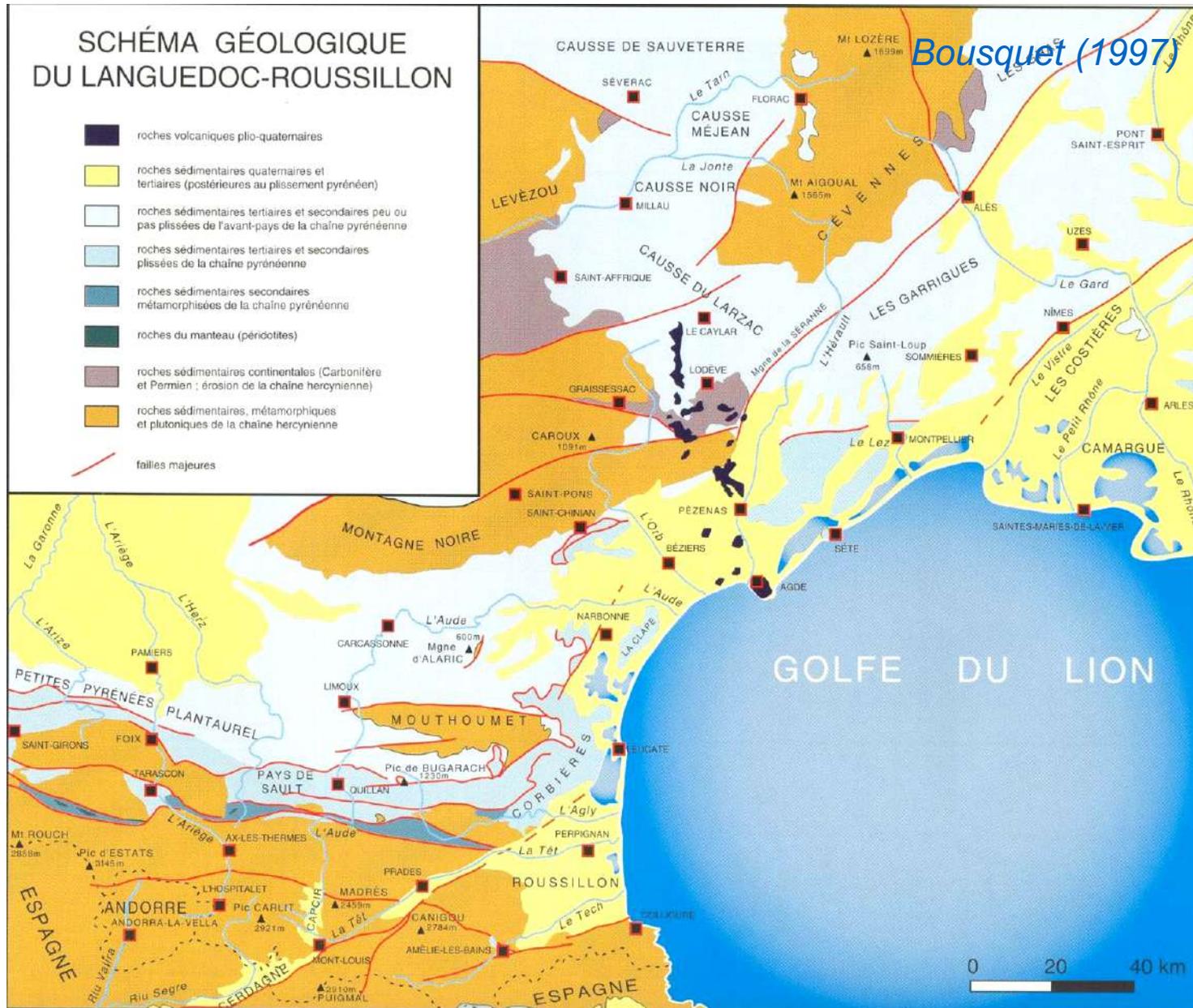


Le stockage de l'eau et les ressources en eaux souterraines disponibles face au changement climatique

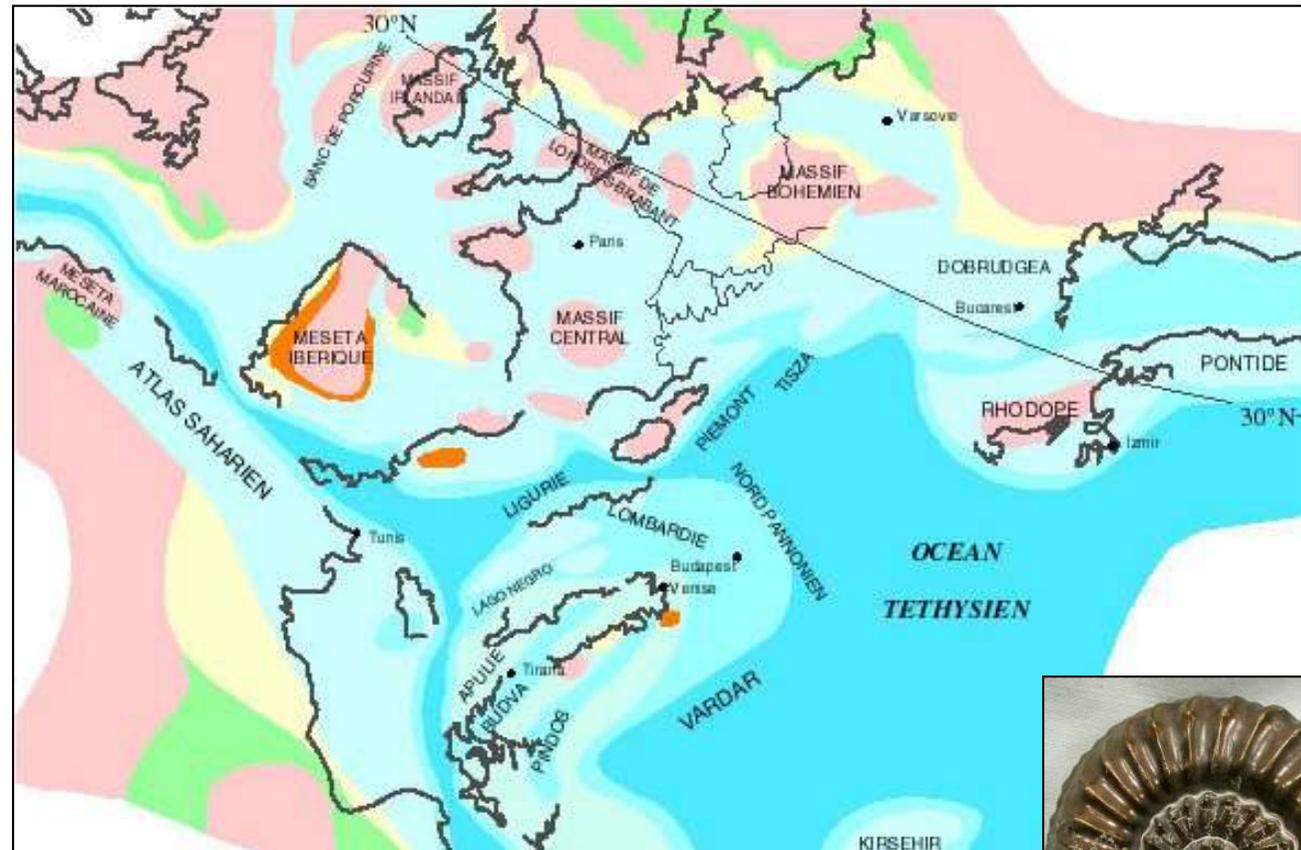


Séverin Pistre
Professeur HydroSciences - UM

Mercredi 30 Septembre 2020

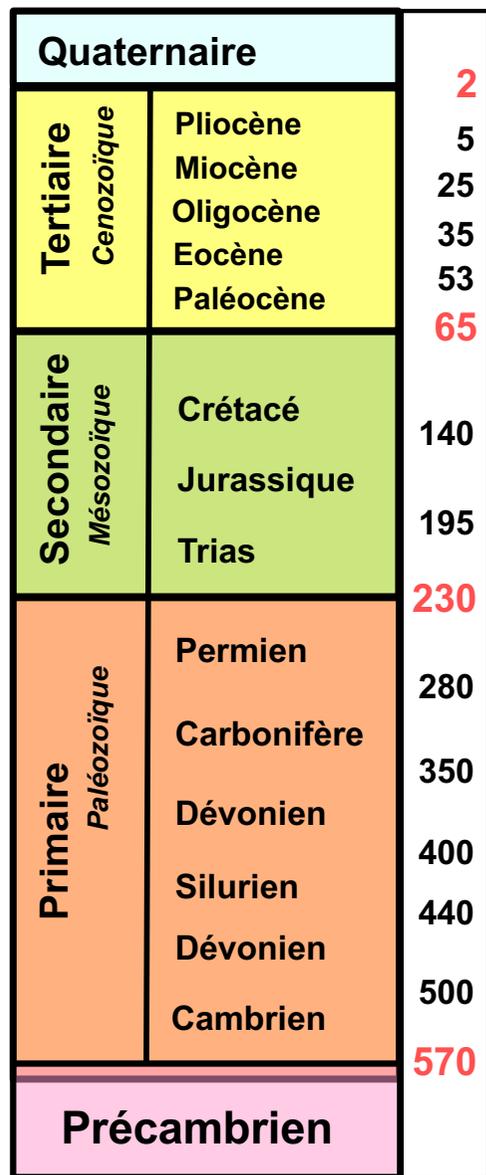


Quaternaire		
Tertiaire <i>Cénozoïque</i>	Pliocène	2
	Miocène	5
	Oligocène	25
	Eocène	35
	Paléocène	53
		65
Secondaire <i>Mésozoïque</i>	Crétacé	140
	Jurassique	195
	Trias	230
Primaire <i>Paléozoïque</i>	Permien	280
	Carbonifère	350
	Dévonien	400
	Silurien	440
	Dévonien	500
	Cambrien	570
Précambrien		

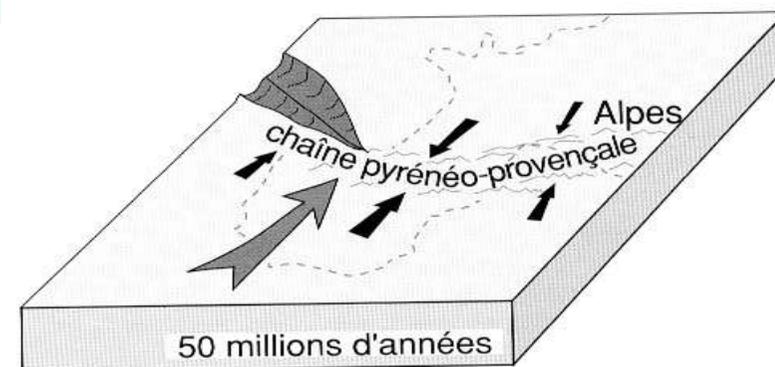


- Fin du Primaire = érosion des reliefs hercyniens
- Début Secondaire = ouverture de la Thétys
- Jurassique = période calme = dépôts marins surtout carbonatés

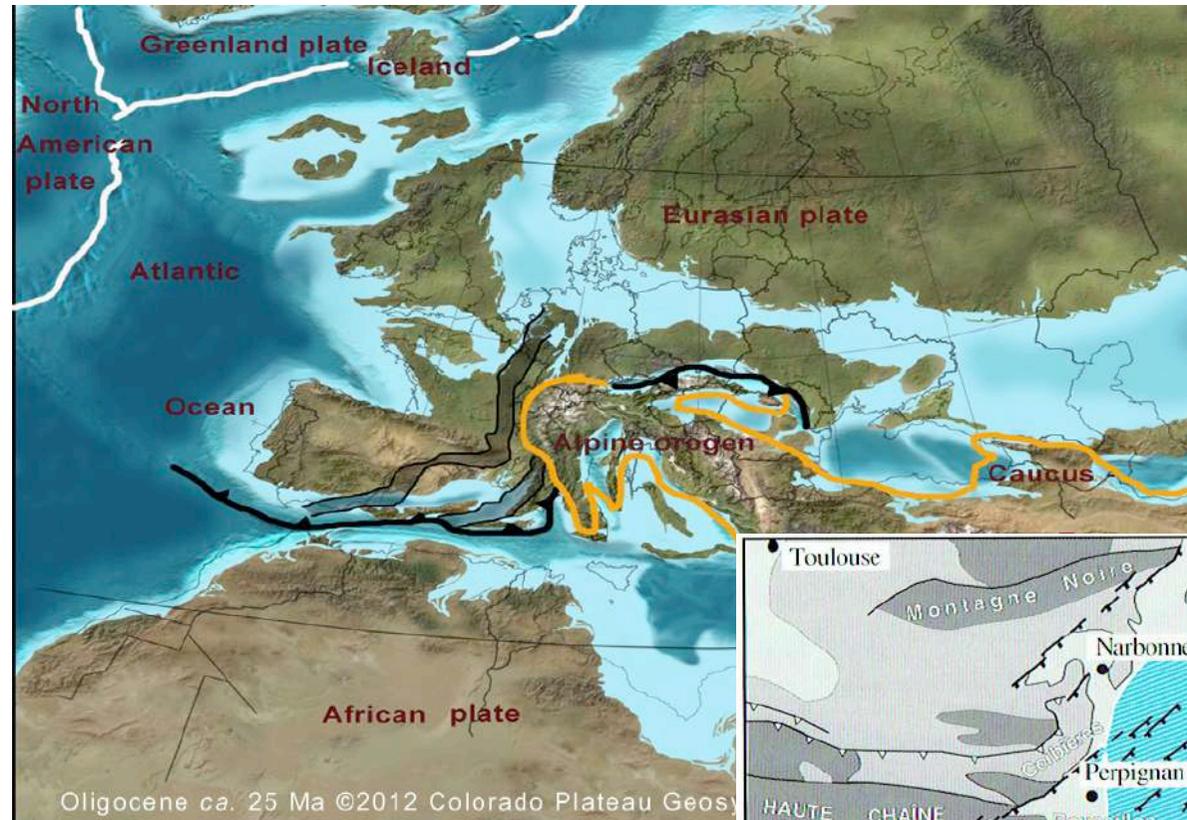
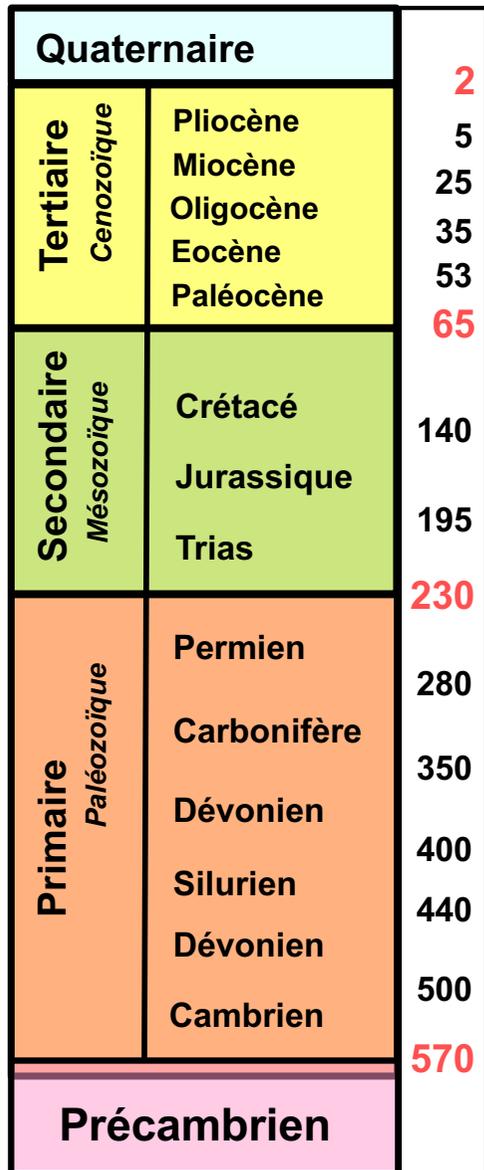
→ **Épaisses séries de roches carbonatées**



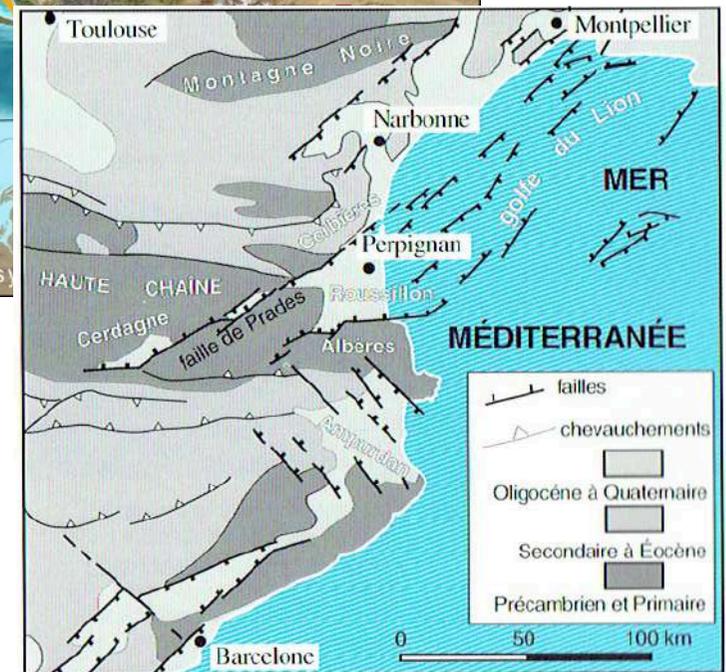
Formation des Pyrénées



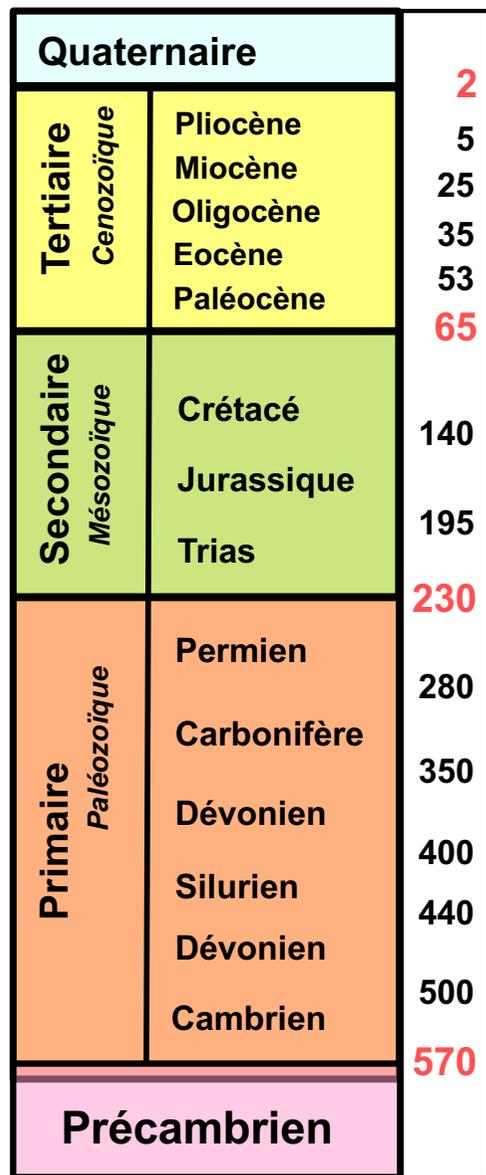
→ Plis, failles, fractures dans les séries Jurassiques



Ouverture du Golfe du Lion



→ Failles, fractures (NE-SW), bassins sédimentaires



← Transgression : Dépôts marins plutôt argileux

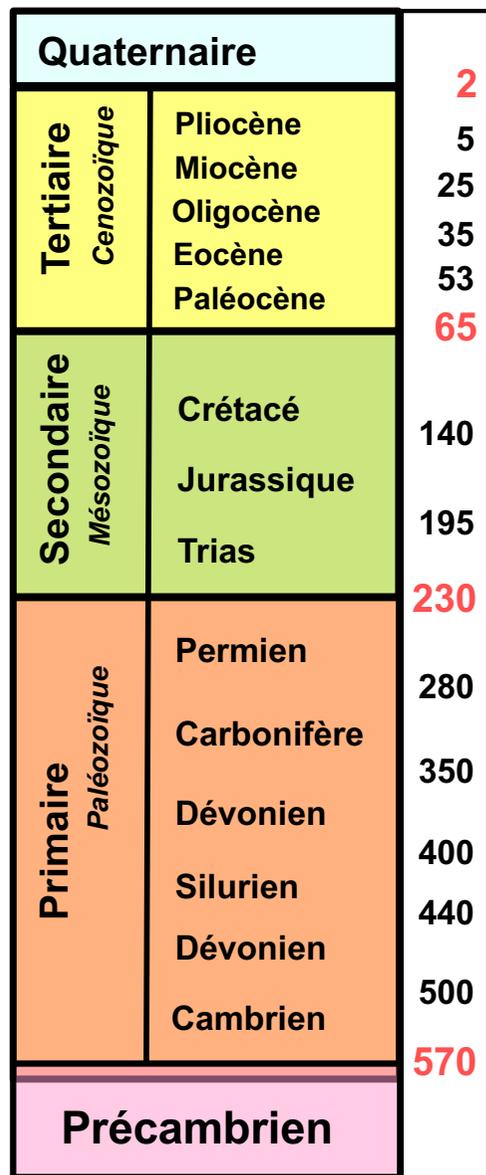
Quaternaire		2
Tertiaire <i>Cénozoïque</i>	Pliocène	5
	Miocène	25
	Oligocène	35
	Eocène	53
	Paléocène	65
Secondaire <i>Mésozoïque</i>	Crétacé	140
	Jurassique	195
	Trias	230
Primaire <i>Paléozoïque</i>	Permien	280
	Carbonifère	350
	Dévonien	400
	Silurien	440
	Dévonien	500
	Cambrien	570
Précambrien		



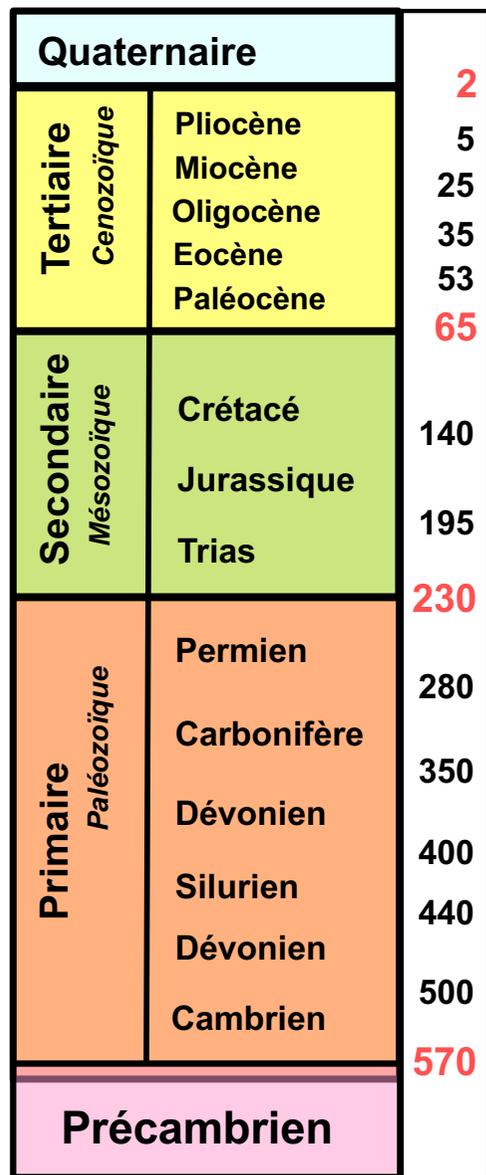
Episode d'assèchement Messinien autour de -6 Ma

Fin Miocène : forte régression

→ Creusement des vallées et karstification profonde



← Dépôts marins argileux puis continentaux sableux (faciès astien)



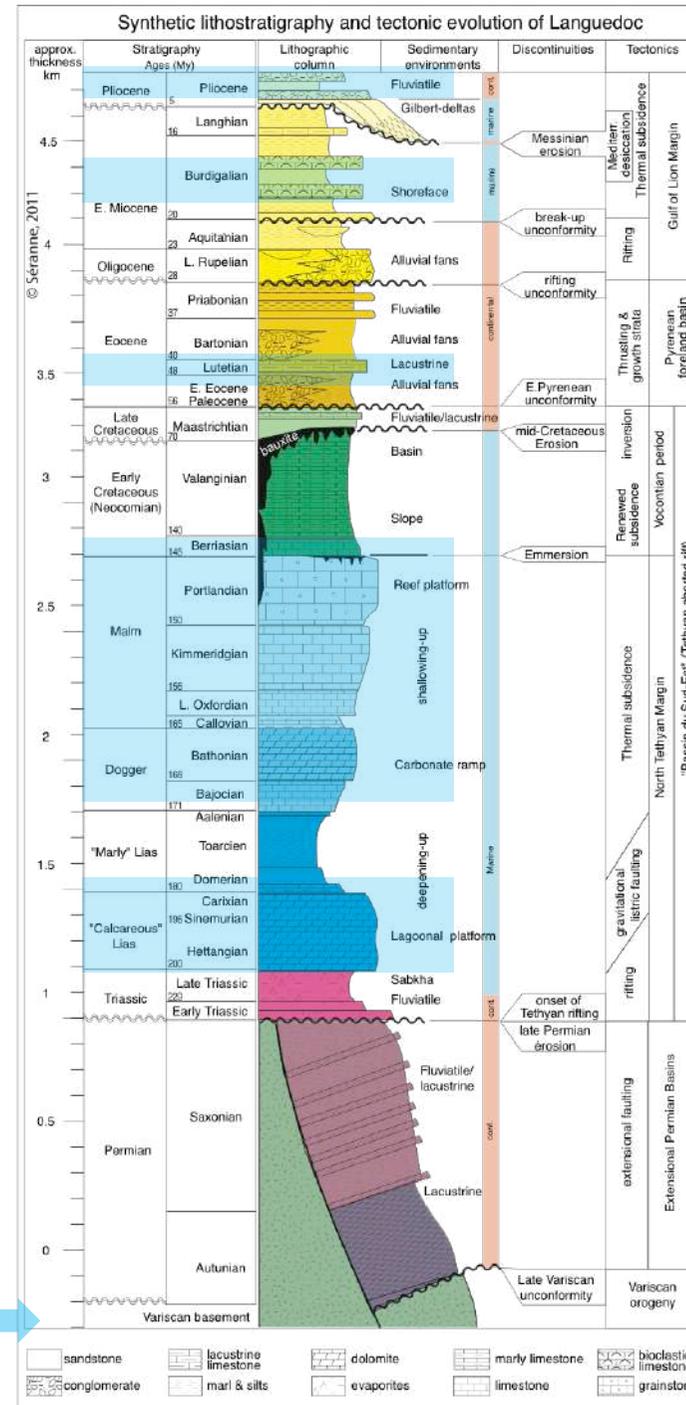
← Creusement des vallées actuelles et dépôt d'alluvions

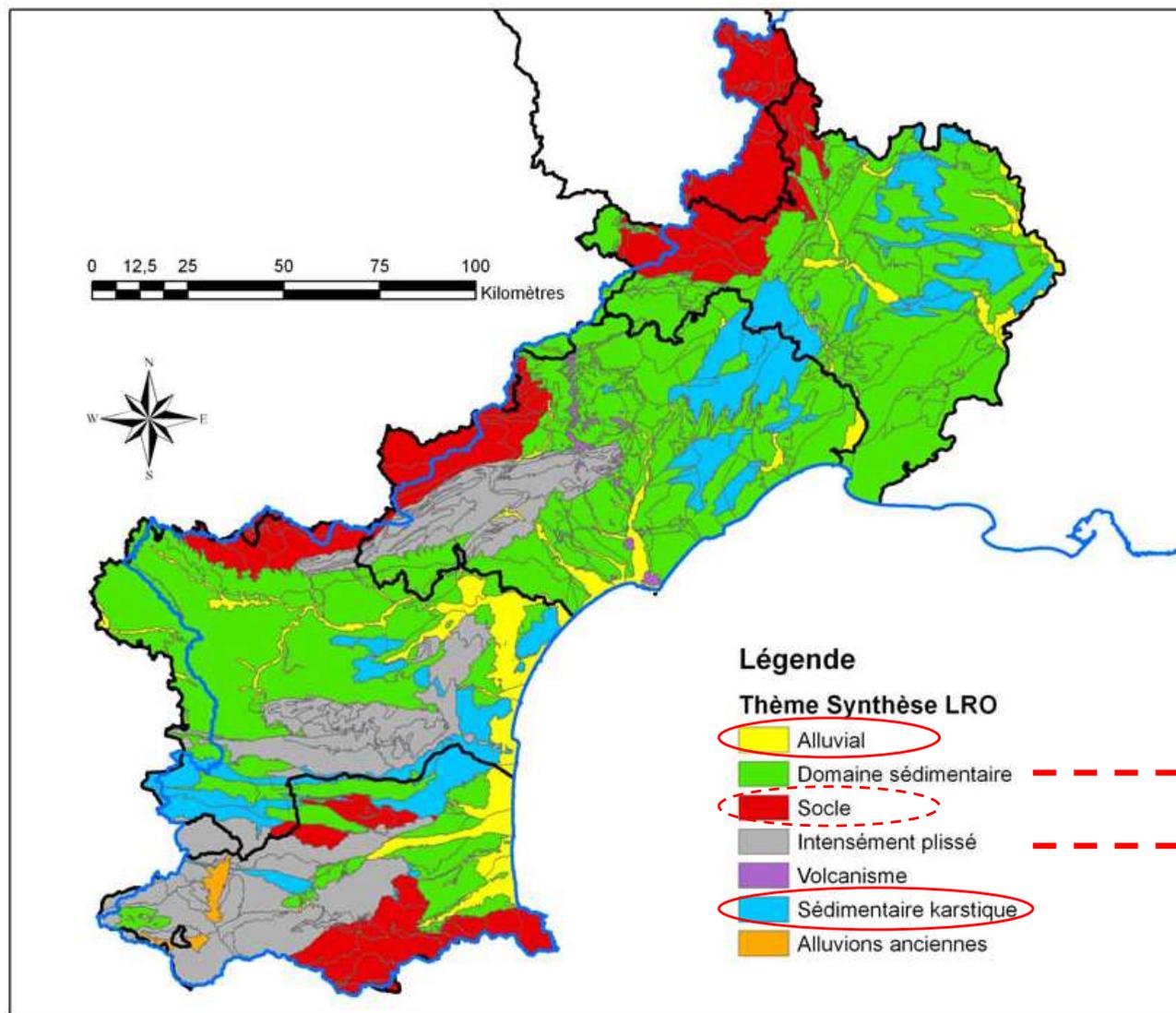
Aquifère :

Domaine souterrain perméable et continu qui constitue un gisement d'eau souterraine.

Sa structure et son fonctionnement dépendent largement de la géologie.

Colonne stratigraphique synthétique du Languedoc-Roussillon

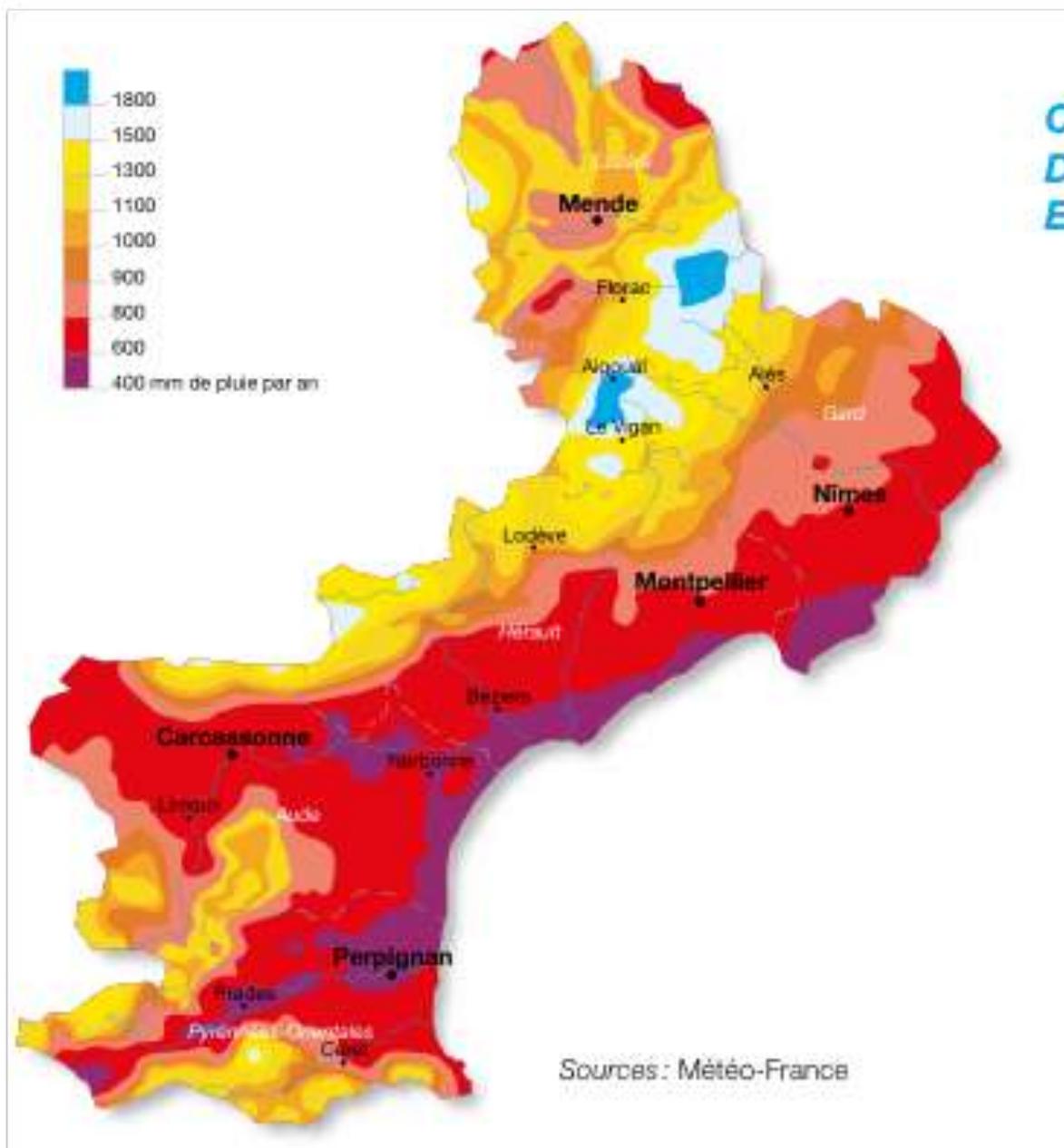




Histoire géologique riche
→ hydrogéologie régionale
variée ... et complexe !

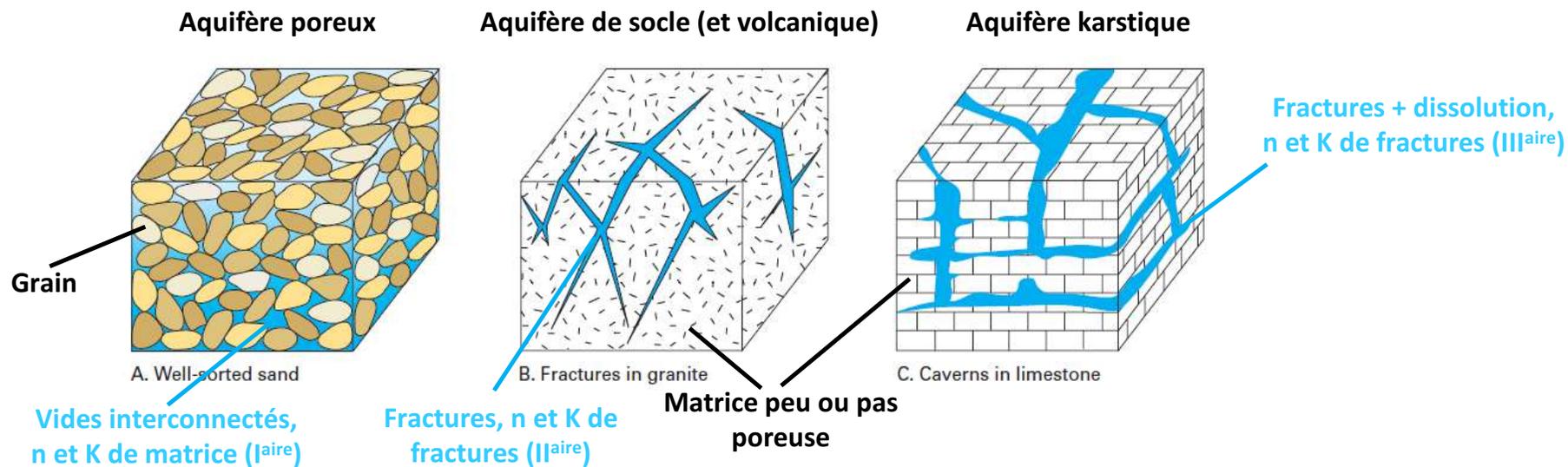
Astien, Pliocène Roussillon...
Monts d'Aude, Conflents,
Avant-Monts..

Carte des grands ensembles aquifères régionaux (rapport BRGM, 2011)



CARTOGRAPHIE DE LA PLUVIOMÉTRIE EN LANGUEDOC-ROUSSILLON

Sources : Météo-France



Aquifère homogène

hétérogène



Transferts

Lents

Rapides

Caractérisation

« Simple »

Difficile

Productivité

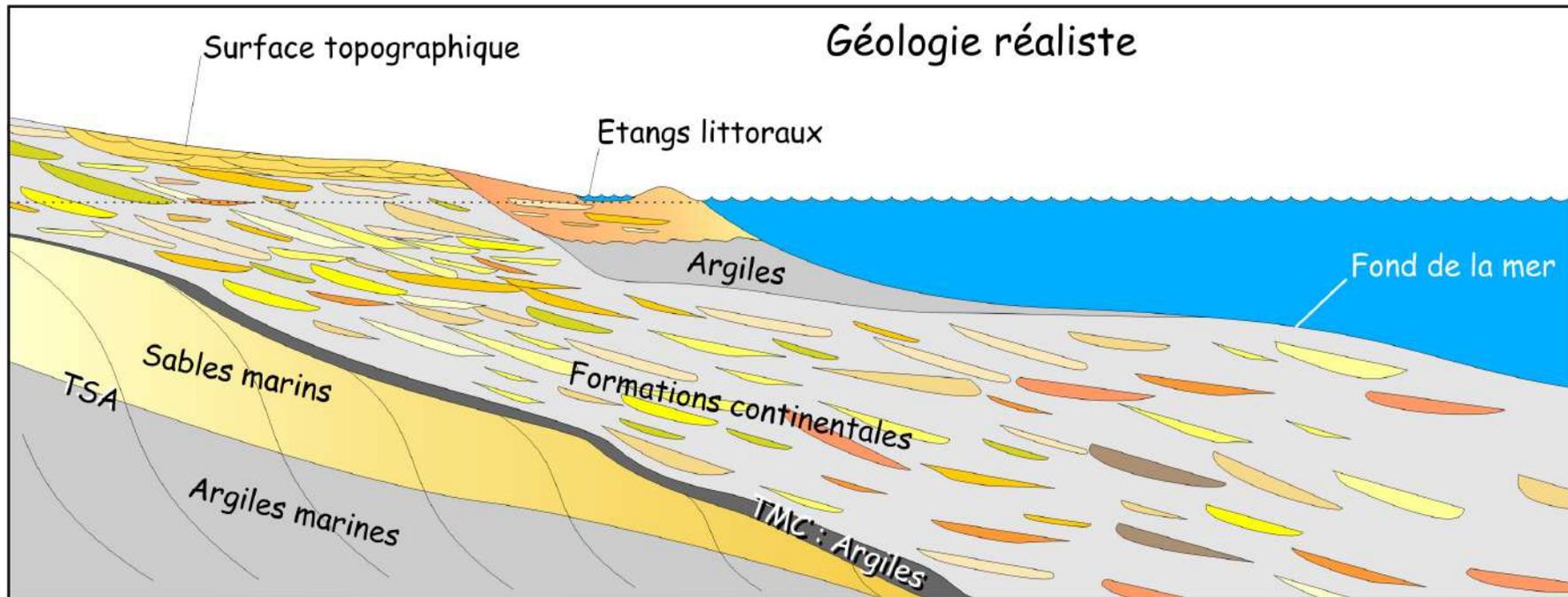
+ à ++

-

+

□ **Principaux types d'aquifères**

- Aquifères poreux → Nappe Villafranchienne, Astienne, Plio-quadernaire Roussillon...
(souvent en contexte littoral)

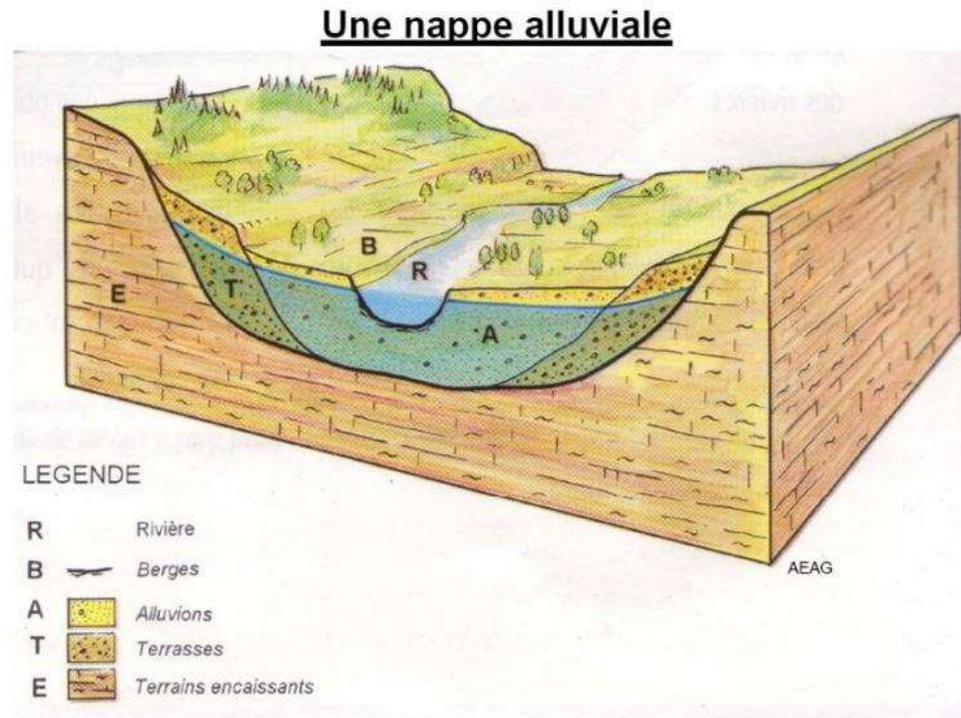


Coupe simplifiée de l'aquifère plio-quadernaire du Roussillon (thèse Aunay, 2007)

→ Débits moyens à bons (50 m³/h)

□ **Principaux types d'aquifères**

- Aquifères poreux : alluvial (Hérault, Orb, Aude, Têt, Tech..)



Recharge = pluie + cours d'eau (crues)



Représentation des relations nappe-rivière

→ Débits bons à très élevés (>100 m³/h)

□ Principaux types d'aquifères

- Aquifère fissuré/fracturé/ de socle : Aigoual-Lingas, Montagne Noire, Quérigut-Millas, ZA Pyrénées..

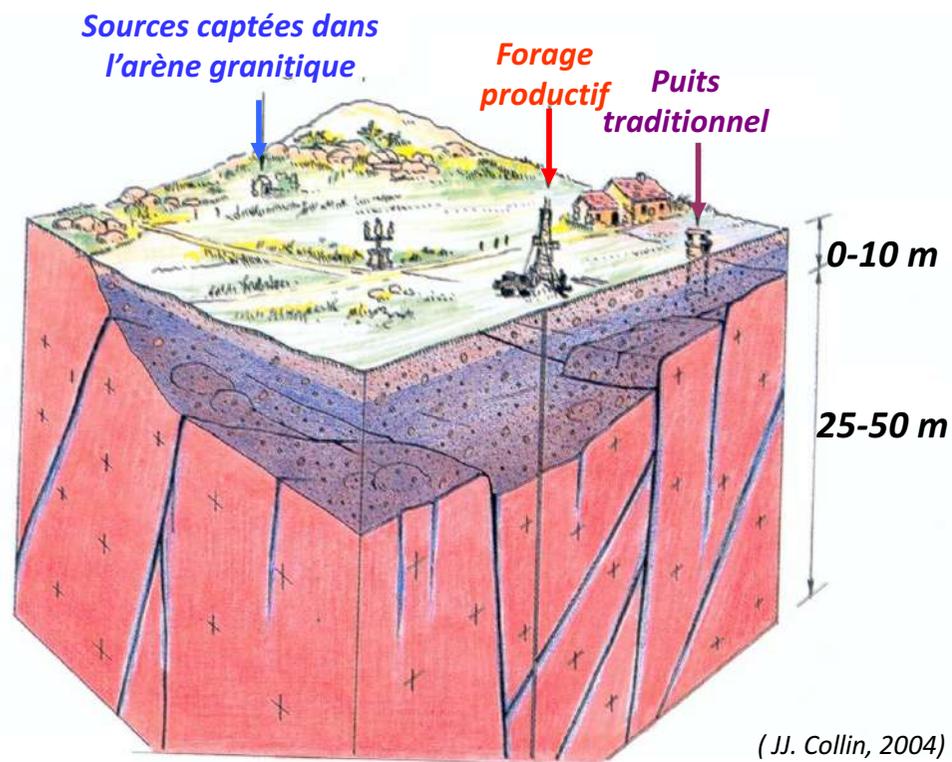
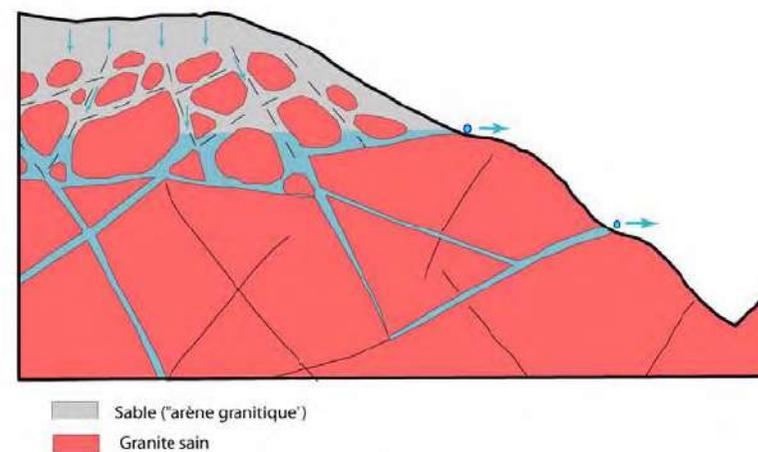
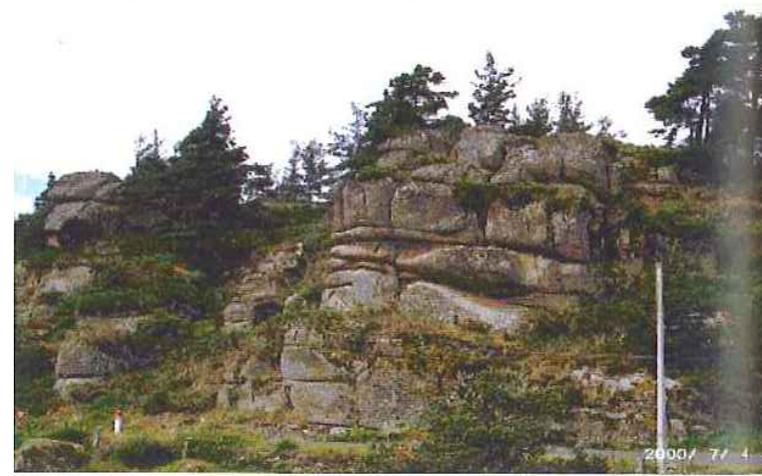


Schéma conceptuel du milieu fissuré



→ Débits faibles à moyens (>10 m³/h)

□ Principaux types d'aquifères

- Aquifère karstique : Causses, Corbières, Minervois, Lez-Mosson, Garrigues, Pli-Montpellier, Pays de Sault...

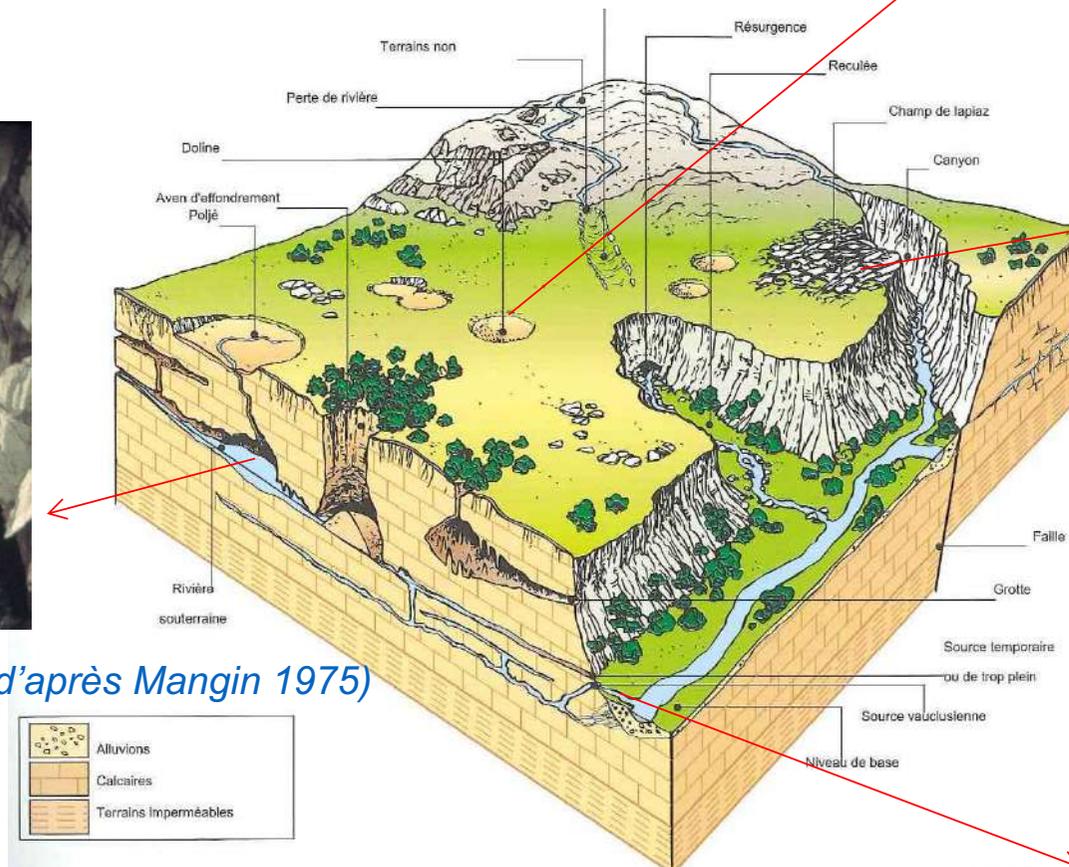
⇒ Organisation des vides contrôlée par la circulation de l'eau



Doline



Rivière souterraine



(d'après Mangin 1975)



Lapiaz

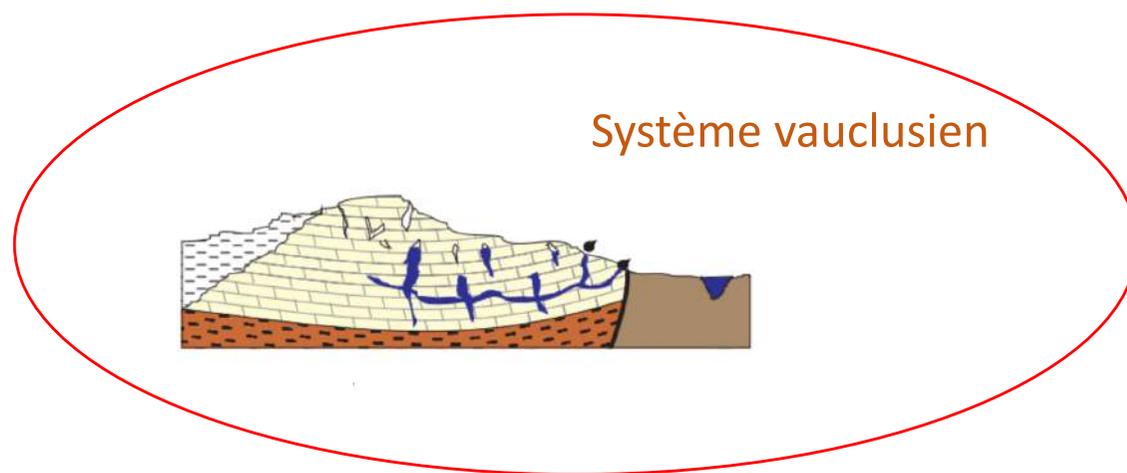
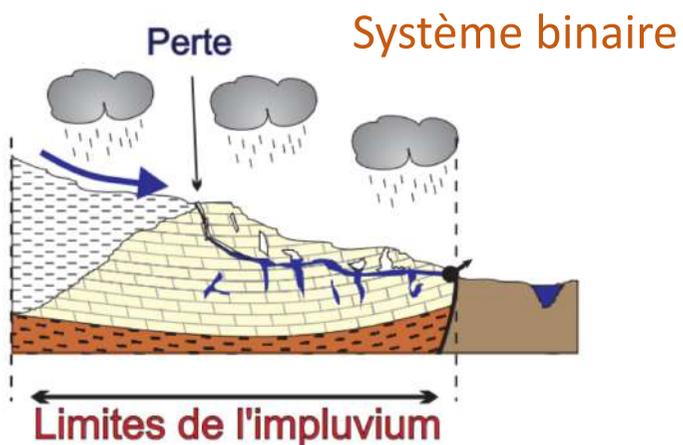
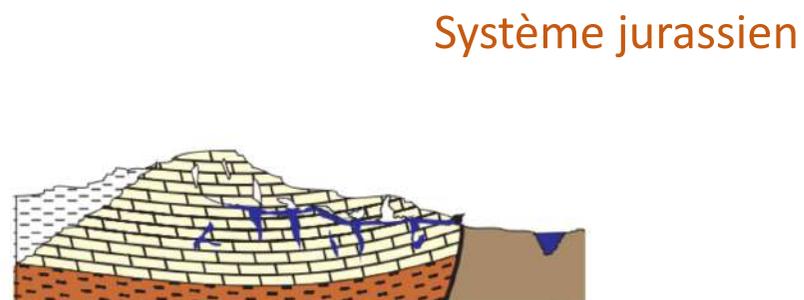
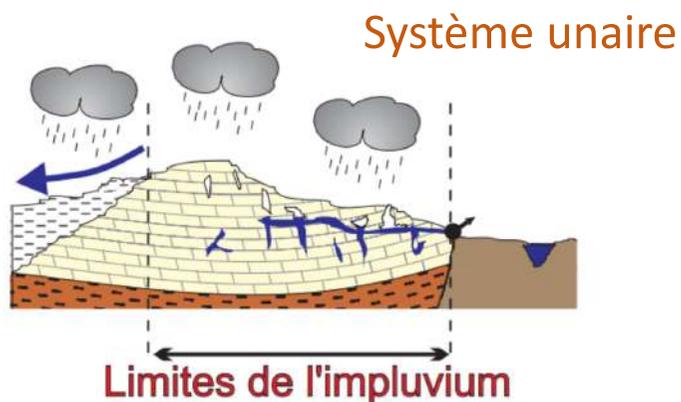


Source du Lez = 2 m³/s

→ Débits variables à très élevés (>>100 m³/h)

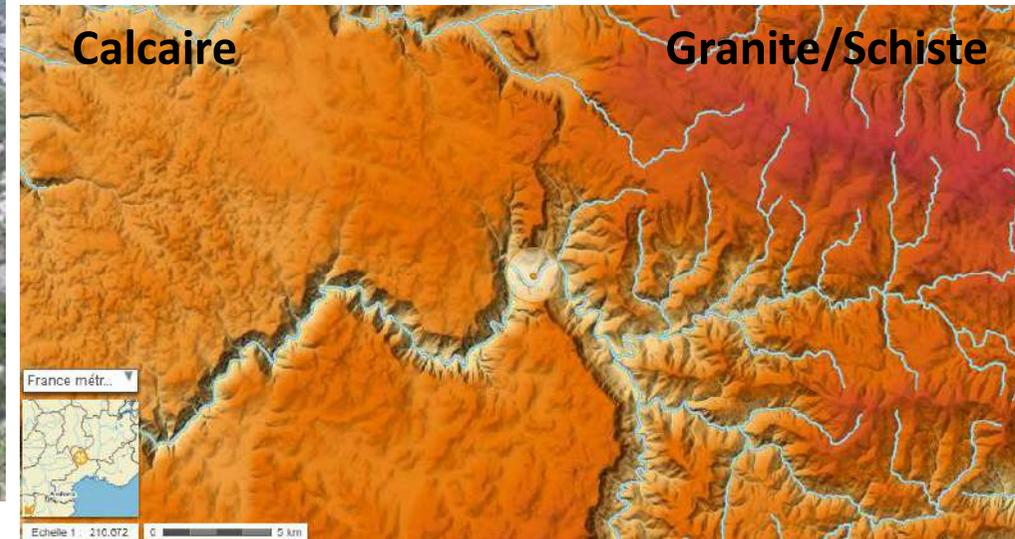
□ Principaux types d'aquifères

- Aquifère karstique : Causses, Corbières, Minervois, Lez-Mosson, Garrigues, Pli-Montpellier, Pays de Sault...



Deux modes de recharge
(Marsaud, 1997)

Deux types d'organisation et de
fonctionnement (Marsaud, 1997)



Faible épaisseur de sol → Forte capacité d'infiltration

Ressource renouvelable à court terme

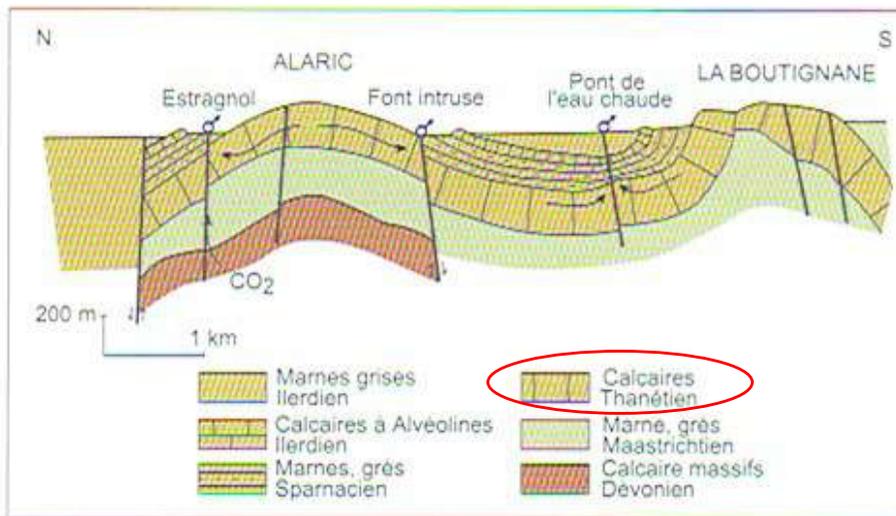
Capacité de stockage profonde → Réserves pouvant être considérables

→ Aquifères « vulnérables » ... mais élimination rapide des pollutions accidentelles

→ sur-exploitation saisonnière possible

Reliefs souvent accidentés → Peu anthropisés

Structure et fonctionnement complexe → souvent sous-exploités



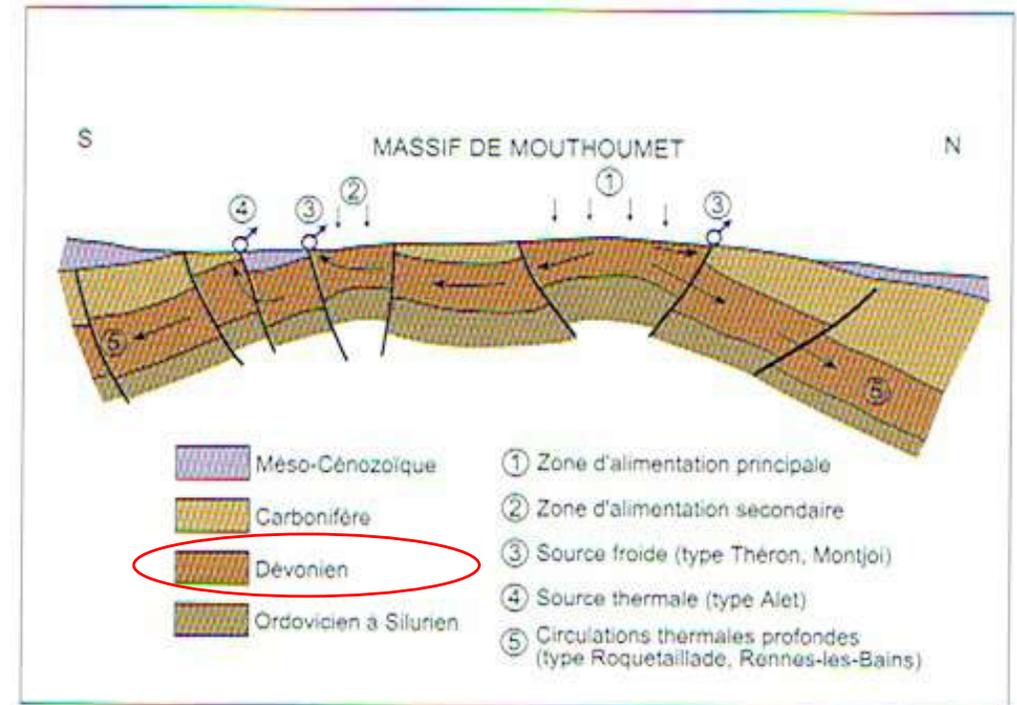
Coupe du massif de l'Alaric (BRGM ed., 2006)

Superficie affleurement : 7 km²

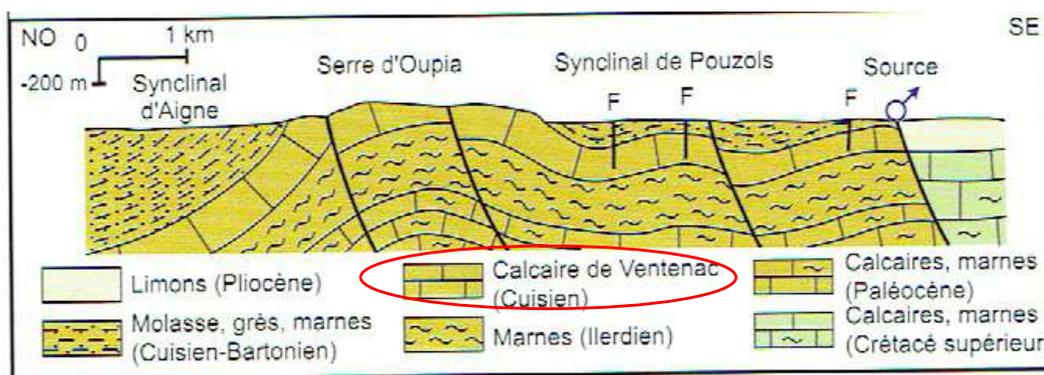
Pe_{eff} = P – ETR = 180mm/an

Vol alimentation > 1 Mm³

Coupe du massif de Mouthoumet



Coupe du massif d'Oupia et du synclinal de Pouzols (BRGM ed., 2006)

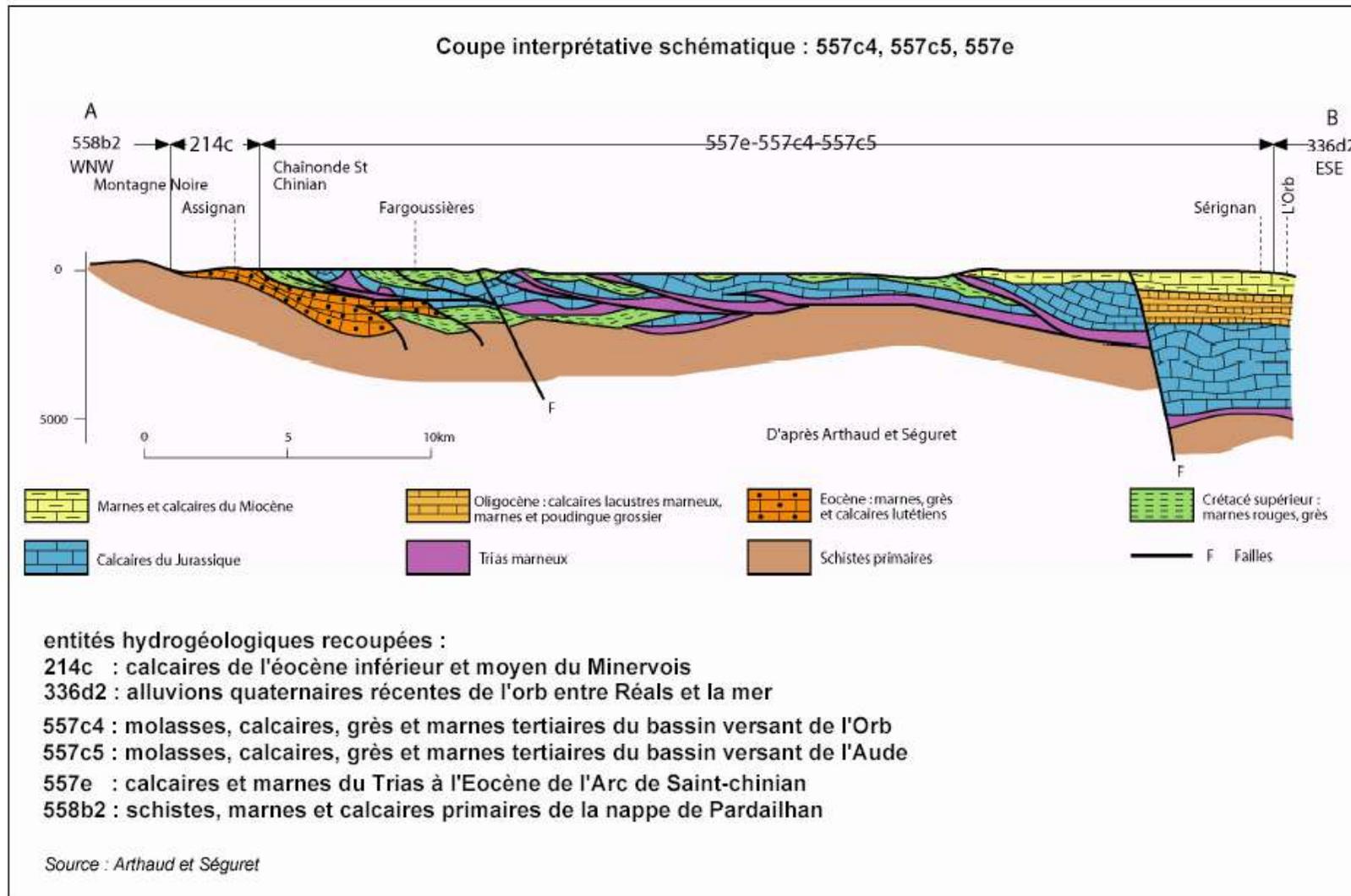


Vol alimentation ≠ 10 Mm³

Vol prélevé = 1,5 Mm³

□ Principaux types d'aquifères

- Aquifère karstique sous-couverture : Biterrois, Vallée de l'Hérault...

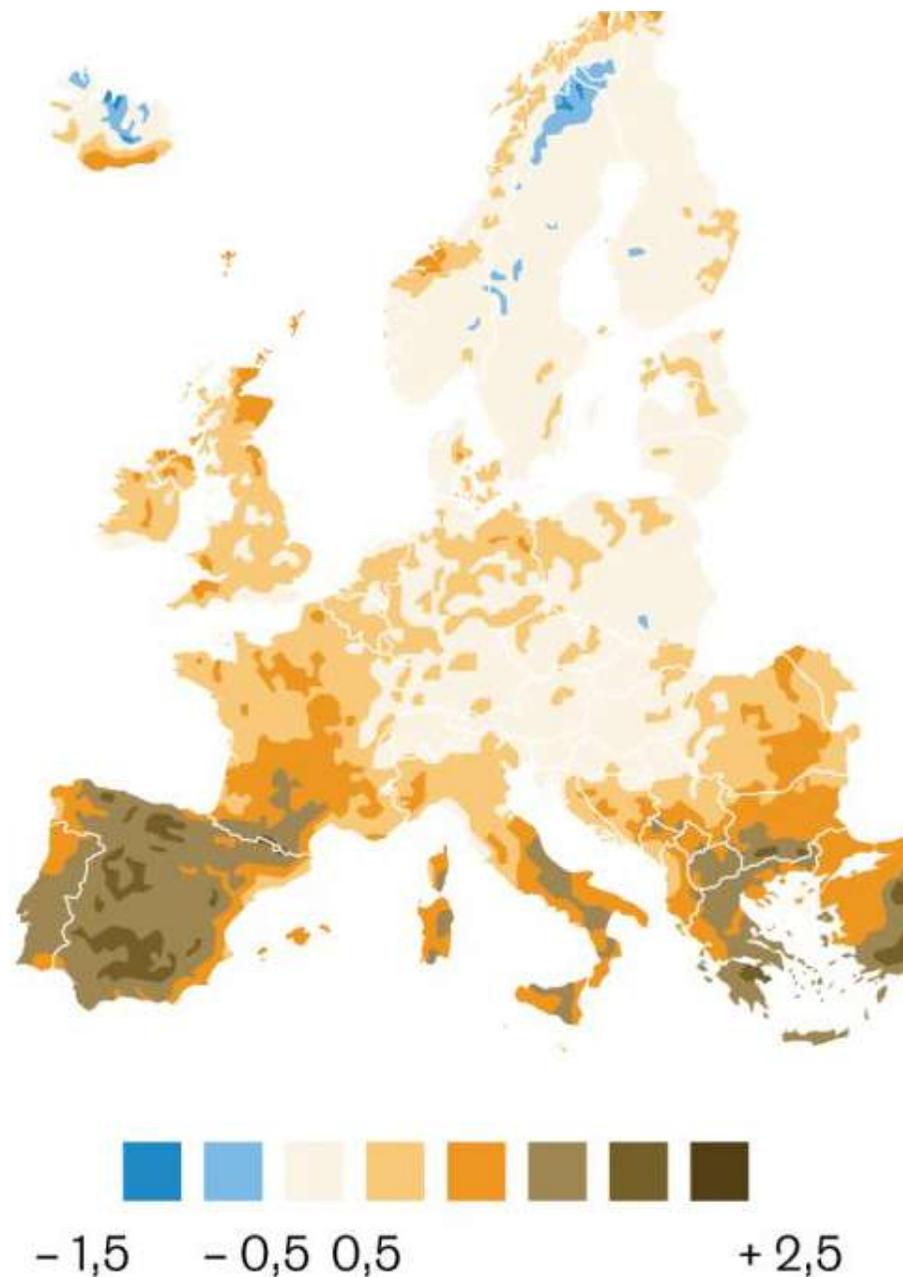


Coupe géologique secteur de Béziers (Atlas Hydrogéologique, BRGM 2006)

□ **Les menaces**

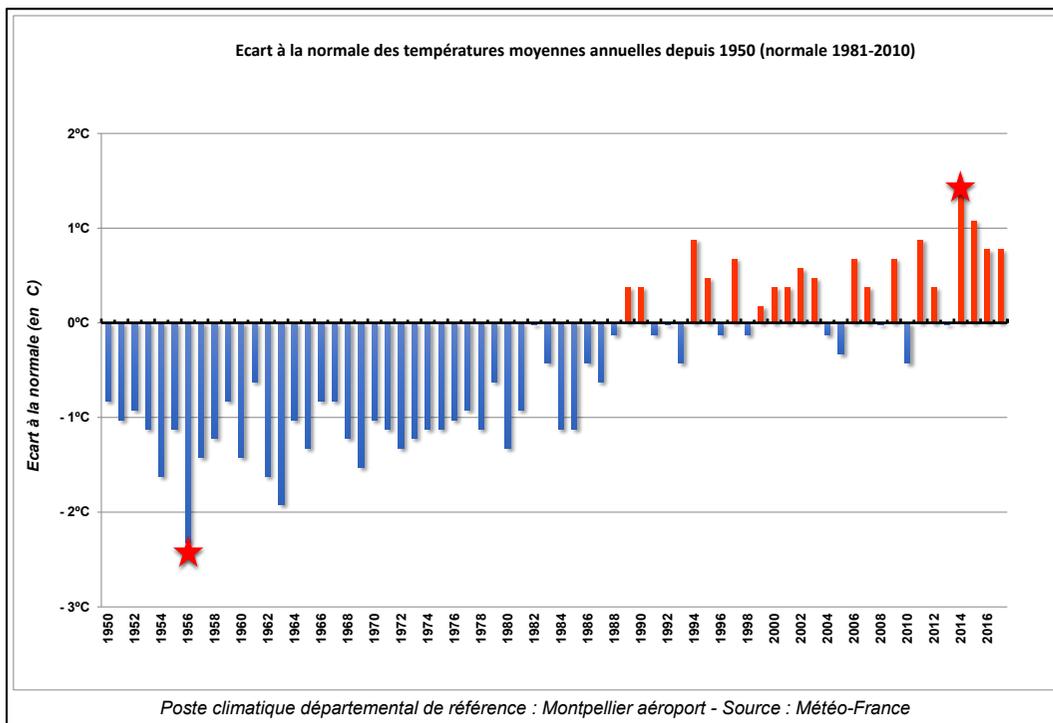
- Baisse de la recharge

Fréquence (%) des épisodes de sécheresse à l'horizon 2041-2070 par rapport à la période 1981-2010 – à partir d'indices standardisés (Infographie Le Monde à partir de données Agence Européenne de l'Environnement)



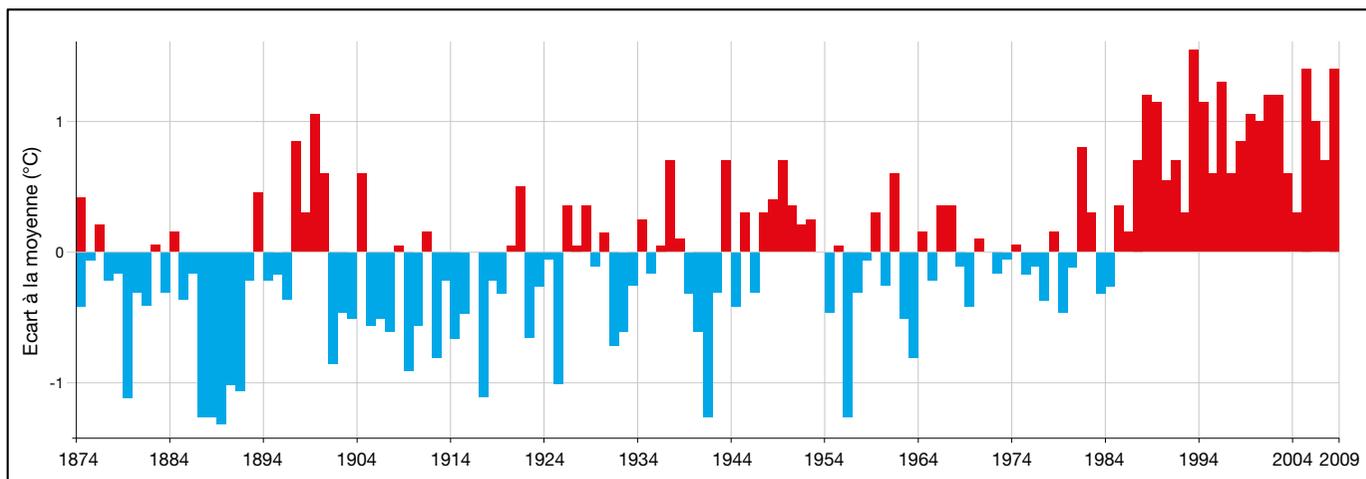
□ Les menaces

- Changement climatique : hausse des températures → hausse de l'ETP



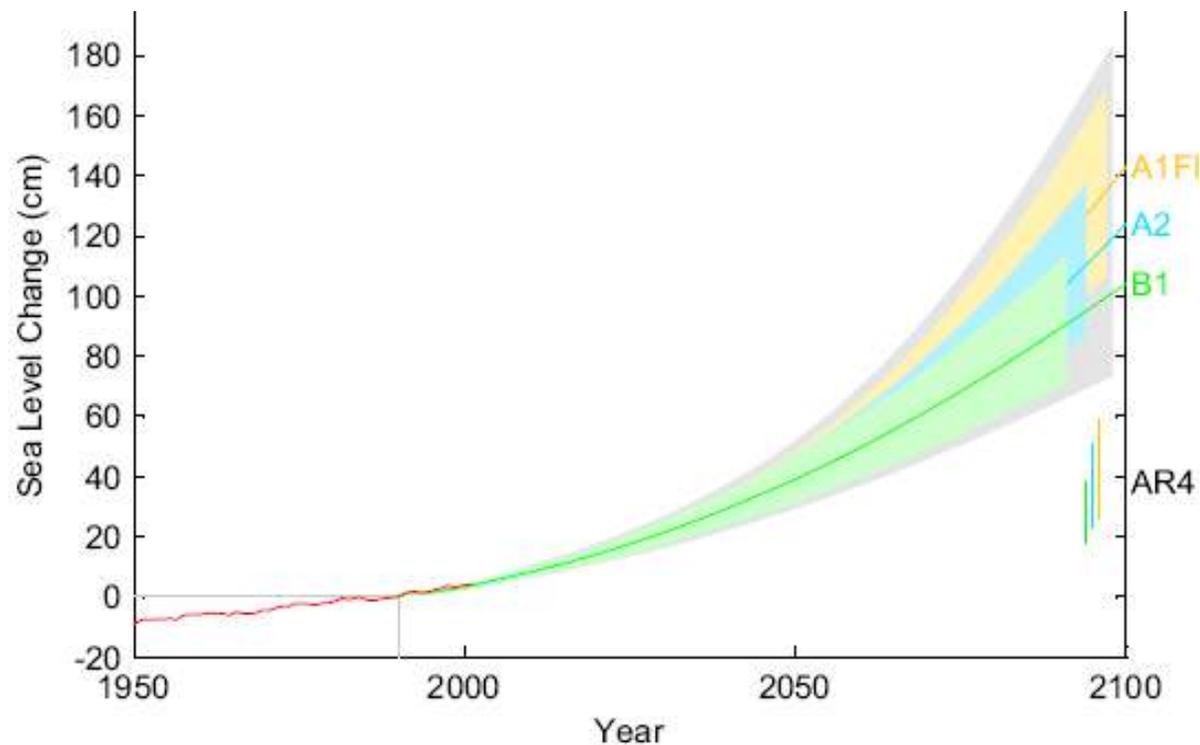
Annales climatologiques de l'Hérault (CD34, 2017)

Ecart à la moyenne depuis 1874 (Météofrance)



□ Les menaces

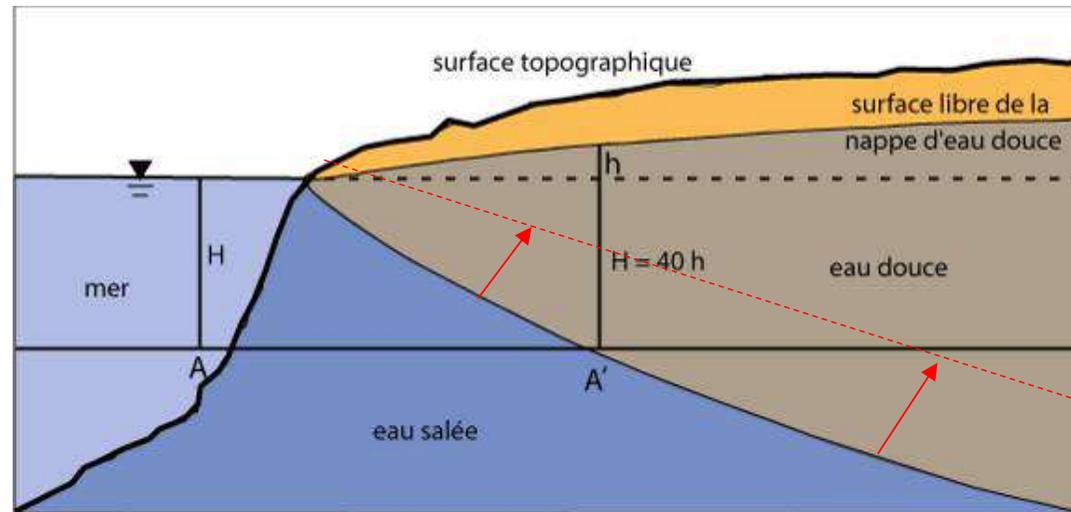
- Changement climatique : hausse du niveau marin



Projections de hausse du niveau marin d'après les scénarios du GIEC (Verneer and Rahmstorf, 2009)

□ **Les menaces**

- Changement climatique : hausse du niveau marin



Scénario de salinisation des aquifères littoraux

Coupe schématique perpendiculaire au littoral selon Ghyben-Herzberg (d'après Frissant et al., 2005)

$$H \cdot ds = (H + h) \cdot d$$

Avec :

ds : masse volumique eau salée (1025 kg/m³)

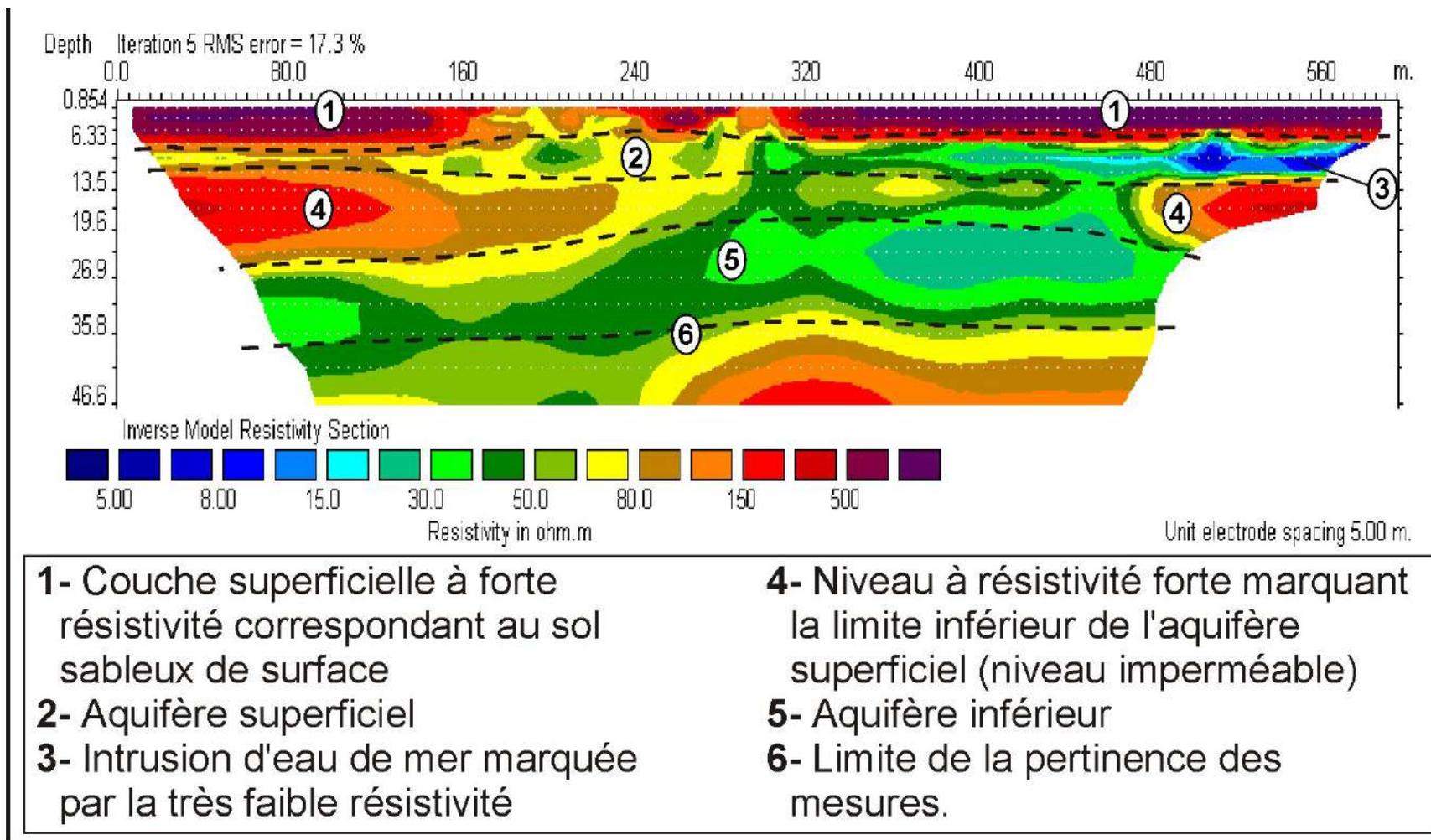
d : masse volumique eau douce (1000 kg/m³)



$$H = 40 h$$

□ **Les menaces**

- Changement climatique : hausse du niveau marin



Exemple de profil électrique en domaine littoral – Mas Lariou (thèse Aunay, 2007)

- **Le Languedoc-Roussillon dispose de nombreux aquifères de natures variées**
- **Les menaces climatiques et anthropiques sont réelles sur la ressource**
- **La préservation des masses d'ES doit guider la politique d'aménagement du territoire**

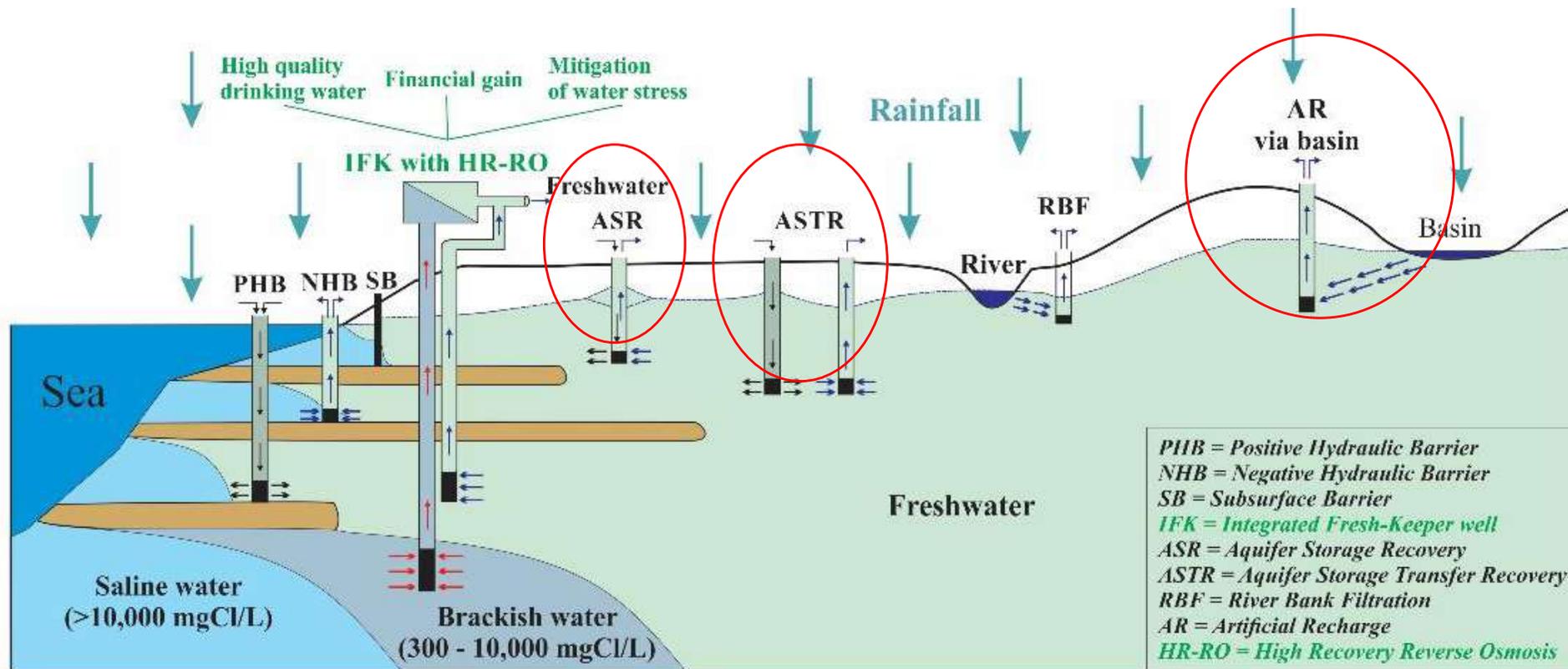
Demain ?

- **Les aquifères (karstiques) encore sous-exploités sont un atout régional majeur**
 - **Les Eaux Souterraines sont suffisantes pour l'AEP à horizon 2050**
 - **Amélioration des connaissances / suivi (quantitatif et qualitatif) des masses d'eau**
- **La recharge artificielle adaptée à la géologie régionale peut être envisagée pour soutenir les usages agricoles en complément des prélèvements de surface ou contenir le biseau salé pour les aquifères de plaines littorales (astien, plio-quadernaire Roussillon, villafranchien)**

	Lithologie	Masse d'Eau	vol prélevable (Mm3)	vol exploité (Mm3)	Possib. Exploit. comp.	Remarques
⇒	Calcaires et dolomies	Causses et Avants-Causses	≠100	<1,5	X	
⇒	Carbonates	Montagne Noire méridionale	≠100	<5	X	
⇒	Calcaires	Système Lez	>30	30	(X)	très étudié
⇒	Calcaires	Garrigues nord-Montpellier	>5	2	X	
⇒	Calcaires et marnes	Corbière Orientales et Clape	6	<1	X	salée sur littoral
⇒	Calcaires	Karsts sous-couverture val Hérault	≠10	1?	X	peu étudié
⇒	Calcaires éocènes	Minervois	≠10-20	2	X	
	Carbonates	Chainon Saint Chinian	20		(X)	très compartimenté
	Carbonates	avant pli-Montpellier				
	Alluvions	Hérault				
	Alluvions	Orb				
	Alluvions	Aude			X	
⇒	Sable	Astien Agde-Valras	5	4,2		
⇒	Alluvions	Villafranchien Vidourle-Montpellier			X	
⇒	Molasses et calcaires	Sommières-Castries	2	2		
⇒	Carbonates	karst Pyrénées Orientales	>5	<1	(X)	très peu étudié
⇒	Calcaires	Corbières Occidentales	?	?	X	très peu étudié
⇒	Calcaires	Pli Ouest Montpellier-Mosson	3	4		
⇒	alluvions/sables	Plio-quadernaire Roussillon	30	30		

Estimation des volumes prélevables par grands aquifères (d'après travaux BRGM, BERGASUD, comité experts Aquadomitia)

RECHARGE ARTIFICIELLE



Principaux dispositifs de recharge de nappes (Khadra et al., 2017) destiné à :
 alimentation en eau (Agricole ou AEP) ou repousser l'intrusion saline

AR : Recharge Artificielle

ASR : Recharge Artificielle et Récupération

ASTR : Recharge Artificielle et Récupération après Transfert

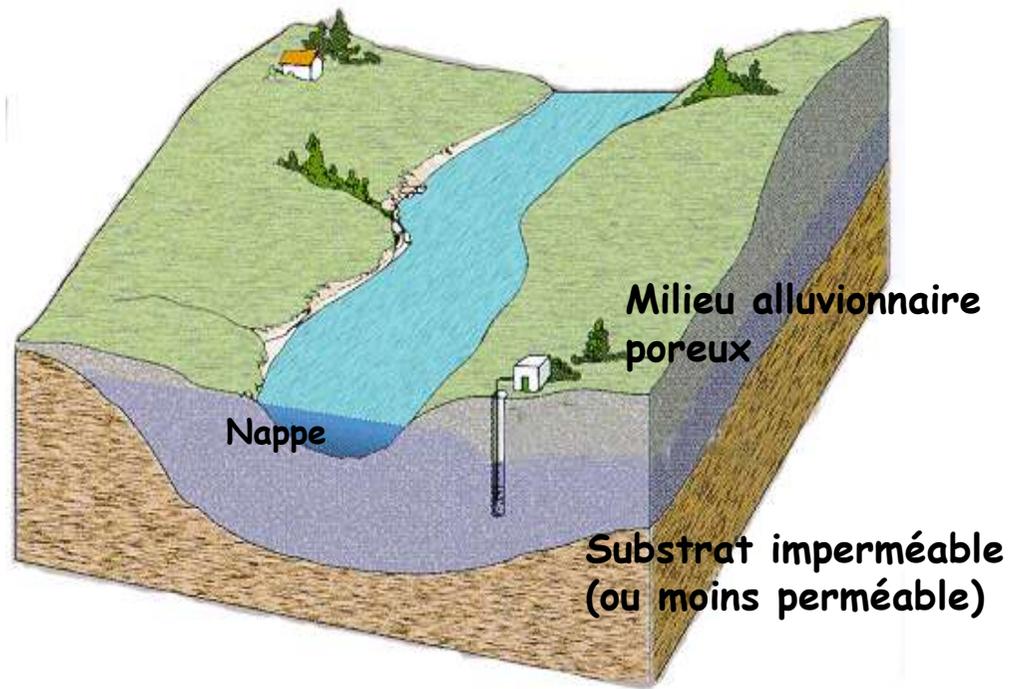
RECHARGE ARTIFICIELLE

Aquifères régionaux favorables --> **aquifères alluviaux**

proximité cours d'eau

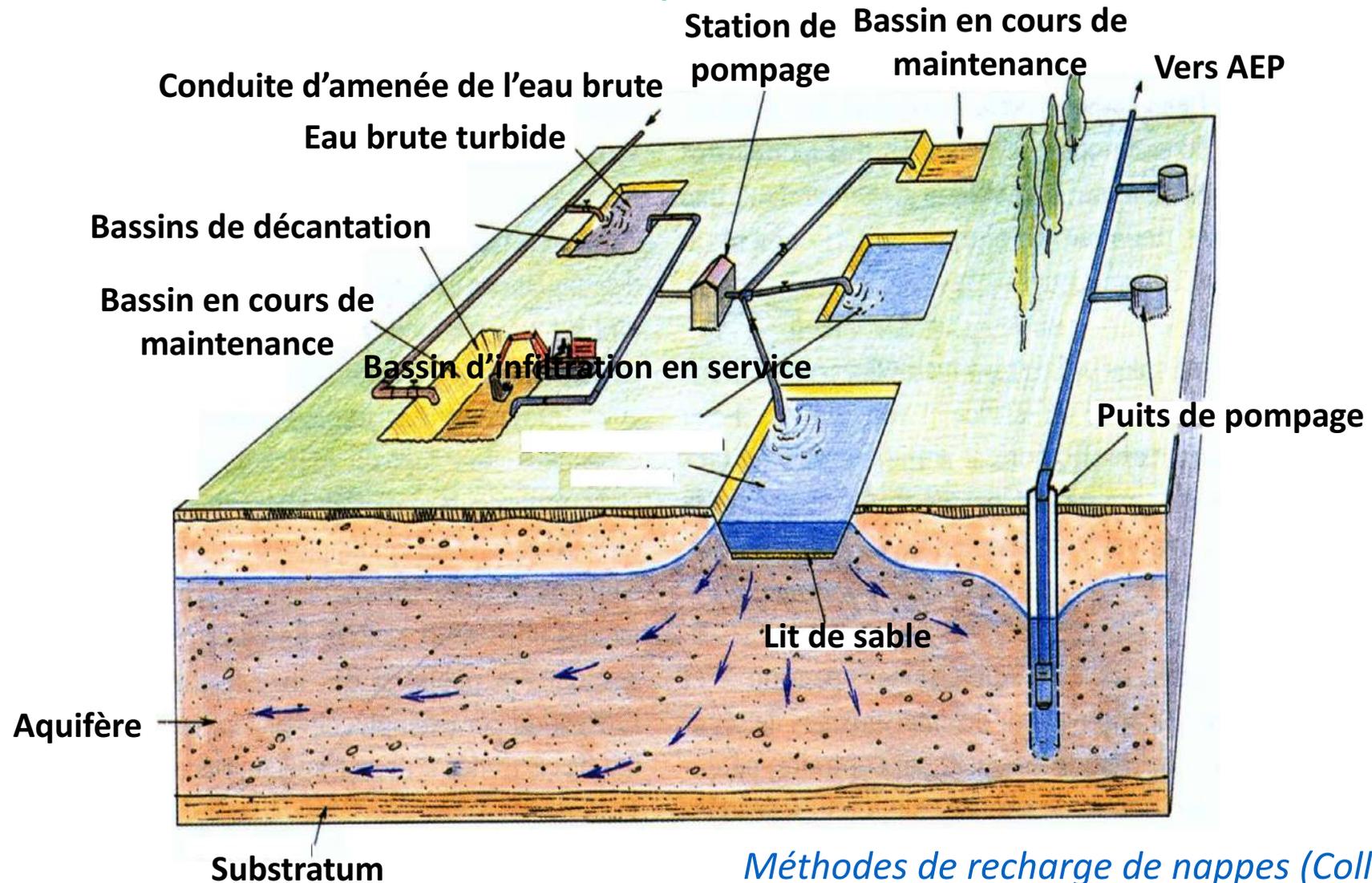
perméabilité

drainage latéraux



RECHARGE ARTIFICIELLE

Aquifères régionaux favorables --> **aquifères sédimentaires** (sur nappe libre)
drainages latéraux
proximité de cours d'eau et zones agricoles



RECHARGE ARTIFICIELLE

Aquifères régionaux favorables --> **aquifères karstiques**

perméabilité

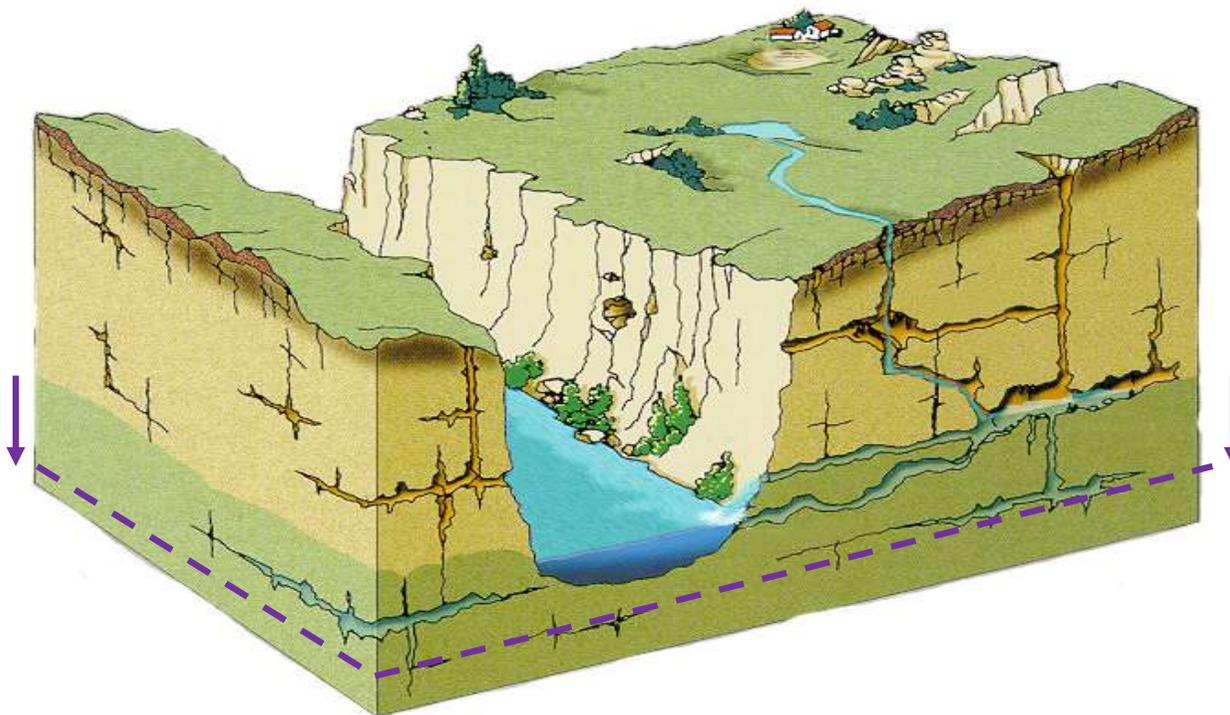
occupation des sols

recharge rapide (par drains naturels)

karstification profonde (messinien)

gestion active de la ressource (ex Lez)

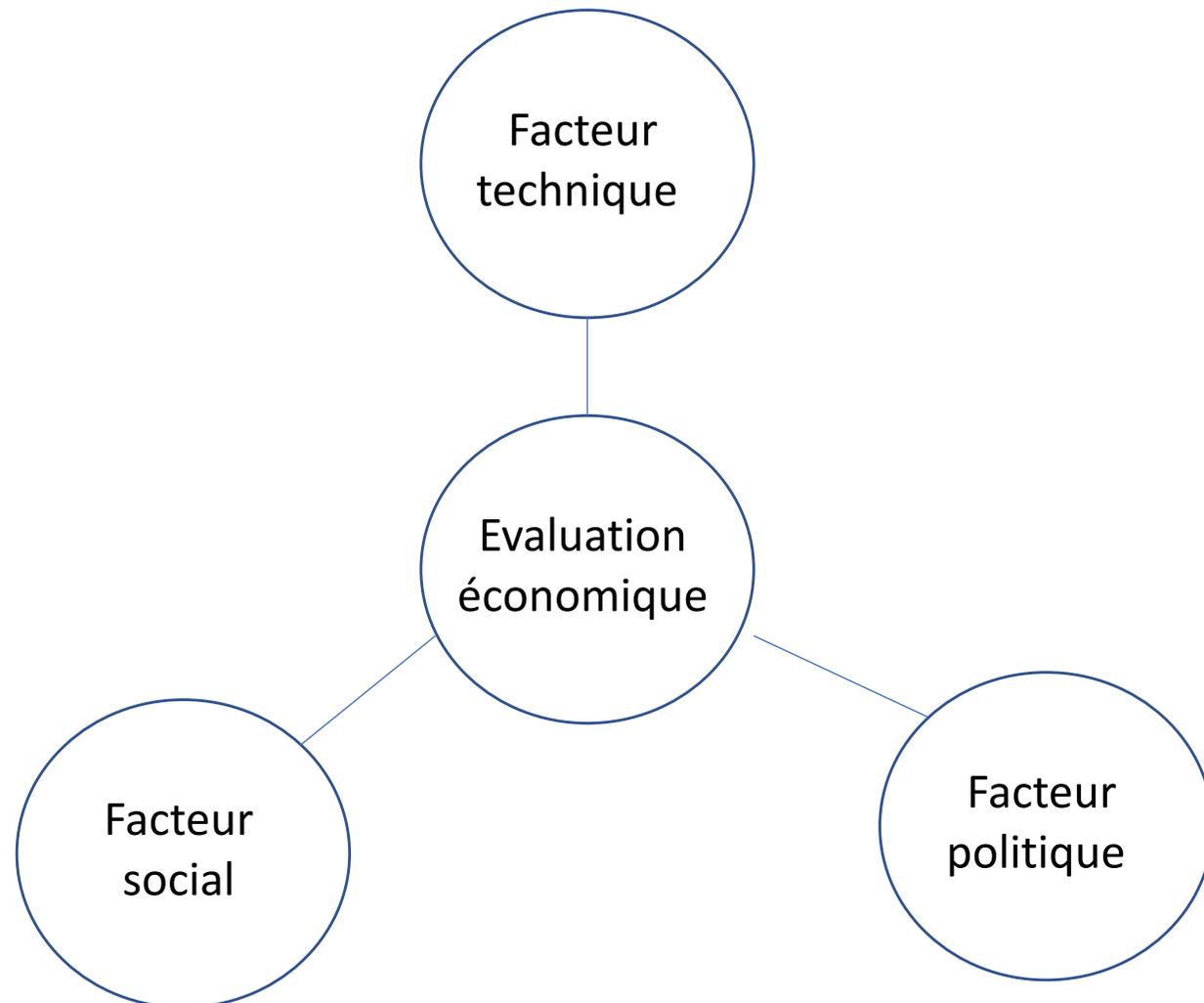
proximité cours d'eau/accès



**Surexploitation saisonnière
Avant recharge**

RECHARGE ARTIFICIELLE

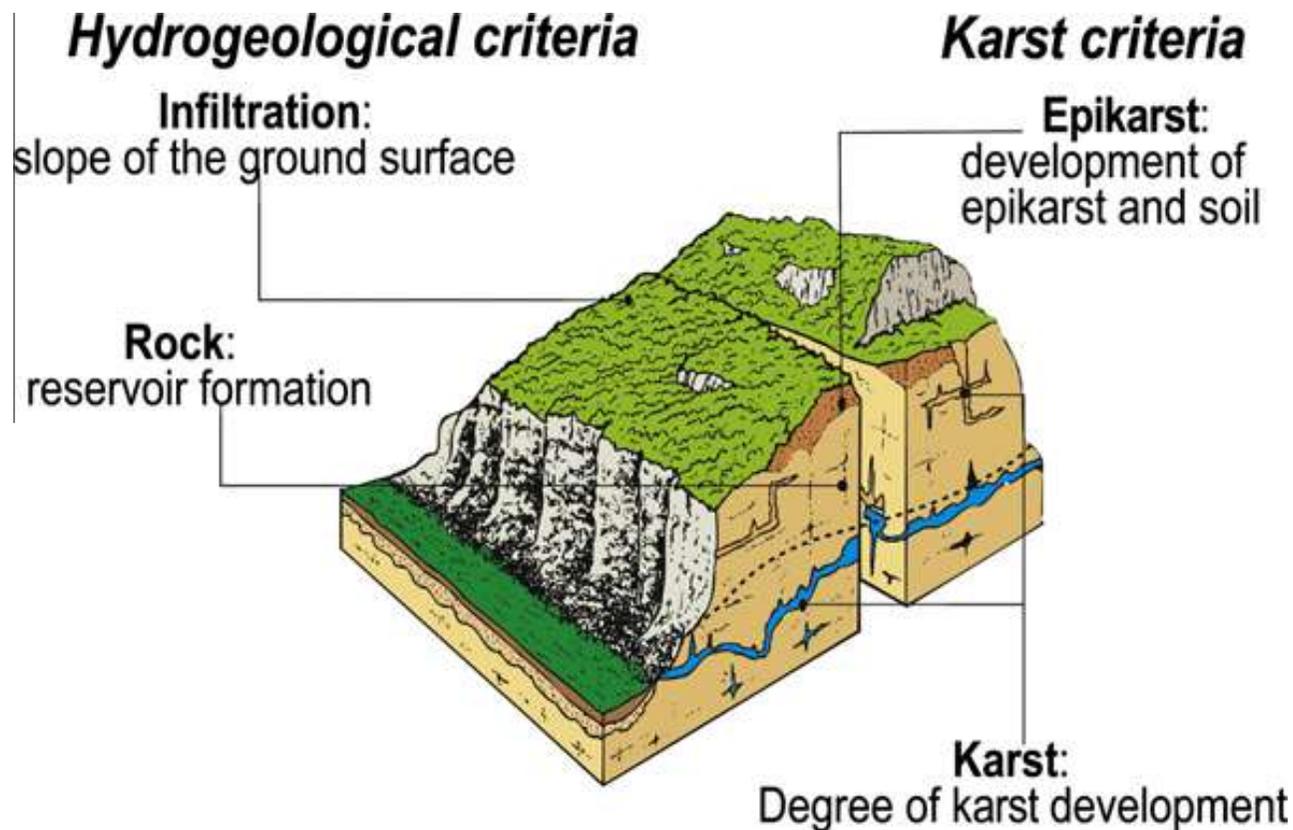
Aquifères régionaux favorables → aquifères alluviaux
→ aquifères sédimentaires
→ aquifères karstiques



RECHARGE ARTIFICIELLE

Les aquifères karstiques

Méthode ARAK (Daher et al., 2011) → Méthode « à critères »



Représentation du karst (d'après Mangin, 1975)

RECHARGE ARTIFICIELLE

Les aquifères karstiques

Méthode ARAK (Daher et al., 2011) → Méthode « à critères »

Paramètre	Abréviation	Poids %
Epikarst	E	30-40
Roche réservoir	R	20-30
Infiltration	I	10-20
Karstification	K	20-30

Valeurs indice Irt	Classe	Rechargeabilité
3.19 – 4.00	4	Extrêmement Favorable
2.40. – 3.19	3	Très Favorable
1.60 – 2.39	2	Favorable
0.80 – 1,59	1	Peu Favorable
0 – 0,79	0	Non favorable

Analyse de terrain, cartographique et bibliographique



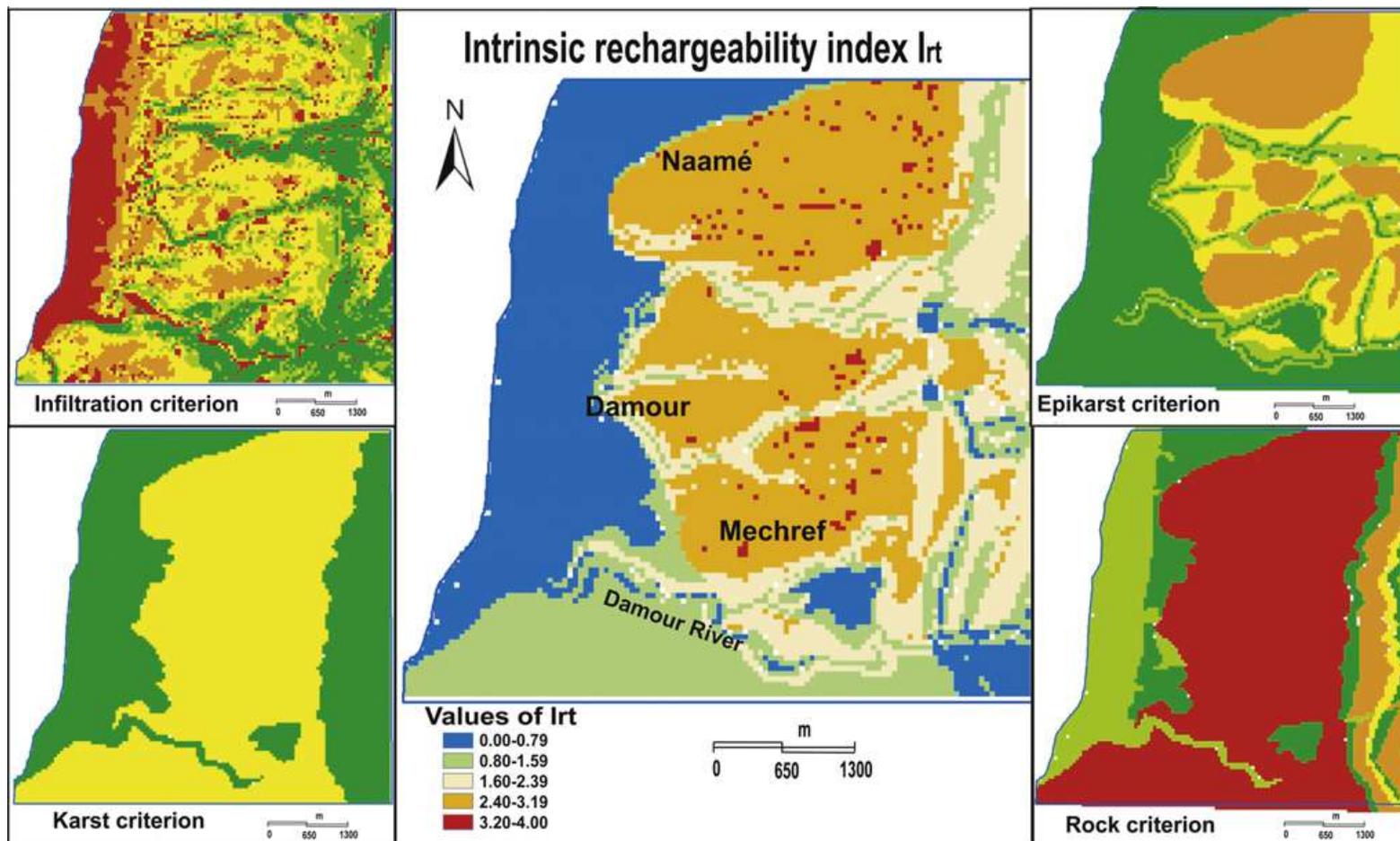
Paramètres E,R,I,K évalués de 1 à 4 par zones



Cartes E,R,I,K



Carte Rechargeabilité (Irt)



*Exemple d'application de la méthode ARAK
Valeurs de Irt (près peu favorable (0) à très favorable (4))*