

**PROJET 2016-2019
ANALYSE DE LA FAISABILITÉ TECHNIQUE
ET ÉCONOMIQUE DE LA RECHARGE
ARTIFICIELLE DANS LE BASSIN RMC**

**JOURNÉE RÉGIONALE PACA EAUX
SOUTERRAINES – GEMENOS 8/10/2020**



Géosciences pour une Terre durable

brgm
1

CONTEXTE

SDAGE 2016 : 70 bassins et aquifères en déséquilibre quantitatif sur le bassin du Rhône et de la Méditerranée et 21 pour PACA

Des actions de réduction des déficits engagées sur de nombreux territoires du bassin avec la mise en œuvre de PGRE. Des efforts qui doivent porter d'abord sur les économies d'eau, la facilitation des infiltrations et un meilleur partage de la ressource.

Elaboration des PGRE
Etat avancement oct.2020

PGRE approuvés en 2020: 2

Caramy Issole : fév.20

Buëch/Méouge

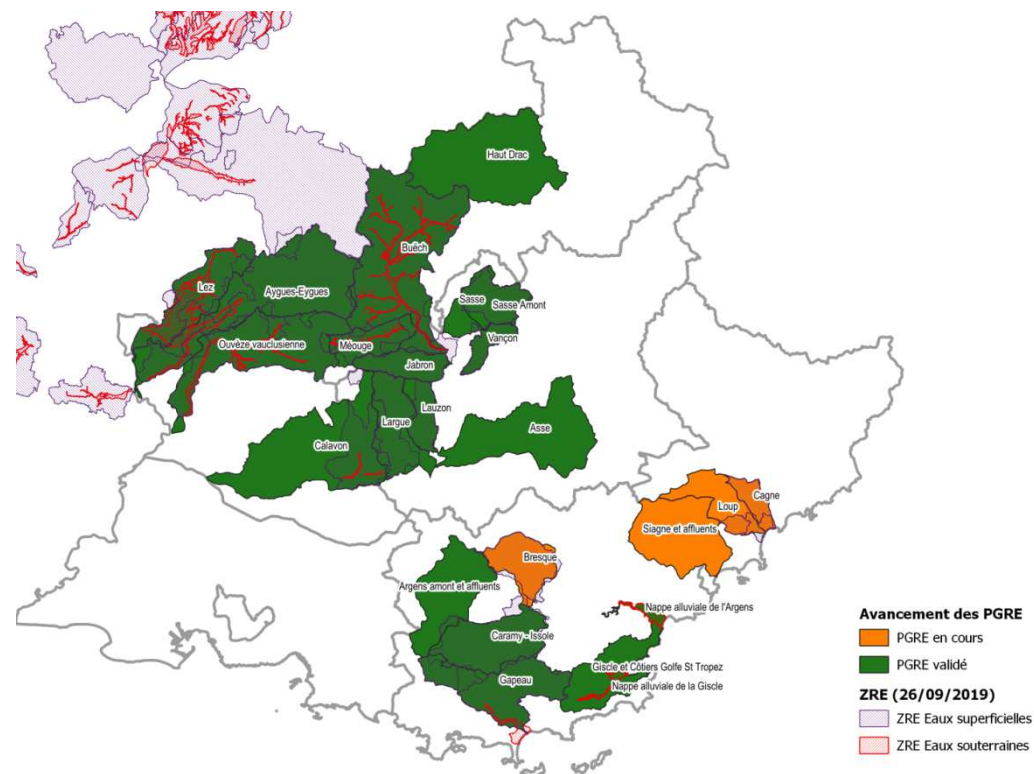
PGRE engagés 2020 : 2

Siagne EVP non validée
mais PGRE rédigé en parallèle

Bresque : fin 2020

Perspectives à fin 2020 : 0

à venir (Bresque, Siagne, Loup, Cagne)



CONTEXTE

Dans le cas où les efforts sur les économies d'eau, la facilitation des infiltrations et un meilleur partage de la ressource seraient insuffisants, une recherche d'autres solutions peut être engagée, comprenant des actions de substitution des prélèvements existants

Solutions les plus couramment proposées : (i) transfert de ressources depuis un bassin non déficitaire ou (ii) création de retenues collinaires.

Une autre solution moins souvent utilisée est la **recharge artificielle d'aquifère** et la **mise à profit de la capacité de stockage du sous-sol**.

LA RECHARGE ARTIFICIELLE

Définition

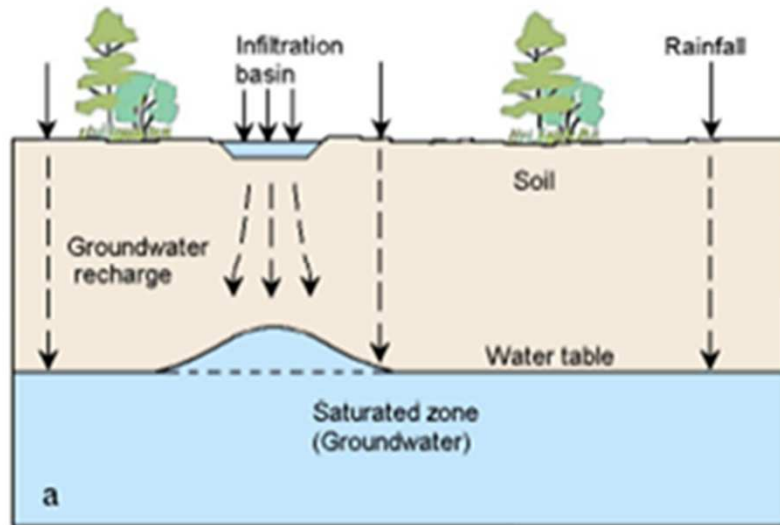
La recharge ou la réalimentation artificielle (RA) d'un aquifère consiste à introduire de manière volontaire et maîtrisée, de l'eau dans une nappe pour augmenter sa recharge naturelle, en vue d'une utilisation ultérieure

Objectifs

- **Assurer un stockage supplémentaire**
 - Alternative à des ouvrages de stockage superficiels, transferts ou dessalement
 - Réduire le risque inondation
 - Adaptation au changement climatique
- **Restaurer ou maintenir le bon état quantitatif d'une nappe**
 - Réponse à un déséquilibre structurel entre prélèvements et recharge
- **Restaurer ou maintenir le bon état qualitatif d'une nappe**
 - Recharge -> géo-épuration
 - Recharge -> dilution
 - Recharge -> barrière hydraulique pollution / intrusion saline

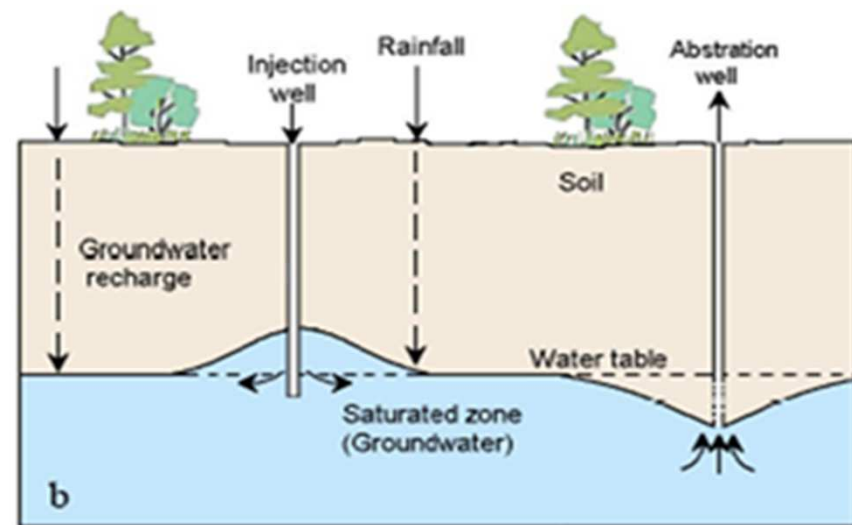
LE TYPE DE DISPOSITIFS MIS EN PLACE

Recharge indirecte



- Bassins d'infiltration
- Tranchées
- Puits d'infiltration

Recharge directe



- Aquifer Storage Recovery (ASR): 1 forage
- Aquifer Storage Transfert Recovery (ASTR): 2 forages

RECHARGE ARTIFICIELLE: QUELS AVANTAGES ?

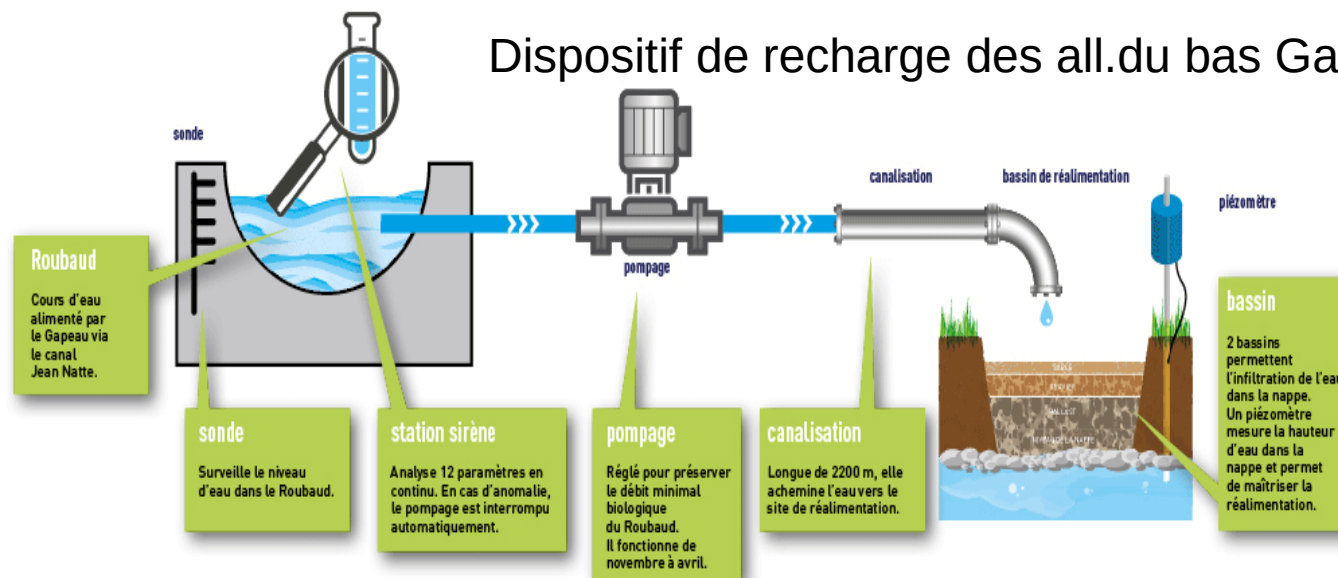
Un avantage fondamental est que les terrains au-dessus de la zone de stockage peuvent (au moins pour partie) rester disponibles pour des usages urbains ou ruraux. Les capacités d'épuration des eaux par le sol et sous-sol, particulièrement vis-à-vis des pathogènes, constituent un autre avantage.

Propriétés	Retenue collinaire	Stockage en aquifère
Superficie de terrain requise	Elevé	Très petite
Proximité des zones urbaines	Loin	A l'intérieur
Coûts d'investissements	Elevés	Faibles
Coûts d'études	Elevés	Faibles
Débit de prise et d'approvisionnement en eau	Elevé	Faible
Pertes par évaporation	Modérées	Faibles
Problèmes d'algues toxiques	Modérés	Faibles
Moustiques	Modérés	Faibles
Pertes dans l'aquifère	Aucune	Aucune à élevées
Elimination des pathogènes	Faible	Significative
Potentiel de re-contamination	Modéré	Aucun à modéré
Energie de construction	Elevée	Faible
Energie de fonctionnement	Faible à modérée	Modérée
Milieu naturel nécessaire pour la viabilité	Vallée favorable	Aquifère favorable

Les taux de recharge et de récupération peuvent limiter le volume d'eau qui peut être rechargé ou récupéré.

RECHARGE ARTIFICIELLE: ILLUSTRATIONS

Dispositif de recharge des all. du bas Gapeau - Hyères



► Hyères-les-Palmiers – projet Aquarenova



Autres sites en PACA :

- All. du bas Argens
- All. de la Môle
- All. de la basse Durance ...

LE PROJET: CONTEXTE, ENJEUX, OBJECTIF

Un projet en partenariat BRGM / Agence pour **vérifier les possibilité de recours à ces solutions de recharge artificielle d'aquifère dans le Bassin RMC**

Le projet a consisté à :

- Définir des critères de sélection des situations les plus favorables à la pratique de la recharge artificielle
- Etablir une méthodologie d'analyse spatiale multicritères pour définir des secteurs favorables à la recharge artificielle et l'appliquer sur de grandes zones du bassin
- Sur plusieurs secteurs pilotes, évaluer la faisabilité technique, économique et institutionnelle de projets de recharge artificielle. En tirer des conclusions généralisables (facteurs favorables) à l'échelle du bassin
- Etablir des recommandations pour l'aide à la sélection de sites potentiels de recharge



PROJET BRGM – AERMC

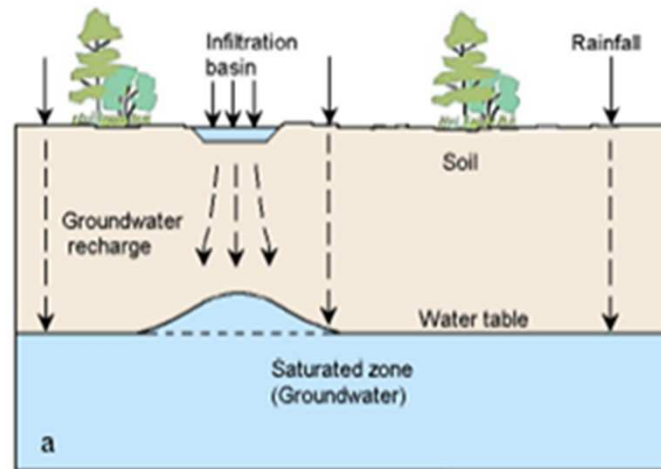
CARTOGRAPHIE DE FAISABILITÉ (CRITÈRES PHYSIQUES) À L'ÉCHELLE DU BASSIN RMC



Géosciences pour une Terre durable

brgm

CARTOGRAPHIE DE FAISABILITÉ (CRITÈRES PHYSIQUES) À L'ÉCHELLE DU BASSIN RMC



Examen axé plus particulièrement pour de la recharge artificielle indirecte (RAI)

- Il s'agit d'estimer la faisabilité d'infiltrer et de stocker de **l'eau prélevée dans le milieu sup.** durant la période de hautes eaux (**automne-hiver-printemps**) pour en bénéficier en période de basses eaux (**été**)
- Analyse multicritères pour définir l'aptitude à accueillir un dispositif de recharge de nappe sur la base de critères physiques et s'appuyant sur la BDLisa (cf. rapport de fin d'étude)

$$BDLISA = (2 \times \text{Nature} + 1 \times \text{Etat} + 0.2 \times \text{Milieu} + 2 \times \text{Thème}) \Sigma \text{poids} \quad (\text{Eq. 1})$$

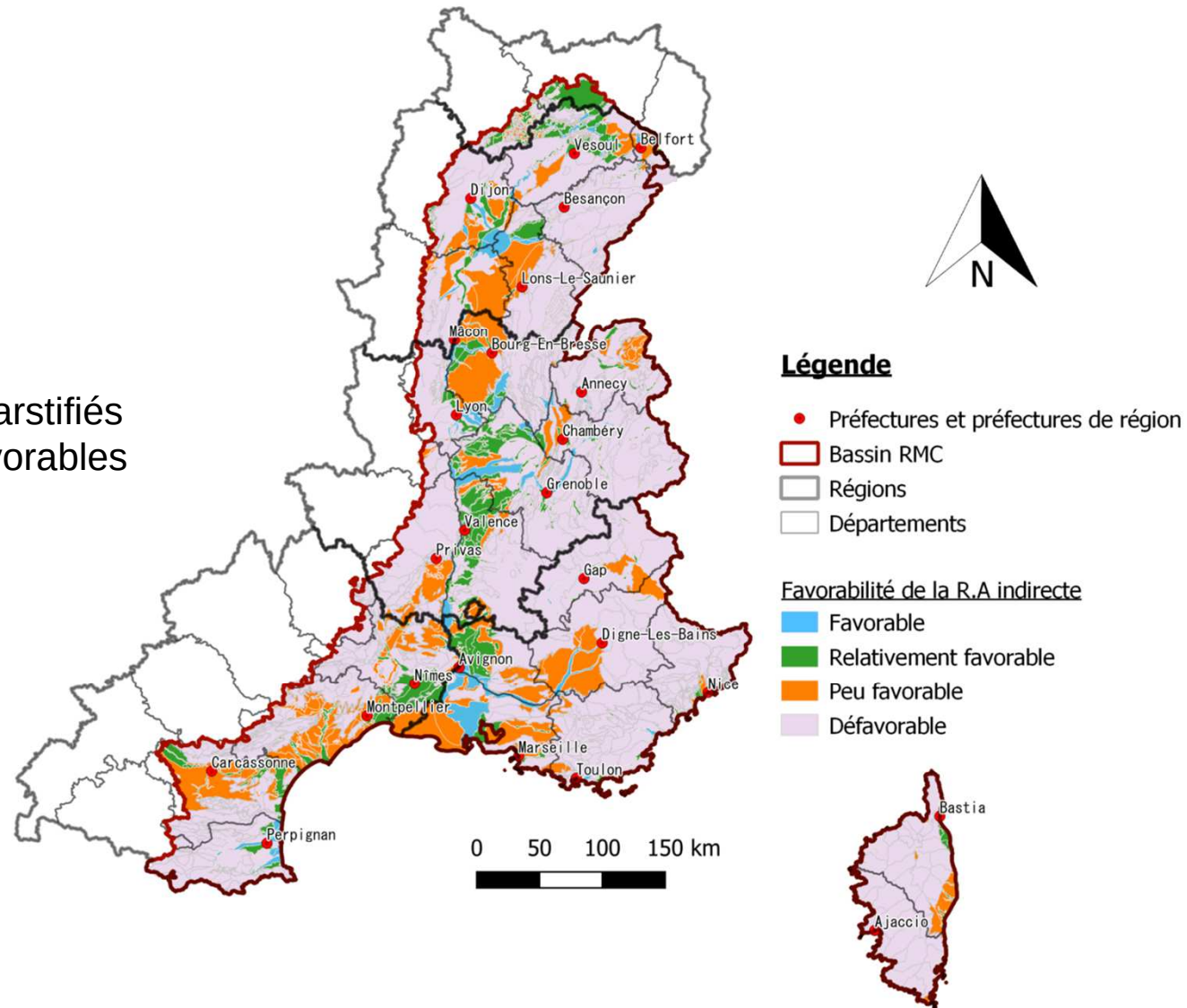
$$\text{Critères Physiques} = (0.49 \times BDLISA + 0.057 \times \text{Pente} + 0.2 \times IDPR + 0.12 \times ZNS) \Sigma \text{poids} \quad (\text{Eq. 2})^{10}$$

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES FAVORABLES POUR LA RA

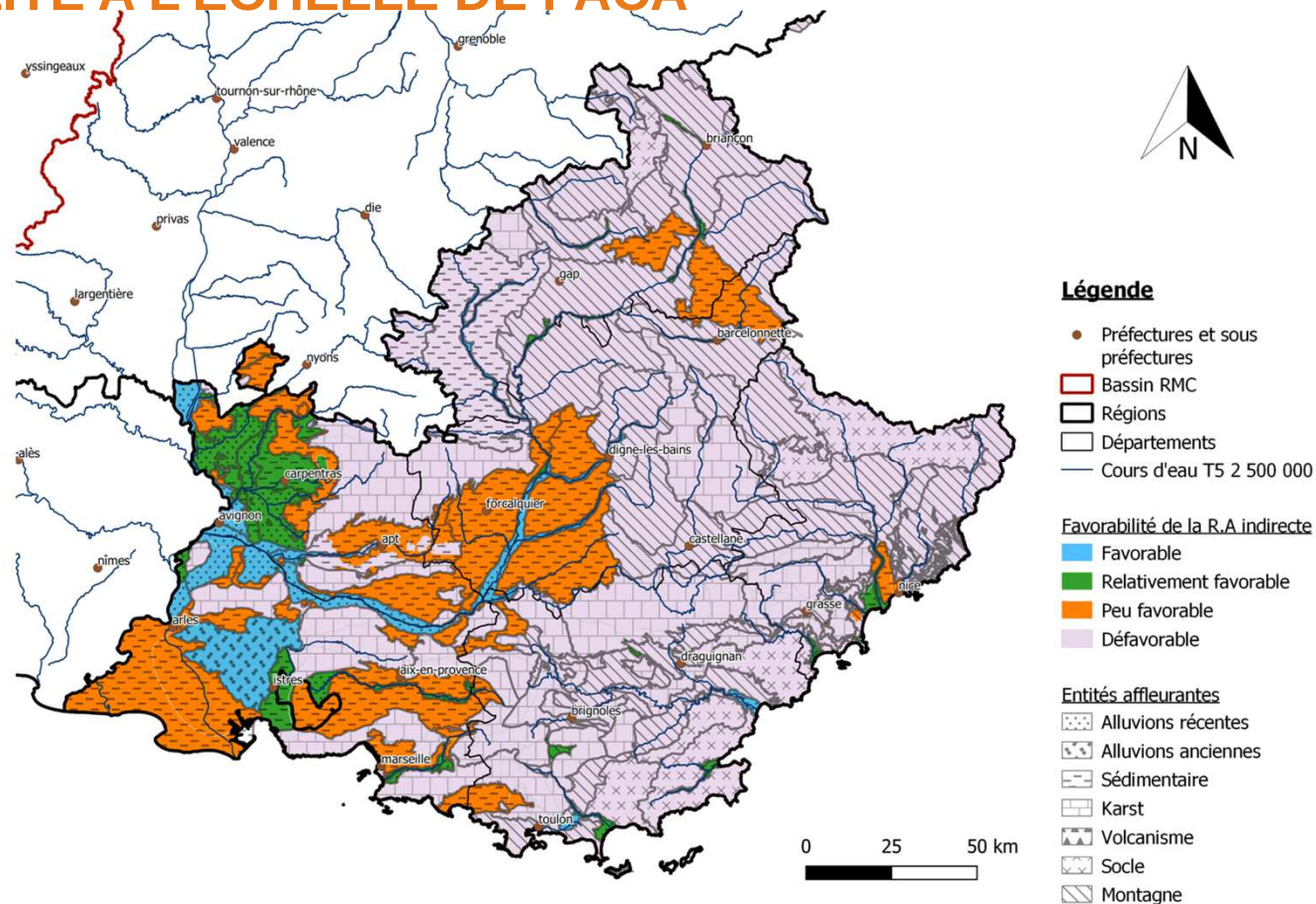
- Epaisseur zone non saturée ni trop faible (> 3 m), ni trop importante de façon à pouvoir stocker de l'eau et permettre au dôme piézométrique de se développer et assurer la récupération de l'eau injectée
 - Perméabilité de la zone non saturée (et taux d'infiltration) suffisante pour permettre à la fois l'infiltration et la géo-épuration (perméabilité verticale plus élevée que la perméabilité horizontale situation la + favorable).
 - Diffusivité (rapport transmissivité / emmagasinement) favorable pour permettre à la fois le stockage et l'utilisation différée (les temps de résidence de l'eau infiltrée doivent être compatibles avec le déphasage entre infiltration et utilisation de l'eau)
- Selon l'usage et les bénéfices attendus d'un dispositif de recharge, il conviendra de l'implanter de manière adéquate par rapport à un cours d'eau, la mer (lutte contre l'intrusion saline), ou encore un champ captant

RECHARGE ARTIFICIELLE INDIRECTE - CARTOGRAPHIE DE LA POTENTIALITÉ À L'ÉCHELLE DU BASSIN

Calcaires karstifiés
tres peu favorables
exclus



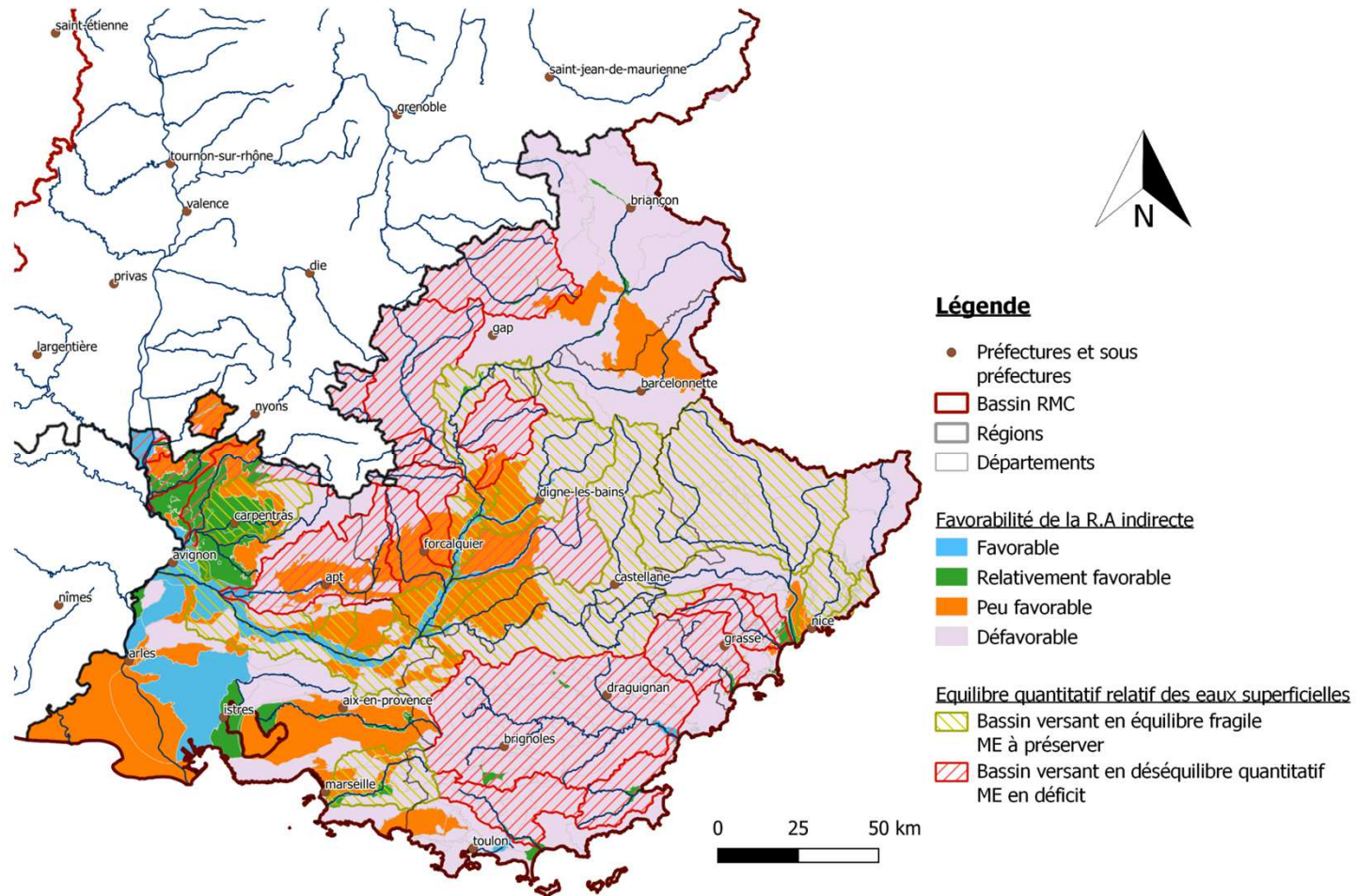
RECHARGE ARTIFICIELLE INDIRECTE - CARTOGRAPHIE DE LA POTENTIALITE A L'ECHELLE DE PACA



Formations géologiques sur lesquelles pourrait être étudié en cas de besoin la possibilité de recharge artificielle

- Formations favorables → Alluvions (plaines de Crau, basse et moyenne Durance, Asse, Bléone, Argens, Buëch, plaine de l'Eygoutier, Buëch, Asse, Bléone, Argens, Calavon)
- Formations relativement favorables → représentent des superficies significatives (Alluvions plaines du Comtat, alluvions des fleuves côtiers Arc, Gapeau, Var...)
- Alluvions du Rhône: situation variable en fonction de la perméabilité et de la porosité des alluvions

CROISEMENT BASSINS VERSANTS EN DÉSÉQUILIBRE QUANTITATIF OU EN ÉQUILIBRE FRAGILE ET AQUIFÈRES A PRIORI FAVORABLES POUR ENVISAGER LA RECHARGE ARTIFICIELLE

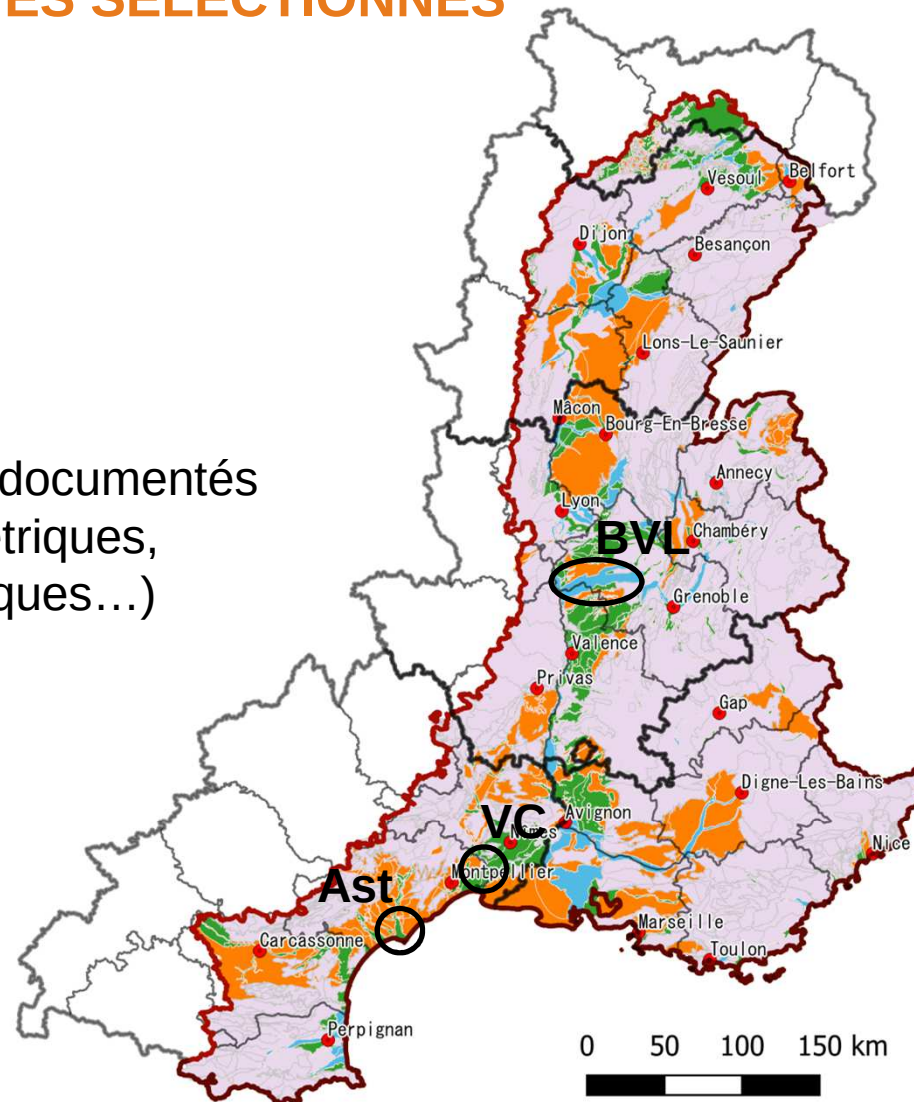




ANALYSE À L'ÉCHELLE DES SITES PILOTES

SITES PILOTES SÉLECTIONNÉS

4 sites très bien documentés
(cartes piézométriques,
modèles numériques...)



Légende

- Préfatures et préfectures de région
- ▭ Bassin RMC
- ▭ Régions
- ▭ Départements

Favorabilité de la R.A indirecte

- ▭ Favorable
- ▭ Relativement favorable
- ▭ Peu favorable
- ▭ Défavorable





ANALYSE À L'ÉCHELLE DES SITES PILOTES: CARTES DE FAISABILITÉ DE LA RA INDIRECTE BIÈVRE – LIERS - VALLOIRE

ANALYSE MULTICRITÈRES

Critères physiques:

- Epaisseur de la **ZNS** (100m*100m, BRGM)
- **IDPR** (50m*50m, BRGM)
- **Pente** (calculée à partir du MNT, 50m*50m, IGN)
- **Perméabilité K** (résolutions diverses dont plus fine = 300m*300m, issues de modèles hydrodynamiques existants)
- **Recouvrement** (d'après les cartes géologiques départementales harmonisées du BRGM, échelle 1/50 000)



$$0.25 \times EpZNS + 0.25 \times IDPR + 0.25 \times Pente + 0.15 \times K + 0.10 \times Recouvr.$$

Critères de contrainte:

- **Occupation du sol** : CORINE Land Cover + BD Carto IGN (pour zones hydrographiques)
- Zones à risque d'inondations par **remontées de nappe** (cartes créées à partir de la carte EpZNS du BRGM et la connaissance du battement des nappes concernées (données ADES, biblio))
- **Zones Protégées** (Inventaire National du Patrimoine Naturel / DREAL, 2016)

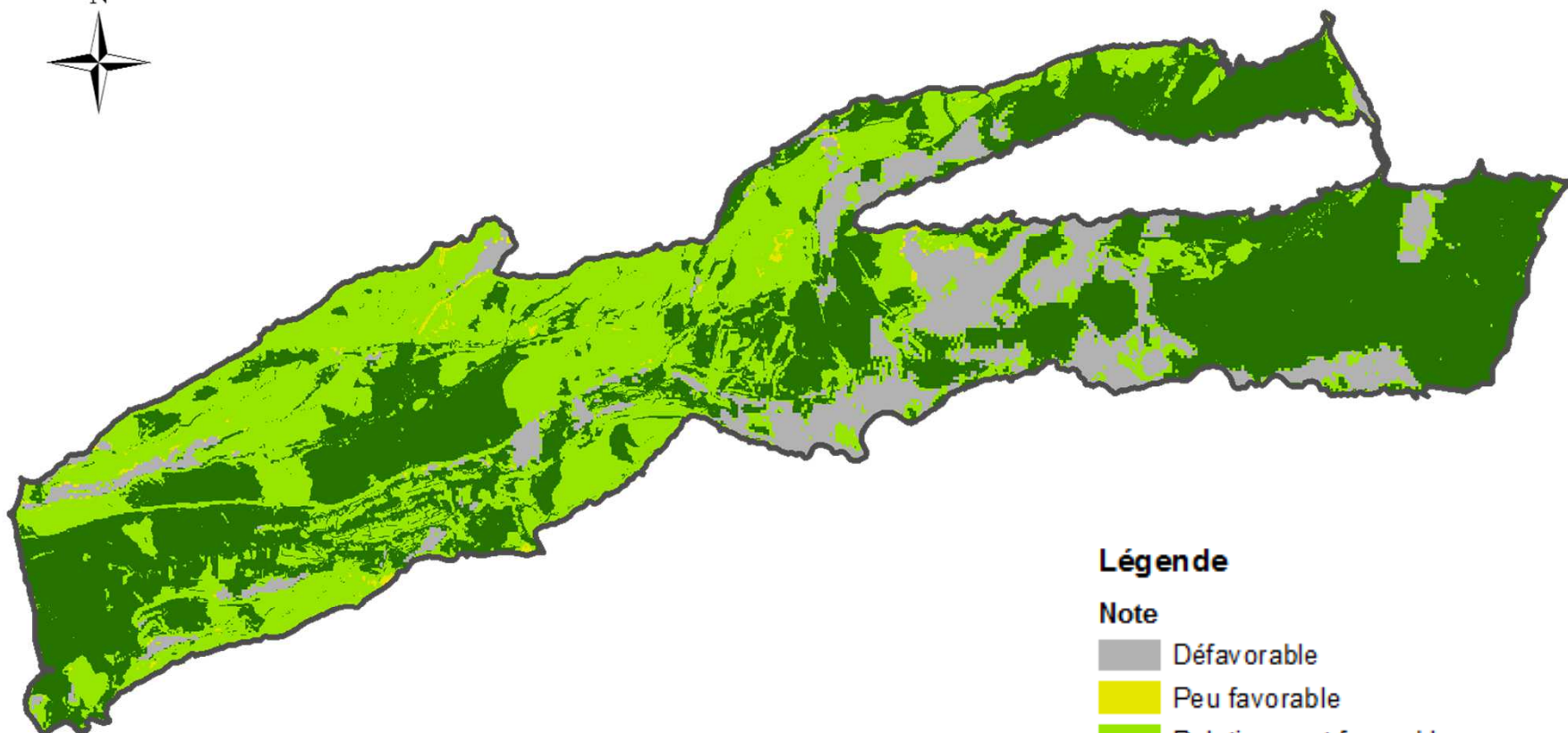


$$(1 \times Occ.Sol + 1 \times Rem.Nappe + 1 \times Zones Prot.) / 3$$

BIÈVRE – LIERS – VALLOIRE

BD LISA: 521AM00

✓ Carte des critères physiques



Légende

Note

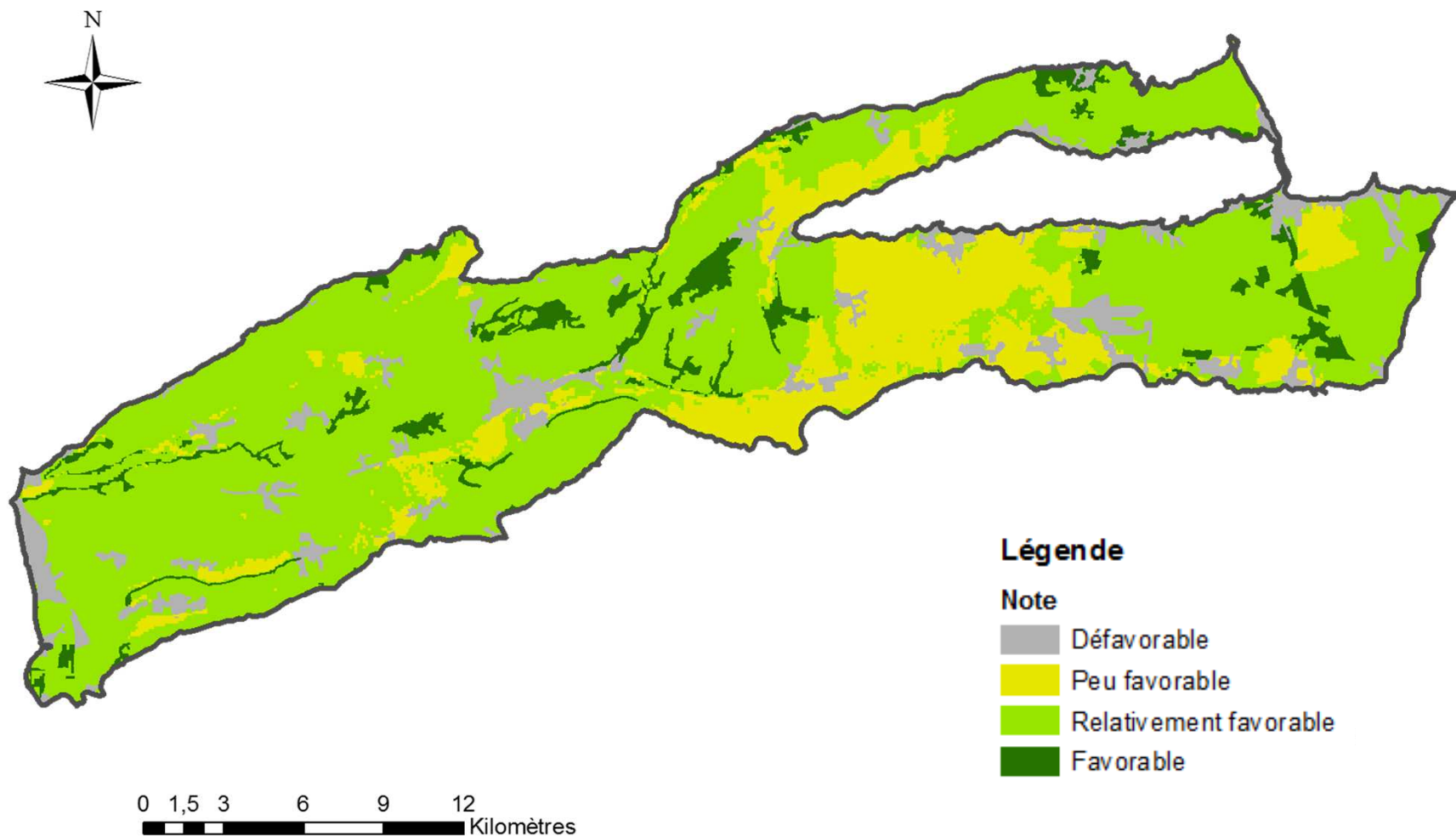
- Défavorable
- Peu favorable
- Relativement favorable
- Favorable

0 1,5 3 6 9 12
Kilomètres

BIÈVRE – LIERS – VALLOIRE

BD LISA: 521AM00

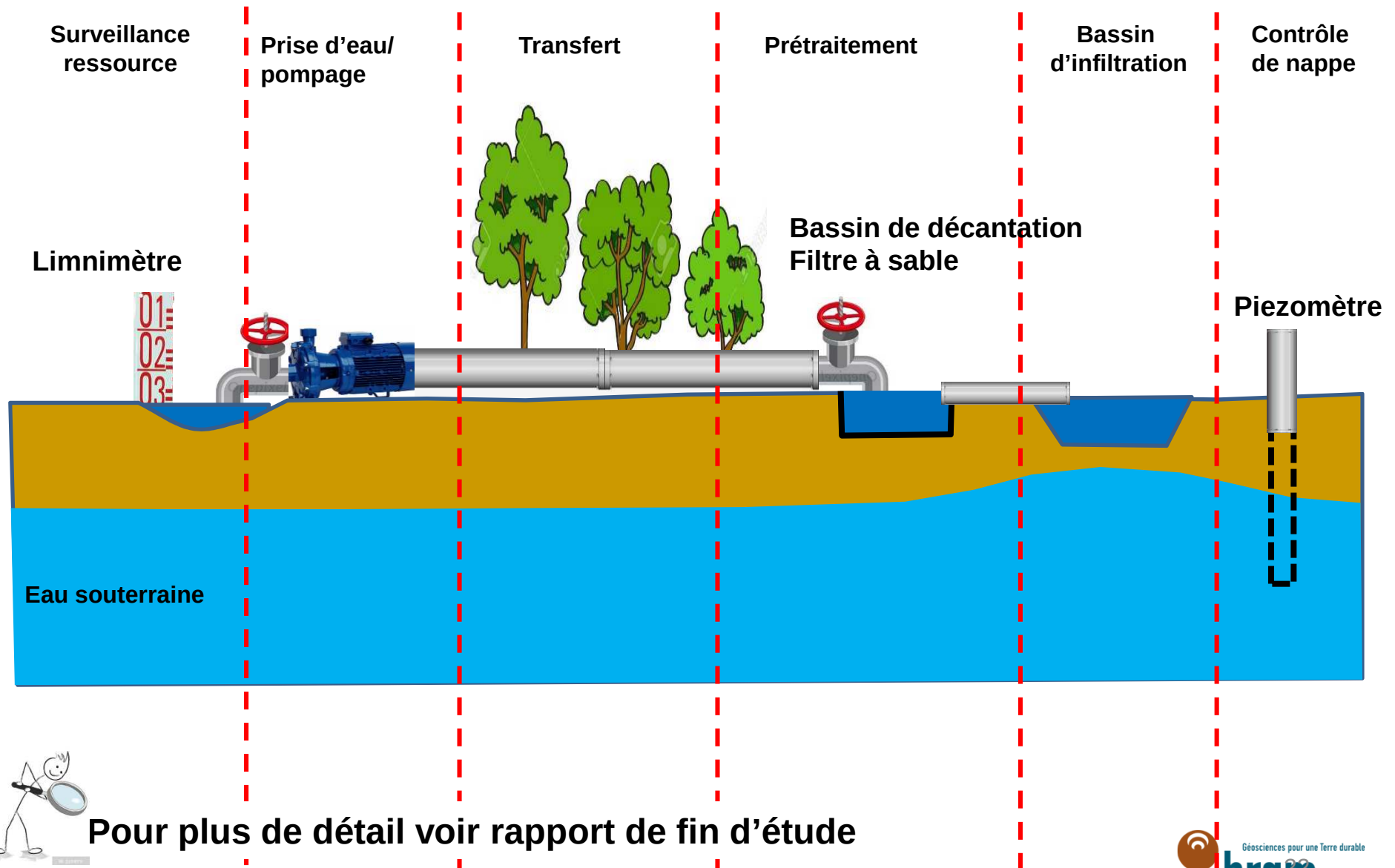
✓ Carte des critères de contrainte





ANALYSE À L'ÉCHELLE DES SITES PILOTES: CARTOGRAPHIE DES COÛTS

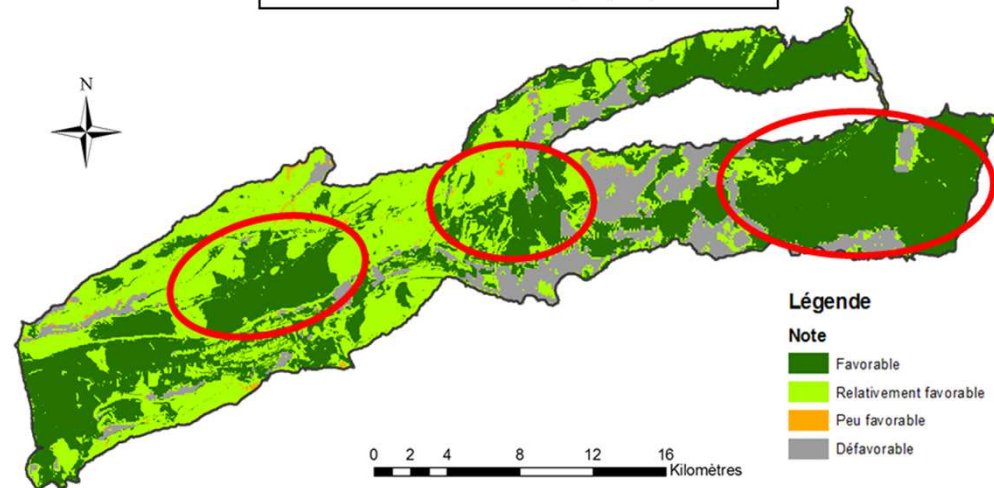
QUEL COÛT ÉCONOMIQUE ?



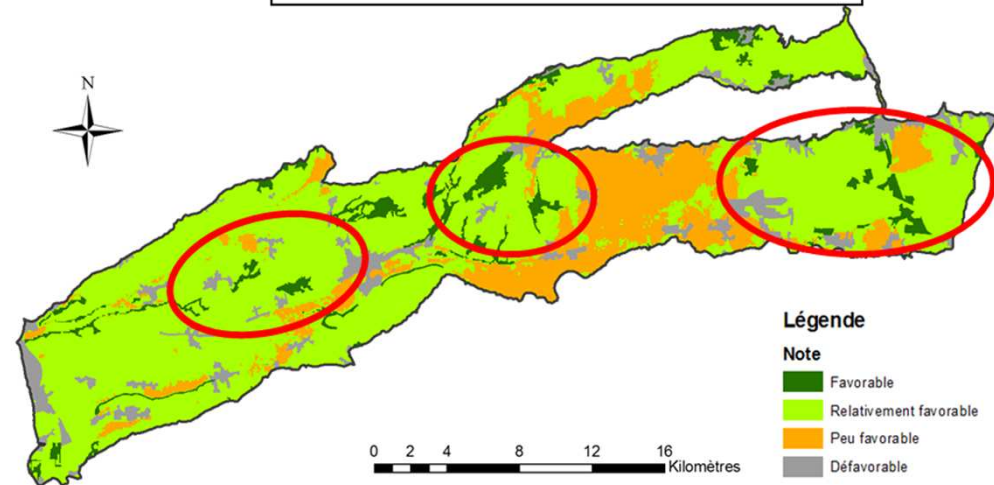
SELECTION D'UN SITE

PLAINE DE BIÈVRE-LIERS-VALLOIRE

Carte des critères physiques



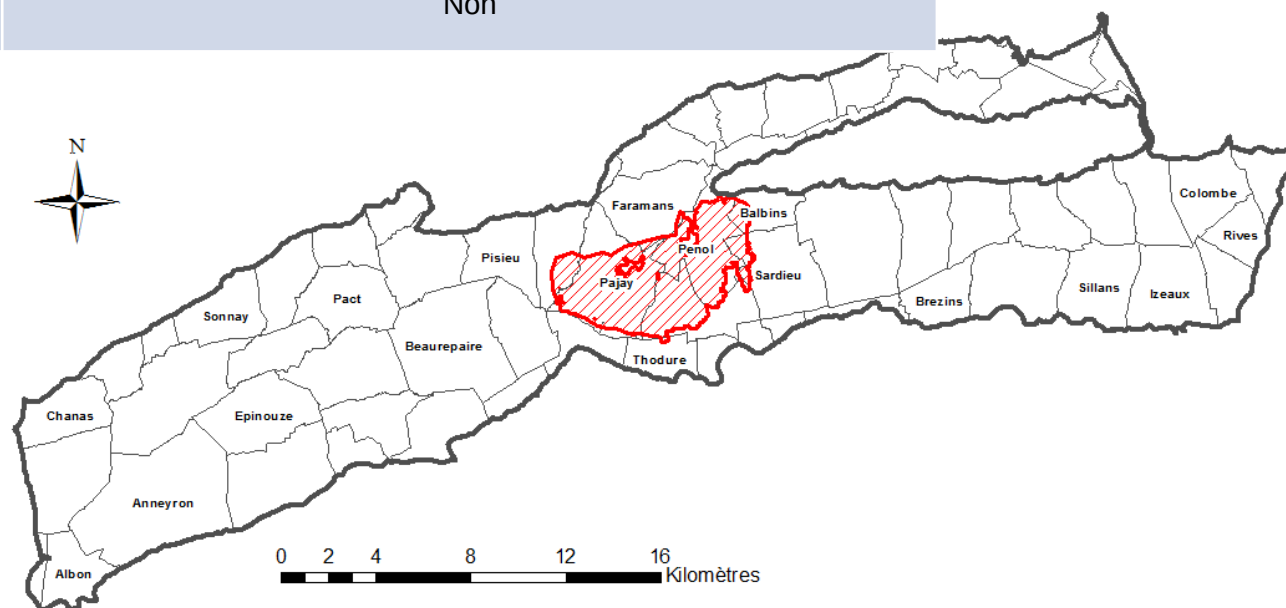
Carte des critères de contraintes



SELECTION D'UN SITE

PLAINE DE BIÈVRE-LIERS-VALLOIRE

CONTRAINTES	Description
Occupation du sol (CLC)	Terres arables, forêts de feuillus, systèmes culturaux et parcellaires complexes, surfaces agricoles interrompues par des espaces naturels importants, vergers, extraction de matériaux
Zones protégées	Aucune renseignée dans ce secteur
Débordement de nappe	Non



COÛTS	Min	Max	Moy	Med	E.T.*
CRA total (€/m3)	0,11	0,27	0,18	0,18	0,04
CRA CI (€/m3)	0,06	0,09	0,07	0,07	0,01
CRA CO (€/m3)	0,05	0,18	0,11	0,11	0,03

Résultat d'étude 2 documents publiés:

- 1. Rapport « Analyse de la faisabilité technique et économique de la recharge artificielle - Déc. 2019 - BRGM/RP-68551-FR <http://infoterre.brgm.fr/rapports//RP-68551-FR.pdf>
- 2. Rapport de recommandations pour l'analyse de la préfaisabilité de la recharge de nappe au moyen d'eau de surface : application au Bassin RMC - Déc. 2019 - BRGM/RP-68662-FR <http://infoterre.brgm.fr/rapports//RP-68662-FR.pdf>

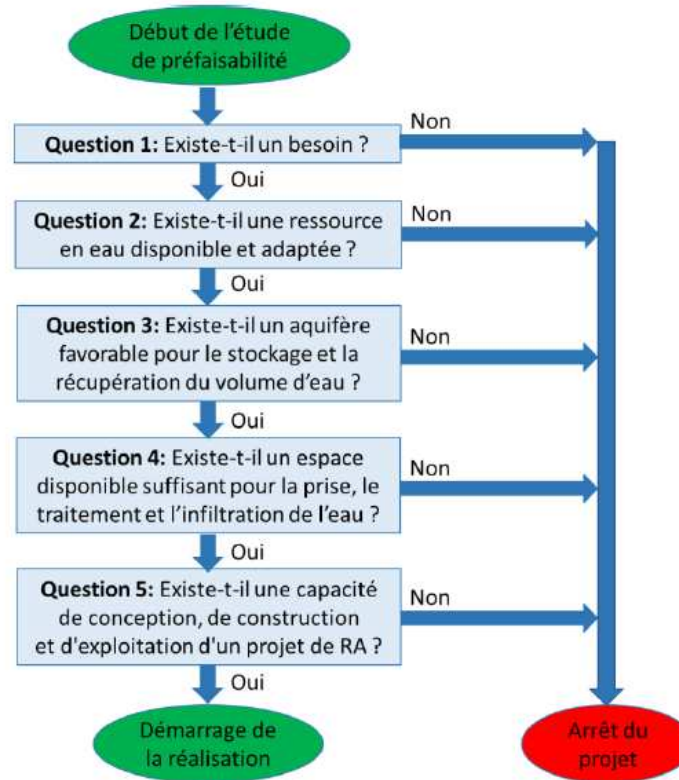


Illustration 5 : liste de contrôle pour déterminer, en phase de préfaisabilité, s'il y a lieu d'entreprendre un projet de recharge artificielle d'un aquifère (adapté et traduit d'après (Australian Government, 2009)

Conclusions 1/2

- de multiples territoires des bassins RMC avec des contextes hydrogéologiques favorables pour la mise en place de solutions de recharge
- sur les territoires en déséquilibre quantitatif avec présence d'aquifères favorables et pour lesquels les économies d'eau ne permettraient pas de compenser les déficits, ces solutions méritent d'être étudiées plus largement
- différents avantages par rapport au stockage d'eau en surface (économie d'espace, faible évaporation, épuration naturelle des eaux infiltrées, investissements plus réduits que d'autres solutions, ...)
- de tels projets doivent faire l'objet d'une évaluation précise de leurs avantages et inconvénients en regard des autres solutions et des éléments du cycle de l'eau et des services/bénéfices que ces solutions peuvent rendre

Conclusions 2/2

- guide méthodologique publié destiné à étudier la préfaisabilité d'une solution de recharge artificielle indirecte sur une entité hydrogéologique identifiée préalablement comme favorable, sur la base d'une étude « en chambre » valorisant les données existantes
- démarche qui se situe à l'amont de la mise en oeuvre d'une solution : -> si conclusions positives, étude de faisabilité à conduire avec un BE qui devra valider les hypothèses par de nouvelles études sur les secteurs pré-identifiés, parmi lesquelles :
 - Disponibilité d'une ressource superficielles en quantité et qualité suffisante
 - Capacités d'infiltration des sols au moyen de tests d'infiltration in-situ
 - Ampleur du dôme piézométrique attendu en fonction des carac. hydrodynamiques de l'aquifère rechargé
 - Devenir de l'eau infiltrée au moyen de modèles numériques et/ou solutions analytiques
 - Localisation et longueurs de conduites nécessaires
 - Evaluation des prétraitements nécessaires en fonction de la qualité de l'eau prélevée
 - Estimation des potentiels problèmes de colmatage en fonction de la turbidité de l'eau prélevée et du développement alguaire
 - Evaluation des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation

Suite et valorisation

- présenter et partager les résultats de l'étude dans les différentes régions du bassin avec gestionnaires milieux, services de l'Etat et agents de l'AERMC
- projet de note de synthèse de 10/15 pages en cours de mise au point et note de doctrine secretariat technique de bassin à venir
- beaucoup de sollicitations actuellement en ARA pour envisager ce type de solution de stockage (4 territoires)
- poursuite de réunions de présentation des techniques de recharge artificielle en région prévue automne et hiver 2020