



# « Enjeu des eaux souterraines face au changement climatique »

**Journée régionale sur les eaux souterraines  
Mardi 8 septembre 2015**

**Les Terres de Saint Hilaire à OLLIERES (83)**

B.Dewandel,

[b.dewandel@brgm.fr](mailto:b.dewandel@brgm.fr)

[BRGM/D3E/NRE Montpellier](#)

Région



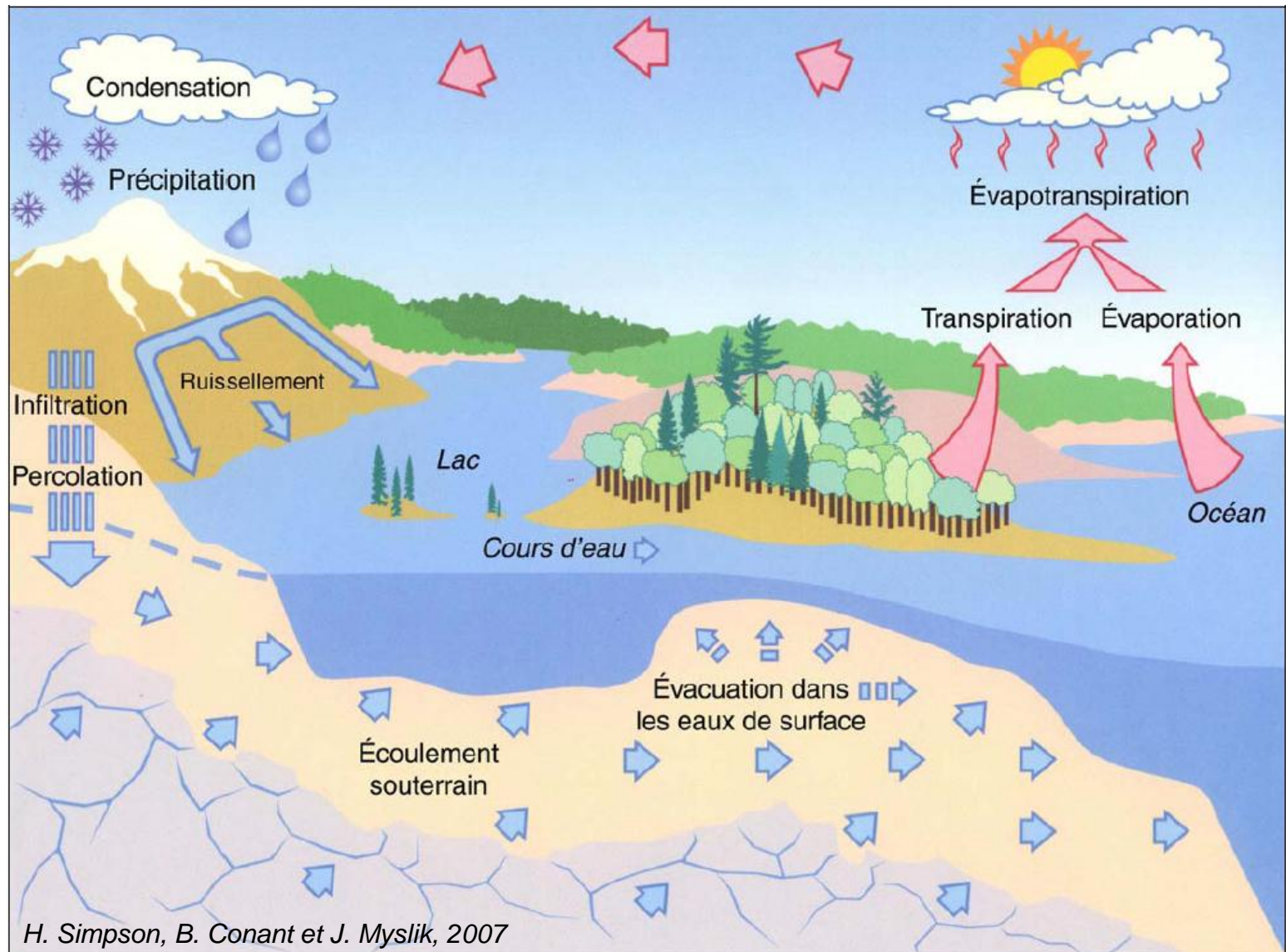
Provence-Alpes-Côte d'Azur



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Le cycle de l'eau



# Les eaux souterraines en France

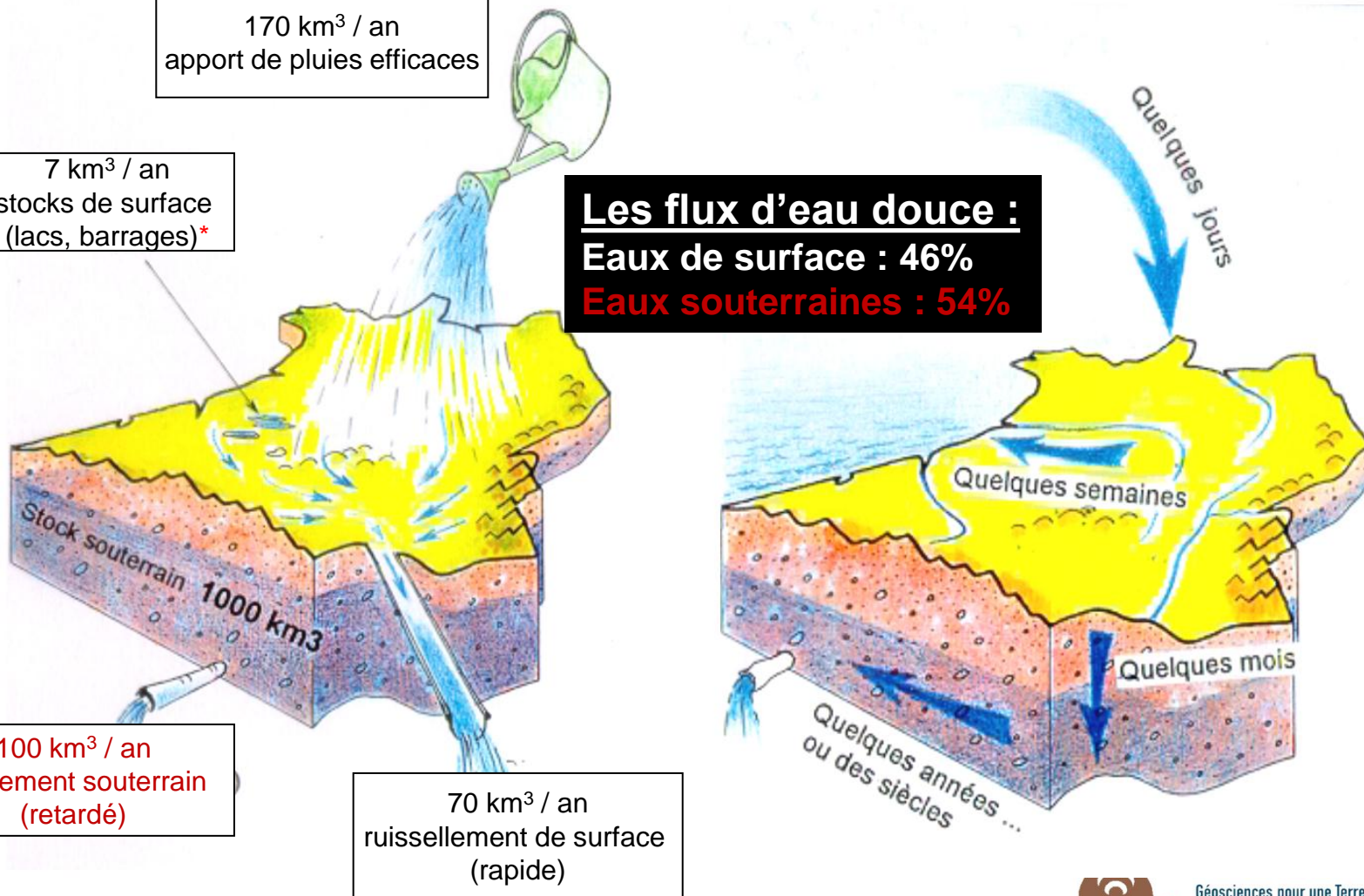
170 km<sup>3</sup> / an  
apport de pluies efficaces

7 km<sup>3</sup> / an  
stocks de surface  
(lacs, barrages)\*

**Les flux d'eau douce :**  
Eaux de surface : 46%  
Eaux souterraines : 54%

100 km<sup>3</sup> / an  
écoulement souterrain  
(retardé)

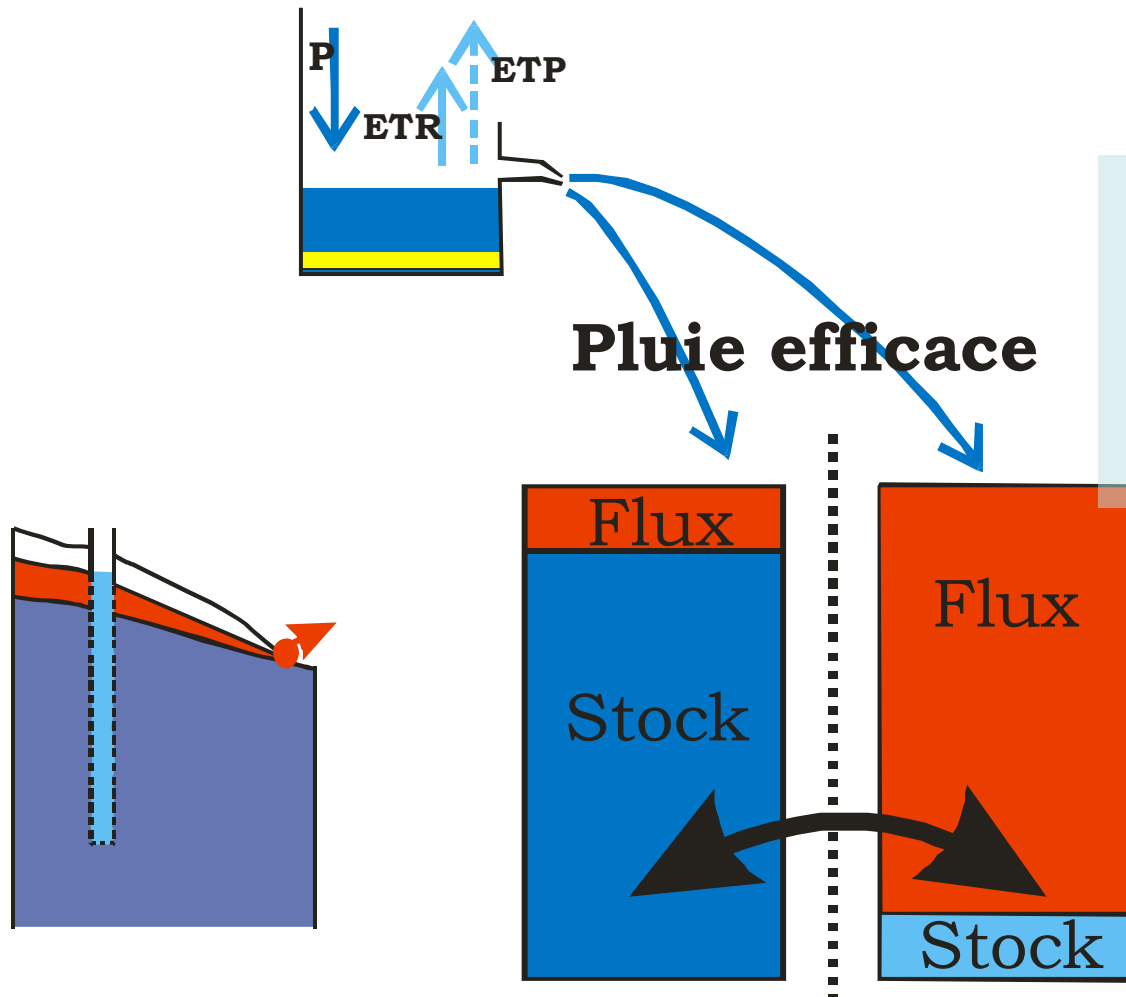
70 km<sup>3</sup> / an  
ruissellement de surface  
(rapide)



\*Hors lac Lemman et hors humidité des sols superficiels

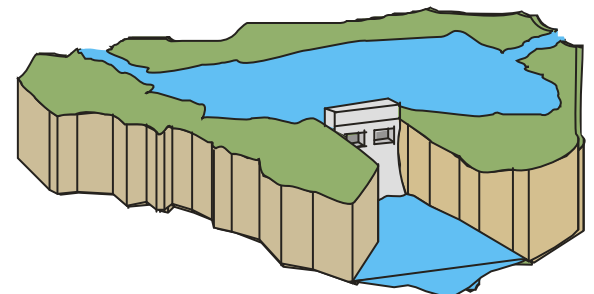


# Différence entre eaux de surface et eaux souterraines



## FLUX/STOCK

En France, 60% de l'eau potable est captée au sein des aquifères



Les aquifères ont la capacité de stocker l'eau, ce qui n'est pas le cas des eaux de surface (hors barrages)



Géosciences pour une Terre durable

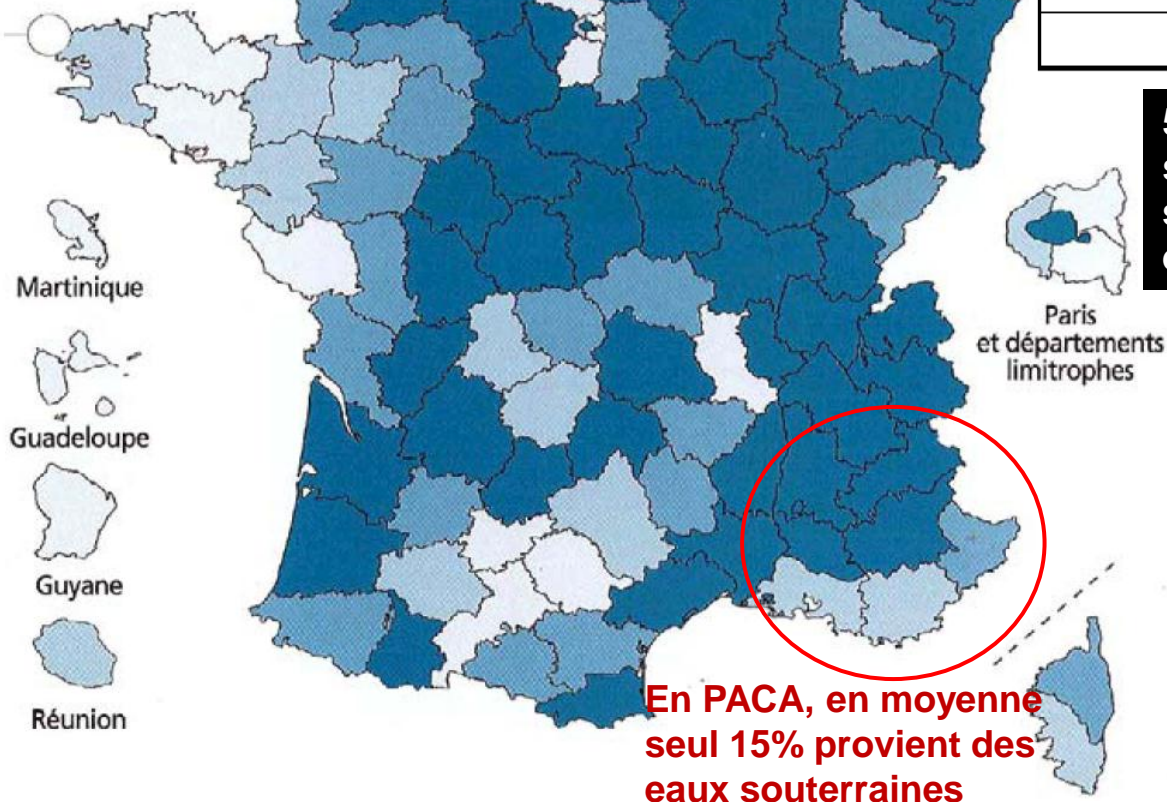
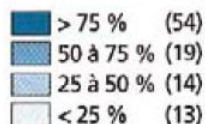
**brgm**

# La part des eaux souterraines dans notre consommation

Eau douce prélevée en France dans le milieu naturel :

34 milliards de m<sup>3</sup> par an, dont 6 milliards de m<sup>3</sup> (19%) des eaux souterraines.

Part des eaux souterraines  
en % du débit capté



Usages	En millions de m <sup>3</sup>	En %
Eau potable	3 713	59
Industrie	1 480	23
Agriculture	1 110	18
Production d'énergie	19	< 0.5
	6 322	

**59% des eaux  
souterraines prélevées  
sert à l'alimentation en  
eau potable**

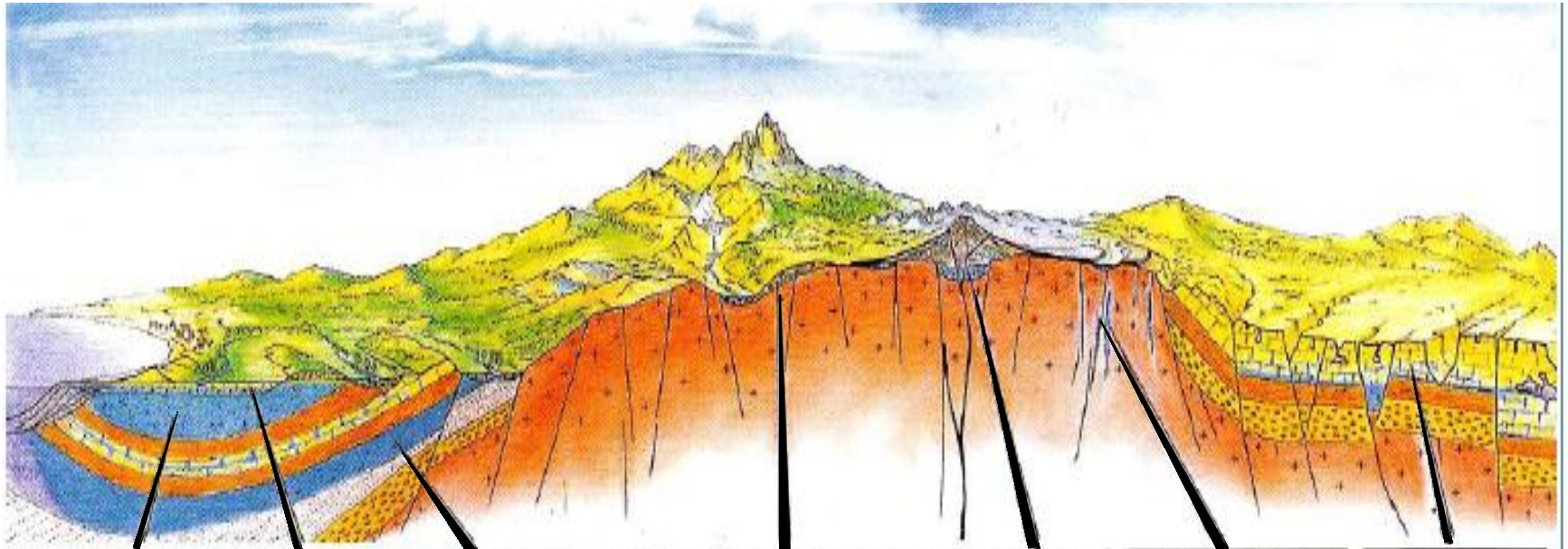
**Concentrée dans des  
zones, et probablement  
sous-estimée**













Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Les types d'aquifères



<p><b>Aquifères de roches sédimentaires (libres)</b></p>  <p>Calcaire, craie, grès</p> <p>Débit : moyen à élevé</p>	<p><b>Sables et alluvions des vallées</b></p>  <p>Graviers et sables</p> <p>Débit : bon à élevé</p>	<p><b>Aquifères sédimentaires profonds (captifs)</b></p>  <p>Formations sédimentaires poreuses</p> <p>Calcaires, craie, grès</p> <p>Débit : bon à élevé</p>	<p><b>Dépôts glaciaires (moraines)</b></p>  <p>Association de blocs, argiles, graviers, sables</p> <p>Débit : très variable</p>	<p><b>Aquifères volcaniques</b></p>  <p>Laves et scories</p> <p>Débit : excellent dans les scories, faible dans les laves</p>	<p><b>Roches dures fissurées</b></p>  <p>Fractures dans le granite ou autres roches cristallines</p> <p>Débit : faible à moyen</p>	<p><b>Aquifères karstiques</b></p>  <p>Cavités dans le calcaire compact</p> <p>Débit : très variable</p>
---	---	---	---	---	--	--

 FAIBLE
  MOYEN
  BON AQUIFERE

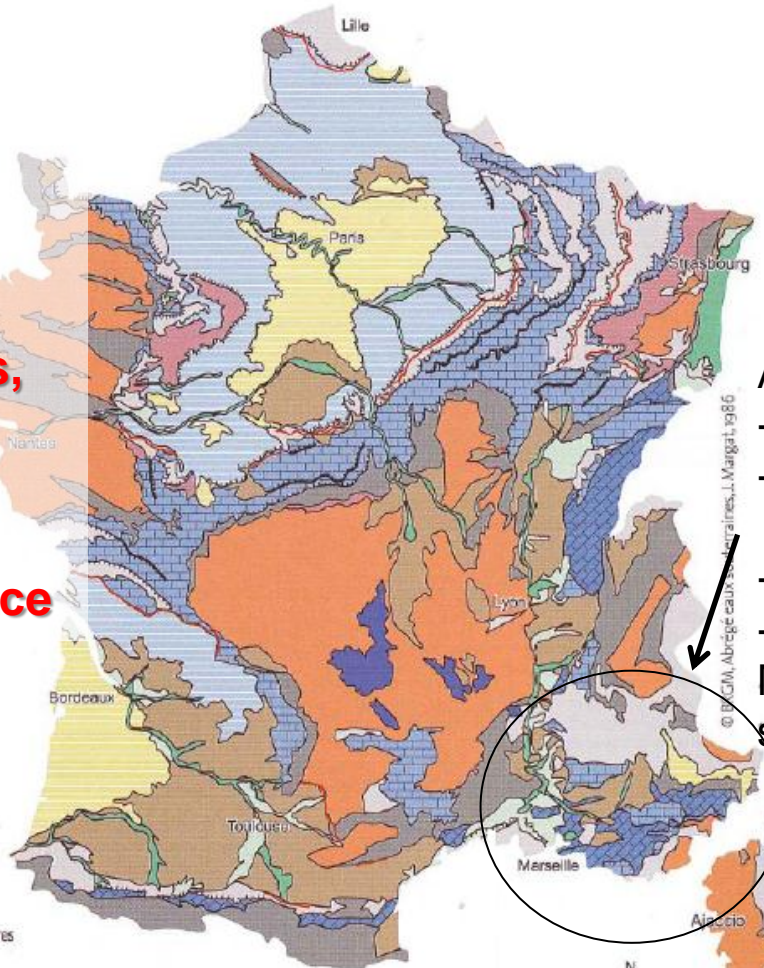


# Les différents aquifères en France

## CARTOGRAPHIE DES AQUIFERES A L'AFFLEUREMENT

**Dans le Sud de la France  
cette ressource est  
cependant souvent  
méconnue (aquifères  
complexes: multicouches,  
karts –souvent sous  
couverture, volcaniques,  
socle...  
=> Besoin de connaissance**

- Autres aquifères graveleux, déjections, terrasses étagées
- Aquifères multicouches, à nappes libres en surface et plusieurs nappes captives profondes
- Aquifères à nappes libres et microfissurés (craie)
- Aquifères carbonatés discontinus fissurés et plus ou moins karstiques tabulaires à nappe libre
- Aquifères siliceux ou détritiques (sables, grès, conglomérats) tabulaires à nappe libre
- Zone d'affleurement de faible largeur
- Formations semi-perméables capacitives (sables argileux, molasses, marnes)
- Aquifères carbonatés discontinus et compartimentés plus ou moins karstiques, plissés et fracturés
- Domaine composite à structure plissée et/ou fracturée à aquifères locaux libres ou captifs, et formations peu aquifères
- Aquifères discontinus des roches cristallines intrusives ou métamorphiques fracturées
- Aquifères hétérogènes, poreux ou fissurés, des roches volcaniques récentes
- Domaine sans aquifère libre mais à aquifère profond possible, ou sans aucun aquifère étendu



Aquifères très diversifiés:

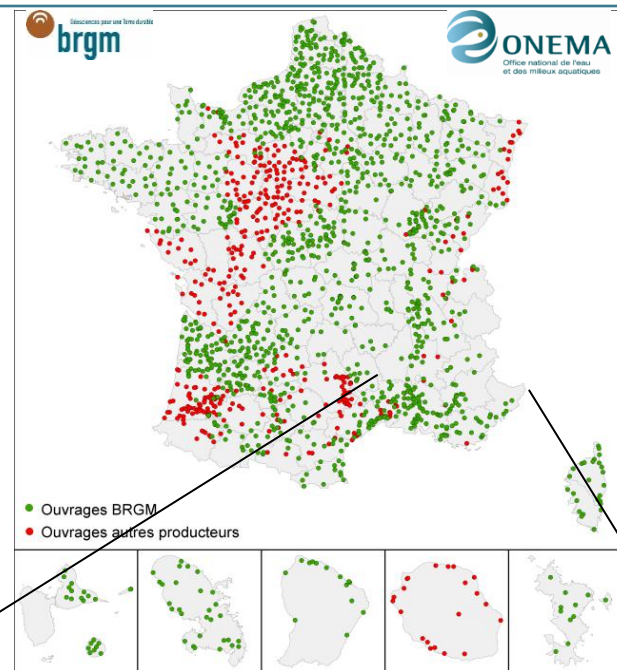
- Karsts
- Couvertures sédimentaires
- socle
- Alluvial

Mais beaucoup de karsts sous couverture

# Le suivi des aquifères

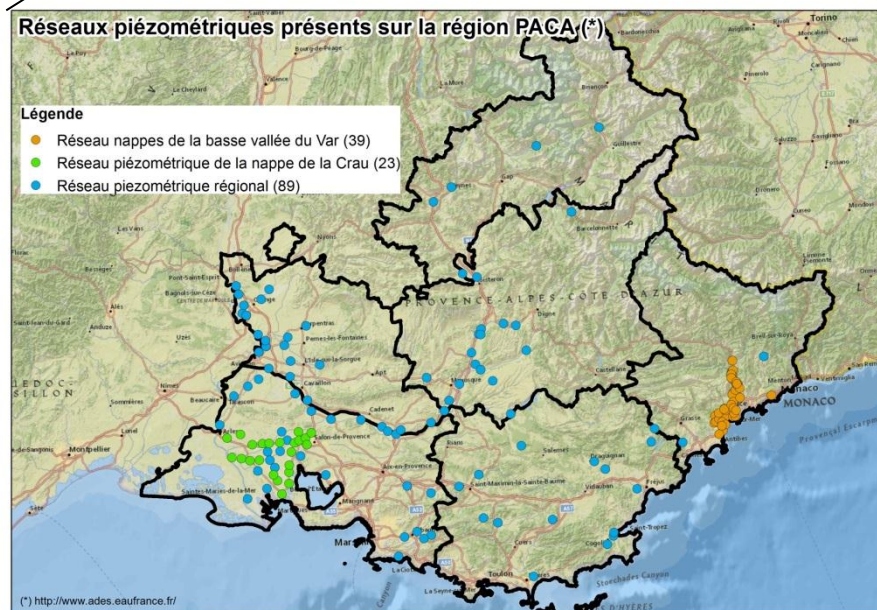
## Le réseau piézométrique national

- > Le réseau national DCE (1700 ouvrages)  
dont réseau sous MO BRGM (1428 ouvrages)
- > Une présence régionale du BRGM
- > Un réseau homogène avec des  
procédures identiques : mise en place d'un  
DAQ (Document d'Assurance Qualité)  
en 2011 – de l'acquisition à la validation,  
qualification et téléchargement sous ADES



## Accès aux Données sur les Eaux Souterraines du niveau national au niveau régional

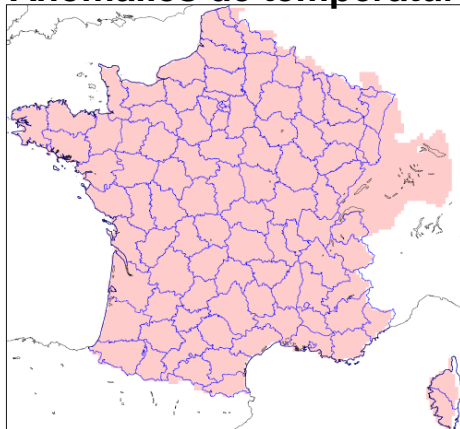
- > Plus de 74 500 points d'eau
  - 4 491 piézomètres (mesure du niveau d'eau)
  - 70 051 qualitomètres (stations relatives à la qualité de l'eau)
- > soit plus de 9,8 millions de mesures de niveaux d'eau !
- > et 37 millions d'analyses d'eau !



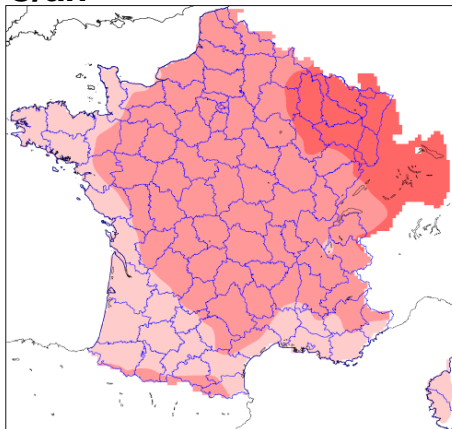
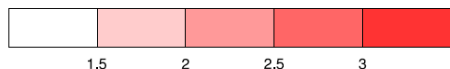


# Changement climatique ? Projection 2046-2065

## Anomalies de température en °C/an



Période estivale (juin-juillet-août)



Période hivernale (Déc. Janv. Fév.)

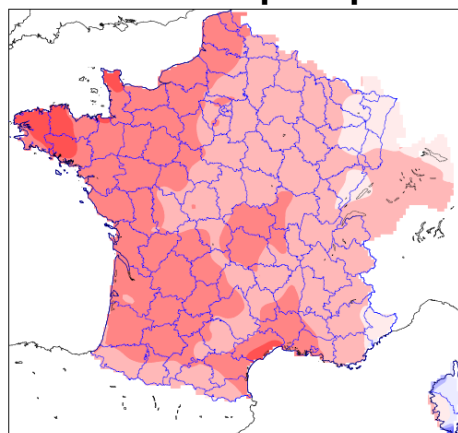


Le document de référence depuis les 5 dernières années en France (CERFACS)

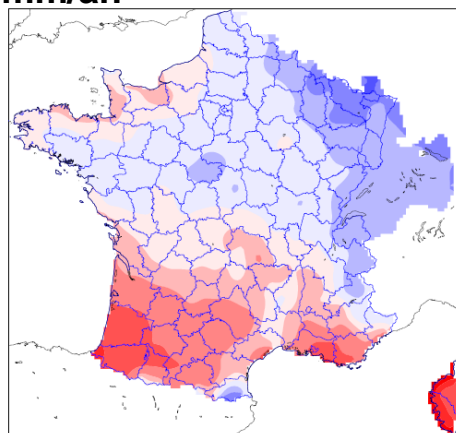
## Les tendances de l'impact du CC:

- **Température : hausse systématique**
- **Précipitations: baisse surtout sur la partie Sud**

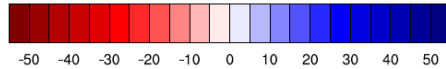
## Anomalies de précipitation en mm/an



Période estivale (juin-juillet-août)



Période hivernale (Déc. Janv. Fév.)



Moyenne multi-modèles des anomalies de précipitation et température pour la période 2046-2065 par rapport à la climatologie 1961-1990. Modèles: ceux du GIECC & 7 simulations ARPEGE V4.

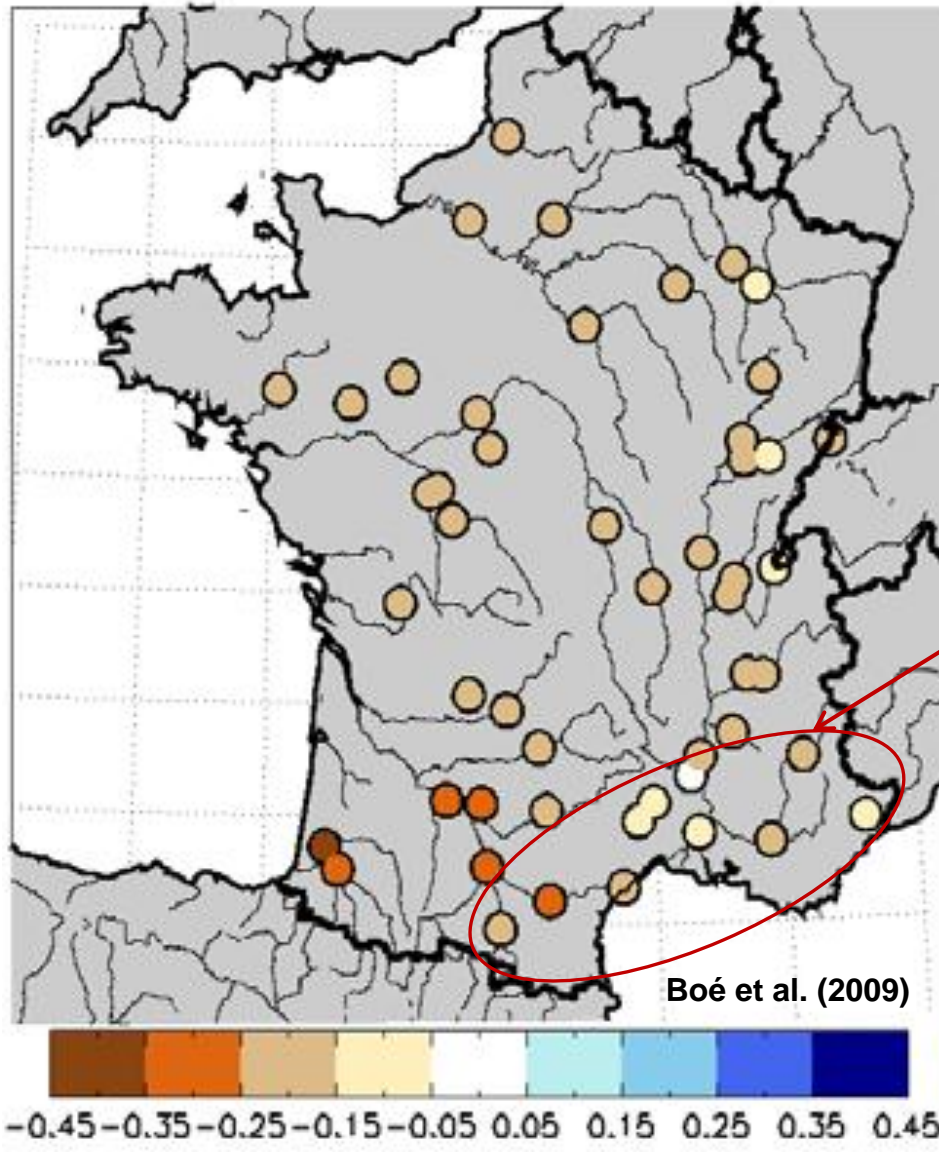
### Source:

Nouvelles projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21ème siècle : les scénarii (SCRATCH2010).

CERFACS: Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique.

# Changement climatique : impact sur les eaux de surface ?

## Projection 2050



**2050: diminution des écoulements annuels**

**-30 à -5%**

(Attention: résultat d'un seul modèle)

**Quid de l'impact sur les captages d'eaux de surface et plaines alluviales?**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

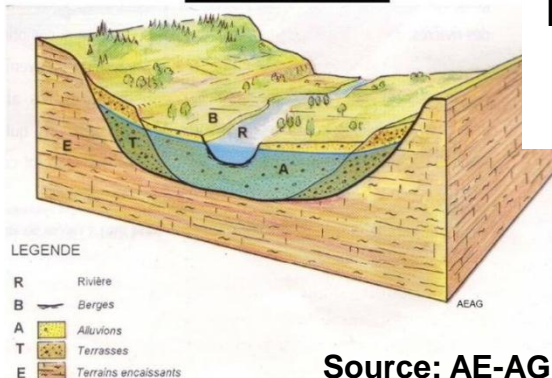


# Changement climatique, et sur les eaux souterraines ?

## Tout dépend du type d'aquifère

**Aquifères sédimentaires, volcaniques,  
socle ?  
incertitudes**

Une nappe alluviale

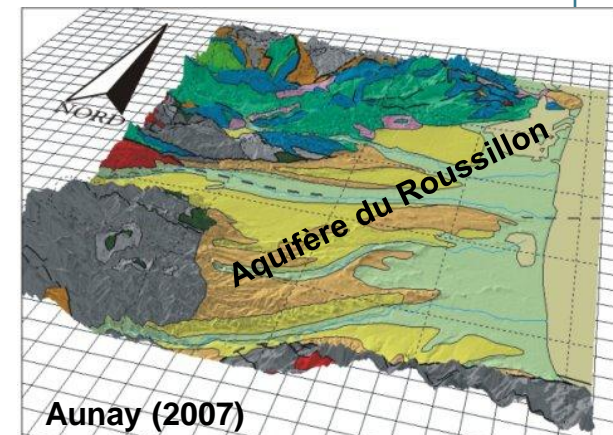
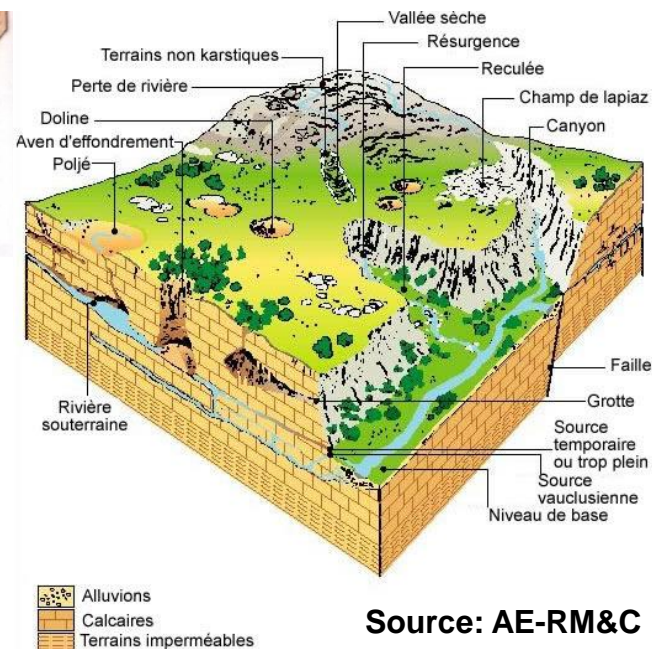


Source: AE-AG

Alluvial ~ rivières

**Plus les aquifères sont  
complexes, plus les  
impacts du CC sont  
difficiles à estimer**

**Karst fortement impacté ~ rivières  
mais gestion possible (Lez)  
=> Gestion active**



# Impacts du CC sur les eaux souterraines

## > Elévation de température :

- => évapotranspiration : + 10 à 15%

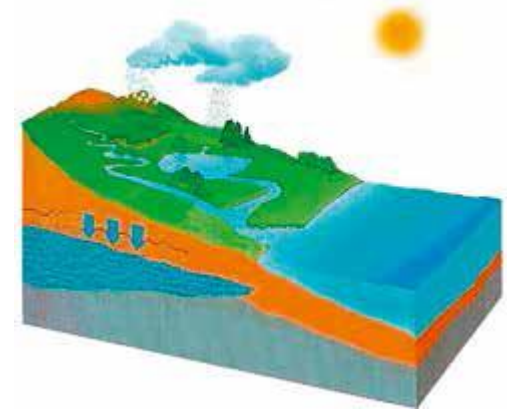
+

## > Diminution de la pluviométrie

=

## > Diminution de la pluie efficace (>20%)

**=> diminution de la recharge  
(& des écoulements de surface)**

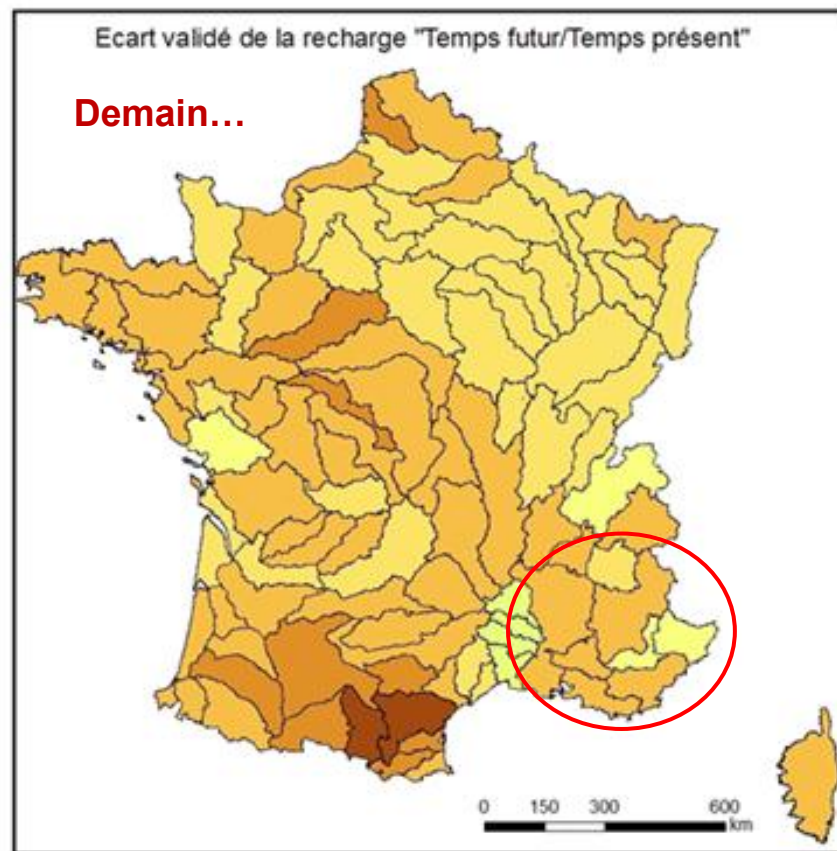
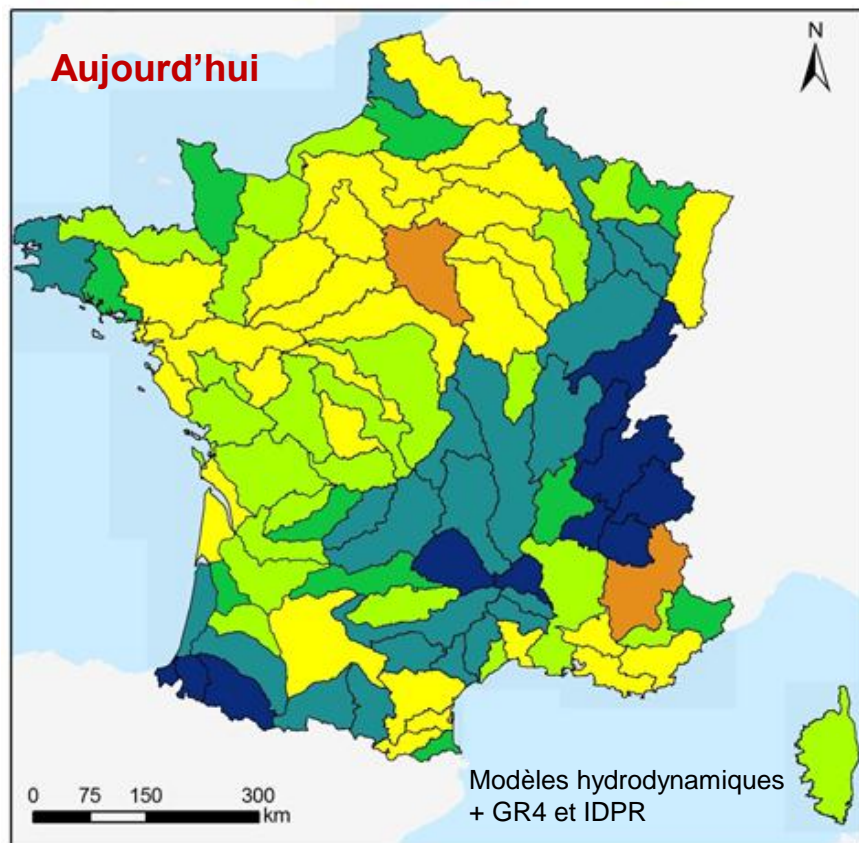


Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



# Impacts du CC sur la recharge



Variation moyenne de la recharge (en %)

**Hausse**

- Entre 10 et 30
- Entre 0 et 10

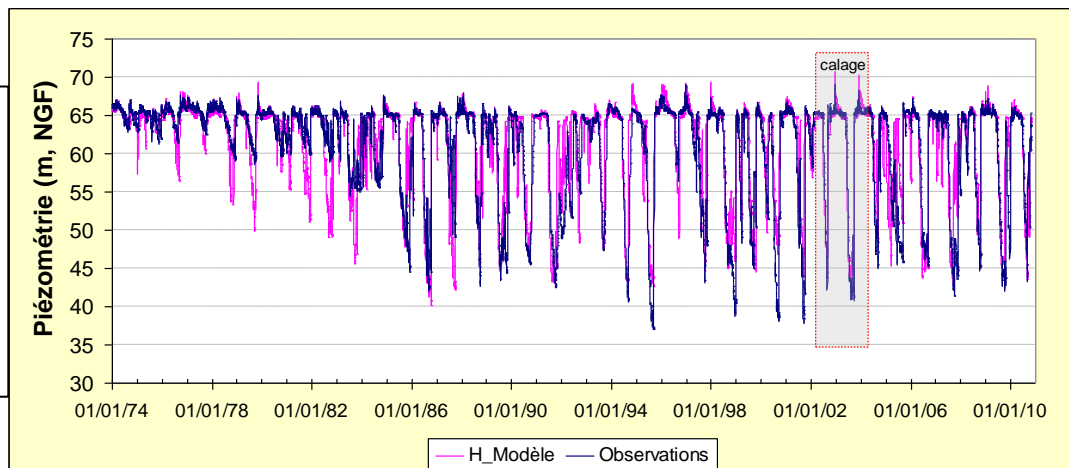
**Baisse**

- Entre -10 et 0
- Entre -20 et -10
- Entre -30 et -20
- Entre -40 et -30
- Entre -50 et -40
- > -50

# Impact du changement climatique sur la ressource

## Source karstique du Lez Montpellier

Simulation de  
l'évolution de la  
piézométrie des  
40 dernières  
années

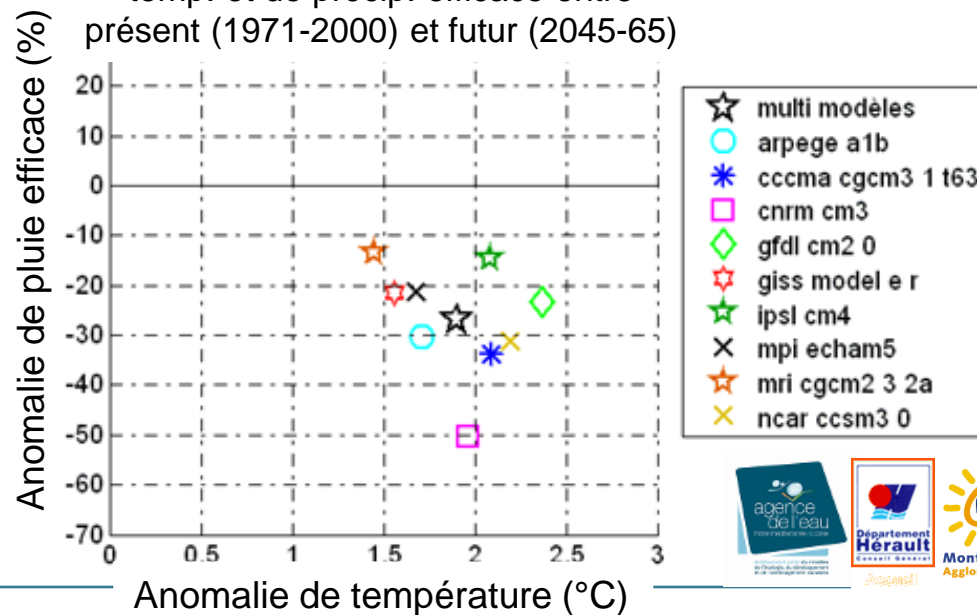


9 sorties de modèles  
climatiques pour le scénario  
d'émission de GES **A1B**:  
qualifié de « médian »

$\Delta T$ : entre  $+1,5^{\circ}\text{C}$  et  $+2,3^{\circ}\text{C}$

$\Delta P_{\text{eff}}$ : entre -50 et -10%

Anomalies moyennes annuelles de  
temp. et de précip. efficace entre  
présent (1971-2000) et futur (2045-65)

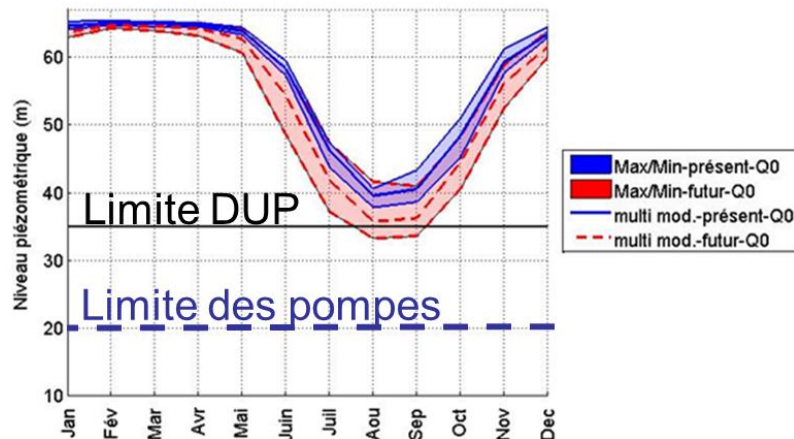




# Impact du changement climatique sur la ressource

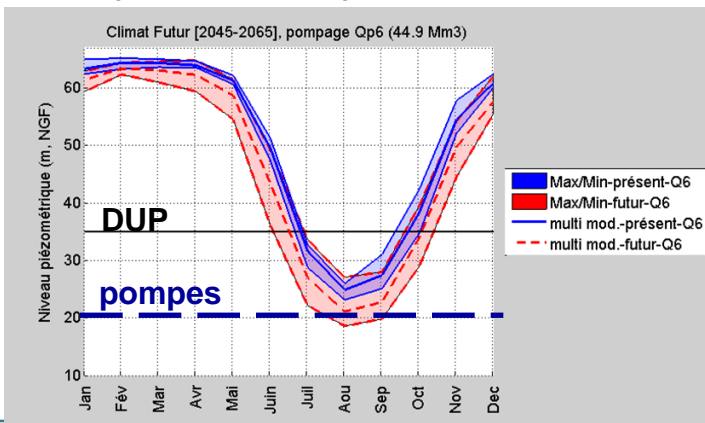
## Source karstique du Lez Montpellier

Comparaison des situations au présent et au futur avec le prélèvement actuel ( $Q_0 = 33 \text{ Mm}^3/\text{an}$ )



- ✓ Impact sur le niveau piézo en étiage  
=> problème par rapport à la DUP
- ✓ Capacité importante de ce type d'aquifère à se recharger.
- ✓ Quid des autres aquifères?

Prélèvement futur ( $Q = 44,9 \text{ Mm}^3/\text{an}$ ; +36%)  
On compare climats présent et futur



- ✓ Importance non-négligeable de la future demande sur les niveaux, plus importante, dans ce cas, que le CC

# Les effets du CC sur les eaux souterraines : probables impacts



- > **Baisse de la recharge de 10 à 25% en moyenne**
  - Bassin de Loire (-25 à -30% sur moitié de son bassin versant)
  - Sud-Ouest de la France : -30 à -50%
  - Sud-Est: +10% (Rhône) à -40%
  
- > **Baisse variable des niveaux piézométriques moyens mensuels**
  - 0,5 à 1 m (Aquitaine Poitou) et plaines alluviales
  - 10 m sur plateaux et bordures bassins sédimentaires
  - Sud-Est: hausse probable pour les alluvions du Rhône, baisse pour le reste
  
- > **Baisse des débits moyens mensuels des cours d'eau (diminution des débits d'étiage & stagnation voire une légère baisse des débits hivernaux)**
  - 10 à 40% dans moitié nord de la France
  - 30 à 50% dans la moitié sud (localement 70%), étiages plus longs avec débits plus faibles

**Attention ces résultats sont emprunts de beaucoup d'incertitudes (issus de plusieurs modèles, plusieurs modèles de climat...)**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Les effets du CC sur les eaux souterraines : probables impacts



## > Surélévation du niveau marin

- Invasion saline des aquifères côtiers, accentuée par la pression démographique sur le littoral
- Salinisation des zones estuariennes et zones de marais

## > Plus de sécheresses, plus d'événements catastrophiques : sécheresse des nappes, inondation (crues karstiques)

## > En résumé

- Variation de la ressource en eau souterraine à l'horizon 2070 de +10 à – 30% (scénario optimiste) de -20 à -55% pour les scénarios pessimistes !
- Baisse des débits d'étiage & allongement des durées d'assecs
- Faible impact des prélèvements qui globalement évolueraient peu, hormis localement.





# Les tensions sur la ressource et les usages

## Les problèmes

- Augmentation des usages inévitables (AEP, agriculture, industrie)
- Le CC entrainera une baisse des débits des cours d'eau => adaptation des usages=> potentiel dévpt des eaux souterraines

## Augmentation des tensions sur les prélèvements

**L'eau souterraine est une ressource alternative en  
PACA**

# Les tensions sur la ressource et les usages

## Gestion des tensions

> **Pleine intégration des eaux souterraines dans la gestion**

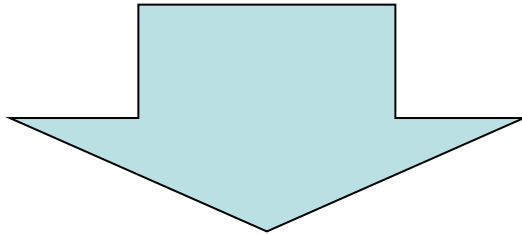
> **Instruments de régulation des prélèvements:**

- une partie de la solution proviendra de la technologie (satellites, compteur télétransmis...)
- Réglementation et instruments économiques (tarification, pénalités [malus], incitation [bonus])
- Gestion collective (organisation d'association d'usagers pour gérer les tensions en interne), gestion concertée
- Quid des forages individuels (ménages, agricoles)? => déséquilibre quantitatif + possibilité de contamination de la ressource

# Conclusion

- > Les aquifères du sud de la France (méditerranée) sont complexes, et pas toujours, pas suffisamment, bien connus

=> Grand besoin de connaissances pour mieux comprendre leur fonctionnement, mieux faire face au changement climatique (et aussi au changement global)



- > Besoins de modèles de gestions couplés (hydrogéologiques & socio-économique) pour préciser les impacts du CC (et CG) et prendre les bonnes décisions
- > Besoins instruments de contrôle/régulation des prélèvements



Géosciences pour une Terre durable

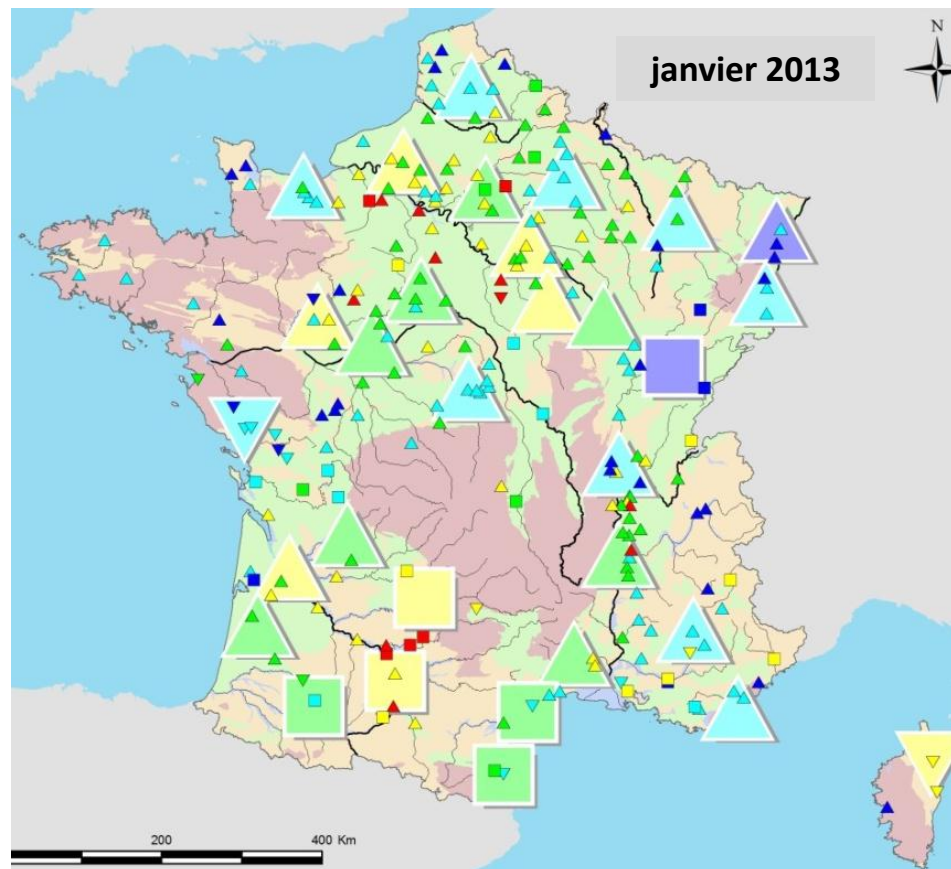
**brgm**





# Valorisations scientifiques des réseaux piézométriques Niveau National

Bulletin de situation  
hydrologique  
-BSH-



Par rapport aux 10 ans précédents

- Très supérieur à la normale
- Supérieur à la normale
- Niveau normal
- Inférieur à la normale
- Très inférieur à la normale

Evolutions récentes

- En hausse
- Stable
- En baisse



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Valorisations scientifiques des réseaux piézométriques mais aussi par les acteurs locaux...



## Bulletin sur l'état quantitatif des eaux de la nappe de la Crau

Période Décembre 2013 – Décembre 2014



Direction de l'Environnement et de la Gestion des Risques – Service Eau Déchets Énergies

## SUIVI DES NAPPES SOUTERRAINES DE LA BASSE VALLÉE DU FLEUVE VAR

Bulletin de janvier à mai 2015

En partenariat avec le Syndicat Intercommunal de l'Estéron et du Var Inférieurs (SIEVI), la Métropole Nice Côte d'Azur (MNCA), le Syndicat Intercommunal du Littoral de la Rive Droite du Var (SILRDV) et la Société des Aéroports de la Côte d'Azur (SACA).



ible

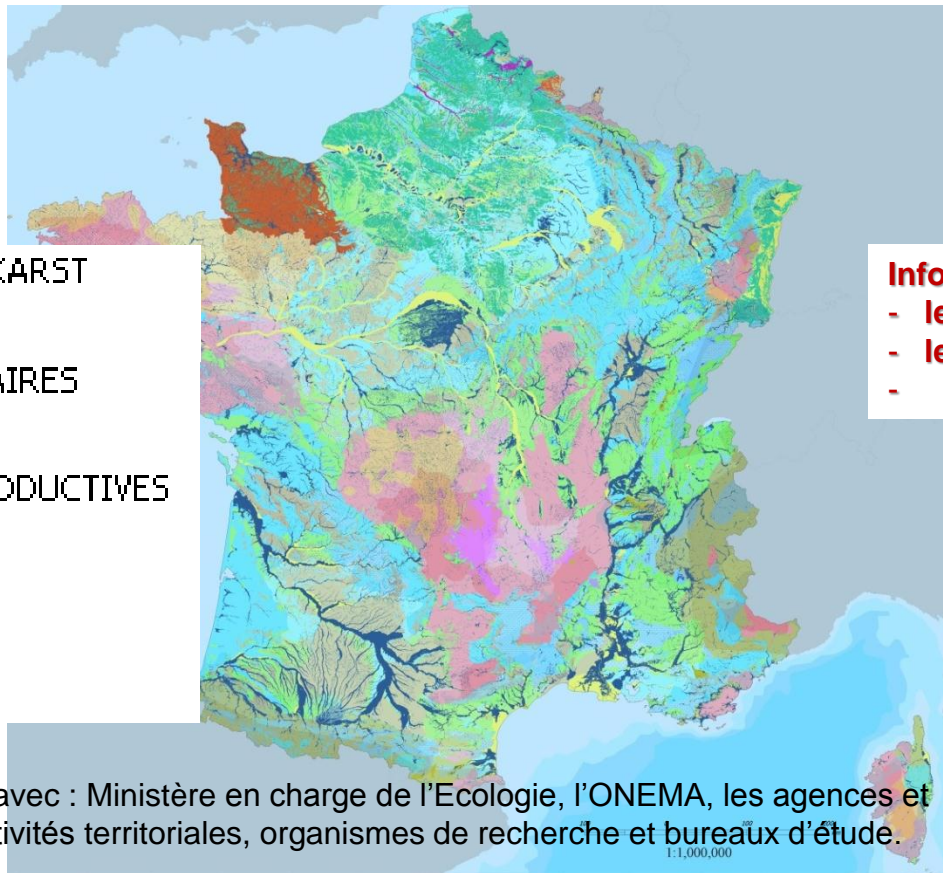
brgm



# Les informations sur les aquifères

## Le référentiel hydrogéologique français BD LISA (Base de Données sur les Limites des Systèmes Aquifères)

Un outil national permettant de localiser les données relatives à l'eau souterraine



### Information sur:

- les types d'aquifères,
- les points d'eau, piézomètres...

**Mais aussi, les masses d'eaux souterraines (MESO) du SDAGE**



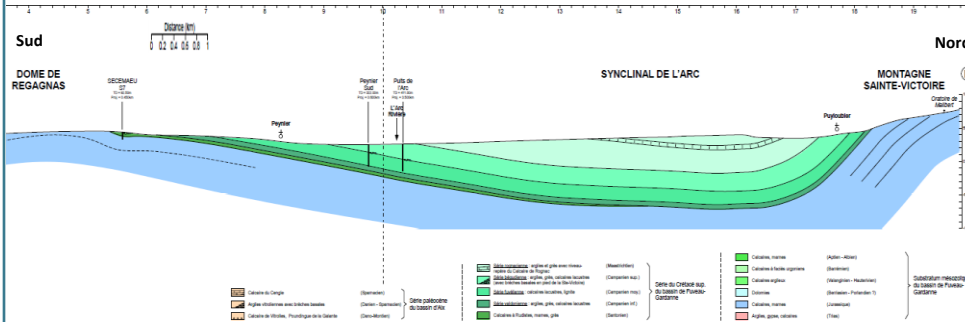
Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# En PACA sites remarquables (non exhaustifs!) pour les eaux souterraines

- > Bassin d'Aix \_ Aquifère Crétacé Jurassique d'une capacité très importante, > 1km d'épaisseur!

projet R&D BRGM-SCP (pompage dans les puits de l'Arc: >1 m<sup>3</sup>/s)



- > Entraigues (SIAE-Commune Vidauban) : Projet Service Public pour améliorer la compréhension du système fracturé-karstique et voir si une augmentation des prélèvements et envisageable sans impacter de façon significative le milieu (cours d'eau aquifère)

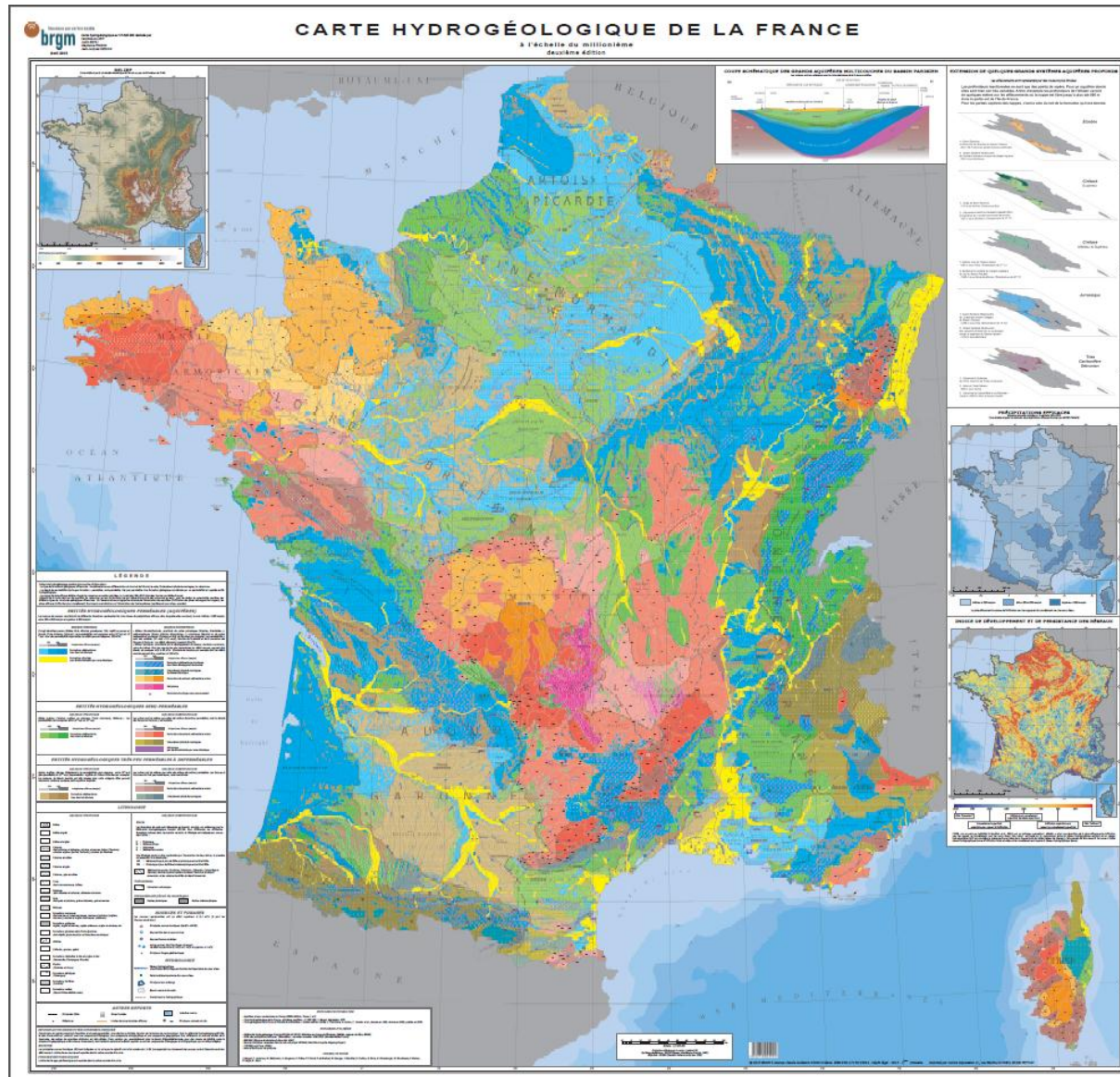


Pompage actuel env. 185 l/s

**=> Augmentation de la connaissance de ces aquifères karstiques**



# La carte hydrogéologique de la France (Edition 2015)



sciences pour une Terre durable

**brgm**