

# 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



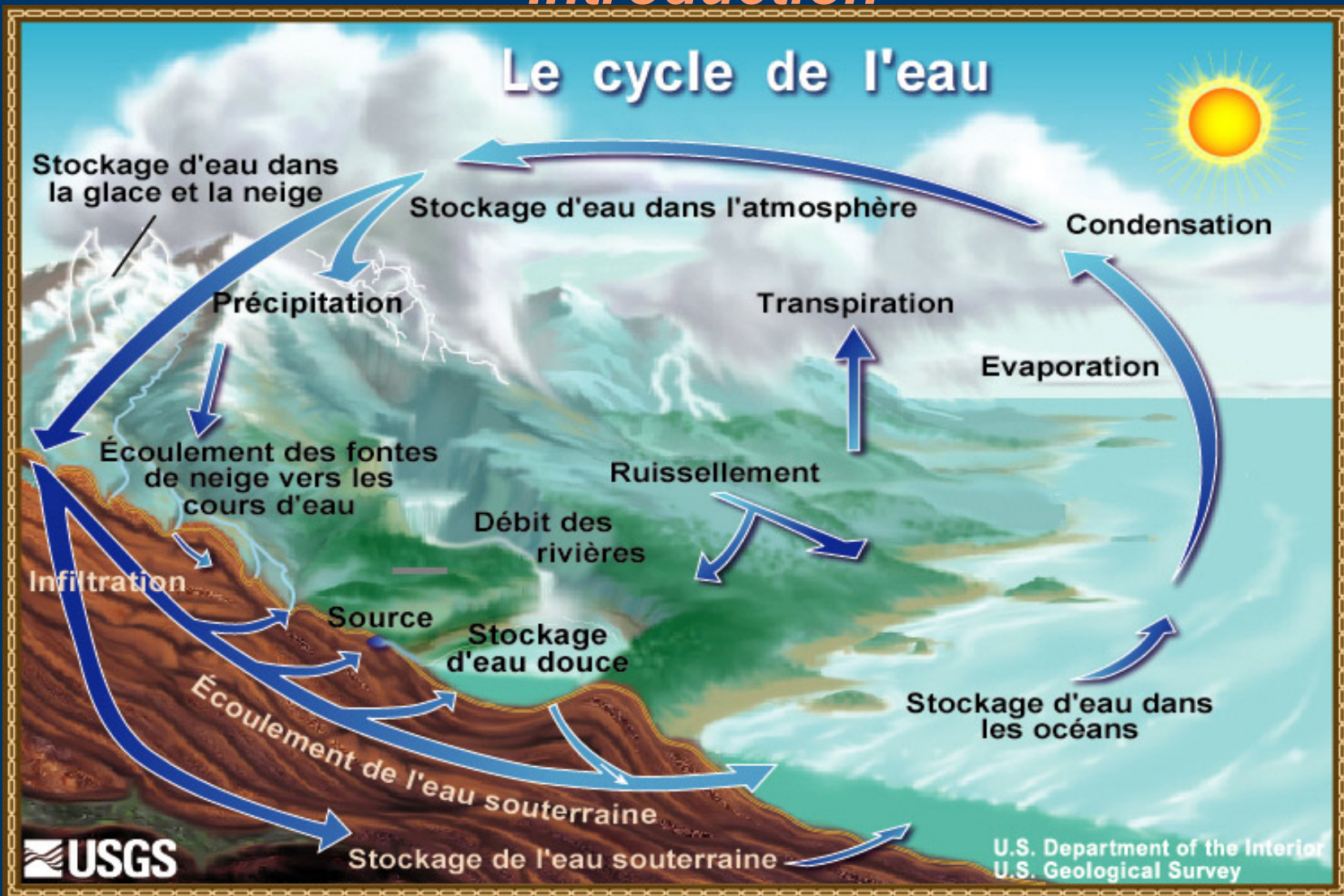
La Loire, en août 2022

© Crédits photo : PHOTOPQR/OUEST FRANCE/MAXPPP

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

# Introduction

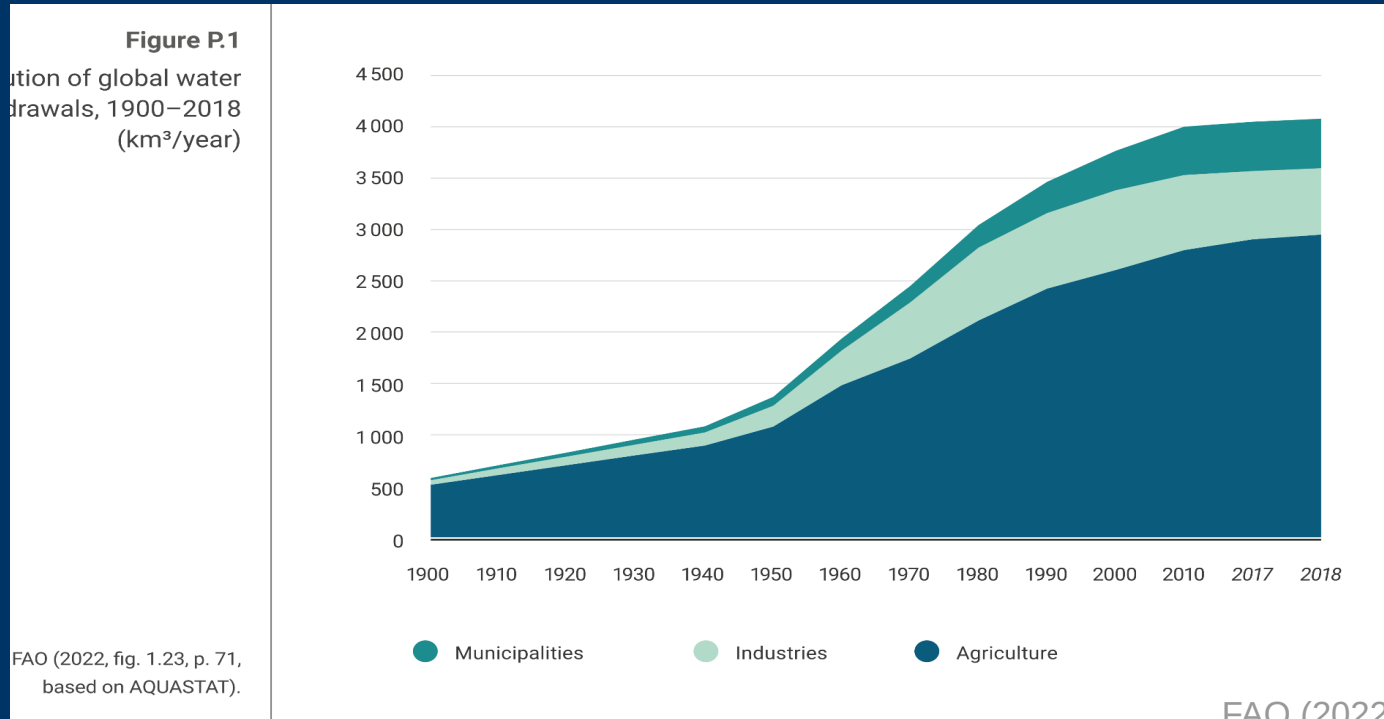
## Le cycle de l'eau



# Les prélèvements en eau

## Forte augmentation depuis 1950

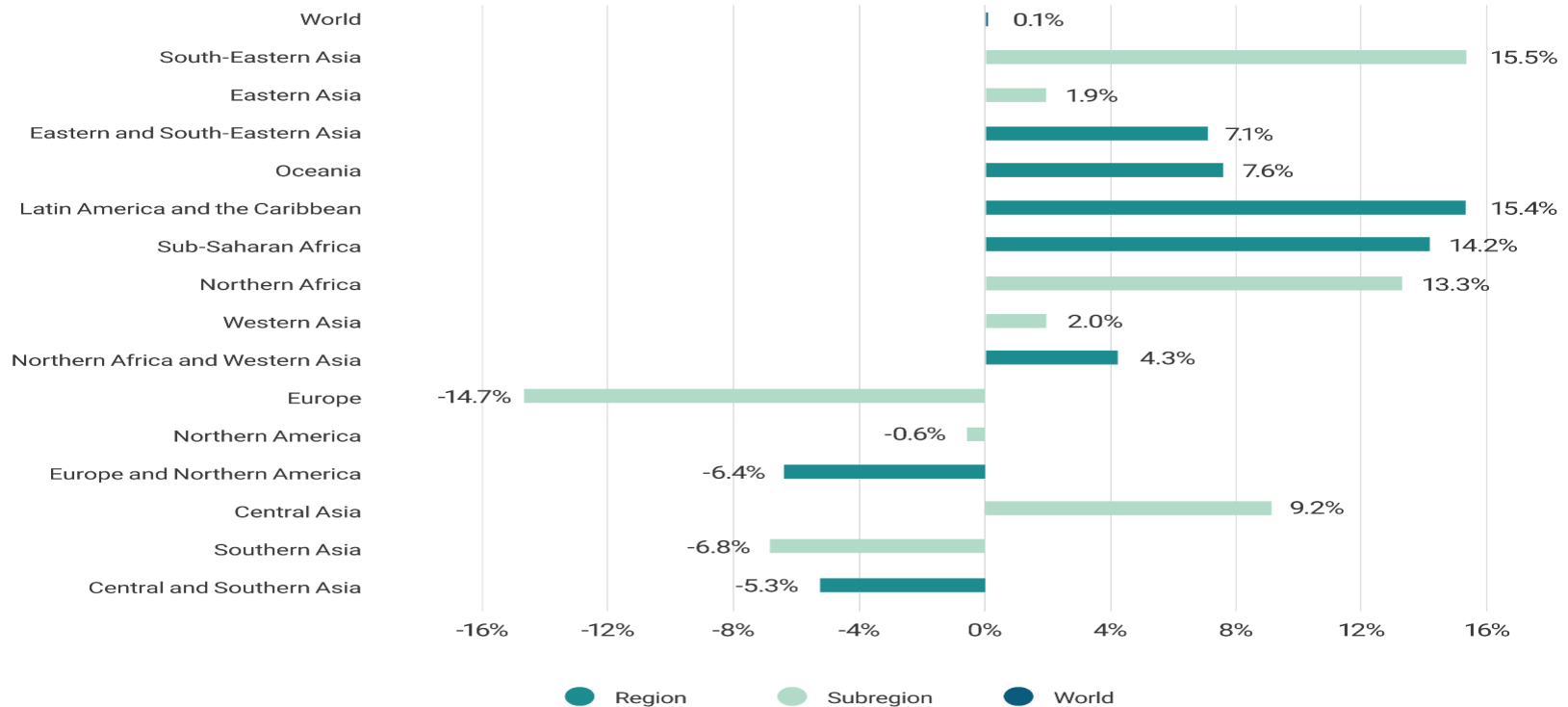
- x 6 depuis 1950 dans les trois secteurs
- irrigation industrielle après seconde guerre mondiale
- stabilisation définitive ou relance à venir ?



# 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

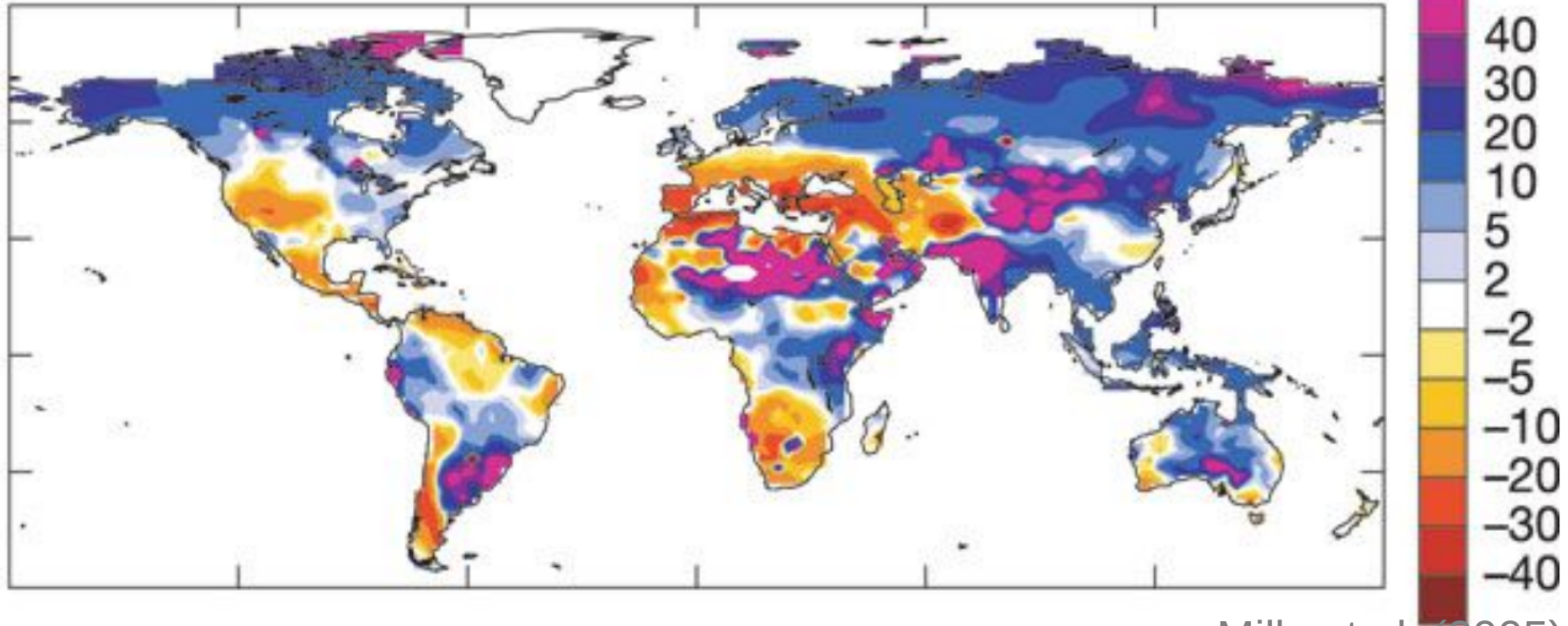
Figure P.9 Change in the level of water stress by region and at the global level, 2008–2018



# Baisse des ressources en eau

*Températures +, Pluies -, évapo-tranpiration +*

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



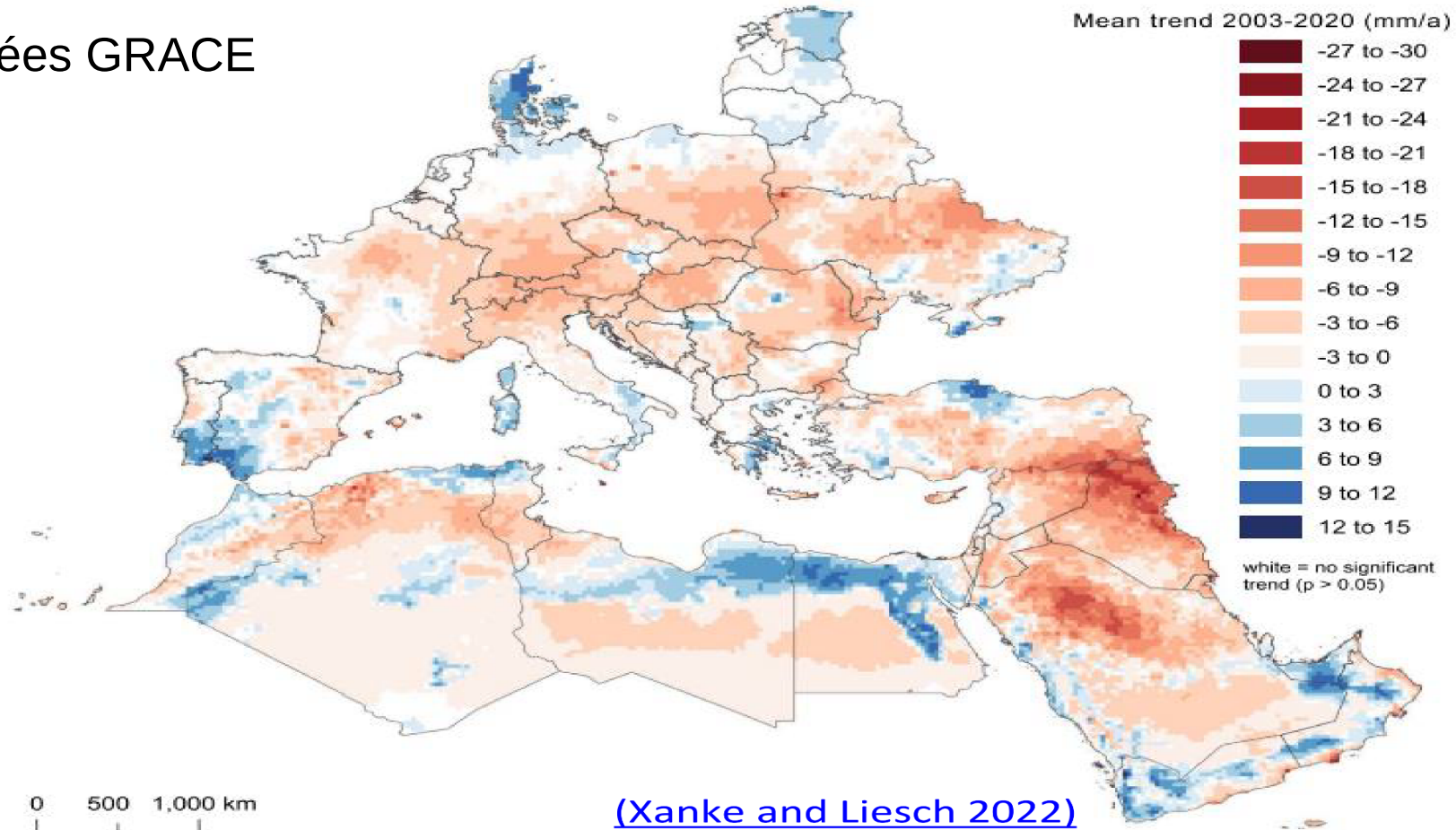
Milly et al. (2005)

+ rendements plus faibles et plus aléatoires

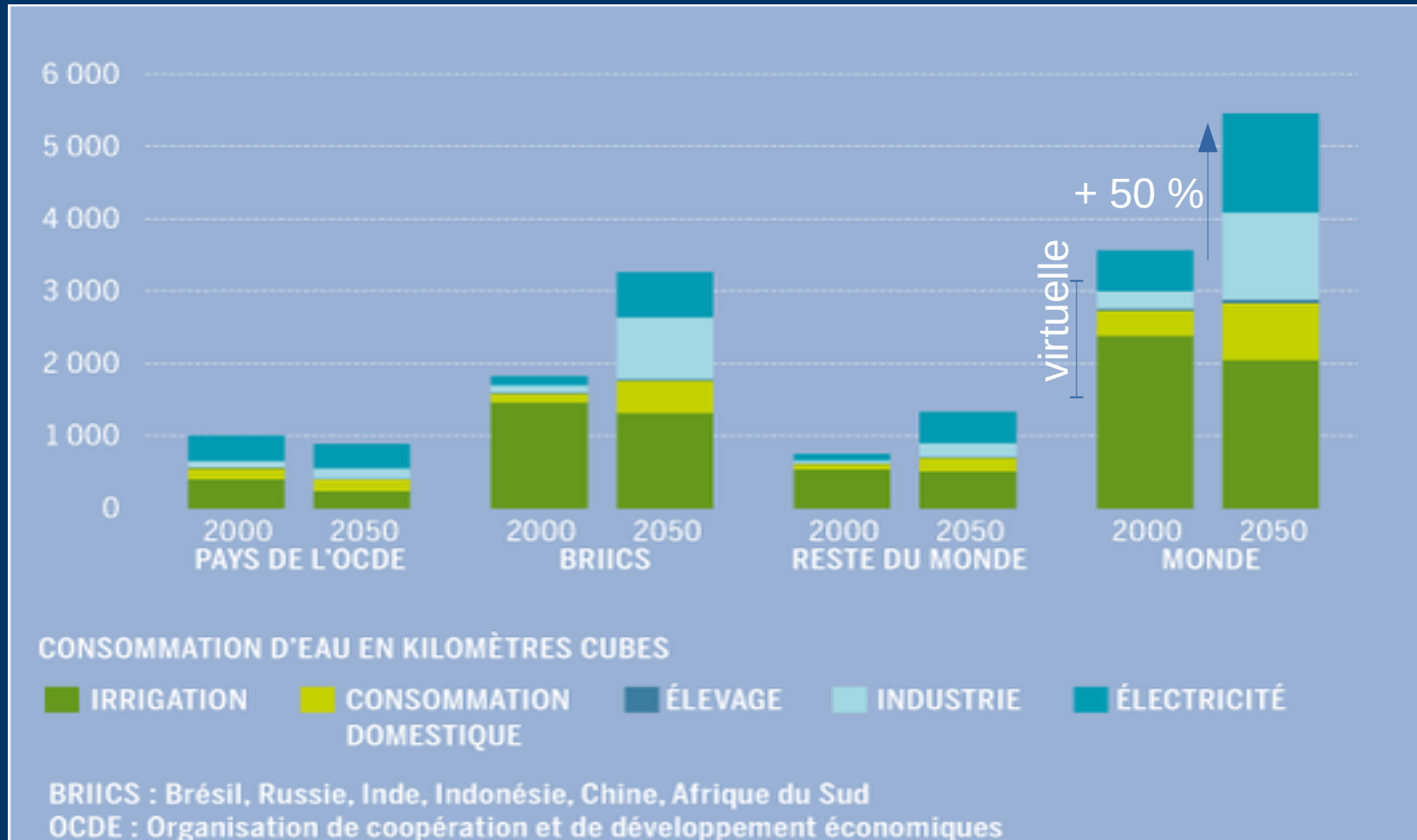
# Evolution des nappes

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



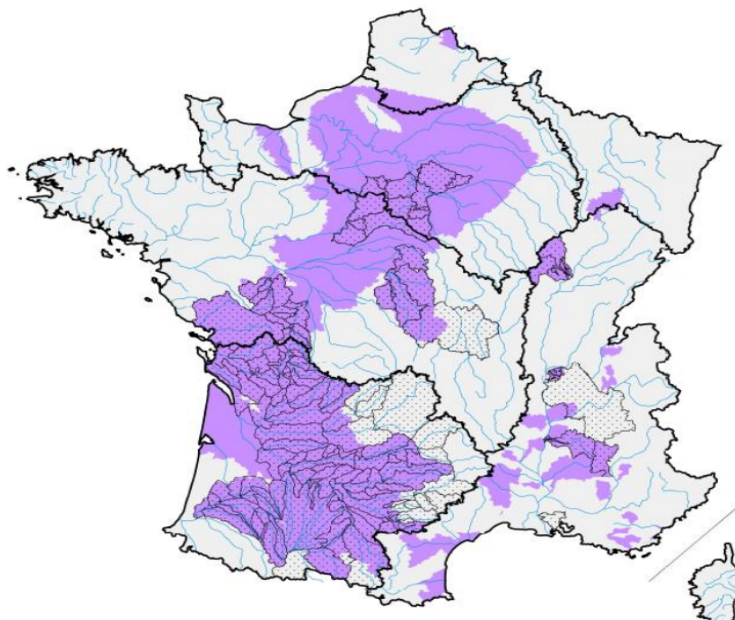


# Les ressources en eau : abondantes mais en pénurie

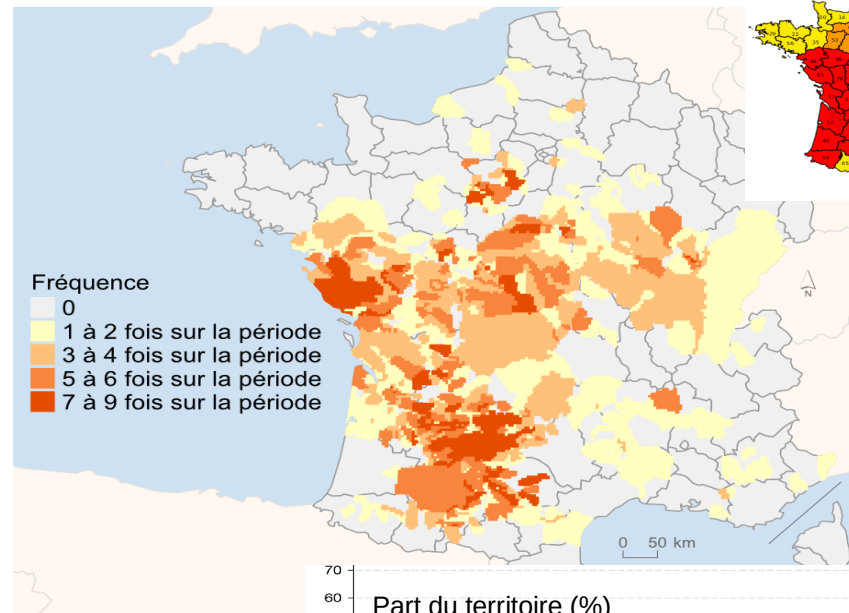
*Une forte tension sur la ressource et des restrictions croissantes*

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

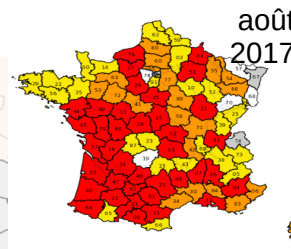
**Restrictions de crise "Sécheresse"**  
(limitation des usages par le Préfet)  
2012-2020



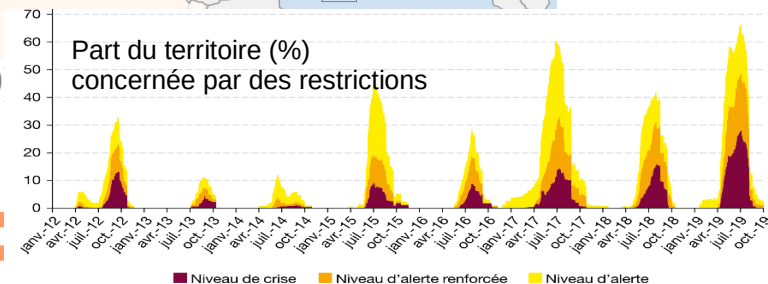
FRANCE : SDIS (SDIS) 2012-2020. 01/07/2020. (M4) 1. M4. 2012-2020



SDIS (2020)



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](#)

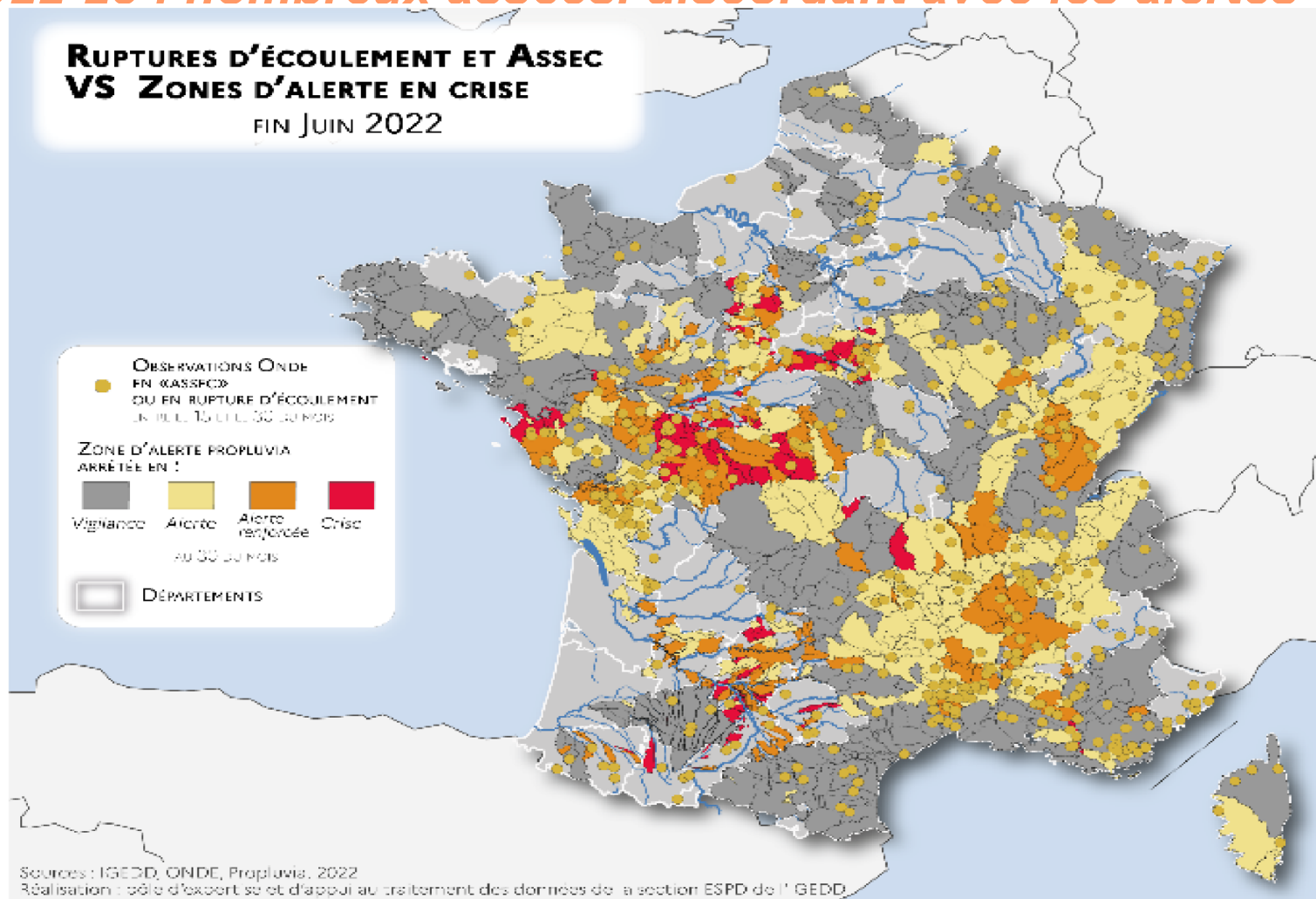
Jeudi 4 août 2022 à 14:54

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

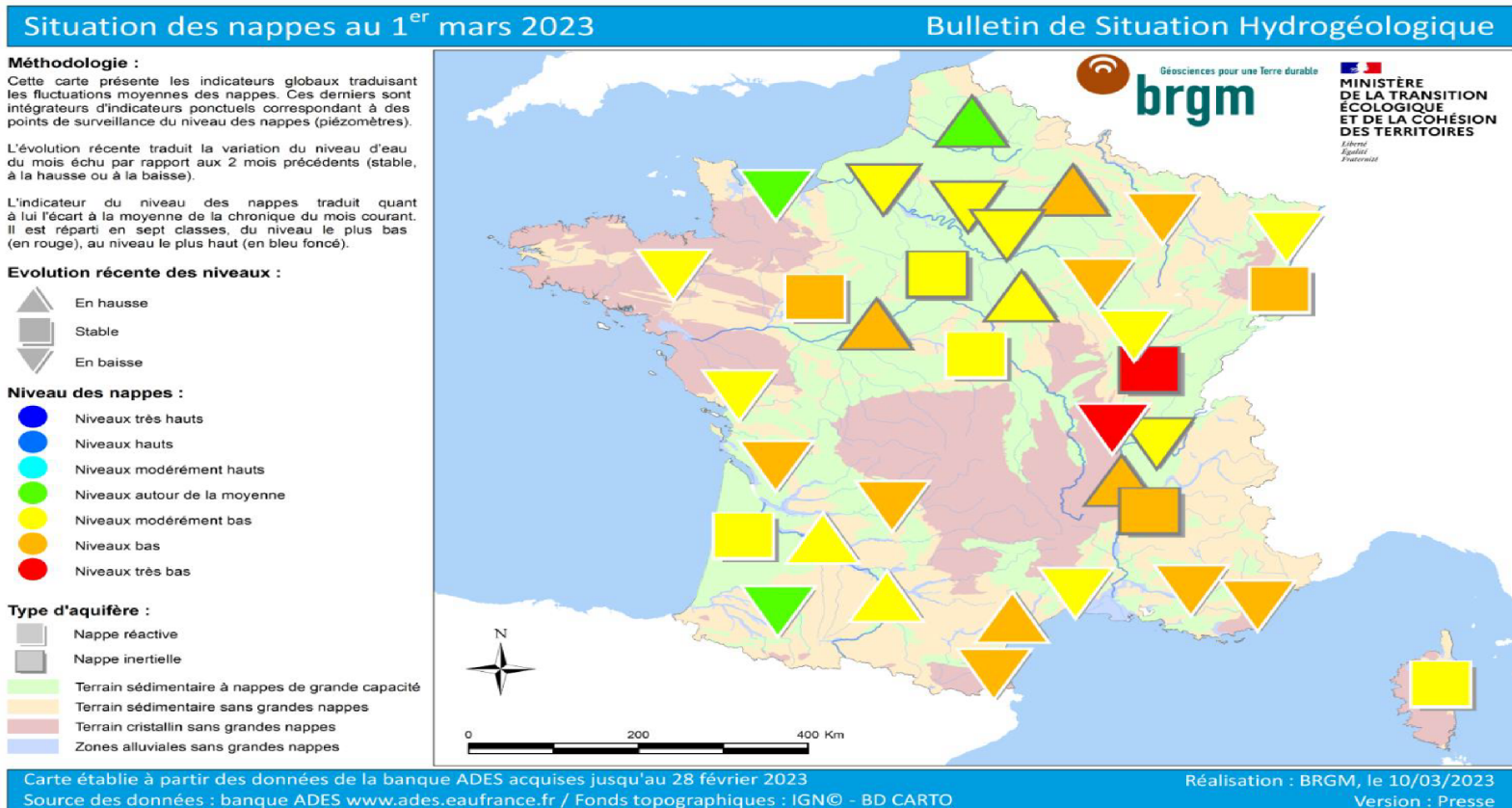


mission IGEDD-CGAAER (2023)

# Les ressources en eau : abondantes mais en pénurie

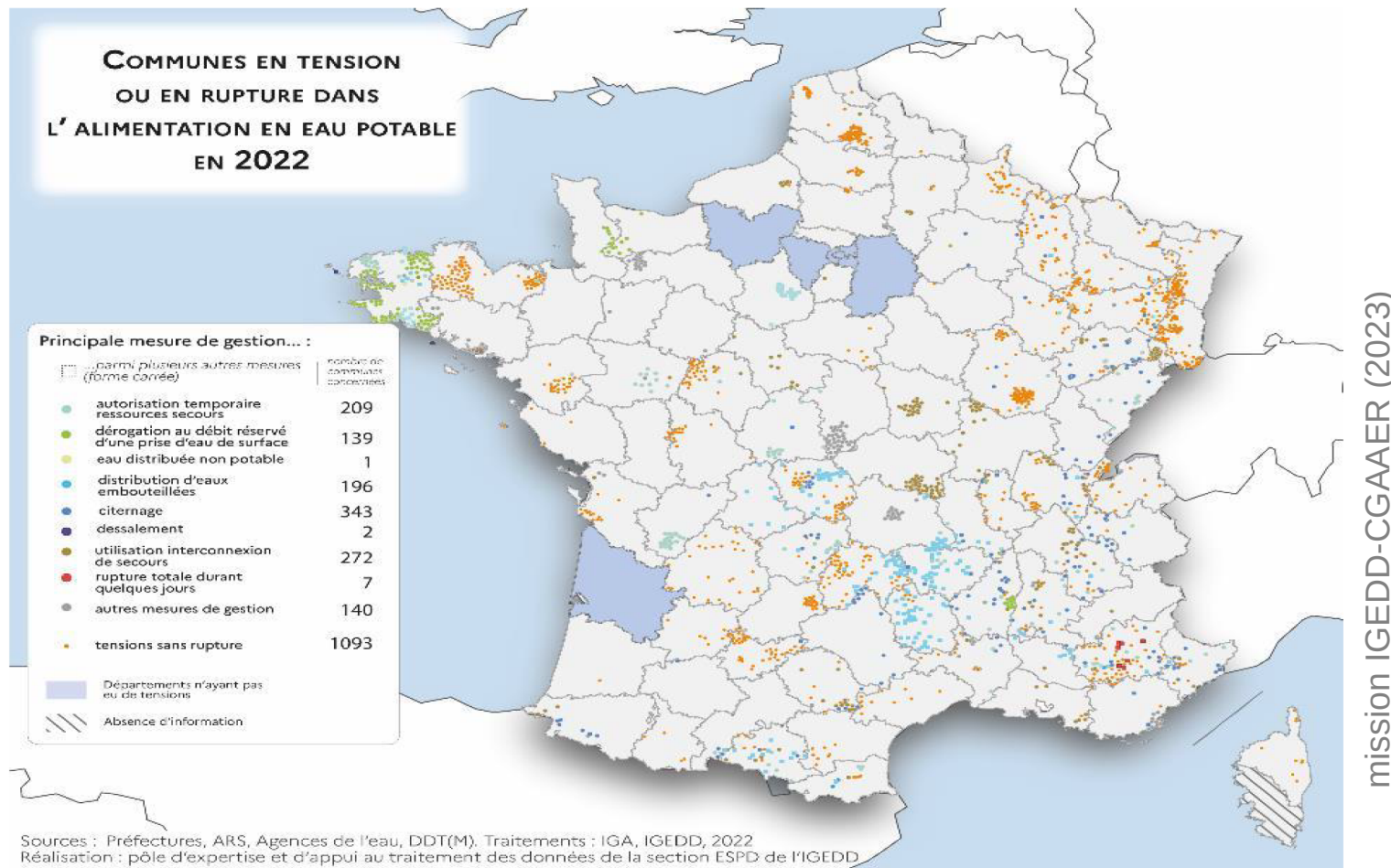
## 2022-23 : un hiver sec suit un été caniculaire

### Niveau des nappes d'eau souterraine au 1<sup>er</sup> mars 2023



# Les ressources en eau : abondantes mais en pénurie

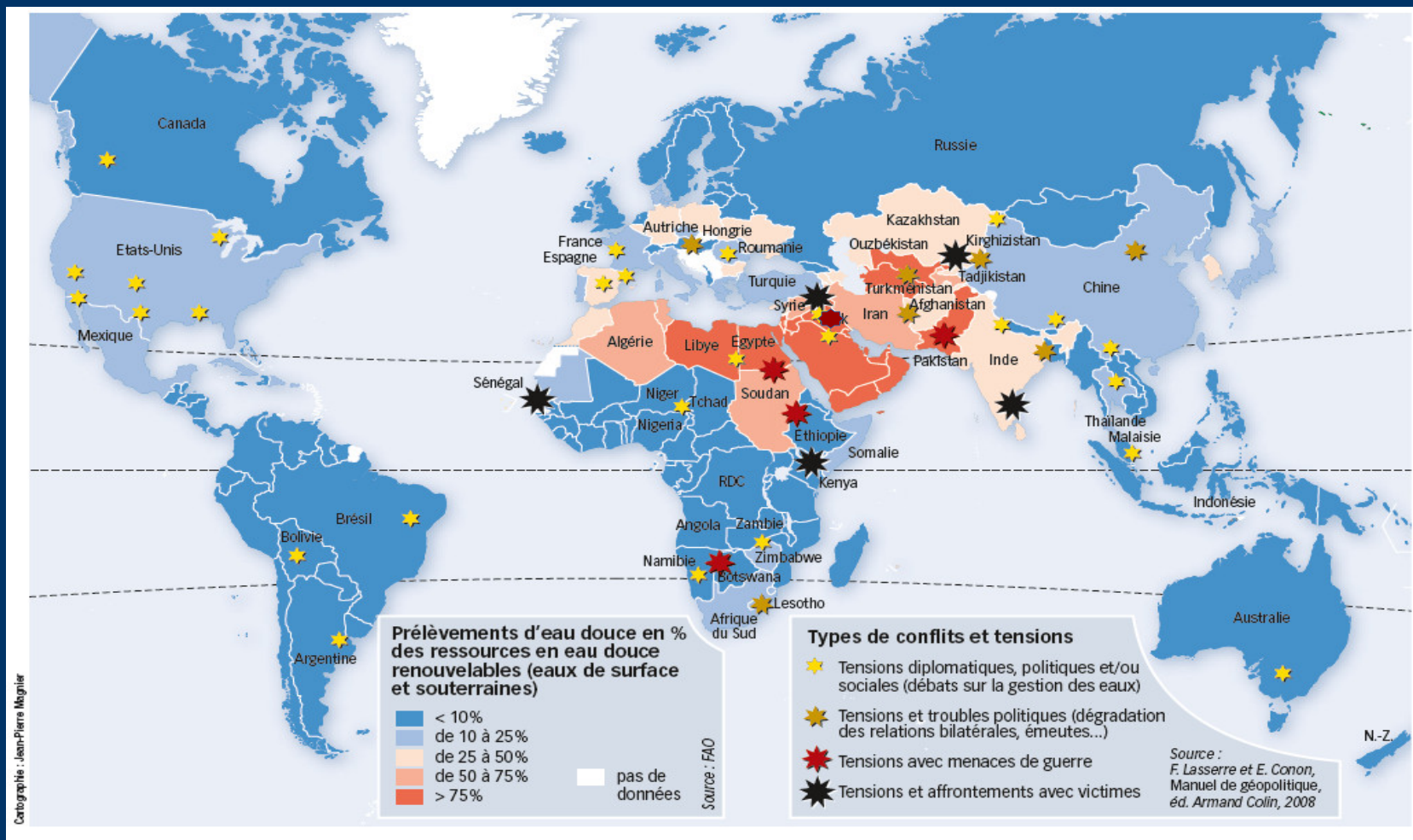
2022-23 : des centaines de villages sans eau notable



**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

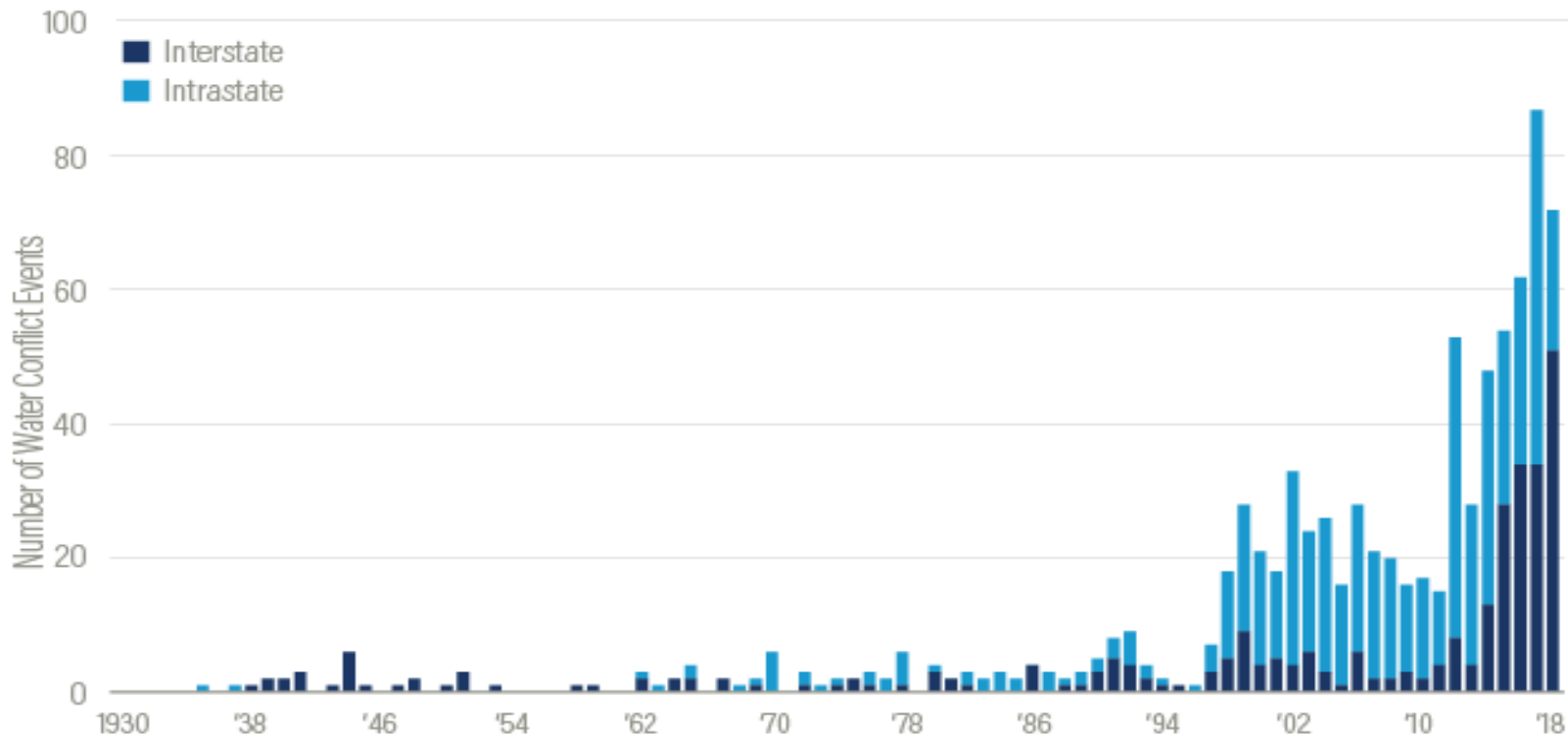
## La pénurie d'eau, ancrée dans les conflits du siècle (< 2008)



# 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

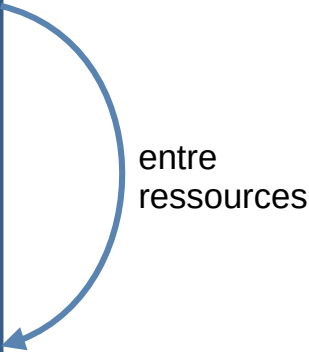
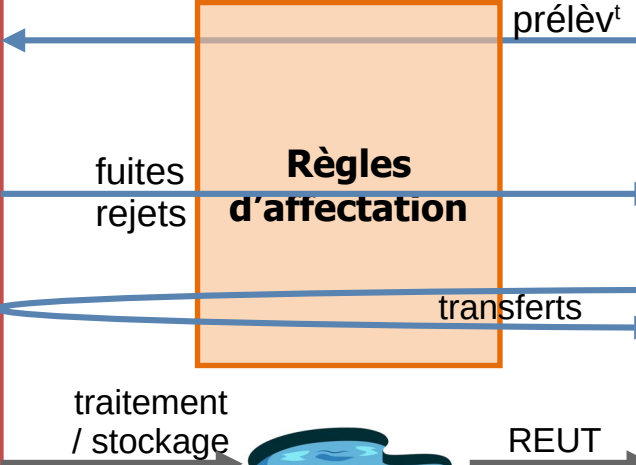
**Règles  
d'affectation**

**Ressources**

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



res. virtuelle



consommation  
(évap /  
pollution)

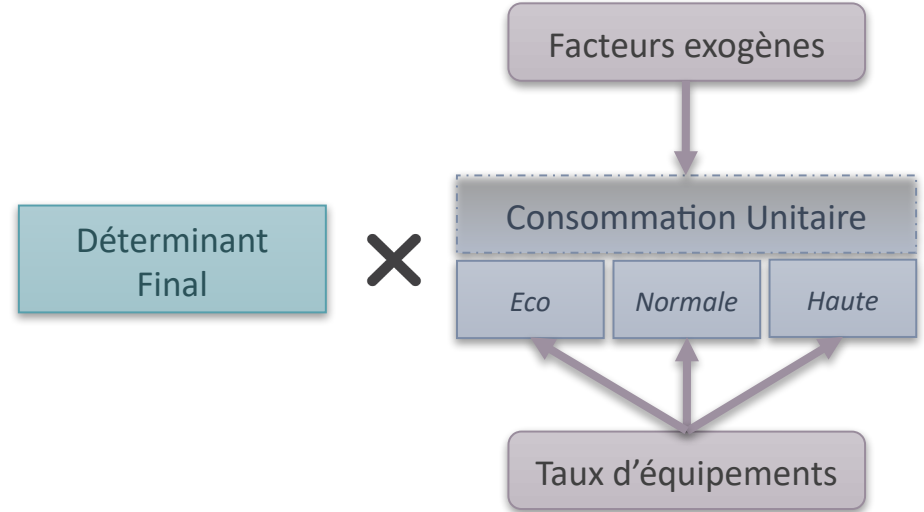
**Quantités**  
territorialisées ( $\Delta x$  = libre : parcelle/commune & agrégations)  
temporalisées ( $\Delta t$  = 1 mois & agrégations)

# Modélisation de la demande en Eau

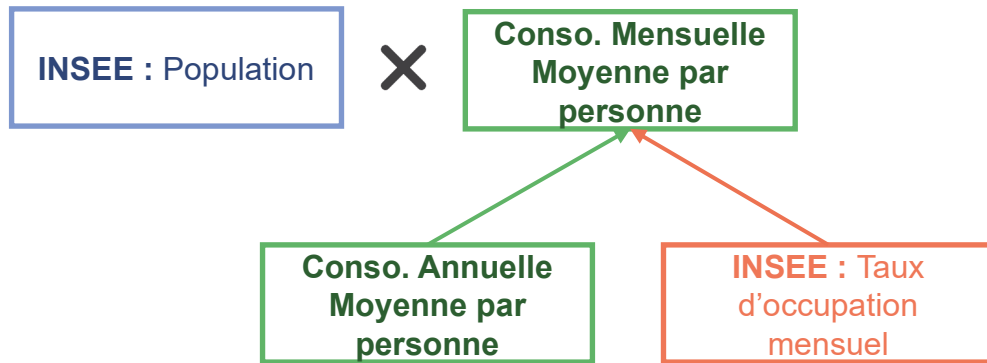
## Méthodologie STRATEAU

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 :

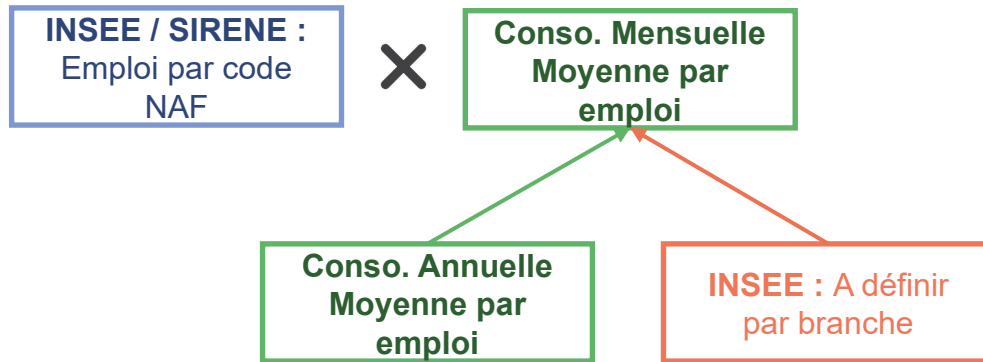
1. Massivement et à la commune via un fichier Excel à télécharger puis modifier
2. Globalement ou sur un regroupement / découpage particulier via une interface dédiée

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 :

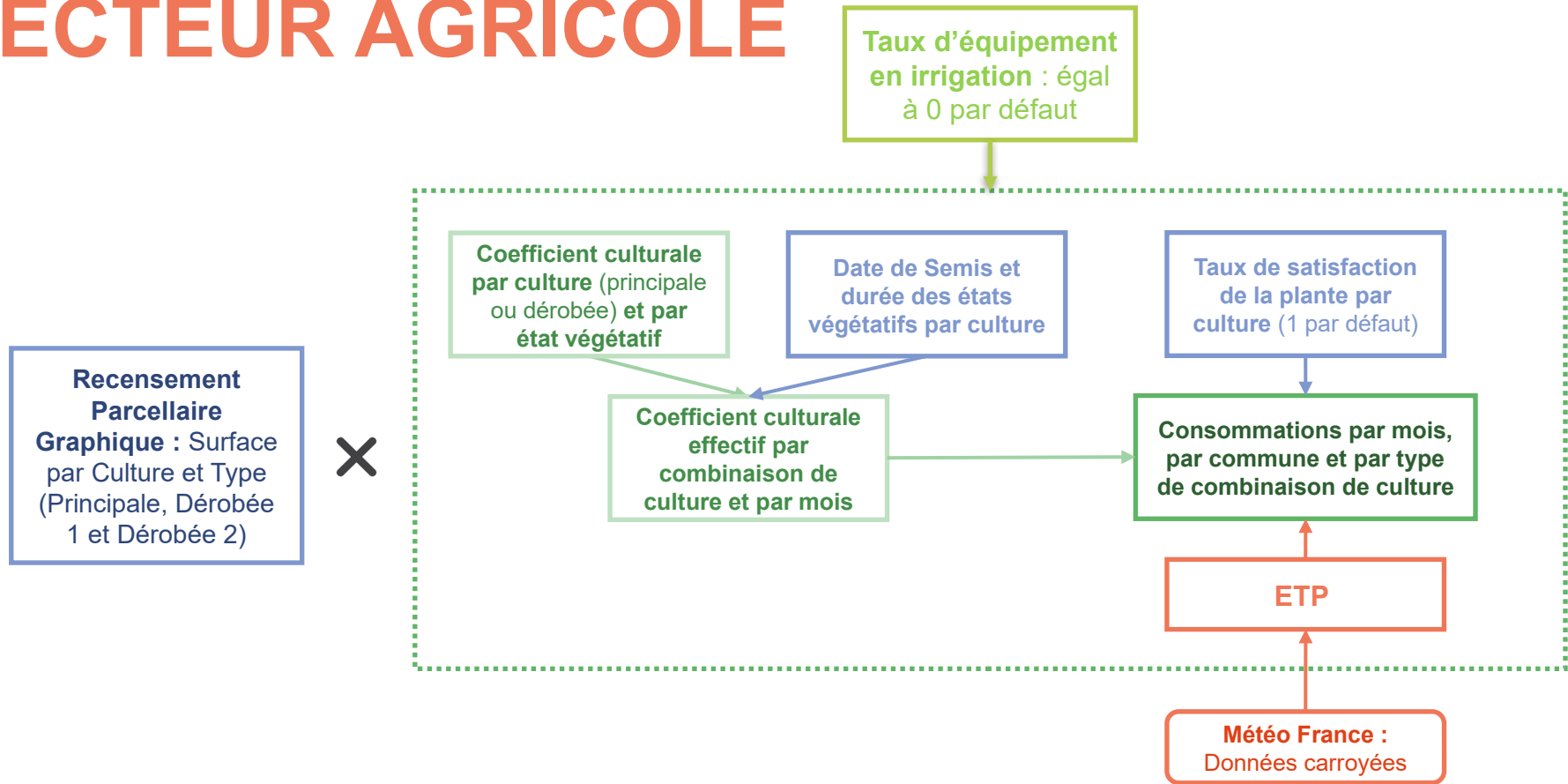


1. Massivement et à la commune via un fichier Excel à télécharger puis modifier
2. Globalement ou sur un regroupement / découpage particulier via une interface dédiée

Données sources envisageables :

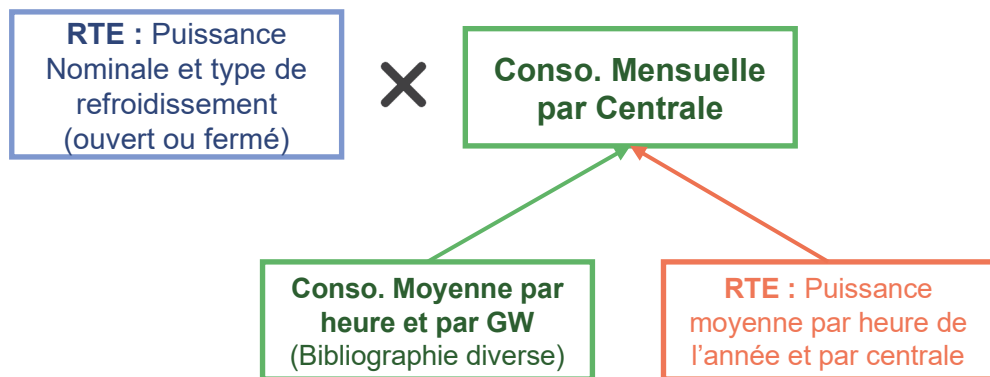
- i. Projections Emplois INSEE
- ii. Etudes locales sur les consommations de ces secteurs
- iii. Données de Prélèvement pour un « calage » territorial

# 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

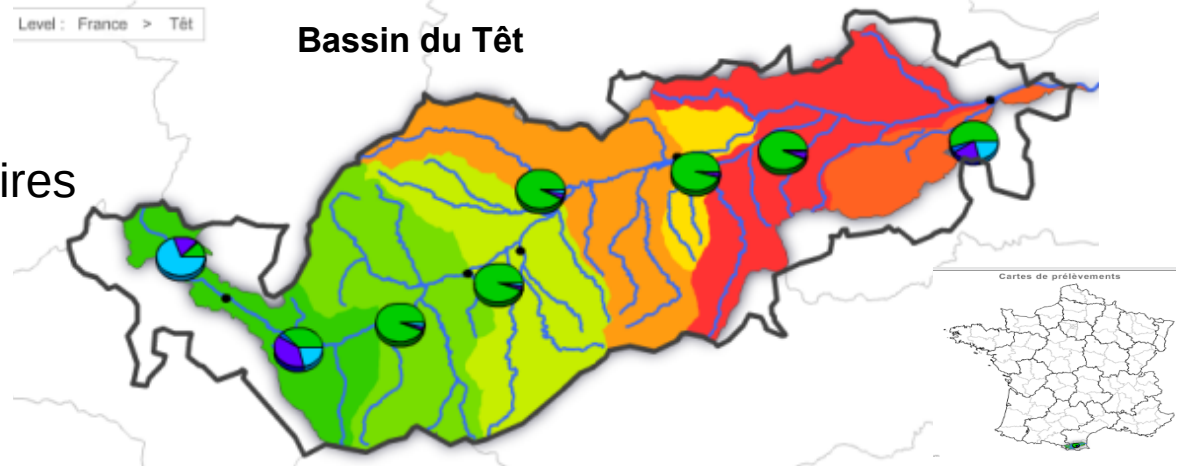
Données sources envisageables :

- 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

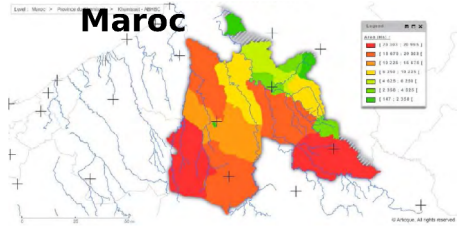
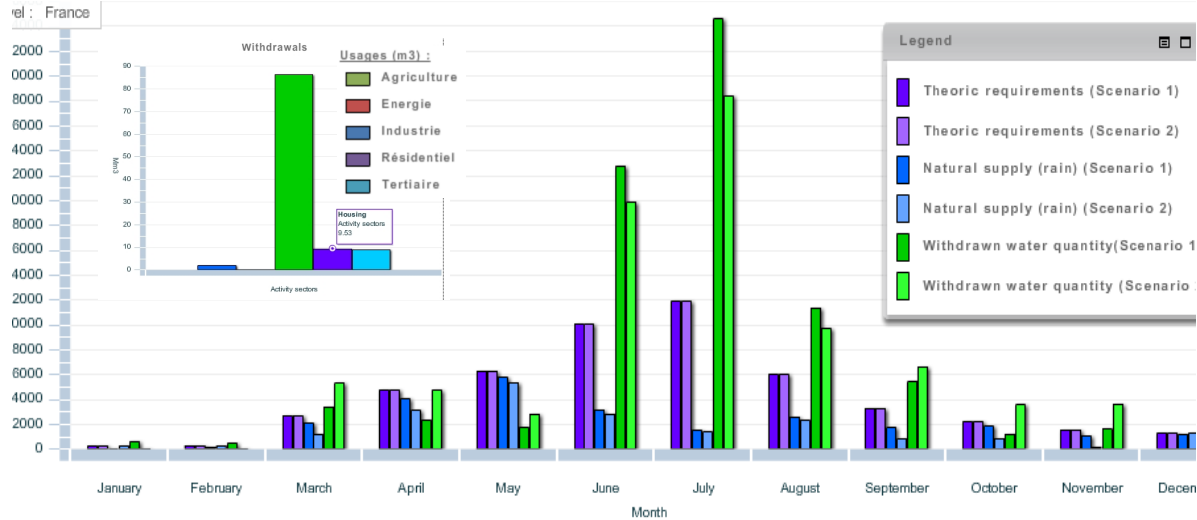
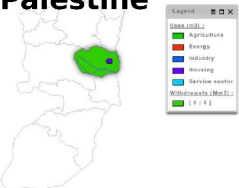
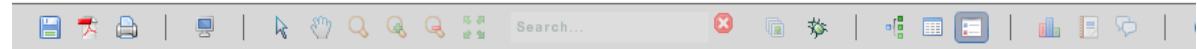


Figure 5 : Carte des superficies agricoles dans la province de Khemisset

## Al Auja, Palestine



© Artique, All rights reserved



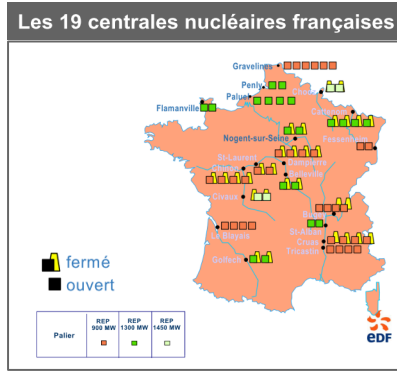


# Etapas de développement

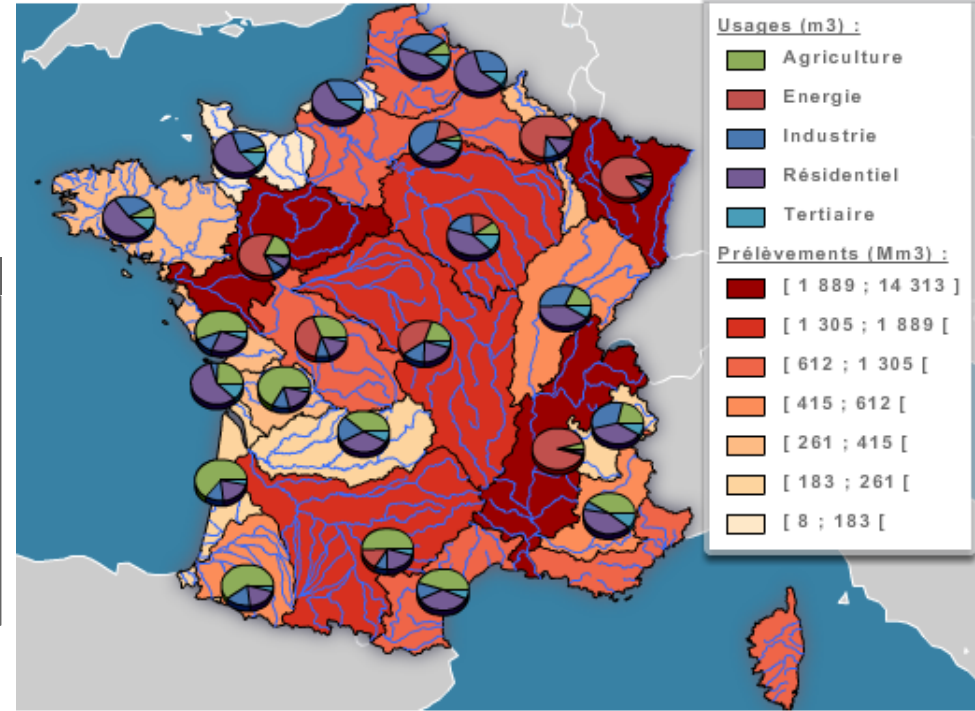
développé en 2010

- implémentations sur plusieurs territoires
- implémentation France entière

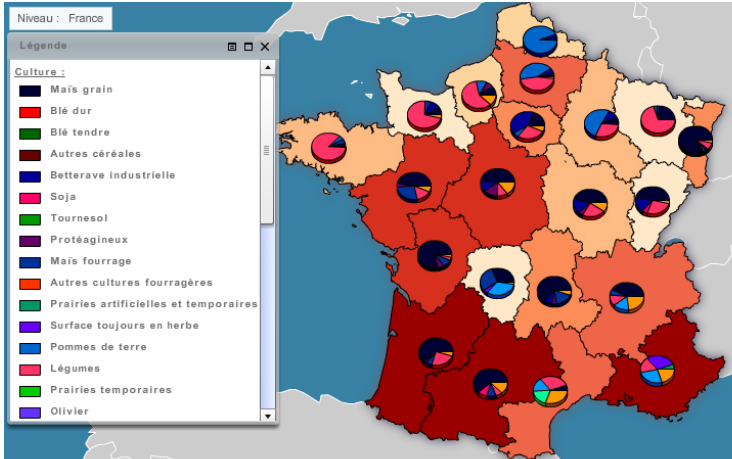
maugis et al  
(La Houille Blanche, accepté 2014)



## 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  494 km³	21 %	<b>Energie</b>	18,6	21%	42%	1,1	6%	14%	hors évaporation aval pour circuit ouvert
		<b>Industrie</b>	2,8	26%	8%	0,5	17%	6%	dont Prélèv. AEP = 0,3
		<b>Agriculture</b>	4,2	85%	37%	4,2	100%	54%	hors <u>Conso. pluviale</u>
		<b>Résidentiel</b>	4,2	25%	11%	1,5	37%	20%	AEP
		<b>Tertiaire</b>	1,0	20%	2%	0,4	39%	5%	AEP
		<b>TOTAL</b>	<b>30,9</b>	<b>31%</b>	<b>100%</b>	<b>7,7</b>	<b>25%</b>	<b>100%</b>	<b>Prélèv. AEP = 5,5</b>

# Etapas de développement

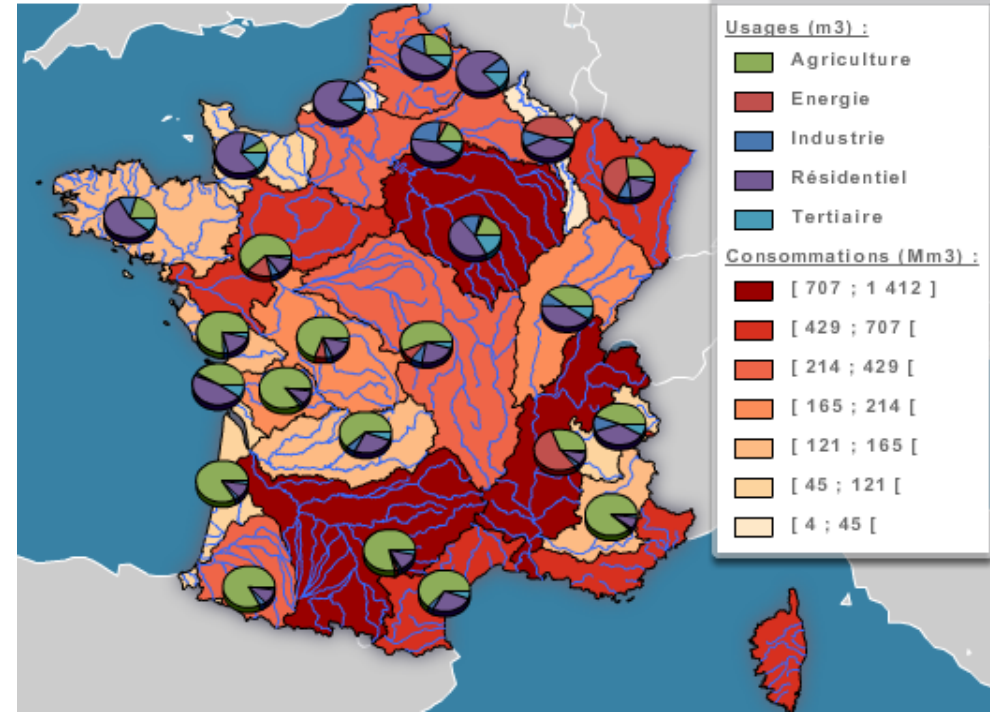
développé, 2010

- implémentations sur plusieurs territoires
- implémentation France entière

Production d'énergie =  
consommation  
associée :

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

Cartes des consommations



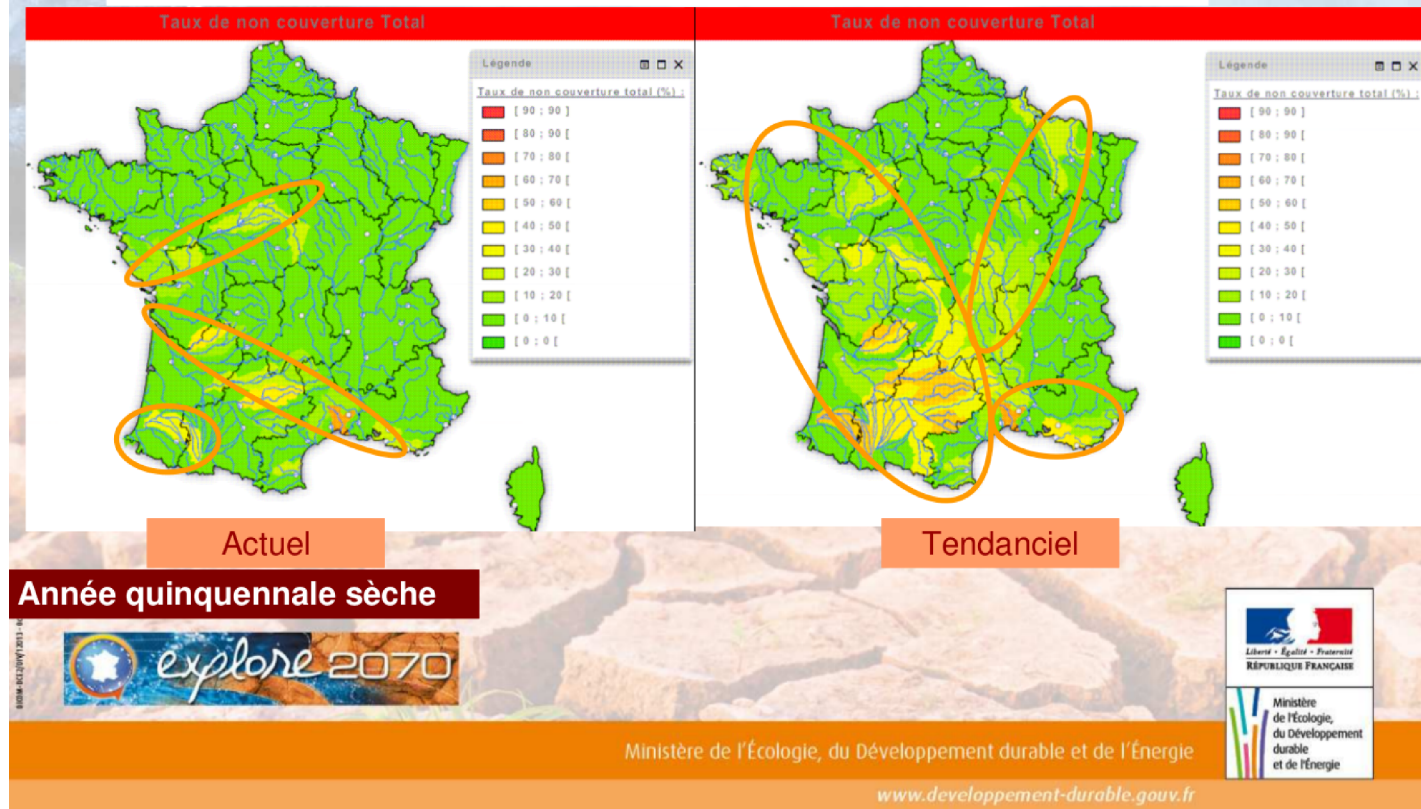
Météo-France		Modélisation STRATEAU							
Pluie		Secteurs d'activité	Prélèvements			Consommation			Remarques
annuelle	dont été (%)		Annuels (km³)	dont été (%)	part du total été	annuelle (km³)	Conso / prélèv	part du total	
895,6 mm 494 km³	21 %	<b>Energie</b>	18,6	21%	42%	1,1	6%	14%	hors évaporation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

# 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

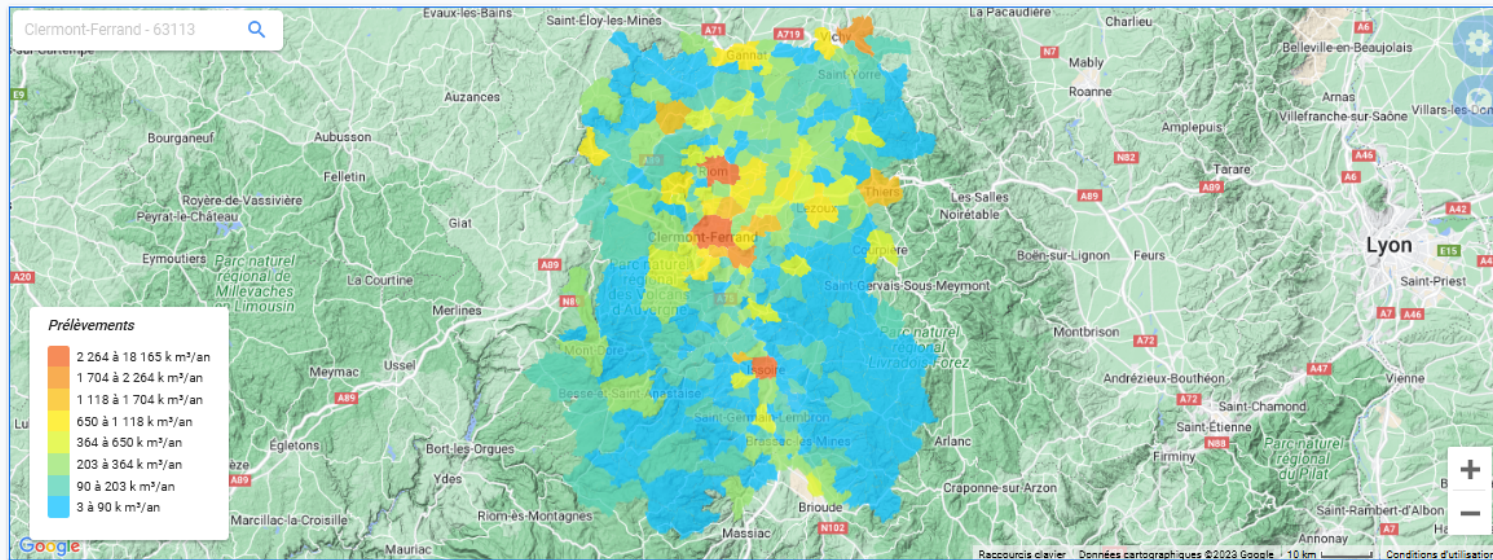


Tableau de bord : Prélèvement  
 Scénario : Année normale  
 Secteurs : Tous

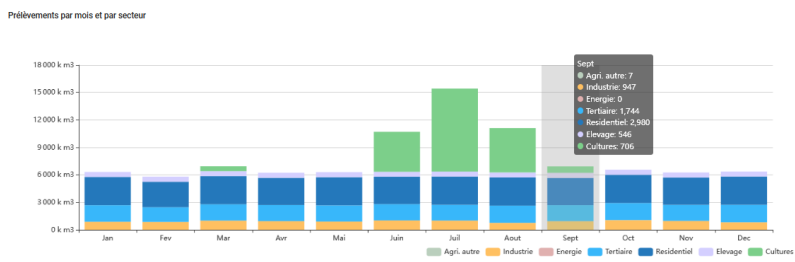
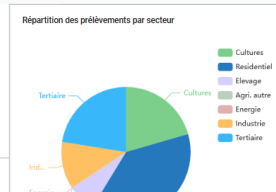
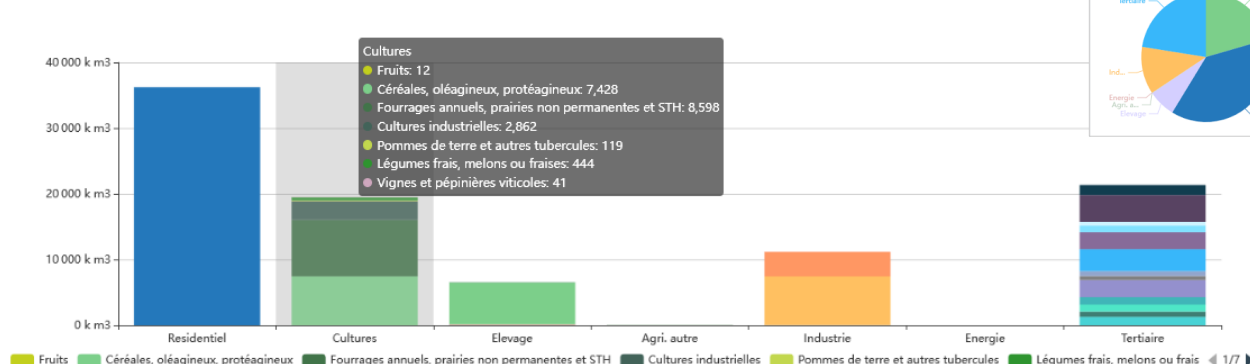
Région : 84 - Auvergne-Rhône-Alpes  
 PTGE : ptge63 - Projets de territoire pour la gestion de ...

94 930 k. m3  
 Prélèvements totaux

1 038 k m3  
 REUT

659 195  
 Nombre d'habitants

Prélèvements par secteur et sous secteur



# 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

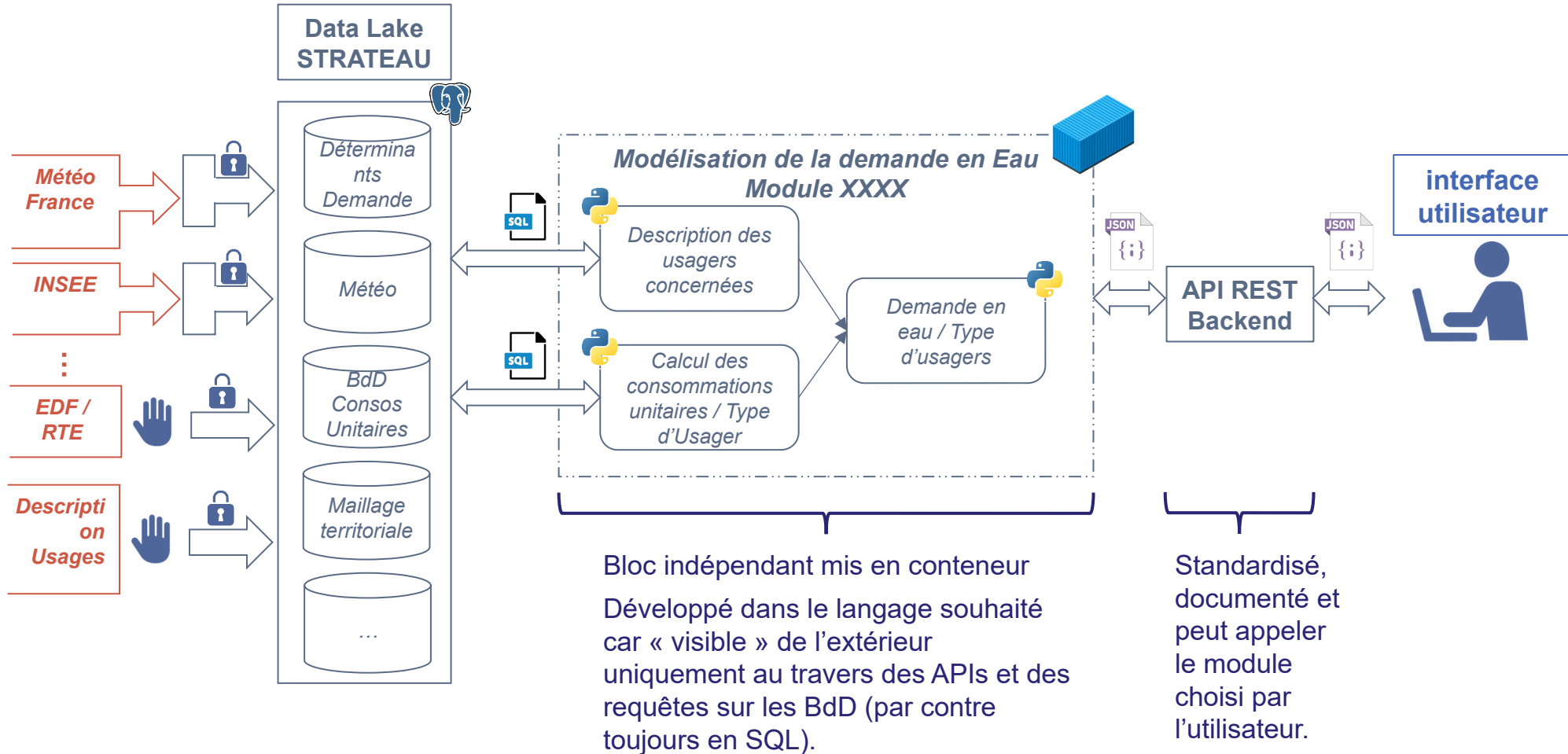
## Preuve de concept, 2021 (CEREMA)

- 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



Bloc indépendant mis en conteneur  
Développé dans le langage souhaité  
car « visible » de l'extérieur  
uniquement au travers des APIs et des  
requêtes sur les BdD (par contre  
toujours en SQL).

Standardisé,  
documenté et  
peut appeler  
le module  
choisi par  
l'utilisateur.

## 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	<b>Recensement général de la population (INSEE)</b> : population, type d'habitat, typologie de commune...
	Consommations Unitaires	. <b>Centre d'Information sur l'Eau</b> : <a href="https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quels-sont-les-usages-domestiques-de-leau/">https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quels-sont-les-usages-domestiques-de-leau/</a> . <b>CGDD</b> : <a href="https://www.eaufrance.fr/sites/default/files/2018-06/eau_cles_2016_201602.pdf">https://www.eaufrance.fr/sites/default/files/2018-06/eau_cles_2016_201602.pdf</a> <a href="https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-facture-deau-domestique-en-2004-177-euros-par-personne-et-par">https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-facture-deau-domestique-en-2004-177-euros-par-personne-et-par</a>
	Taux d'équipements	
	Taux d'activité	
Tertiaire et Industriel	Déterminants Finaux	<b>Base de données SIRENE (INSEE)</b> 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	<b>SMEGREG</b> : <a href="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">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</a>
	Taux d'équipements	
	Taux d'activité	. <b>Tertiaire</b> : Taux d'occupation mensuel des hôtels (INSEE) . <b>Industrie</b> : Répartition mensuelle de l'indice de production industrielle de l'INSEE
Agricole	Déterminants Finaux	<b>Recensement général agricole (RGA)</b> : assolements, assolement irrigués) <b>Statistiques Agricoles Annuelles</b> <b>Enquête pratiques culturelles</b> <b>Dates de semis</b>
	Consommations Unitaires	<b>Modèle CROPWAT</b> à la journée <b>Coefficients Cultureux</b>
	Taux d'équipements	<b>Recensement général agricole (RGA)</b> <b>Statistiques Agricoles Annuelles</b>
	Taux d'activité	<b>Météo France</b>
Production d'électricité	Déterminants Finaux	Localisation, puissance installée, type de combustible et production (EDF, RTE)
	Consommations Unitaires	<b>National Renewable Energy Laboratory</b> : <a href="https://openei.org/doe-opendata/dataset/829b9e64-8e69-4b86-8d03-13235d076dfb/resource/ead022cc-30b9-4db9-8295-a2d56297f97b/download/1748932674045802.pdf">https://openei.org/doe-opendata/dataset/829b9e64-8e69-4b86-8d03-13235d076dfb/resource/ead022cc-30b9-4db9-8295-a2d56297f97b/download/1748932674045802.pdf</a>
	Taux d'équipements	Type de centrale
	Taux d'activité	<b>RTE</b>