

Diagnostic synthétique

5

Questions posées

- ▶ Comment aboutir à un diagnostic synthétique des échanges nappe/rivière quand on a utilisé plusieurs méthodes ?

Synoptique

- ▶ Connaître la marche à suivre pour combiner les résultats de plusieurs méthodes
- ▶ Prendre en compte les incertitudes
- ▶ Établir un diagnostic synthétique

Liens et renvois

Chapitre 3. Typologie des échanges nappe/rivière
Partie C. Mettre en œuvre les outils

5.1. Étapes à suivre

Quand on dispose de plusieurs diagnostics des échanges nappe/rivière sur un même territoire obtenus à l'aide de plusieurs outils, il est souvent intéressant de disposer d'un diagnostic synthétique afin de mettre en avant les points de convergence, mais aussi les points de divergence.

Les étapes conduisant à un diagnostic synthétique sont les suivantes :

- ✓ synthèse des résultats obtenus avec chacun des outils ;
- ✓ sectorisation spatiale des résultats à l'échelle du point kilométrique (PK) ou du $\frac{1}{2}$ PK pour chaque outil, pour chaque tronçon de rivière étudié à l'aide de la typologie des échanges nappe/rivière (chapitre 3 et figure 10 p. 38) ;
- ✓ superposition spatiale des diagnostics par outil sur les tronçons étudiés (figure 9 p. 37) ;
- ✓ détermination des incertitudes liées au sens de l'échange diagnostiqué et à sa quantification pour chaque tronçon de rivière (figure 10) ;
- ✓ diagnostic synthétique multi-métrique des échanges par tronçon de rivière (figure 10) ;
- ✓ représentation cartographique du diagnostic synthétique (figure 11 p. 39).



5.2. Comparer les résultats et tenir compte des incertitudes

À l'heure actuelle, le diagnostic synthétique proposé est réalisé à l'aide d'un tableau de comparaison croisée des résultats, obtenus avec chaque outil impliqué.

Ce tableau est structuré en trois parties :

- ✓ dans la partie gauche, on retrouve le diagnostic des échanges par outils. Pour chacun sont indiqués : son intitulé, la date et l'état hydrologique de la nappe et du cours d'eau (basses eaux, moyennes eaux, hautes eaux par exemple). Dans l'idéal tous les diagnostics auront été réalisés à la même date. La sectorisation spatiale en unités fonctionnelles des échanges nappe/rivière est effectuée à l'échelle du $\frac{1}{2}$ PK (ou du PK) à l'aide du code couleur issu de la typologie des échanges (chapitre 3). De plus des informations complémentaires pourront être intégrées (remarques, quantification des flux échangés). Par convention, rappelons que les flux de la rivière vers la nappe sont indiqués avec des valeurs négatives et ceux de la nappe vers la rivière avec des valeurs positives ;
- ✓ dans la partie droite est indiquée, pour chacun des outils et pour chaque secteur homogène en termes d'échange, l'incertitude pesant sur le diagnostic. Le tableau 7 p. 36 donne un aperçu de ce que pourrait être l'évaluation des incertitudes concernant l'évaluation du sens de l'échange. Chaque diagnostic pourrait être évalué selon une notation trinaire : bonne évaluation, incertitudes, douteux ;
- ✓ la partie centrale est réservée au diagnostic synthétique croisé. Dans le cadre des projets Nappes/Rhône et Naprom ce diagnostic a été réalisé à « dire d'experts », c'est-à-dire après discussion entre les experts des différentes méthodes.

5.3. Un peu d'aide pour trancher

Il est conseillé de ne garder que les diagnostics de meilleure qualité et éliminer ceux qui sont trop incertains.

En cas de doute, il est possible de trancher à l'aide du diagnostic de meilleure qualité. Il est aussi possible de compléter le diagnostic à l'aide d'un nouvel outil.

Un diagnostic devient très pertinent s'il est construit sur la base du diagnostic convergent de plusieurs outils.

En cas de fortes divergences de diagnostics ou de fortes incertitudes, il faudra sans doute réaliser des études complémentaires à l'aide de nouveaux outils.

Tableau 7. Incertitudes par outil sur le diagnostic des échanges nappe/rivière : exemples.

Outils n°	Qualité du diagnostic		
	Bonne évaluation	Incertaines	Douteux
1. Analyse géomatique des niveaux d'eau	<p>Nombreuses mesures de niveaux de nappes</p> <p>Carte piézométrique interpolée à l'aide d'outils géostatistiques</p> <p>Mesures de la ligne d'eau de la rivière synchrone de la piézométrie</p> <p>Profil bathymétrique</p>	<p>Peu de mesures de niveaux de nappe</p> <p>Carte piézométrique interpolée manuellement</p>	<p>Trop de peu de mesures de niveaux de nappe</p> <p>Piézométrie non datée et non nivelée</p>
2. Modélisation hydrodynamique distribuée à base physique	<p>Réseau fortement dense d'observations pour la calibration et l'évaluation (piézomètres, hauteurs d'eau en rivière, débits)</p> <p>Bonne connaissance des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère : porosité, perméabilité, transmissivité</p> <p>Bonne connaissance des paramètres géomorphologiques de la rivière : largeur, altitude du fond de la rivière et/ou du niveau d'eau en rivière</p> <p>Connaissances précises de la topographie du domaine simulé</p> <p>Connaissances des conditions aux limites (débits d'entrée/sortie) et initiales</p> <p>Connaissance des aménagements anthropiques (barrages, seuils, irrigations, canaux, ...)</p> <p>Hypothèses de modélisation adaptées à l'échelle spatiotemporelle</p>	<p>Réseau moyennement dense d'observations</p> <p>Connaissance imparfaite du domaine simulé (paramètres hydrodynamiques, géomorphologiques, topographiques), des conditions aux limites et initiales</p> <p>Aménagement humain difficilement représentable (canal, seuil, irrigation, ...)</p>	<p>Réseau faiblement dense d'observations (fort biais par rapport aux observations)</p> <p>Méconnaissance totale du domaine simulé (paramètres, hydrodynamiques, géomorphologiques, topographiques)</p> <p>Hypothèse de modélisation mal adaptée au domaine et aux objectifs (maillage trop grossier, pas de temps trop faible, ...)</p> <p>Choix d'un type de modèle pas adapté au problème (par ex. modèle 3D à base totalement physique lourd en temps de calcul et en calibration pour un problème régional de plus d'un millier de km²)</p>
3.1. Modélisation hydrothermique à base physique	<p>Réseau de mesure assez dense (calibration)</p> <p>Peu de mesures verticales de la T°C</p> <p>Présence de données des propriétés thermiques et hydrodynamiques du ou des milieux</p> <p>Conditions limites provenant des mesures de terrain</p>	<p>Peu de mesures (pour la calibration)</p> <p>Plusieurs mesures verticales de la T°C</p> <p>Manque de données des propriétés thermiques et hydrodynamiques du ou des milieux</p> <p>Conditions limites issues de la littérature</p>	<p>Très peu ou pas de mesure pour la calibration</p> <p>Plusieurs mesures verticales de la T°C</p> <p>Absence de données des propriétés thermiques et hydrodynamiques du ou des milieux</p> <p>Conditions limites inconnues</p>
3.2. Dispositif Molonari	<p>Rivière connectée</p> <p>Présence d'échanges</p> <p>Bon nivellement.</p> <p>Mesure en continue à haute fréquence</p>	<p>Faible gradient (<0.005) entre la nappe et la rivière</p> <p>Mesures hebdomadaires</p>	<p>Rivière déconnectée</p> <p>Absence d'échange</p> <p>Mauvais nivellement</p> <p>Mesures ponctuelles</p>
4. Infrarouge thermique (IRT)	<p>Bon contraste thermique entre eau souterraine et eau superficielle</p> <p>Cours d'eau sans stratification thermique</p> <p>Acquisition d'images dans le visible</p> <p>Présence de thermomètre de contrôle dans le cours d'eau</p>	<p>Réflexion des radiations environnantes (par ex. nuages, arbres)</p> <p>Variation de la rugosité de l'eau</p>	<p>Très faible contraste thermique entre eaux souterraines et superficielles</p> <p>Stratification thermique du cours d'eau</p> <p>Pas d'image de contrôle dans le visible</p> <p>Pas de thermomètre de contrôle</p>
5. Géochimie	<p>Fort contraste entre les masses d'eau</p> <p>Suivis continus ou fréquents</p>	<p>Suivi insuffisant (peu de mesures et de prélèvements)</p> <p>Faible contraste entre les masses d'eau</p>	<p>Perturbations liées à l'activité biologique</p> <p>Perturbations liées à l'activité humaine</p> <p>Manque de valeurs de référence</p>
6. Végétation aquatique	<p>Forte densité de site (1 tous les 500m)</p>	<p>Proportion importante d'espèces ubiquistes</p>	<p>Hyper-eutrophisation et pollution anthropique</p> <p>Recouvrement végétal très faible</p> <p>Instabilité hydrologique récente (après une crue)</p>
7. Invertébrés souterrains	<p>Faune diversifiée</p> <p>Absence de colmatage</p>	<p>Faune peu diversifiée</p> <p>Espèces ubiquistes</p> <p>Présence de genres à écologie mal connue</p>	<p>Absence régionale de faune stygobie</p> <p>Instabilité hydrologique récente (après une crue)</p>

5.4. Exemples

Exemple d'approche multi-métrique sur la Sèvre-Niortaise

Trois métriques ont été utilisées dans une étude menée sur un méandre de la Sèvre Niortaise : modèle hydrogéologique à base physique (code Marthe) ; végétation aquatique ; analyse SIG ou analyse géomatique des niveaux d'eau. La figure 9 présente une carte où les résultats de ces trois métriques sont superposés :

Modèle hydrogéologique à base physique (code Marthe)

Mailles du modèle représentées par des carrés (flux nappe vers rivière en vert ; flux rivière vers nappe en rouge) ; chaque maille contient un numéro de tronçon.

Végétation aquatique

Points d'échantillonnage représentés par des cercles (probabilité d'apport d'eau souterraine ou ESO mise en évidence par un dégradé de vert ; plus la couleur est foncée plus la probabilité est forte).

Analyse SIG ou analyse géomatique des niveaux d'eau

Tronçons de berge représentés par des segments (flux nappe vers rivière en vert ; flux rivière vers nappe en rouge).

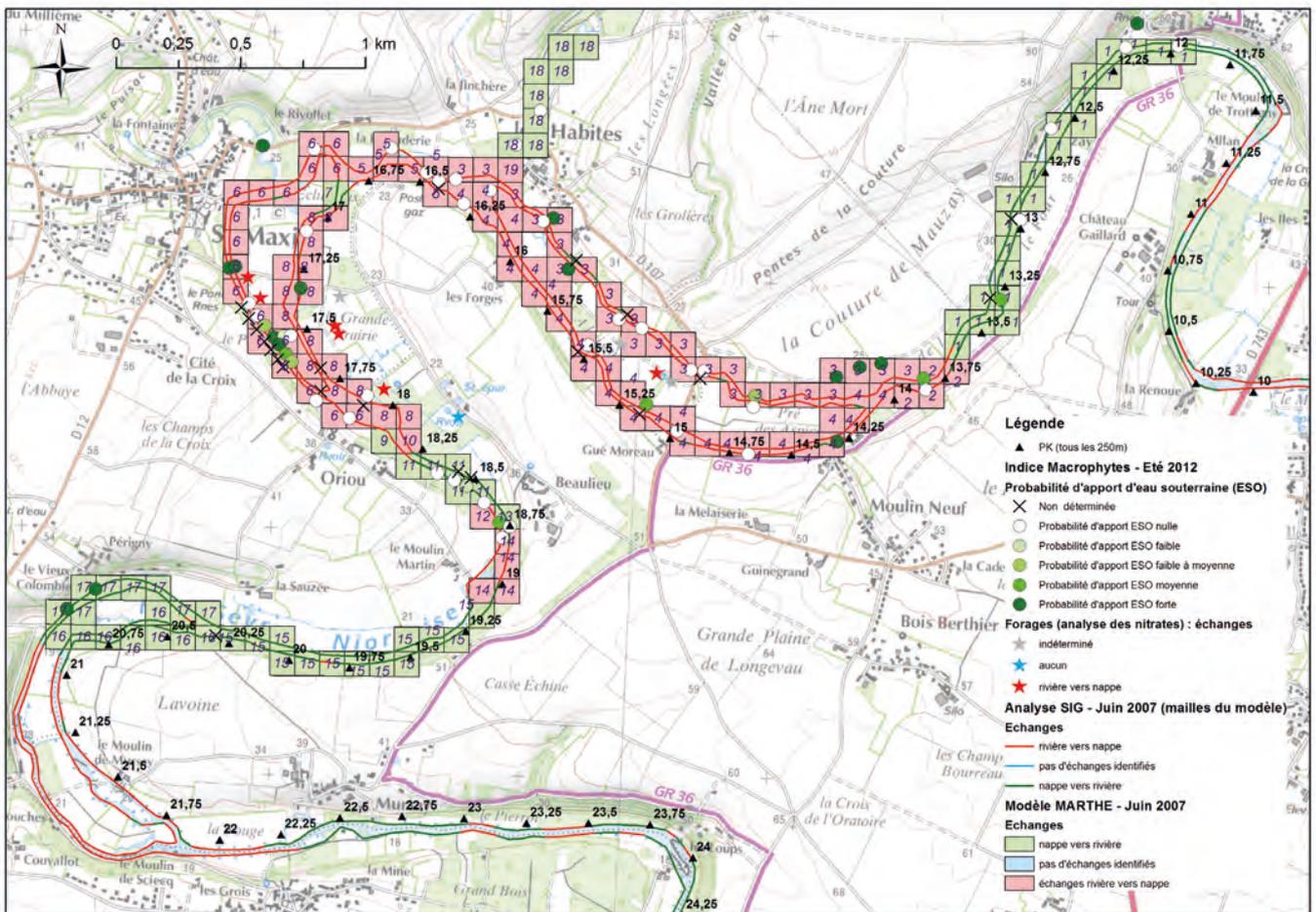


Figure 9. Carte de superposition des résultats de trois diagnostics sur la Sèvre-Niortaise (Fond Scan 25 IGN).

La figure 10 présente la synthèse multi-métrique des diagnostics des échanges nappe/Sèvre-Niortaise avec en ligne les PK et en colonne le diagnostic tiré des différentes métriques.

Les résultats sont donnés pour le bras extérieur de la Sèvre-niortaise (à droite dans le sens du flux) et pour le bras intérieur (à gauche). Lorsque les métriques discriminent rive gauche et rive droite les résultats sont détaillés pour chacune d'entre elles. D'une manière générale, les apports de nappe à la rivière sont codés en vert et les apports de rivière à la nappe en rouge.

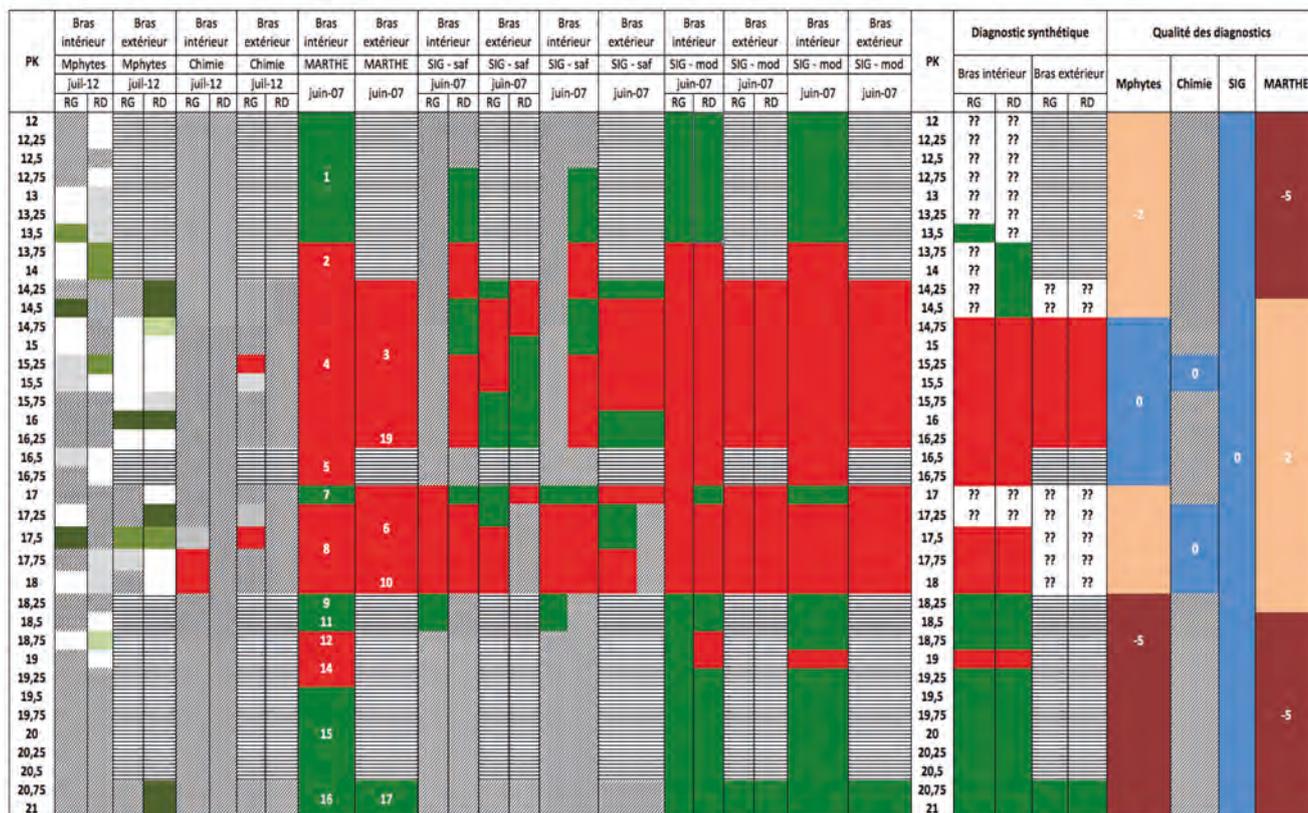


Figure 10. Synthèse croisée des échanges nappe/Sèvre-Niortaise.

Colonne 1 (Mphytes)

Probabilité d'apport d'eau souterraine d'après les macrophytes, rive gauche et rive droite.

Colonne 2 (Chimie)

Diagnostic d'après la chimie des eaux souterraines (rive gauche et rive droite).

Colonne 3 (modélisation hydrogéologique Marthe)

Caractérisation des échanges avec le modèle Marthe (bras extérieur et intérieur seulement). La numérotation correspond aux 18 tronçons homogènes inventoriés.

Colonne 4 (SIG-saf)

Caractérisation des échanges avec l'analyse SIG à partir de données de modèle dégradées (rive gauche et rive droite).

Colonne 5 (SIG-saf)

Caractérisation des échanges avec l'analyse SIG à partir de données de modèle dégradées (agrégation des résultats par maille du modèle Marthe).

Colonne 6 (SIG-mod)

Caractérisation des échanges avec l'analyse SIG à partir de données issues du modèle Marthe (rive gauche et rive droite).

Colonne 7 (SIG-mod)

Caractérisation des échanges avec l'analyse SIG à partir de données issues du modèle Marthe (agrégation des résultats par maille du modèle Marthe).

Colonne 8 (Diagnostic synthétique)

Colonne 9 (Qualité des diagnostics)

Code couleur en cohérence avec le tableau 7 p. 36.

Générale	
[Hatched]	1 seul bras de rivière
[Grey]	Pas de mesures ou de données
Macrophytes	
[White]	Non Indéterminée
[Light Green]	Probabilité apport nappe nulle
[Light Green]	Probabilité apport nappe faible
[Light Green]	Probabilité apport nappe faible à moyenne
[Light Green]	Probabilité apport nappe moyenne
[Light Green]	Probabilité apport nappe forte
Marthe et SIG	
[Red]	Rivière vers nappe
[Green]	Nappe vers rivière
Diagnostic synthétique	
[White]	?? Forte incertitude
[Red]	Rivière vers nappe
[Green]	Nappe vers rivière
Qualité du diagnostic	
[Blue]	Bonne évaluation
[Orange]	Incertain
[Red]	Douteux

Du point de vue du sens des échanges, on observe une bonne convergence des résultats issus de l'analyse SIG et du modèle Marthe. Ceci n'est pas étonnant car l'analyse SIG a été réalisée à partir d'une piézométrie modélisée. Toutefois, ceci montre que l'analyse SIG est fiable pour diagnostiquer le sens des échanges à partir d'une piézométrie donnée. Cela dit, le test avec des données dégradées montre que la méthode est sensible à la densité des piézomètres suivis.

Exemple de diagnostic synthétique sur le Rhône à Donzère-Mondragon

Les échanges nappe/rivière sur le secteur de Donzère-Mondragon Rhône/Ardèche sont illustrés (figure 11) et expliqués page 40.

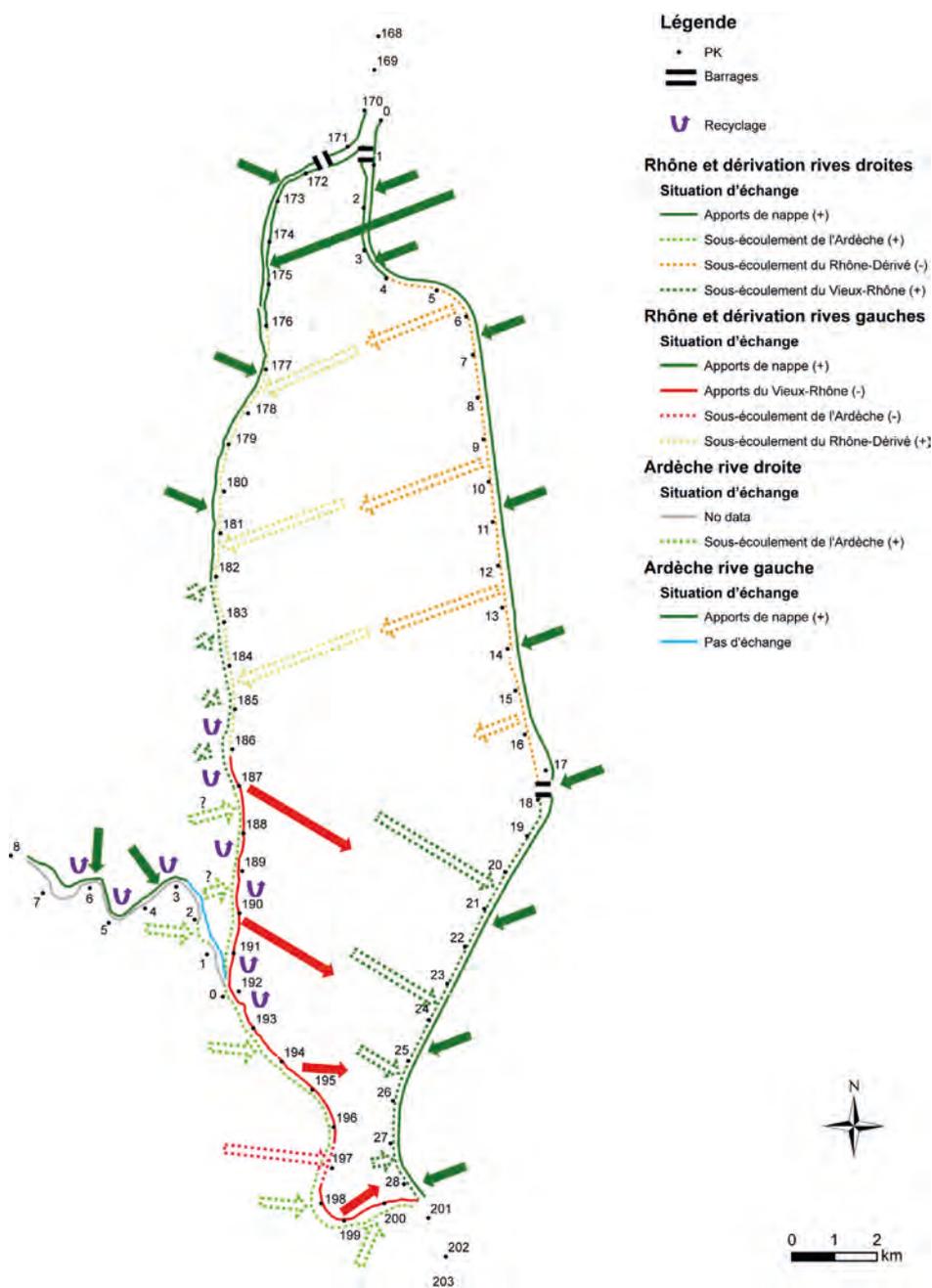


Figure 11. Carte de synthèse des échanges nappes/Rhône à Donzère-Mondragon.

Les échanges nappe/rivière sont caractérisés de la façon suivante :

- ✓ Ardèche rive droite. PK 8 à 3, apports de nappe à l'Ardèche et recyclage PK 6 à 3 ; PK 3 à 0, pas d'échange (diagnostic entaché d'incertitude) ;
- ✓ Ardèche rive gauche. PK 2 à 1, sous-écoulement de l'Ardèche à travers la plaine vers l'Ardèche ;
- ✓ Vieux-Rhône rive droite. PK 170 à 182, apport de nappe aux Vieux-Rhône ; PK 182 à 187, sous-écoulement du Vieux-Rhône (diagnostic entaché d'incertitude) et recyclage PK 186 à 189 ; PK 187 à 201, sous-écoulement de l'Ardèche à travers la plaine vers le Vieux-Rhône ;
- ✓ Vieux-Rhône rive gauche. PK 170 à 176, apports de nappe du versant drômois (passant sous le canal de dérivation/amenée) au Vieux-Rhône ; PK 176 à 186, sous-écoulement du Rhône (canal de dérivation/amenée) à travers la plaine vers le Vieux-Rhône ; PK 186 à 201, apports du Vieux-Rhône à la nappe ; PK 189 à 193, recyclage ; PK 197, apports possible du sous-écoulement de l'Ardèche (passant sous le Vieux-Rhône) à la nappe ;
- ✓ Canal de dérivation rive gauche. PK 0 à 4, apports de nappe du versant drômois (passant sous le canal de dérivation/amenée) au contre-canal ; PK 4 à 17, apports du contre-canal à la nappe ; PK 17 à 28, apports de la nappe au canal de dérivation/fuite ;
- ✓ Canal de dérivation rive droite. PK 0 à 28, apports de nappe au contre-canal.

5.5. Pour aller plus loin

Guide Nappes/Rhône : p. 65 (Chapitre 5) et p. 109 (Annexe 6)

Rapport final Naprom : p. 27 (3. Approche multi-site), p. 52 (4. Résultats), p. 166 (5.4.3. Protocole de comparaison des métriques)