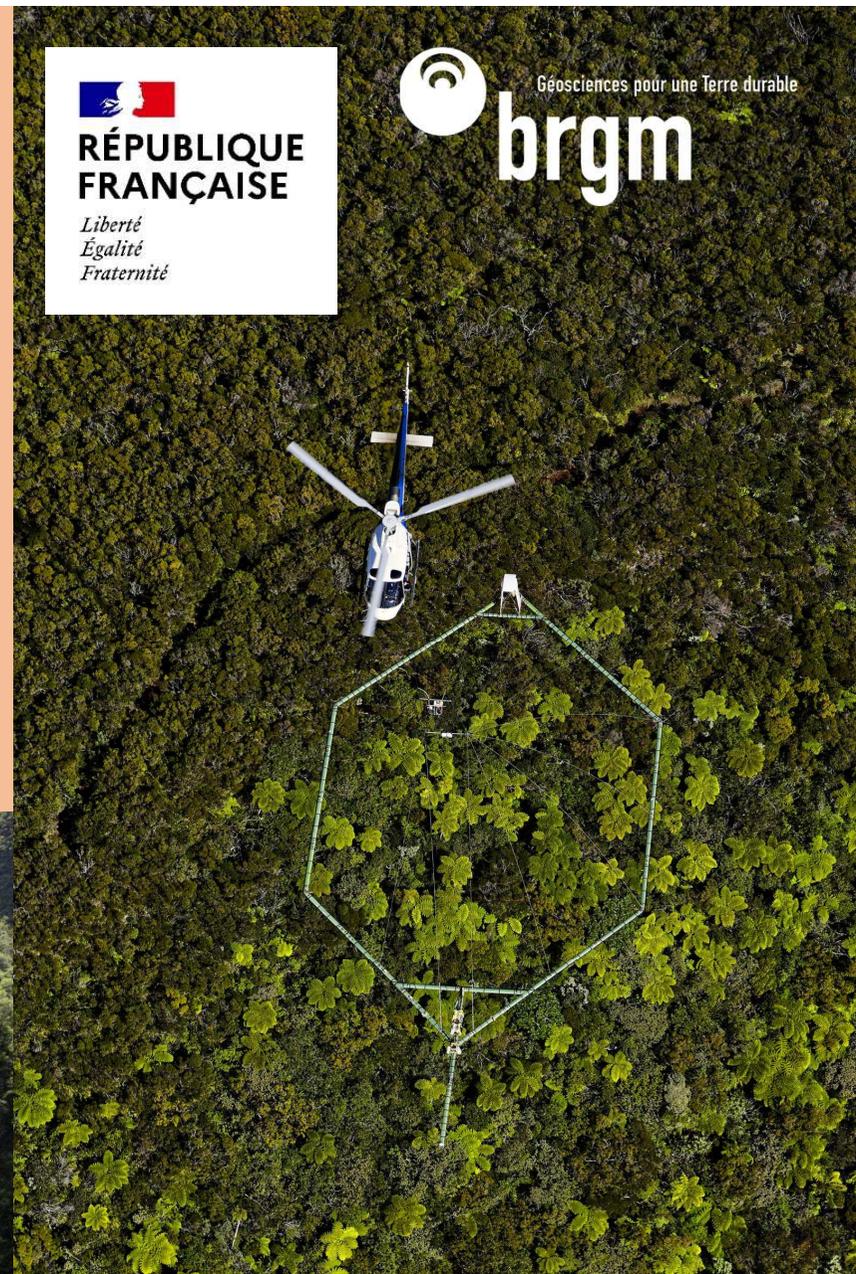


Evaluation des volumes prélevables en eau souterraine à La Réunion – Secteur Nord

Commission ressource en eau du CEB du 4 avril 2025

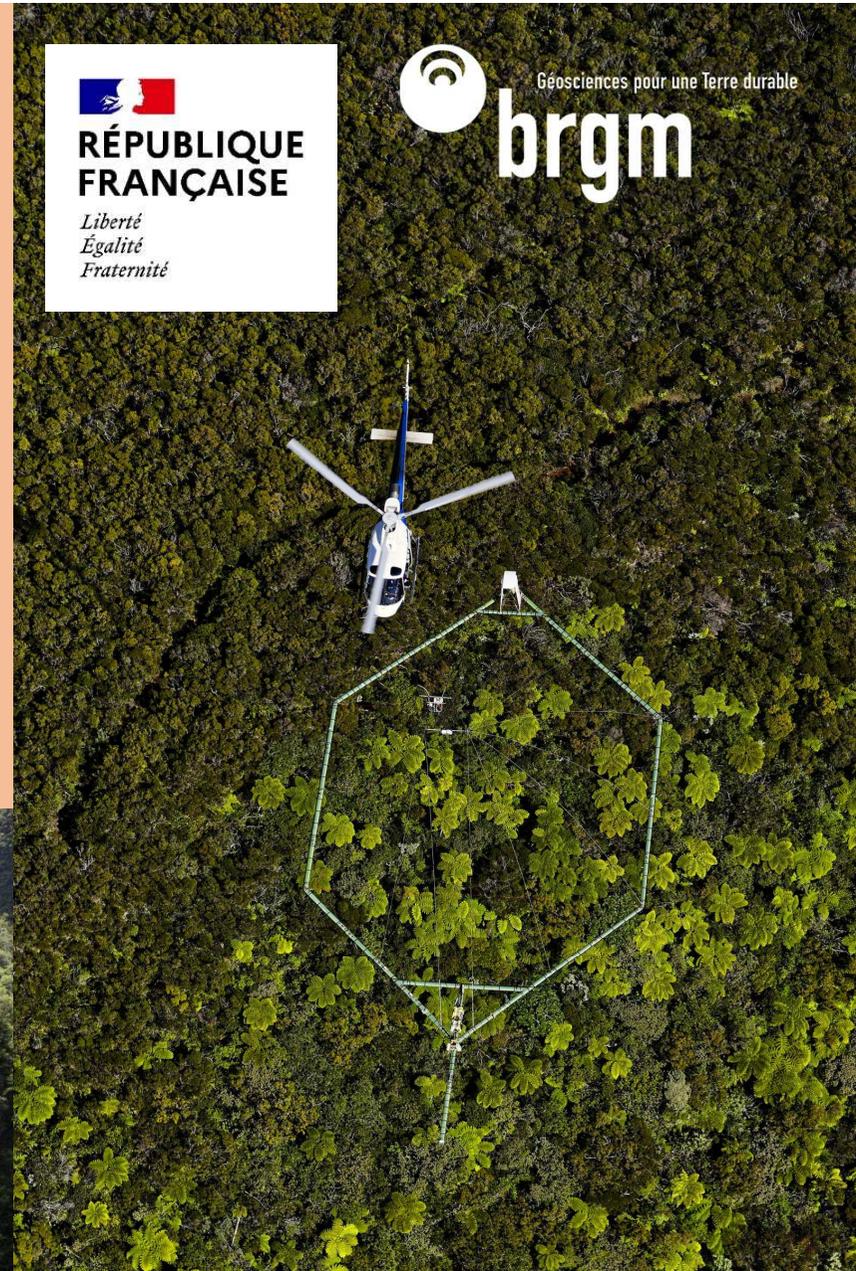
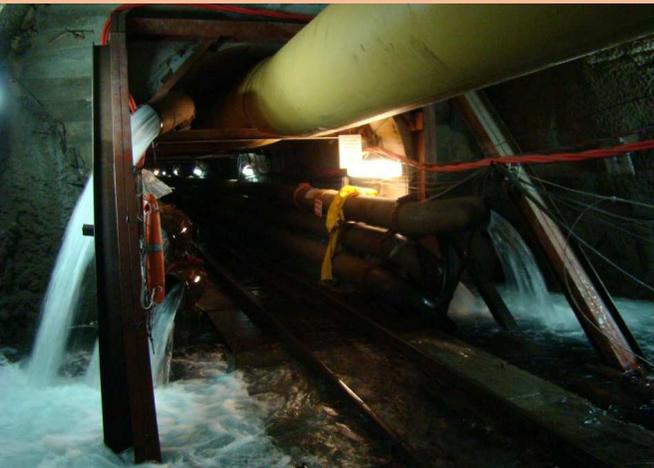
b.aunay@brgm.fr



Déroulement de la présentation

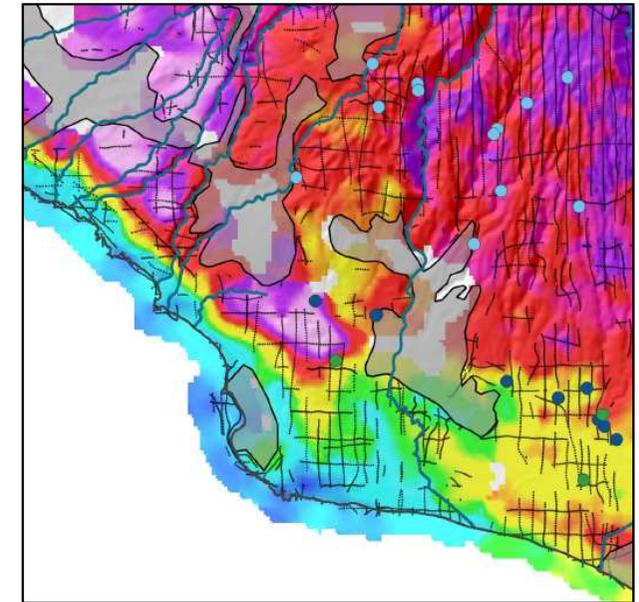
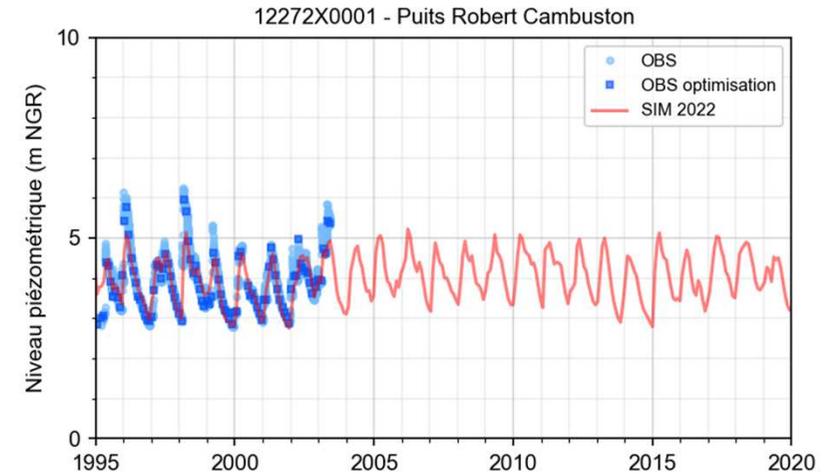
- Méthodologie mise en œuvre à La Réunion
- Phase 1- Synthèse des données et schéma conceptuel
- Phase 2 - Construction du modèle numérique
- Phase 3 – Choix des scénarios et simulations numériques

Méthodologie mise en œuvre à La Réunion

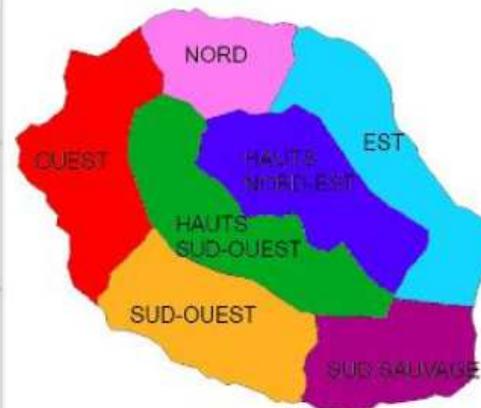
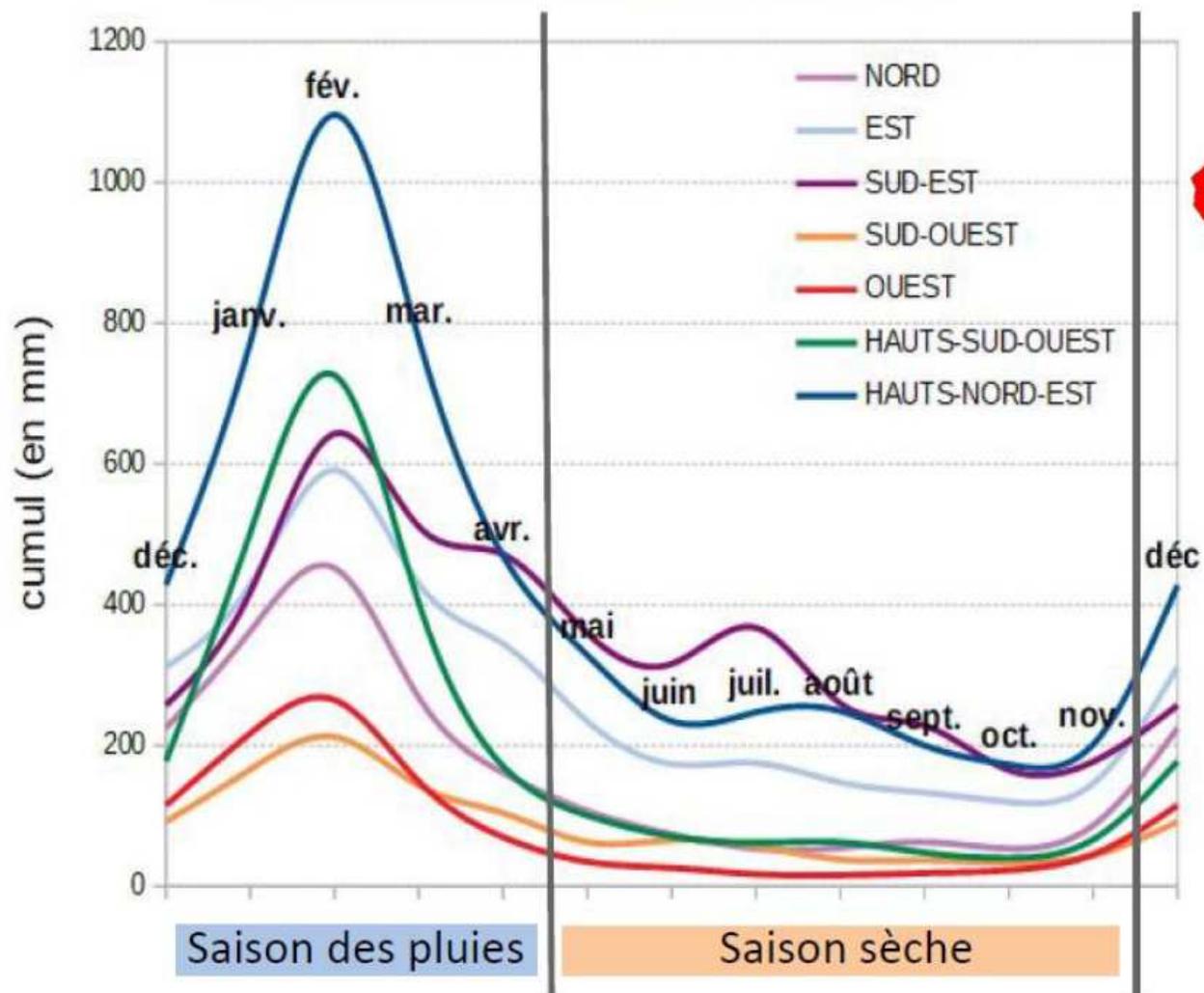


Méthodologie

- Enjeu
 - (i) Assurer l'équilibre entre les prélèvements et les ressources disponibles (eau superficielle et souterraine), (ii) en préservant la bonne fonctionnalité des écosystèmes aquatiques, (iii) dans un contexte de changement climatique.
- Réalisation de modélisations numériques transitoires
 - Etat de la ressource disponible en fonction du temps
 - Nombreux modèles numériques hydrogéologiques permanents
 - Intrusion saline ⇔ Modélisation complexe
- Besoin de données
 - Au pas de temps mensuel au minimum et sur une longue période
 - Prélèvement (débit des forages)
 - Etat de la ressource
 - ✓ Débit des rivières
 - ✓ Piézométrie
 - Ouest ⇔ Position de l'intrusion saline (conductivité électrique)



Normales mensuelles par secteur de l'île

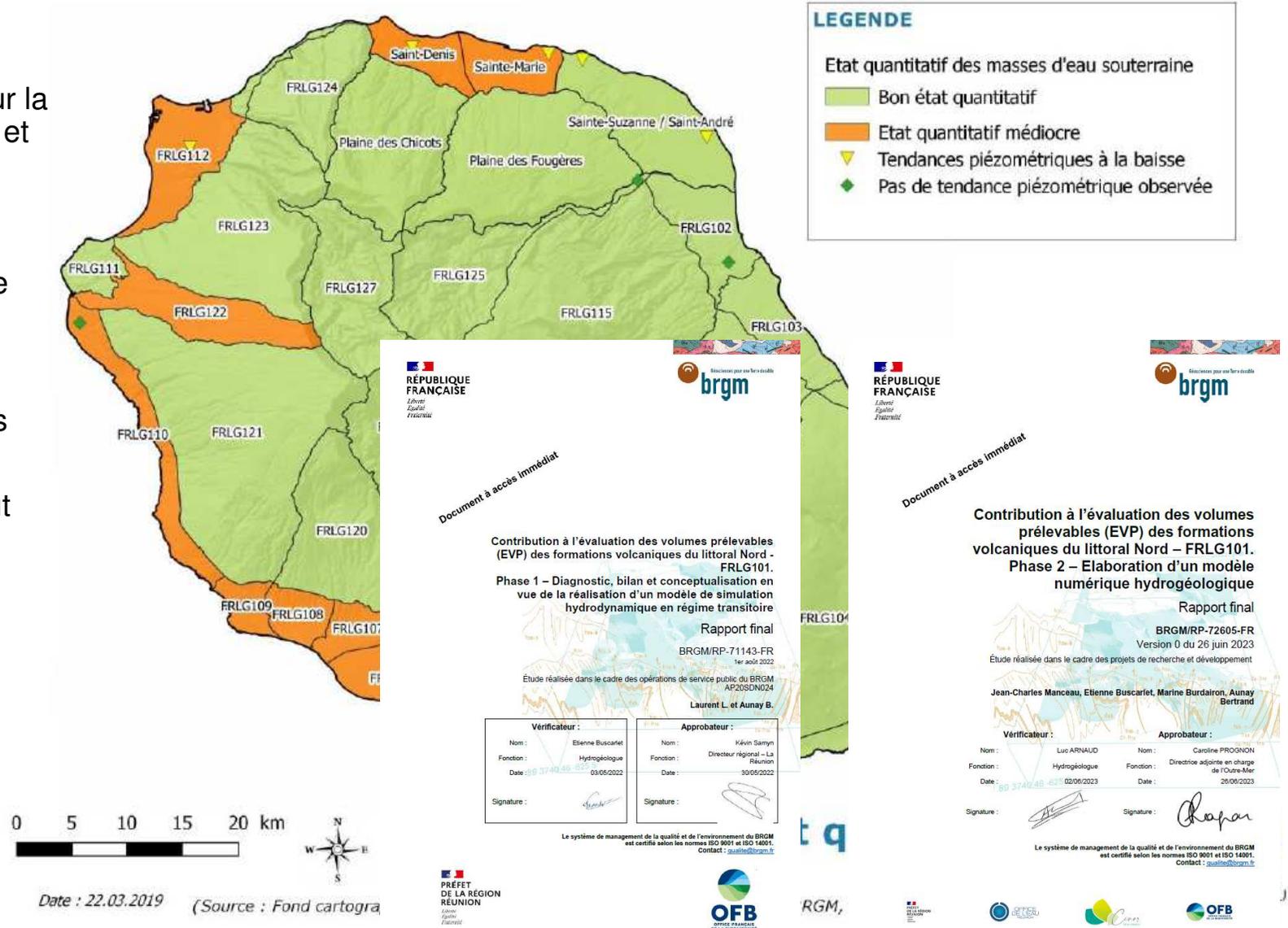


Des précipitations contrastées sur l'année...
 Une recharge des ressources en eau souterraine contrastée.
 → Stock variable sur l'année

FRLG101 – MESO Nord

- Déséquilibre quantitatif prélèvements/recharge sur la commune de Saint-Denis et Sainte-Marie
 - Prélèvements / recharge > 5%
 - Tendance à la baisse sur 4 piézomètres

- Projet en 3 phases / 3 ans
 1. Récolte des données et schéma conceptuel – Aout 2022
 2. Construction du modèle numérique – Juin 2023
 3. Choix des scénarios et simulation – Aout 2024



LEGENDE

Etat quantitatif des masses d'eau souterraine

- Bon état quantitatif
- Etat quantitatif médiocre
- Tendances piézométriques à la baisse
- Pas de tendance piézométrique observée

Document à accès immédiat

Contribution à l'évaluation des volumes prélevables (EVP) des formations volcaniques du littoral Nord - FRLG101.
 Phase 1 – Diagnostic, bilan et conceptualisation en vue de la réalisation d'un modèle de simulation hydrodynamique en régime transitoire

Rapport final
 BRGM/RP-71143-FR
 1er août 2022

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM
 AP20SDN024
 Laurent L. et Aunay B.

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : Etienne Buscarlet	Nom : Kévin Samyn
Fonction : Hydrogéologue	Fonction : Directeur régional – La Réunion
Date : 03/05/2022	Date : 30/05/2022
Signature :	Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001. Contact : qualite@brgm.fr

Document à accès immédiat

Contribution à l'évaluation des volumes prélevables (EVP) des formations volcaniques du littoral Nord – FRLG101.
 Phase 2 – Elaboration d'un modèle numérique hydrogéologique

Rapport final
 BRGM/RP-72605-FR
 Version 0 du 26 juin 2023

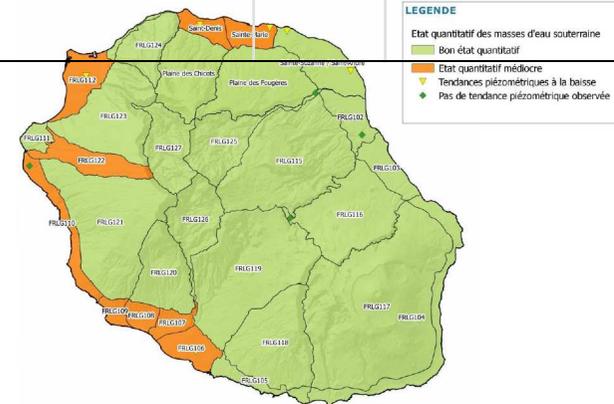
Étude réalisée dans le cadre des projets de recherche et développement

Jean-Charles Manceau, Etienne Buscarlet, Marine Burdairon, Aunay Bertrand

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : Luc ARNAUD	Nom : Caroline PROGNON
Fonction : Hydrogéologue	Fonction : Directrice adjointe en charge de l'Outre-Mer
Date : 02/06/2023	Date : 26/06/2023
Signature :	Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001. Contact : qualite@brgm.fr

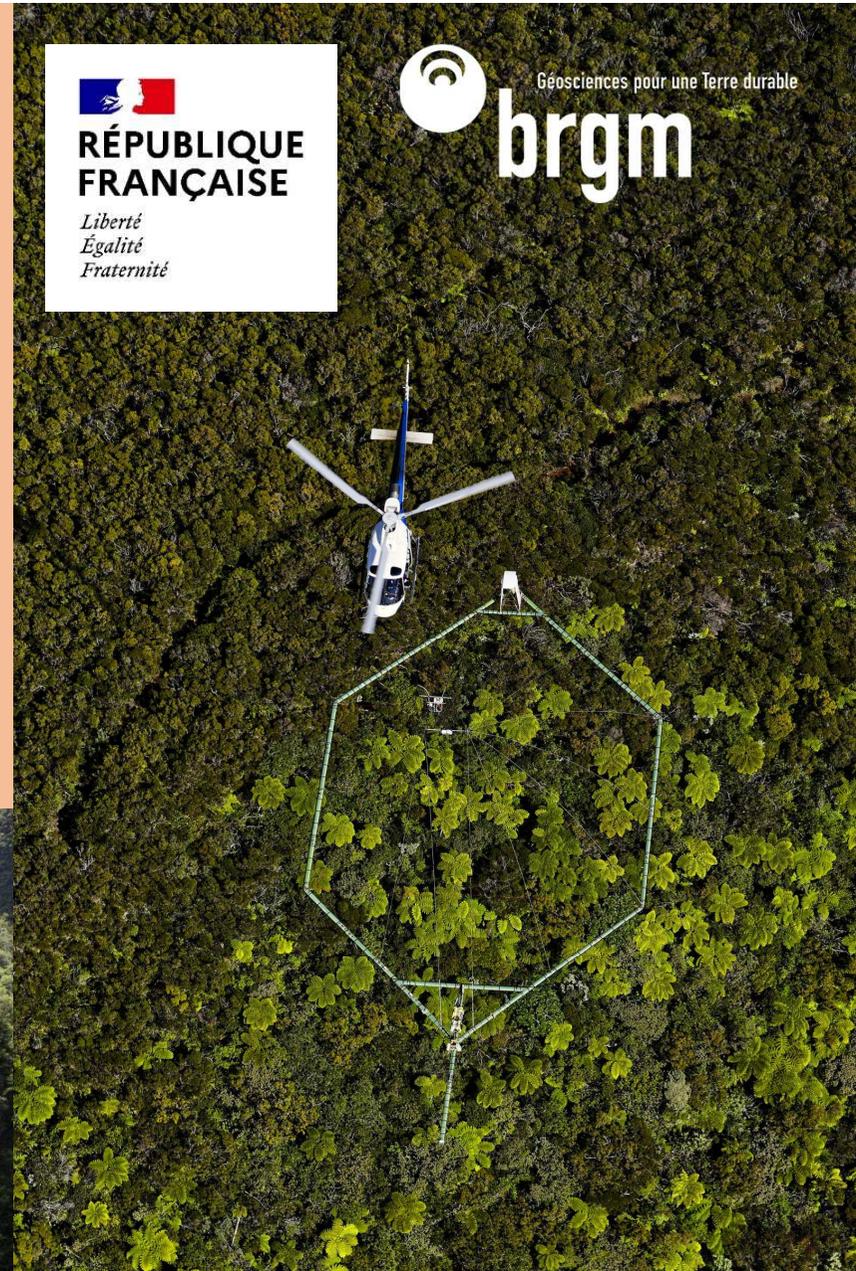
MESO		Partenaires	Avancement	A faire	Début	Fin
FRLG101	Formations volcaniques du littoral Nord	Cinor, OFB, DEAL, Office de l'eau	Phase 1 - BRGM-RP-71143-FR Phases 2 et 3 - BRGM/RP-72605-FR	Diffusion du rapport	T4 - 2020	T3 - 2024 2025 (EVP)
FRLG108	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales du Gol	Département, DEAL, Office de l'eau	Comité de gestion concertée actif. Actualisation BRGM/RP-72730-FR	Suivis à poursuivre / compléter	2010	2015 Actualisation en 2023 / 2024
FRLG106	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de Pierrefonds – Saint Pierre	Etat, CIVIS, Office de l'eau	Convention signée phases 1, 2 et 3	CoPil 12/09/2024 Réalisation technique en cours	T2 - 2024	T2 - 2027
FRLG107	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales des Cocos					
FRLG108	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales du Gol					
FRLG109	Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de l'Etang Salé	Etat, TO, Office de l'eau, Département	Phase 1 (BRGM/RP-69710-FR) et phase 1bis (Aspir - BRGM/RP-71097-FR). Phase 2 - Convention signée	CoPil 12/09/2024 Réalisation technique en cours Phase 3 à programmer	T2 - 2024	≈ 3 ans 2027
FRLG110	Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de la Planèze Ouest					
FRLG112	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de l'étang Saint Paul – Plaine des Galets					
FRLG122	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires de la Ravine Saint Gilles					



<https://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/evaluation-des-volumes-prelevables-a-la-reunion-a1309.html>

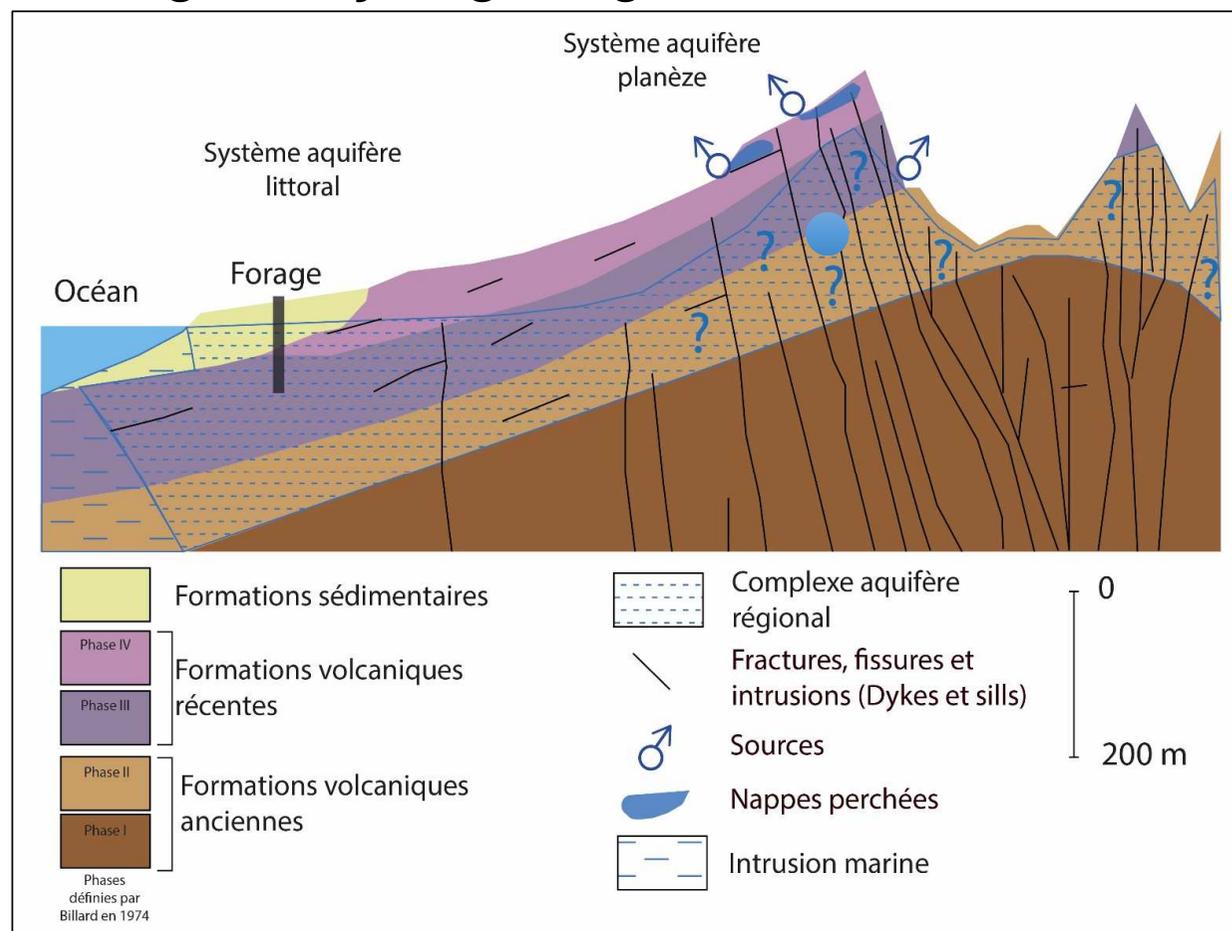
Evaluation des volumes prélevables sur le territoire de la CINOR

*Phase 1- Synthèse des données et schéma
conceptuel*



EVP - Formations volcaniques du littoral nord

Géologie et hydrogéologie



- Aquifère continu sur le littoral, jusqu'à 300 m d'altitude – Suivi et connu
- Aquifère discontinu et mal caractérisé dans les Hauts
 - Nappes perchées (ressources limitées)
 - Aquifères profonds discontinus (ILO)
- Formations perméables
 - Formations volcaniques récentes
 - Formations alluvionnaires
- Formations peu perméables
 - Formations volcaniques anciennes

EVP - Formations volcaniques du littoral nord

Galeries Salazie Aval et Amont

- Les galeries ont recoupé le complexe aquifère régional
- $Q \text{ Pertes}_{\text{GSAM}} = 9 \text{ Mm}^3/\text{an}$
- $Q \text{ Pertes}_{\text{GSAV}} = 3 \text{ Mm}^3/\text{an}$
- Rejet dans la rivière des Pluies provenant de la GSAM
 $Q = 4,7 \text{ Mm}^3/\text{an}$



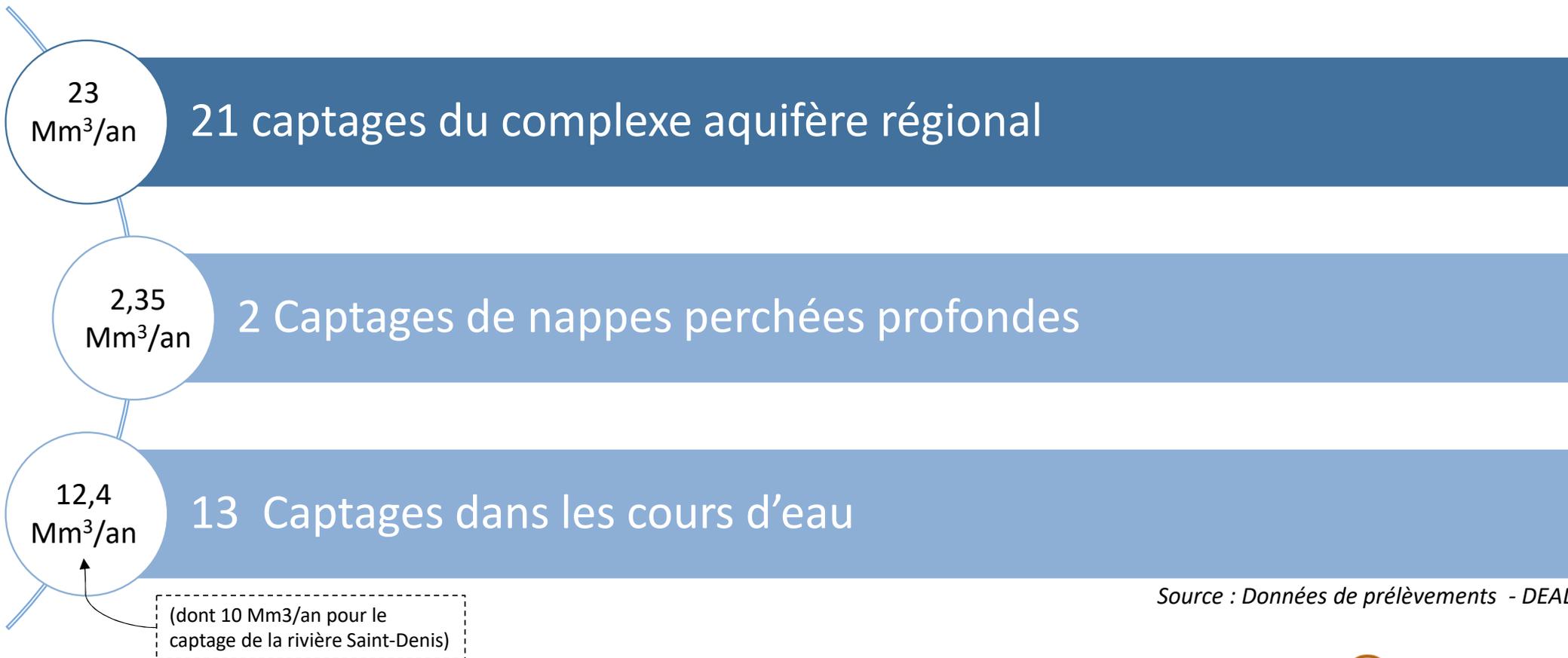
Rejet dans la rivière
des Pluies



Galerie Salazie Amont

EVP - Formations volcaniques du littoral nord

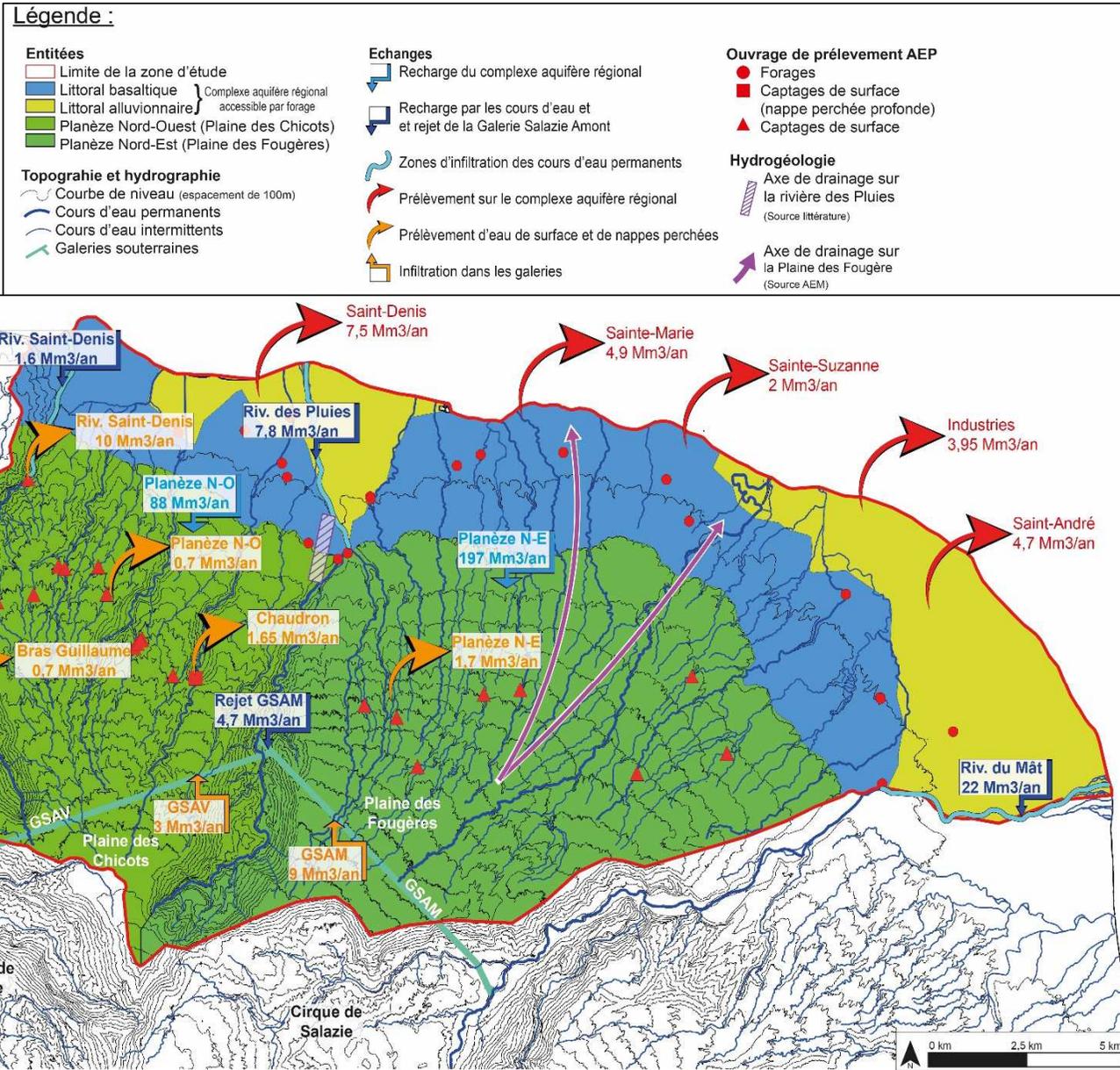
Prélèvements



Source : Données de prélèvements - DEAL

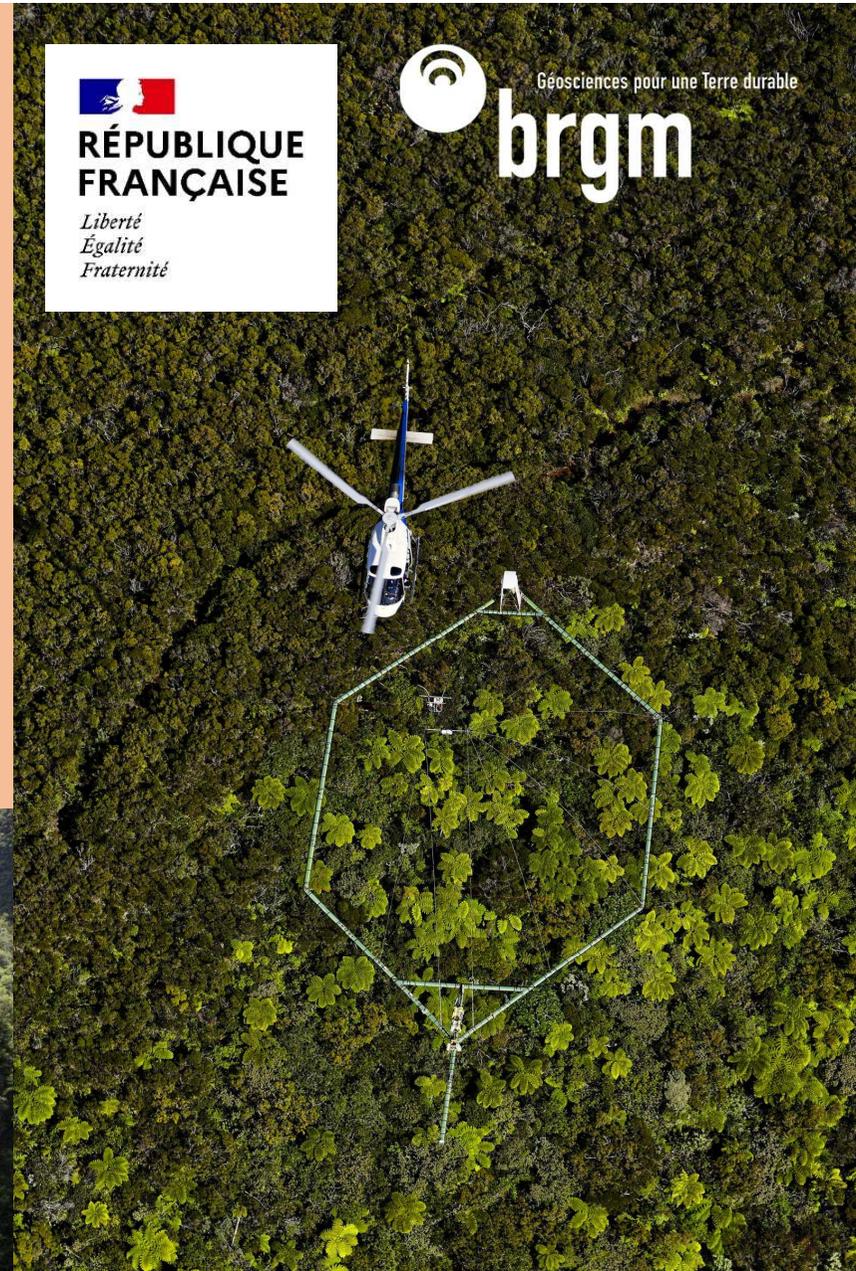
EVP - Formations volcaniques du littoral nord

Schéma conceptuel

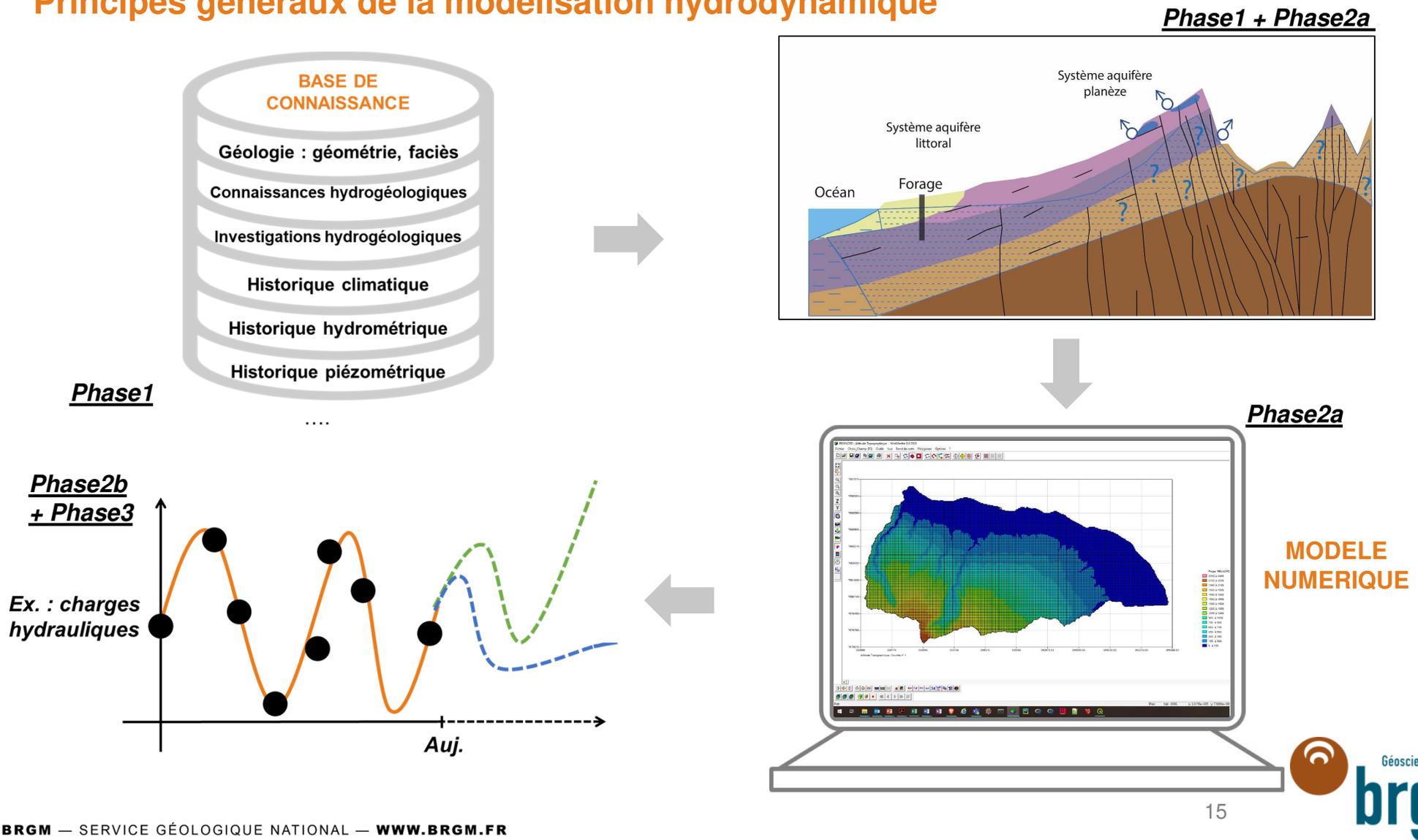


Evaluation des volumes prélevables sur le territoire de la CINOR

Phase 2 - Construction du modèle numérique



Principes généraux de la modélisation hydrodynamique



Principales caractéristiques

Modèle maillé (MARTHE – outil BRGM) calcul des niveaux piézométriques dans chacune des mailles du modèle

- Prise en compte du bilan hydroclimatique
- Prise en compte d'un réseau hydrographique simplifié

Extension du modèle : Choix de conditions aux limites aussi naturelles que possible:

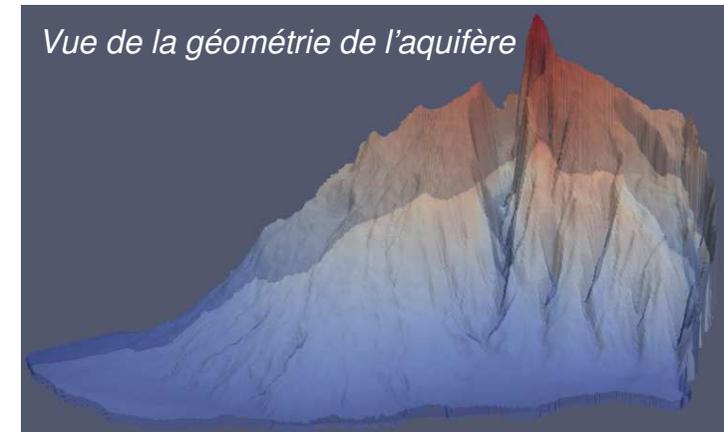
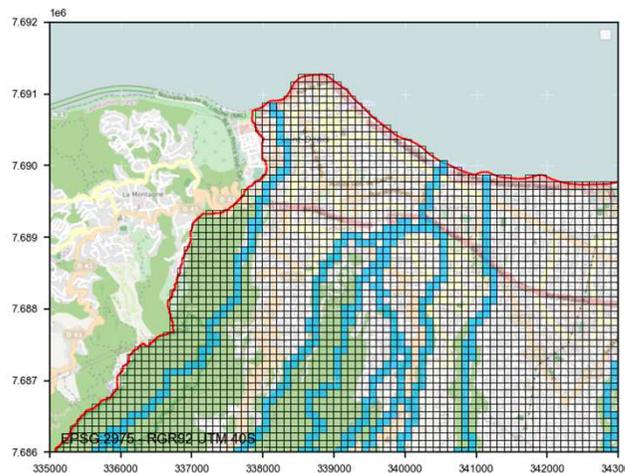
- Limites de bassin versant topographiques
- Limite littorale
- Rivière du Mât à l'est

Discrétisation spatiale :

- Horizontale: mailles carrées 100 m x 100 m
 - Verticale: une seule couche
- ⇒ 31 000 mailles

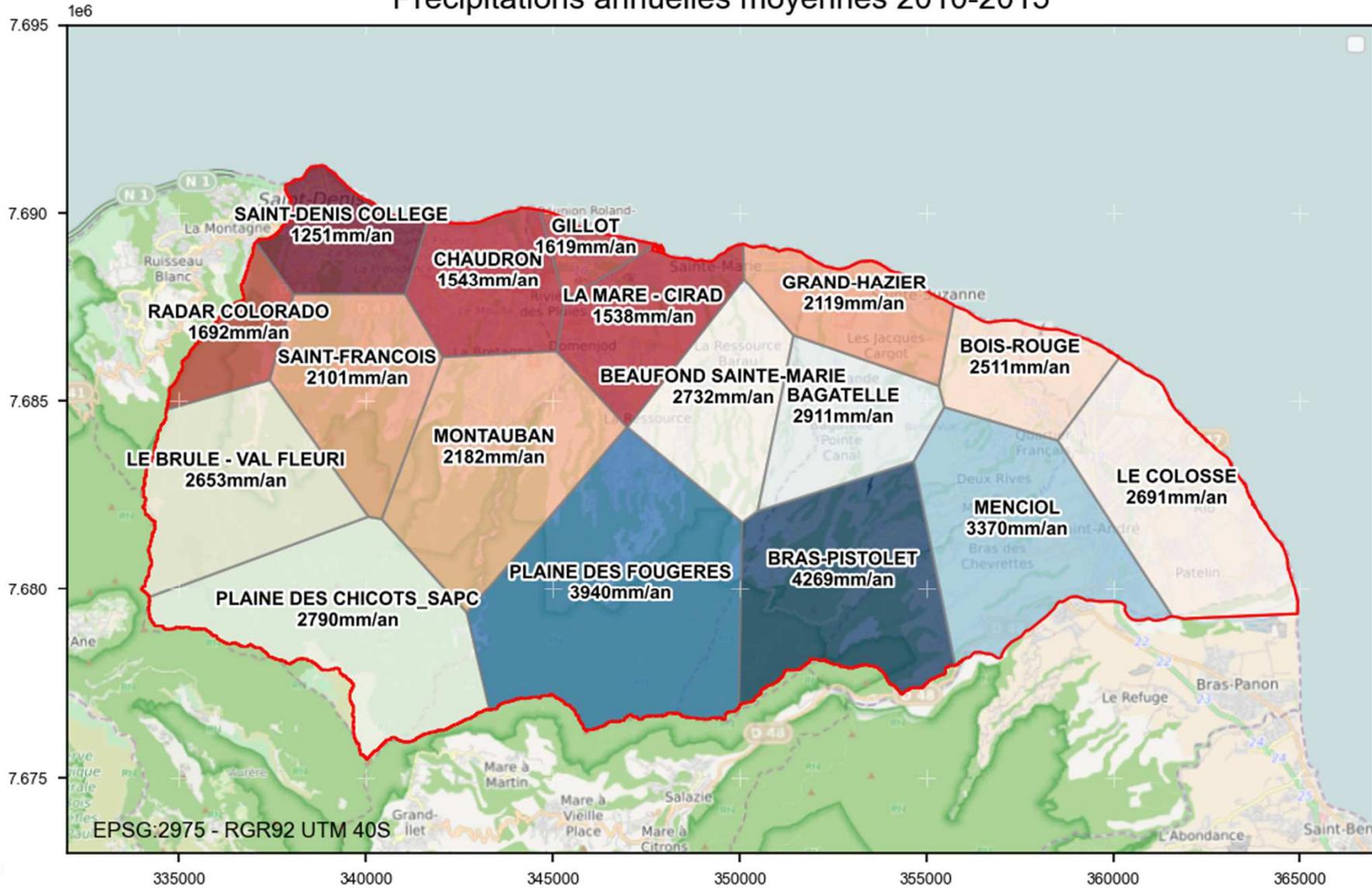
Discrétisation temporelle :

- Simulation en régime transitoire
- Pas de temps mensuel de 1995 à 2020 (+initialisation du modèle)



Climatologie et recharge liée aux pluies : les données

Précipitations annuelles moyennes 2010-2015



La variabilité spatiale des pluies est importante.

Prélèvements

Recensement de tous les prélèvements à partir des données **DEAL, CINOR, rapports de délégataires** (Runeo, Cise), sur la période 1990-2020

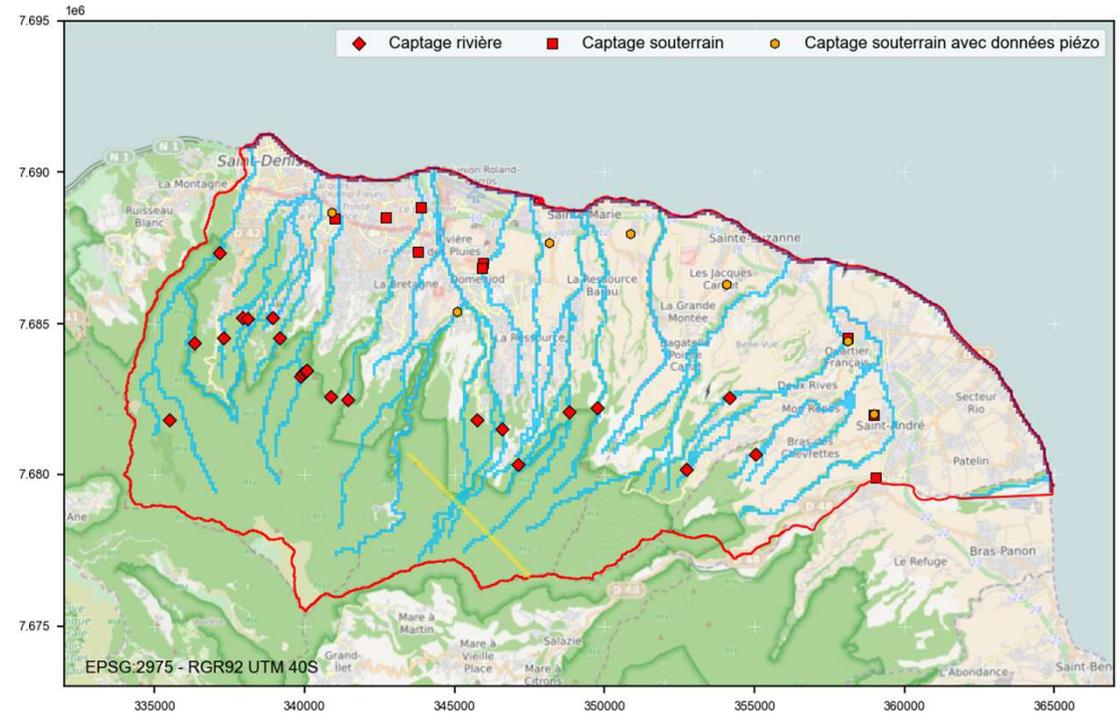
- 20 captages souterrains
- 16 captages en rivière
- Prise en compte des venues d'eau depuis GSAM (aquifère 1 - 206 L/s, aquifère 2 – 180 L/s), réinjectées dans la Rivière des Pluies (157 L/s)



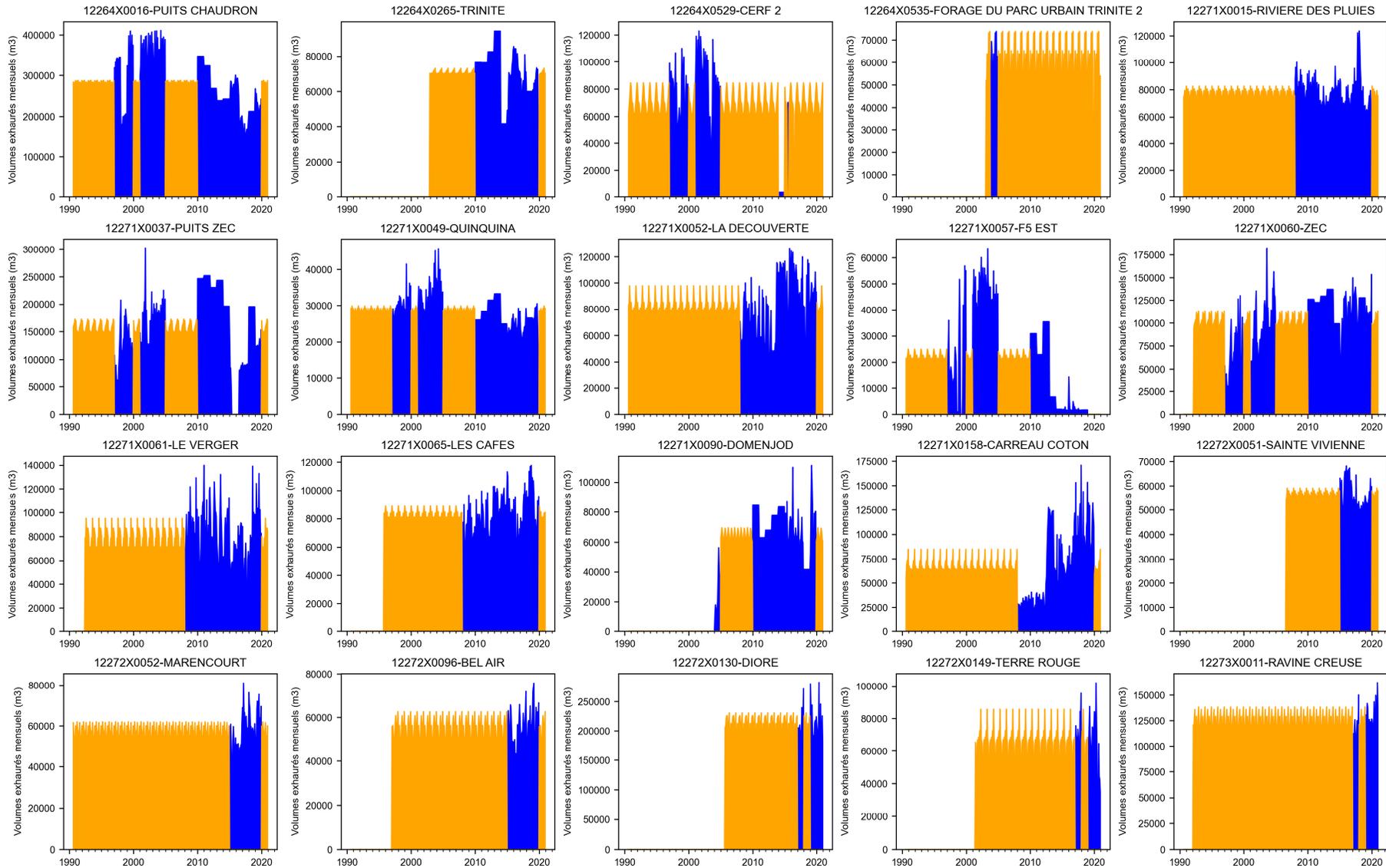
Difficulté : Les données sont généralement au pas de temps mensuel, mais parfois annuelles uniquement, avec des années manquantes

Solution choisie :

Reconstitution de chroniques mensuelles de prélèvements à partir de la date de création de l'ouvrage (indiquée en BSS) et répartition annuelle



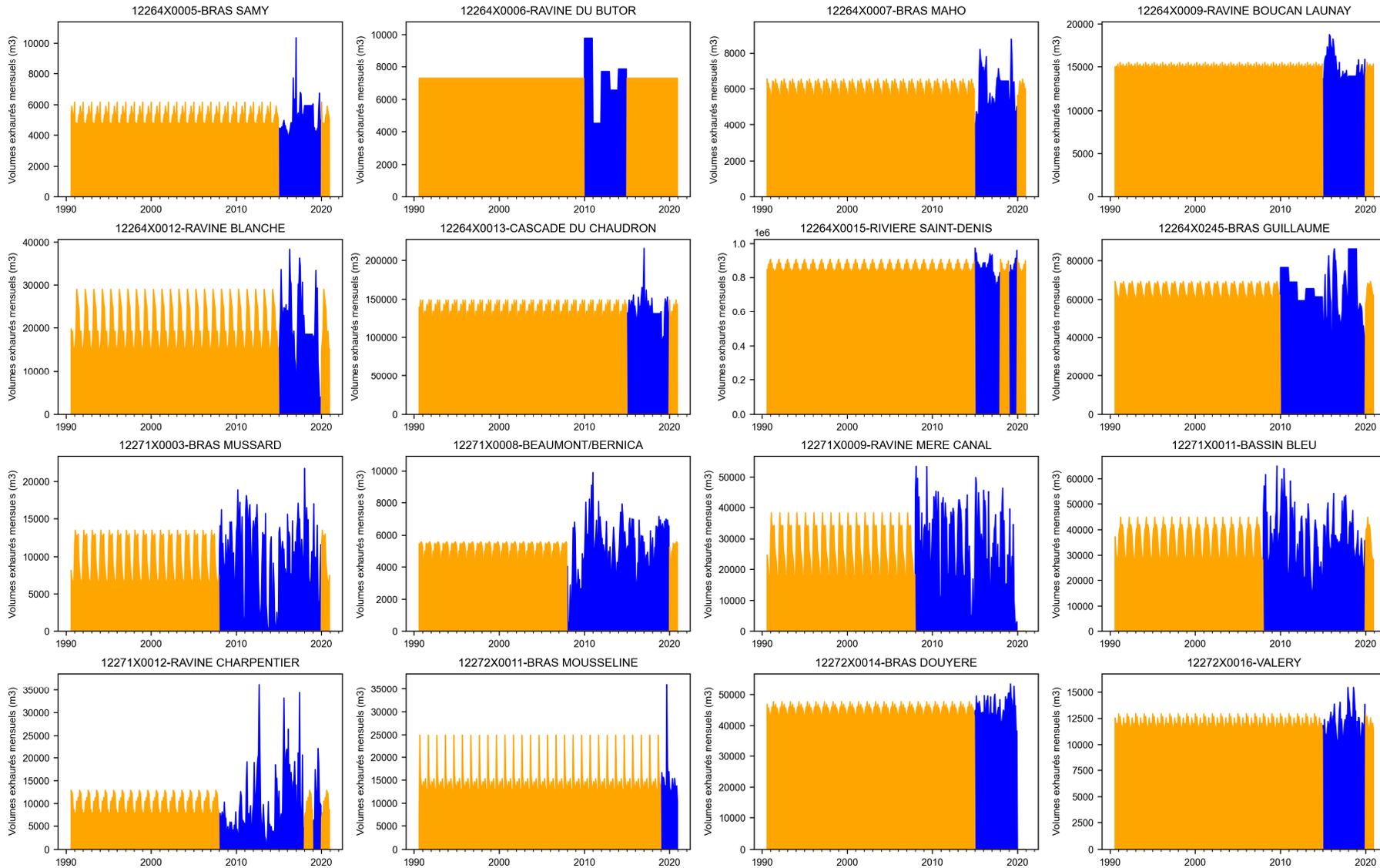
Prélèvements : reconstruction des années manquantes



Prélèvements
Eau souterraine

Réels
Estimés

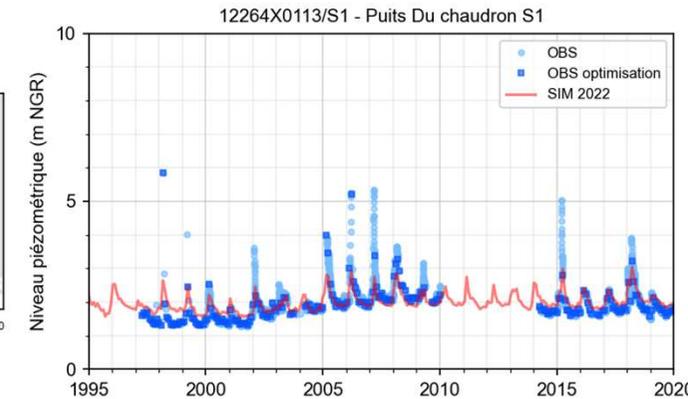
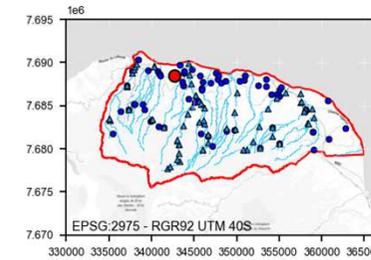
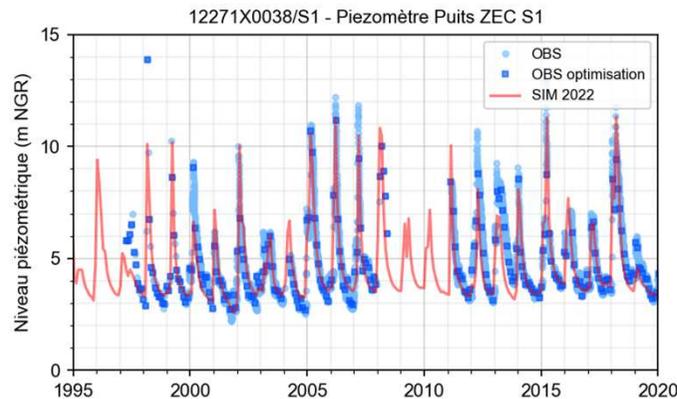
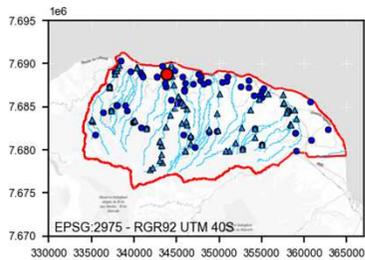
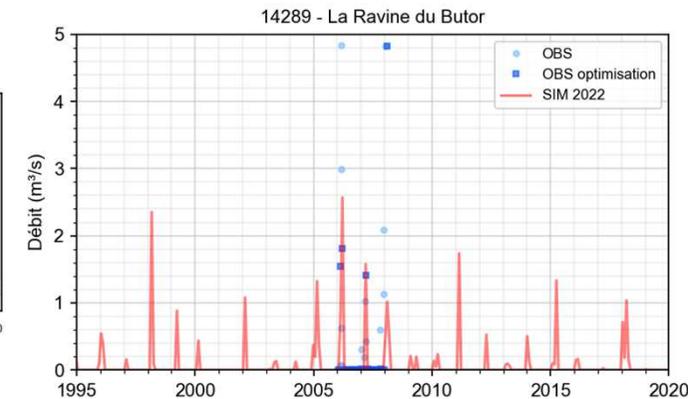
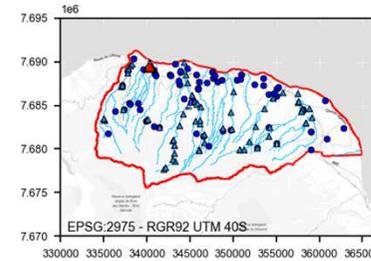
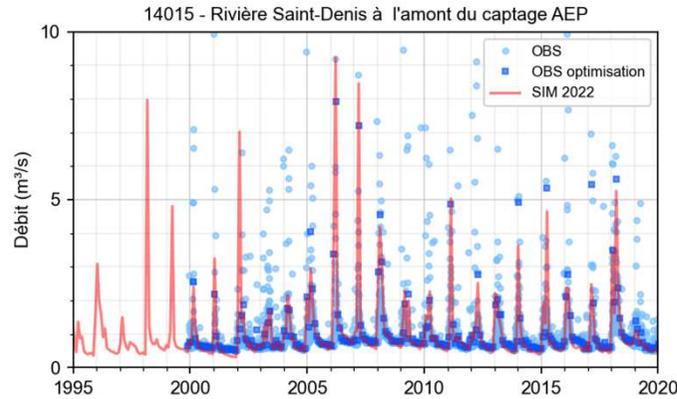
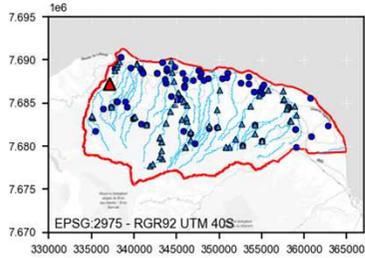
Prélèvements : reconstruction des années manquantes



Prélèvements
Eau de surface

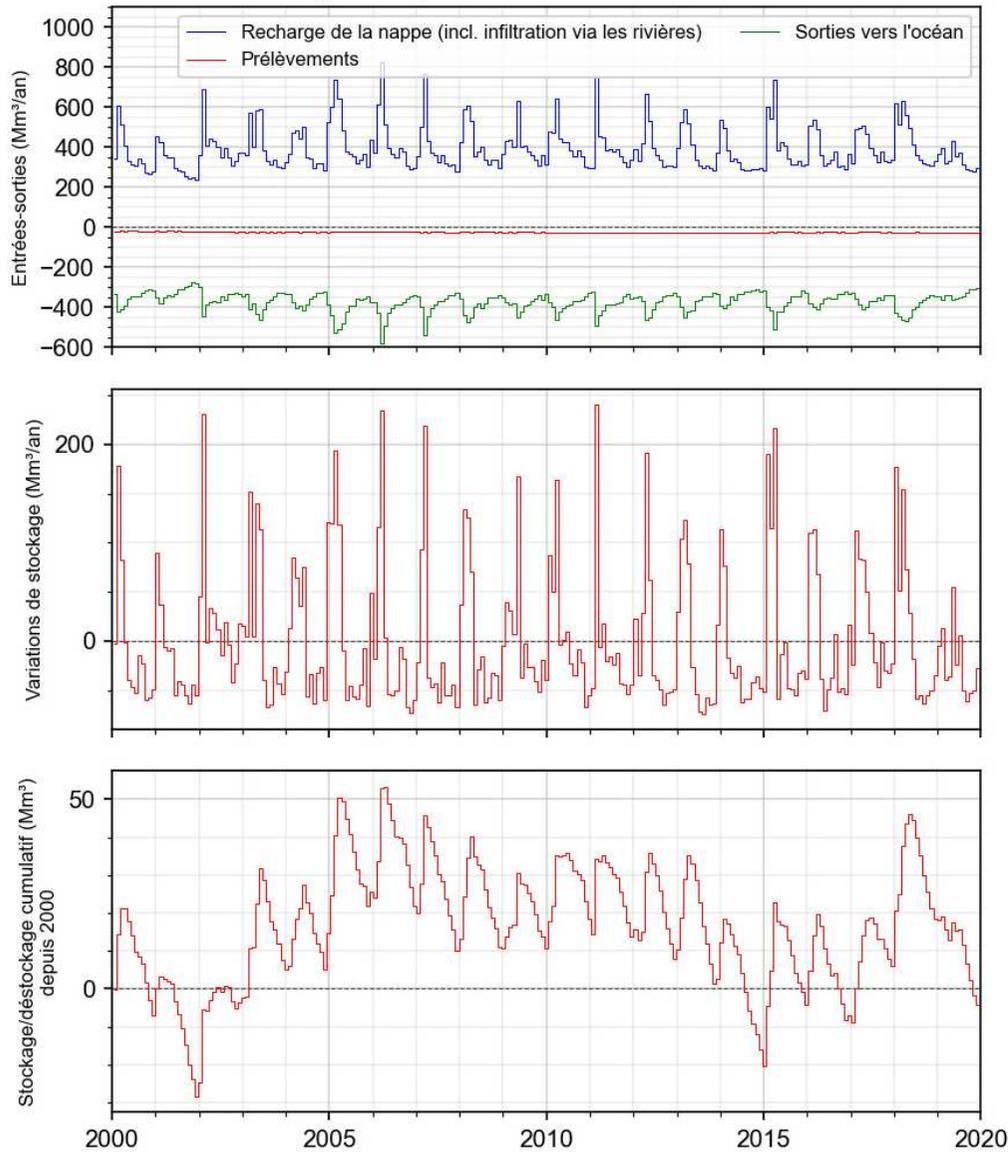
Réels
Estimés

Principaux résultats - Calibration



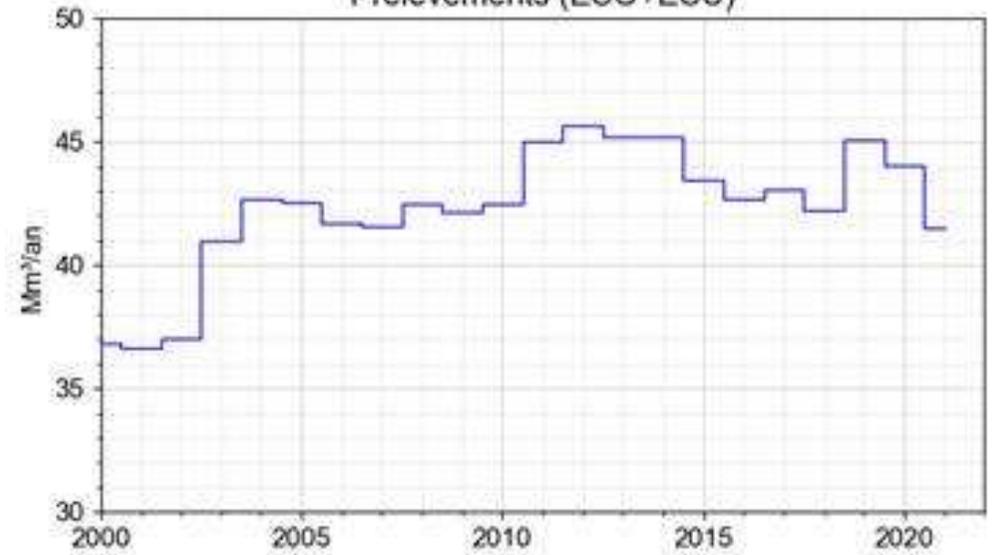
Calibration par des algorithmes d'automatisation (Pest++ et Monte-Carlo)
Simulations sur 500 modèles (500 jeux de paramètres - 241 satisfaisants)

Bilan hydraulique simulé - ensemble du domaine



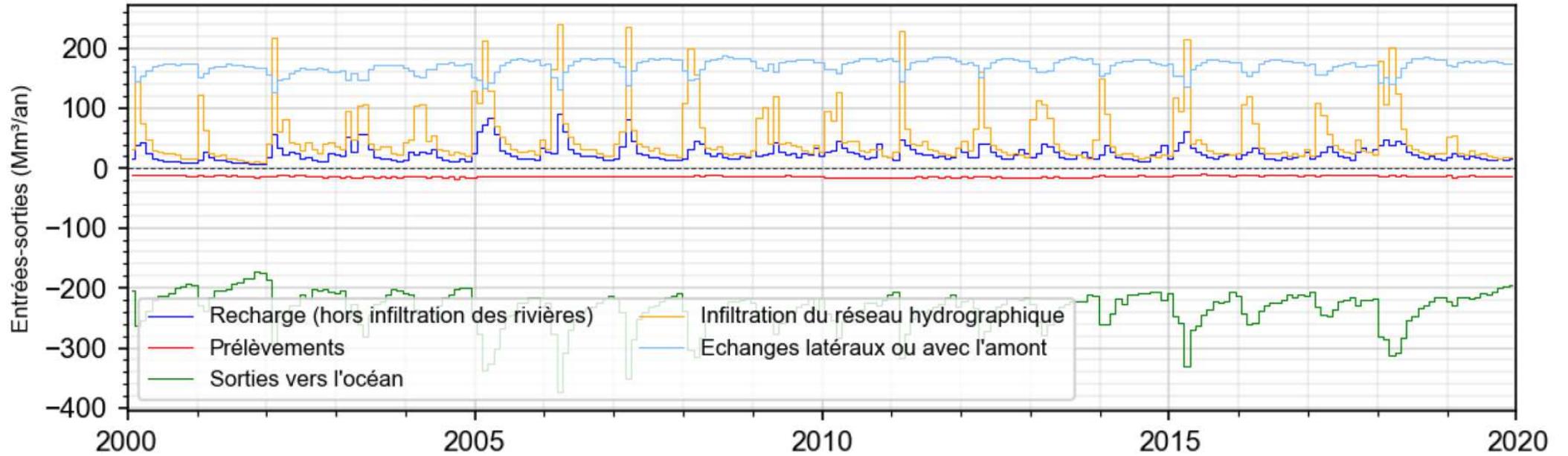
BI

Prélèvements (ESO+ESU)



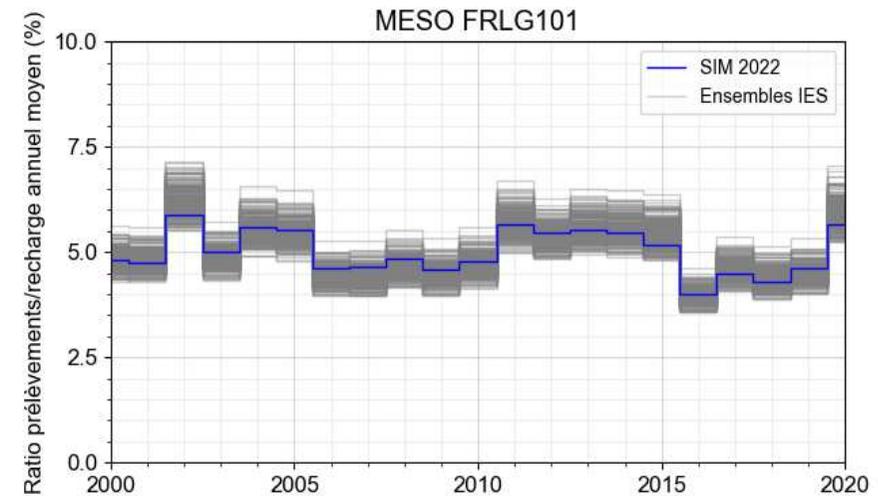
20 captages souterrains et 16 captages ESU

Bilan hydraulique simulé - MESO FRLG 101 / Secteur Saint-Denis / Sainte-Marie



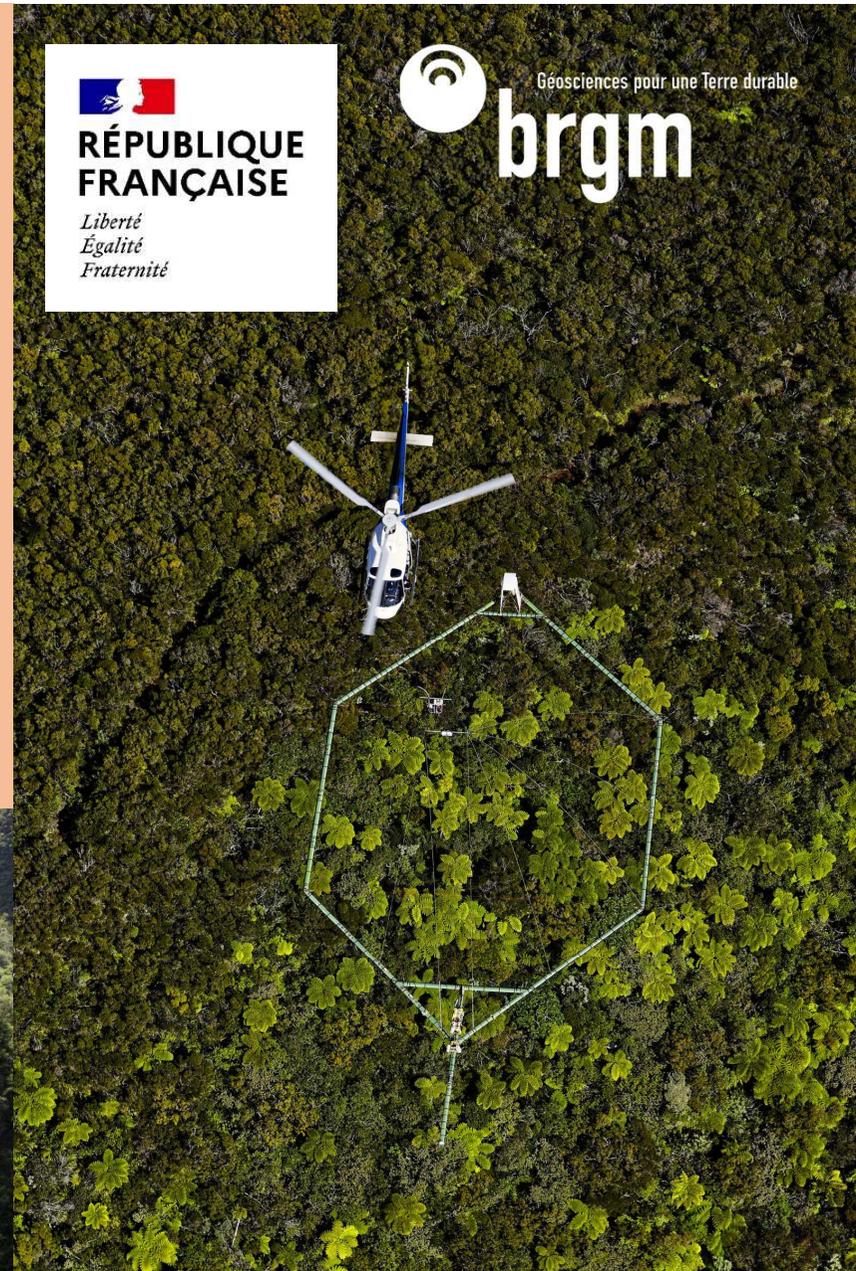
Ratio prélèvements / recharge

Analyse des incertitudes
≈ 7% vs. 5%



Evaluation des volumes prélevables sur le territoire de la CINOR

*Phase 3 – Choix des scénarios et simulations
numériques*



Construction concertée des scénarios à modéliser

1- 29/06/2023 - COPIL Fin phase 2 + Atelier participatif

2 – 11/10/2023 - Aspects « Changement Climatique » (Météo France)

3- 27/11/2023 - Aspects « AEP » (CINOR, EGIS)

4- 29/11/2023 - Aspects « irrigation » (CA, Département 974, SAPHIR et ACOA).

5- 01/03/2024 - Réunion de validation des scénarios

Etude EVP – Nord : Scénarios prospectifs proposés **Actualisation au 1er mars 2024**

Ces scénarios ont été élaborés suite à l'atelier participatif du COPIL3, complété par des échanges sur les évolutions de la demande en eau sur les aspects AEP (CINOR, EGIS) et irrigation (CA, Département 974, SAPHIR et ACOA). Ces scénarios ont fait l'objet de discussions additionnelles lors d'une réunion qui s'est tenue le 1^{er} Mars 2023 (présents : Département 974, Office de l'Eau, CA, RUNEO, CINOR, CISE, DEAL).

Les informations qui ont pu être collectées depuis le dernier COPIL permettent d'établir plusieurs scénarios prospectifs.

INDICATEURS CHOISIS POUR CARACTERISER L'EVOLUTION DE LA RESSOURCE EN EAU

L'évolution de la ressource en eau sera observée sous l'angle de plusieurs indicateurs :

- 1- Respect du bon état : ratio prélèvements sur recharge global
- 2- Sécurisation des usages AEP selon les niveaux piézométriques atteints dans les forages (dénoyage de la pompe / des crépines)
- 3- Evolution des débits simulés dans les cours d'eau et des échanges nappes-rivière
- 4- Evolution des niveaux piézométriques simulés avec focus sur les zones où des modifications des sens d'écoulement seraient observées

SCENARIOS PROPOSES

Scénarios 1 : conséquences du changement climatique sur la ressource en eau sans modification de la demande.

Données de base disponibles : Evolution des pluies et de l'ETP (1 modèle climatique disponible sur la Réunion) pour 3 SSPs (~trajectoires d'émission de GES), évolution du niveau de la mer.

⇨ Propositions : 2 scénarios

1. Prise en compte des chroniques climatiques associés au scénario SSP2-4.5
2. Prise en compte des chroniques climatiques associés au scénario SSP5-8.5

Scénarios validés par le COPIL

Conséquences du changement climatique sur la ressource en eau sans modification de la demande

⇒ Scénarios 1 et 2

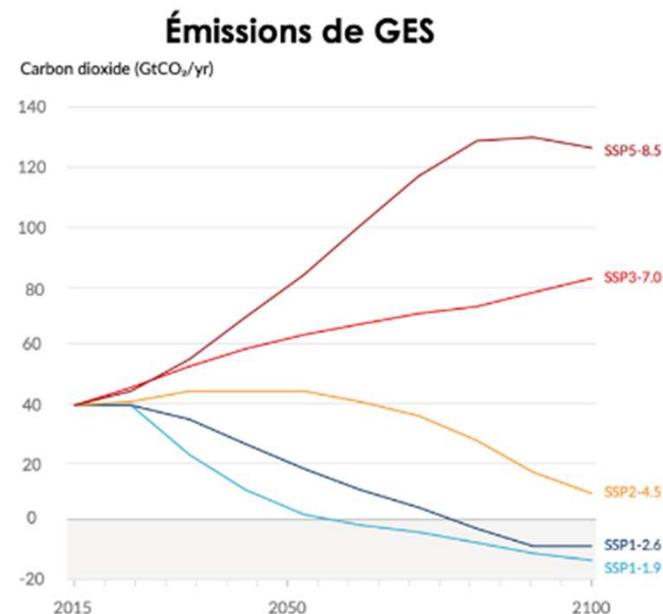
Conséquences du changement climatique sur la ressource en eau + prise en compte de l'évolution de la demande en situation critique

⇒ Scénarios 3 et 4

Conséquences du changement climatique sur la ressource en eau + prise en compte de l'évolution de la demande en situation critique + report des eaux prélevées en cours d'eau vers les eaux souterraines

⇒ Scénarios 5 et 6

Numéro du scénario	Projections Climatiques	Evolution de la demande en eau en période critique	Report vers la nappe des prélèvements en rivière
1	SSP2-4.5	X	X
2	SSP5-8.5	X	X
3	SSP5-8.5	1160 l/s à répartir	X
4	SSP5-8.5	1560 l/s à répartir	X
5	SSP5-8.5	1560 l/s à répartir	100% des débits prélevés en rivière lors de la période Octobre - Décembre
6	SSP5-8.5	1560 l/s à répartir	100% des débits prélevés en rivière toute l'année



Un monde sans politiques de régulation du climat
Réchauffement ~ 5°C en fin de siècle

Un monde sobre
Réchauffement < 2°C
Seul scénario respectant l'accord de Paris sur le CC (2015)



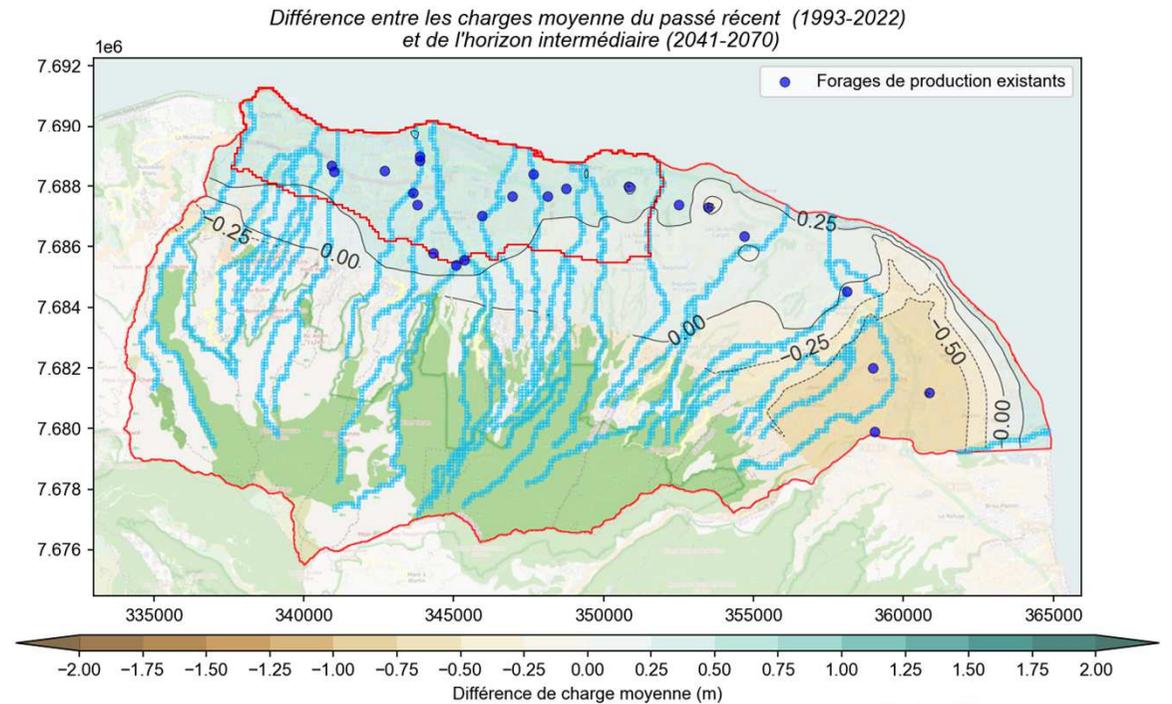
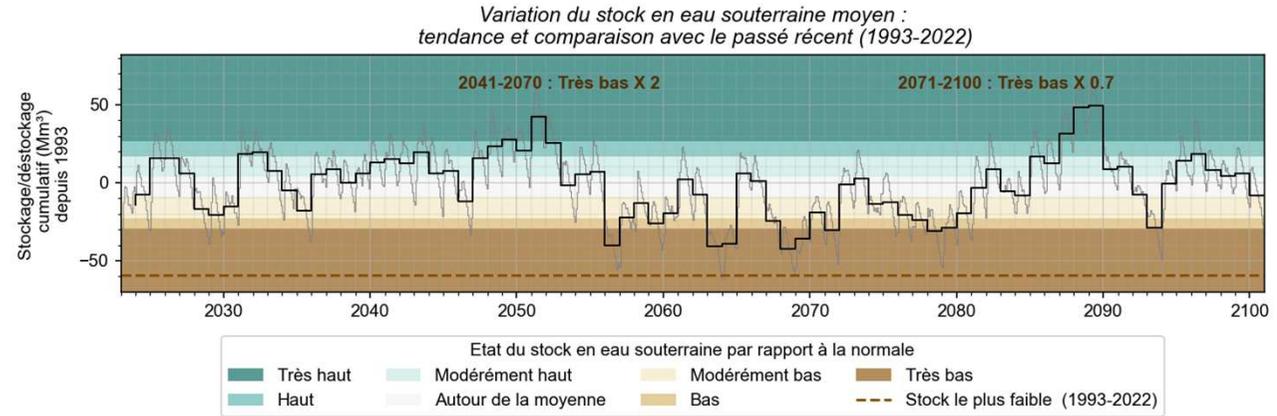
ABR - PDEAH



Scénario 1 - Résultats

Evolution de la ressource en eau souterraine à l'échelle du modèle

- ⇒ Globalement, peu d'évolution
- ⇒ Disparité spatiale amont (recharge) vs. aval (niveau de la mer)



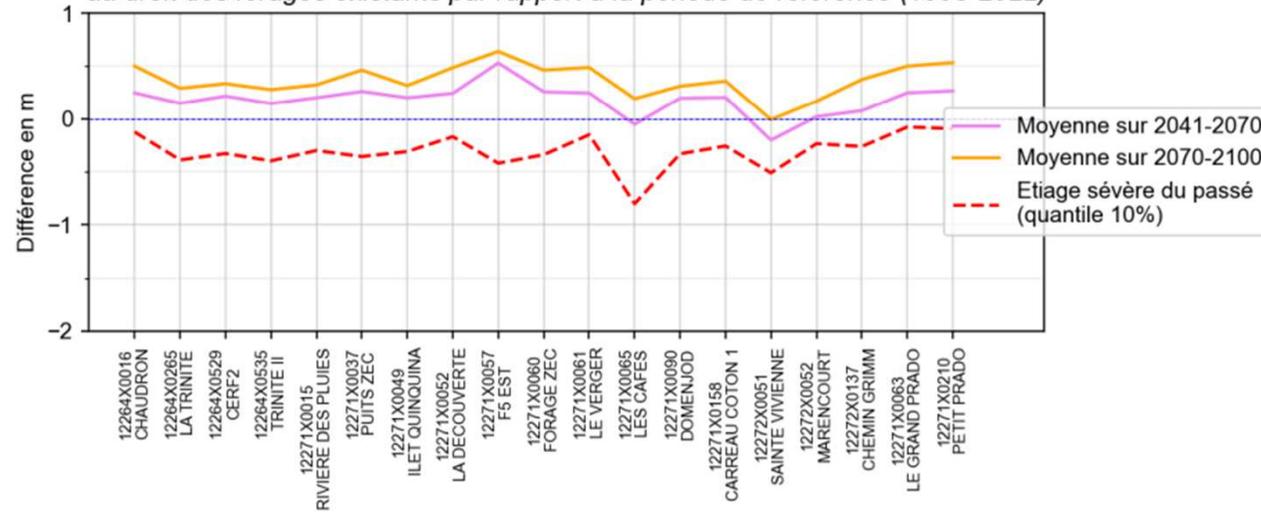
Scénario 1 - Résultats

Zone d'intérêt : MESO FRLG101 sur le secteur d'intérêt de Saint-Denis / Sainte Marie

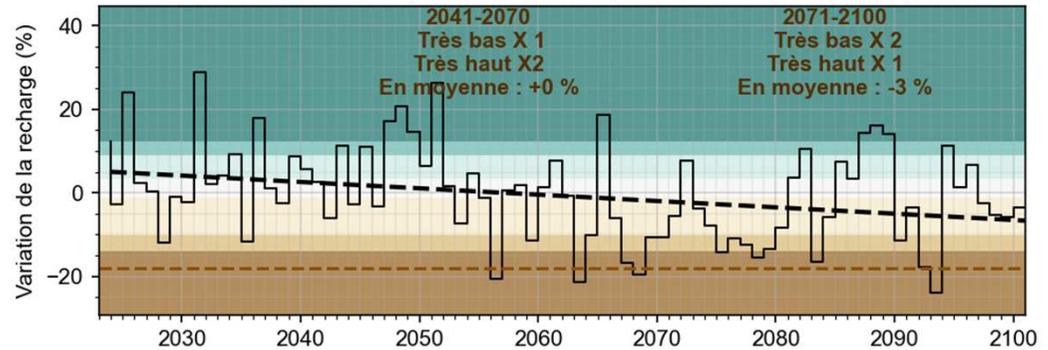
⇒ Globalement, hausse des niveaux piézométriques (effet de la remontée du niveau marin)

⇒ Baisse (modérée) de la recharge

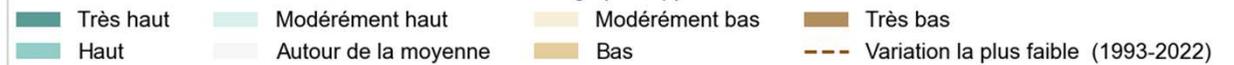
Evolution des niveaux piézométriques à l'étiage au droit des forages existants par rapport à la période de référence (1993-2022)



Variation de la recharge (%):
tendance et comparaison avec le passé récent (1993-2022)



Variation de recharge par rapport à la normale



Synthèse des simulations prospectives

- La continuation des prélèvements en eau souterraine dans le futur semble être admissible au regard d'un futur tel que celui décrit par les scénarios 1 et 2 (SSP2-4.5/SSP5-8.5) – Ratio \approx 7% vs. 5%
- Dans le cadre d'un futur plus sec (scénario 2, SSP5-8.5), la problématique intrusion saline est à surveiller
- Les simulations des scénarios 1 et 2 montrent une évolution modérée des débits des rivières pérennes du secteur d'intérêt à l'étiage
- Les impacts du CC et de l'augmentation de prélèvements (scénarios 3 à 6) sont visibles sur la ressource en eau souterraine (en particulier sur la période 2041-2070)
 - Les niveaux piézométriques moyens en étiage correspondent aux étiages sévères historiques
 - Le risque d'intrusion saline est augmenté avec le temps, sous l'effet cumulé du CC et des pompages
 - Les scénarios 3 à 6 considèrent une augmentation très significative des prélèvements
- Le modèle permettrait de tester des scénarios de prélèvements intermédiaires (avec localisation alternative de nouveaux forages et volumes associés)
 - Mise à jour du modèle régulière du modèle pour adapter aux nouvelles données (suivi, prélèvements)
 - Sélection d'indicateurs de criticité
- Mettre en œuvre un suivi régulier de l'intrusion saline en aval des ouvrages
 - Suivi géophysique, piézométrique au niveau du trait de côte

Proposition de volumes prélevables – A venir...

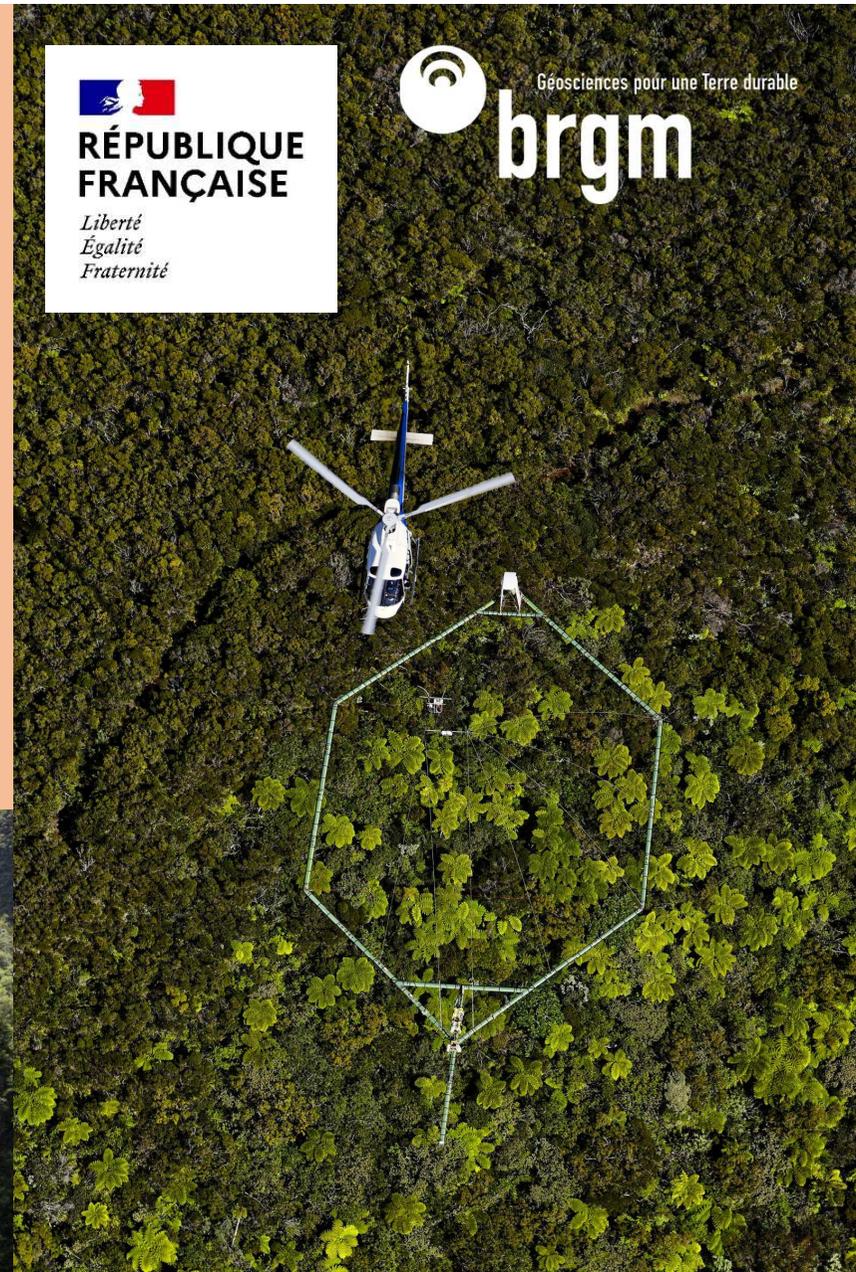
- Les conséquences des prélèvements concernent 2 axes
 - Impact sur les milieux (eaux de surface, zone humide)
 - Usages dégradés
- Pas de constat des conséquences des prélèvements ESO
 - Absences de problème historiques
 - Peu évident de déterminer des seuils de VP
- Concrètement, les prélèvements actuels, dans le contexte climatique actuel ne posent pas de problème
 - Décembre 2024 : 3e mois le plus sec depuis 53 ans
 - Janvier 2025 : record mensuel sec depuis 54 ans
 - Bilan des 12 derniers mois : -36%. Record sec / 52 ans
- Ces prélèvements, sous réserve qu'ils restent constants, ne poseront pas de problème dans le futur.
 - Problèmes locaux possibles ⇔ mauvaise répartition géographique des points de prélèvement
- Outil numérique de modélisation disponible → tester de nouveaux scénarios / nouveaux ouvrages



Synthèse des simulations prospectives

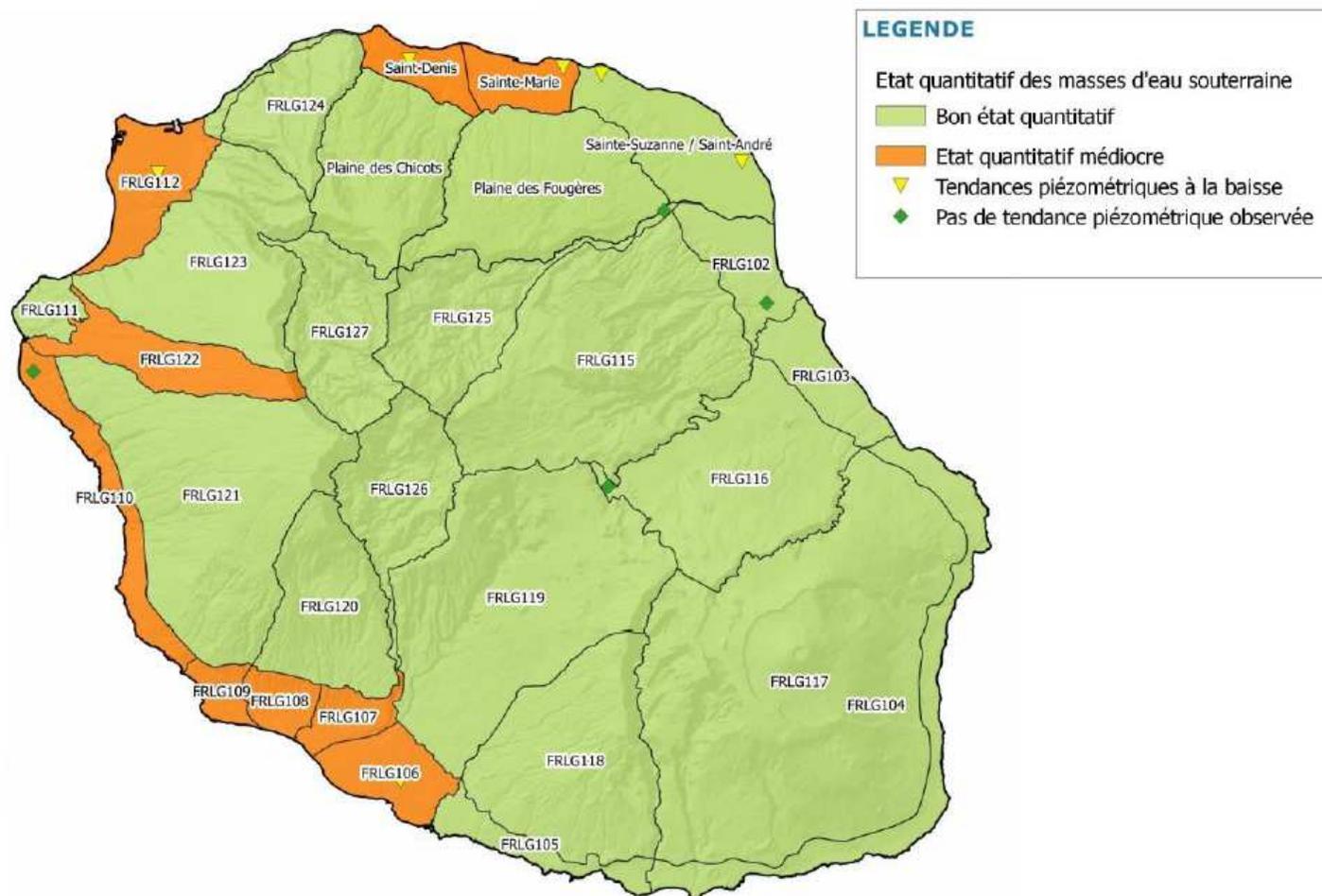
Scénario	<u>Secteur d'intérêt</u>					
	Recharge	Ratio prélèvements sur recharge	<u>Problématique niveaux piézométriques au droit des forages AEP</u>		<u>Problématique intrusion saline</u>	
			2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Contexte des EVP - Evaluation des volumes prélevables



Etat des lieux 2019 – Etat quantitatif

- Risque de non atteinte des objectifs environnementaux global à l'horizon 2027 sur la masse d'eau FRLG101
 - Déséquilibre quantitatif prélèvements/recharge sur la commune de Saint-Denis et Sainte-Marie
 - ✓ Prélèvements / recharge > 5%
 - Tendance à la baisse sur 4 piézomètres
- **Etat quantitatif médiocre** sur les communes de Saint-Denis et Sainte-Marie et bon sur les communes de Sainte-Suzanne et Saint-André



0 5 10 15 20 km



Evaluation de l'état quantitatif

Etat des lieux 2019

Date : 22.03.2019

(Source : Fond cartographique MNT de La Réunion, BDLISA 2012, Données BRGM, BNPE, Saphir et Office de l'eau Réunion)

Contexte des EVP

- Enjeu
 - (i) Assurer l'équilibre entre les prélèvements et les ressources disponibles (eau superficielle et souterraine), (ii) en préservant la bonne fonctionnalité des écosystèmes aquatiques, (iii) dans un contexte de changement climatique.

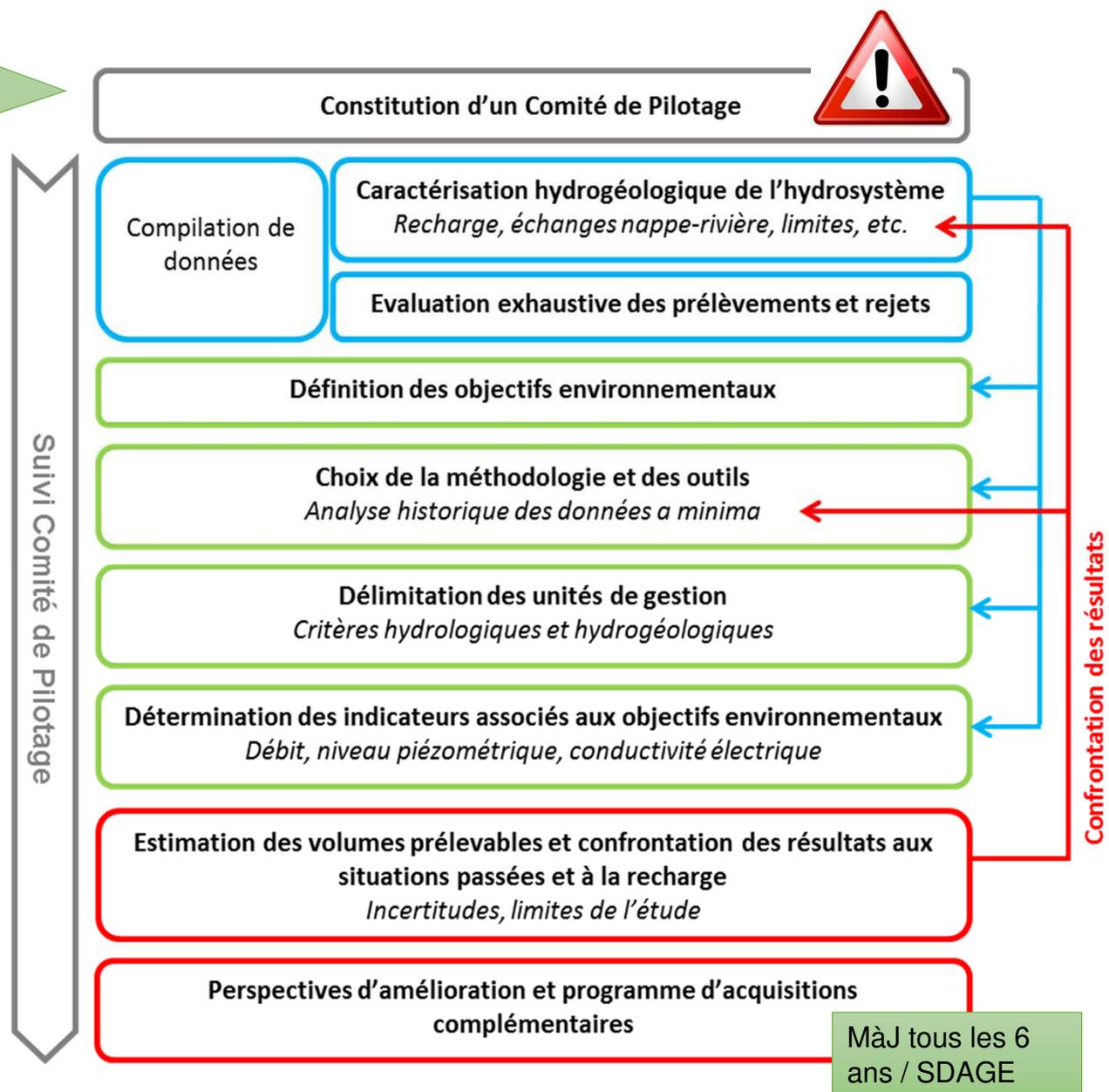
- Contexte réglementaire
 - Décret n° 2021-795 du 23/06/2021 relatif à la gestion quantitative de la ressource en eau et à la gestion des situations de crise liées à la sécheresse, définit les volumes prélevables à l'article R. 211-21-1,
 - Volume prélevable : « volume pouvant statistiquement être prélevé 8 années sur 10 en période de basses eaux dans le milieu naturel aux fins d'usages anthropiques, en respectant le bon fonctionnement des milieux aquatiques dépendant de cette ressource et les objectifs environnementaux du SDAGE. Il est issu d'une évaluation statistique des besoins minimaux des milieux sur la période de basses eaux. »
 - Bon fonctionnement des milieux aquatiques ⇔ Eaux souterraines ?

[Décret n° 2021-795 du 23 juin 2021 relatif à la gestion quantitative de la ressource en eau et à la gestion des situations de crise liées à la sécheresse](#)

Chaque EVP doit désormais s'appuyer sur un COPIL présidé par le Préfet et auquel participent un certain nombre d'acteurs (dont représentant de la pêche et services chargés des prélèvements AEP)

Orientations méthodologiques

- Se fixer des objectifs environnementaux ≠ cadre réglementaire
- Approches de simulations numériques ≠ ratio prélèvement / recharge
Ratio = 5% (méthodo. nationale pour les milieux volcaniques)
Ratio ≈ 50% sur le secteur du Gol
- Evolution / adaptation des VP
Nouvelles données disponibles



Evaluation des volumes prélevables sur le territoire de la CINOR

