

## Caractérisation des liens nappe/cours d'eau et zones humides associées

### Objectifs

Un suivi piézométrique permet de suivre l'évolution du niveau de la nappe accompagnatrice du cours d'eau. Il peut s'agir d'un suivi de la nappe seule et de ses évolutions saisonnières ou liées aux événements hydrologiques, ou d'un suivi du lien entre niveau d'eau du cours d'eau et niveau de la nappe.

Une évolution du niveau de la nappe accompagnant le cours d'eau peut avoir des conséquences sur les milieux naturels à proximité : alimentation des annexes hydrauliques, évolution des fonctionnalités des zones humides, dessèchement, pourrissement ou favorisation de la ripisylve, selon que le niveau diminue ou augmente et selon les espèces qui la composent.

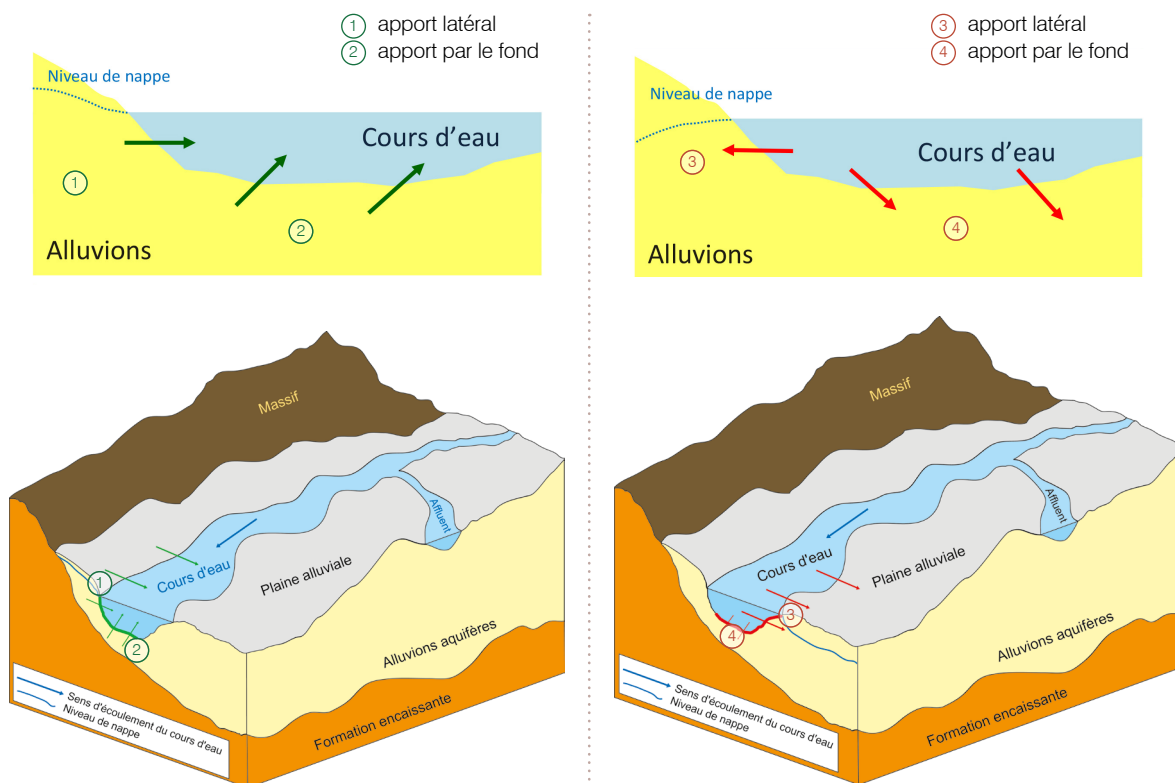
Les usages peuvent aussi être affectés : en cas de baisse du niveau de la nappe, les stations de pompage peuvent rencontrer des problèmes. Selon la géologie du sol, il peut également y avoir un risque de déstabilisation d'ouvrages et/ou d'habitations.

Les travaux d'aménagements anciens des cours d'eau (seuil mais aussi mise en bief de cours d'eau, rectification, recalibrage, curage voire busage) ont modifié les liens entre les cours d'eau et leurs nappes d'accompagnement. Dans les cas de mise en bief par exemple, les cours d'eau sont généralement perchés et une partie de l'eau du cours d'eau est drainée par la nappe. À l'inverse, dans les cas de curage anciens et répétés par exemple, les cours d'eau s'incisent, et l'eau de la nappe est drainée par le cours d'eau (Figure 80).

Ainsi, les opérations de restauration peuvent modifier à la fois le niveau de la nappe et ses évolutions saisonnières, et le sens et le volume des échanges nappe-rivière.

Dans le cas d'un effacement d'ouvrage par exemple, il s'agira avant tout de suivre l'évolution du niveau de la nappe et de s'assurer que les usages de celle-ci peuvent être maintenus.

Dans le cas d'une remise dans le talweg, d'un reméandrage ou de la reconstitution du matelas alluvial, il s'agira d'abord de suivre l'évolution des échanges nappes-rivières, et ainsi de s'assurer d'un retour à un fonctionnement plus équilibré (limitation des phénomènes de drainage d'un côté ou de l'autre). L'évolution de ces échanges pouvant entraîner une modification du niveau de la nappe, il sera également nécessaire de suivre l'évolution du niveau de la nappe, ici aussi dans le cadre des usages de celle-ci, mais aussi pour le fonctionnement des annexes, zones humides et ripisylve associées.



**Figure 80** - Sens des échanges nappe-cours d'eau.  
 À gauche, cas d'un cours d'eau incisé, le cours d'eau draine la nappe. À droite, cas d'un cours d'eau perché, la nappe draine le cours d'eau. (in Guide interactions nappes-rivières [59]).

Dans le cadre du SSM, l'objectif sera donc, d'une part de caractériser les échanges entre le cours d'eau et la (les) nappe(s), puis d'autre part de définir le niveau de(s) nappes(s) accompagnatrice(s), et par la suite de suivre les effets des travaux de restauration sur ce niveau et ces échanges, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif.

Pour chaque projet susceptible de rehausser ou d'abaisser significativement le fond topographique du cours d'eau et donc le niveau de la nappe, cette analyse mérite d'être développée.

## Méthodes et protocoles

Il n'existe pas à ce jour de méthode standardisée voire même définie dans la bibliographie pour l'évaluation des effets des opérations de restauration de cours d'eau sur les échanges nappes/rivières. Ces mécanismes sont particulièrement complexes à décrire car relevant de différentes spécialités (hydrogéologues, hydrauliciens, botanistes, hydromorphologues...). Les connaissances scientifiques à mobiliser sont donc nombreuses et éparpillées, parfois anciennes, et les relations entre les différentes disciplines sont variables dans le temps et l'espace [59, 60]. En ce sens, et avant d'engager un suivi piézométrique dédié ou toute autre mesure *in situ*, il est proposé une démarche en deux temps pour concevoir ce suivi.

### Étude hydrogéologique préalable

En premier lieu, il convient de vérifier sur une emprise fonctionnelle représentative du site restauré (définition de l'emprise représentative, voir Tableau 11) sur les 2 rives, la présence ou non d'une nappe alluviale sur la base d'une analyse sommaire reposant sur une visite de terrain et l'analyse de documents existants (carte géologique montrant que le cours d'eau coule sur une roche aquifère - Fz - , exploitations de la nappe par pompages et puits...). Cette approche doit permettre de déterminer s'il existe une nappe potentiellement connectée au cours d'eau.

## Remarque

Lors de la visite de terrain, on recherchera notamment la présence de zones humides dans le lit majeur du cours d'eau, pouvant être révélatrices de remontées de nappe, et/ou la présence d'un substratum imperméable, indiquant une absence d'échanges entre une éventuelle nappe sous-jacente et le cours d'eau.

Tableau 11 - Définition de l'emprise fonctionnelle du suivi de nappe(s) accompagnatrice(s)

Nature de l'opération	Éléments d'aide à la définition de l'emprise fonctionnelle
Suppression ou contournement d'ouvrage [61]	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>Limite amont</b> - remous liquide ou nouvel obstacle</li> <li>■ <b>Limite aval</b> - 100 fois la Lpb en aval de l'ouvrage, seuil arbitraire : on observe souvent la réactivation de zones humides « historiques » en aval</li> <li>■ <b>Limite latérale</b> : combinaison des contraintes naturelles et anthropiques au projet</li> </ul> <p><u>Naturelles</u> - En l'absence d'étude hydrogéologique, la délimitation de la limite latérale peut être réalisée à partir des alluvions récentes Fz (voir la carte géologique du secteur)</p> <p><u>Anthropiques</u> - Les contraintes anthropiques au projet seront définies. En effet, la présence d'infrastructures linéaires (routes, voies ferrées), de surfaces bâties sont autant d'éléments qui déterminent les contraintes physiques</p>
Remise dans le talweg, reméandrage, recharge granulométrique	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>Limite amont/aval : linéaire restauré</b></li> <li>■ <b>Limite latérale</b> : combinaison des contraintes naturelles et anthropiques au projet</li> </ul> <p><u>Naturelles</u> - En l'absence d'étude hydrogéologique, la délimitation de la limite latérale peut être réalisée à partir des alluvions récentes Fz (voir la carte géologique)</p> <p><u>Anthropiques</u> - Les contraintes anthropiques au projet seront définies. En effet, la présence d'infrastructures linéaires (routes, voies ferrées), de surfaces bâties sont autant d'éléments qui déterminent les contraintes physiques</p>

Dans les cas où il n'y a naturellement pas ou peu de relations hydrodynamiques (notamment cours d'eau circulant sur formations peu perméables ou imperméables, comme les marnes ou les argiles sans nappe phréatique), aucun suivi hydrogéologique n'est à mettre en place et les effets de l'opération de restauration sont alors considérés comme faibles à nuls sur l'évolution du niveau des nappes sous-jacentes.

Par ailleurs, dans les environnements de type karstique, il n'existe pas de méthode pour réaliser un suivi de la nappe à des coûts raisonnables. Ainsi, sauf en cas d'enjeux majeurs, nécessitant l'intervention d'équipes spécialisées, le suivi ne sera pas mis en place sur les cours d'eau de type karstique.

Si la présence d'un aquifère, susceptible d'être en connexion avec le cours d'eau, est avérée, il sera recherché la présence d'ouvrages (puits, forages, piézomètres) dans la zone d'emprise fonctionnelle pouvant permettre de mesurer des niveaux de nappe et/ou de prélever des eaux souterraines. Les principaux ouvrages sont bancarisés dans la **base de données du sous-sol du BRGM** et les coupes géologiques associées peuvent être disponibles. Les points d'eau disposent d'informations supplémentaires stockées dans la banque de données ADES disponible depuis le même site (données de hauteur d'eau et/ou de qualité d'eau suivant les points).

Il existe également des systèmes d'information pour la gestion des eaux souterraines régionaux (SIGES) pour 10 territoires, mettant à disposition des données à l'échelle plus locale.

Cette recherche permettra de connaître la nature du sous-sol et l'altitude du toit de la nappe dans certains cas, voire l'évolution du niveau piézométrique en fonction des conditions hydrologiques afin de caractériser en première approche le fonctionnement hydrogéologique du secteur.

Si des cartes piézométriques sont disponibles (les cartes sont obtenues en combinant les données de hauteur d'eau issues de plusieurs piézomètres), il est parfois possible de savoir si régionalement le cours d'eau draine la nappe ou alimente la nappe aux dates des mesures utilisées pour faire la carte. Attention, cela ne signifie pas que le sens des échanges locaux au site de restauration est le même que celui observé régionalement sur la carte.

<http://infoterre.brgm.fr>

<http://www.brgm.fr/projet/siges-portails-thematiques-regionaux-sur-eaux-souterraines>

Cette analyse préalable doit ainsi permettre de produire une première approche de l'existence des échanges nappes/rivières sur le secteur d'étude dans le but de dimensionner un suivi plus fin avant/après travaux, en particulier par le biais de mesures piézométriques réalisées sur des ouvrages existants et/ou à mettre en place pour les besoins du suivi.

### Mesures *in situ* (piézométrie)

Pour comprendre l'évolution des échanges nappe-rivière, il est proposé de suivre le niveau de la nappe à proximité du site et le niveau du cours d'eau à différents moments de l'année (lorsque le cours d'eau est à l'étiage, lorsqu'il est proche du module et à la crue journalière de fréquence biennale - voir pour mettre en place ce suivi la *Fiche 9 [Hydrologie]*). En effet, dans le cadre du SSM, on systématisera une mesure de hauteur d'eau dans le cours d'eau lors des relevés de piézomètres. Ceci permettra de connaître les variations du niveau de la nappe relativement au niveau du cours d'eau, plus informatif qu'une hauteur de nappe seule car prenant en compte une partie de la variabilité saisonnière et interannuelle.

#### Remarque

*Les nappes d'accompagnement peuvent présenter une grande variabilité interannuelle, selon la pluviométrie notamment. Aussi, un état initial sur plusieurs années sera privilégié (a minima 3 ans).*

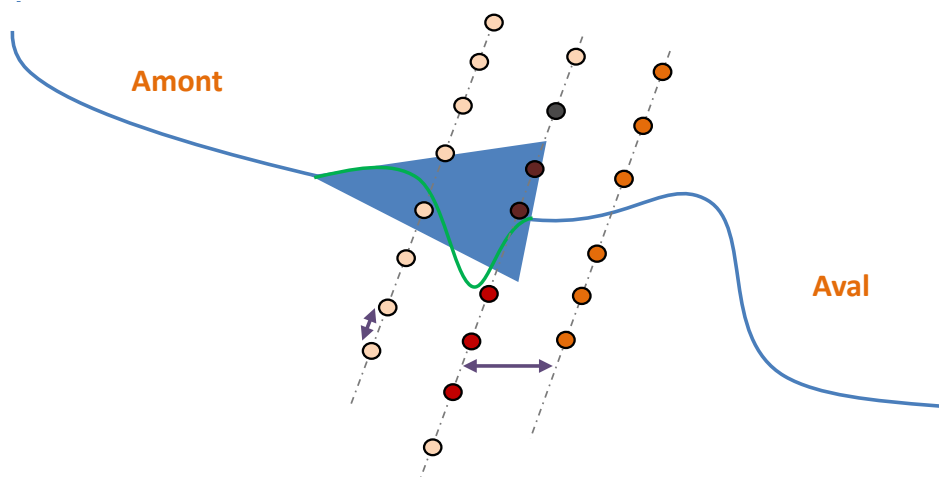
L'écoulement se fait en suivant le gradient de pente de la nappe ; on supposera qu'à l'interface nappe-rivière, la nappe est au niveau de la rivière, on peut donc en déduire le sens des échanges nappe-rivière à partir du niveau de la nappe comparé à celui de la rivière.

L'effort consacré au suivi de la nappe sera proportionné au budget alloué à ce suivi, généralement en rapport avec les enjeux. En cas d'enjeu fort associé à des usages (pompages, stabilité des constructions) ou à des habitats d'intérêt à conserver ou restaurer, le suivi le plus complet sera préconisé. En l'absence d'enjeu particulier, un suivi plus léger pourra être mis en place (Tableau 12).

Un exemple de suivi aux différents niveaux d'efforts est présenté Figure 81.

**Tableau 12 - Mise en œuvre du suivi selon l'importance des enjeux et donc de l'effort de suivi**

Effort du suivi	Mise en œuvre	Fréquence de la mesure	Matériel
Important ↓ Faible	3 transects de 4 piézomètres sur chaque rive	Fréquence horaire	sondes enregistreuses
	2 transects de 3 piézomètres sur chaque rive	4 mesures <i>a minima</i>	sonde manuelle à bip
	Un transect de 3 piézomètres sur chaque rive	4 mesures <i>a minima</i>	sonde manuelle à bip
	Un transect de 3 piézomètres sur une seule rive	Fréquence horaire ou 4 mesures <i>a minima</i>	sonde enregistreuse ou sonde manuelle
	Un seul piézomètre, sur une rive	Fréquence horaire Ou 4 mesures <i>a minima</i>	sonde enregistreuse ou sonde manuelle



**Figure 81** - Exemple de mise en place des piézomètres, dans le cas d'un effacement d'ouvrage (la mise en place sera similaire pour les autres opérations de restauration). Le suivi le plus simple n'est constitué que d'un seul point (le point noir, rive gauche). Plus le suivi est complet plus l'on y rajoute des piézomètres, jusqu'au plus clair, le plus complet. La distance entre les transects et entre les piézomètres doit être estimée au regard des caractéristiques du site.

Au-delà des préconisations ci-dessus, la fréquence et la période de suivi dépend des objectifs donnés à ce suivi : en cas de risque lié à l'abaissement, le comportement de la nappe sera principalement suivi à l'étiage ; en cas de suivi de l'augmentation du niveau de la nappe, le suivi pourra être réalisé lorsque les zones humides riveraines sont en eau. En cas d'enjeux forts, il est possible de suivre les piézomètres toute l'année.

A minima, quatre campagnes de mesures sont préconisées : deux en saison hivernale, et deux en saison estivale. Dans les deux cas, une mesure sera réalisée peu après un épisode pluvieux ; la seconde sera réalisée à distance d'événements pluvieux.

La distance à respecter entre les piézomètres d'un même transect et d'un transect à l'autre dépend de la perméabilité du substrat, des flux circulants et de la configuration du site (et des modifications attendues des niveaux de nappe). Entre les piézomètres, la distance est généralement de l'ordre de la dizaine de mètres, en restant dans l'emprise fonctionnelle prédéfinie. Dans le cas d'enjeux biodiversité, dans les annexes hydrauliques notamment, il sera également possible d'installer des piézomètres dans les zones humides d'intérêt (pour la mise en place et l'interprétation, voir la boîte à outils RhoMéo [62] ou la fiche du FMA [63]).

### Remarque

*Pour les cours d'eau perchés (déplacés hors de leur talweg), le suivi de la reconnexion avec la nappe et l'amélioration de l'alimentation du cours d'eau pourront être suivis via des mesures de débits en différents points du réseau superficiel, notamment en amont du tronçon « déplacé » et dans le tronçon déplacé en cas de remise dans le talweg. Les mesures piézométriques peuvent apporter dans ce cas un complément de connaissance.*

Pour la mise en œuvre des mesures piézométriques, des éléments techniques détaillés sont disponibles dans la boîte à outils Rhoméo [62] pour le suivi des zones humides. Plus particulièrement les fiches Indicateur - I03 (p.24) et Protocole - P03 (p.54) fournissent un ensemble de recommandations sur la réalisation de ces mesures. La fiche du Forum Marais Atlantique [63] présente également des préconisations techniques (fiche hydropériode). Ces éléments ont été produits à des fins de compréhension du fonctionnement hydrologique des zones humides mais restent applicables pour les opérations de restauration de cours d'eau (notamment suivis en lit majeur d'annexes hydrauliques, de prairies humides...) ; les recommandations concernant les indicateurs restent à adapter au cas de la restauration.

Concernant la profondeur à laquelle installer les piézomètres, il faudra a minima se placer au niveau de la couche en contact avec le cours d'eau (qui pourra être assez profonde en cas d'incision). Sauf enjeu particulier identifié (usage des nappes sous-jacentes, fonctionnement particulier), il ne sera pas nécessaire de rechercher les aquifères plus en profondeur.

## Remarque

La mise en place d'un piézomètre est soumise à une demande d'autorisation au titre de la Loi sur l'eau (code de l'environnement - Article R214-1).

## Exploitation des données, bancarisation

Pour caractériser le sens des échanges et interpréter les résultats, on s'appuiera sur la fiche outils n° 1 du guide technique interactions nappes-rivières [59], « analyse géomatique des niveaux d'eau ».

Par ailleurs, il sera utile de confronter les résultats du suivi obtenu aux résultats obtenus via les suivis de l'hydrologie et de la température. Ceci permettra d'avoir des indications sur le sens et la fréquence des échanges entre la nappe et le cours d'eau.

Dans un premier temps, les fichiers de données seront stockés dans la banque de données du SSM (voir *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*). Par la suite, l'intégration dans ADES, Banque nationale d'accès aux données sur les eaux souterraines, sera privilégiée.

<http://www.ades.eaufrance.fr/>

## Méthodes complémentaires

Il faut noter qu'au-delà des mesures piézométriques, un ensemble d'autres paramètres peuvent être relevés et nécessaires, selon les enjeux et caractéristiques du site, pour caractériser les échanges nappes-rivières et comprendre les modifications de ces relations suite aux travaux :

- structure de la berge et colmatage (voir *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]*) ;
- géochimie de la nappe (à mettre en lien avec la physico-chimie des eaux superficielles)[60] ;
- végétation aquatique[59] ;
- invertébrés souterrains[59] ;
- pédologie et habitats (flore) en lit majeur.

Les éléments techniques relatifs à ces protocoles complémentaires et à leur interprétation peuvent être consultés au sein des ouvrages listés dans la bibliographie.

## Bibliographie spécifique

59. Paran, Frédéric et Bénédicte Augeard, 2017. *Guide technique Interactions nappe/rivière, des outils pour comprendre et mesurer les échanges*. Guides et Protocoles. Agence Française pour la Biodiversité.106 pages.

60. Paran, Frédéric, et al., 2015. *Caractérisation des échanges nappes/rivières en milieu alluvionnaire – Guide méthodologique*. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) & GRAIE (Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau).178 pages.

62. Collectif RhoMéO, 2014. *La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée*. Conservatoire d'espaces naturels de Savoie.147 pages.

63. Forum des Marais Atlantiques, 2015. *Mallette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides*. Agence de l'eau Loire-Bretagne et Conseil régional des Pays de la Loire.189 pages.