

Adapting to global changes by acting on the water needs of anthropic usages – The Strateau prospective tool

Pascal Maugis



L'eau et l'Homme – une situation de tension



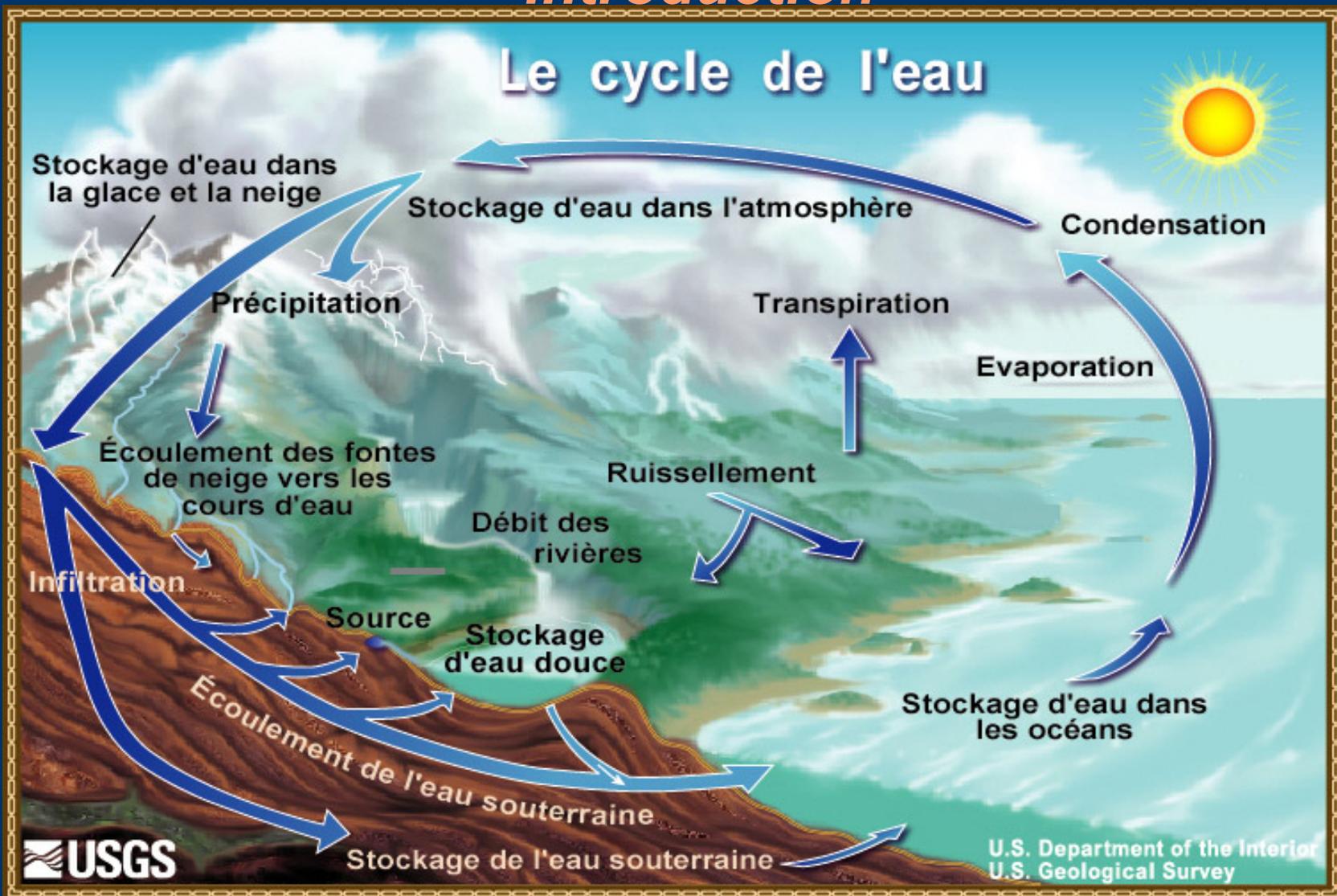
La Loire, en août 2022

© Crédits photo : PHOTOPQR/OUEST FRANCE/MAXPPP

Source : <https://larevuedesmedias.ina.fr/>

Introduction

Le cycle de l'eau

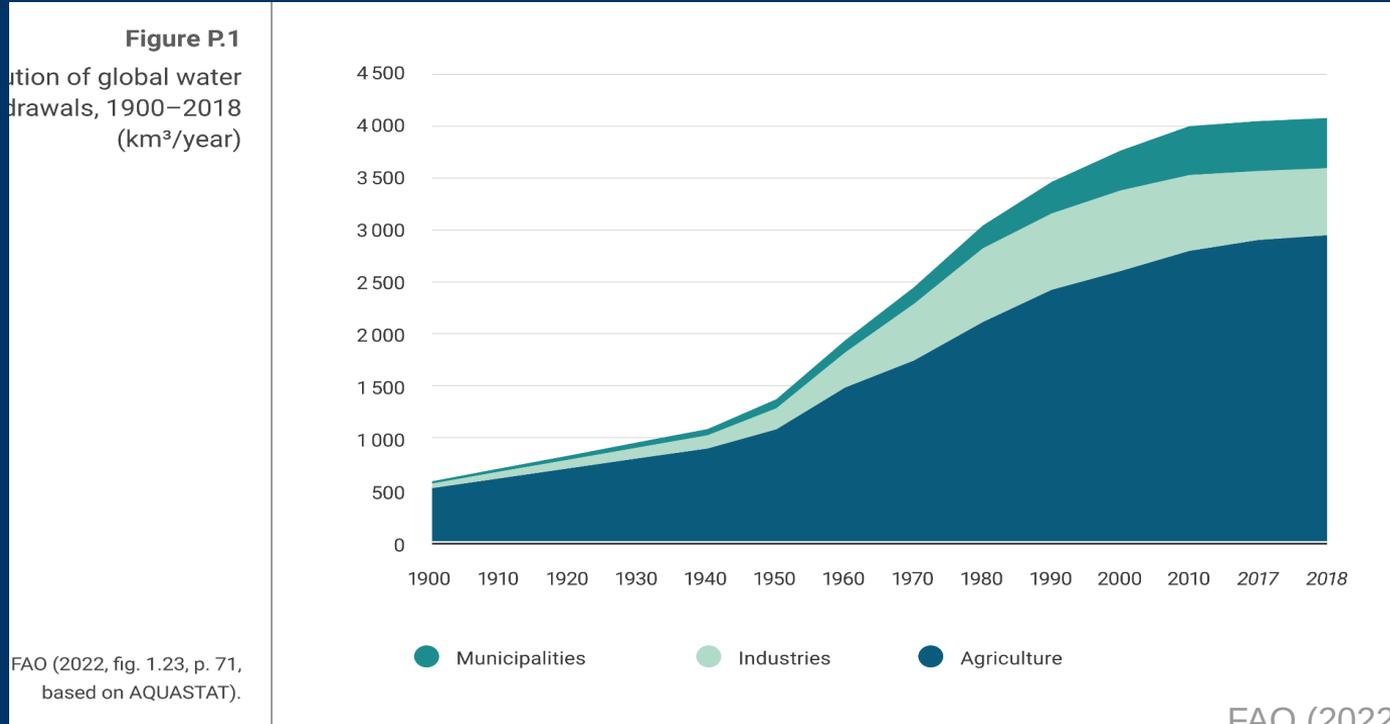


U.S. Department of the Interior
U.S. Geological Survey

Les prélèvements en eau

Forte augmentation depuis 1950

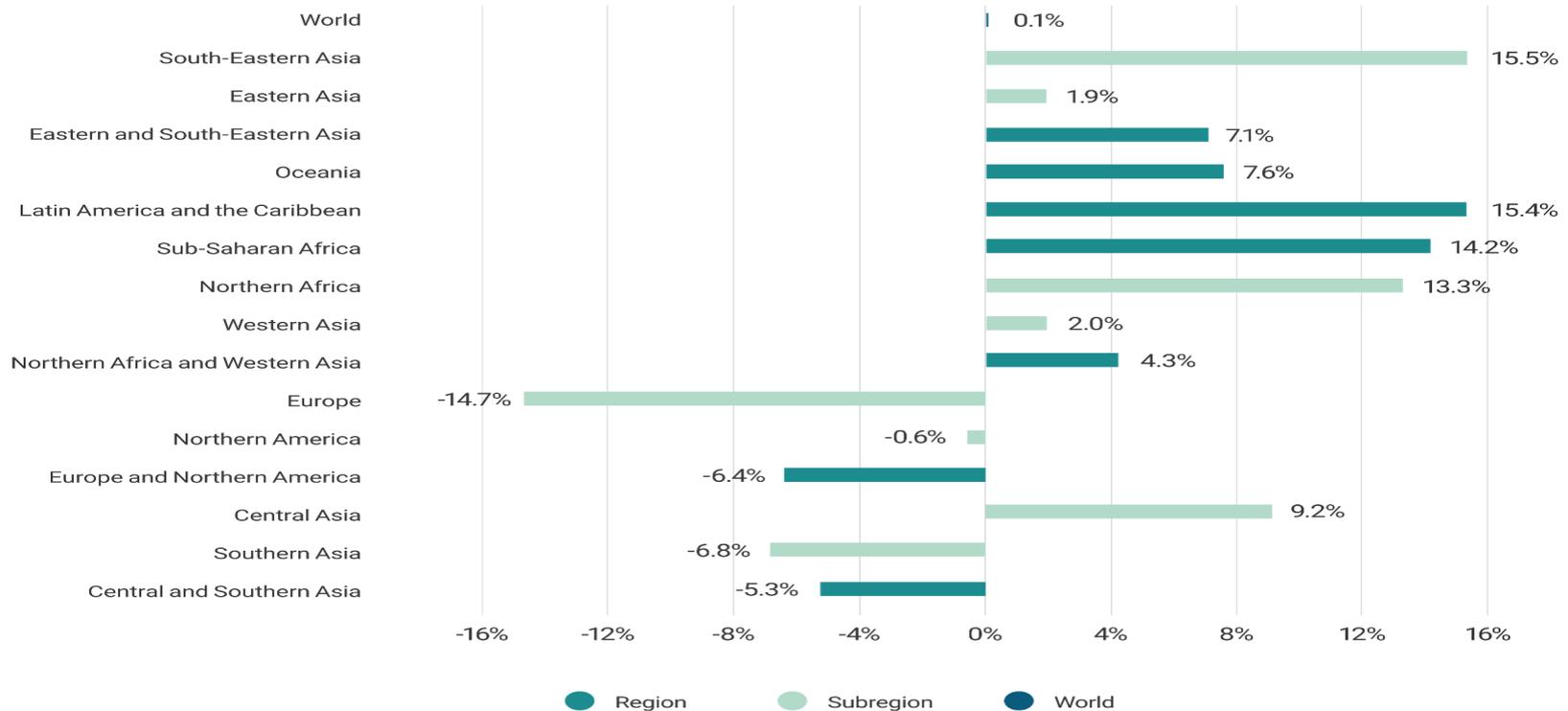
- x 6 depuis 1950 dans les trois secteurs
- irrigation industrielle après seconde guerre mondiale
- stabilisation définitive ou relance à venir ?



Une pénurie d'eau prononcée à travers le monde en aggravation, malgré des progrès (Europe & Asie du sud)

- 2008-2018
- avec 50 % d'eau réservée pour l'environnement

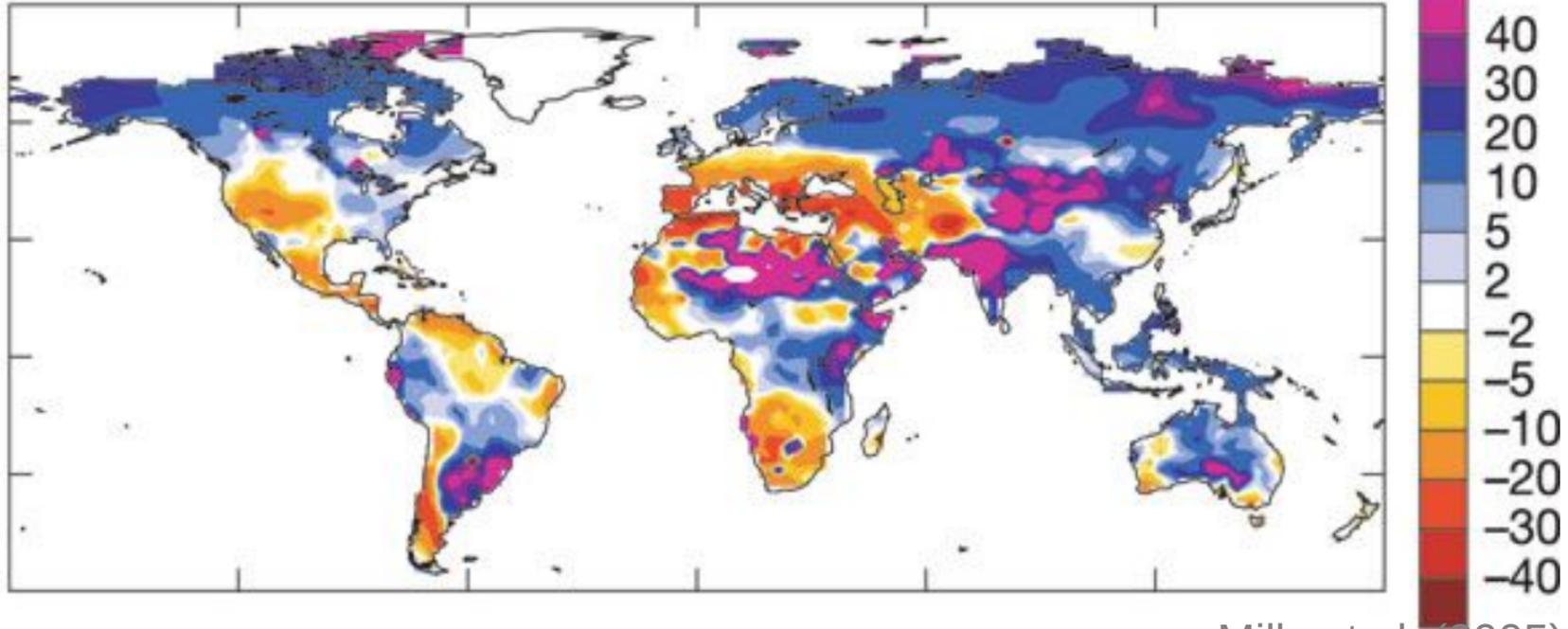
Figure P.9 Change in the level of water stress by region and at the global level, 2008–2018



Baisse des ressources en eau

Températures +, Pluies -, évapo-tranpiration +

Variation (%) des ressources en eau renouvelables (débits des rivières) d'ici 2100



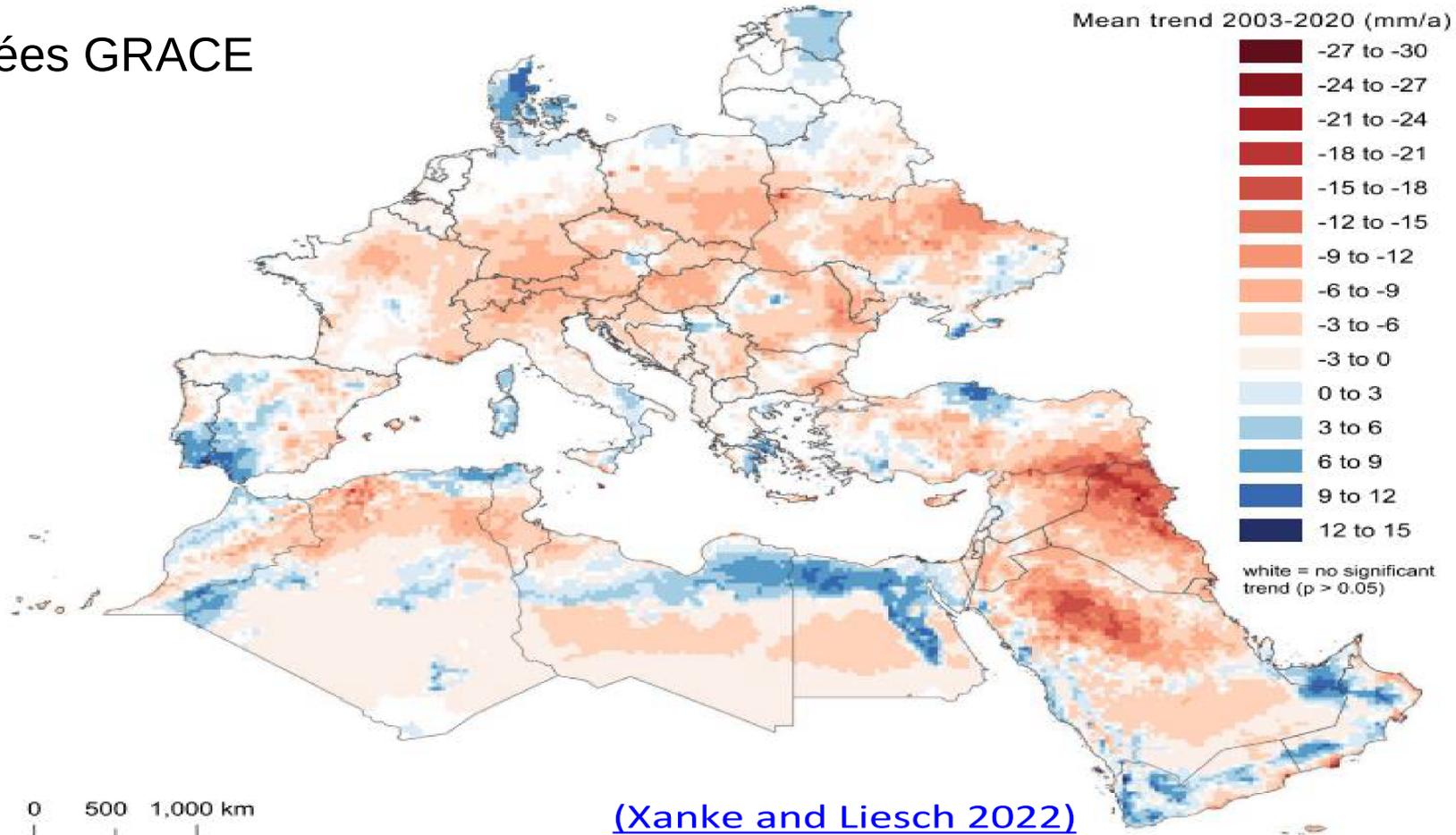
Milly et al. (2005)

+ rendements plus faibles et plus aléatoires

Evolution des nappes

Volume d'eau total en nappe en baisse significative (2003-2020)

données GRACE



Des besoins combinés (dont conso.) en forte hausse sous effet CC + démographie

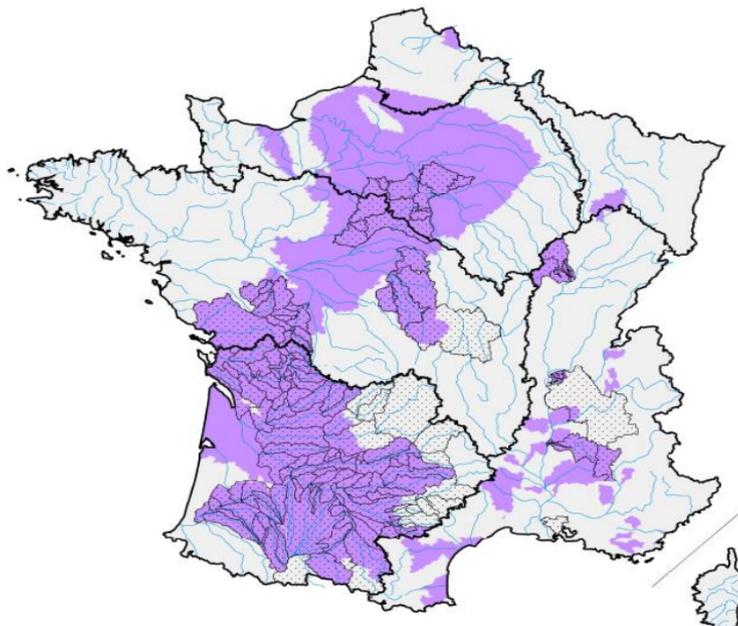


Les ressources en eau : abondantes mais en pénurie

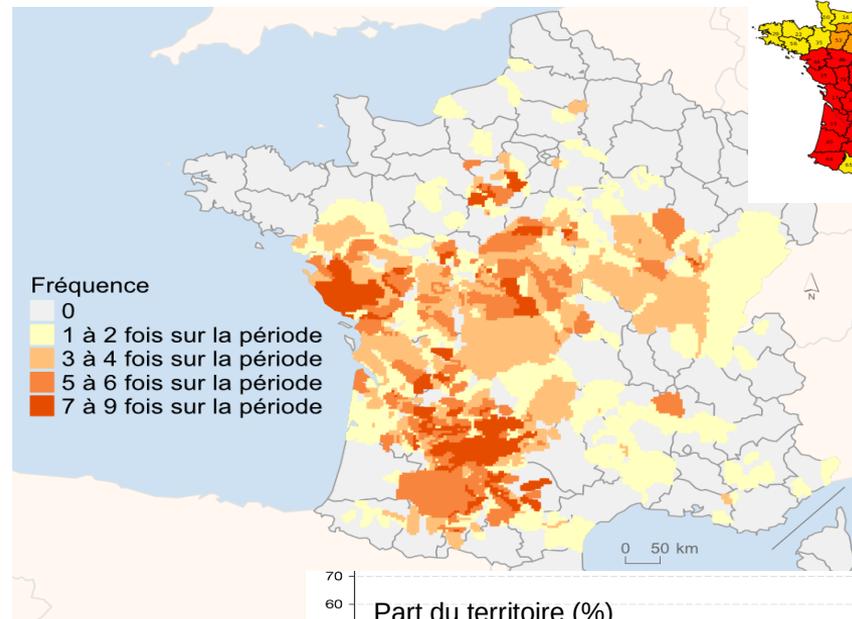
Une forte tension sur la ressource et des restrictions croissantes

Zone des Répartition des Eaux
(où il y a conflit d'usages)
=> l'essentiel des grands aquifères

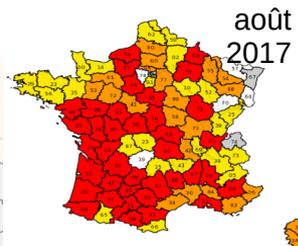
Restrictions de crise "Sécheresse"
(limitation des usages par le Préfet)
2012-2020



FRANCE (2011) IGN/INSEE, 2016, IGN, 2017, IGN/INSEE, 2018, IGN/INSEE, 2019

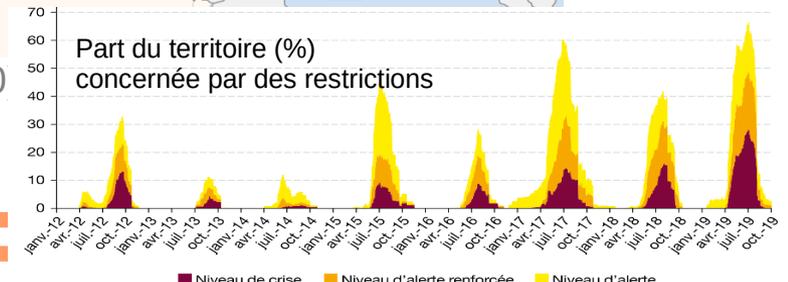


SDES (2020)



août 2017

source : PROPLUVIA



Les ressources en eau : abondantes mais en pénurie

2022-23 : des centaines de villages sans eau potable



Le média
de la vie locale

ENVIRONNEMENT

En Haute-Loire, les petites communes qui manquent d'eau potable se font ravitailler par des camions-citernes

C'est une conséquence de la sécheresse et de la canicule. On manque d'eau dans la plupart des départements français et dans certains cas, des communes sont obligées de se faire livrer de l'eau potable. Exemple à la Chapelle-Geneste et au Bouchet-Saint-Nicolas en Haute-Loire.

 La Chapelle-Geneste

De [Tommy Cattaneo](#), [Mathilde Errard](#)

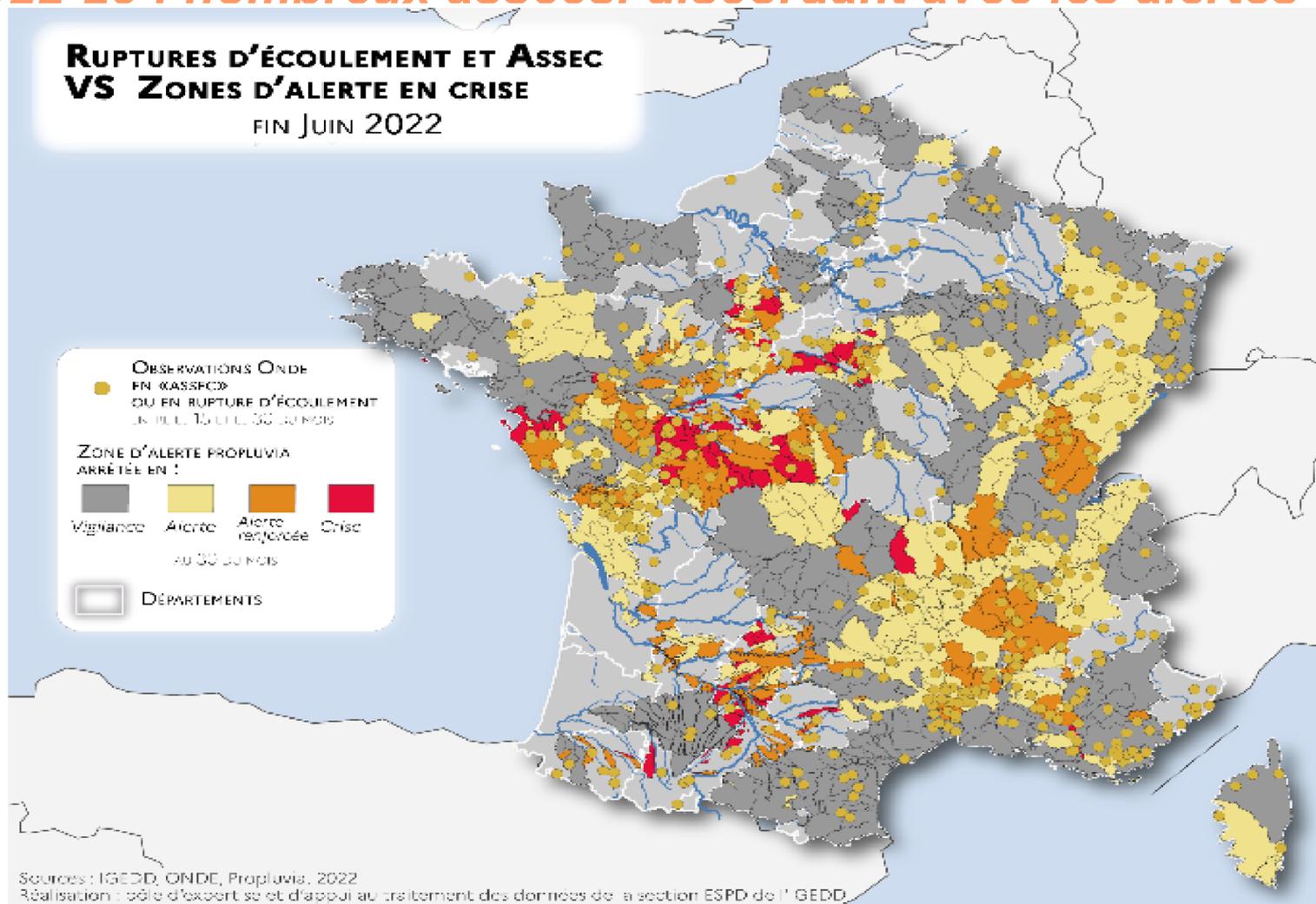
Jeudi 4 août 2022 à 14:54

Par [France Bleu Saint-Étienne Loire](#),
[France Bleu Pays d'Auvergne](#)



Les ressources en eau : abondantes mais en pénurie

2022-23 : nombreux assecs. discordant avec les alertes effectives

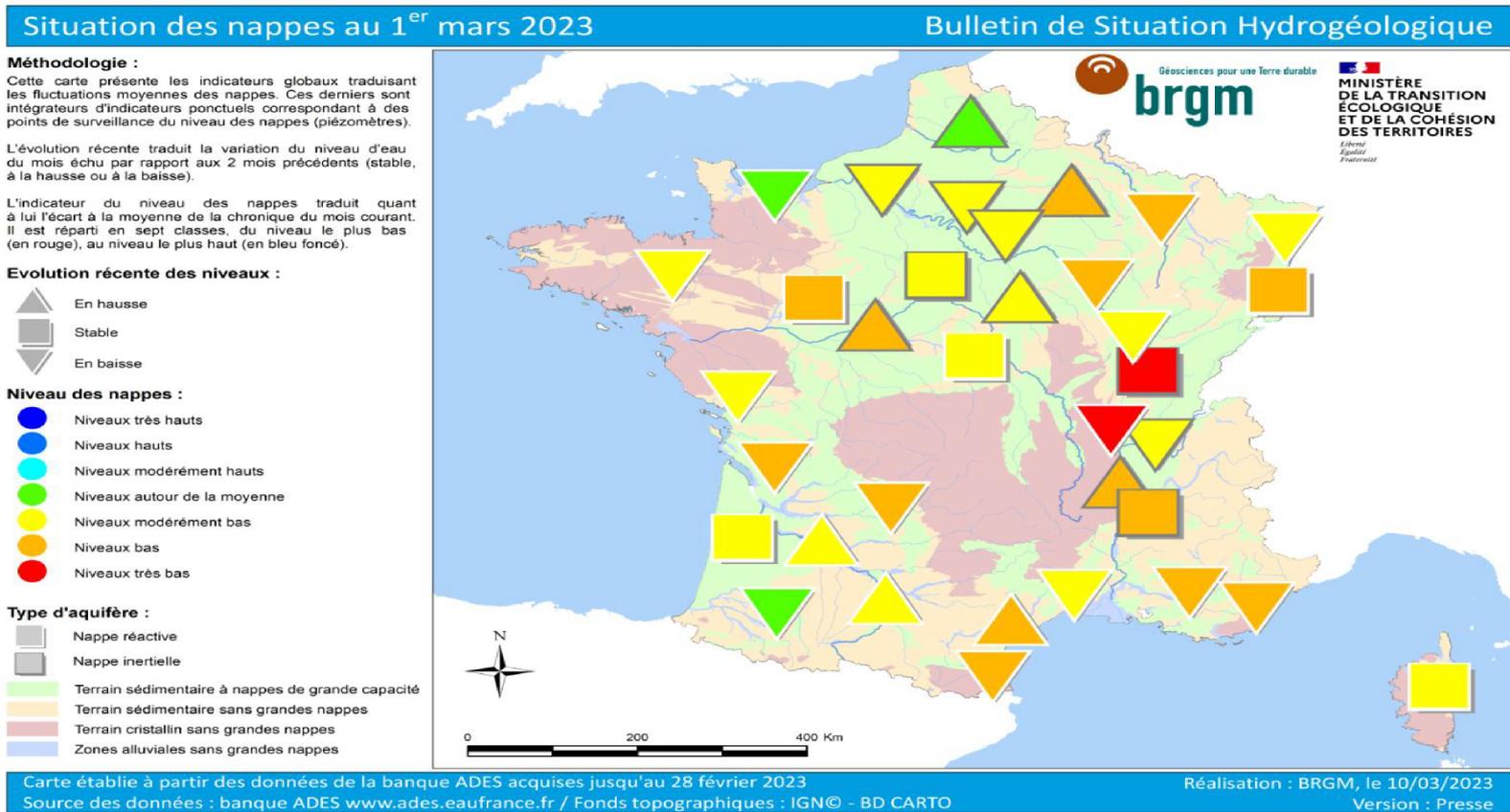


mission IGEDD-CGAAER (2023)

Les ressources en eau : abondantes mais en pénurie

2022-23 : un hiver sec suit un été caniculaire

Niveau des nappes d'eau souterraine au 1^{er} mars 2023



Les ressources en eau : abondantes mais en pénurie

2022-23 : des centaines de villages sans eau notable

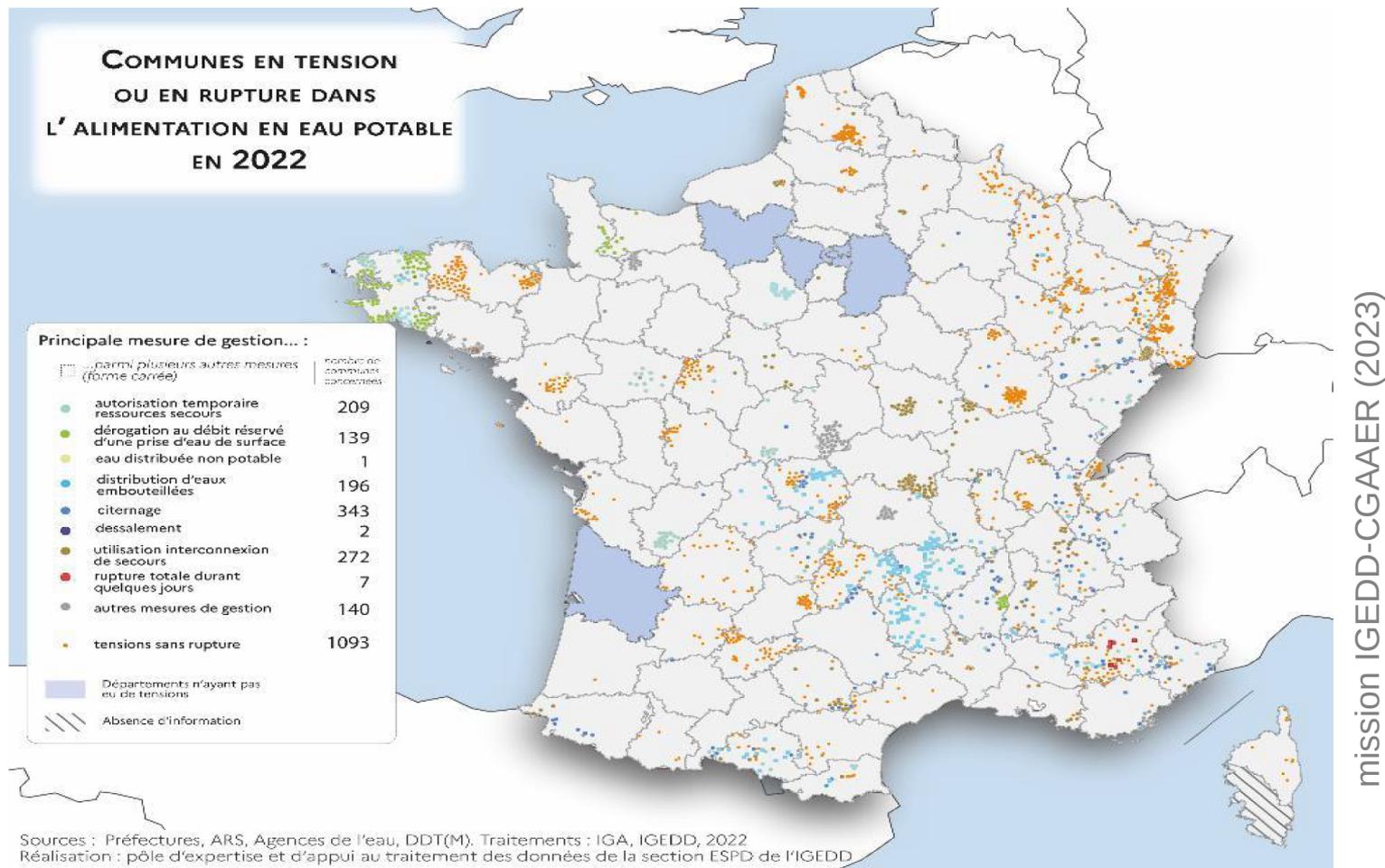
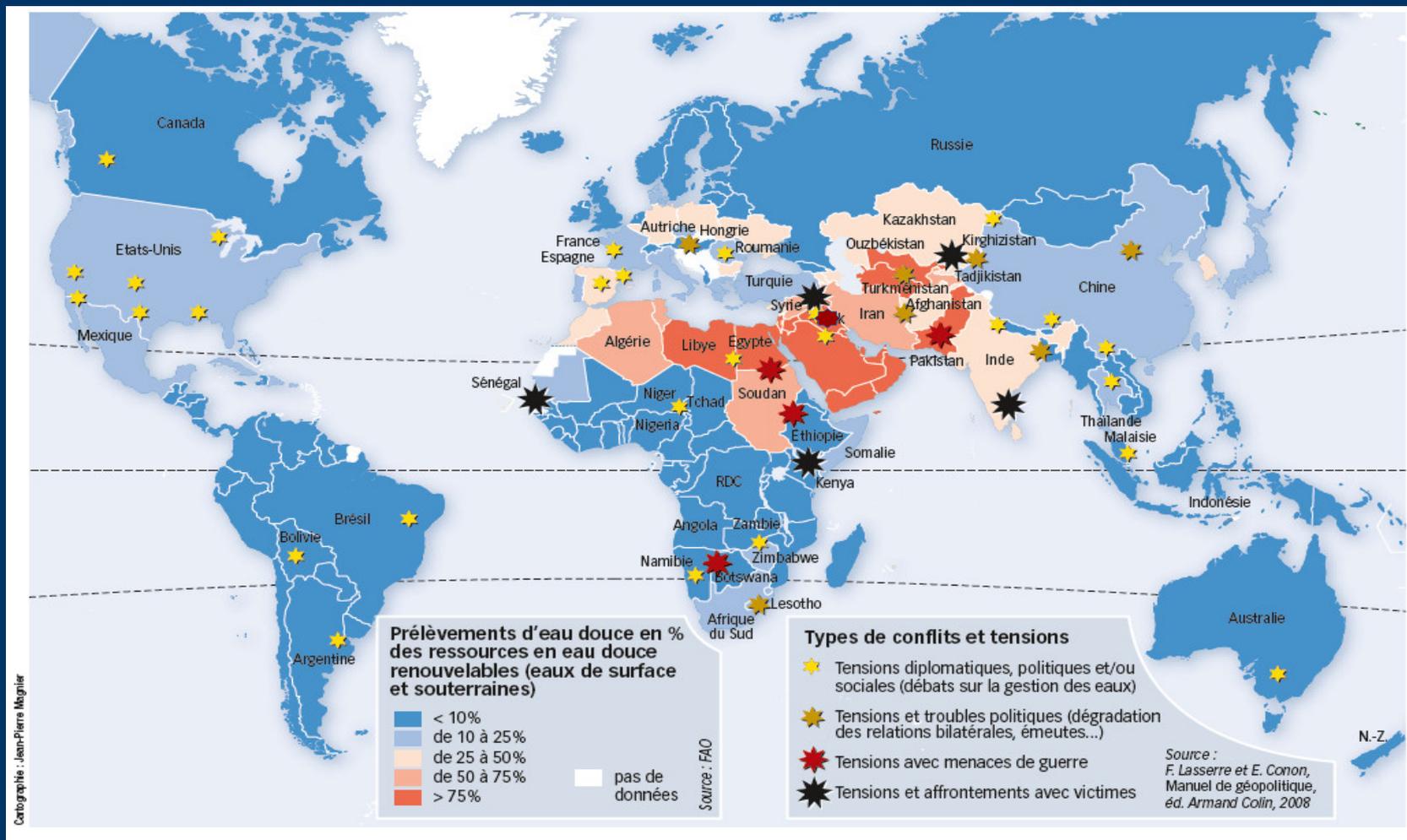


Figure 6 : Communes ayant connu des tensions ou des ruptures d'approvisionnement en eau notable à l'été 2022 (source : mission)

Un facteur d'instabilité

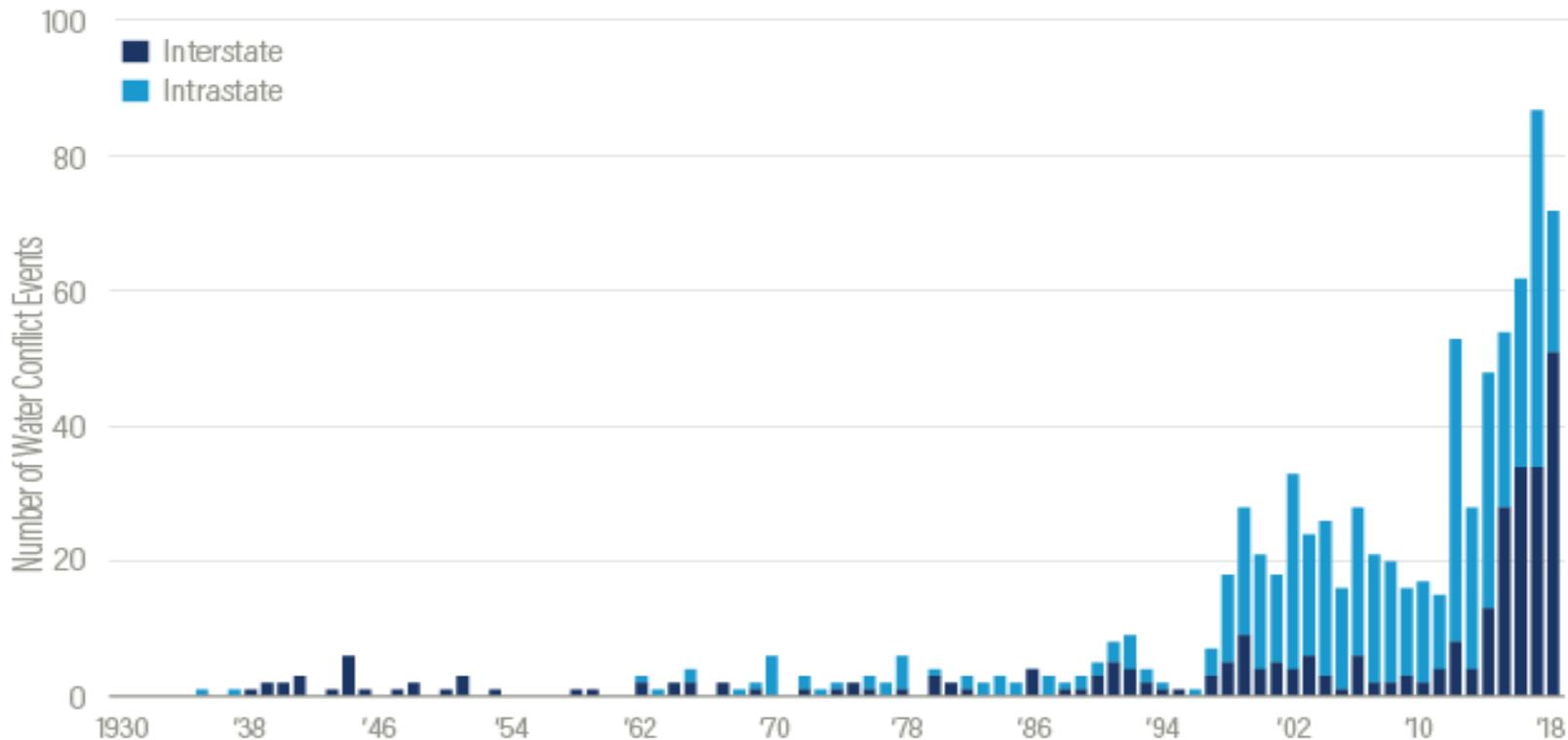
La pénurie d'eau, ancrée dans les conflits du siècle (< 2008)



Un facteur d'instabilité

La pénurie d'eau, ancrée dans les conflits du siècle (< 2018)

Trends in Interstate and Intrastate Water Conflict Events, 1930 to 2018



Source: Gleick, P, C. Iceland and A Trivedi. 2020.

20.08.27



WORLD RESOURCES INSTITUTE

La prospective des ressources et usages de l'eau avec STRATEAU



La retenue de Serre-Ponçon, vue du viaduc
habituellement submergé sous 3 m d'eau
© C. Franck-Néel, sept 2022

Pourquoi estimer les usages de l'eau ?

- actuel : fortes compétitions d'usage, restrictions, impacts sur les milieux aquatiques
- les prélèvements impactent l'eau disponible pour l'environnement et la réponse de l'interface sol/végétation/atmosphère
- diagnostic : vulnérabilité actuelle usages/environnement au stress hydrique (structurel + événements extrêmes)
- prospective : climatique, démographie, alimentation, énergie, évolution des territoires
- indicateurs spécifiques à chaque projet / territoire
- croiser avec autres enjeux : économie, emploi, développement durable, pollution, ...

Pourquoi un nouvel outil ?

- les secteurs énergie / résidentiel / industrie / service / tourisme souvent mal caractérisés
- les données (BNP, redevances) sont imprécises et lacunaires
objets de stratégie de communication, inaccessibles ou inexistantes
- les modèles (ex. STICS) détaillent certaines cultures majoritaires seulement
- les modèles sont souvent gourmands en données, peu disponibles sur certains territoires ou pays
- besoin de tous les usages, y compris nombreux & faibles, de manière intégrée

Données contextuelles
(température, pluie,
fractionnement ruissel/infiltration...)

Demandes

- Industrie
- Agriculture
- Energie
- Résidentiel
- Tertiaire
- Transport
- Environnement
- Export

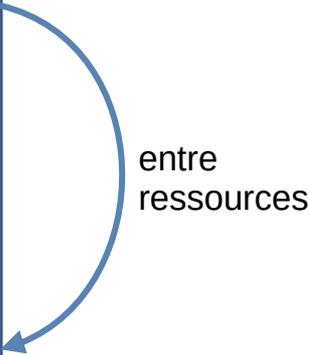
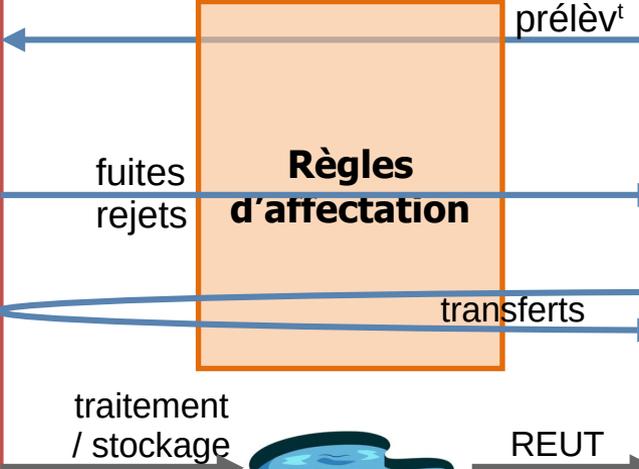
**Règles
d'affectation**

Ressources

- Eaux superficielles
- Eaux souterraines
- Eaux non conventionnelles
- Import



res. virtuelle



consommation
(évap /
pollution)

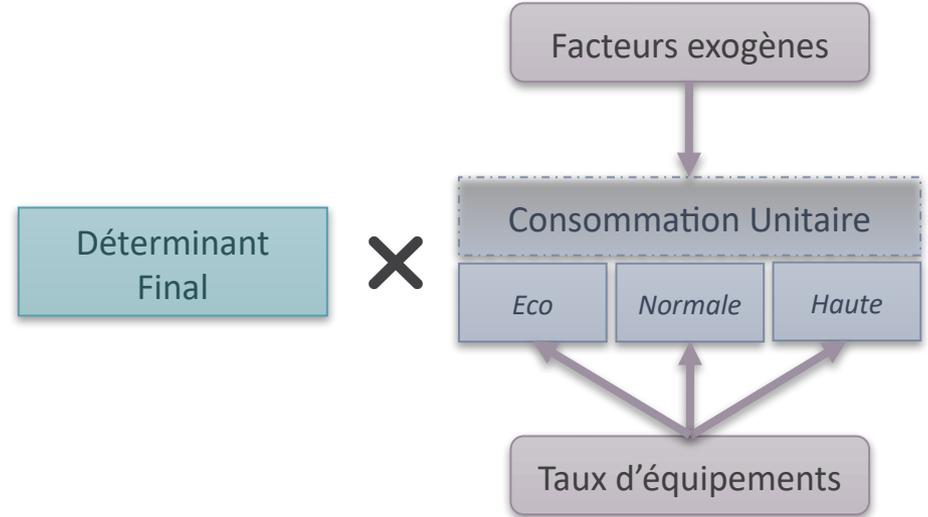
Quantités
territorialisées (Δx = libre : parcelle/commune & agrégations)
temporalisées (Δt = 1 mois & agrégations)

Modélisation de la demande en Eau

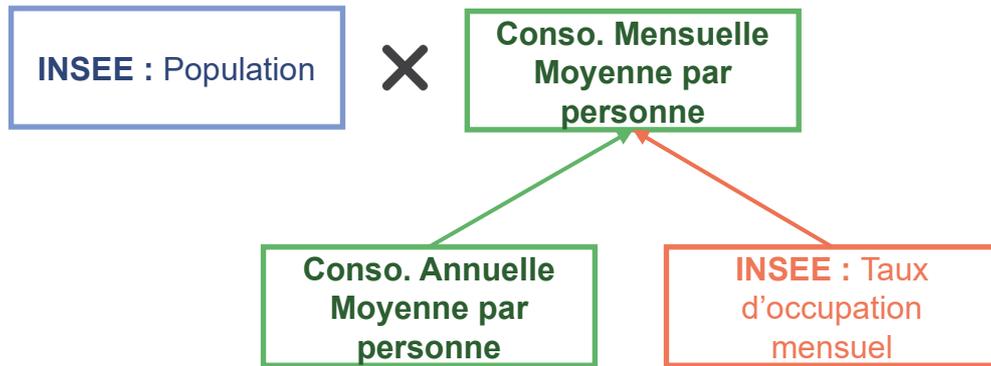
Méthodologie STRATEAU

La reconstitution de la consommation d'eau prend en compte les éléments suivants dans le cadre du POC :

1. **Des déterminants finaux par secteur** : le nombre d'hectares de cultures irriguées pour l'agriculture, le nombre d'employés pour le tertiaire, ...
2. **Des consommations unitaires** : Modèle Cropwat pour l'Agriculture, Ratios territoriaux voire nationaux pour les autres Secteurs
3. **Des facteurs exogènes** : La pluie a été prise en compte dans la modélisation, modifiant certaines demandes unitaires
4. **Des taux d'équipement** : Ils déterminent, pour chaque déterminant final, l'intensité des consommations (ex : «éco», «normal» ou «haute»)
5. **Des taux d'activité** : Ils permettent de répartir la demande sur l'année en fonction de l'activité du secteur, de la production mensuelle d'énergie, des dates de plantation des cultures, ...



SECTEUR RÉSIDENTIEL



Possibilités offertes de modifier les 4 paramètres suivant 2 options :

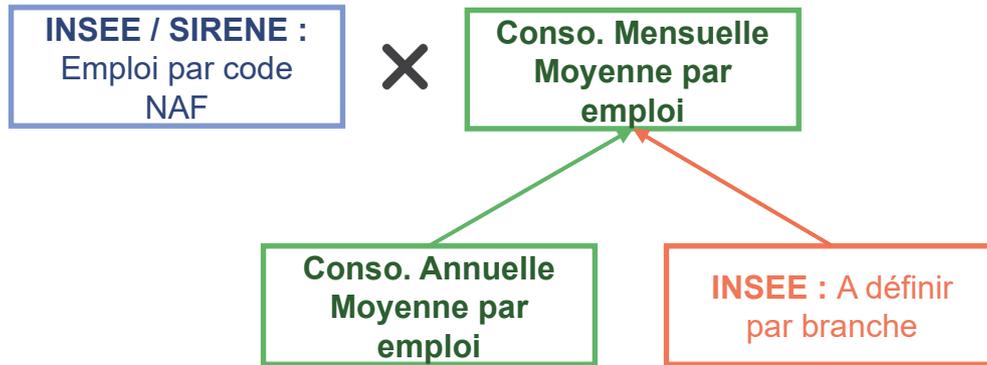
1. Massivement et à la commune via un fichier Excel à télécharger puis modifier
2. Globalement ou sur un regroupement / découpage particulier via une interface dédiée

Données sources envisageables :

- i. Projections Population INSEE
- ii. Etudes locales sur les consommations du secteur
- iii. Données de Prélèvement pour un « calage » territorial

SECTEURS TERTIAIRE ET INDUSTRIEL

Possibilités offertes de modifier les 4 paramètres suivant 2 options :

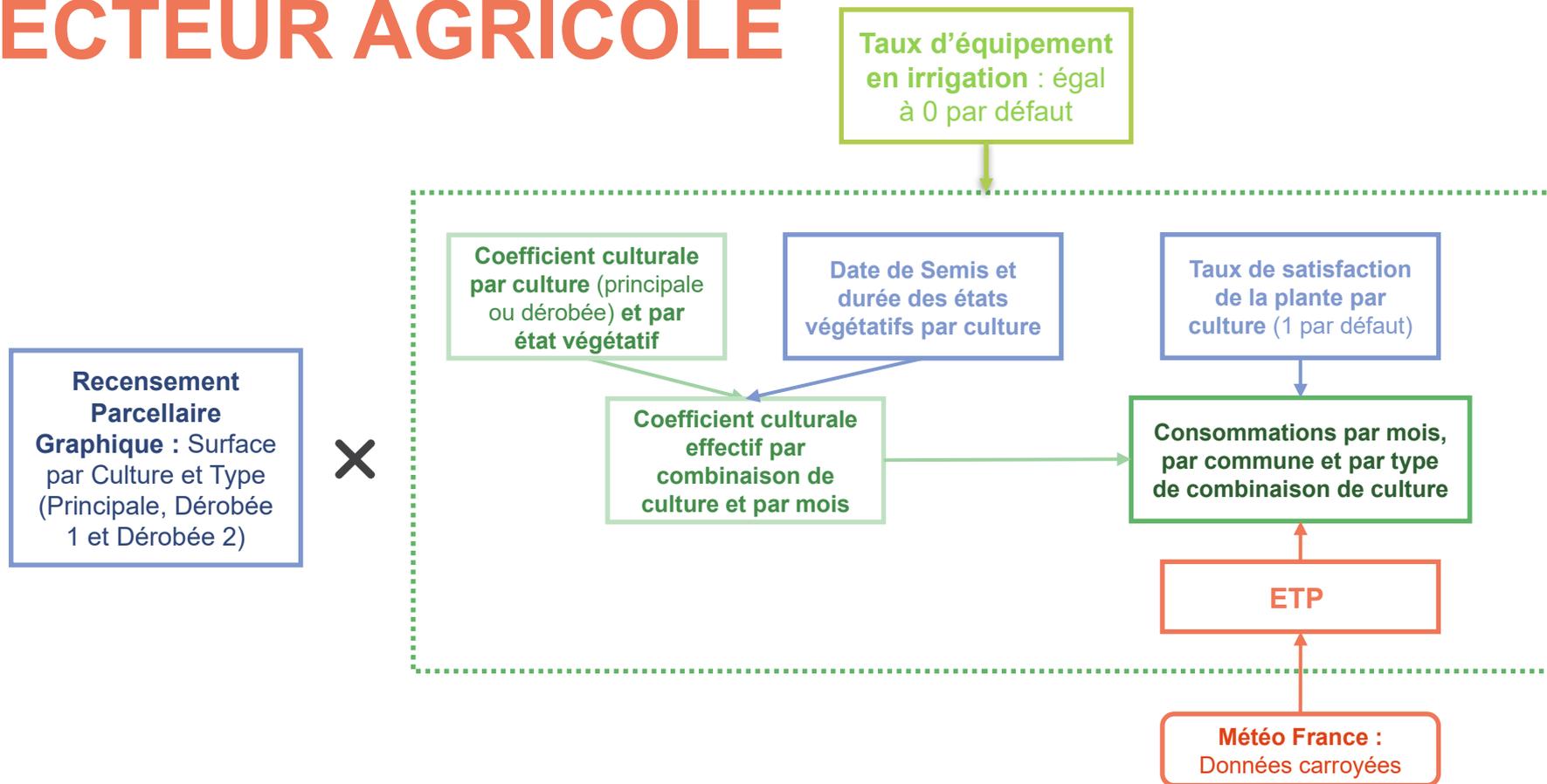


1. Massivement et à la commune via un fichier Excel à télécharger puis modifier
2. Globalement ou sur un regroupement / découpage particulier via une interface dédiée

Données sources envisageables :

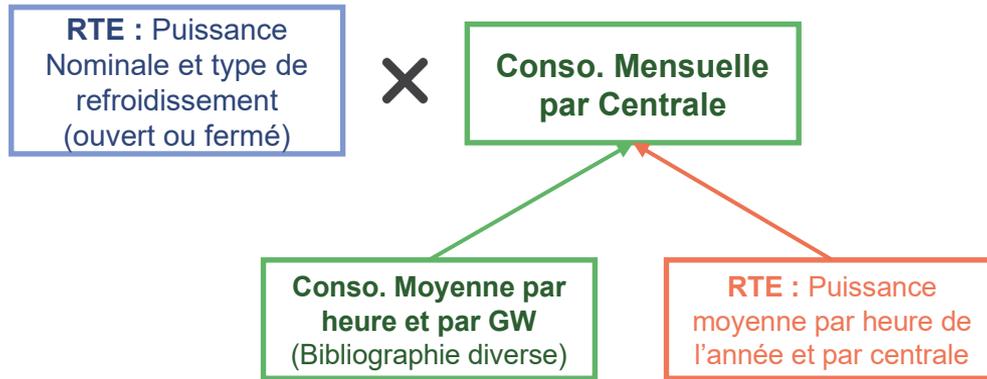
- i. Projections Emplois INSEE
- ii. Etudes locales sur les consommations de ces secteurs
- iii. Données de Prélèvement pour un « calage » territorial

SECTEUR AGRICOLE



SECTEUR ÉNERGÉTIQUE

Possibilités offertes de modifier les 4 paramètres suivant 2 options :



1. Massivement et à la commune via un fichier Excel à télécharger puis modifier
2. Globalement ou sur un regroupement / découpage particulier via une interface dédiée

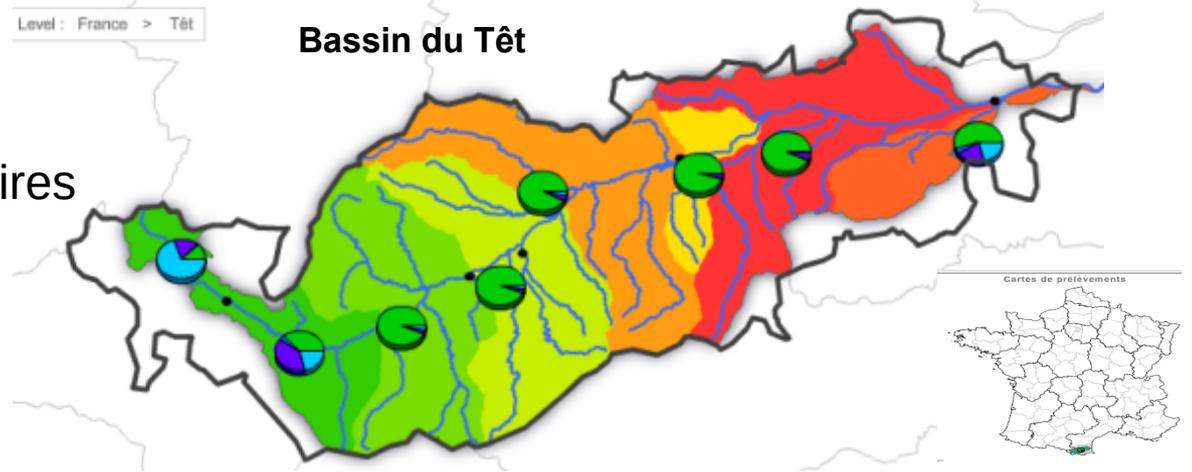
Données sources envisageables :

- i. Données de prélèvement directement fournies par les centrales ou les autorités locales
- ii. Données plus précises de conso moyenne d'eau par niveau de production

Etapas de développement

développé en 2010

- implémentations sur plusieurs territoires



Khemisset, Maroc

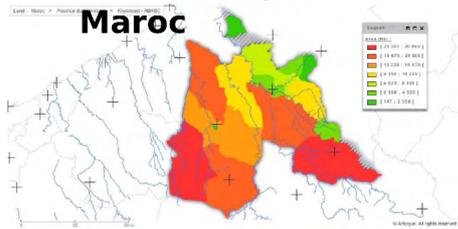
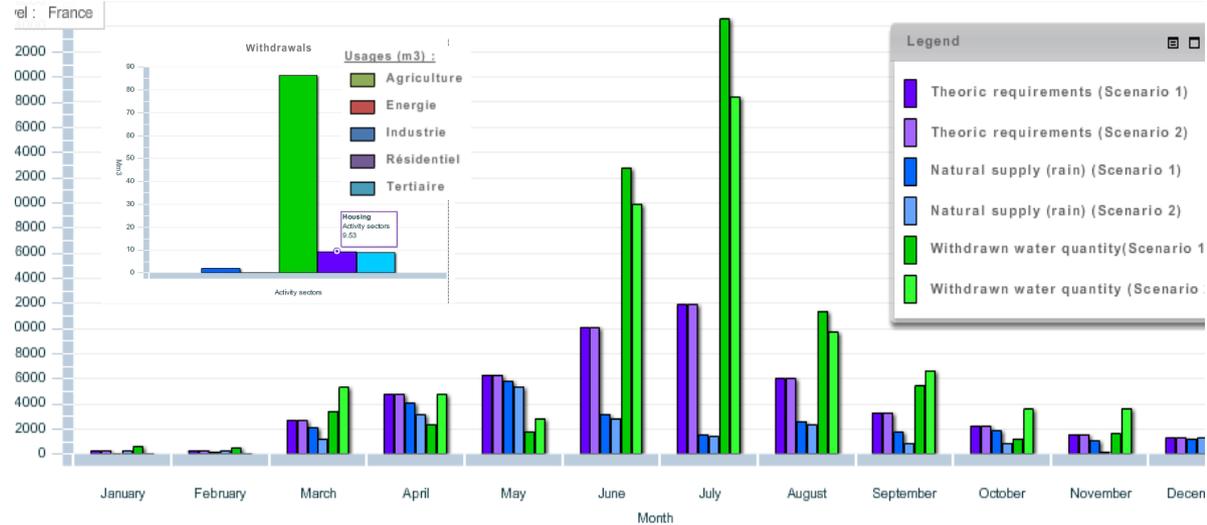
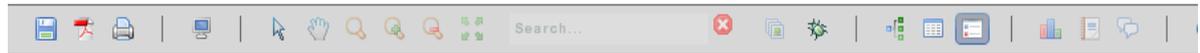


Figure 5 : Carte des superficies agricoles dans la province de Khemisset

Al Auja, Palestine



© Artique, All rights reserved

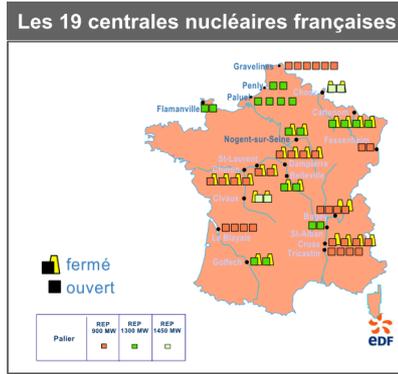


Etapas de développement

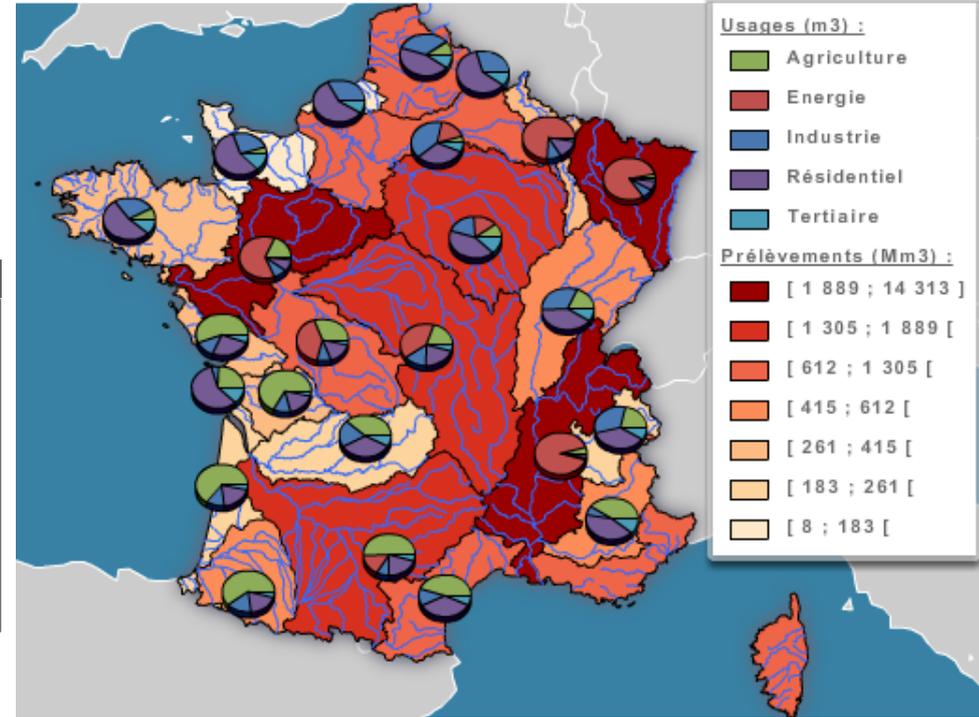
développé en 2010

- implémentations sur plusieurs territoires
- implémentation France entière

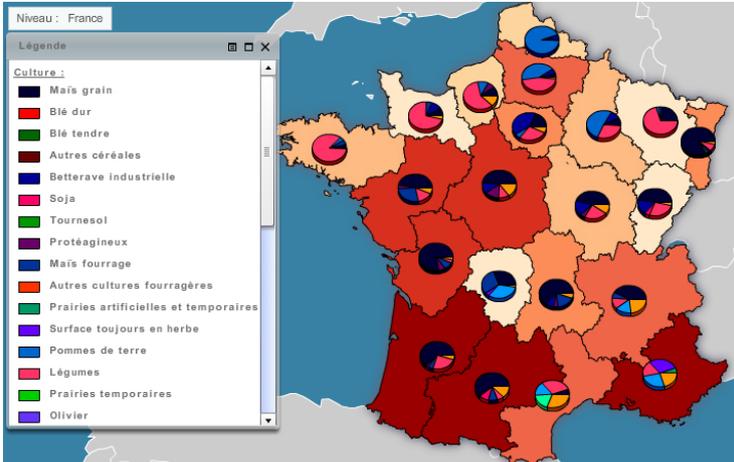
maugis et al
(La Houille Blanche, accepté 2014)



Cartes de prélèvements



détail demande agricole par culture



Météo-France		Modélisation STRATEAU							
annuelle	Pluie dont été (%)	Secteurs d'activité	Prélèvements			Consommation			Remarques
			Annuels (km³)	dont été (%)	part du total été	annuelle (km³)	Conso / prélèv	part du total	
895,6 mm	21 %	Energie	18,6	21%	42%	1,1	6%	14%	hors évaporation aval pour circuit ouvert
		Industrie	2,8	26%	8%	0,5	17%	6%	dont Prélèv. AEP = 0,3
494 km³		Agriculture	4,2	85%	37%	4,2	100%	54%	hors Conso. pluviale
		Résidentiel	4,2	25%	11%	1,5	37%	20%	AEP
		Tertiaire	1,0	20%	2%	0,4	39%	5%	AEP
		TOTAL	30,9	31%	100%	7,7	25%	100%	Prélèv. AEP = 5,5

Etapas de développement

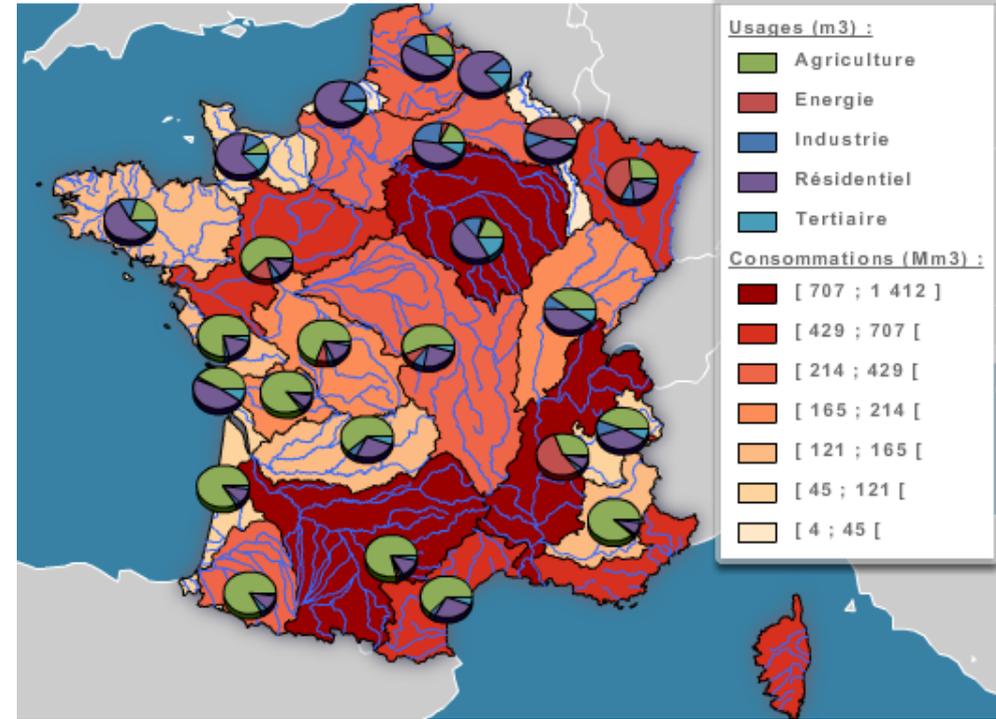
développé, 2010

- implémentations sur plusieurs territoires
- implémentation France entière

Production d'énergie =
consommation
associée :

- refroidissement centrales
- évaporation retenues
- agrocarburants
- bois de chauffage

Cartes des consommations



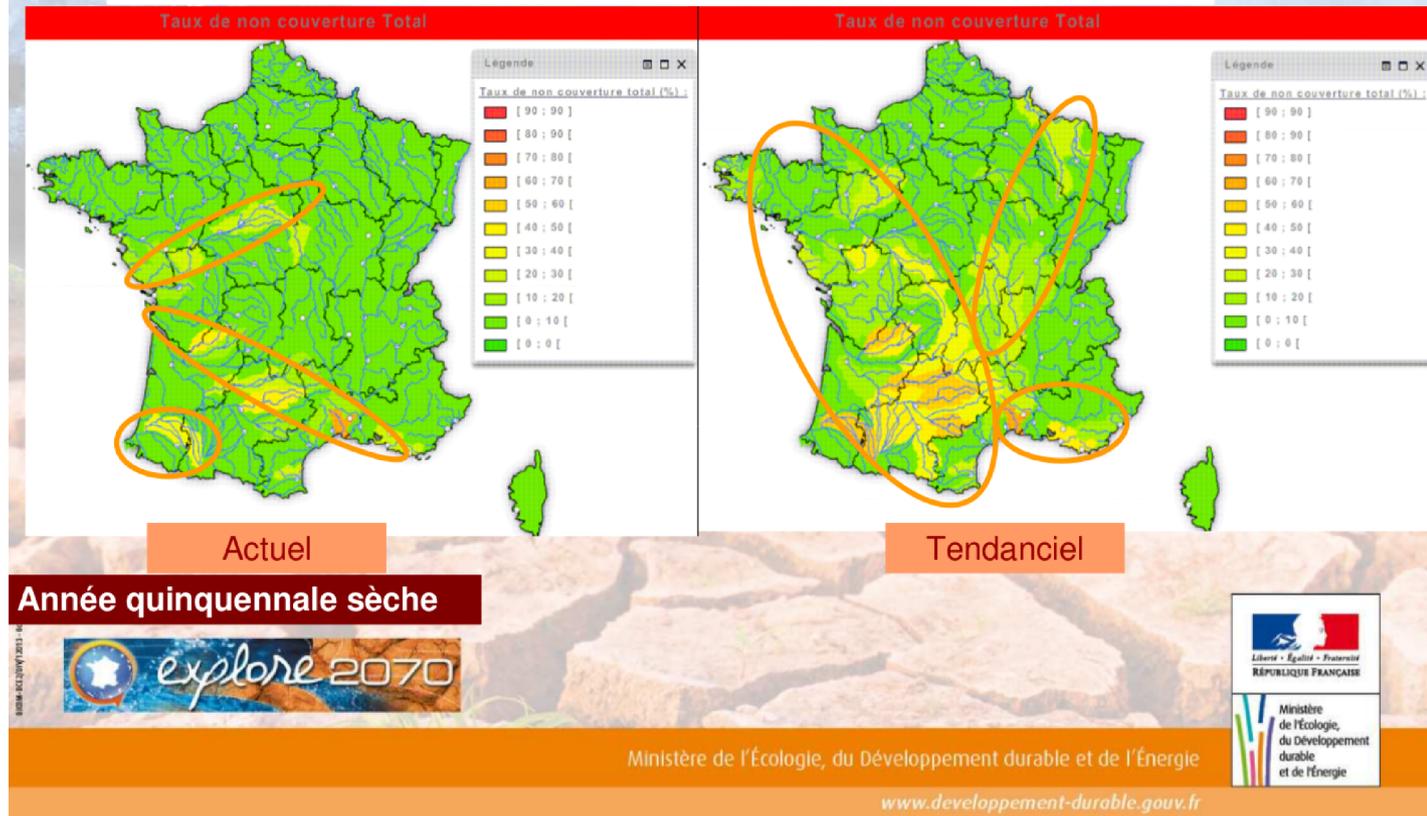
Météo-France		Modélisation STRATEAU							
Pluie		Secteurs d'activité	Prélèvements			Consommation			Remarques
annuelle	dont été (%)		Annuels (km³)	dont été (%)	part du total été	annuelle (km³)	Conso / prélèv	part du total	
895,6 mm 494 km³	21 %	Energie	18,6	21%	42%	1,1	6%	14%	hors évaporation aval pour circuit ouvert
		Industrie	2,8	26%	8%	0,5	17%	6%	dont Prélèv. AEP = 0,3
		Agriculture	4,2	85%	37%	4,2	100%	54%	hors Conso. pluviale
		Résidentiel	4,2	25%	11%	1,5	37%	20%	AEP
		Tertiaire	1,0	20%	2%	0,4	39%	5%	AEP
		TOTAL	30,9	31%	100%	7,7	25%	100%	Prélèv. AEP = 5,5

Etapas de développement

développé, 2010

- implémentations sur plusieurs territoires
- implémentation France entière
- modèle "systémique" d'Explore 2070

Évolution de la satisfaction des besoins totaux en %



Etapes de développement

développé, 2010

- implémentations sur plusieurs territoires
- implémentation France entière
- modèle "systémique" d'Explore 2070
- présentation Forum Mondial de l'Eau 2012
- bassin RMC pour le plan d'adaptation régional

Preuve de concept, 2021

- bassin Allier moyen
- démonstration de l'interface

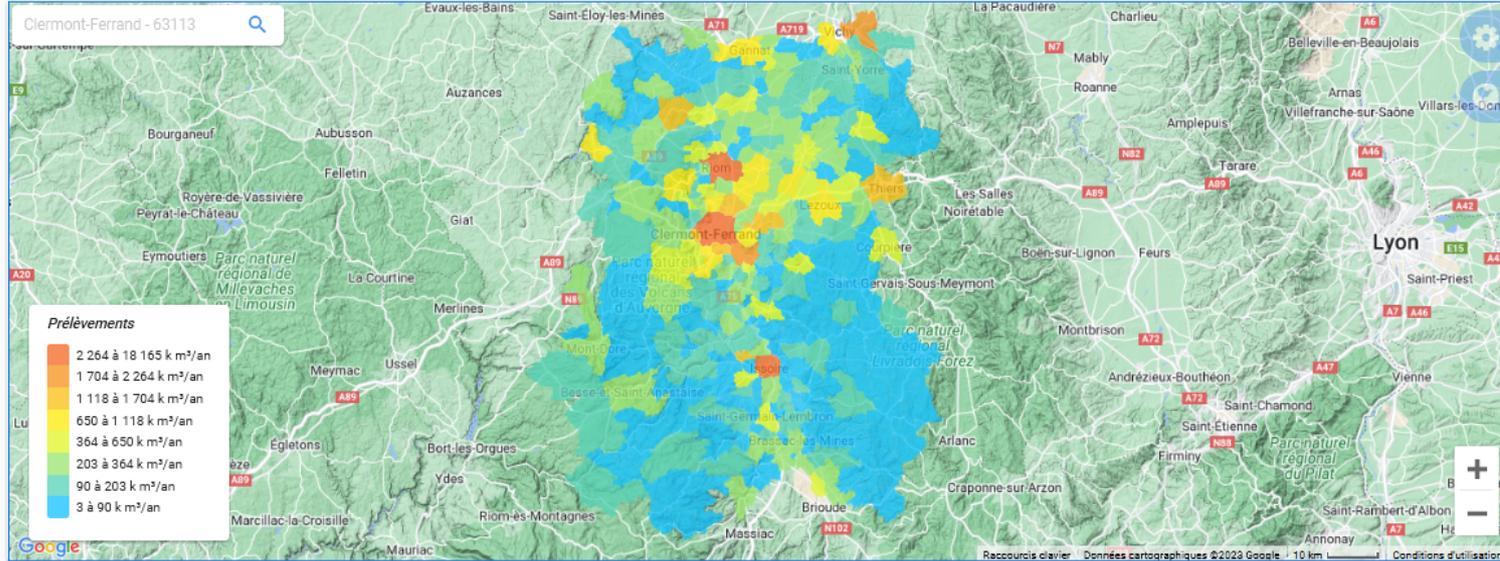


Tableau de bord : Prélèvement

Scenarior : Année normale

Secteurs : Tous



Région : 84 - Auvergne-Rhône-Alpes

PTGE : ptge63 - Projets de territoire pour la gestion de ...



94 930 k. m3

Prélèvements totaux



1 038 k m3

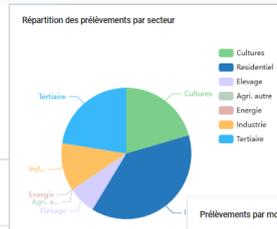
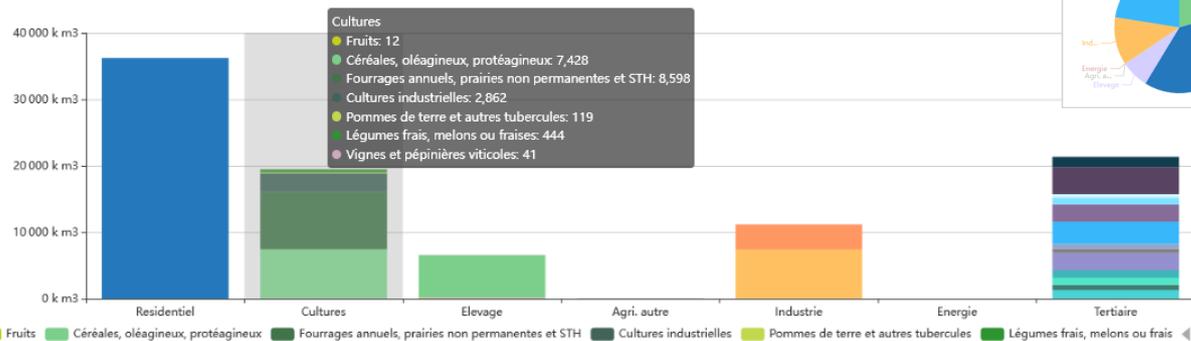
REUT



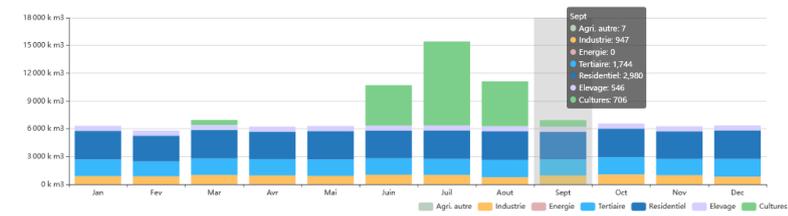
659 195

Nombre d'habitants

Prélèvements par secteur et sous secteur



Prélèvements par mois et par secteur



Etapes de développement

développé, 2010 (ONEMA)

- implémentations sur plusieurs territoires
- implémentation France entière
- modèle "systémique" d'Explore 2070
- présentation Forum Mondial de l'Eau 2012
- bassin RMC pour le plan d'adaptation régional

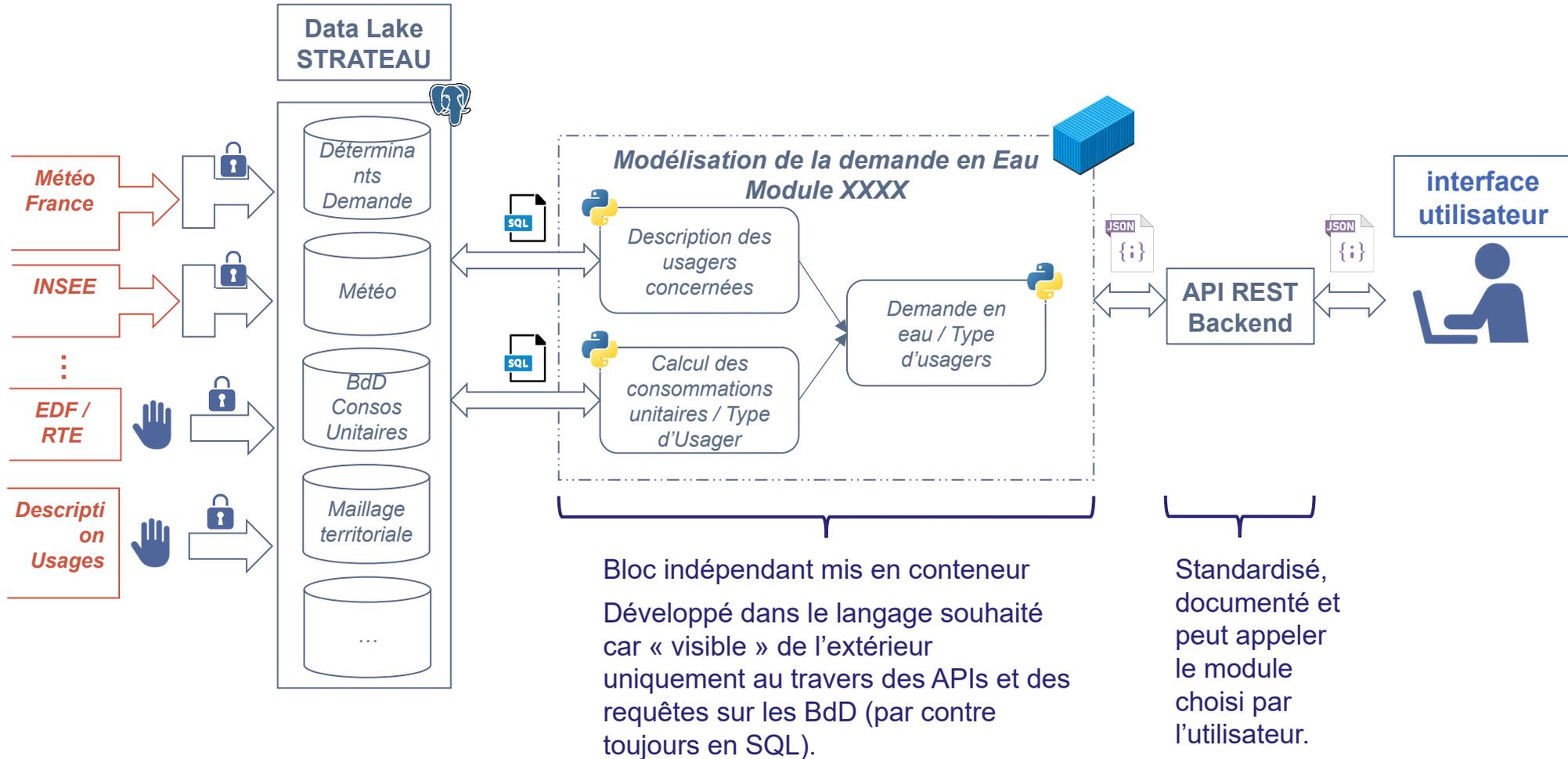
Preuve de concept, 2021 (CEREMA)

- bassin Allier moyen
- démonstration de l'interface

redéveloppement actualisé, 2023

- besoins, demande, consommation
& implémentation France entière (sept 2023)
- ressources en eau nappes, rivières (2024)
- indicateurs croisés WEI+, ... (2024)

Architecture système



Proposition de collaborations scientifiques

besoin :

- validation des calculs des besoins sectoriels (e.g. forêts, agriculture irriguée/pluviale...)
- import des résultats ou *couplage* avec modèles de calcul des ressources de surface et souterraines, transferts naturels et artificiels

apporte :

- en amont des modélisations des ressources en eau => prélèvements
- en aval pour le calcul des indicateurs de pression anthropique ou de vulnérabilité
visualisation, diagnostics complexes

prospective

- compétition d'usage entre secteurs (irrig, AEP, refroidissement)
- impact du CC sur les demandes sectoriels, scénarios d'adaptation
- implémentations locales pour enjeux sociétaux spécifiques
- appui à la concertation et jeu d'acteur dans les négociations
- ...

TECHNOLOGIES UTILISÉES

- **Serveurs** : Debian11 (La dernière version stable Debian)
- **Connexion / Identification** : SSO Orion (Keycloak) en mode OpenId-connect
- **Base de données** : PostgreSQL 14 avec les extensions PostGIS 3 (pour répondre aux besoins de traitement géographiques) et Citus 10 (pour ces capacités de montée en charge).
- **Echanges de données** : via les bases de données ou via APIs REST en json.
- **Répartisseur de charges** : HAProxy
- **Langages utilisés** : Python, SQL, Javascript, Typescript
- **Gestion des sources** : Git

USAGES ET SOURCES DE DONNÉES

Secteur	Type de Données	Source / BdD Utilisées
Résidentiel	Déterminants Finaux	Recensement général de la population (INSEE) : population, type d'habitat, typologie de commune...
	Consommations Unitaires	. Centre d'Information sur l'Eau : https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quels-sont-les-usages-domestiques-de-leau/ . CGDD : https://www.eaufrance.fr/sites/default/files/2018-06/eau_cles_2016_201602.pdf https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-facture-deau-domestique-en-2004-177-euros-par-personne-et-par
	Taux d'équipements	
	Taux d'activité	
Tertiaire et Industriel	Déterminants Finaux	Base de données SIRENE (INSEE) pour l'emploi par code NAF qui permet de reconstituer la production industrielle ainsi que le tourisme, les déterminants des établissements éducatifs, sportifs etc...
	Consommations Unitaires	SMEGREG : https://www.smegreg.org/index.php/component/phoca/download/file/77-une-liste-de-ratios-de-consommation-d-eau-potable-et-leur-domaine-d-emploi-pour-se-reperer-poser-un-premier-diagnostic-ou-prevoir-une-consommation
	Taux d'équipements	
	Taux d'activité	. Tertiaire : Taux d'occupation mensuel des hôtels (INSEE) . Industrie : Répartition mensuelle de l'indice de production industrielle de l'INSEE
Agricole	Déterminants Finaux	Recensement général agricole (RGA) : assolements, assolement irrigués) Statistiques Agricoles Annuelles Enquête pratiques culturelles Dates de semis
	Consommations Unitaires	Modèle CROPWAT à la journée Coefficients Cultureux
	Taux d'équipements	Recensement général agricole (RGA) Statistiques Agricoles Annuelles
	Taux d'activité	Météo France
Production d'électricité	Déterminants Finaux	Localisation, puissance installée, type de combustible et production (EDF, RTE)
	Consommations Unitaires	National Renewable Energy Laboratory : https://openei.org/doe-opendata/dataset/829b9e64-8e69-4b86-8d03-13235d076dfb/resource/ead022cc-30b9-4db9-8295-a2d56297f97b/download/1748932674045802.pdf
	Taux d'équipements	Type de centrale
	Taux d'activité	RTE