

Avec le soutien de :



COLLOQUE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

Du 15 au 17 février 2023
à l'ENSEGID - Bordeaux INP

La notion de bon état pour les nappes captives à grande inertie ou le mythe du bilan hydrologique et l'utopie d'un régime permanent

Bruno de GRISSAC – SMEGREG – EPTB des Nappes profondes de Gironde

Alain DUPUY - ENSEGID



Objectif "bon état"

Depuis plus de 20 ans (directive 2000/60/DCE du 23 octobre 2000) :

- on parle de "masses d'eau"
- et l'objectif de la gestion de ces objets est le "bon état"

Pour être jugée en bon état, une masse d'eau souterraine doit être à la fois :

- en "bon état chimique"
- et en "bon état quantitatif".

Le "bon état" pour les eaux souterraines

Le "bon état" chimique :

- défini dans l'annexe V de la directive cadre ;
- précisé dans la directive "fille" sur la protection des eaux souterraines (directive 2006/118/CE du 12 décembre 2006) ;
- repose sur une liste de substances polluantes et des valeurs limites.

Le "bon état" quantitatif :

- "défini (très) sommairement" dans la directive cadre (art. 2 et annexe V) ;
- précisé à la marge dans la circulaire du ministère de l'écologie du 21 décembre 2006 ;
- plus clairement explicité au R212-12 du Code de l'environnement depuis le 23 mars 2007.

Le "bon état" quantitatif pour les eaux souterraines

Article R212-12 du Code de l'environnement (Décrets 2007-397 et 2008-1306) :

L'état quantitatif d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible, compte tenu de la nécessaire alimentation en eau des écosystèmes aquatiques de surface et des zones humides directement dépendantes en application du principe de gestion équilibrée énoncé à l'article L. 211-1

>>> capacité de renouvellement

Le "bon état" quantitatif pour les eaux souterraines



LE SERVICE PUBLIC
D'INFORMATION SUR L'EAU

Le bon état quantitatif d'une eau souterraine est atteint lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible, compte tenu de la nécessaire alimentation des écosystèmes aquatiques.



- Le bon état quantitatif, qui est notamment caractérisé par le fait qu'il y a un équilibre entre les prélèvements dans la nappe et sa recharge naturelle.

>>> capacité de renouvellement

>>> équilibre

>>>prélèvements

>>> recharge naturelle

Le "bon état" quantitatif ou le concept de bilan équilibré

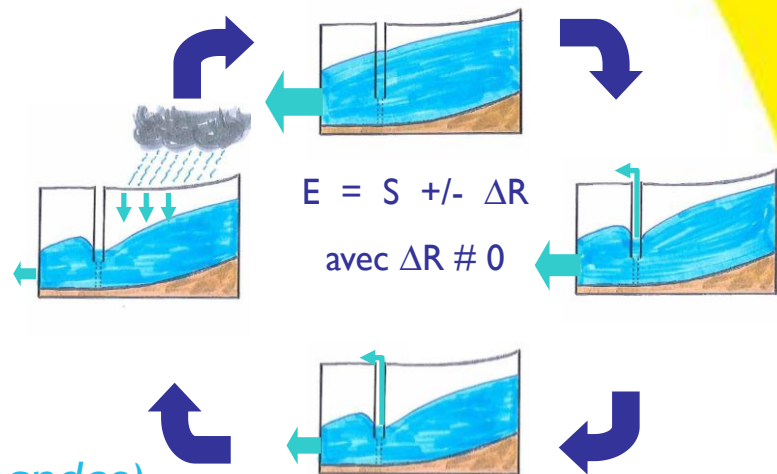
Le "bon état" quantitatif renvoie donc à la notion de bilan équilibré dans lequel les entrées d'eau compensent intégralement les sorties.

En équation cela donne :

Entrées = Sorties +/- Variations des réserves

$$E = S +/- \Delta R$$

et une bonne gestion doit permettre de garantir un **ΔR nul** (aux aléas météorologiques près).



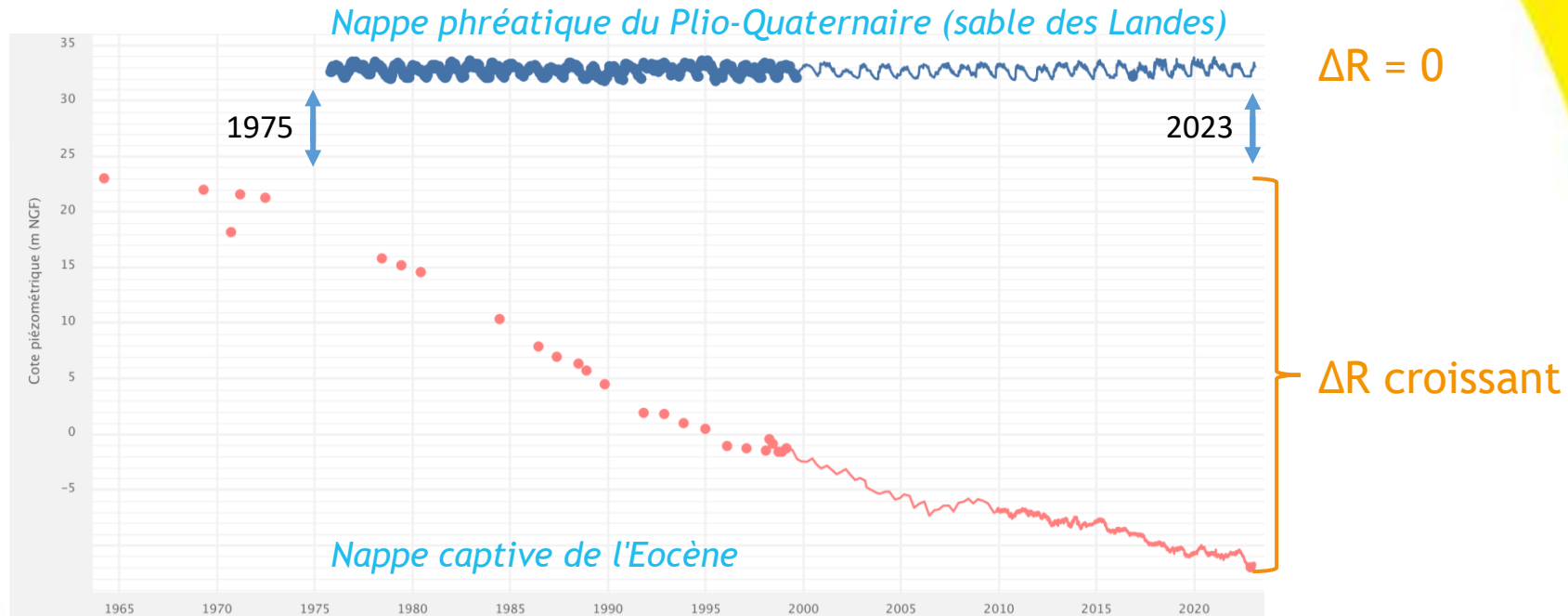
Nappe phréatique du Plio-Quaternaire (sable des Landes)



Le "bon état" quantitatif ou le concept de bilan équilibré

Cette "définition" sous entend un bilan équilibré au pas de temps annuel.

Or toutes les nappes ne sont pas rythmées par le cycle hydrologique annuel.



Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique

Le bilan de flux... une idée « ancienne »... C.H. Lee (1908) reprise par Meinzer (1931) qui pose comme principe :

« Avant toute exploitation importante des eaux souterraines, le taux moyen d'écoulement pendant une longue période est évidemment égal au taux moyen de recharge. »

Meinzer (1931)

Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique

Le bilan de flux... une idée « ancienne »... C.H. Lee (1908) reprise par Meinzer (1931) qui pose comme principe :

« Avant toute exploitation importante des eaux souterraines, le taux moyen d'écoulement pendant une longue période est évidemment égal au taux moyen de recharge. »

Meinzer (1931)

Un bilan revient à établir **une comptabilité statique de l'état du système à une date donnée**, souvent avant que le système ne soit perturbé.

L'idée exprimée par Meinzer était que la quantité qui peut être prélevée dépend de la quantité de décharge du système qui peut être récupérée.

Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique...

Le bilan hydrique est fondé sur le principe de la conservation de masse.

Le bilan hydrique : méthode pour rendre compte de l'état quantitatif général d'un système aquifère à l'équilibre.



Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique...

Le bilan hydrique est fondé sur le principe de la conservation de masse.

Le bilan hydrique : méthode pour rendre compte de l'état quantitatif général d'un système aquifère à l'équilibre.

Pour un aquifère exploité : $(R_0 + \Delta R_0) - (D_0 + \Delta D_0) = P - \frac{dV}{dt}$

Bredehoeft [2002], Devlin and Sophocleous [2005]

- avec
- D_0 : flux initial d'écoulement naturel
 - ΔD_0 : variation du flux initial d'écoulement naturel induite par l'exploitation
 - R_0 : flux initial de recharge naturelle
 - ΔR_0 : variation du flux initial de recharge naturelle induite par l'exploitation
 - dV/dt : taux d'extraction d'eau issue du stockage
 - P : flux d'exploitation

Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique...

Le bilan hydrique, fondé sur le principe de la conservation de masse, est utilisé pour rendre compte de l'état quantitatif général d'un système aquifère à l'équilibre.

Pour un aquifère exploité : $(R_0 + \Delta R_0) - (D_0 + \Delta D_0) = P - \frac{dV}{dt}$

Bredehoeft [2002], Devlin and Sophocleous [2005]

En considérant une variation de stock nulle (ou tendant vers 0) \Leftrightarrow exploitation durable :

$$(R_0 + \Delta R_0) - (D_0 + \Delta D_0) = P$$

Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique...

Le bilan hydrique, fondé sur le principe de la conservation de masse, est utilisé pour rendre compte de l'état quantitatif général d'un système aquifère à l'équilibre.

Pour un aquifère exploité : $(R_0 + \Delta R_0) - (D_0 + \Delta D_0) = P - \frac{dV}{dt}$

Bredehoeft [2002], Devlin and Sophocleous [2005]

En considérant une variation de stock nulle (ou tendant vers 0) \Leftrightarrow exploitation durable :

$$(R_0 + \Delta R_0) - (D_0 + \Delta D_0) = P$$

$$P = R - D$$

Les prélèvements pourraient atteindre la valeur différentielle entre Recharge et Drainage, ***pour autant que ce différentiel soit positif !***

Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique...

Le bilan hydrique, fondé sur le principe de la conservation de masse, est utilisé pour rendre compte de l'état quantitatif général d'un système aquifère à l'équilibre.

Pour un aquifère exploité : $P = R - D$

➤ Utilisation « simpliste de la loi de conservation de masse »

deux biais majeurs :



- Termes du bilan considérés comme indépendants ;

- Le système est considéré comme fermé.

Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique... un mythe pour les nappes captives !

- Nécessité de démystifier « l'approche du bilan hydrique »
- « *Rappeler à la communauté hydrogéologique certains principes fondamentaux qui semblent avoir été oubliés dans le but de simplifier les concepts pour le grand public et les législateurs. »*

Devlin and Sophocleous [2005]

Méthode du bilan des flux, ou bilan hydrologique... un mythe pour les nappes captives !

- Nécessité de démystifier « l'approche du bilan hydrique »
- « *Rappeler à la communauté hydrogéologique certains principes fondamentaux qui semblent avoir été oubliés dans le but de simplifier les concepts pour le grand public et les législateurs. »*

Devlin and Sophocleous [2005]

Du fait d'un **biais induit par l'expression d'un bilan massique trop simplifié ...**

=> Le bilan hydrologique ne tient pas compte des variations spatiales et temporelles des transferts de pression au sein de l'aquifère !

Complexité intégrée dans l'approche de gestion adaptée aux nappes captives inertielles ?

Cas particulier des nappes captives à grande inertie

Oubliées dans un premier temps, les nappes captives à grande inertie font l'objet d'un chapitre dans le "Guide d'évaluation de l'état des eaux souterraines" (Ministère de la transition écologique - juillet 2019)

- raisonnement à long terme impératif ;
- prise en compte alimentation directe et par drainance ;
- modélisation nécessaire.

Ainsi il est possible que les niveaux baissent alors que les prélèvements n'augmentent plus. Il s'agit d'un état transitoire précédant le retour à l'équilibre, équilibre qui sera atteint au bout d'un temps plus ou moins long en fonction de l'inertie du système multicouches.

Un état transitoire précédant le retour à l'équilibre...
ou l'installation d'un nouvel équilibre ...



Nappes captives inertielles... l'utopie d'un régime permanent réel !

- *Theis (1935) a introduit le temps dans la théorie des eaux souterraines. Cela a permis aux hydrogéologues de faire des prédictions temporelles.*
- *À la fin des années 1960, les ordinateurs numériques avaient progressé au point que des modèles réalistes d'eau souterraine pouvaient être conçus et analysés à l'aide de méthodes numériques (Pinder et Bredehoeft 1968).*
- *Temporalités des phénomènes hydrogéologiques prisent en compte par les modèles numériques...*

Nappes captives inertielles... l'utopie d'un régime permanent réel !

Pour les aquifères à grande inertie, les piézométries actuelles sont en partie dépendantes des conditions hydrologiques résultant de plusieurs cycles climatiques passés.

Bassin Aquitain => temps de retour à un pseudo régime permanent (95%) ~ 8 900 ans < > 1 300 000 ans

P. Rousseau-Gueutin et al. 2013



Nappes captives inertielles... l'utopie d'un régime permanent réel !

Pour les aquifères à grande inertie, les piézométries actuelles sont en partie dépendantes des conditions hydrologiques résultant de plusieurs cycles climatiques passés.

Bassin Aquitain => temps de retour à un pseudo régime permanent (95%) ~ 8 900 ans < > 1 300 000 ans

P. Rousseau-Gueutin et al. 2013

⇒ ***Les grands systèmes aquifères captifs peuvent présenter des régimes transitoires longs, alors qu'il sont souvent décrits comme s'adapter rapidement aux perturbations hydrauliques (locales) !***

Nappes captives inertielles... l'utopie d'un régime permanent réel !

Pour les aquifères à grande inertie, les piézométries actuelles sont en partie dépendantes des conditions hydrologiques résultant de plusieurs cycles climatiques passés.

Bassin Aquitain => temps de retour à un pseudo régime permanent (95%) ~ 8 900 ans < > 1 300 000 ans

P. Rousseau-Gueutin et al. 2013

⇒ *Les grands systèmes aquifères captifs peuvent présenter des régimes transitoires longs, alors qu'il sont souvent décrits comme s'adapter rapidement aux perturbations hydrauliques (locales) !*

=> Comment faire coïncider la temporalité des décisions de gestion, avec celle des modélisations et la cinétique hydrodynamique des aquifères captifs ?

Cas particulier des nappes captives à grande inertie

"Guide d'évaluation de l'état des eaux souterraines" (juillet 2019)

"En résumé, pour ces nappes captives, l'évolution tendancielle des niveaux piézométriques... ne permet pas de juger du dépassement ou non de la capacité de renouvellement de la ressource disponible par les prélèvements.

Il est donc recommandé

- de mettre en place des outils de modélisation appropriés afin de pouvoir évaluer... l'état quantitatif...*
- de s'appuyer si nécessaire sur le dire d'expert".*



Nappes captives inertielles... en conclusion !

« La qualification de **surexploitation de nappes** est surtout un adjectif qui a pour but de qualifier une évolution préoccupante sous certains points de vue, mais sans une signification hydrodynamique précise.

*Pour adopter des mesures de gestion et protection, on a besoin d'une **évaluation quantitative de l'évolution de la nappe (...)**, ce qui doit déboucher sur des études détaillées dans un contexte multidisciplinaire, et sur de bonnes données. »*

E. Custodio, 2002

Avec le soutien de :



COLLOQUE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

Du 15 au 17 février 2023
à l'ENSEGID - Bordeaux INP

Merci de votre attention

