LES RDV DU SAGE ESTUAIRE DE LA LOIRE / SÉCHERESSE

Quels liens entre nappe et cours d'eau ?

Pierre Chrétien – BRGM

18 juin 2019

Géosciences pour une Terre durable

brgm

LE CYCLE DE L'EAU

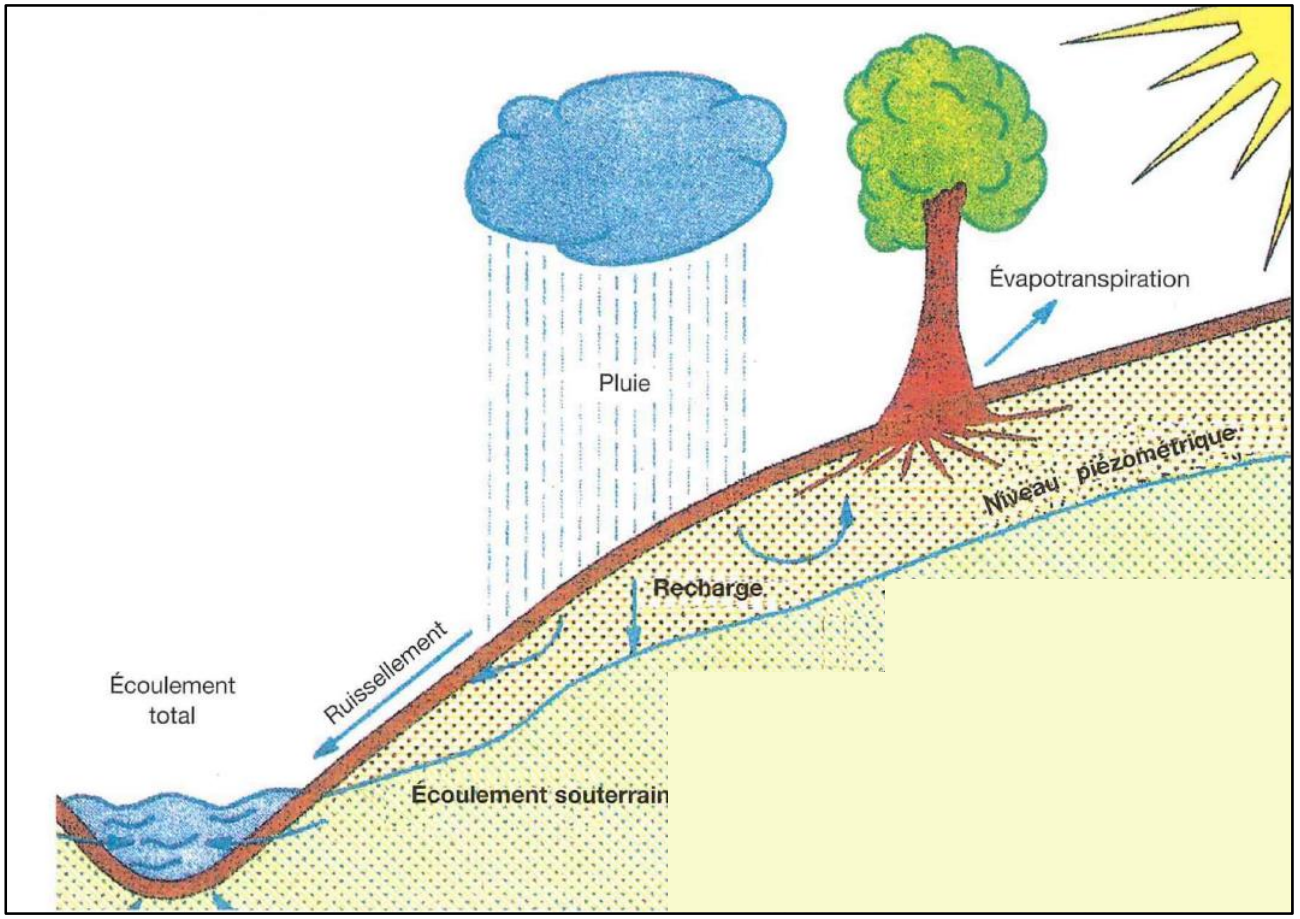
Seule une partie de l'eau météorique contribue au débit des cours d'eau (directement ou indirectement)

Contribution directe

- Ruissellement
- Dépend de la nature de la pluie (intensité, durée), de l'indice de saturation des sols, des obstacles à l'écoulement, etc.

Contribution indirecte

- Pas de pluie : le ruisseau coule encore → vidange de la nappe
- Le réseau hydrographique superficiel constitue alors l'exutoire de la nappe
- Dépend de la nature de la pluie (intensité, durée), de l'indice de saturation des sols, des obstacles à l'écoulement, etc.
- **Connexion nappe-rivière ?**

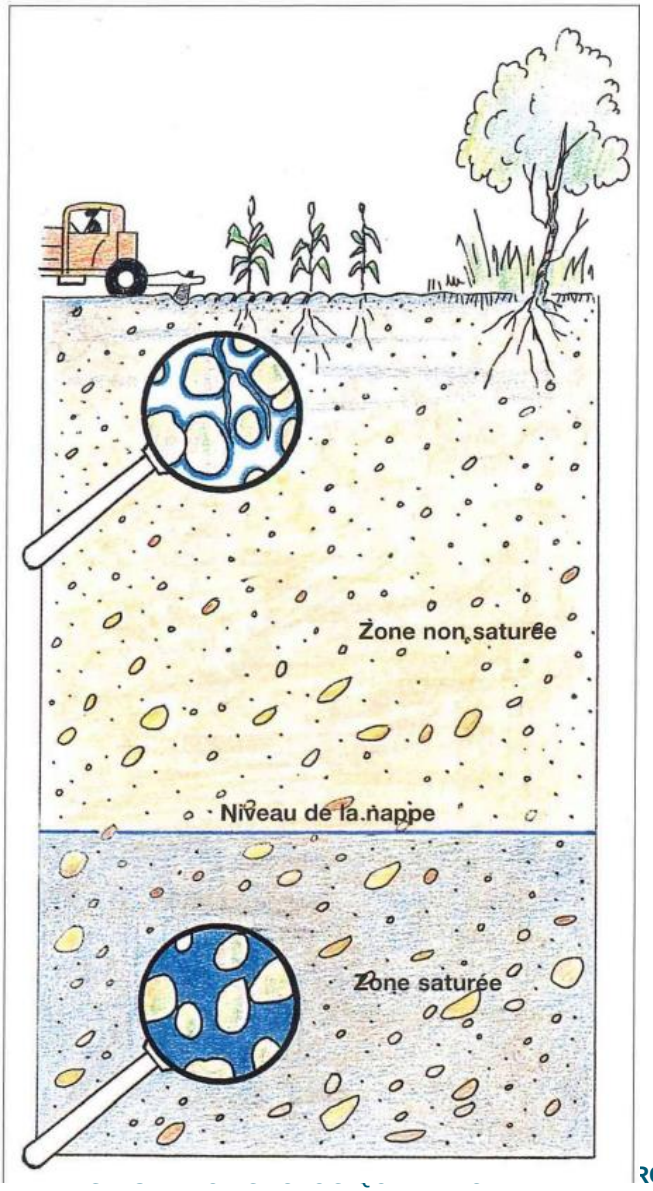


Comment vérifier la connexion nappe/rivière ?

Peut-on quantifier la contribution des eaux souterraines au débit des cours d'eau ?

NOTIONS D'HYDROGÉOLOGIE 1/3

Les roches contiennent de l'eau parce qu'elles sont poreuses et/ou fracturées. Elles permettent son écoulement parce qu'elles sont perméables.



Zone non saturée

- L'eau n'est pas libre : humidité
- Pas d'écoulement facilement observable (capillarité >> gravité)
- Exploitable par la végétation mais pas par forage par ex.
- Dans un puits, la profondeur entre la surface du sol et la surface de l'eau correspond à l'épaisseur de la zone non saturée

Zone saturée

- Eau libre mobilisable par pompage
- Écoulements dans le sens des « potentiels décroissants » (d'une charge élevée vers une charge plus faible = d'un niveau piézométrique haut vers un niveau piézométrique bas)
- Dans un puits, le niveau d'eau correspond à la surface de la zone saturée.

Perméabilité

- La perméabilité (conductivité hydraulique) décrit la capacité du milieu à laisser s'écouler l'eau. Pour les échanges nappe/rivière :
  - Perméabilité de l'aquifère
  - Perméabilité des berges

Géosciences pour une Terre durable
brgm

SCHÉMA CONCEPTUEL DES AQUIFÈRES DE SOCLE

Dans le cas général, il s'agit d'aquifères libres en connexion hydraulique avec le réseau hydrographique de surface.

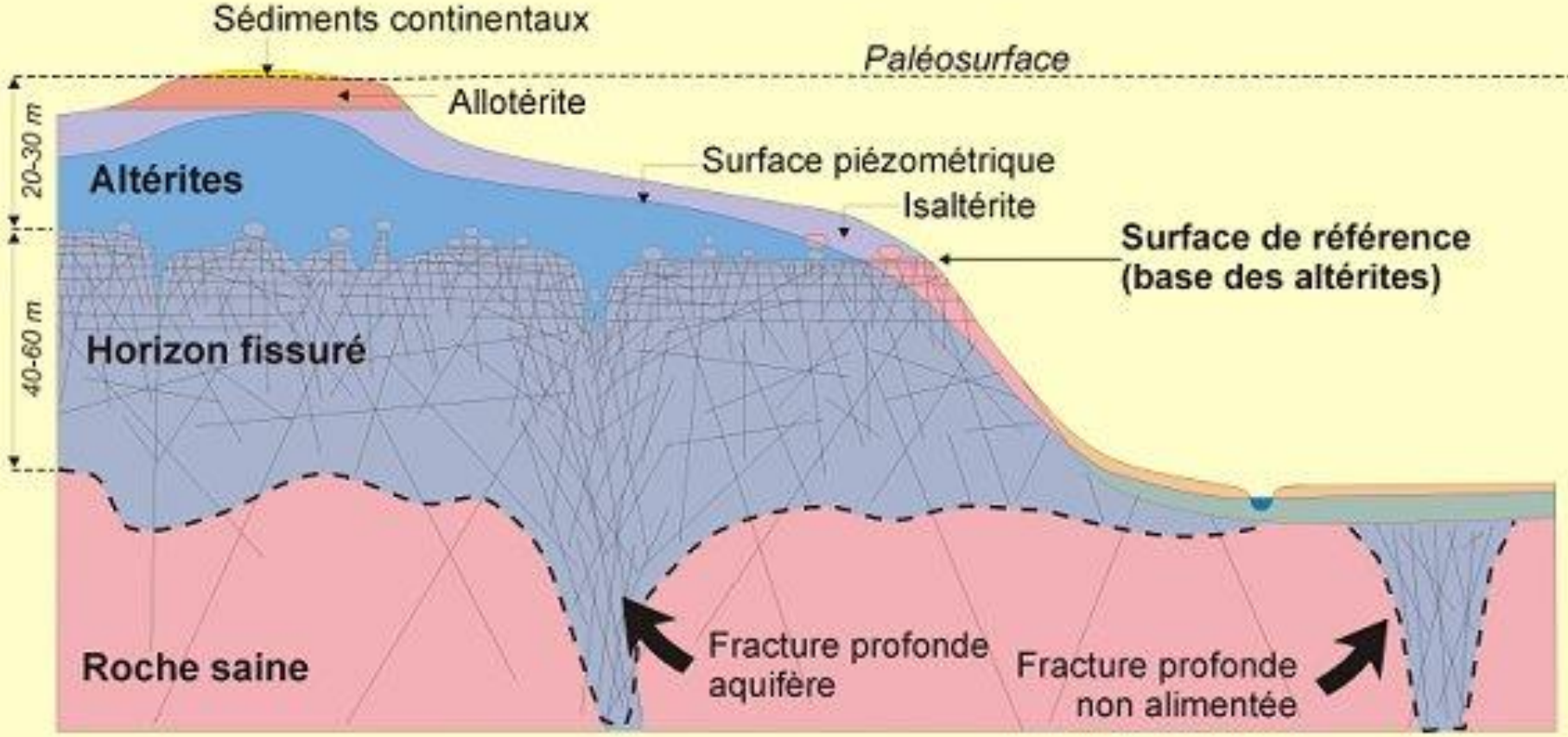


schéma conceptuel des aquifères de socle (BRGM - R. Wyns, 1998 et 2004)

NOTIONS D'HYDROGÉOLOGIE 2/3

On distingue les nappes libres des nappes captives.

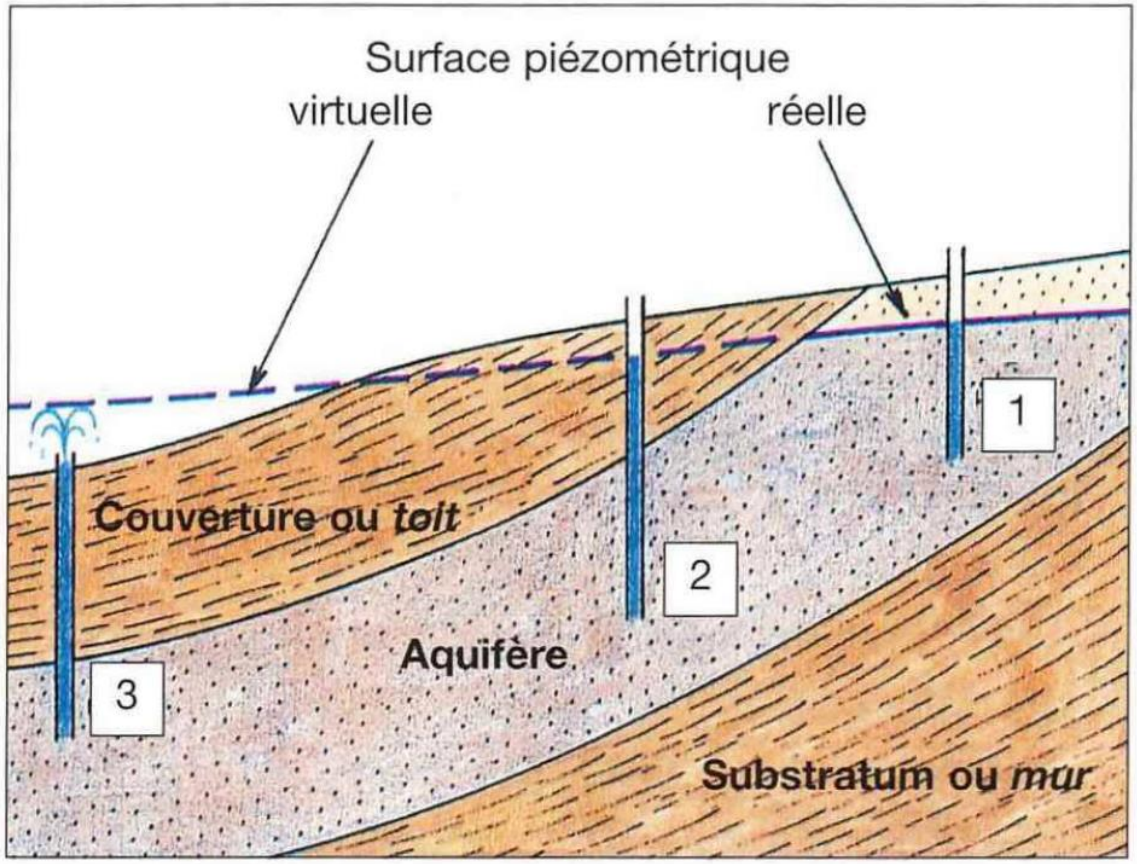


Figure 4 : Nappe libre et nappe captive.
En 1, la nappe est libre. En 2, elle est captive.
En 3, elle est captive et artésienne (jaillissante).

Nappe libre

- Lorsqu'une couche géologique poreuse affleure, elle contient une nappe libre (en équilibre avec la pression atmosphérique)
- La surface de la nappe (surface piézométrique) fluctue sous l'effet combiné des pluies (recharge) et des écoulements sortants (vidange)

Nappe captive

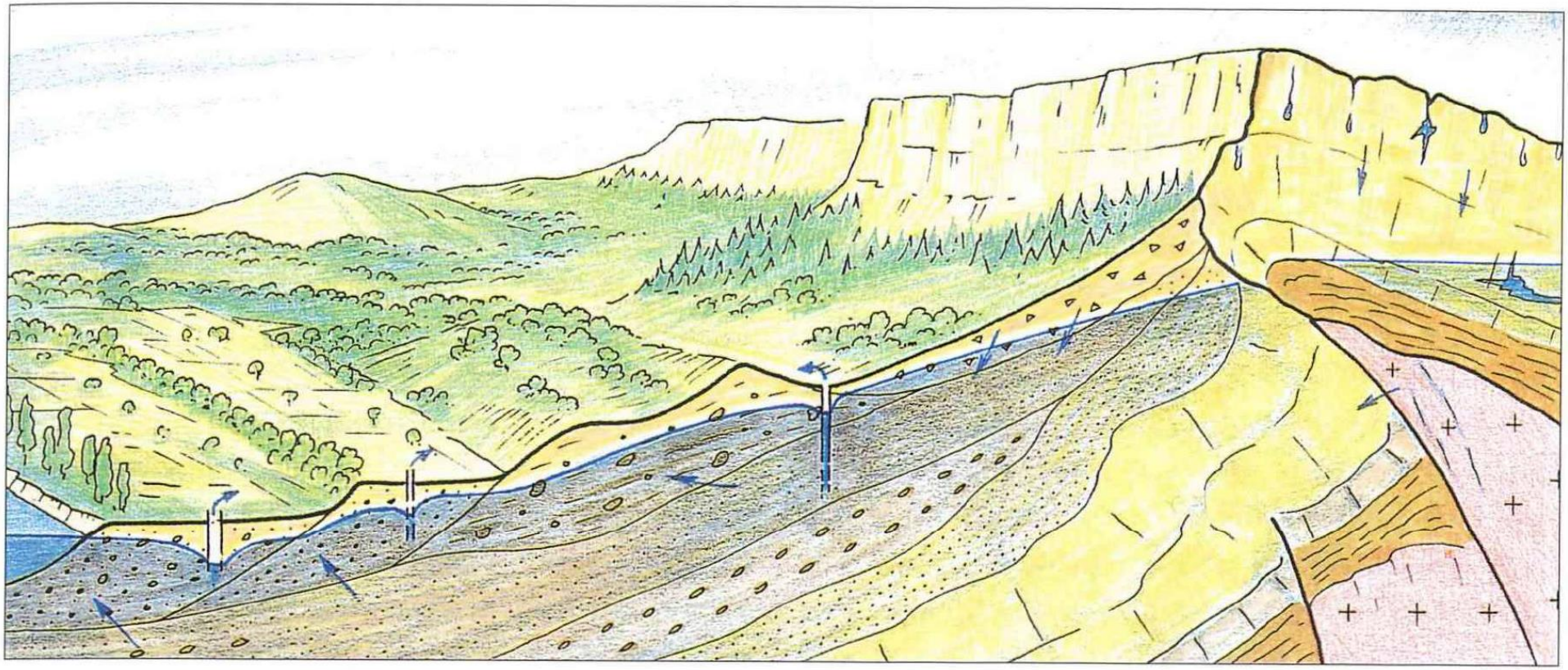
- L'eau est confinée à sa partie supérieure par une couche géologique imperméable
- Pas de relation avec rivières
- L'eau est sous pression.
- Recharge possible par les pluies au niveau des zones d'affleurement, en périphérie

En contexte de nappe libre :

- Grande ZNS au droit des interfluves
- Faible ZNS dans les fonds de vallée

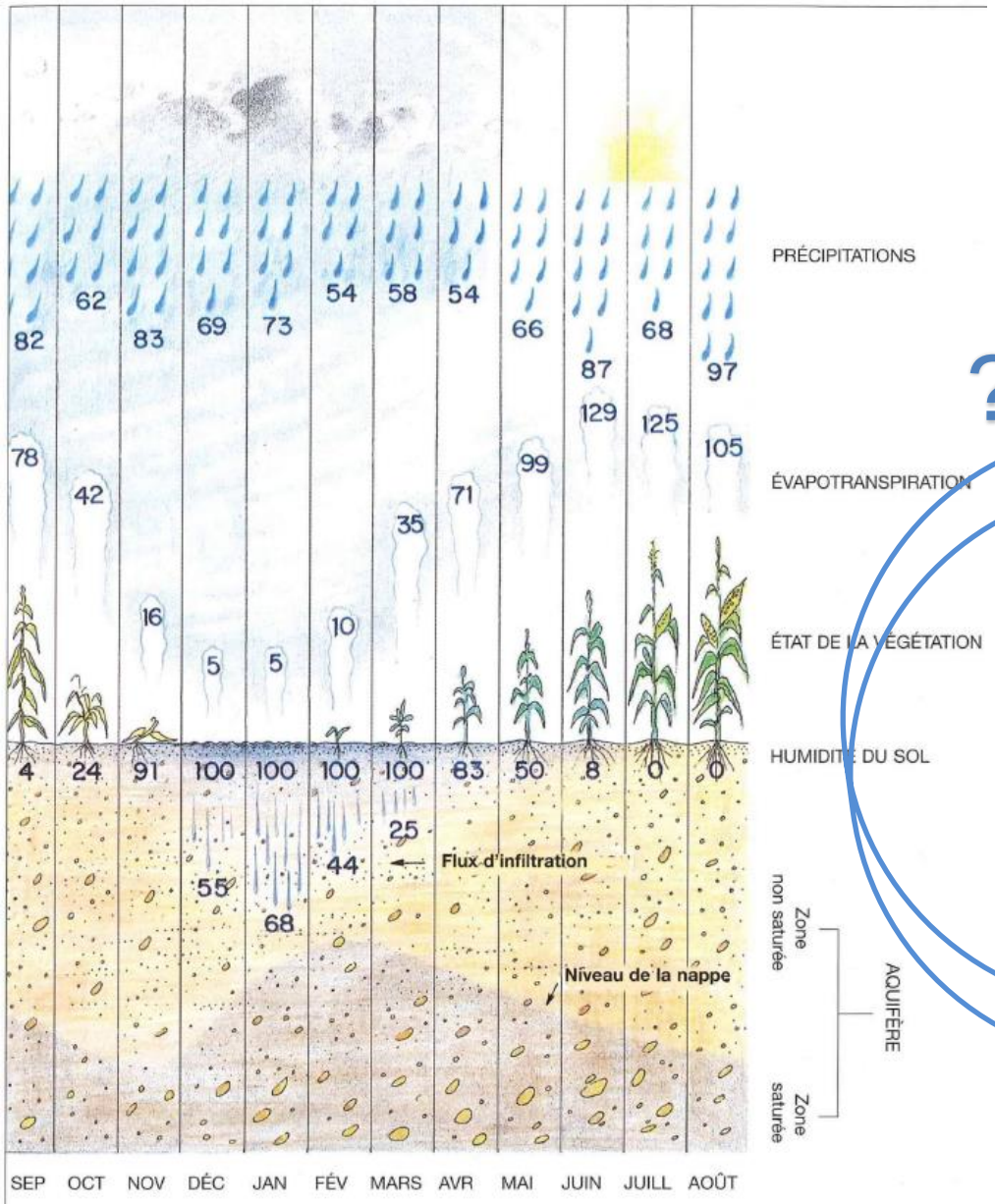
Géosciences pour une Terre durable
brgm

SYSTÈME AQUIFÈRE COMPOSITE



NOTIONS D'HYDROGÉOLOGIE 3/3

Les fluctuations piézométriques annuelles suivent des cycles recharge/ vidange marqués par des périodes de basses et hautes eaux.



?

Printemps

- Période de hautes eaux de nappes (janvier-mars)

Été

- D'avril à novembre, pas de recharge.
- Les niveaux piézométriques baissent
- Transfert eau souterraine → eau superficielle : soutien d'étiage

Automne

- La vidange naturelle des aquifères se poursuit jusqu'en septembre-novembre : période de basses eaux de nappes

Hiver

- Les pluies hivernales sont cruciales pour la recharge des aquifères
- Les prélèvements hivernaux constituent un manque à gagner pour la recharge des aquifères

Géosciences pour une Terre durable
brgm

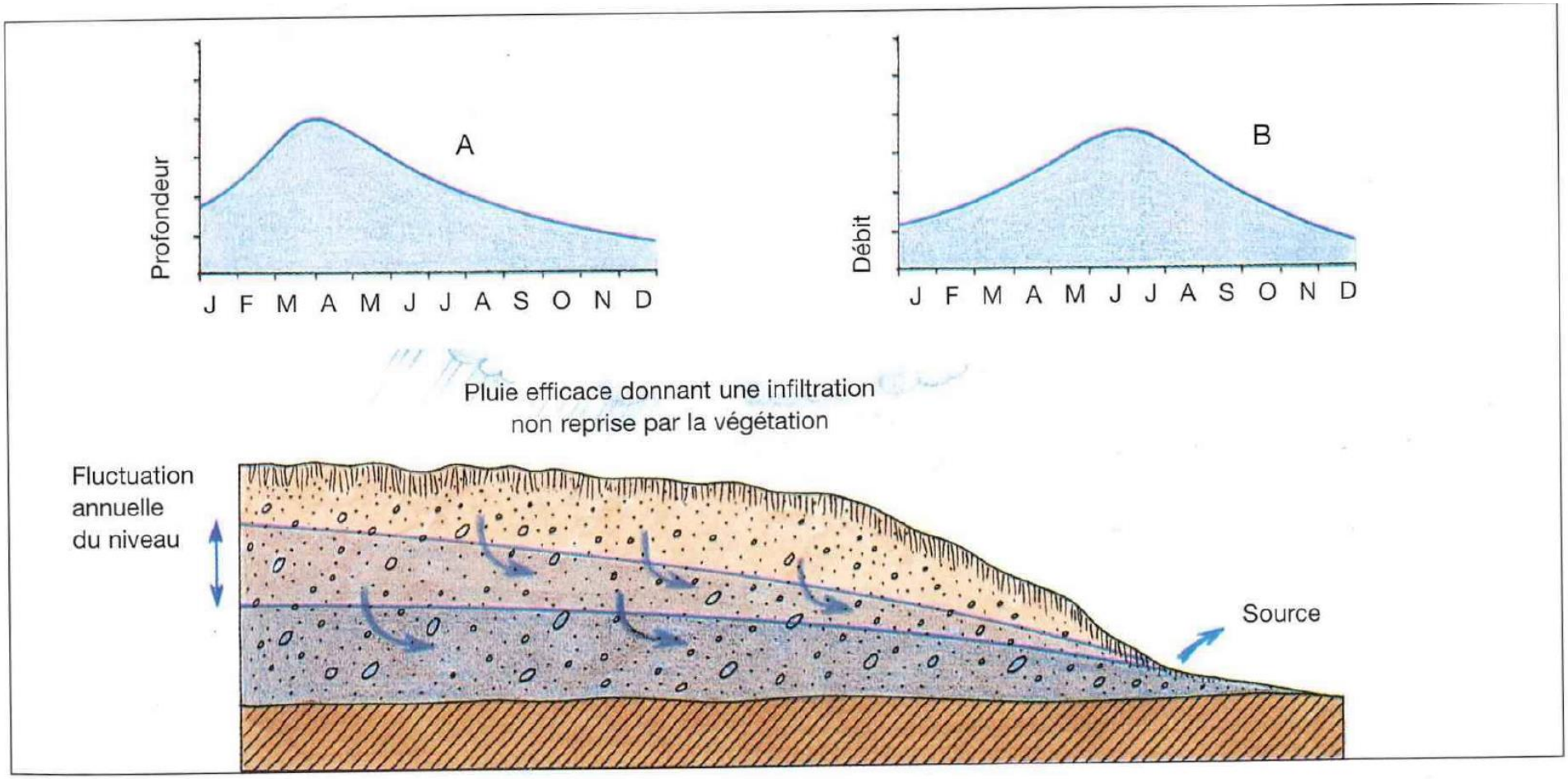


Figure 8 : La recharge par les pluies provoque la remontée des niveaux (A) et l'augmentation saisonnière du débit des sources (B).

CONNEXION NAPPE RIVIÈRE

On peut caractériser la connexion des nappes libres aux cours d'eau par différents moyens.

Carte piézométrique

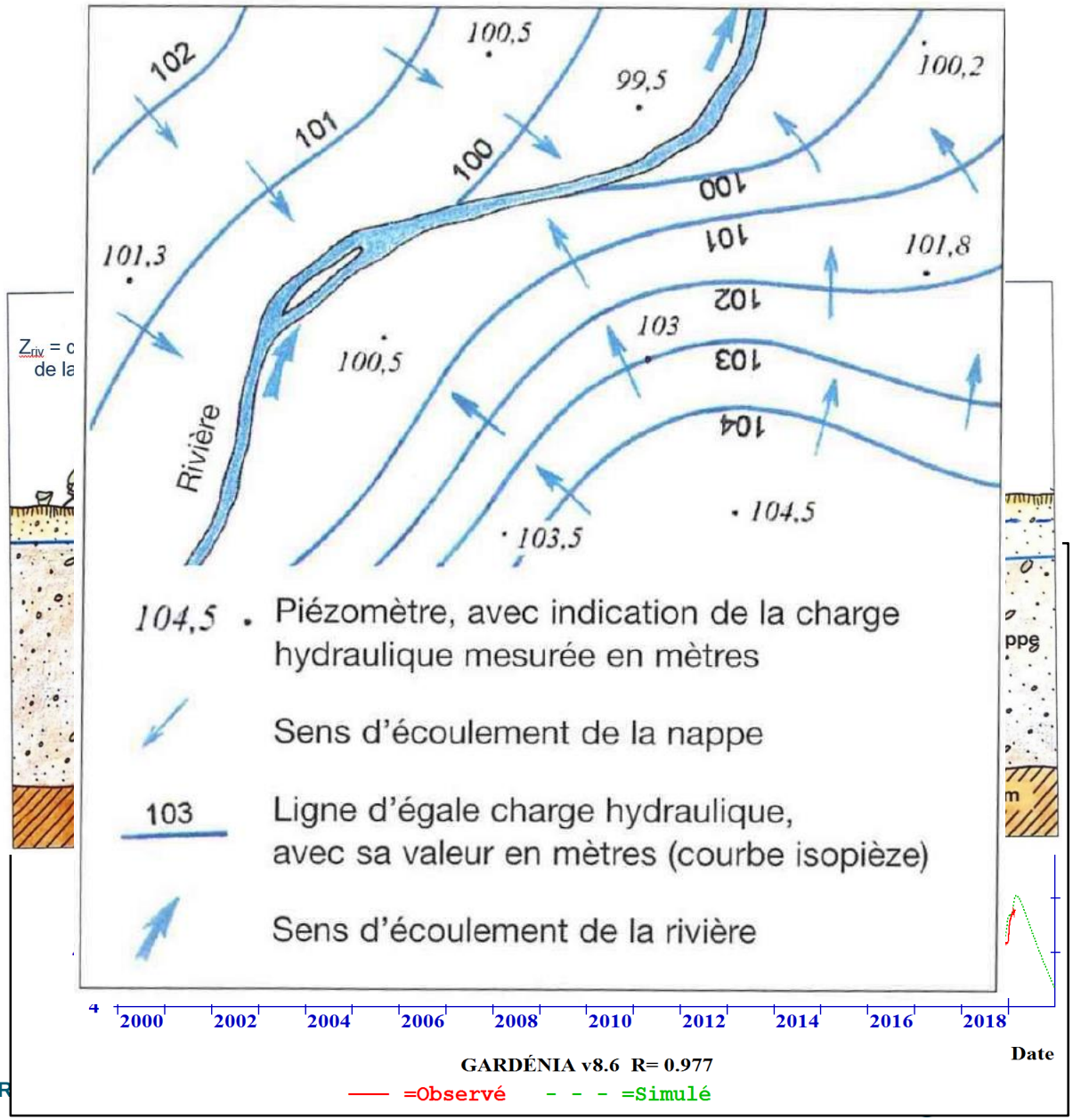
- Campagnes de terrain pour mesurer la profondeur de la nappe dans les puits ou forages d'un bassin versant
- Sens d'écoulement de la nappe
- Comparaison piézo / limni

Essai de nappe

- Un pompage dans un puits/un forage engendre-t-il un impact sur le débit du cours d'eau ?
- ? : durée de l'essai, débit du pompage, distance forage/rivière, transmissivité, etc.

Modélisation

- Pour représenter numériquement un phénomène naturel
- → nécessite de bien connaître le phénomène naturel qu'on cherche à représenter sous forme d'un modèle mathématique
- **Seul outil pour quantifier les échanges nappe-rivière**



QUANTIFICATION DES ÉCHANGES PAR MODÉLISATION

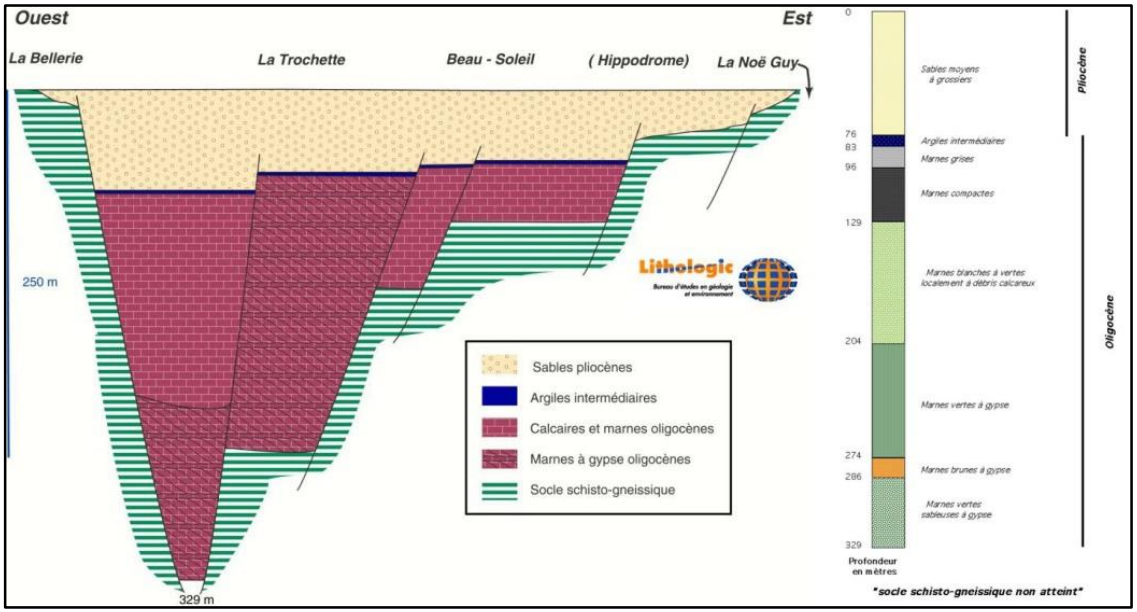
Seule la conception de modèle numérique permet de quantifier les volumes d'eau qui sont échangés entre rivières et nappes.

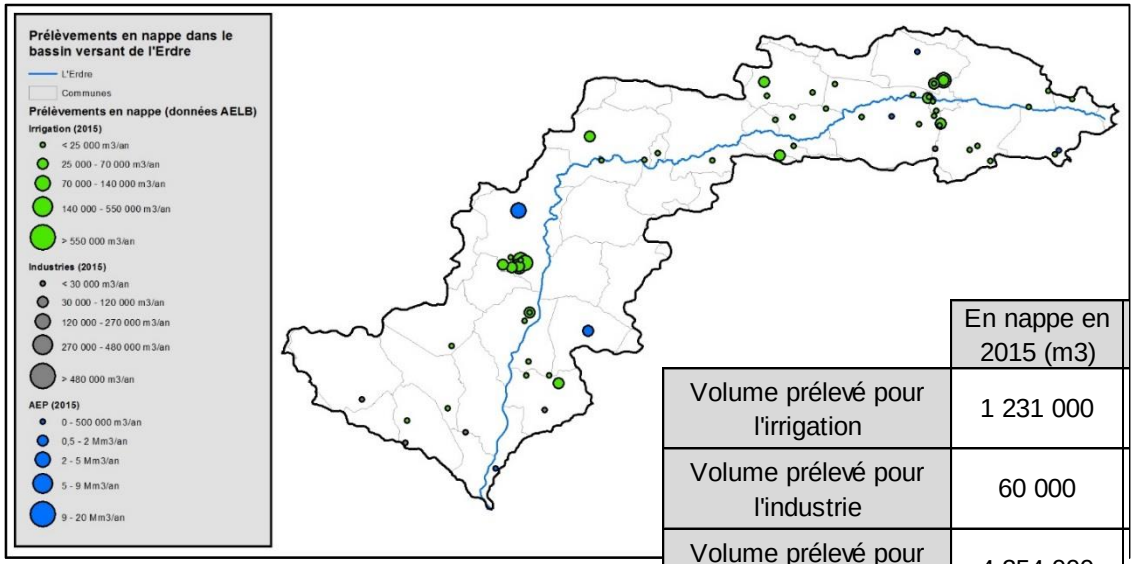
L'exemple du bassin de l'Erdre

- Bassin tertiaire : aquifère libre des sables pliocènes et aquifère libre et captif des calcaires oligocènes au sein d'un massif cristallin
- Les sables pliocènes sont au contact de l'Erdre ou de ses alluvions et contiennent une nappe libre drainée par le cours d'eau
- En période de basses eaux (de nappe), il pourrait y avoir réalimentation de la nappe indirectement via les marais

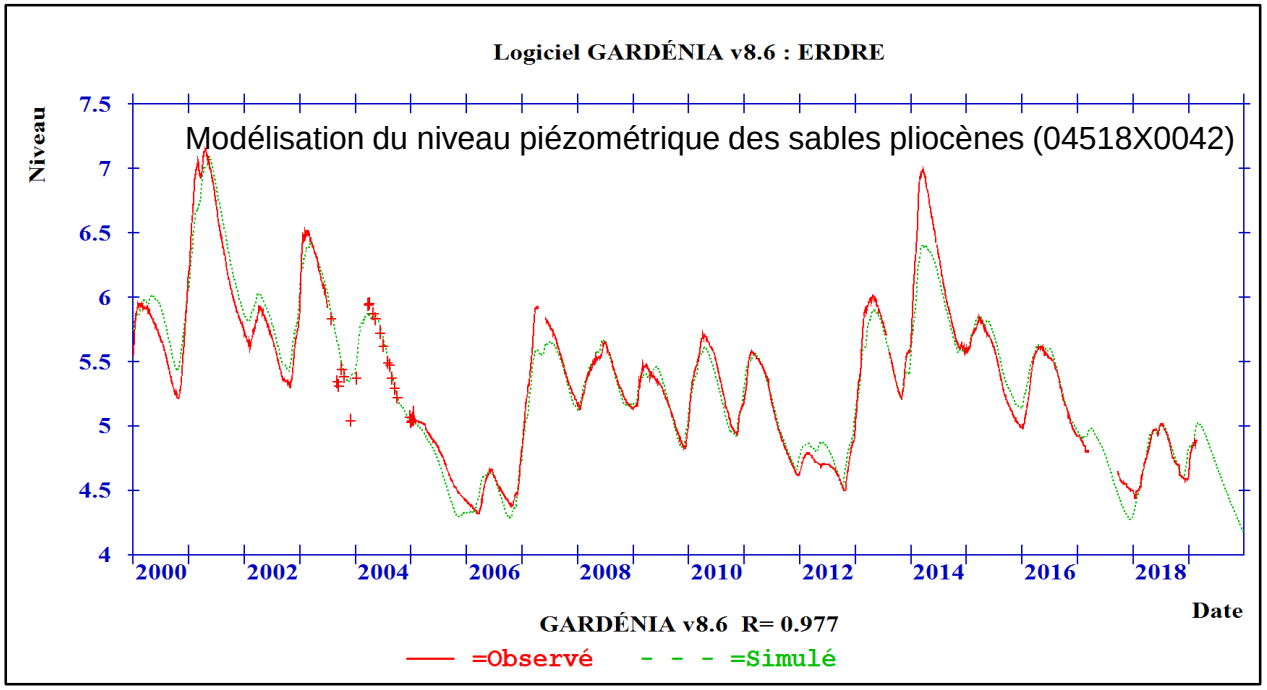
Des prélèvements en nappe diversifiés

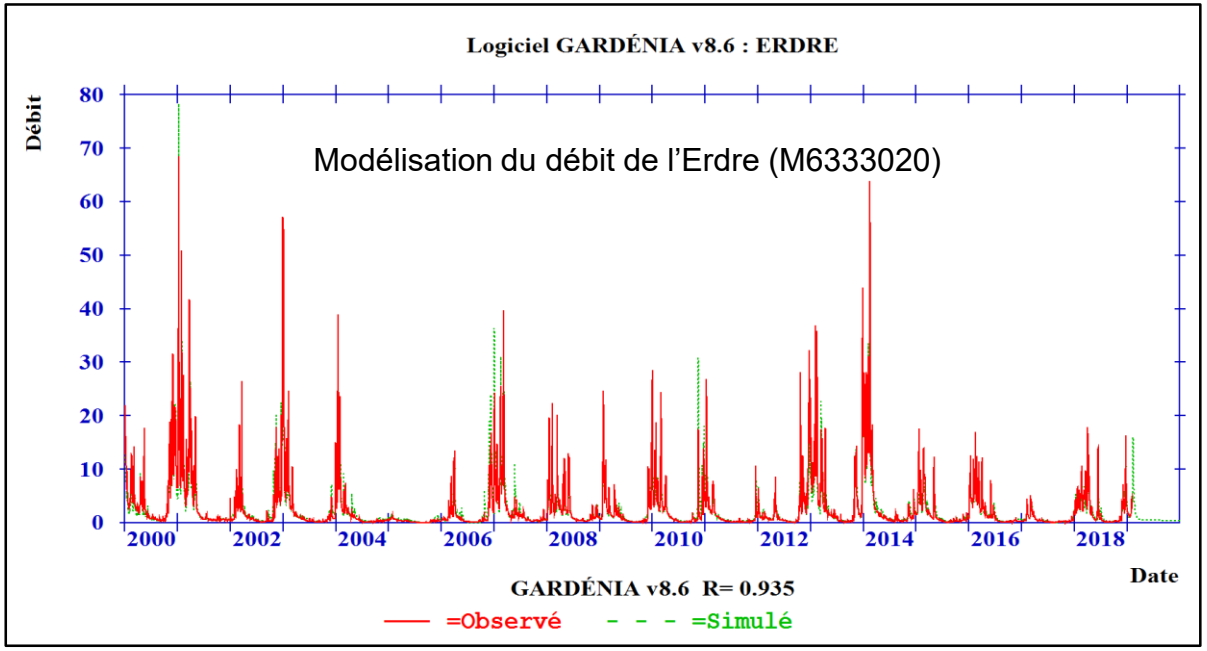
- 60 pts de prélèvements pour irrigation
- 6 pour industrie
- AEP significative dans le bassin IIIaire

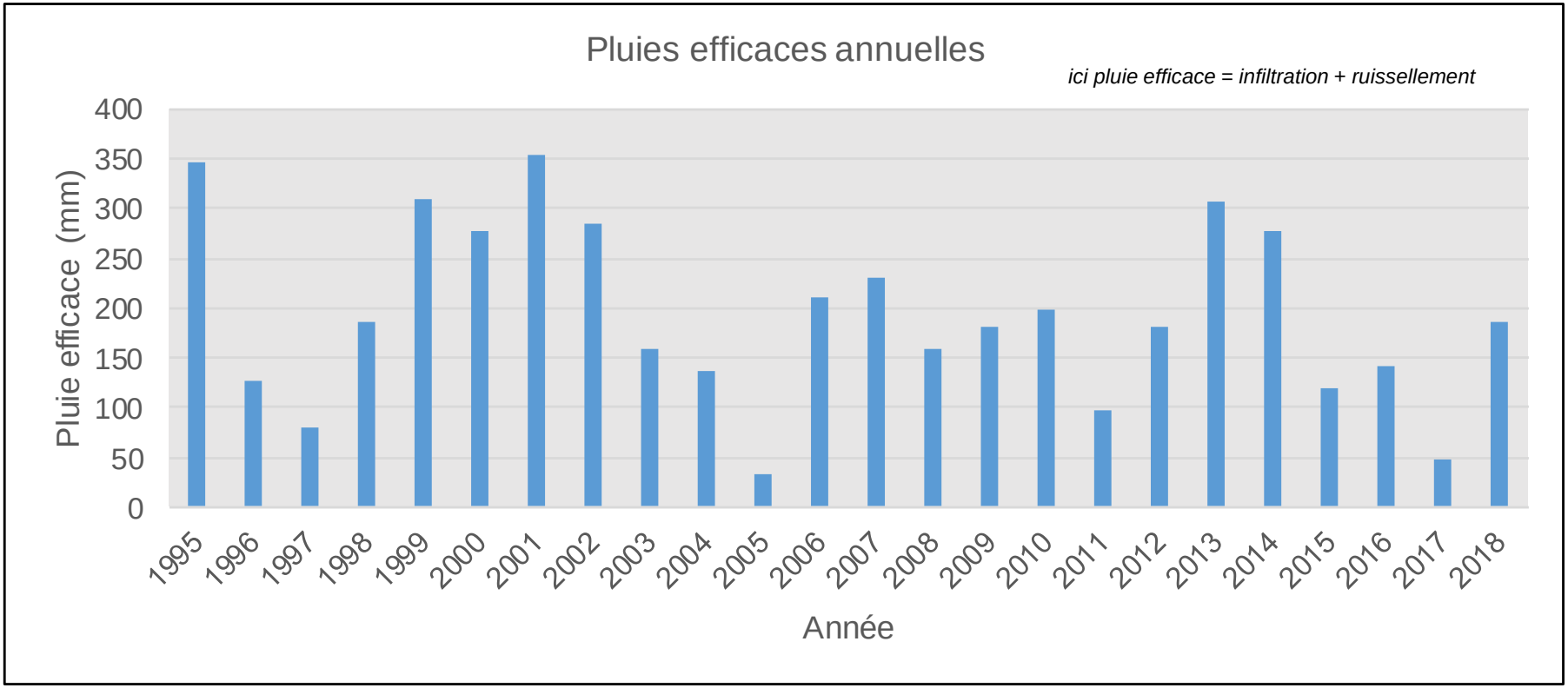




	En nappe en 2015 (m3)
Volume prélevé pour l'irrigation	1 231 000
Volume prélevé pour l'industrie	60 000
Volume prélevé pour l'AEP (pour mémoire)	4 254 000


Logiciel GARDÉNIA v8.6 : ERDRE
Modélisation du niveau piézométrique des sables pliocènes (04518X0042)
Niveau
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
Date
GARDÉNIA v8.6 R= 0.977
=Observé
=Simulé


Logiciel GARDÉNIA v8.6 : ERDRE
Modélisation du débit de l'Erdre (M6333020)
Débit
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
Date
GARDÉNIA v8.6 R= 0.935
=Observé
=Simulé

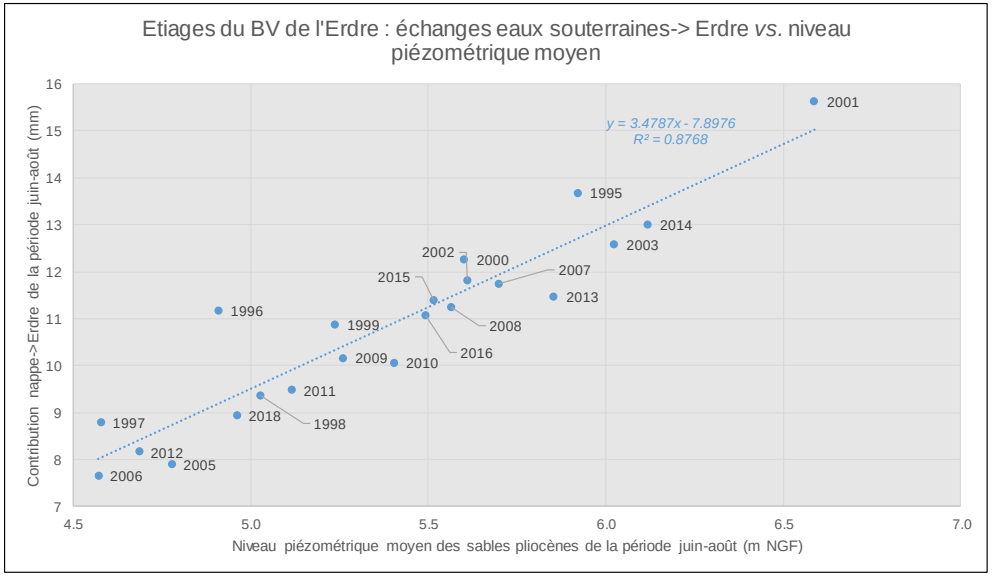

Pluies efficaces annuelles
ici pluie efficace = infiltration + ruissellement
Pluie efficace (mm)
400
350
300
250
200
150
100
50
0
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Année

Interprétation des résultats de la modélisation

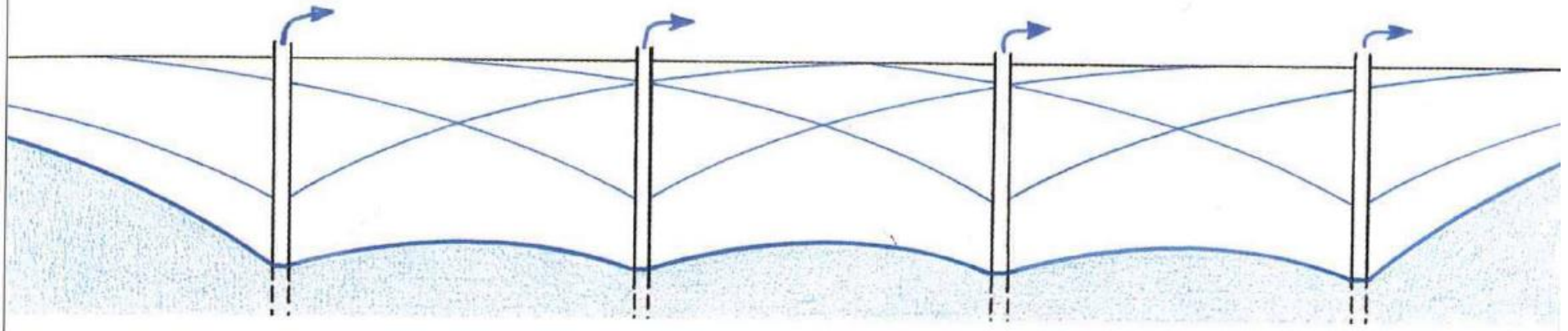
- Contribution des eaux souterraines au débit de l'Erdre : pas de tendance entre 1995 et 2018.
- De juin à octobre, le débit de l'Erdre est majoritairement assuré par la composante lente de l'écoulement (~ eaux souterraines).
- En août et septembre, le débit est presque entièrement assuré par la vidange des eaux souterraines (sauf lors d'années particulières comme 1999, 2002, 2007, 2011 et 2015).
- D'octobre 2016 à février 2017, la contribution des eaux souterraines au débit de l'Erdre très supérieure à la moyenne reflète le déficit pluviométrique qu'a connu la Loire-Atlantique cet hiver-là.
- Corrélation entre contribution nappe→Erdre et situation piézo (juin-août). Un abaissement de la piézométrie sous l'effet de pompage à cette période entraîne une diminution de la contribution nappe→Erdre, donc une diminution des débits de l'Erdre (de juin à août le débit de l'Erdre est assuré en moyenne à 80% par les eaux souterraines).

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Moyenne mensuelle
Janvier	3%	18%	37%	7%	8%	13%	3%	43%	7%	6%	44%	43%	6%	14%	12%	9%	9%	21%	7%	4%	15%	11%	71%	11%	18%
Février	4%	11%	15%	40%	14%	17%	9%	17%	15%	18%	59%	30%	6%	14%	15%	11%	23%	35%	6%	4%	14%	10%	33%	11%	18%
Mars	10%	21%	27%	40%	17%	26%	7%	14%	30%	26%	64%	9%	6%	15%	30%	15%	40%	61%	8%	16%	24%	16%	23%	11%	23%
Avril	52%	43%	75%	6%	13%	20%	16%	43%	65%	32%	72%	17%	42%	22%	27%	28%	66%	33%	17%	38%	57%	27%	71%	11%	37%
Mai	48%	26%	77%	20%	18%	42%	20%	59%	66%	43%	76%	27%	17%	20%	26%	76%	91%	28%	39%	46%	24%	42%	76%	36%	44%
Juin	78%	64%	87%	63%	27%	44%	82%	70%	79%	82%	88%	58%	25%	25%	55%	89%	97%	60%	68%	72%	67%	30%	83%	19%	63%
Juillet	94%	79%	89%	82%	75%	78%	81%	83%	92%	92%	95%	86%	37%	77%	86%	97%	99%	73%	88%	86%	83%	60%	93%	38%	81%
Août	98%	94%	97%	95%	91%	93%	87%	93%	96%	96%	98%	95%	54%	89%	95%	99%	90%	87%	93%	83%	92%	91%	97%	84%	91%
Septembre	99%	98%	98%	93%	35%	93%	96%	40%	99%	97%	99%	87%	78%	89%	98%	93%	77%	95%	97%	87%	70%	97%	97%	95%	88%
Octobre	99%	99%	99%	46%	10%	22%	85%	21%	90%	64%	94%	21%	93%	88%	99%	45%	90%	10%	60%	84%	65%	95%	96%	98%	70%
Novembre	90%	46%	45%	32%	13%	6%	84%	7%	29%	64%	42%	9%	94%	43%	33%	9%	88%	10%	8%	28%	59%	70%	89%	49%	44%
Décembre	38%	21%	14%	12%	6%	6%	75%	5%	17%	66%	38%	5%	61%	33%	6%	8%	15%	6%	8%	29%	46%	70%	35%	8%	26%
Min.	3%	11%	14%	6%	6%	6%	3%	5%	7%	6%	38%	5%	6%	14%	6%	8%	9%	6%	6%	4%	14%	10%	23%	8%	
Max.	99%	99%	99%	95%	91%	93%	96%	93%	99%	97%	99%	95%	94%	89%	99%	99%	99%	95%	97%	87%	92%	97%	97%	98%	
Moyenne annuelle	59%	52%	63%	45%	27%	38%	54%	41%	57%	57%	73%	41%	43%	44%	48%	48%	65%	43%	42%	48%	51%	52%	72%	39%	

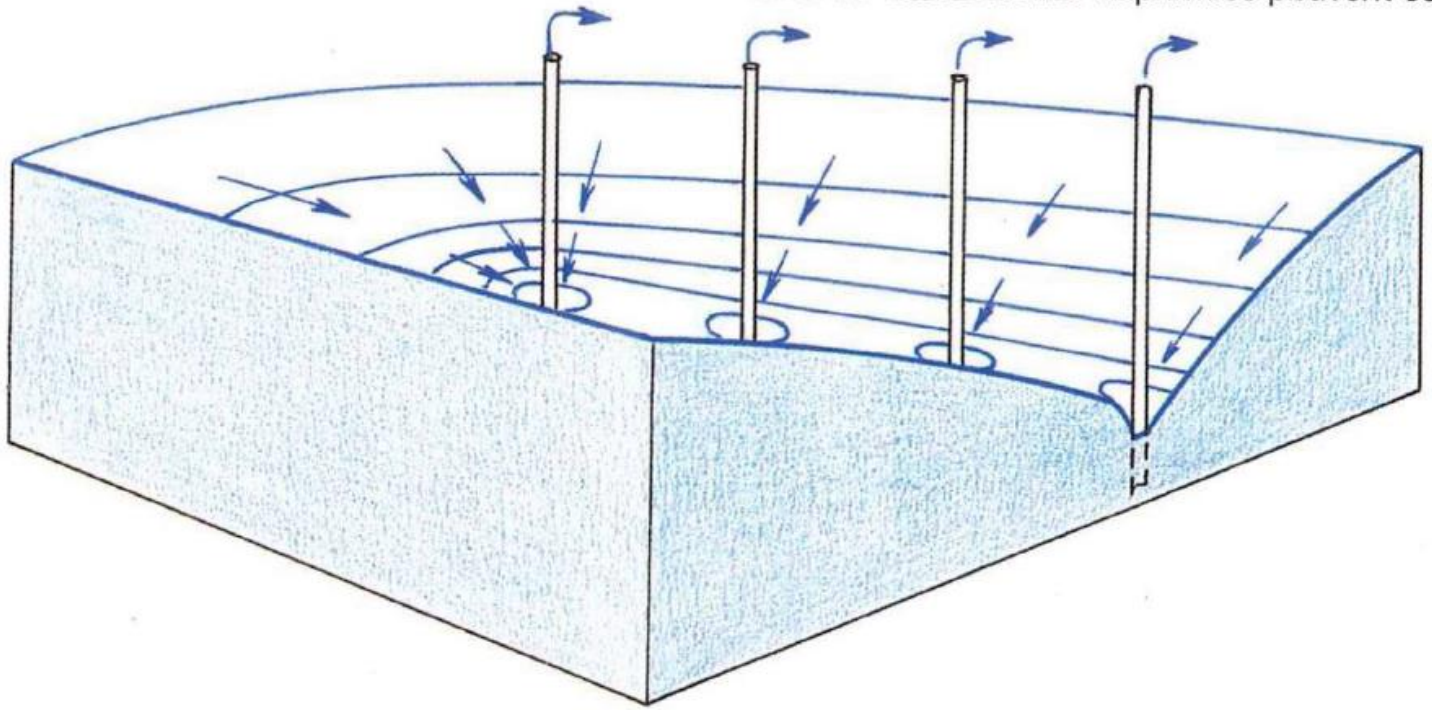
contribution des eaux souterraines au débit de l'Erdre

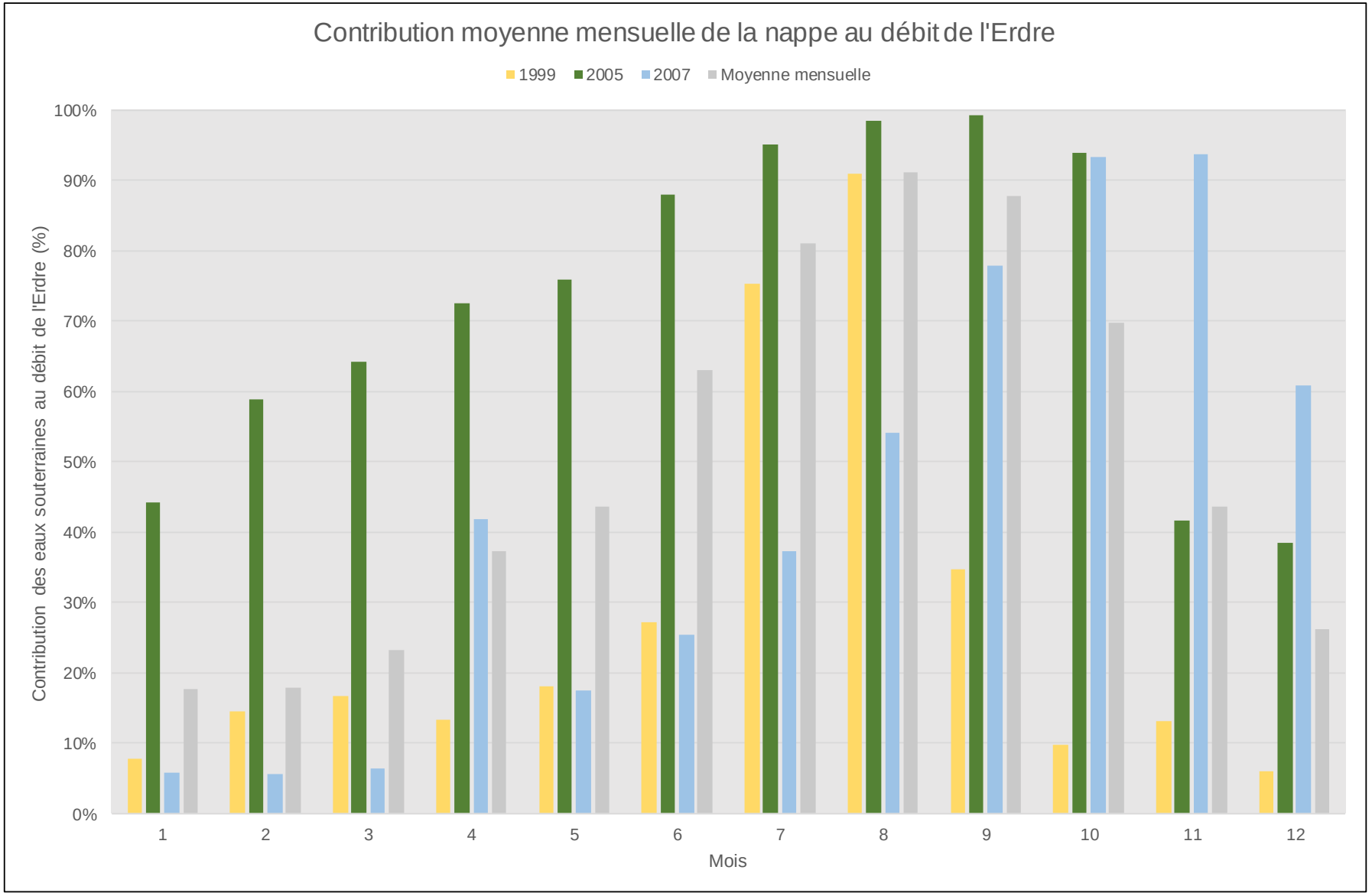


Les effets de plusieurs pompages s'ajoutent...



... et de vastes zones déprimées peuvent se développer.




Contribution moyenne mensuelle de la nappe au débit de l'Erdre
1999
2005
2007
Moyenne mensuelle
Contribution des eaux souterraines au débit de l'Erdre (%)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Mois

Merci de votre attention

Beaucoup de schémas insérés dans cette présentation proviennent de l'ouvrage « Les eaux souterraines » de Jean-Jacques Collin, BRGM édition, 2004