



Outils : méthodes de diagnostic

4

Questions posées

- ▶ Quel intérêt de commencer par un pré-diagnostic ?
- ▶ Comment choisir la ou les bonnes méthodes de caractérisation des échanges nappe/rivière ?

Synoptique

- ▶ Penser à réaliser un pré-diagnostic
- ▶ Connaître et comparer les outils de diagnostic présentés dans ce guide

Liens et renvois

Chapitre 2. Données et caractérisation des sites d'étude
Chapitre 3. Typologie des échanges nappe/rivière
Partie C. Mettre en œuvre les outils

4.1. Réaliser un pré-diagnostic

Afin de démarrer l'étude des échanges nappe/rivière sur un territoire donné, il est conseillé de réaliser un pré-diagnostic qui peut être fondé tant :

- ✓ sur des informations issues de la bibliographie (par ex. études, rapports, thèses, fiches de synthèses hydrogéologiques, cartes piézométriques, interprétations géologiques et hydrogéologiques...);
- ✓ sur des visites de terrain ou des pré-campagnes de relevés de terrain (par ex. mesure de paramètres physico-chimiques, mesure de niveaux d'eau, lecture de paysage, détermination de végétaux aquatiques...).

Selon le cas, la méthode géomatique (fiche outils n°1) et l'imagerie thermique infrarouge (IRT) (fiche outils n°4) peuvent en elles-mêmes constituer des méthodes de pré-diagnostic, qui pourront éventuellement être complétées par quelques mesures géochimiques (fiche outils n°5) et quelques déterminations de végétaux aquatiques (fiche outils n°6). Ce pré-diagnostic permet d'identifier des zones qui fonctionnent potentiellement différemment (par ex. changement de géologie) et d'avoir des estimations du sens des échanges.

Une fois ce pré-diagnostic réalisé, des méthodes plus compliquées et plus coûteuses pourront être mises en œuvre si nécessaire pour préciser les échanges aux échelles de temps et d'espace d'intérêt et de les quantifier.

4.2. Panorama des différentes méthodes

Plusieurs méthodes de caractérisation des échanges nappe/rivière sont présentées dans ce guide. La caractérisation des échanges nappe/rivière peut faire appel à une ou plusieurs de ces méthodes en fonction du contexte hydrogéologique, des contraintes territoriales et des enjeux. Il y a donc parfois un fort intérêt à utiliser plusieurs méthodes.

Les tableaux suivants (tableau 4 p. 31 ; tableau 5 p. 32 ; tableau 6 p. 33) présentent pour chacune des méthodes :

- ✓ leurs principales caractéristiques fondamentales ;
- ✓ leur façon d'appréhender les échanges ;
- ✓ leurs points forts et points faibles.

Les configurations d'échanges diagnostiquées par ces méthodes ont été présentées au chapitre 3.

Caractéristiques fondamentales

Le tableau 4 synthétise les éléments fondamentaux permettant de décrire et de caractériser chacune des méthodes. Les champs sont au nombre de trois et répondent chacun à des questions spécifiques.

Contexte hydrogéologique. *Dans quels contextes hydrogéologiques la méthode est-elle applicable ?*

Principes de la méthode. *Sur quels principes, concepts, équations, modèle numérique, hypothèses la méthode est-elle fondée ?*

Informations nécessaires. *Quels sont les paramètres (par ex. calage), variables, contraintes, données et observations, conditions initiales et limites... à prendre en compte pour appliquer la méthode ?*



Tableau 4. Éléments fondamentaux caractéristiques des différentes méthodes.

Outils n°	Éléments fondamentaux caractéristiques des différentes méthodes		
	Contexte hydrogéologique	Principes de la méthode	Informations nécessaires
1. Analyse géomatique des niveaux d'eau	Nappes alluviales libres connectées à la rivière (milieu poral)	Calcul de gradients piézométriques - Loi de Darcy TIN	h nappe (cote) h rivière (cote) Carte piézométrique Perméabilités des berges Section d'écoulement
2. Modélisation hydrodynamique distribuée à base physique *	Nappes libres et captives Aquifères multicouches	Modèle hydrogéologique-couplé avec l'IDPR Équation de diffusivité Volumes finis Code de calcul Marthe	Géométrie du milieu, optionnel : épaisseur d'alluvions Paramètres hydrodynamiques : perméabilité (k), transmissivité, coefficient d'échange nappe/rièvre, paramètre de Manning (frottement en rivière) Conditions limites : précipitations, évapotranspiration potentielle Conditions initiales et données de calibration et validation : h rivière et nappe (cote), Q rivière (débit)
		Modèle couplé hydrologique/hydrogéologique Équation de diffusivité Différences finies Code Eau-Dyssée	
		Modèle couplé hydrologique/hydrogéologique Équation de diffusivité Différences finies Code CaWaQS ou Eau-Dyssée	
3.1. Modèles hydrothermiques à base physique	Nappes libres et captives Aquifères multicouches	Modèle thermique/hydrogéologique Équation du transport de chaleur couplée à l'équation de diffusivité Éléments finis 2D vertical Code Metis	Géométrie du milieu Paramètres thermo-hydrodynamiques : K, S, conductivité thermique, capacité calorifique etc. Conditions limites : h rivière et nappe (cotes), T rivière et nappe (température) Calibration et validations : profils thermique de la zone humide
3.2. Dispositif Molonari	Nappes libres Zone hyporhéique Aquifères multicouches	Mesures hydrogéophysiques Calcul du gradient hydraulique nappe/rièvre Jaugeage différentiel Traçage thermique et éventuellement géochimique Permet d'effectuer des slug tests	Mise en place de piézomètres et des stations d'acquisition de données rivière, nappe, zone humide
4. Infrarouge thermique (IRT)	Nappes libres Zone hyporhéique Milieux carbonatés	Cartographie du rayonnement infrarouge thermique	Images satellites Images photographiques
5. Géochimie	Nappes libres Zone hyporhéique Aquifères multi-couches Milieux carbonatés	Analyses physico-chimiques Analyses isotopiques Contrastes	Analyse d'eau Fonds géochimiques et référentiel
6. Végétation aquatique	Nappes libres	Composition des communautés de macrophytes	Exigences écologiques des espèces (trophie, perturbations, apports de nappe) Contexte biogéographique
7. Invertébrés souterrains	Nappes libres Zone hyporhéique Milieux carbonatés dont karst	Composition des communautés d'invertébrés interstitiels	Exigences écologiques des espèces (stygobies) Contexte biogéographique

* Trois exemples de modèles couplant écoulements de surface et écoulements souterrains sont présentés ici ; d'autres modèles similaires peuvent être envisagés.

Prises en compte des échanges

Le tableau 5 présente la façon dont chacune des méthodes prend en compte les échanges nappe/rivière à travers six champs (**colonnes**) qui répondent à des questions spécifiques.

Type d'échanges pris en compte / aire d'échange (colonne Types). La méthode permet-elle de diagnostiquer les échanges sur la totalité de l'interface nappe/rivière ou non (échanges latéraux, échanges par le fond...) ? Peut-elle intégrer d'autres types d'échanges (masses d'eau aquifères adjacents...) ? Quelle est la nature de la surface d'échange considérée par la méthode (section plan, surface mouillée...) ?

Sens de l'échange (colonne Sens). La méthode permet-elle d'identifier le sens de l'échange (rivière vers nappe ou nappe vers rivière par exemple) ?

Estimation quantitative de l'échange (colonne Quantification). La méthode permet-elle de quantifier les flux d'eau échangés ($m^3/jour$; $l/s...$) ?

Caractérisation de l'échange pour chaque rive (colonne Rive). La méthode permet-elle de distinguer les situations d'échange sur chacune des rives d'un cours d'eau (diagnostic rive droite et rive gauche) ?

Représentation cartographique de l'échange (colonne Représentation). Comment les résultats issus du diagnostic peuvent-ils être représentés sous forme cartographique et notamment sous SIG (points, lignes, surfaces, 3D...) ?

Caractérisation de la zone hyporhéique (colonne Zone hyporhéique). La méthode permet-elle de caractériser les échanges en distinguant la zone hyporhéique ?

Tableau 5. Prise en compte des échanges nappe/rivière par chacun des outils.

Outils n°	Échanges					
	Types	Sens	Quantification	Rive	Représentation	Zone hyporhéique
1. Analyse géomatique des niveaux d'eau	Latéraux, à travers les berges à l'échelle de tronçon Interface nappe/cours d'eau (section plan)	Oui	Oui $m^3/jour$	Oui	Linéaire de berge	Non
2. Modélisation hydrodynamique distribuée à base physique	Surface mouillée (fond et berges)	Oui	Oui	Non	Surfacique	Non
3.1. Modélisation hydrothermique à base physique	Distingue échanges par le fond et par les berges	Oui	Oui	Oui	Ponctuelle	Oui
3.2. Dispositif Molonari	Surface mouillée (fond et berges)	Oui	Oui Si couplé avec modèle	Non	Ponctuelle	Oui
4. Infrarouge thermique (IRT)	Par le fond ou par les berges Localement, toute la surface d'échange entre la nappe et le cours d'eau	Non Uniquement nappe vers cours d'eau	Non	Oui	Continue (Raster)	Oui
5. Géochimie	Intégré à l'échelle des masses d'eau	Oui	Oui	Oui	Ponctuelle Interpolation surfacique	Oui
6. Végétation aquatique	Intégré à l'échelle des masses d'eau (cours d'eau, nappe alluviale, aquifère adjacent) Toute la surface d'échange entre la nappe et le cours d'eau	Uniquement nappe vers cours d'eau	Oui Semi-quantitatif (4 classes)	Oui Si on l'intègre dans le suivi en séparant chaque rive Non Si on fait le relevé standard sans a priori	Relevés ponctuels (à l'échelle de la zone humide) Interpolation surfacique	Non
7. Invertébrés souterrains	Par le fond ou par les berges Localement, toute la surface d'échange entre la nappe et le cours d'eau	Oui	Non	Oui	Ponctuelle	Oui

Points forts et points faibles

Le tableau 6 présente de manière synthétique les avantages et inconvénients de chacune des méthodes pour la caractérisation des échanges nappe/rivière.

Tableau 6. Points forts et points faibles des outils.

Outils n°	Points forts	Points faibles
1. Analyse géomatique des niveaux d'eau	Rapide, simple, peu de données, extension spatiale, agrégation spatiale	Milieux alluviaux libres uniquement, existence et précision des données de départ
2. Modélisation hydrodynamique distribuée à base physique	Quantification, multicouche, spatialisée à différentes échelles, concepts physiques, différents pas de temps et résolution spatiale	Temps de calcul, pas de discrimination des berges, propriétés du lit mal connues, niveau de nappe symétrique sur chaque rive, gourmand en données, calibration et validation
3.1. Modélisation hydrothermique à base physique	Prise en compte de la thermie, interprétation de mesures de température ; distinction berge fond ; quantification à haute résolution temporelle et spatiale ; élément clef qui permet le changement d'échelle ; prise en compte de la géométrie du fond de la rivière (hyporhéique + nappe)	Ponctuel, difficile à mettre en œuvre pour un tronçon, gros efforts d'acquisition de données, méthode lourde
3.2. Dispositif Molonari	Mesure directe du sens d'échange à haute fréquence et sur le temps long Permet d'utiliser directement la métrique modèle thermo-hydro couplé	Ponctuel, coûteux, nécessite un grand effort d'instrumentation, ainsi qu'une bonne connaissance de l'hydrogéologie et de la pédologie-géologie pour le suivi de l'installation
4. Infrarouge thermique (IRT)	Acquisition rapide Extension spatiale	Apports de nappes uniquement Incertitudes liées à la calibration de la caméra Nécessité d'avoir un contraste de température entre les eaux souterraines et les eaux de surface
5. Géochimie	Origine des eaux, altitude de recharge, temps de renouvellement, âge des eaux	Coûts parfois élevés et suivi lourd, nécessite des eaux à signature chimique contrastée
6. Végétation aquatique	Rapide, peu coûteux, intégration des échanges sur une période annuelle	Présence de végétation, semi-quantitatif, homogénéité de la qualité des eaux
7. Invertébrés souterrains	Echantillonnage rapide, peu coûteux, sites complexes, origine de l'eau (discrimination de différents aquifères)	Pas de quantification, échelle locale, variabilité biogéographique (limite dernière glaciation), compétence en systématique, traitement en laboratoire long

4.3. Pour aller plus loin

Rapport Naprom : p. 166 (5.4.2. Grilles de comparaison des métriques)

Guide Eau Sout' : p. 16 (Introduction) et p. 55 (chapitre 4)