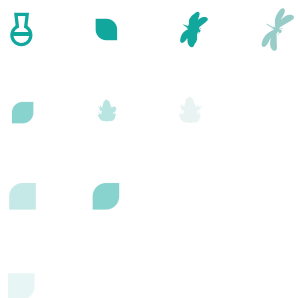


Dynamique hydrologique de la nappe  
piézomètres

103

Extrait de la **boîte**  
à **outils** de suivi des  
**zones**  
**humides**

RhoMeO



## Définir l'univers d'échantillonnage

Dans le cadre du programme RhoMéO, le contour des zones humides suivies correspondait aux contours délimités dans le cadre des inventaires départementaux des zones humides réalisés entre 1996 et 2012 dans le bassin Rhône-Méditerranée. Il est important de noter que l'inventaire et la cartographie des zones humides ont été réalisés avec des méthodes légèrement différentes d'un département à l'autre, parfois même au sein d'un même département. Les principaux écarts observés portent sur :

- L'intégration ou non des marges peu profondes des masses d'eau associées aux zones humides (lac, cours d'eau).
- Le traitement cartographique des réseaux de petites zones humides, soit intégrées dans un seul polygone, soit faisant l'objet de polygones distincts. En lien avec ce second point, l'intégration ou non de parties de la zone humide déjà dégradées au moment des inventaires selon que des critères pédologiques ou uniquement floristiques ont été utilisés.

Les choix qu'un opérateur fera au moment de la délimitation de l'univers d'échantillonnage auront des conséquences importantes au moment de l'analyse des données et de l'interprétation des indicateurs de la boîte à outils :

- Pour des zones humides attenantes à une masse d'eau, la prise en compte ou non de l'interface entre la masse d'eau et la zone humide modifiera logiquement la liste des

espèces observées. Cette liste inclura ou non certaines espèces parmi les plus hydrophiles (ex : flore) et ainsi influera sur la valeur de l'indicateur alors calculée (en lien notamment avec la fonction hydrologique du site). Pour les groupes faunistiques les plus mobiles, cette prise en compte de l'interface zone humide/masse d'eau permettra d'interpréter la présence d'éventuelles espèces «surprenantes» par rapport aux habitats recensés sur le site (espèces d'odonates caractéristiques des cours d'eau pouvant être observées sur une zone humide). L'interprétation des résultats obtenus devra donc faire référence aux contours de l'objet suivi.

- Dans le cas de constellations de petites zones humides (marais, mares,...), souvent héritées d'une zone humide antérieure plus vaste réduite et fragmentée par drainage ou mise en culture, l'inclusion ou non de ces parties dégradées déterminera la capacité de l'opérateur à suivre par exemple les effets d'une éventuelle restauration de la zone humide dans leur intégralité.

**Il convient donc, avant d'engager la définition de l'échantillonnage, d'avoir une lecture critique des données d'inventaire des zones humides et, selon les besoins de l'utilisateur, de procéder à des regroupements ou plus généralement de redéfinir les contours de la zone humide suivie de manière à conduire l'évaluation à la bonne échelle.**

# PRÉALABLE À L'UTILISATION DES FICHES



En haut de chaque fiche un bandeau permet d'identifier le type de fiche et le renvoi aux fiches liées.

numéro de la fiche

renvoi vers les fiches correspondantes :

I : Indicateur

P : Protocole

A : Analyse et Interprétation



Sur chaque fiche indicateur, le bandeau contient également des informations sur :

coûts annuels (temps et analyses)



domaine de validité

fonctions et pressions que l'indicateur mesure

niveau de compétence nécessaire pour le recueil de données

niveau de compétence nécessaire pour le calcul de l'indicateur

coûts matériels

Plusieurs indicateurs peuvent être calculés avec un seul protocole, le schéma ci-dessous montre les liens entre les fiches protocoles et les indicateurs correspondants.

| Numéro de page |    | Numéro de page |    | Numéro de page           |     |
|----------------|----|----------------|----|--------------------------|-----|
| Indicateur     |    | Protocole      |    | Analyse / Interprétation |     |
| I01            | 20 | P01            | 46 | A01                      | 88  |
| I02            | 22 | P02            | 50 | A02                      | 92  |
| I06            | 24 | P02            | 50 | A06                      | 108 |
| I08            | 26 | P02            | 50 | A08                      | 116 |
| I03            | 28 | P03            | 54 | A03                      | 96  |
| I04            | 30 | P04            | 58 | A04                      | 100 |
| I07            | 32 | P04            | 58 | A07                      | 112 |
| I05            | 34 | P05            | 62 | A05                      | 104 |
| I09            | 36 | P05            | 62 | A09                      | 120 |
| I10            | 38 | P06            | 66 | A10                      | 124 |
| I11            | 40 | P07            | 72 | A11                      | 128 |
| I12            | 42 | P08            | 76 | A12                      | 132 |
| I13            | 44 | P09            | 82 | A13                      | 136 |



## Description et principes de l'indicateur



l'échelle du site. Cette dynamique détermine la présence des espèces hygrophiles et des sols hydromorphes. L'indicateur caractérise la distribution des valeurs annuelles de la nappe pour un suivi à moyen et long terme de la dynamique hydrologique.



## FONDEMENTS SCIENTIFIQUES DE L'INDICATEUR



relativement à la surface du sol et indiquent la profondeur de la nappe d'eau dans le sol. Il s'agit en effet de s'intéresser à travers cet indicateur à la relation eau/sol/végétation puisque c'est dans les horizons superficiels du sol que se joue la disponibilité de l'eau pour la végétation. Dans la littérature, des tests de corrélation montrent les liens des niveaux de nappe avec la biomasse ou la composition floristique (PAUTOU *et al.*, 1996).

La mesure des niveaux dans la partie superficielle du sol, inférieure à 1,5 m de profondeur, vise à réaliser des mesures dans des dépôts au comportement hydraulique le plus homogène possible où se situe la nappe libre.

La nappe d'eau du sol étant continue dans l'espace, les piézomètres sont dépendants les uns des autres (**GENTIL *et al.*, 1983**). En conséquence, enregistrer la dynamique de la nappe en un point d'une zone humide peut nous renseigner sur son fonctionnement général, pour autant que l'on s'assure que le piézomètre permette de mesurer le niveau d'une nappe libre et non captive.

$$P + S = R + E + (S + DS)$$

$S + DS$ : stocks accumulés à la fin de la période [mm].

Ici, tous les niveaux d'eau sont mesurés

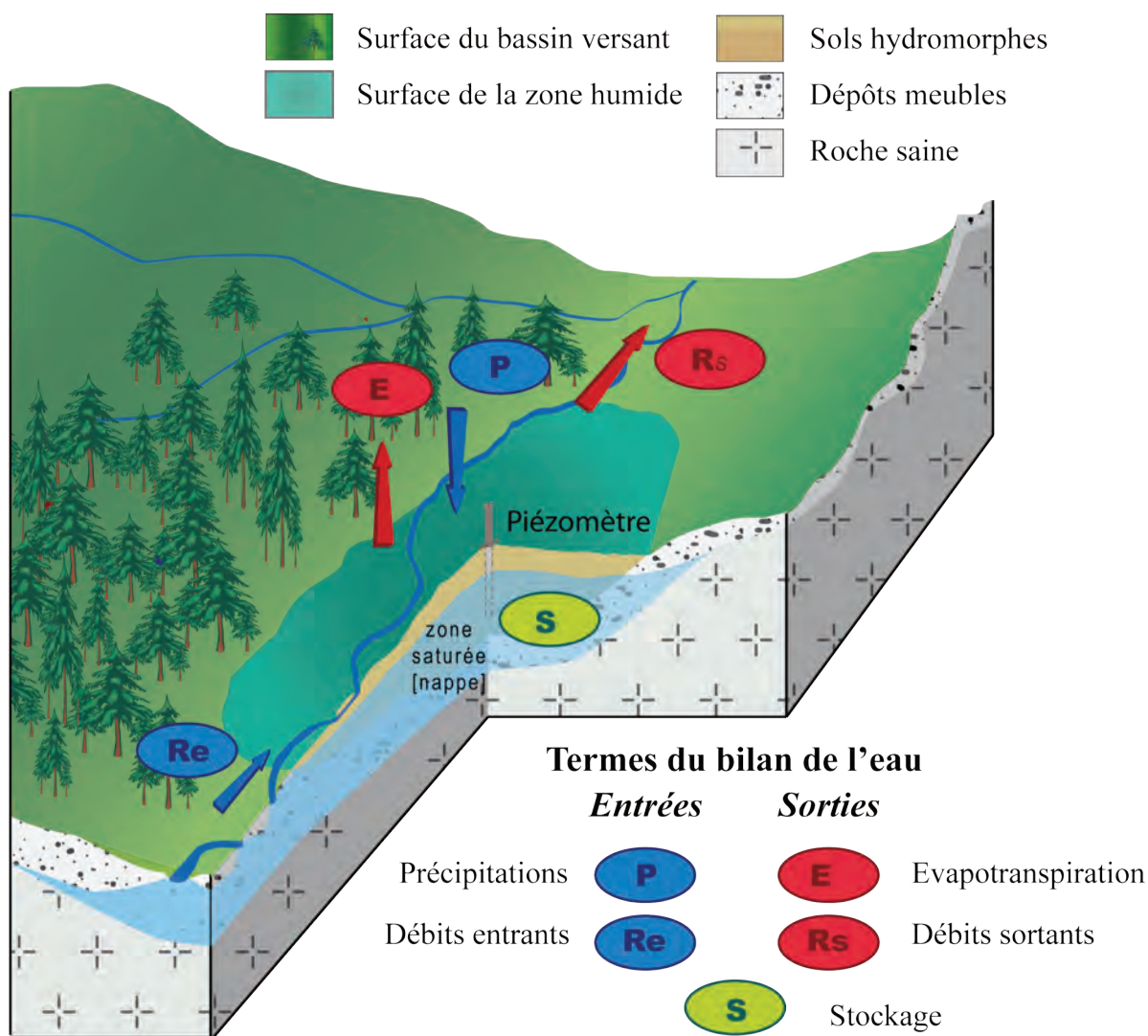


## DOMAINE D'APPLICATION DE L'INDICATEUR

L'indicateur étant calculé relativement à la surface du sol au niveau du piézomètre, il est applicable tant pour les sites à nappe superficielle que pour les sites à submersion temporaire, voire permanente. Toutefois, la représentativité du point de mesure vis-à-vis du fonctionnement général du site, notamment sur les sites de grande taille, doit être validée par le respect des prescriptions d'installation du protocole.

### Périodicité

Les relevés des données peuvent être réalisés annuellement de même que le calcul de l'indicateur. L'interprétation de l'évolution de la valeur indicatrice doit être réalisée elle tous les 5 ans.



### Bibliographie :

GENTIL S., KOSMELJ K., LACHET B., LAPORTE P. & PAUTOU G, 1983. Classification statistique et modélisation des niveaux de la nappe phréatique près de Brégnier-Cordon, en relation avec les apports en eau et la température. In : Revue de géographie alpine. Tome 71 N°4 : 353-362.

GILVEAR D.J. & BRADLEY C., 2000. Hydrological monitoring and surveillance for wetland conservation and management; a UK perspective, Physics and Chemistry of the Earth, Part B : Hydrology, Oceans and Atmosphere, Volume 25, Issues 7-8 : 571-588.

MUSYA. & HIGYA., 2004. Hydrologie : une science de la nature, Science & ingénierie de l'environnement, Collection Gérer l'environnement, volume 21 - PPUR presses polytechniques, 314 p.

PAUTOU G., GIREL J., PEIRY J.-L., HUGHES F., RICHARDS K., FOUSSADIER R., GARGUET-DUPORT B., HARRIS T. & BARSOUMN., 1996. Les changements de végétation dans les hydrosystèmes fluviaux. L'exemple du Haut-Rhône et de l'Isère dans le Grésivaudan - Revue d'écologie alpine 3 41-66.

# PIÉZOMÉTRIE



## Description et principes du protocole

### Principes généraux

Il s'agit de suivre les variations de la nappe d'eau dans le sol et de traduire la dynamique hydrologique de la zone humide. Pour cela, un piézomètre, servant de puits d'observation, est installé et équipé d'une sonde de pression permettant l'enregistrement automatique des valeurs de nappe. Comme il s'agit de mesurer les variations de la nappe à proximité de la surface et non dans les formations superficielles profondes, les piézomètres peuvent ne pas excéder deux mètres de longueur. Ce protocole nécessite d'envisager une maintenance du matériel à moyen et long terme (TAYLOR et ALLEY, 2001).

### Type de données collectées

Les sondes acquièrent des données au pas de temps horaire, soit 8760 valeurs par an. Comme il s'agit de profondeur par rapport à la surface du sol, les valeurs sont positives lorsque la nappe se situe dans le sol et négatives si elle dépasse la surface et inonde le sol.

### Type d'échantillonnage

Un seul piézomètre équipé peut être installé par site. Bien évidemment, la localisation du piézomètre doit être réfléchie afin de se situer dans un contexte hydrologique et topographique moyen à l'échelle du site. Cela est d'autant plus vrai que le site est vaste.

## Méthode de mise en place

Les piézomètres « ouverts » sont de simples tubes, qui permettent depuis la surface d'accéder à l'eau d'une nappe. Fabriqués à partir de tubes métalliques ou en PVC perforés sur toute leur longueur (tous les 10 centimètres), ils permettent d'observer le niveau piézométrique. Il est parfois préconisé de recouvrir le tube d'un géotextile, pour empêcher le matériel du sol de rentrer dans le tube. Si cela est recommandé dans les sol minéraux friables ou argileux, cela n'est généralement pas nécessaire dans la tourbe, dans la mesure où les perforations sont de petite taille (inférieure à 10 mm). Les tubes dépassent du sol pour faciliter leur repérage au milieu de la végétation. Une marque est réalisée au niveau du sol pour matérialiser le niveau 0 et vérifier que le piézomètre ne bouge pas au fil du temps. Les tubes sont équipés de sondes à capteur de pression permettant l'enregistrement automatique des valeurs à un pas de temps défini.

Différents fabricants proposent aujourd'hui des enregistreurs de niveau de nappes basés sur une sonde de pression (ott, hydreka, aqualyse, schlumberger, paratronic, solinst...).

Si les propositions techniques diffèrent quelque peu, le principe général consiste à mesurer la pression absolue en profondeur, correspondant à la somme de la pression atmosphérique et de la pression due à la colonne d'eau, pour la convertir en hauteur. Pour cela, il est donc nécessaire de compenser la pression absolue par la pression atmosphérique enregistrée en surface et ainsi isoler la pression uniquement liée au poids de la colonne d'eau. Aujourd'hui les capacités de stockage des données ne sont plus un facteur limitant, les sondes pouvant stocker plusieurs centaines de milliers de valeurs. Si, pour le calcul de l'indicateur, les données sont exploitées au pas de temps journaliers, des enregistrements au pas de temps horaire peuvent permettre des observations complémentaires intéressantes.



## Méthode de mise en place (Suite)



Deux documents annexés précisent la méthode de fabrication des tubes piézométriques et l'utilisation du logiciel de paramétrage des sondes (Annexe 2). La localisation du point d'installation du piézomètre doit respecter les préconisations suivantes :

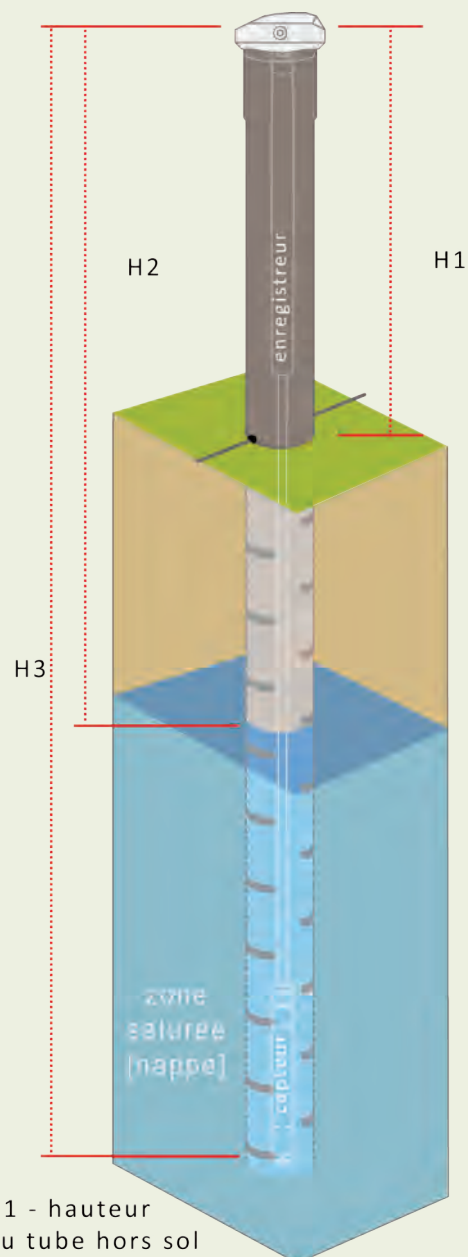
- S'assurer de la compatibilité du dispositif avec la gestion du milieu. S'il y a pâturage, prévoir un enclos de protection. En cas de fauche, rendre le tube visible pour un conducteur de tracteur ;
- Préférer l'installation du piézomètre dans une partie centrale, correspondant à un habitat ou du moins à un milieu très représenté à l'échelle du site. En s'appuyant sur l'observation de la microtopographie de surface, on évitera de positionner le piézomètre dans un creux ou sur une butte qui constituerait une situation singulière à l'échelle du site. Toutefois, quelle que soit la position de l'appareil, il est possible d'obtenir une réponse représentative de la dynamique de fonctionnement hydrologique du site (voir paragraphe suivant).



**Piézomètre équipé d'une sonde de mesure automatique**

L'opérateur doit s'assurer de la justesse du calage entre le niveau réel de la nappe et celui mesuré par la sonde (voir note en Annexe 2). Hors vandalisme ou "casse" (faucheuse, bétail, mammifères sauvages), le colmatage du tube est le principal problème provoquant des erreurs de mesure. Il est donc nécessaire de veiller au bon fonctionnement du dispositif pour éviter les lacunes dans les séries de données qui empêcheraient le calcul de l'indicateur.

**Figure 1: Principes d'installation d'une sonde**



**H1 - hauteur du tube hors sol**

Elle doit être suffisamment haute pour laisser l'enregistreur hors d'eau (supérieure aux niveaux de crue), celui-ci ayant une capacité de submersion limitée.

**H2 - profondeur de la nappe**

La sonde convertit les variations de pression au dessus du capteur en variations de hauteur d'eau. Pour cela, elle soustrait de la pression totale la pression atmosphérique mesurée au niveau de l'enregistreur (compensation).

**H3 - profondeur maximale de mesure de la nappe**

La profondeur du capteur détermine l'amplitude maximale des mesures possibles.



## Représentativité des données

### Précision de l'information

Si les profondeurs de la nappe varient à l'échelle du site, en relation avec la microtopographie, mais également en fonction du gradient hydraulique (pente d'écoulement de la nappe), le suivi de réseau de piézomètres montre le bon niveau de corrélation des niveaux piézométriques en zone humide. Ainsi, en ne suivant qu'un seul point de la zone humide, une image fidèle du fonctionnement de la dynamique, c'est-à-dire des rythmes et de l'amplitude des variations, peut être obtenue (PORTERET 2008).

### Représentativité de l'information collectée

L'impact des modifications des apports d'eau (drainage, prélèvement) d'une zone humide se traduit directement sur les niveaux de la nappe dans le fonctionnement hydrologique du milieu

(suivant l'équation du bilan de l'eau). Toutefois, c'est l'ampleur des volumes d'eau soustraits à la zone humide qui détermine l'impact sur la baisse de la nappe. Si cet impact peut être masqué à court terme par les fluctuations des apports atmosphériques (précipitations), cela n'est plus le cas lorsque l'on considère la tendance à moyen terme (5 ans). Les sites pour lesquels les séries de données à long terme existent sont rares. Toutefois, nous pouvons clairement observer, dans les enregistrements du marais de Chautagne (Savoie), la baisse générale de la nappe liée aux travaux d'aménagement du Rhône. Au delà des valeurs brutes de profondeur de la nappe, l'analyse des distributions des niveaux de nappe illustre l'impact tant sur l'amplitude des variations que sur les profondeurs les plus fréquentes (Figure 2).

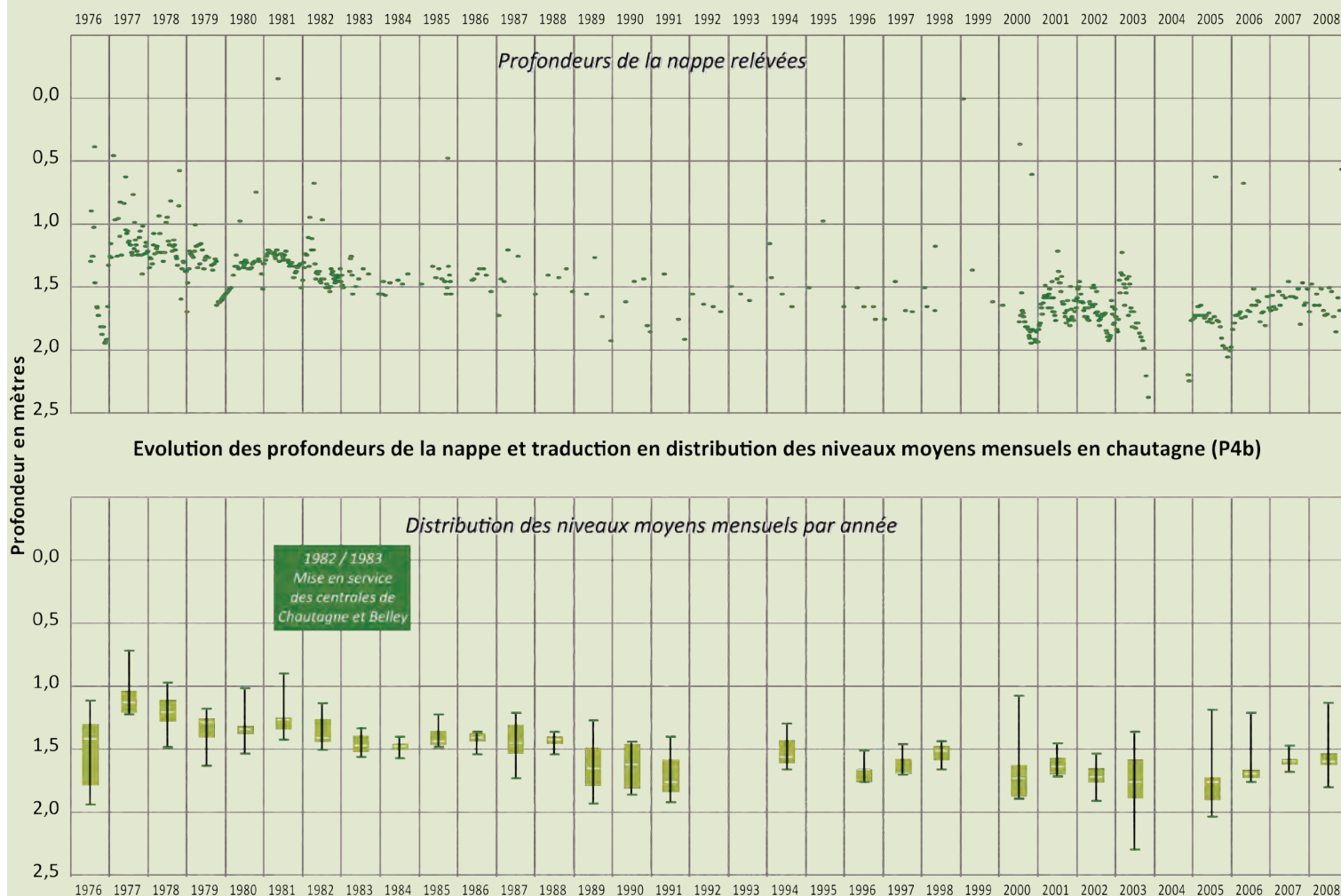


Figure 2 : sensibilité de la nappe aux aménagements hydrauliques en Chautagne

## Opérationnalité de la collecte



### Compétences requises

La mise en place, le paramétrage et le suivi des sondes demandent des compétences qui peuvent être facilement acquises par les opérateurs. Les différentes notes d'installation et manuels d'utilisation permettent une prise en main rapide des outils (matériel et logiciel). Par ailleurs, certains fabricants de matériels proposent des formations pour leur utilisation.

### Temps moyen de collecte (coût)

Au delà de la phase initiale d'installation (1/2 journée) et de vérification du bon fonctionnement du dispositif (2 à 3 passages dans les mois suivant l'installation), le relevé des données ne demande que quelques minutes. Si, avec l'utilisation de pile lithium, l'autonomie (batterie et mémoire) atteint plusieurs années (jusqu'à 5 ans), il est conseillé d'effectuer, au minimum, les relevés annuellement.

### Temps de validation et saisie des données

Les données journalières peuvent être exportées directement du logiciel d'exploitation de la sonde vers un tableur ou une base de données. Comme pour tout dispositif d'enregistrement automatique de mesures, il est toutefois nécessaire de prévoir une vérification de la cohérence globale des données.

### Coût matériel/données /prestation/analyse

Le coût d'équipement d'un site est de 1500 euros ; la maintenance et le suivi représentent 1 journée de travail par an.

### En annexe :

- Note sur la fabrication de piézomètres (Annexe 2)
- Note sur le paramétrage du logiciel Hydras (Annexe 2)

## Bibliographie

TAYLOR C.J. & ALLEY W.M., 2001. *Ground-water-level-monitoring and the importance of long term water level data* - US Geological Survey, Circular 1217 p.

PORTERET J., 2008. *Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central* - PhD thesis. Université Jean Monnet - Saint-Etienne (2008-12-08), Hervé Cubizolle (Dir.).



# DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE DE LA NAPPE PIEZOMETRES

## Description et principes du protocole

L'ensemble des données horaires enregistrées pour l'année hydrologique sont utilisées pour le calcul des valeurs statistiques descriptives de la distribution des niveaux de la nappe : médiane,

1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartile, minimum et maximum. Ces valeurs sont utilisées pour construire une boîte à moustache qui constitue la représentation graphique de l'indicateur.

## Méthode de calcul

Les calculs sont effectués sur les valeurs du 1<sup>er</sup> septembre de l'année  $n-1$  au 31 août de l'année  $n$ , période qui correspond à l'année hydrologique pour le bassin Rhône-Méditerranée. Ce pas de temps permet d'intégrer les périodes de plus hautes eaux et de plus basses eaux dans une période de 12 mois continue, pour que la variation de l'ensemble des réserves soit minimale.

Comme il est possible qu'il y ait des lacunes dans les enregistrements, le nombre minimal de valeurs pour le calcul de l'indicateur doit être précisé. Les problèmes d'enregistrement des sondes ne sont jamais aléatoires, hors problème matériel, mais correspondent à des plages de données (arrêt des piles, submersion prolongée...). L'absence de longues plages de données ne permet pas de calculer l'indicateur. En pratique, pour valider une série de données, il ne doit pas manquer plus de 10 % du nombre de valeurs possible dans l'année (soit plus de 328 valeurs journalières).

L'indicateur est construit par l'analyse de la tendance d'évolution du niveau de la nappe au cours des 5 années précédentes. En pratique, il s'agit de construire la droite de régression linéaire des niveaux médians de la nappe de l'année  $n-5$  à l'année  $n$ . La pente de la droite indique la tendance et l'importance de l'évolution.

En complément de cette tendance, une «boîte à moustache» (figure 1, ci-dessous) représentant la distribution des valeurs de la nappe, pour chaque année hydrologique considérée, apporte des éléments de compréhension de l'évolution du fonctionnement.

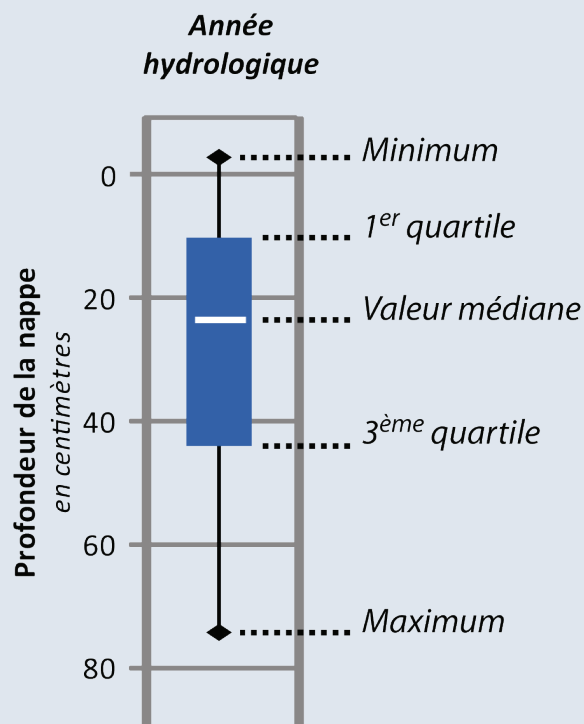


Figure 1 : construction de la boîte à moustaches

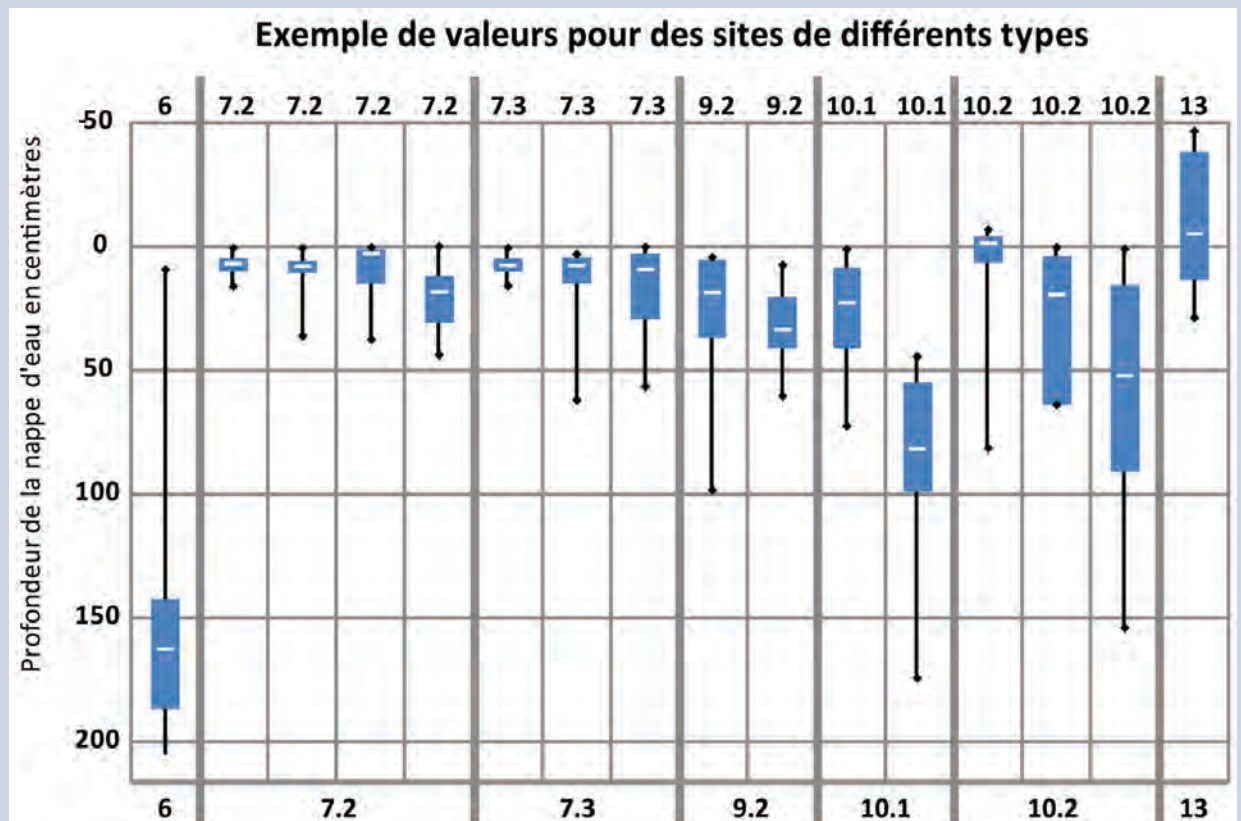
## Clés d'interprétation de la note indicatrice

Si les enregistreurs permettent de suivre en continu la situation de la nappe, les valeurs de l'indicateur sont calculées tous les 5 ans. La situation de l'année considérée est analysée au regard de la tendance sur la période écoulée (ensemble des valeurs des 5 dernières années). Pour cela, au delà des distributions annuelles de valeurs de la nappe, la courbe de tendance de la valeur médiane est tracée (tendance linéaire pour moins de 5 ans de suivi ; moyenne mobile au delà de 5 ans de suivi). Les valeurs enregistrées étant les profondeurs de la nappe, une baisse de la profondeur est positive, alors qu'une hausse de la profondeur est négative

du point de vue du fonctionnement hydrologique. Le seuil de significativité de l'évolution de la valeur indicatrice augmente si la série de données présente des lacunes. Avec 5% de valeurs manquantes, ce seuil de significativité de l'évolution est de 5% ; il atteint 10 % pour 10 % de valeurs manquantes. L'absence de données en hiver ou au début de printemps est la moins préjudiciable à l'analyse des données.

Les niveaux médians de profondeur de la nappe varient entre -5,3 cm et 81,4 cm (hormis le cas particulier du type 6) suivant le type de site et l'état de fonctionnement hydrologique.

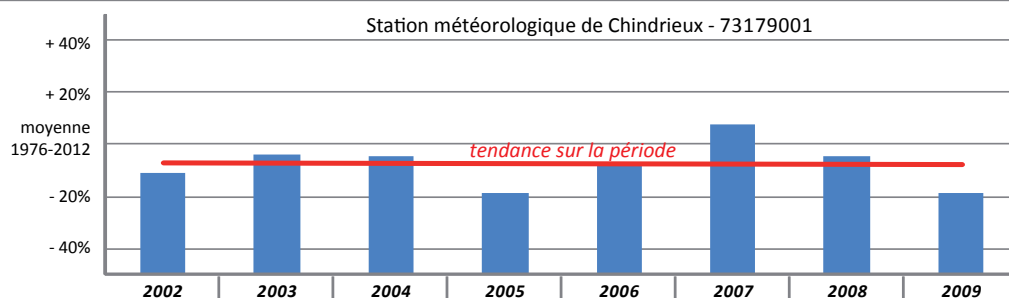
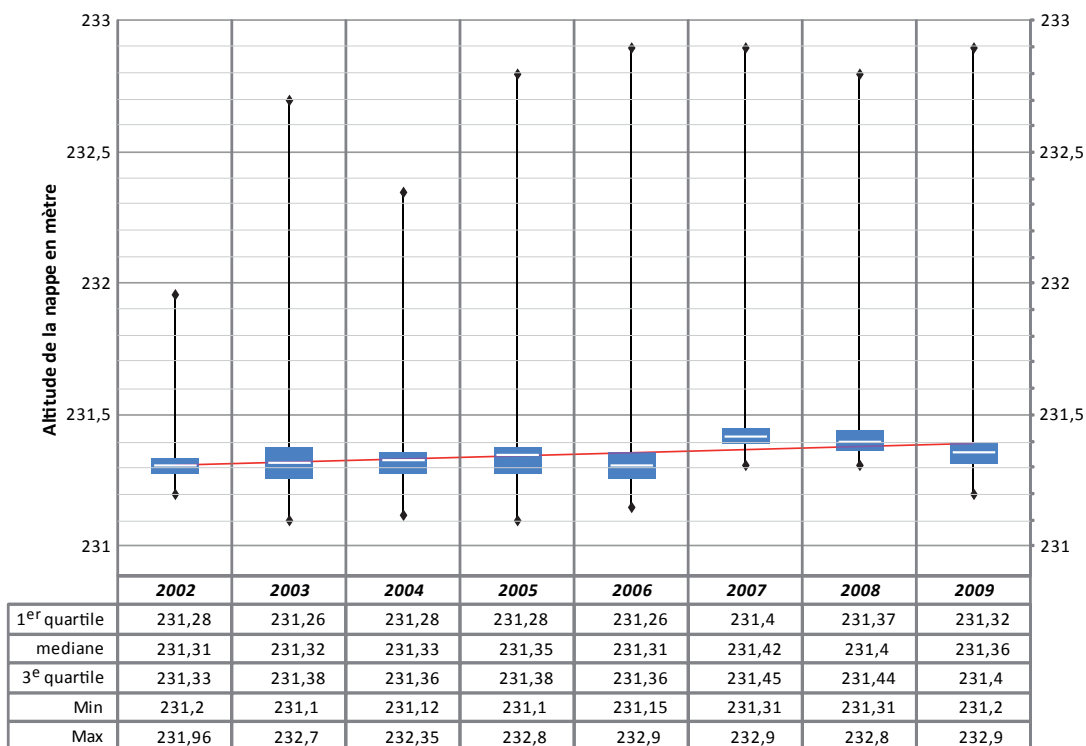
### Exemples d'amplitude des valeurs observées





## Exemple d'application

### Lavours BY94



Afin d'illustrer les modalités de calcul et d'analyse, nous utiliserons les données du piézomètre BY94, installé dans le marais de Lavours (01) depuis près de 20 ans. Il faut noter que nous utilisons ici des valeurs de nappe exprimées en altitude réelle (NGF). La première étape consiste à n'ajouter que les années hydrologiques complètes ou quasi-complètes, c'est-à-dire présentant plus de 382 valeurs entre le 01 septembre de l'année n-1 et le 31 août de l'année n. Nous disposons d'une série d'années hydrologiques complètes

pour la période 2002 à 2009. Comme nous disposons de plus de 5 ans d'enregistrement, la moyenne mobile des niveaux médians est construite sur la série de données.

On observe d'une manière générale une hausse de l'altitude médiane de la nappe (tendance linéaire) qui nous indique une tendance positive d'évolution du fonctionnement hydrologique de la zone humide.

## Exemple d'application (Suite)

Plus en détail, la courbe des moyennes mobiles traduit deux phases : la première de 2002 à 2006 de relative stabilité, la seconde de 2007 à 2009 qui traduit des niveaux de nappes plus haut, avec une légère tendance à la baisse.

Pour aller plus loin, nous pouvons nous intéresser aux évolutions de la dynamique hydrologique à travers la forme des boîtes à moustache. Ainsi, on observe les variations de l'amplitude inter-quartile, mais également la position de la médiane entre les deux quartiles.

Dans notre exemple, on remarquera qu'à partir de 2007 l'espace inter-quartile se réduit légèrement. Ainsi, les niveaux de la nappe, qui sont plus hauts,

varient moins au cours de l'année.

A ce stade, l'apport des données météorologiques pour l'analyse peut être intéressant, l'apport d'eau des précipitations, comme les autres paramètres climatiques étant très variables d'une année à l'autre. Ainsi, au delà des variations interannuelles, la période 2002 - 2009 est marquée par l'absence de tendance à la hausse ou à la baisse du total des précipitations. Cette tendance stable des apports pluviométriques ne peut donc pas être le facteur d'amélioration de la dynamique hydrologique de la nappe.



## Commentaire LigérO Indicateur I03/Protocole P03

### Indicateur

**P24 : Site et zone d'influence des travaux.** Dans le cadre d'un suivi de restaurations hydrologiques (comblement de fossé, reméandrage, ...), l'échelle de suivi sera la zone d'influence des travaux. Cette zone d'influence peut être validée par un suivi spatialisé des niveaux de la nappe.

**P24 : Durée de suivi.** La durée pour un suivi de restauration est plus courte. Le suivi débute avant les travaux, est réalisé pendant les travaux et perdure à minima sur l'année hydrologique suivante. Le comblement d'un fossé peut se traduire relativement rapidement (quelques heures). Dans le cadre d'un suivi travaux, l'interprétation peut être réalisée plus rapidement. *"Le comblement ou l'obturation de fossé dans ce type de milieu se traduit relativement rapidement, en quelques heures, par le réajustement du toit de la nappe. L'effet de la restauration se traduit sur les valeurs indicatrices, par une diminution de l'écart relatif entre les distributions des niveaux de la nappe mesurés par le ou les piézomètres situés dans la zone d'impact, et celui situé hors zone d'impact pour le suivi de l'état de la zone humide."* (extrait du Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration BAOZH, 2017).

### Protocole

#### P54 : Description

L'indicateur de la BAOZH permet d'analyser l'évolution temporelle de la dynamique de la nappe. Dans le cadre de suivi de travaux, il s'agit aussi de prendre en compte les variations spatiales des effets de la restauration (zone humide et zone d'impact potentiel).

Pour ce faire, un second piézomètre est nécessaire voire plusieurs en réseau. *« Ce réseau doit traduire à la fois les évolutions de la zone d'impact potentiel de la restauration, et de la zone humide, si ces deux ensembles ne se superposent pas. La densité de réseau de suivi doit être envisagée en fonction du type de restauration (augmentation des apports d'eau, suppression du drainage, etc.) et du type de zone humide (zone alluviale, tourbière, etc.). Il s'agit alors de comparer de façon empirique l'évolution des différentes distributions des niveaux de la nappe construites suivant la méthode d'interprétation proposée dans la BAOZH. En eff et, à ce stade, il n'est pas proposé de méthode statistique d'analyse de ces évolutions des distributions. »* (Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration BAOZH, 2017).

#### P54 : Type de données

**Pas de temps horaire :** pour la représentation des variations des hauteurs de la nappe, les données journalières sont demandées. Si les données ont été récoltées sur un pas de temps horaire, il est possible de faire la moyenne journalière des hauteurs de nappe.