

Dynamique hydrologique de la nappe/
piézométrie



la **boîte**
à **outils** de suivi des
milieux
humides



Ligéro



DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE DE LA NAPPE PIÉZOMÈTRE



Domaine d'application
toutes les zones humides

Fonction
hydrologique



Compétences :
† / † †

Coût :
€€€€ / €

Description et principes de l'indicateur

Le fonctionnement hydrologique des zones humides peut être approché par la connaissance de la dynamique de la nappe d'eau dans le sol (GILVEAR et BRADLEY, 2000), qui est la résultante de la différence entre les entrées et les sorties d'eau (bilan hydrique) à 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.

Pour un suivi après restauration, le suivi piézométrique peut se faire à court terme. Le suivi débutera avant les travaux, pendant les travaux et perdurera à minima sur l'année hydrologique suivante.

FONDEMENTS SCIENTIFIQUES DE L'INDICATEUR

Le niveau piézométrique caractérise la pression de la nappe en un point donné ; autrement dit, c'est le niveau libre de l'eau dans un puits d'observation rapporté à un niveau de référence. Ce niveau est lié aux dynamiques de transport d'eau, d'emménagement temporaire et parfois de changement d'état dans la phase de ruissellement de surface et d'écoulement souterrain du cycle de l'eau (MUSY 2004). Il correspond à une part du terme S et DS de l'équation du bilan hydrique :

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

Avec :

P : précipitations [mm],

S : stocks de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige, glace) [mm],

R : ruissellement de surface et écoulements souterrains [mm],

E : évaporation (y compris évapotranspiration) [mm],

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

Ici, tous les niveaux d'eau sont mesurés 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.

DOMAINE D'APPLICATION DE L'INDICATEUR

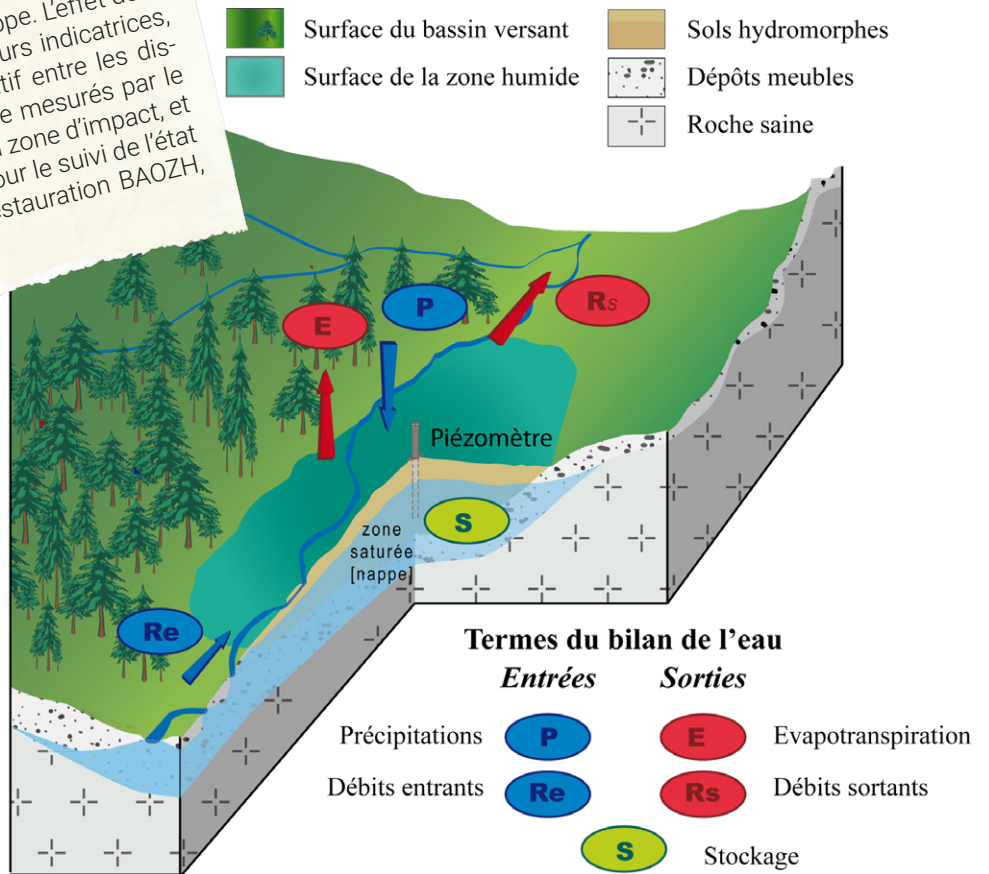
L'indicateur étant calculé relativement à la surface du sol au niveau du piézomètre, il est applicable tant pour les sites à nappe superficielle que pour les sites à submersion temporaire, voire permanente. Toutefois, la représentativité du point de mesure vis-à-vis du fonctionnement général du site, 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 a minima annuellement (de préférence début octobre), idéalement tous les 3 mois pour s'assurer qu'aucune lacune dans les séries de mesures n'empêche le calcul de l'indicateur. L'interprétation de l'évolution de la valeur indicatrice ne pourra être réalisée qu'au bout de 4 ou 5 années de suivi, mais le calcul de l'indicateur peut être effectué chaque année. En cas de travaux, les dates d'interventions devront être notées précisément et les travaux devront avoir été réalisées sur la première partie de la période de calcul.

Application dans le cadre de suivi de travaux

L'interprétation de l'évolution de la valeur indicatrice, peut être réalisé plus rapidement que lors d'un suivi habituel. En effet, « le comblement ou l'obturation de fossé dans ce type de milieu se traduit relativement 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 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. » (Guide restauration BAOZH, 2017).



Bibliographie

Collectif RhoMéo, 2014 - La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée. www.rhomeo-bao.fr - Conservatoire d'espaces naturels de Savoie. 147 pages + annexes. Publication février 2014 / Version 1

GENTIL S., KOSMELJ K., LACHET B., LAPORTE P. & PAUTOU G, 1983. Classification statistique et modélisation des niveaux de la nappe phréatique près de Brégner-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.

MUSY A. & HIGY A., 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-DUPOÛT B., HARRIS T. & BARSOUM N., 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

Application du protocole dans le cadre de suivi de travaux

Pour prendre en compte les variations spatiales des effets de la restauration sur la nappe, un seul piézomètre dans la zone de travaux ne suffit pas. A minima, un second piézomètre est nécessaire, voire plusieurs en réseau. « Ce réseau d'impact doit être à la fois les évolutions de la zone humide, 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.) ». Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration BAOZH, 2017.

les piézomètres peuvent ne pas excéder deux mètres de hauteur. Ce protocole nécessite d'envisager une mainte-

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 profondes,

nance du matériel à moyen et long terme (TAYLOR et ALLEY, 2001).

Type de données collectées*

Les sondes relèvent automatiquement les données selon le pas de temps défini par l'observateur. Un relevé toutes les heures est préconisé. Les fluctuations de la nappe pendant un pas de 4h, par exemple, peuvent ne pas être négligeables (LALOT, 2014). Par convention pour le calcul de cet indicateur, il s'agit, ici, de profondeur par rapport à la surface du sol, les valeurs sont donc positives lorsque la nappe se situe dans le sol et négatives si elle dépasse la surface et inonde le sol.

Type d'échantillonnage

Pour un suivi de l'état, un seul piézomètre équipé peut être installé par site. Bien évidemment, la localisation du piézomètre doit être réfléchi 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 la longueur présente dans le sol, ils permettent d'observer le niveau piézométrique. Ils peuvent être installés à la tarière manuelle, aidée éventuellement d'une rallonge suivant le type de sol observé. Il est fortement conseillé de recouvrir toute la partie du tube dans le sol et fermer le bas du tube par un géotextile, pour empêcher le ma-

tériel du sol de rentrer dans le tube (colmatage). 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.

La sonde doit être positionnée proche du fond du tube. Celle-ci doit toujours être immergée. Une longue période hors d'eau peut endommager le matériel de mesure.



* 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.

Méthode de mise en place (suite)



Il est recommandé de mettre un bouchon amovible sur le haut du tube. Attention à employer un tube d'au moins 5 cm de diamètre pour pouvoir enfiler la sonde (exemple d'installation en annexe 2 P03). Le haut du tube peut être élargi (par exemple 10 cm) afin de faciliter la fixation du système de lecture et pour certaines sondes d'enrouler le câble excédentaire.

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. 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. Le logiciel convertit ensuite la pression en centimètres d'eau. Pour établir cette compensation, un baromètre est utilisé. Celui-ci est installé en dehors de toute zone inondable, car ce matériel supporte mal un temps d'immersion trop important. C'est la raison pour laquelle il est déconseillé d'utiliser des sondes avec baromètre intégré, mais d'utiliser un baromètre indépendant qui, le

cas échéant, peut servir pour l'ensemble des piézomètres à l'échelle du site, dans un rayon d'une vingtaine de km.

Aujourd'hui les capacités de stockage des données ne sont plus un facteur limitant, les sondes pouvant stocker plusieurs centaines de milliers de valeurs.

Deux documents annexés précisent la méthode de fabrication des tubes piézométriques et l'utilisation du logiciel de paramétrage des sondes Héron (annexe 2).

Caractériser l'origine de l'eau

Avant d'évaluer l'impact de la gestion de la zone humide sur la nappe d'eau, il convient préalablement d'en définir les modes d'alimentation. S'ils ne sont pas déjà connus, un temps sur le terrain peut être consacré à leur identification. Pour ce faire, il suffit de parcourir la zone humide et de relever les sources, les ruisseaux, les fossés qui alimentent et qui drainent. Ces éléments peuvent être représentés schématiquement sur un croquis. S'ils sont absents, une alimentation par la nappe et/ou atmosphérique (pluie) peut être supposée. Il peut également être intéressant d'interroger les usagers locaux et les riverains sur le fonctionnement hydrologique de la zone étudiée. Les informations recueillies de cette façon ont vocation à contextualiser et renforcer l'analyse et l'interprétation des mesures piézométriques.



Piezomètre équipé d'une sonde de mesure automatique



Méthode de mise en place (suite)

Préconisations quant à la localisation du point d'installation du piézomètre

- Les limites de la zone humide doivent avoir préalablement été définies sur une carte ;
- Les différents modes d'alimentation de la zone humide doivent être identifiés (pluie, ruissellement de surface, débordement d'un cours d'eau, présence de sources...). Ces modes d'alimentation peuvent se confondre et/ou se succéder dans l'année ;
- 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 micro-topographie de surface, on évitera de positionner le piézomètre dans un creux ou sur une butte, les bords de fossé, les bosquets d'arbres qui constitueraient une situation singulière à l'échelle du site.

Dans le cadre d'un suivi long terme, compte tenu du fait qu'un seul piézomètre est utilisé, le respect de ces préconisations de mise en œuvre est primordial pour optimiser l'obtention d'une réponse représentative de la dynamique de fonctionnement globale du site.

Avant l'installation d'un piézomètre, la réalisation d'une déclaration préalable de travaux peut être nécessaire. Se rapprocher de la DDT du département afin de connaître leur position sur ce sujet. De plus, la maîtrise foncière est nécessaire afin d'installer de façon pérenne le piézomètre.

Une photographie de la zone d'emplacement du piézomètre est réalisée.

Le jour de l'installation du piézomètre, ainsi que lors de chaque relevé de sonde, il est préférable de vérifier le paramétrage de la sonde en comparant une mesure manuelle de la profondeur de la nappe avec une lecture «en temps réel» fournie par le logiciel. La mesure manuelle avec un mètre ruban est celle

de la profondeur de la nappe visible dans le trou creusé à la tarière avant installation du piézomètre.

La lecture de la profondeur de la nappe en temps réel dépend du logiciel utilisé. Avec le logiciel Heron (annexe 2) il suffit de cliquer sur « REAL TIME READINGS » après avoir installé le piézomètre et paramétré la sonde (annexe 2 : notice d'installation des piézomètres et utilisation de la sonde Héron).

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.

Calendrier et relevé des données

Outre un passage régulier dans les premiers mois d'installation afin de vérifier le bon fonctionnement du dispositif, le relevé des données collectées par la sonde peut être réalisé plusieurs fois par an, tous les 2 ou 3 mois environ. Ceci permet de contrôler la bonne prise de mesures de l'appareil et de s'assurer qu'un dysfonctionnement n'a pas engendré de lacunes dans la série de données. L'extraction des données ne prend que quelques minutes et peut donc être mutualisée avec une visite de site dans le cadre d'un des autres protocoles de suivis.

Afin de parfaire l'analyse et l'interprétation des données récoltées par le piézomètre, il convient de recueillir les informations concernant la pluviométrie de l'année sur un site de météorologie, qui seront analysées a posteriori afin d'étayer l'interprétation de l'indicateur.

Validation de la zone d'impact des travaux à l'aide d'un réseau de piézomètre (Source : Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration)

La zone d'impact des travaux est l'espace de référence pour l'évaluation d'une restauration du milieu.

Méthode de mise en place (suite)

Il est nécessaire de s'assurer de la pertinence de sa délimitation. Pour cela il est proposé une méthode de validation de la zone d'impact qui repose sur un suivi spatialisé des niveaux de la nappe grâce à la mise en place du réseau de piézomètres. Ce réseau de piézomètres permet de suivre de façon ponctuelle, mais régulière l'évolution du niveau de la nappe de la phase de préparation avant travaux jusqu'à la fin du chantier. Cherchant à observer l'impact des travaux sur la saturation en eau en surface, les piézomètres du réseau peuvent être peu profonds (1,5 mètres maximum).

Le nombre et la disposition des piézomètres doivent être envisagés pour observer l'évolution du gradient de profondeur de la nappe. Ce gradient peut-être observé (se référer visuellement au schéma de la fiche I03) :

- longitudinalement (de l'amont vers l'aval) en fonction de la pente de la surface topographique;
- latéralement en fonction de l'incision du lit et de la nature du substrat (perméabilité).

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.

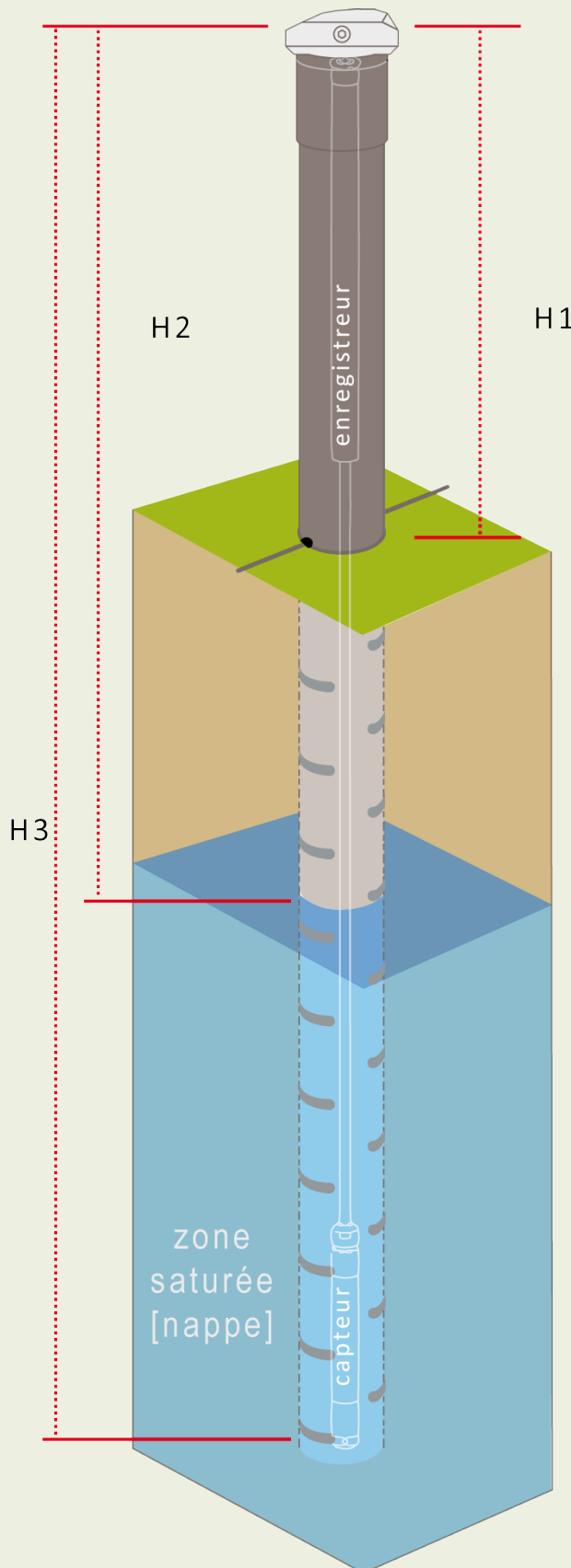
H2 - profondeur de la nappe

Le logiciel 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.

Figure 1 : principes d'installation d'une sonde de type Héron





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 sur une longue période, 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).

Application du protocole dans le cadre de suivi de travaux*

Le suivi d'un réseau de piézomètres afin de caractériser les dynamiques de la nappe en cours et après travaux peut nécessiter un coût supplémentaire car l'indicateur de la BAO nécessite de collecter à minima une donnée journalière. Ceci est possible avec un équipement de sonde automatique dans les piézomètres. Il est possible pour permettre l'évaluation des effets de la restauration de combiner au sein du réseau de piézomètres, des relevés journaliers automatiques et des relevés manuels ponctuels. Comme cela a été montré dans le programme RhoMéO, mais également dans différents travaux scientifiques (PORTERET, 2008, RAMOND, 2015), il peut être établi que les niveaux de la nappe fluctuent aux différents points du réseau de manière identique. A partir de ces données ponctuelles, un jeu de données journaliers peut-être reconstruit pour le calcul de l'indicateur pour des piézomètres non équipés de sonde automatique. Pour cela, il est nécessaire dans la phase d'état initial d'établir le niveau de corrélation des variations de la nappe des différents piézomètres du réseau. L'ensemble des précautions utiles à l'analyse de données en statistique doit être pris pour s'assurer de la validité des valeurs calculées. Si ces pré-requis sont remplis il est alors possible d'analyser l'évolution de la distribution des niveaux de la nappe de l'ensemble des piézomètres d'un réseau relevé automatiquement et manuellement.

* Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration, 2017

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 les relevés 4 fois par an.

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.

Opérationnalité de la collecte (suite)



Coût matériel/données /prestation/analyse

Le coût d'équipement d'un site (sonde + baromètre si nécessaire) est de 1 500 à 2 000 euros ; la maintenance et le suivi représentent 1 journée de travail par an.

Variables météorologiques

La collecte de variables météorologiques, et notamment la pluviométrie, est indispensable au processus d'évaluation de l'indicateur.

Dans le cas d'un suivi de restauration, l'analyse de la réponse attendue du milieu suite à des travaux doit être réalisé dans un temps beaucoup plus restreint que l'évaluation de l'évolution globale du milieu. Pour cela la mobilisation des valeurs de normales climatiques est un bon outil pour contextualiser la situation hydrologique pendant et après restauration.

En annexe

- Note sur la fabrication de piézomètres (annexe 2).
- Note sur le paramétrage du logiciel Héron (annexe 2)

Bibliographie

La Boîte à outil de suivi des zones humides, 2017 - Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration.

LALOT E., 2014. Analyse des signaux piézométriques et modélisation pour l'évaluation quantitative et la caractérisation des échanges hydrauliques entre aquifères alluviaux et rivières - Application au Rhône. Thèse en Sciences de la Terre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2014.

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.)

RAMOND S., 2015. Réponses hydrologiques de la Loire moyenne aux changements environnementaux. Thèse de doctorat, Université Paris 8.

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.

DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE DE LA NAPPE PIÉZOMÈTRES

Description et principes

L'ensemble des données horaires enregistrées pour l'année hydrologique est utilisé pour le calcul des valeurs statistiques descriptives de la distribution des profondeurs de la nappe : médiane, 1^{er} et 3^e quartile, minimum et maximum.

Ces valeurs sont utilisées pour construire une boîte à moustache qui constitue la représentation graphique de l'indicateur. La médiane des profondeurs constitue la valeur de l'indicateur de l'année.

Méthode de calcul

Les calculs sont effectués sur les valeurs du 1^{er} septembre de l'année n-1 au 31 août de l'année n. Cette période correspond à l'année hydrologique pour le bassin de la Loire. 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.

Comme il est possible qu'il y ait des lacunes dans les enregistrements, le nombre de valeurs pour le calcul de l'indicateur doit être précisé. Les problèmes d'enregistrement des sondes ne sont jamais aléatoires et correspondent à l'absence de plages de données (arrêt des piles, submersion prolongée...). Les problèmes de matériel peuvent également engendrer de longues plages de données manquantes (colmatage de la sonde, vandalisme, pâturage...) si le matériel n'est pas vérifié régulièrement. 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 données attendues. Il faut donc au minimum 328 valeurs journalières par année hydrologique.

Une année de mesures suffit pour calculer l'indicateur. Mais pour permettre une analyse de la tendance d'évolution du niveau de la nappe il faut au minimum 2 années de relevés voire bien plus (notamment si les années climatiques sont très différentes et font varier la nappe pour d'autres raisons que le fonctionnement hydrologique propre au site).

Une « boîte à moustache » (figure 1) représentant la distribution des valeurs de la nappe, pour chaque année hydrologique considérée. Elle apporte des éléments indispensables de compréhension de l'évolution du fonctionnement.

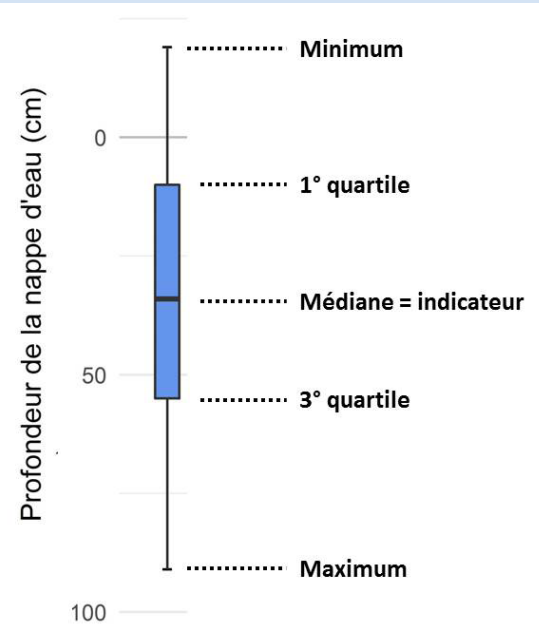


Figure 1 : construction de la Boîte à moustache.

Clés d'interprétation de la note indicatrice

Si les sondes permettent de suivre en continu la situation de la nappe, l'interprétation de l'évolution de la valeur de l'indicateur peut être faite tous les 5 ans afin de permettre la construction d'une tendance linéaire pertinente. Cependant, la situation de l'année considérée peut être analysée au regard de la tendance d'une année précédente (ensemble des valeurs au minimum sur 2 années). Pour cela, au-delà des distributions annuelles de valeurs de la nappe (figure 4), la courbe de tendance de la valeur médiane peut être tracée.

Les valeurs enregistrées étant les profondeurs de la nappe, une diminution de la profondeur signifie une augmentation de l'engorgement (l'eau se rapproche du niveau de référence, le sol), alors qu'une hausse de la profondeur signifie une diminution de l'engorgement du point de vue du fonctionnement hydrologique (figure 2).

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.

Sur le bassin de la Loire, les niveaux médians de profondeur de la nappe varient de 10 cm pour un site de type 7a à 109 cm pour un site de type 9 (figure 3).

Figure 2 : représentation de la profondeur de la nappe.

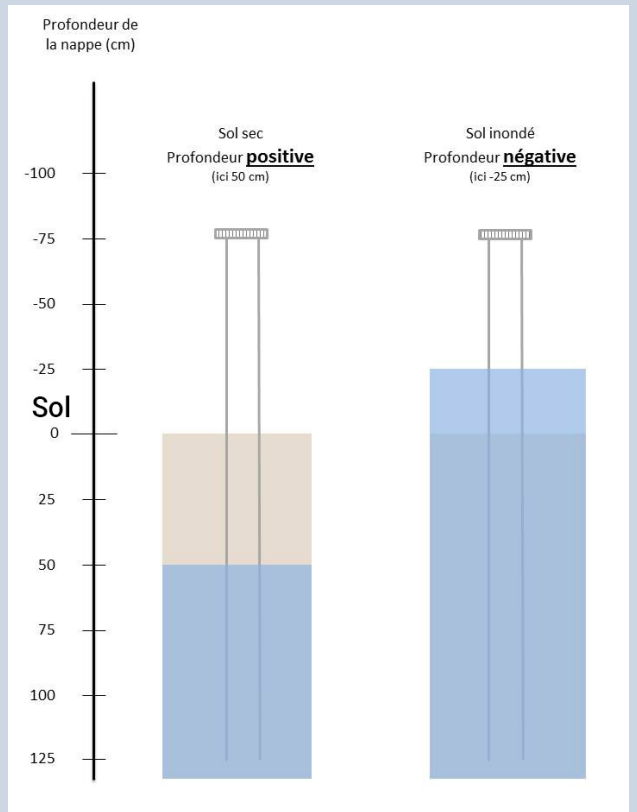
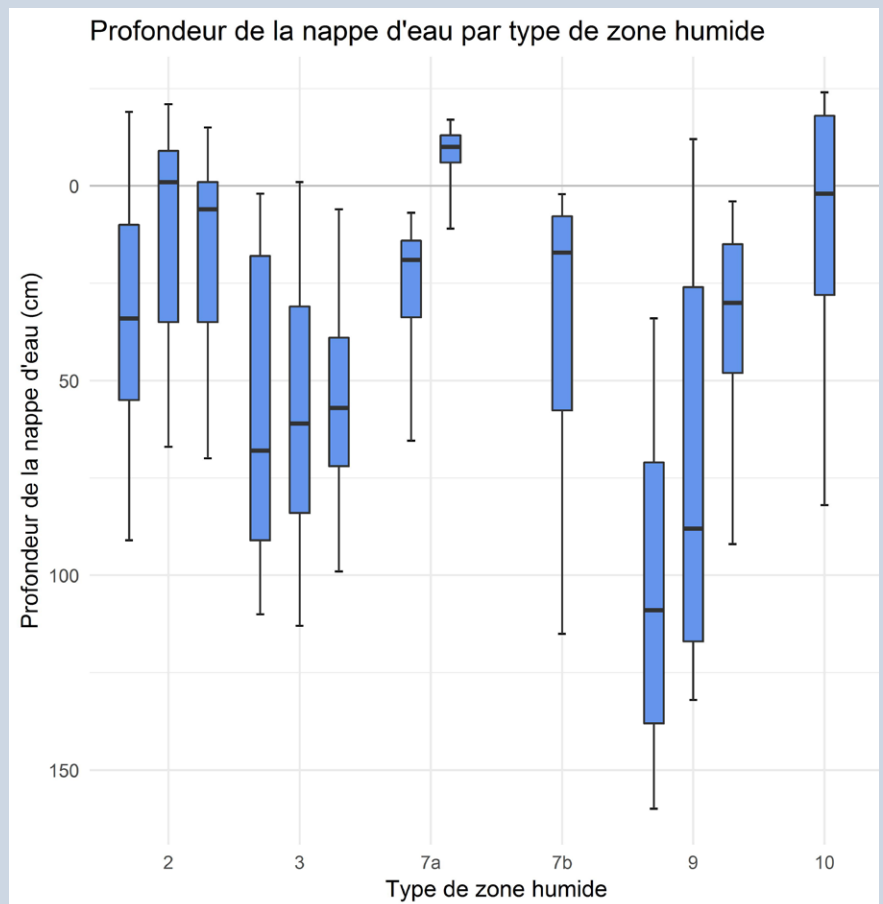


Figure 3 : exemple d'amplitude des valeurs observées par types de zones humides sur les sites test LigéRO.





Exemple d'application

Le Marais de Chavannes (Chavannes, Cher) est situé dans une dépression de Champagne Berrichonne, traversé par un ruisseau, le Chevrier. Celui-ci est alimenté par la résurgence des nappes de Champagne berrichonne (Tertiaire). Le Marais de Chavannes (carte 1) est une propriété de la commune de Chavannes dans le Cher qui en a confié la gestion au Conservatoire d'espaces naturels Centre-Val de Loire. Ce site accueille notamment une des dernières Cladonia à Marisque du département mais semble souffrir d'un fonctionnement hydrologique dégradé.

Le marais a donc fait l'objet d'une étude initiée en 2014 par l'UMR 8591 Laboratoire de Géographie Physique (CNRS, Paris 1), pour comprendre son fonctionnement hydrologique. Plusieurs piézomètres ont été installés et des sondages pédologiques ont été réalisés.

Deux piézomètres installés l'un en amont et l'autre en aval du marais reflètent les variations du niveau de la nappe.

Seules les valeurs piézométriques des années 2015 et 2017 ont été exploitées. Les années 2014 et 2016 ne comportent pas suffisamment de données complètes suite à des mesures irrégulières et du matériel non performant.

D'une manière générale, les profondeurs de nappes sont différentes entre l'amont et l'aval (figure 4). Les

boîtes à moustache de l'amont sont plus proches de la surface du sol (valeur zéro). Ainsi, la nappe est plus proche de la surface du sol dans la partie amont du marais.

Dans ce même exemple, l'espace inter-quartile est plus faible pour la partie amont que pour les valeurs mesurées à l'aval. Ainsi, sur la partie amont du marais, les niveaux de la nappe varient peu au cours de l'année. L'amplitude des variations annuelles est plus faible en amont qu'en aval du site.

Les deux graphiques de profondeurs de nappes mesurées à l'amont et à l'aval du marais pour les années 2015 et 2017 (figures 5 et 6) confirment ces observations. La courbe amont en 2015 comme 2017 est relativement stable par rapport à la courbe aval. Afin de mieux interpréter les variations hydrologiques mesurées, des données de précipitations sur la même période ont été ajoutées. Les phases d'augmentation du niveau de la nappe à l'aval, suivent une période de précipitations. Il semble donc que la corrélation entre les précipitations et la variation de profondeur de nappe en aval du marais soit forte. Cette corrélation est beaucoup moins marquée à l'amont du marais.

Les sondages pédologiques apportent des éléments de réponses à ces résultats. En effet, dans la partie amont du marais, le sol tourbeux est surmonté de 40 cm de limon alors que dans la partie aval,

la tourbe est surmontée par plus de 2 m d'argile lacustre. L'argile ayant un moins bon pouvoir de rétention d'eau que la tourbe, ceci explique que les battements de nappe soient plus forts en aval, alors que les variations sont tamponnées par la tourbe en amont. L'évolution des niveaux médians de profondeur de la nappe sur le site de Chavannes montrent et confirment non seulement la différence de niveaux de nappe entre l'amont et l'aval du site mais aussi une nette différence entre les deux années de mesures, 2015 et 2017.

Carte 1 : Marais de Chavannes



Exemple d'application (suite)

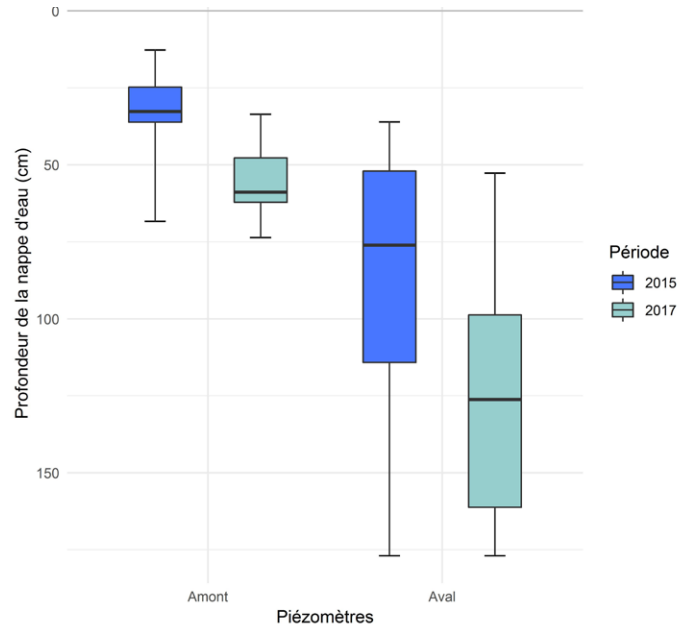
Cette différence s'explique non seulement par la nature des sols hétérogènes entre l'amont et l'aval du site mais aussi du fait de deux années pluviométriques assez différentes. Le cumul des pluies pour l'année 2015 est de 628 mm et de 432 mm¹ pour 2017. Enfin, à l'aval, la nappe subit l'effet du drainage de l'exutoire du ruisseau du Chevrier (ancien fossé de drainage). L'ensemble de ces éléments explique le battement de nappe plus important à l'aval.

L'analyse des niveaux médians et de la forme des boîtes à moustache permet ici d'évaluer l'évolution hydrologique de la nappe. L'interprétation de l'évolution étant appuyée par des données pédologiques, topographique et pluviométriques.

¹ Source : https://www.infoclimat.fr/climatologie/stations_principales.php?

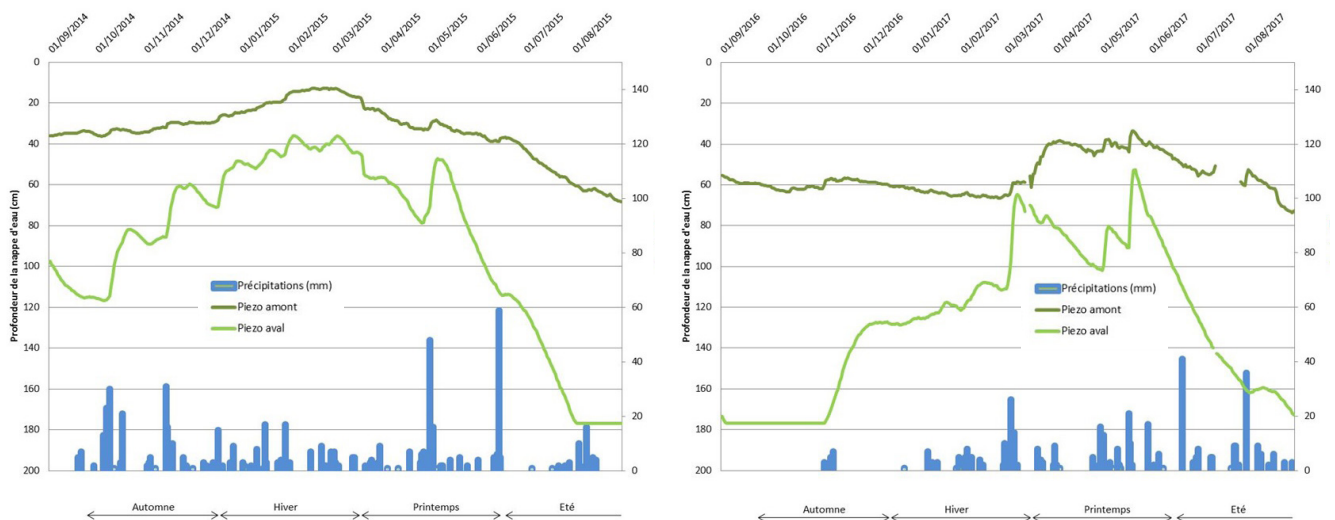
Tableau 1 : valeurs indicatrices de la dynamique hydrologique de la nappe pour le site de Chavannes.

Figure 4 : amplitudes des valeurs observées sur les piézomètres amont et aval du site du Marais de Chavannes (profondeur de la nappe).



Piezomètres	Période	Médiane
Amont	2015	32.63
Aval	2015	76.08
Amont	2017	58.86
Aval	2017	126.16

Figure 5 et 6 : hydrologie du Marais de Chavannes 2015 et 2017.

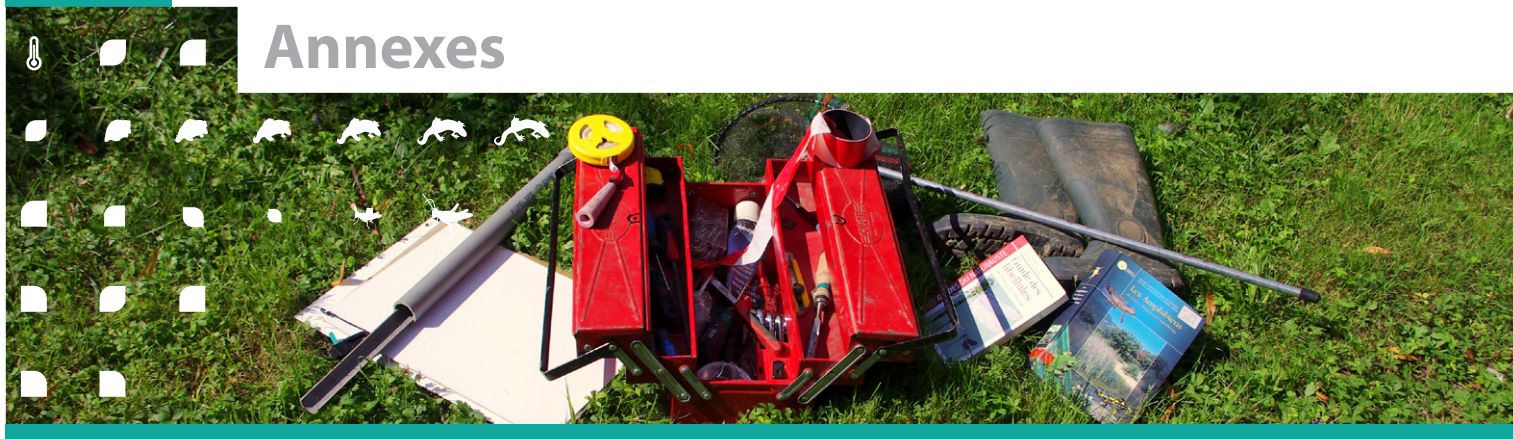


Bibliographie

MARTIN L. 2014. Étude du fonctionnement hydrologique du Marais de Chavannes (région Centre, France): premiers résultats et éléments d'identification. Master 1 de Géographie, Espaces, Dynamiques des Milieux et des Risques, Université Paris 1, 125p.

RIBAUCOURT E. & JEGU V. 2015. Réalisation d'un modèle numérique de terrain et d'un modèle hydrologique du Marais de Chavannes (18). Licence Pro Géomatique Environnement, Université Paris 1, 24p.

Annexes



SOMMAIRE

- Annexe 1 : fiches techniques de terrain
- Annexe 2 : autres outils techniques
- Annexe 3 : les sites tests
- Annexe 4 : liste des types SDAGE LigéRO

L'ensemble des données informatisées est disponible sur la base de données accessible en ligne sur : <http://www.ligero-zh.org/>

Méthode de fabrication et d'installation des piézomètres

Fabrication des piézomètres

Les piézomètres sont des puits d'observation du niveau de la nappe dans le sol.

Ils peuvent être réalisés à partir de tube en PVC que l'on perce suffisamment pour que le niveau d'eau dans le tube soit en équilibre avec celui de la nappe. Nous proposons d'utiliser des tubes en PVC de 50 mm de diamètre, d'une longueur de 2,5 à 3 mètres, l'objectif étant de mesurer les variations du niveau de la nappe dans la partie supérieure du sol qui permet le développement d'espèces hygrophiles.

Les tubes doivent suffisamment dépasser du sol pour être repérable, mais surtout pour abriter l'enregistreur de la sonde de mesure automatique. Ce dernier qui possède une capacité de submersion de quelques jours doit être positionné au-dessus des niveaux de submersion les plus fréquents.

En pratique :

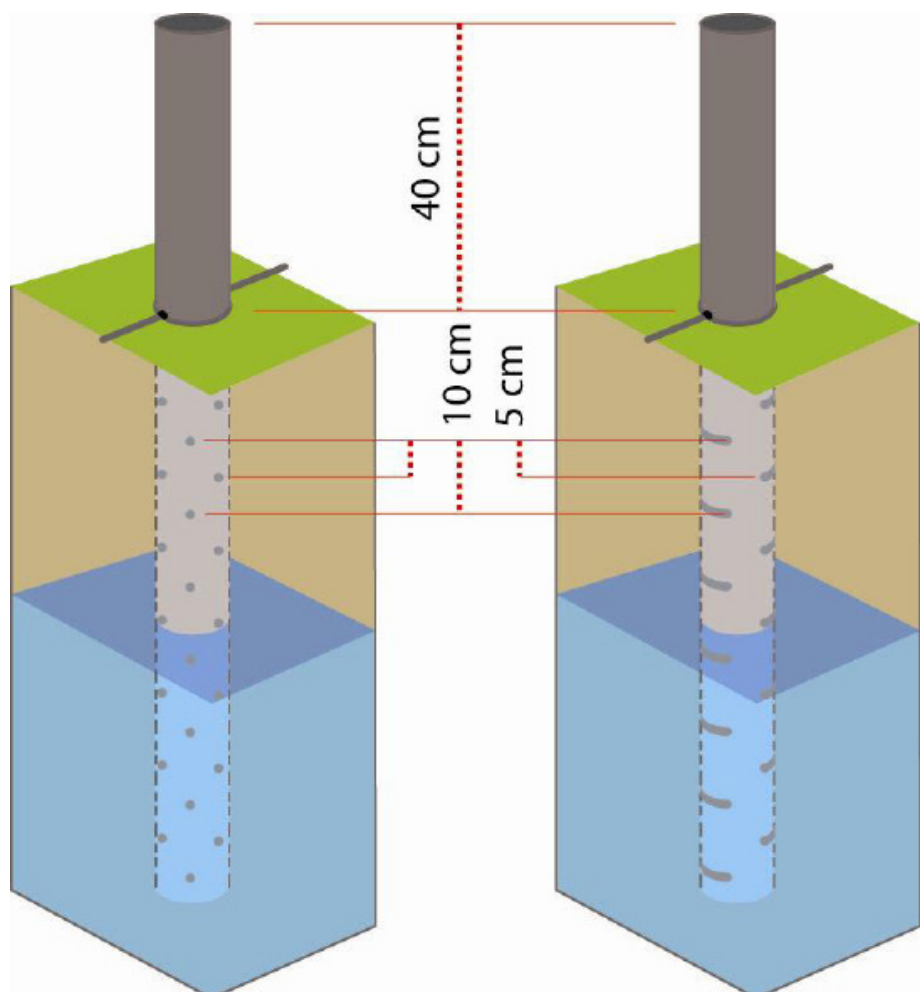
- pour les sites sans submersion notable, le tube dépasse du sol d'au moins 50 cm.
- pour les sites à submersion (plan d'eau, crue, etc.), le sommet du tube doit se situer à plus de 50 centimètres (voire 1 mètre) au-dessus du niveau d'eau le plus haut connu (ou probable).

Les mesures de profondeur de la nappe étant relatives à la surface du sol, une marque ou un repère autour du tube permet de vérifier que le tube n'a pas bougé entre deux relevés. En conséquence, toute submersion se traduit par une valeur négative de profondeur de la nappe.

Deux méthodes de perforations peuvent être utilisées :

trous circulaires ($\varnothing \approx 5$ mm)
réalisés à la perceuse

encoches (1 à 2 mm)
réalisés à la meuleuse

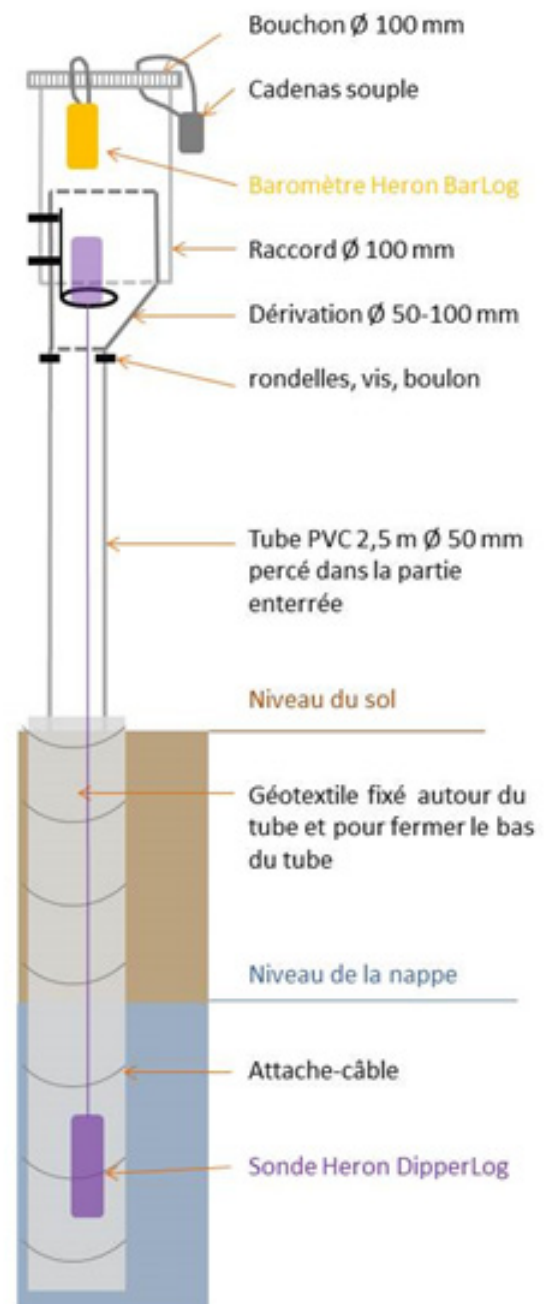


Méthode de fabrication et d'installation (suite)

Installation

L'installation est réalisée après un sondage à la barre pour vérifier que l'on pourra bien enfoncer le tube à la profondeur souhaitée dans le sol. Un trou à la tarière est ensuite réalisé pour mettre en place le tube jusqu'au niveau du sol matérialisant le niveau 0.

Nos essais ont montré que mettre du géotextile tout autour de la partie du tube dans le sol (et replié à la base du tube) était indispensable pour éviter le colmatage de la sonde.

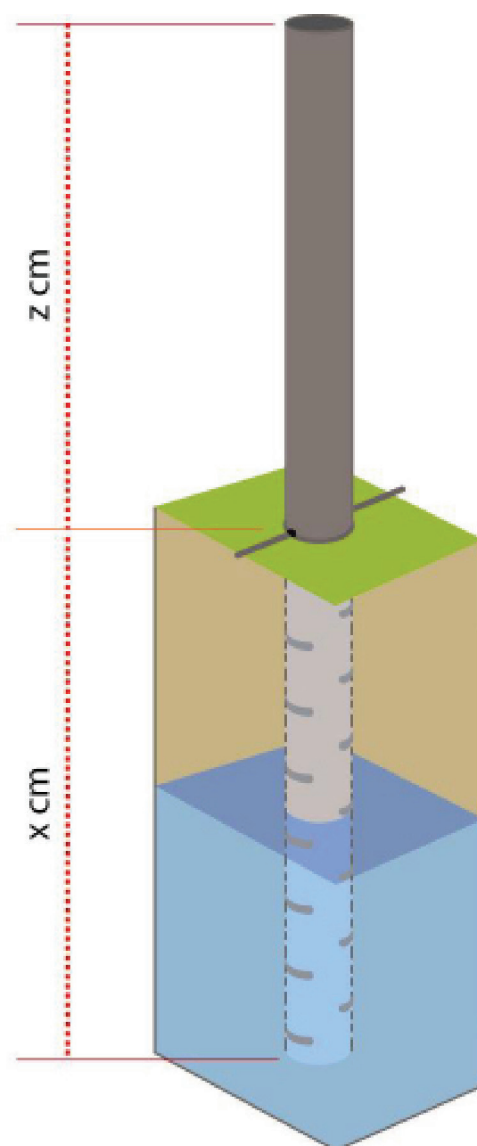
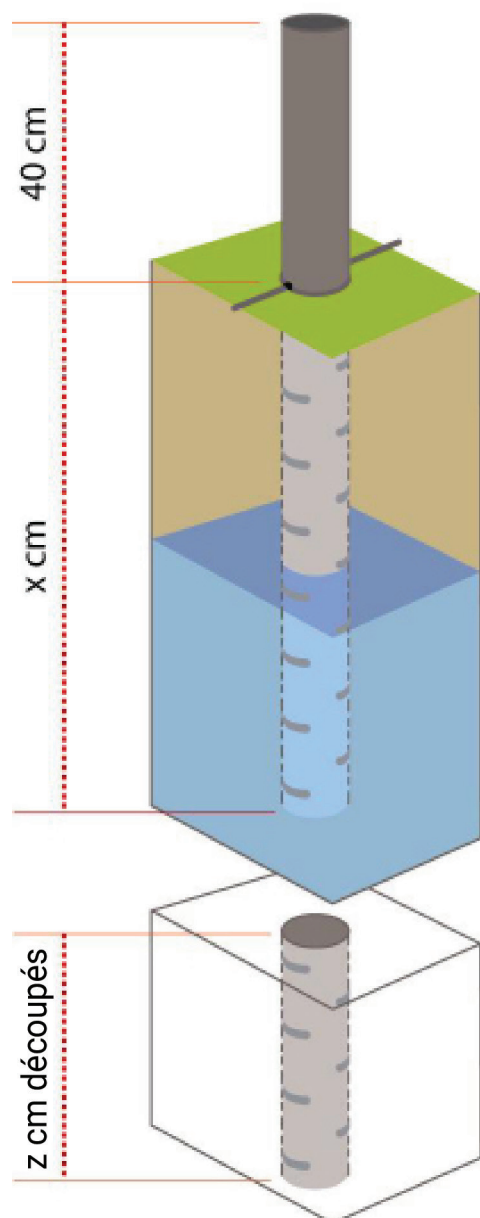


Si l'on ne peut pas enfoncer le tube entièrement dans le sol, deux cas de figure (illustré ci-dessous) se présentent suivant qu'il s'agisse d'un tube pour la mise en place d'une sonde automatique ou d'un tube pour le contrôle manuel de la représentativité spatiale des données de la sonde. La sonde est ensuite mise en place à l'aide de son support et de l'obturateur fourni.

Méthode de fabrication et d'installation (suite)

Piézomètre pour l'installation de sonde orpheus le tube doit, quoi qu'il arrive avoir une longueur minimale de 2 m. Par conséquent, on augmente la hauteur du tube qui dépasse du sol.

Piézomètre pour relevés manuels le tube est découpé pour obtenir la profondeur souhaitée. Il dépasse du sol de 40 cm.





Méthode de relevé piézométrique



Suivi automatique par sonde de pression. Notice pour la sonde Heron dipperLog.

Pour un exemple avec une sonde OTT- Orpheus mini, voir l'annexe P03 de la BAO RhoMéO.



Méthode

Le relevé des données nécessite un ordinateur portable. Il s'effectue en utilisant un câble de communication USB et le logiciel dipperLog Program. Lors de ces relevés, il faut vérifier la bonne correspondance du niveau d'eau (mesure manuelle) et de l'heure indiqué par la sonde. Les sondes Heron dipperLog nécessite un baromètre Heron barLog qui corrige les mesures de pression d'eau par les variations de la pression atmosphérique. Un baromètre peut corriger plusieurs sondes dipperLog installées dans un rayon de 20 kilomètres maximum. Il doit être installé à l'abri de la pluie. Il peut être installé sous un bouchon fermant le tube du piézomètre par exemple.

Fréquence

Il est conseillé de vérifier le fonctionnement de la sonde après l'installation par un relevé dans les jours ou semaines suivant l'installation. Des relevés réguliers (2 à 4 fois par an) sont recommandés malgré la grande autonomie des sondes. A cette occasion, il est bon de vérifier qu'il n'y a pas de colmatage de la sonde (par des sédiments) en la retirant complètement du tube.

Autonomie de la mémoire : 32 000 données, soit une mesure de niveau par heure pendant plus de 3 ans.

Autonomie des piles : estimée à 10 ans

Relevé ponctuel par opérateur



Protocole de vérification de la représentativité spatiale des valeurs de la sonde automatique.



Identifier le piézomètre. Son numéro, indiqué sur la photo aérienne du site, est inscrit sur tube et/ou à l'intérieur du bouchon. Mesurer et noter : Profondeur de la nappe = H2 - H1



H1- Hauteur du tube dépassant du sol

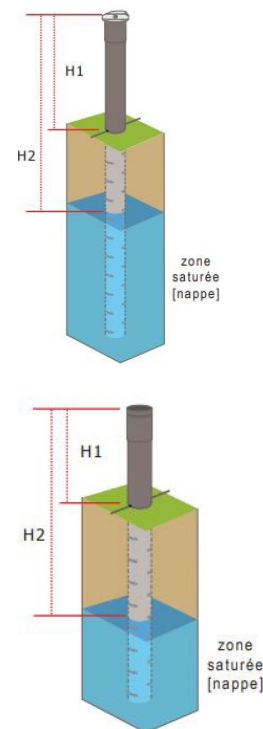
Cette hauteur est fixe. Le niveau du sol étant matérialisé par une marque ou un repère au niveau du sol, le piézomètre peut avoir bougé, il faut noter sa hauteur.

H2 - Profondeur de la nappe par rapport au sommet du tube.

- Elle peut être mesurée à l'aide d'une sonde piézométrique fixée à un mètre ruban qui indique par un signal sonore ou lumineux le contact avec l'eau.

- Lorsque l'on ne dispose pas de ce matériel et pour des profondeurs inférieures à 2 m, on peut mesurer le niveau de la nappe en observant le mouvement de l'eau au contact d'un mètre ruban. Pour faciliter l'observation, on peut utiliser une lampe de poche. D'autres dispositifs peuvent être utilisés (tige graduée).

Comme il s'agit ici de vérifier la relation entre les niveaux de nappe en différents points de la zone humide, la régularité des relevés n'est pas nécessaire. Il faut essayer de constituer un échantillon de données représentatif de la diversité des situations météorologiques possibles.



Méthode de paramétrage des sondes Heron dipperLog et barLog



Caractéristiques des sondes Heron dipperLog

L'enregistreur de niveau Heron dipperLog est basé sur une sonde de pression. Il est équipé d'une sonde de pression, ainsi que d'une sonde de température. L'enregistreur, configurable individuellement, mémorise et contrôle les valeurs mesurées dans une mémoire importante, d'une capacité d'environ 32 000 données (3 ans de mesure si 1 mesure par heure). Les données peuvent être exportées et la mémoire remise à jour lors du relevé des données.

Les sondes Heron dipperLog fonctionnent en tandem avec un baromètre Heron barLog qui corrige les mesures de pression d'eau par les variations de la pression atmosphérique, on parle de données « compensées ».

Paramétrage des sondes

Le baromètre barLog doit être paramétré avant la sonde dipperLog.

1-Démarrer le logiciel Heron (qui doit avoir été préalablement installé sur l'ordinateur).

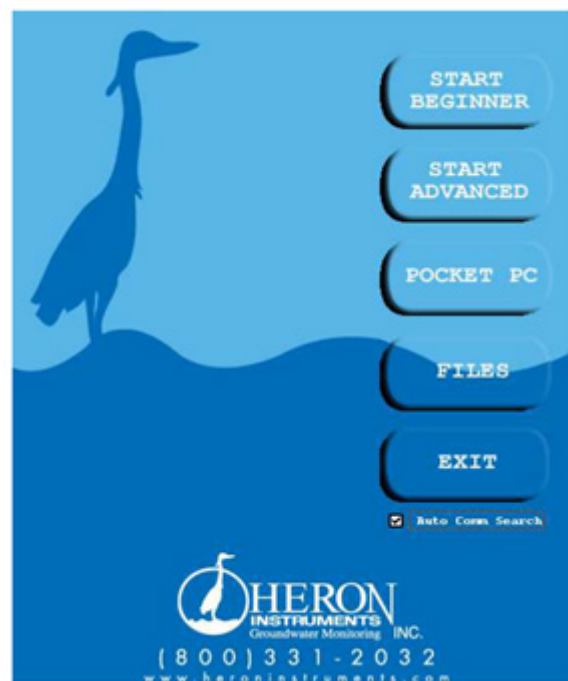
2-Brancher le câble de connexion entre l'ordinateur et le baromètre barLog

3-Cliquer sur le bouton START BEGINNER

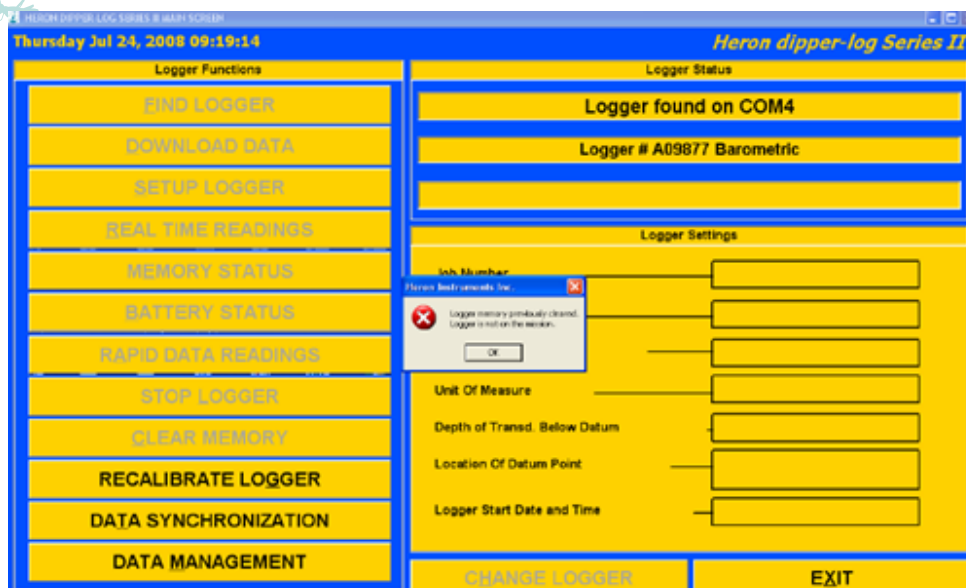
4-Le logiciel cherche automatiquement la sonde ou le baromètre

5-Cliquer OK sur le message qui s'affiche indiquant que la mémoire est vide et que la sonde n'est pas en marche

Note : cet écran affiche le numéro de la sonde (ici A09877) qu'il faut archiver pour la gestion des données exportées par site.



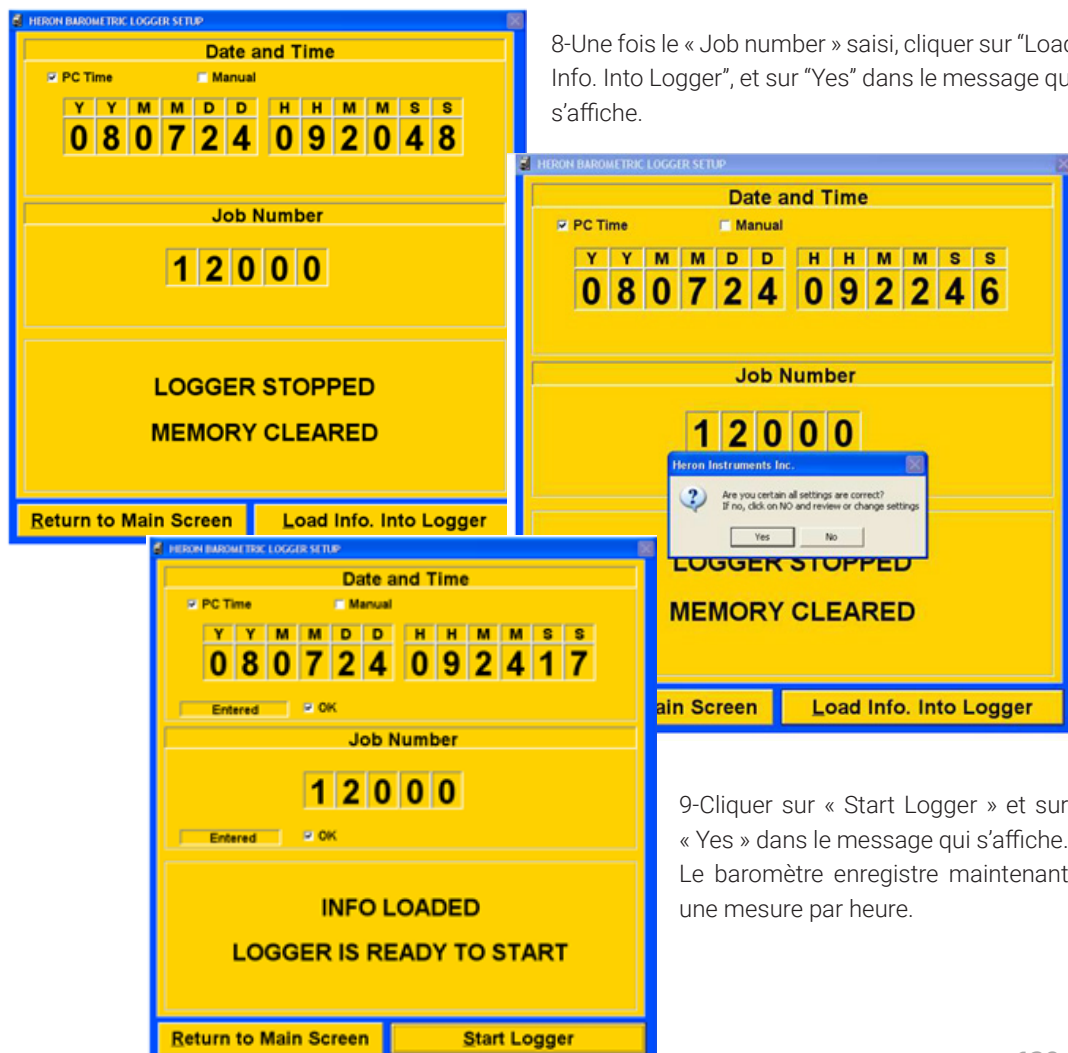
Méthode de paramétrage des sondes Heron dipperLog et barLog



6-Cliquer sur "SETUP LOGGER" pour paramétrer le baromètre

7-Par défaut la sonde se synchronise avec l'heure de l'ordinateur.

Le « Job number » est la seule information à remplir. Cette information sert à relier un baromètre à une (ou plusieurs) sonde(s) qui possède(nt) le même « Job number », ce qui permet de compenser automatiquement les données exportées. Elle est donc très importante et ne doit comporter que des chiffres ou des lettres.

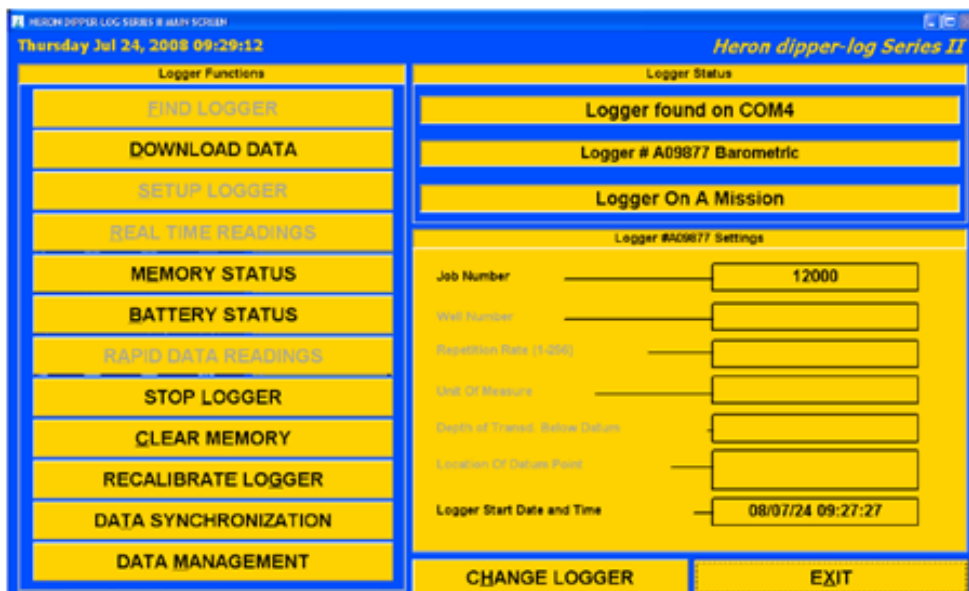


8-Une fois le « Job number » saisi, cliquer sur "Load Info. Into Logger", et sur "Yes" dans le message qui s'affiche.

9-Cliquer sur « Start Logger » et sur « Yes » dans le message qui s'affiche. Le baromètre enregistre maintenant une mesure par heure.

Méthode de paramétrage des sondes Heron dipperLog et barLog

10-Cliquer sur « Return to Main Screen » pour retourner à l'écran d'accueil qui est maintenant mis à jour avec les paramètres du baromètre.



11-Cliquer sur « CHANGE LOGGER » et débrancher le câble du baromètre

12-Connecter le câble à la sonde dipperLog et cliquer sur « FIND LOGGER ».

Attention ! La sonde ne doit pas être dans l'eau avant que cela soit spécifiquement demandé.

13-Cliquer OK sur le message qui s'affiche qui indique que la mémoire est vide et que la sonde n'est pas en marche

Note : cet écran affiche le numéro de la sonde (ici BDEMO5) qu'il faut archiver pour la gestion des données exportées par site.



14-Cliquer sur "SETUP LOGGER" pour paramétrer la sonde

15-Saisir le « Job number ». Attention il doit être identique à celui du baromètre.

16-Saisir le « well number » qui peut servir à identifier le piézomètre

Méthode de paramétrage des sondes Heron dipperLog et barLog

17-Saisir l'intervalle de mesure (sampling interval) et le taux de répétition (repetition rate). Par exemple si l'intervalle est en heure et le taux de répétition est 2 alors la sonde prendra une mesure toutes les 2 heures.

The screenshot shows the Heron DipperLog software interface with the following configuration details:

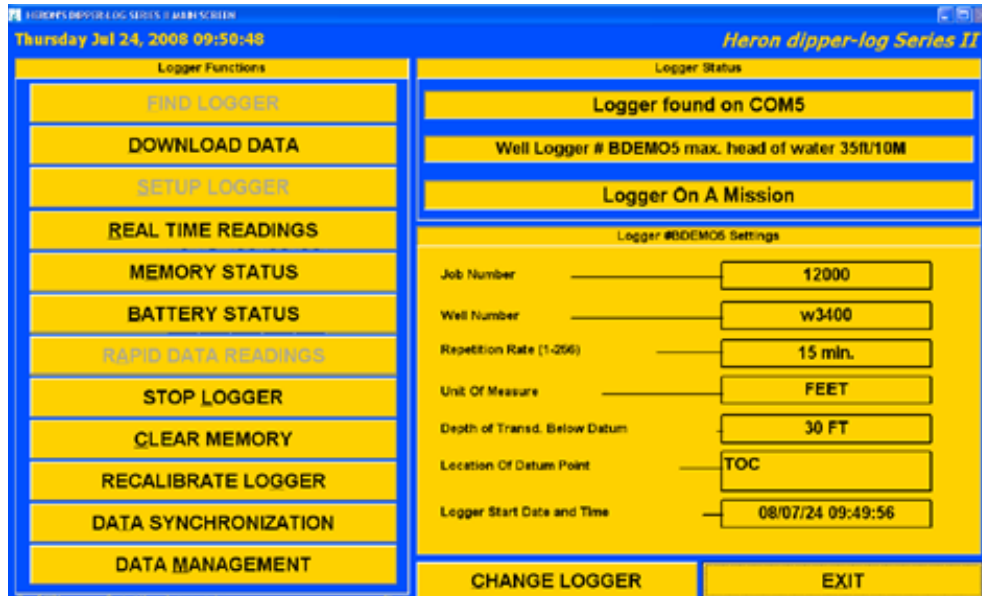
- Date and Time:** 08/07/24 09:48:22 (PC Time selected)
- Transducer Depth Below Datum Point:** 0030.00F
- Job Number:** 12000
- Well Number:** W3400
- Sampling Interval:** 15 (Minutes selected)
- Repetition Rate (1-256):** 15
- Location of Datum Point:** TOC
- LOGGED Start Date and Time (optional):** (Empty)
- Status:** LOGGED STOPPED MEMORY CLEARED

18-Saisir la profondeur de la sonde sous le point de référence (Transducer Depth below Datum) dans l'unité indiquée (F=feet, M= mètre).

Le point de référence est celui à partir duquel les mesures sont faites. Le point de référence peut être le niveau du sol.

Méthode de paramétrage des sondes Heron dipperLog et barLog

- 19-Indiquer la localisation du point de référence (Location of Datum point). C'est une simple description, par exemple SOL.
- 20-Le départ différé (delayed start date and time) est optionnel.
- 21-Cliquer sur "Load Info. Into Logger", et sur "Yes" dans le message qui s'affiche.
- 22-Cliquer sur « Return to Main Screen » pour retourner à l'écran d'accueil qui est maintenant mis à jour avec les paramètres de la sonde.



- 23-Vous pouvez maintenant mettre la sonde dans l'eau
- Note : vous pouvez vérifier si la sonde fonctionne en cliquant sur « REAL TIME READINGS »
- 24-Cliquer sur « EXIT »
- 25-Cliquer sur "OK", déconnecter le câble de la sonde.

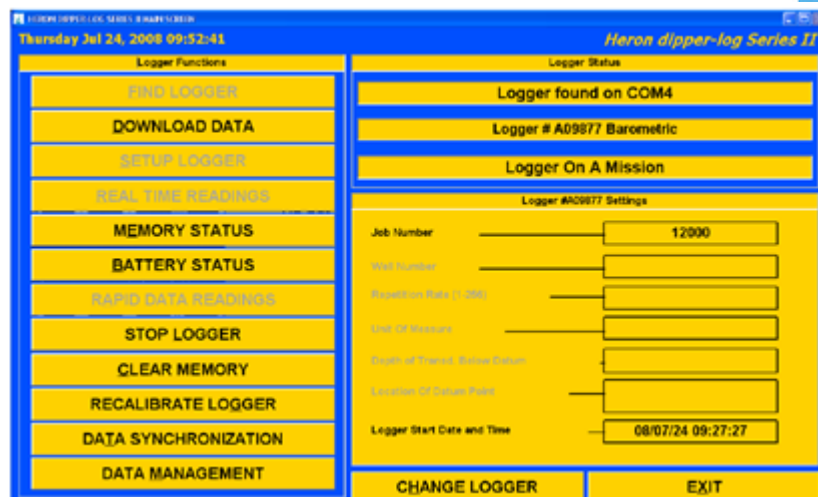
Relevé et exportation des données



Les données du baromètre barLog doivent être exportées avant celles de la (les) sonde(s) dipperLog qui lui correspondent.

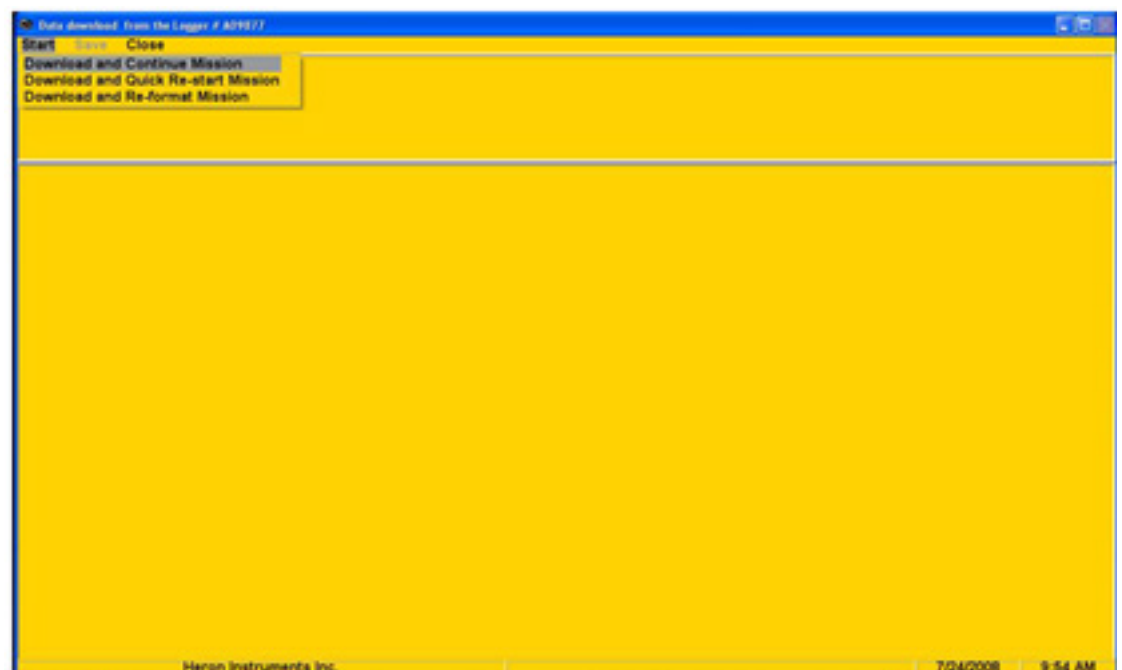
1-Brancher le câble de connexion entre l'ordinateur et le baromètre barLog et démarrer le logiciel Heron

2-Cliquer sur le bouton START BEGINNER



3-Le logiciel cherche automatiquement la sonde ou le baromètre

4-Une fois qu'il l'a détecté, cliquer sur « DOWNLOAD DATA »

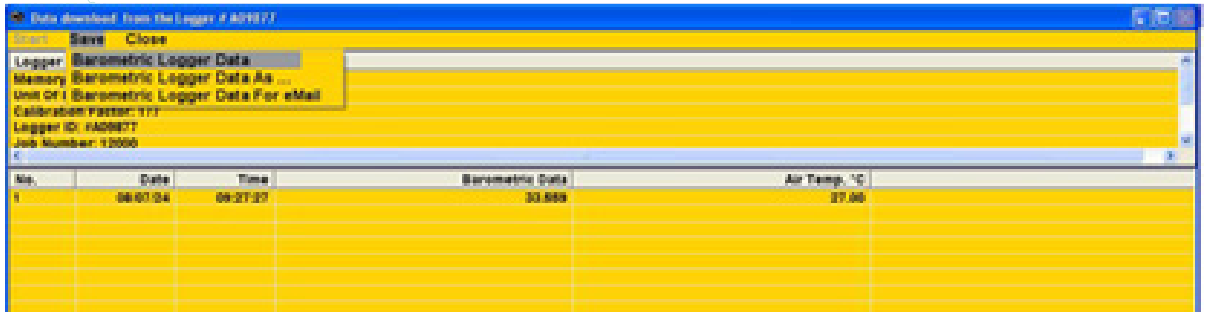


5-Cliquer en haut à gauche sur « Start » et « Download and Continue Mission »

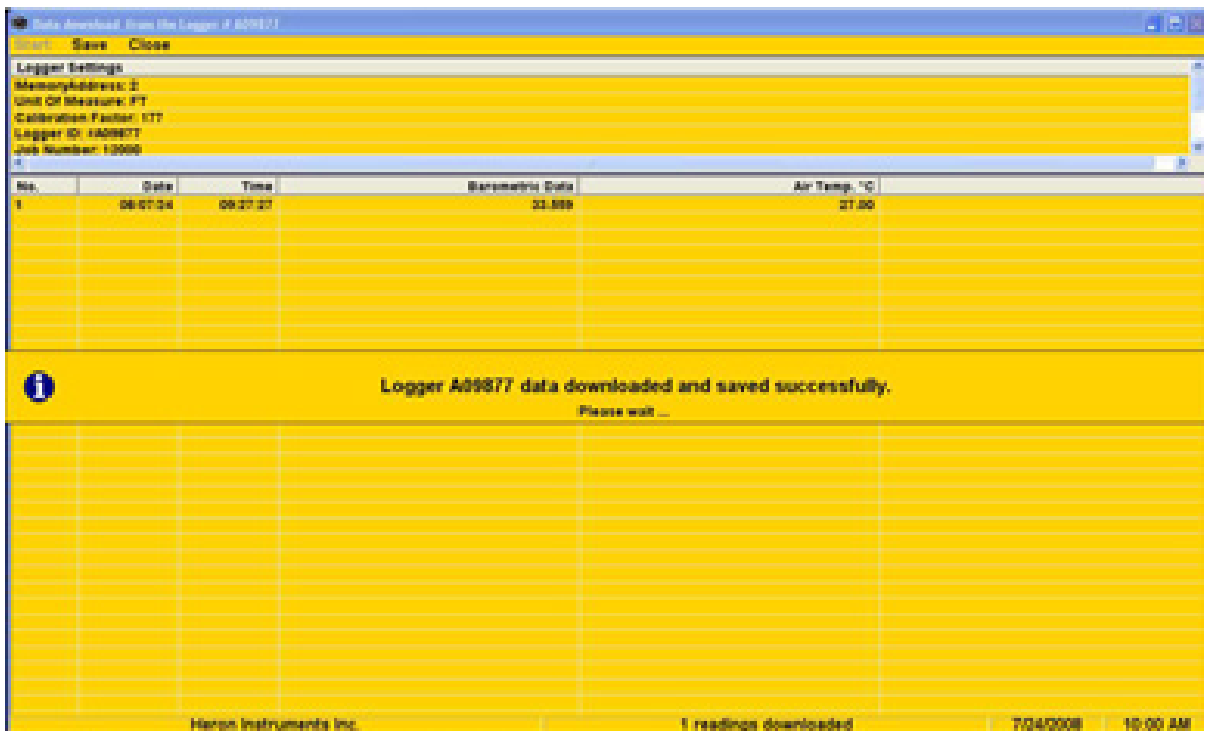
6-Une fois que les données ont été téléchargées, cliquer sur « Save » et « Barometric Logger Data »

Relevé et exportation des données

(source : BAO RhoMéO)



7-Lorsque les données sont enregistrées cliquer sur « Close »

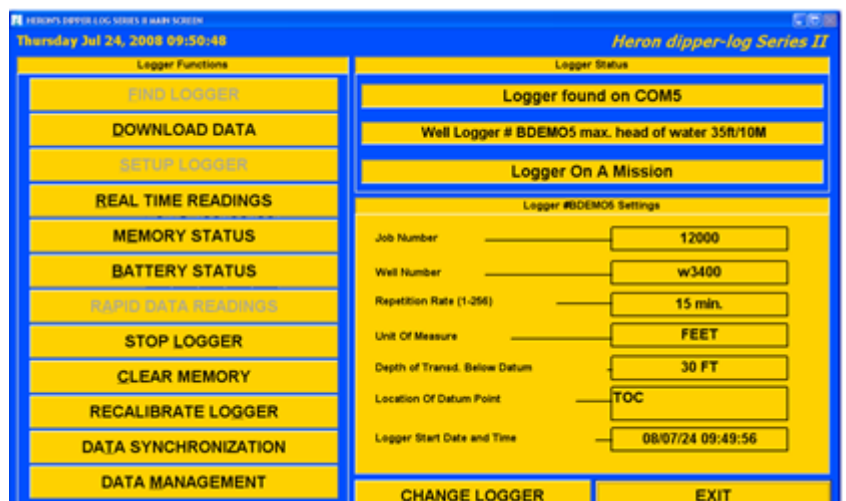


8-Retourner sur l'accueil et cliquer sur "CHANGE LOGGER", déconnecter le baromètre.

9-Connecter la sonde et cliquer sur « FIND LOGGER », répéter ensuite les mêmes étapes qu'avec le baromètre

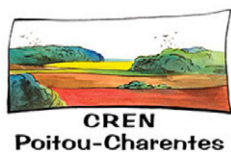
Note : par défaut, les données sont enregistrées sur l'ordinateur dans le dossier C:\Program Files (x86)\Dipper-Log Series II sur des fichiers .txt.

C'est la colonne « Comp. DEPTH WTR To Datum » qui contient les données utiles dans le cadre du programme LigerO (la profondeur de la nappe en mètre, à convertir en cm).



LE PROGRAMME LIGÉRO

STRUCTURES PARTICIPANTES ET PARTENAIRES FINANCIERS



Ce document a été produit dans le cadre du projet LigéO. Il présente, sur la base de la BAOZH Rhoméo et du guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration, les méthodes nécessaires à la mise en place de six indicateurs de suivi des milieux humides testés à l'échelle du bassin de la Loire. Ce document présente aussi l'indicateur trophique, testé sur les marais de la façade atlantique et de la Manche.

Avec le soutien de :



Cette opération est cofinancée par l'Union européenne, L'Europe s'engage en région Centre-Val de Loire avec le Fonds Européen de Développement Régional.

