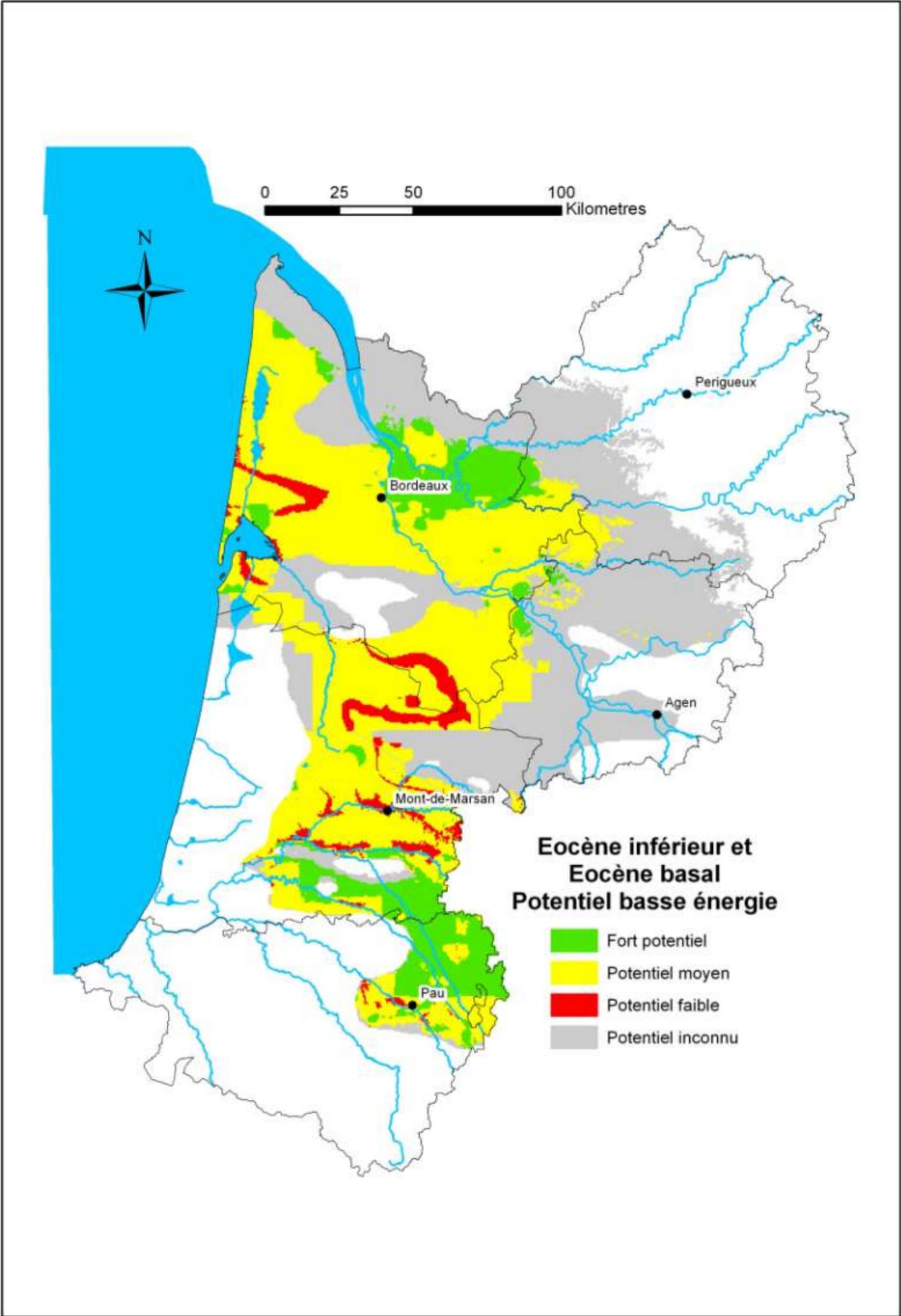


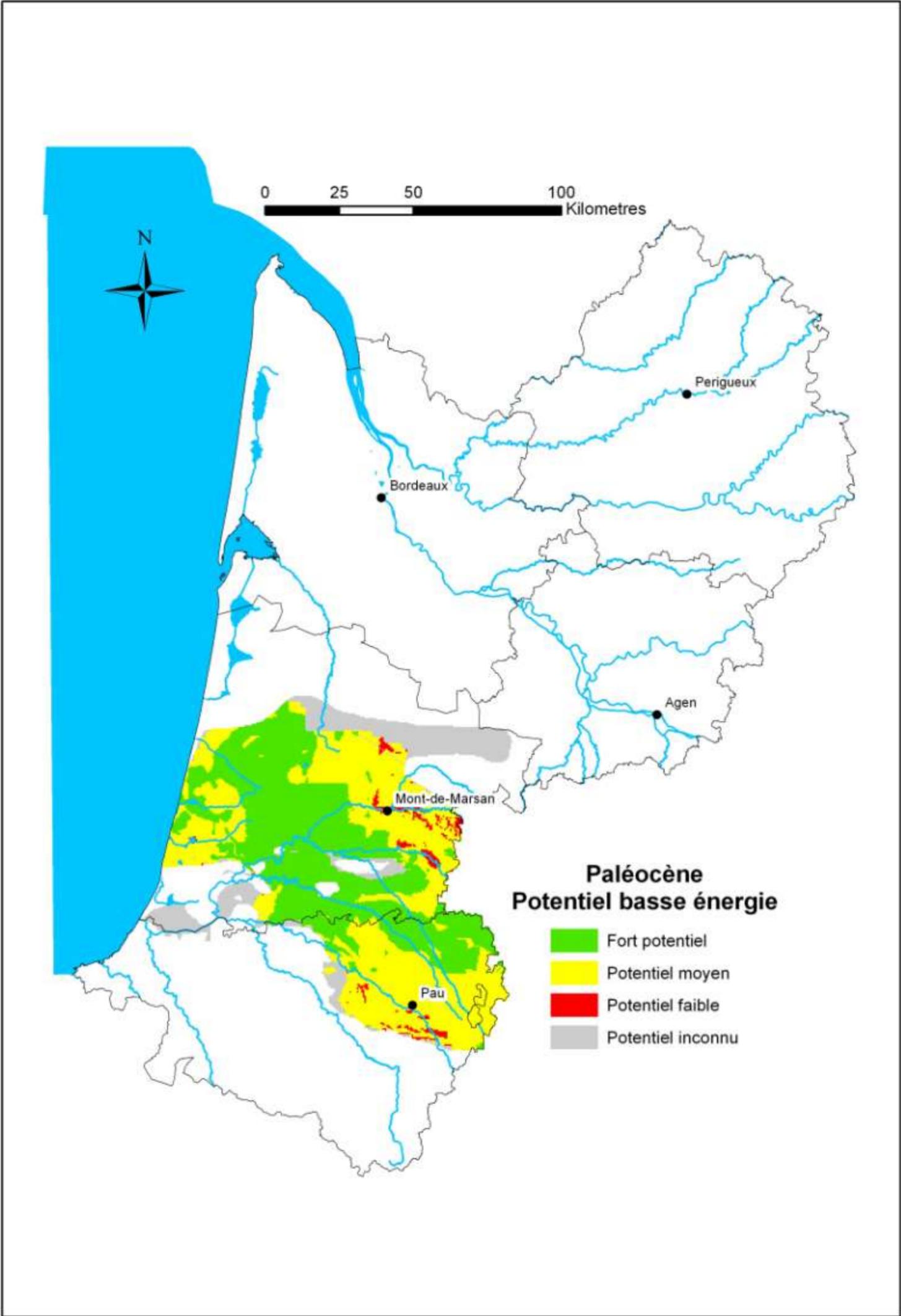
POTENTIEL BASSE ÉNERGIE

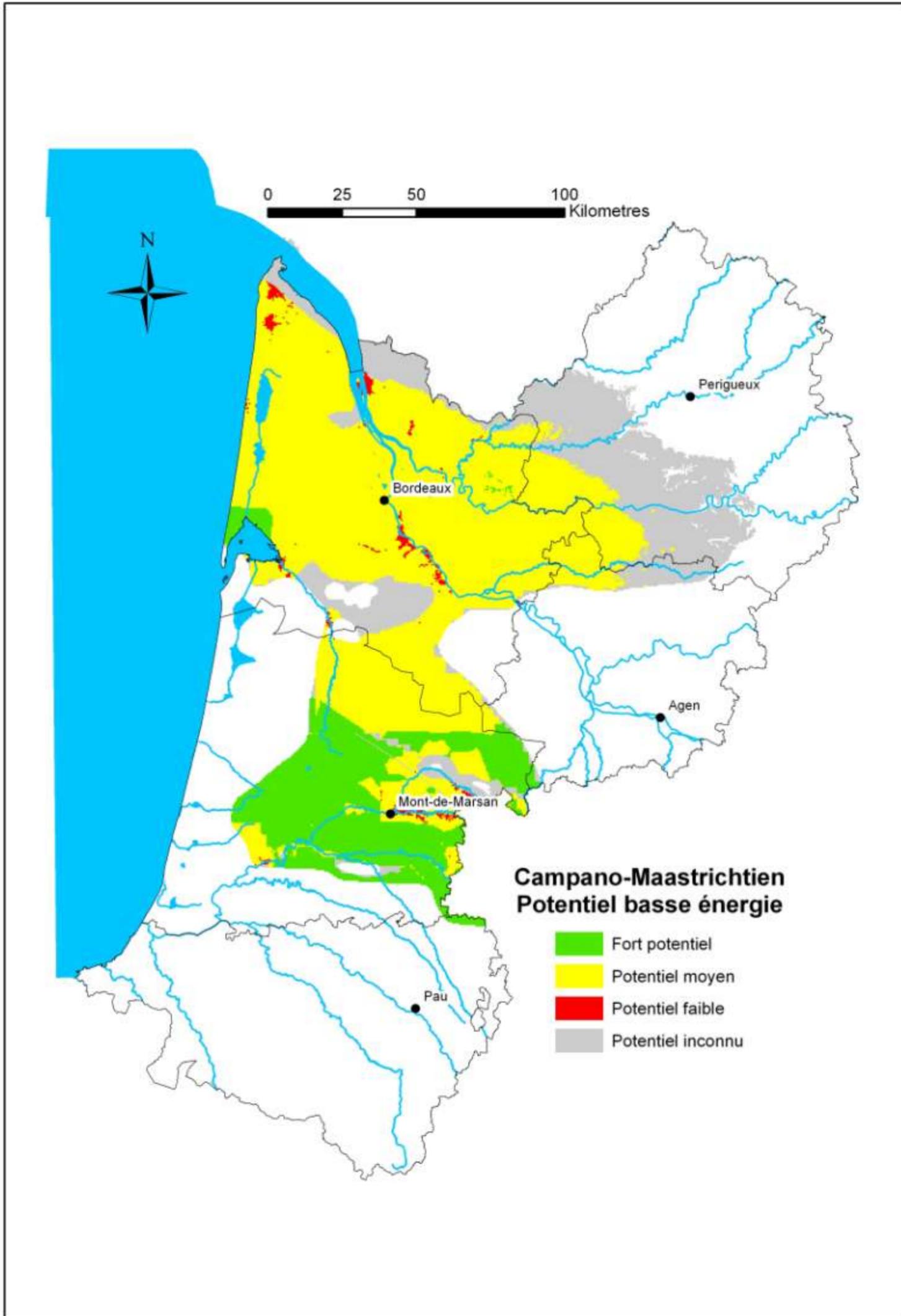


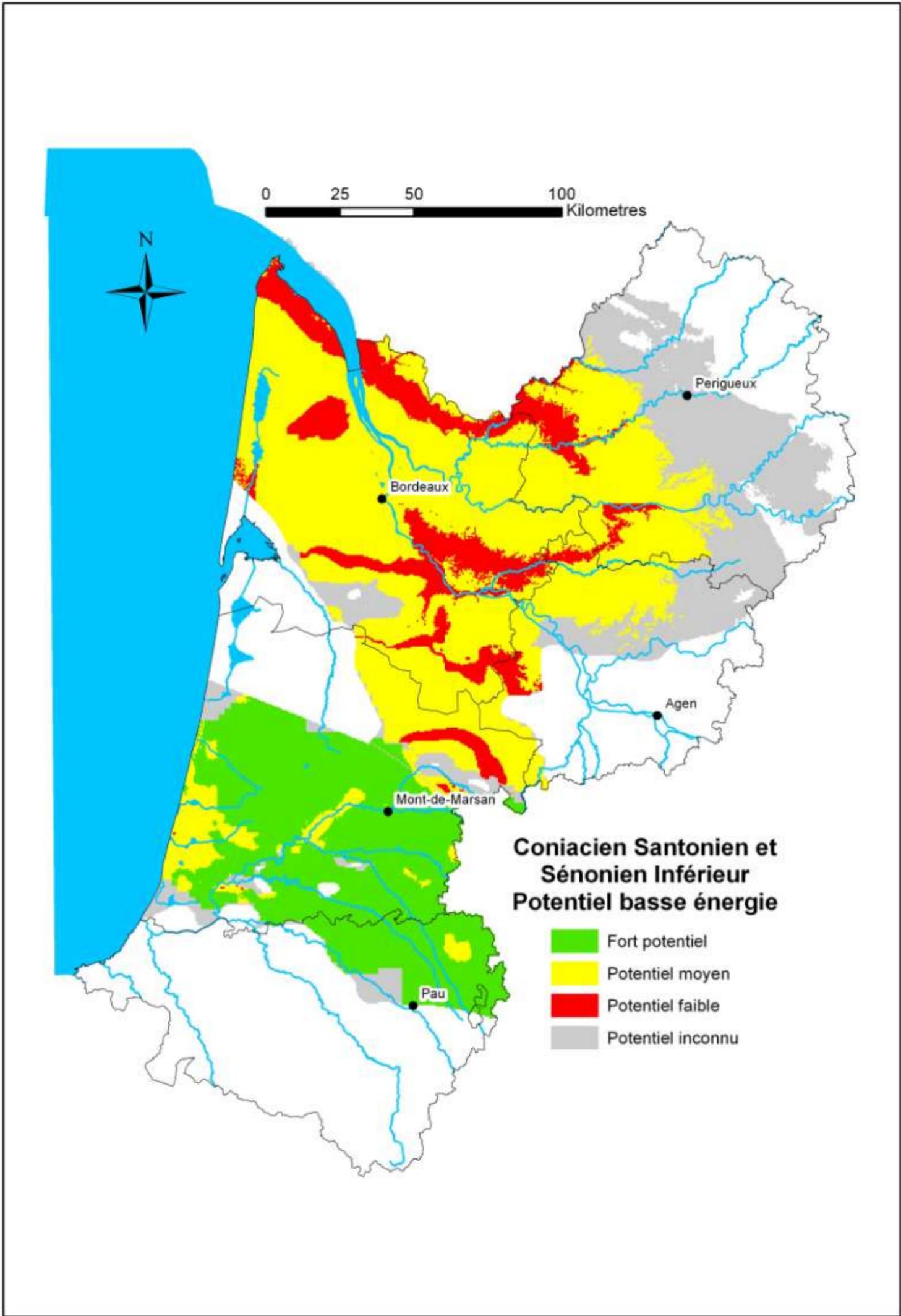


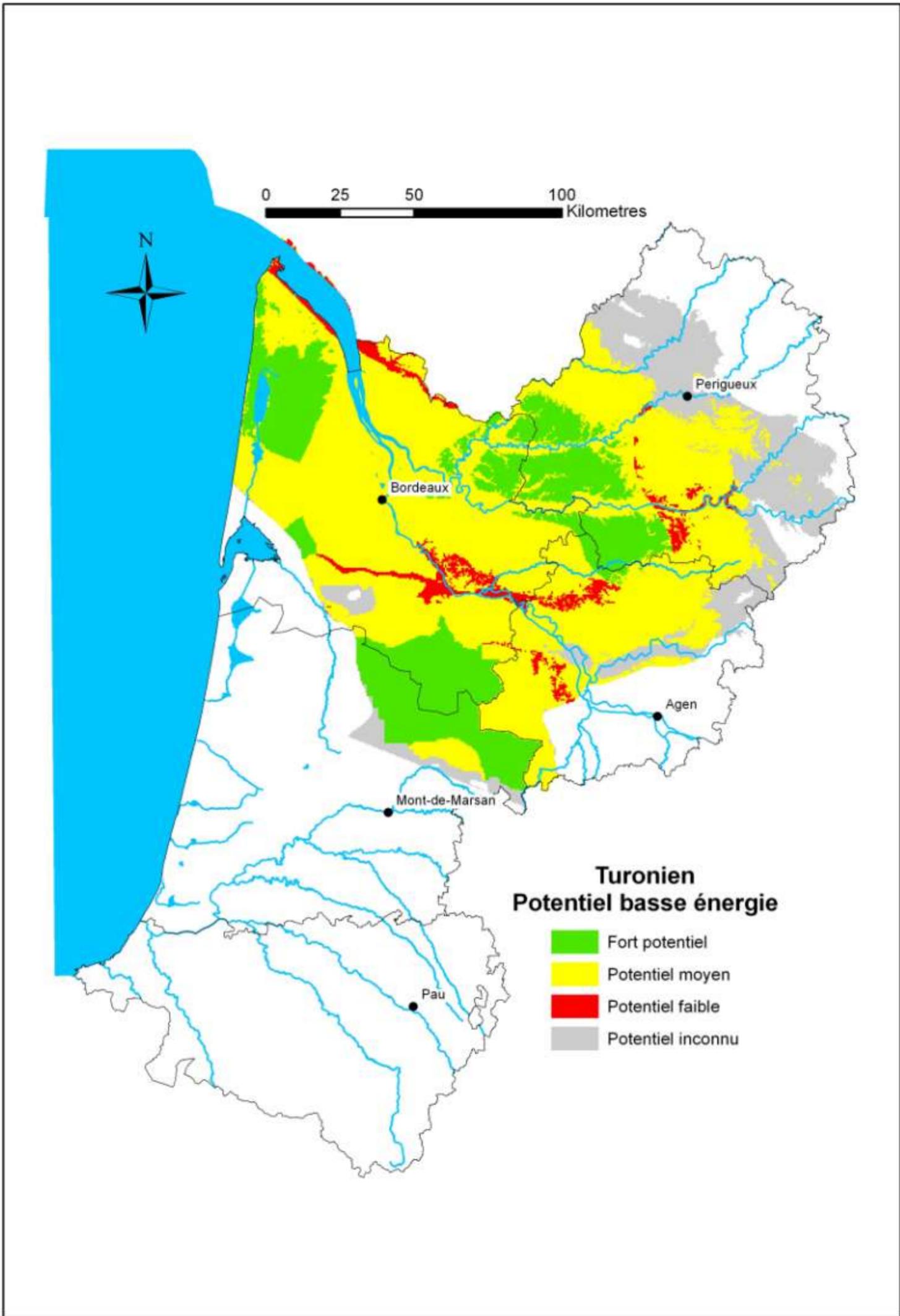


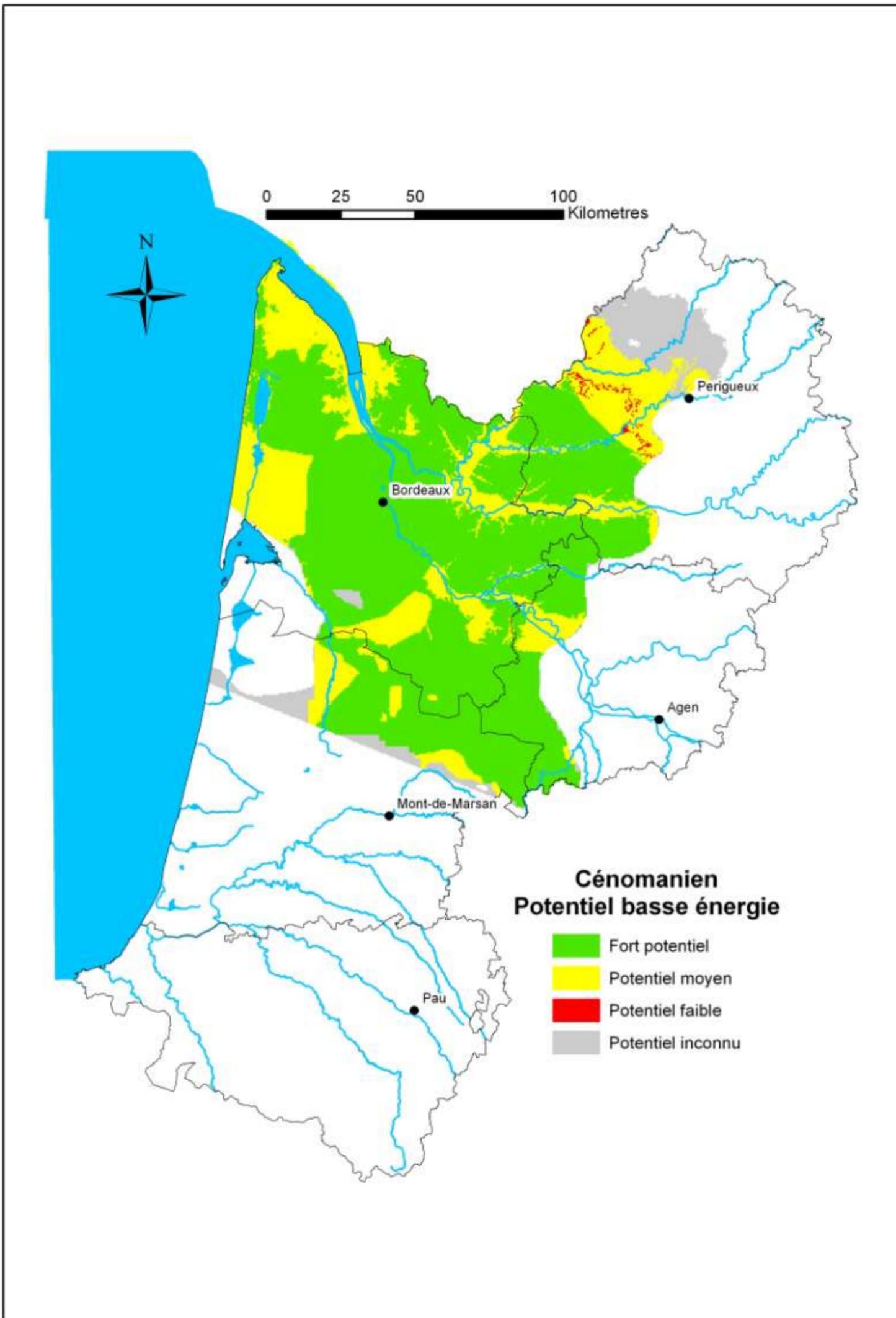


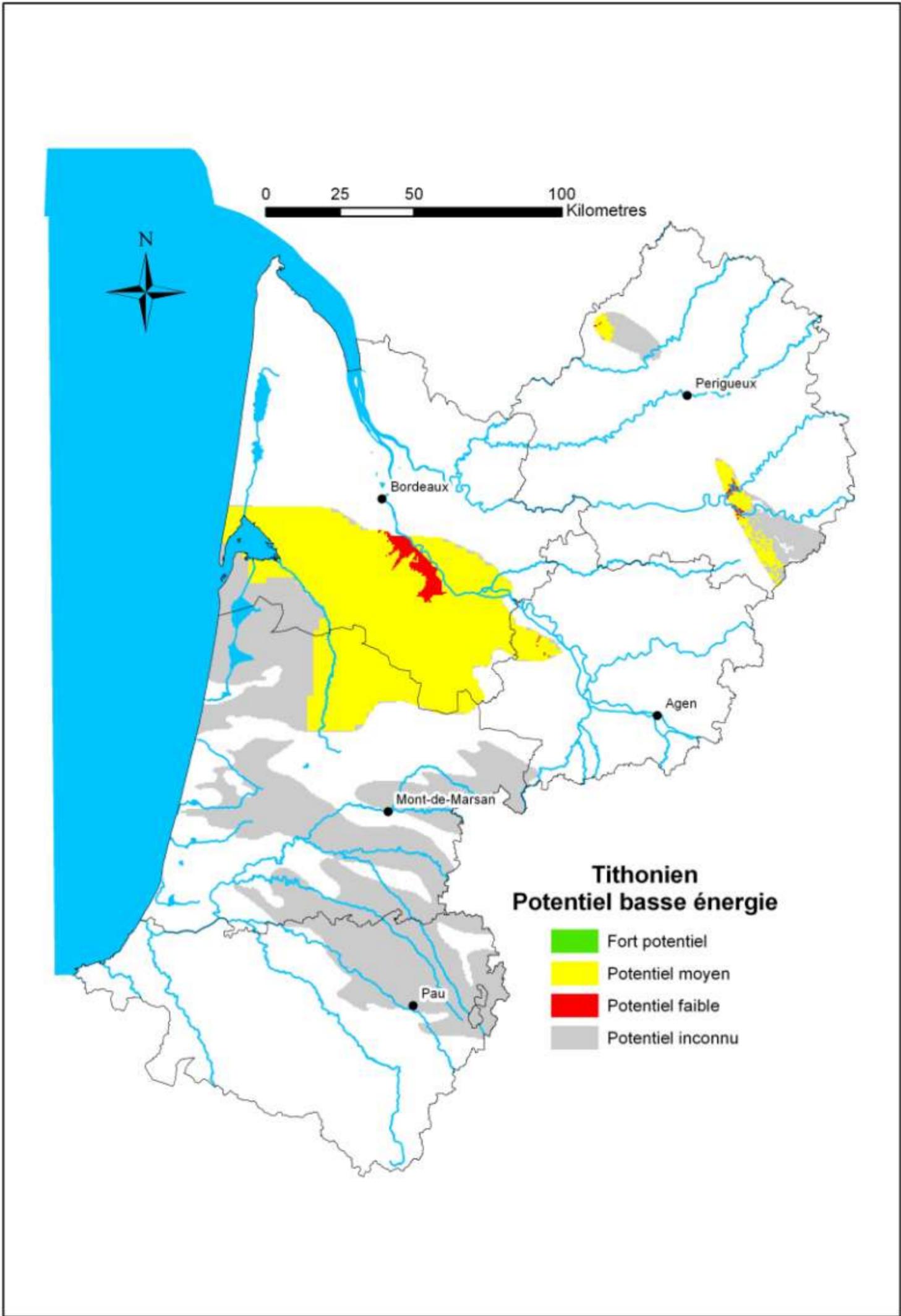


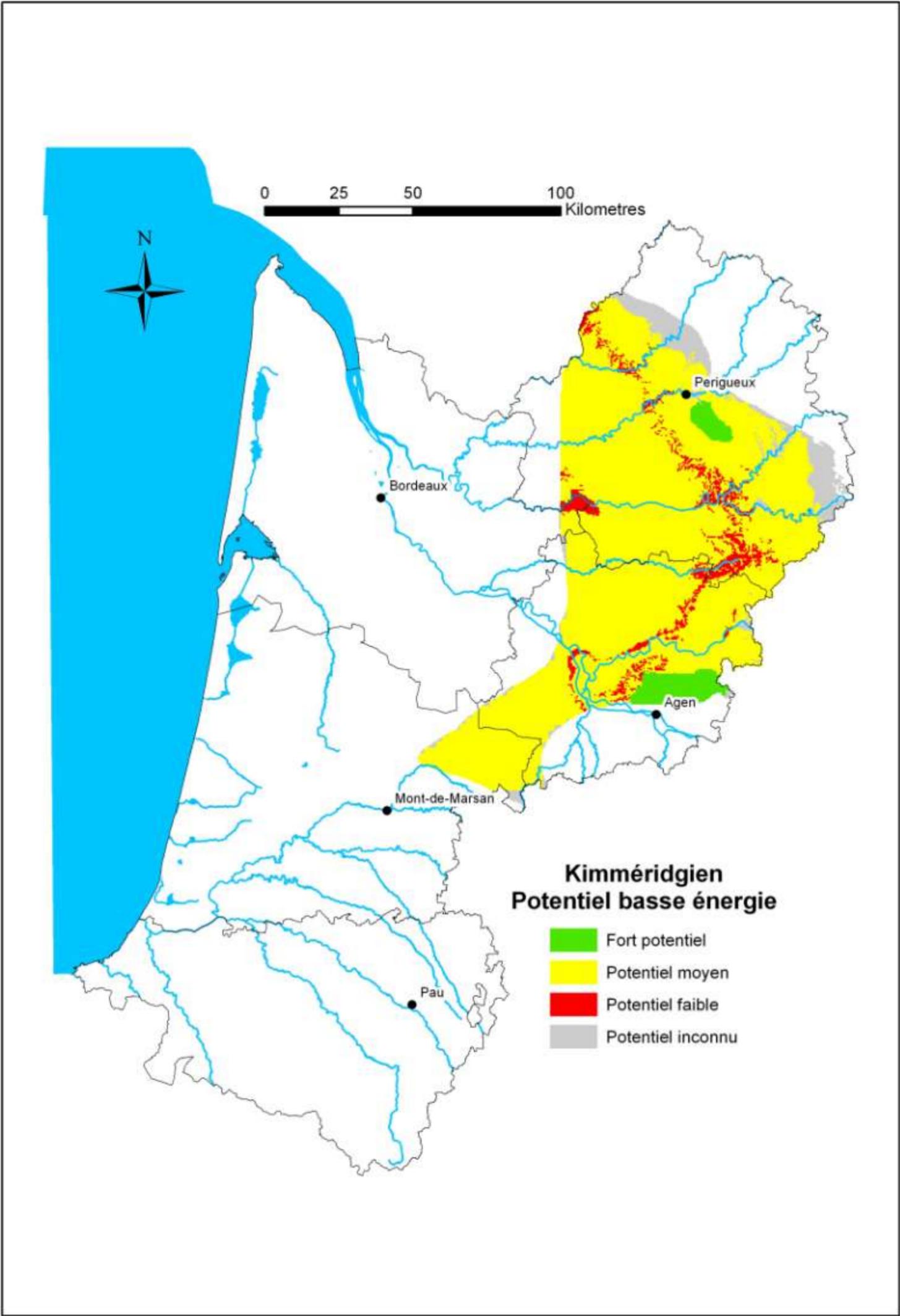


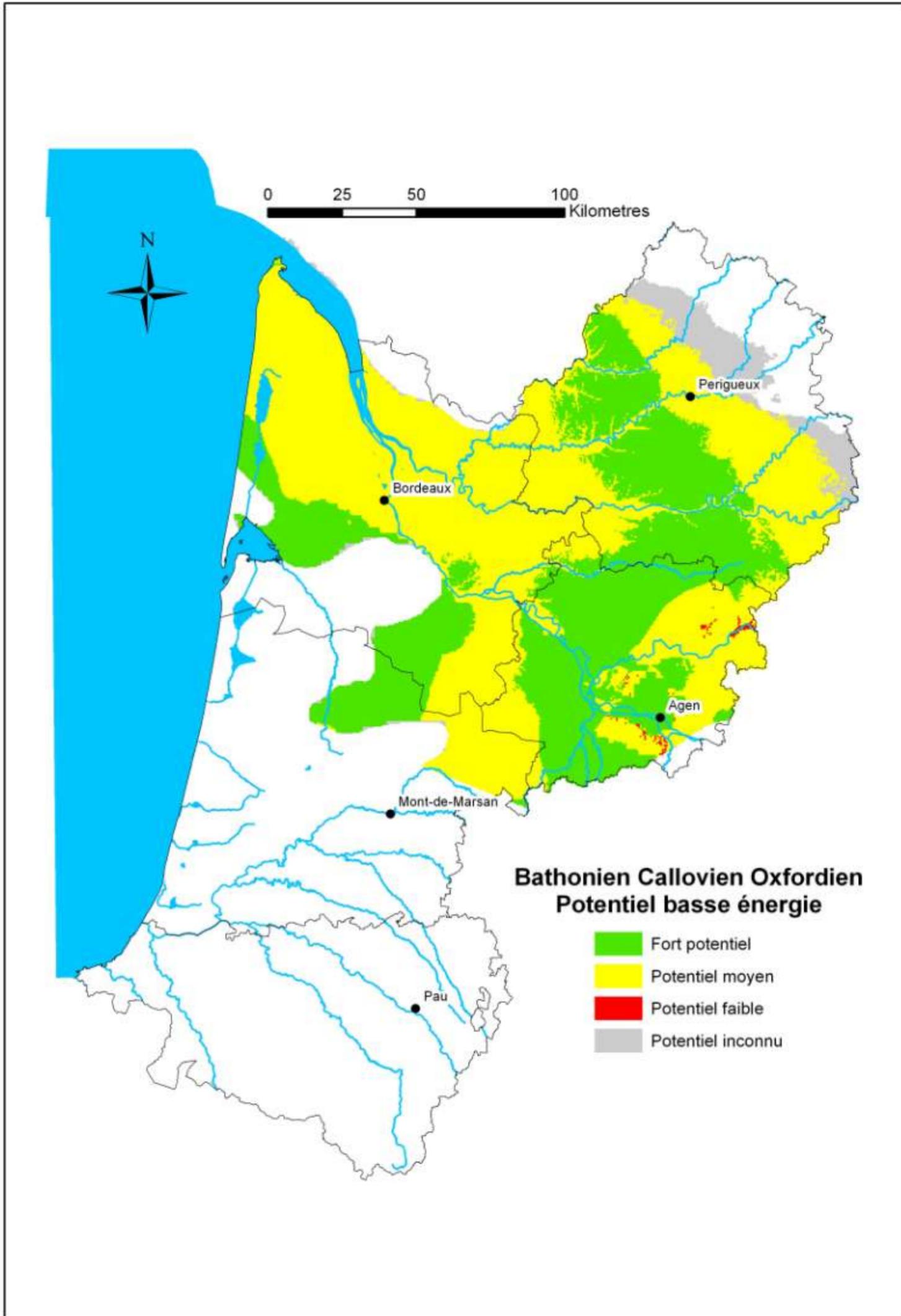


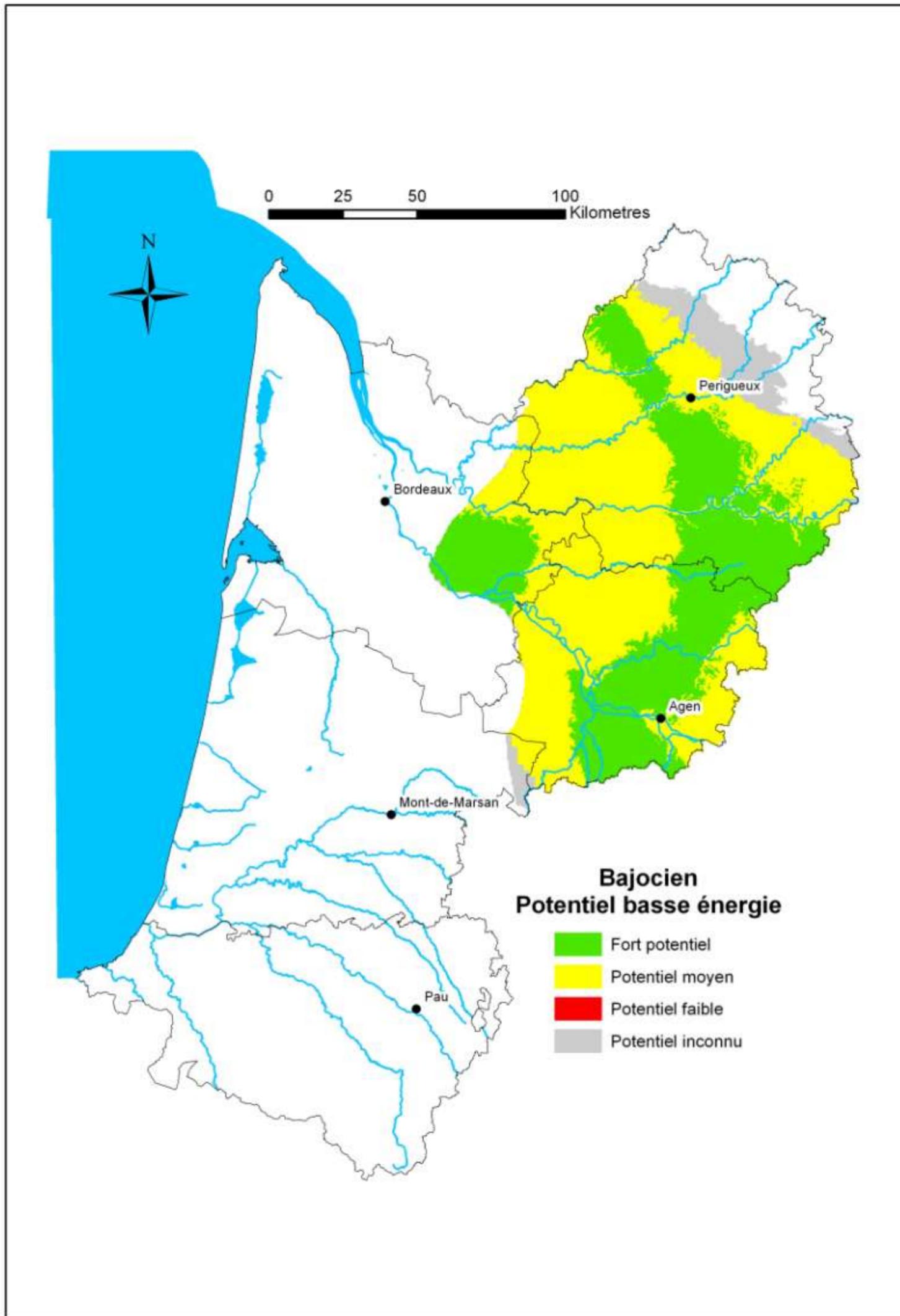






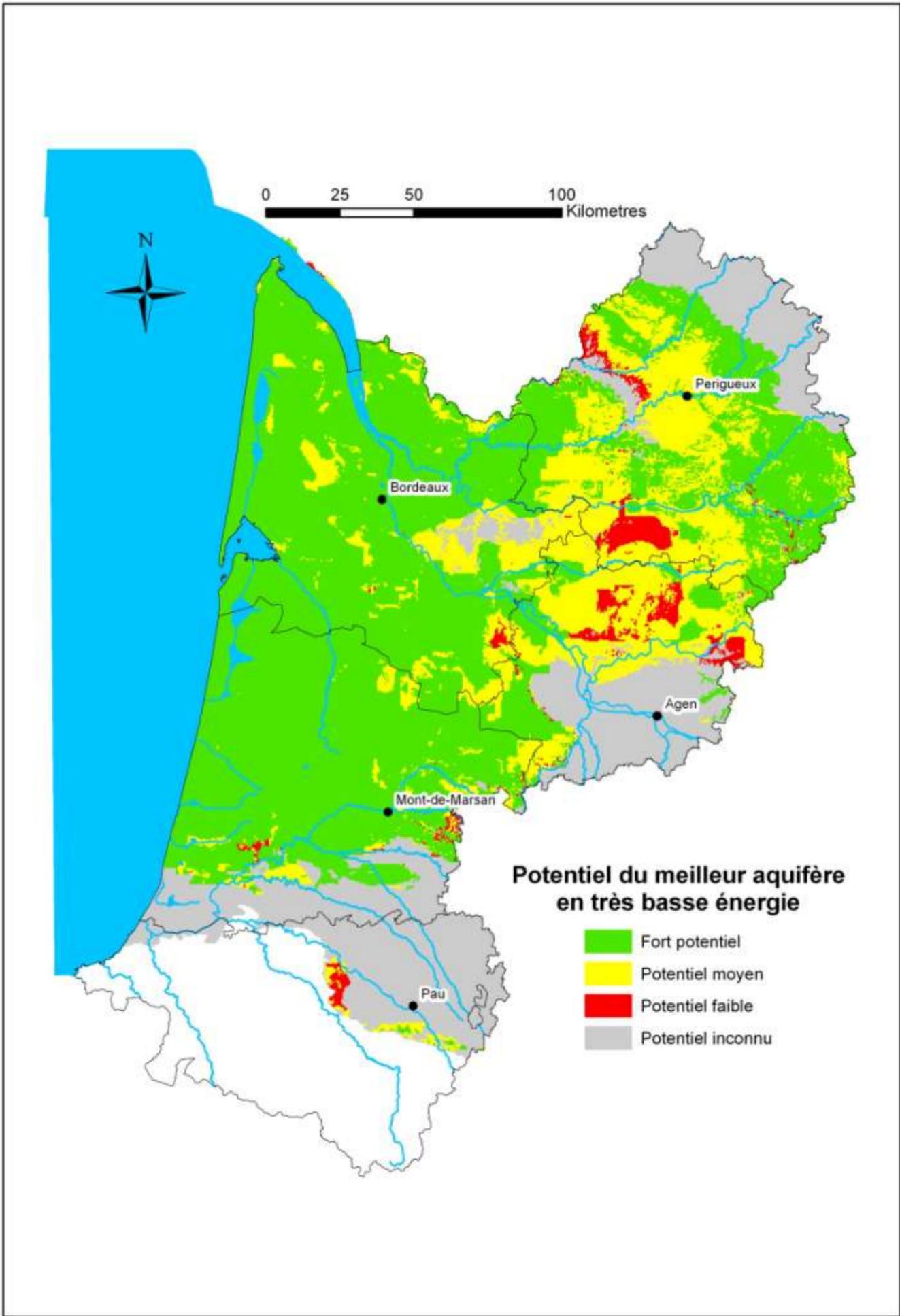


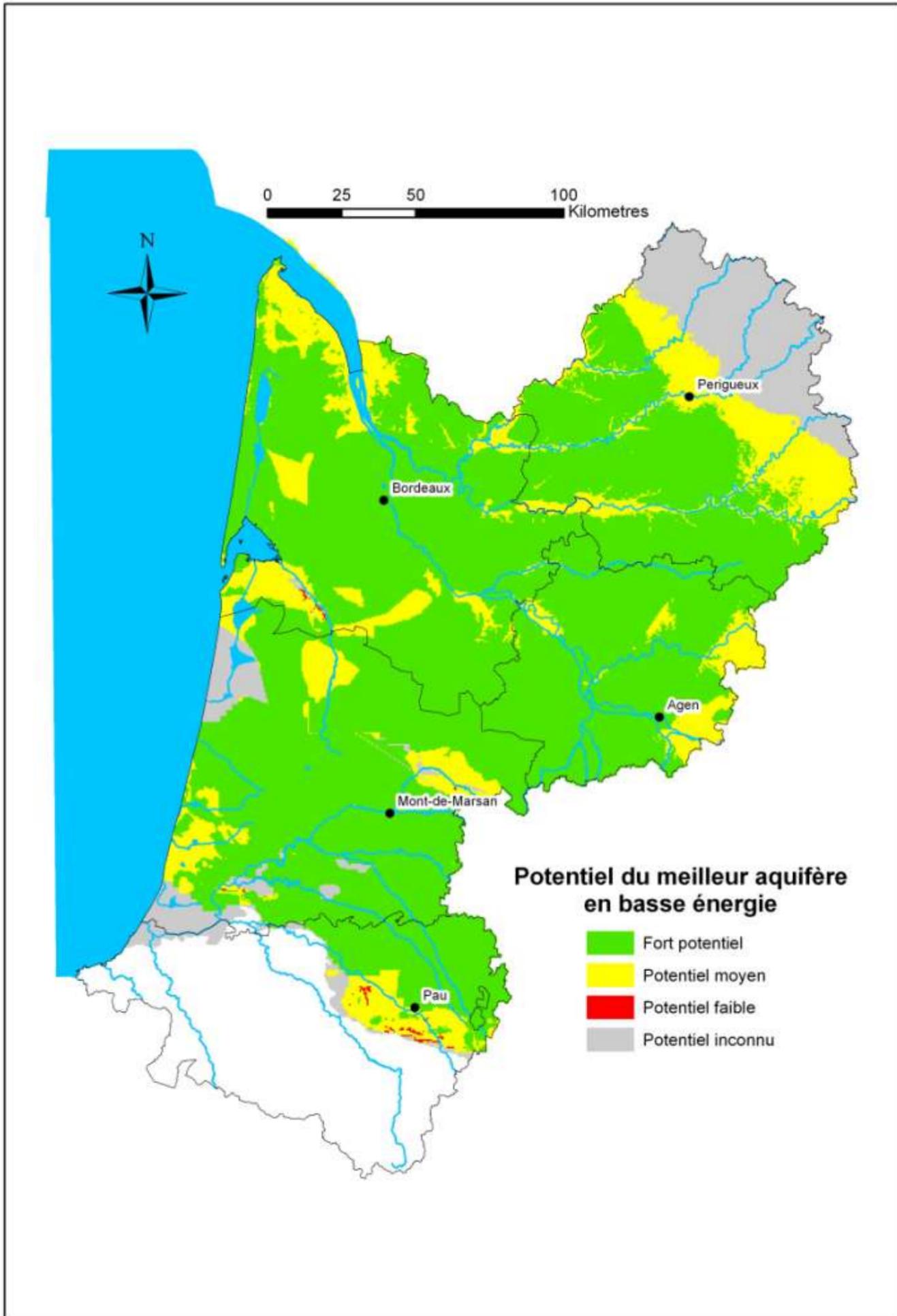


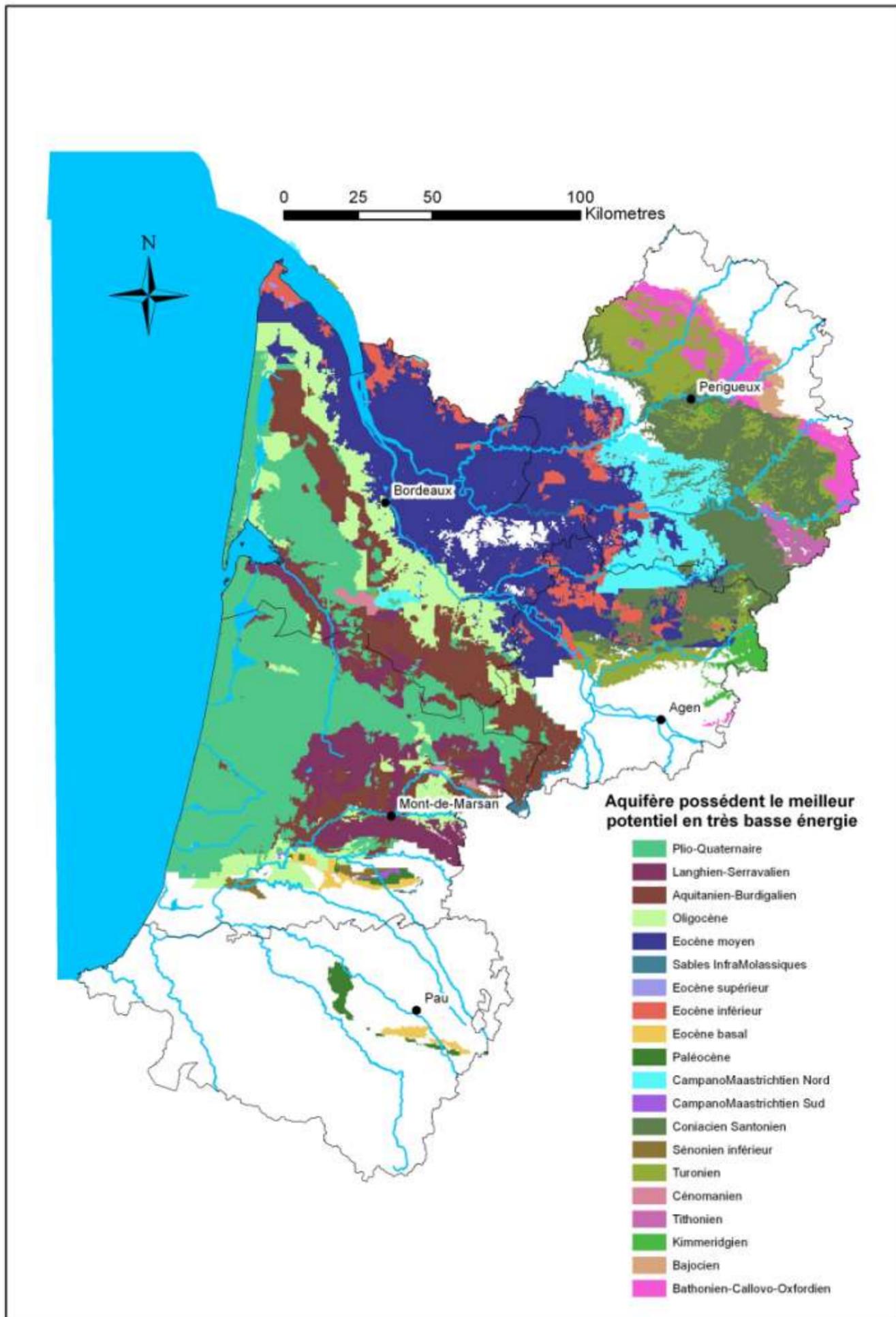


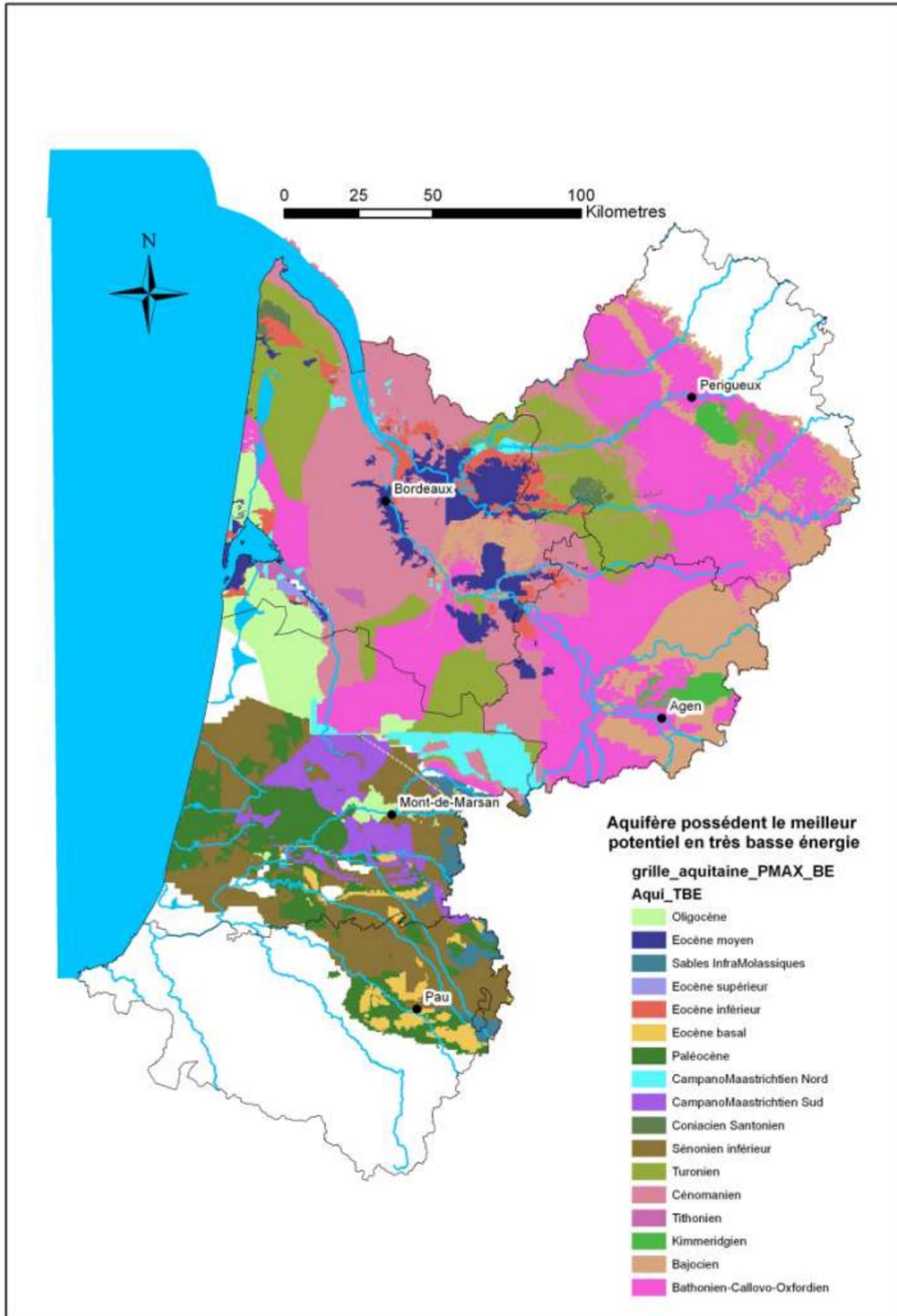
Annexe 10

Cartes des potentialités géothermiques de l'Aquitaine





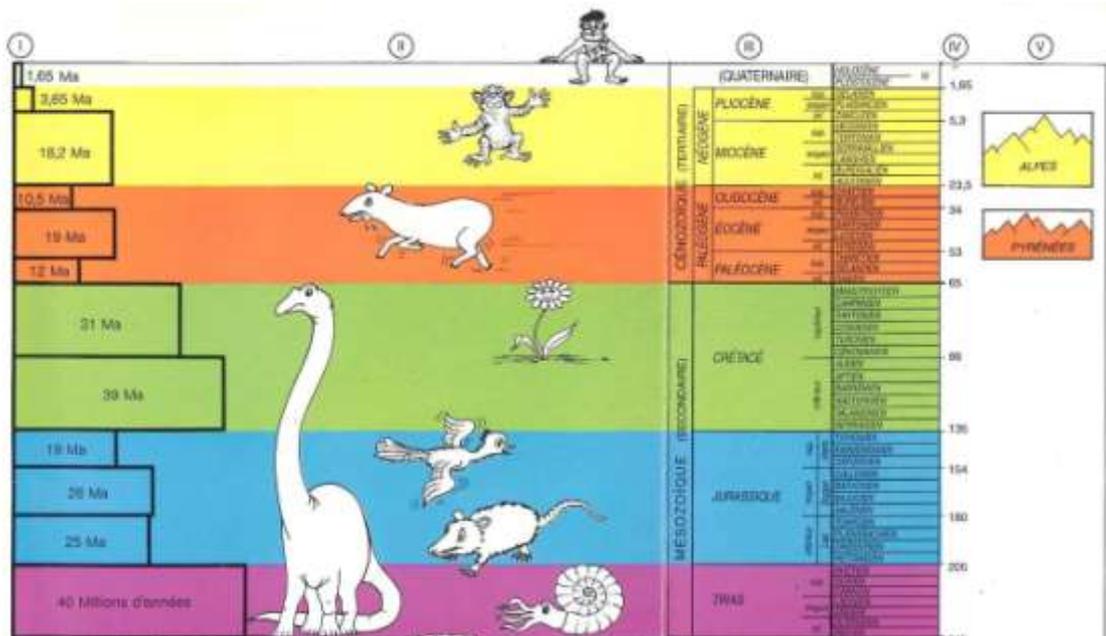




Annexe 11

Glossaire et échelle des temps simplifiée

ECHELLE DES TEMPS SIMPLIFIÉE



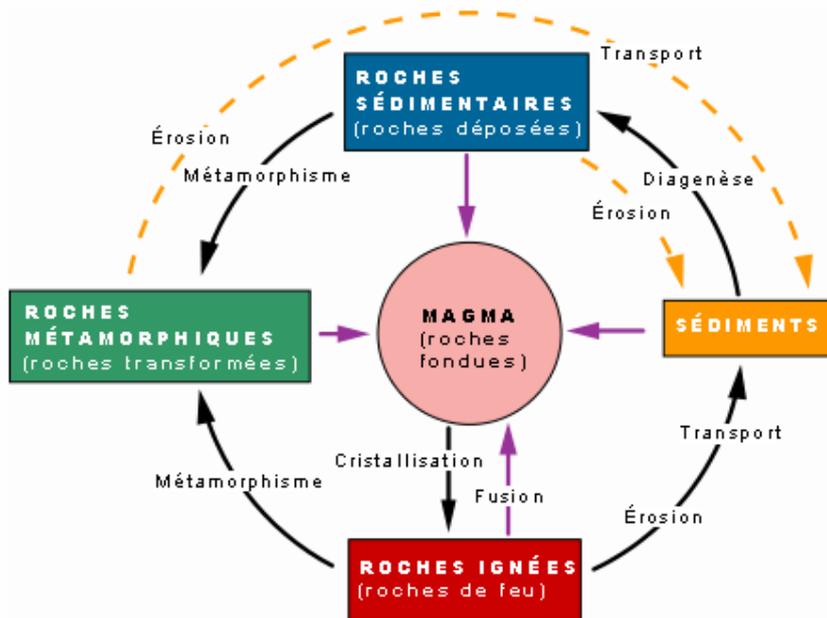
GLOSSAIRE

Les tableaux et illustrations présentés dans ce glossaire des termes géologiques et hydrogéologiques sont tirés de « Les eaux souterraines » de JJ. Collin et de la revue de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (Hors-série - 2002).

Affleurement : partie d'une couche géologique visible en surface.

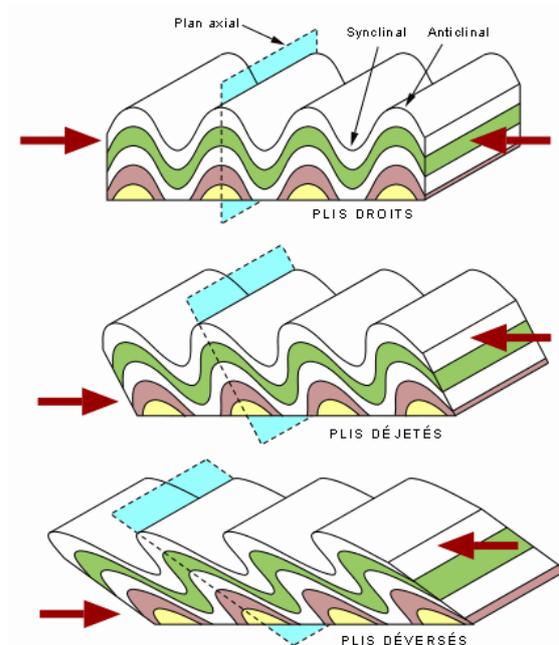
Altération : les processus de l'altération superficielle sont de trois types: mécaniques, chimiques et biologiques.

- Les processus mécaniques (ou physiques) sont ceux qui désagrègent mécaniquement la roche, comme l'action du gel et du dégel.
- L'altération chimique est très importante : plusieurs minéraux composant des roches, comme les feldspaths, sont facilement attaqués par les eaux d'infiltration et transformés en minéraux des argiles (phyllosilicates).
- Certains organismes ont la possibilité d'attaquer biochimiquement les minéraux. Certains lichens vont chercher dans les minéraux les éléments chimiques dont ils ont besoin. L'action combinée de ces trois mécanismes produit des particules de toutes tailles.



Les différents types de roches

Anticlinal : déformation résultant de la flexion de roches : pli dont la convexité est tournée vers le haut. On appelle charnière la zone d'inflexion maximale, de part et d'autre de laquelle se développent des flancs plus ou moins longs.

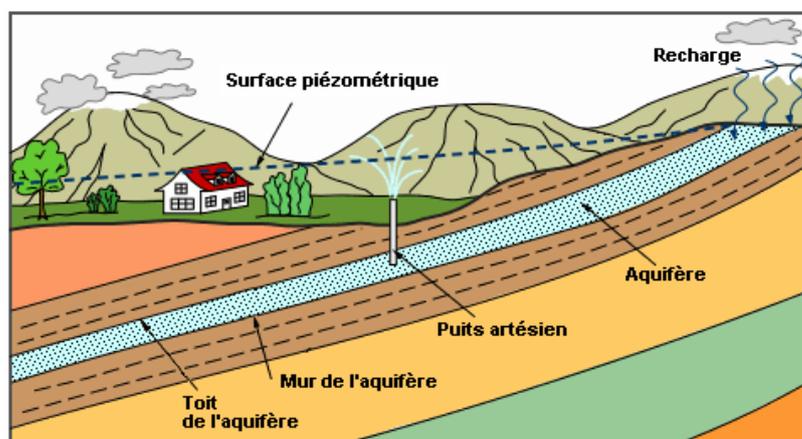


Différents formes de plis

Aquifère : formation géologique constituée de roches perméables (formations poreuses et/ou fissurées) comportant une zone saturée – ensemble du milieu solide et de l'eau contenue – suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage (drainage, pompage,...) de quantités d'eau appréciables.

Un *aquifère libre* comporte une surface libre et une zone non saturée (en eau).

Un *aquifère captif* est entièrement saturé, comportant une nappe captive (sans surface libre ni zone non saturée), délimité au-dessus par des formations à perméabilité très faible faisant obstacle à tout flux appréciable.



Un aquifère captif

Artésien (jaillissant) : un puits (ou forage) artésien est un puits dans lequel l'eau monte plus haut que le niveau aquifère. Il est jaillissant si l'eau s'écoule spontanément à la surface du sol. Dans les deux cas, ce type de puits exploite une nappe captive. (cf. figure ci-dessus).

Calcaire : roche carbonatée ne contenant que du carbonate (CO_3) et du calcium ; suivant ses caractères lithologiques, on parle de **calcaire sparitique** (grossièrement cimenté), **calcaire micritique** (calcaire fin sans éléments visibles), **calcaire oolitique** (à éléments arrondis d'1mm de calcite cristallisée), **calcarénite** (calcaire granulaire cimenté), **calcaire bioclastique** (contenant de très petits débris de coquilles).

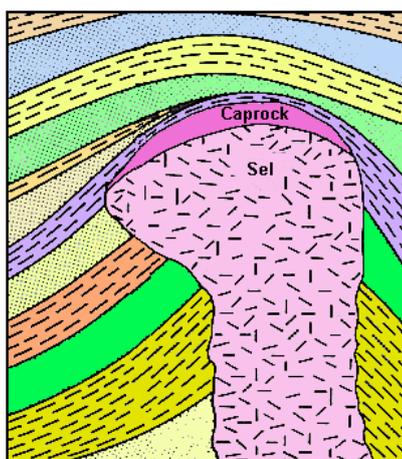
Discordance : limite entre deux formations géologiques qui sont séparées dans le temps par une période de non-dépôt et quelquefois d'érosion; quand il y eu un basculement tectonique antérieur au dépôt de la seconde, la discordance est qualifiée d'**angulaire**.

Distal : qualifie un environnement sédimentaire situé sur la partie d'une plate-forme la plus éloignée du littoral - plus ou moins synonyme de **circalittoral**.

Diaclase : cassure sans déplacement relatif des parties séparées (*voir le terme : faille*).

Diapir : masse essentiellement composée de sel gemme, de gypse... formant une sorte de colonne, débouchant ou non à la surface du sol, qui s'est formée par la remontée lente (en plusieurs millions d'années) de ces roches salines par différence de densité à travers les couches supérieures, entraînant sur ses flancs les terrains traversés.

Au sommet, on trouve des roches constituées essentiellement de résidus de dissolution des sels par les eaux d'infiltration : c'est le " caprock".



Un diapir

Dolomie : roche carbonatée contenant du magnésium en plus du calcium qui constitue classiquement le calcaire; la **dolosparite** est une dolomie grossièrement cristallisée.

Emmagasinement : Contenance en eau gravitaire d'un aquifère : c'est le rapport du volume d'eau libérée par unité de surface d'aquifère, à la variation de charge hydraulique correspondante. Quand la nappe est libre, l'eau récupérable par gravité est très proche de la porosité efficace. Quand la nappe est captive, l'eau qui peut être libérée ne provient pas de la vidange des pores mais de la décompression de la roche et de l'eau contenue dans celle-ci.

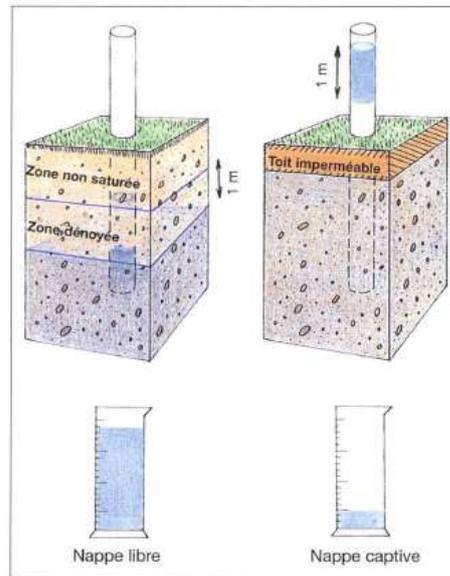
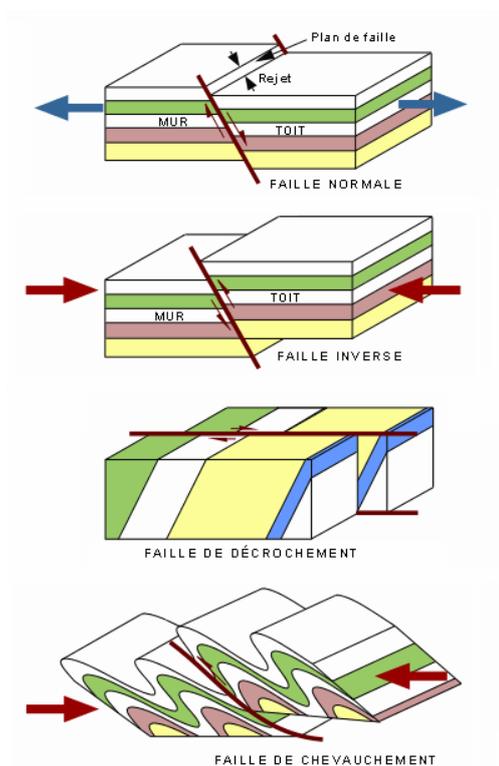


Figure 22 : L'abaissement du niveau dans une *nappe libre* libère un volume d'eau très supérieur à celui obtenu dans une *nappe captive*.

Evaporite : roche sédimentaire déposée dans un milieu de dépôt confiné par précipitation de saumures surconcentrées en sel (halite, gypse, anhydrite, sylvinite, etc ...) - (adj : **évaporitique**)

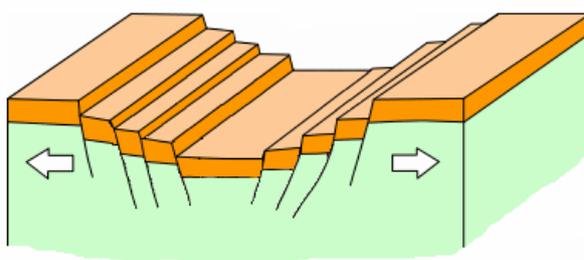
Faciès : qualificatif d'ensemble d'une roche sédimentaire tiré de l'étude de ses caractères lithologiques et d'organisation interne (texture, nature des constituants, de la matrice et/ou du ciment, litage, évolution diagenétique), permettant de déduire le milieu de dépôt (paléoenvironnement) du sédiment et par extension de cette roche.

Faille : cassure avec déplacement relatif des parties séparées (une cassure sans décalage n'est qu'une "diacalse").



Différents types de failles

Graben : structure géologique constituée par des failles limitant des compartiments de plus en plus affaissés en allant vers le milieu de la structure.



Un graben

Gradient : différence de charges hydrauliques entre deux points d'un aquifère par unité de distance, selon une direction donnée. C'est une différence de potentiel par unité de longueur, sans unité.

Hard-ground : surface durcie le plus souvent ferruginisée marquant un arrêt prolongé de la sédimentation et. Ne correspond généralement pas à une émergence.

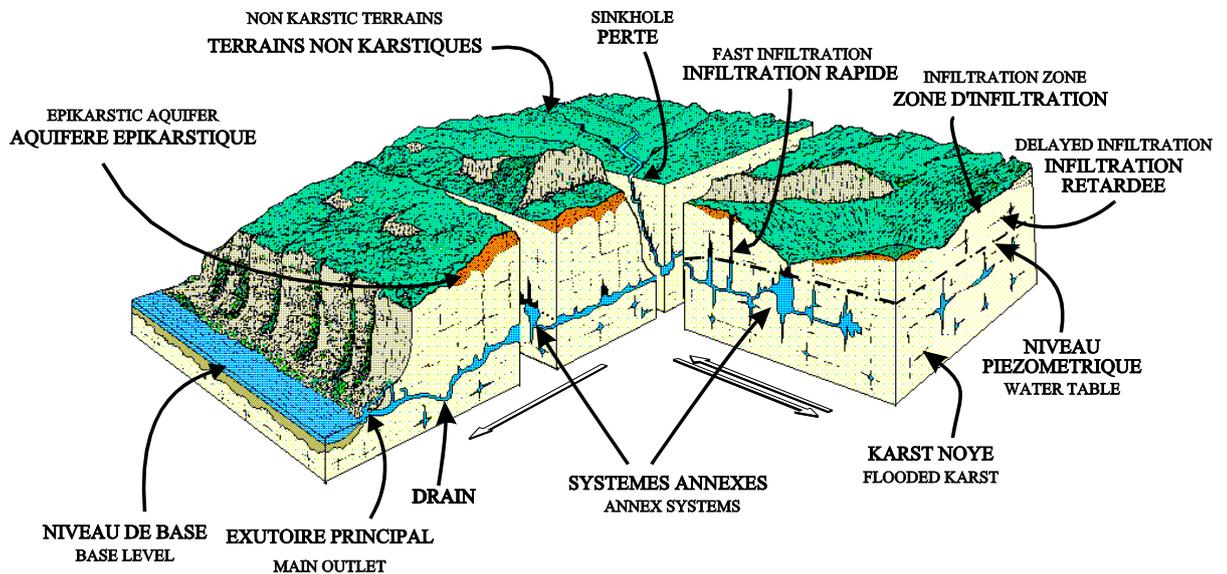
Hauteur piézométrique : hauteur de la colonne liquide statique équilibrant la pression hydrostatique, en un point de l'aquifère. Quand on rapporte cette hauteur à un plan de référence, on parle de charge hydraulique (en mètre).

IDPR : Indice de **P**ersistence des **R**éseaux (hydrographiques).

Infiltration : quantité d'eau infiltrée depuis la surface du sol, qui traverse la zone non-saturée et parvient effectivement à la zone saturée

Intertidal : environnement sédimentaire correspondant à l'espace littoral compris entre la limite de l'eau atteinte à la haute mer et celle de la basse mer. Correspond généralement à l'**estran**.

Karstification : phénomène d'altération par dissolution affectant les formations calcaires en créant un réseau de cavités (conduits, grottes et fissures agrandies par dissolution) dont l'ensemble est dénommé **karst** - (adj : **karstifié**).



Représentation conceptuelle d'un système karstique

Lithostratigraphie : discipline de la géologie qui s'attache à qualifier les ensembles homogènes de sédiments en unités dénommées *formations*, elles-mêmes subdivisées en *membres*, mais aussi en fonction des âges géologiques.

Margino-littoral : qualifie l'environnement sédimentaire aux faciès variés et fluctuants dans le temps, qui s'étend du haut du milieu subtidal à l'intertidal et au supra-littoral.

MNT : **M**odèle **N**umérique de **T**errain : données altimétriques maillées de l'IGN.

Mur : surface de base d'une unité lithostratigraphique ou d'un réservoir.

Nappe : ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère. On parle de nappe libre, ou nappe à surface libre, quand l'aquifère comporte une zone non saturée, et une zone de fluctuations des niveaux d'eau. La nappe est dite captive quand il n'y a pas de surface libre, la surface piézométrique est supérieure au toit de l'aquifère, à couverture moins perméable, qui la contient.

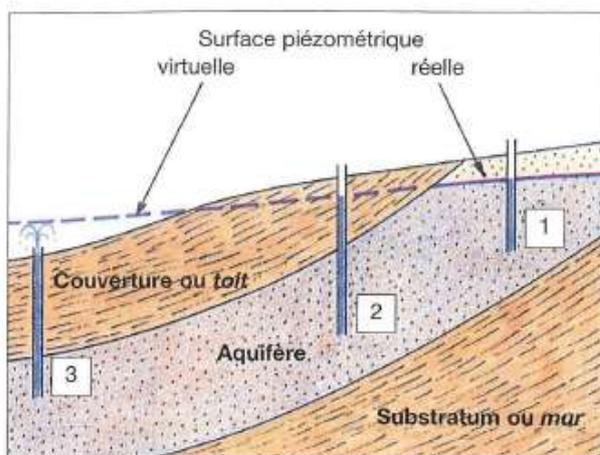


Figure 4 : Nappe libre et nappe captive.
 En 1, la nappe est libre. En 2, elle est captive.
 En 3, elle est captive et artésienne (jaillissante).

Onlap : superposition d'assises géologiques qui se déposent en discordance au cours de transgressions successives, la limite de la mer au temps t+1 débordant sa limite au temps t.

Perméabilité : aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide. Ce paramètre s'exprime en m/s.

Tableau I : Ordres de grandeur de la perméabilité les plus fréquents.

Perméabilité (en m/s)	10 ⁻⁹ et moins	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻³	10 ⁻² et plus
Type de roche (exemple)	Argiles Matrices des roches compactes	Sable très fin et limon	Sable fin et moyen Milieu fissuré*	Alluvions mélangées de sable	Alluvions très grossières
Classement hydrogéologique	Imperméable	Faiblement perméable	Perméable	Perméable	Extrêmement perméable
Comportement	Confinement Rôle de limite	Échanges par drainance	Aquifère médiocre	Bon aquifère	Aquifère exceptionnel

Plate-forme : zone d'un bassin sédimentaire marin en bordure du littoral, dont la profondeur est comprise entre 0 et -200 m le plus souvent; elle est limitée par un talus qui la sépare du bassin profond (voir aussi proximal et distal).

Plate-forme barrée : plate-forme avec une barrière de hauts-fonds qui sépare un domaine **interne** vers la côte d'un domaine **externe** vers le large.

Porosité : propriété d'un milieu à comporter des vides, interconnectés ou non. Exprimé quantitativement par le rapport du volume de ces vides sur le volume total du milieu. (%). En milieu saturé, on distingue la porosité dite efficace, qui caractérise la teneur en eau mobilisable et la porosité totale, toute l'eau contenue.

Proximal : qualifie un environnement sédimentaire situé sur la partie d'une plate-forme la plus proche du littoral - plus ou moins synonyme de **infralittoral**.

Puissance : épaisseur d'une unité lithostratigraphique. Différence de profondeur ou d'altitude entre son toit et son mur.

Rampe : type de plate-forme sans barrière, dont les environnements sédimentaires passent progressivement du domaine proximal au domaine distal.

Régression : qualifie un recul de la ligne de côte par rapport au littoral antérieur, traduisant une baisse relative du niveau de l'océan par rapport à celui du continent (adj : **régressif, -ve**).

RFU : Réserve (de l'eau du sol) Facilement Utilisable.

Sabkha : dépression fermée continentale où se dépose des évaporites.

Silico-clastique : qualificatif d'une roche surtout constituée de fragments de roches cristallines et de minéraux érodés d'un massif ancien, tels les grains de quartz et les argiles (ex : **grès, marnes**).

Structuration plicative : type de structures tectoniques composées de plissements anticlinaux (convexes vers le haut) et synclinaux (concaves).

Subsidence : enfoncement du fond de la mer d'origine tectonique ou sous le poids des sédiments accumulés (adj : **subsident**).

Subtidal : environnement sédimentaire correspondant à l'espace situé en dessous de la limite de la marée basse moyenne.

Supratidal : environnement sédimentaire correspondant à l'espace littoral situé au-dessus de la limite de l'eau atteint à la haute mer. Correspond généralement aux plages et édifices dunaires.

Toit : surface du sommet d'une unité lithostratigraphique ou d'un réservoir.

Transgression : qualifie une avancée de la ligne de côte à l'intérieur des terres émergées traduisant une montée relative du niveau de l'océan par rapport à celui du continent. (adj : **transgressif, -ve**).



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service Géologique Régional Aquitaine
Parc Technologique Europarc
24, Avenue Léonard de Vinci
33600 – Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70