Tables des illustrations

Tableaux

Tableau 1 : *Présentation synthétique des outils* (Légende et explication : voir partie C, chapitre introductif) 10
Tableau 2 : *Code couleur des principales configurations de la typologie des échanges nappe/rivière*.....23
Tableau 3 : *Grille synthétique - configurations d'échanges prises en compte par les outils*.....28
Tableau 4 : *Éléments fondamentaux caractéristiques des différentes méthodes* 31
Tableau 5 : *Prise en compte des échanges nappe/rivière par chacun des outils* 32
Tableau 6 : *Points forts et points faibles des outils* 33
Tableau 7 : *Incertitudes par outil sur le diagnostic des échanges nappe/rivière : exemples*.....36
Tableau 8 : *Symboles utilisés dans le bandeau synthétique de description de chacune des méthodes* 44
Tableau 9 : *Mise en œuvre : coûts hommes/jours pour l'analyse géomatique des niveaux d'eau*.....51
Tableau 10 : *Mise en œuvre : coûts hommes/jours pour la modélisation hydrodynamique*.....56
Tableau 11 : *Gammes de valeurs attribuées aux paramètres de calage sur Échiré (Chatelier, 2014)*.....57
Tableau 12 : *Pourcentage du linéaire de fleuve affecté par des échanges de la nappe vers la rivière (drainage) ou des échanges de la rivière vers la nappe (soutien de nappe)* 60
Tableau 13 : *Mise en œuvre : coûts hommes/jours pour les dispositifs Molonari* 68
Tableau 14 : *Mise en œuvre : coûts hommes/jours pour les images thermiques infrarouges (IRT)*. 73
Tableau 15 : *Mise en œuvre : coûts hommes/jours pour la géochimie*.....82
Tableau 16 : *Mise en œuvre : coûts hommes/jours pour la méthode fondée sur la végétation aquatique*.....85
Tableau 17 : *Les indices de la méthode Braun-Blanquet (1932)* 85
Tableau 18 : *Mise en œuvre : coûts hommes/jours pour la méthode fondée sur les invertébrés souterrains*.....94

Figures

Figure 1 : *Clefs de lecture du guide* 8
Figure 2 : *Apport de la nappe au cours d'eau (ou à des eaux superficielles)* 24
Figure 3 : *Apport du cours d'eau (ou d'eaux superficielles) à la nappe* 25
Figure 4 : *Pas d'échange diagnostiqué entre la nappe et la rivière* 25
Figure 5 : *Colmatage physique ou biologique entre la nappe et la rivière* 26
Figure 6 : *Circulations plus complexes du cheminement de l'eau* 26
Figure 7 : *Recyclage d'eau superficielle dans le cours d'eau par exfiltration/infiltration ou échanges hyporhéiques* ...27
Figure 8 : *Cas particuliers : incision du lit de la rivière et déconnexion de l'aquifère* 27
Figure 9 : *Carte de superposition des résultats de trois diagnostics sur la Sèvre-Niortaise (Fond Scan 25 IGN)* 37
Figure 10 : *Synthèse croisée des échanges nappe/Sèvre-Niortaise* 38
Figure 11 : *Carte de synthèse des échanges nappes/Rhône à Donzère-Mondragon* 39
Figure 12 : *Principe de caractérisation des échanges avec l'analyse géomatique*.....48
Figure 13 : *Tin (Réseau de triangles irréguliers) représentant le modelé du toit de la nappe alluviale de la plaine du Rhin. Ce Tin est construit à partir des niveaux de nappe issus d'un modèle maillé (Plate-forme Eau-Dyssée)*.....49

Figure 14 : *Caractérisation des échanges nappe/Sèvre-Niortaise par analyse géomatique des niveaux d'eau. L'écoulement de la rivière se fait d'est en ouest*....51
Figure 15 : *Géométrie d'un tronçon de rivière (Chatelier et Thiéry, 2011), l'ensemble du lit est ici considéré comme une seule entité semi-perméable*....54
Figure 16 : *Différentes configurations d'échanges nappe/rivière (Chatelier et Thiéry, 2011). a : QPercol ; b : et c : QEch ; d : QDébo* 55
Figure 17 : *Les étapes essentielles de la modélisation* 56
Figure 18 : *Année 2006 - Débits d'échange simulés par tronçon ; a : hautes eaux et b : basses eaux. Un tronçon intègre l'ensemble du débit simulé au sein d'une maille de 100 m de côté (Chatelier, 2014)*....59
Figure 19 : *Exemple de résultats obtenus le long du Rhin dans le fossé rhénan* 61
Figure 20 : *Exemple de maillage du modèle hydro-thermique 2D vertical à 3 couches. Station Molonari (Mouhri* et al. *2013*)....66
Figure 21 : *Carte des échanges nappe/rivière à l'échelle du bassin des Avenelles, obtenue par extrapolation des estimations des débits échangés à l'échelle des sections Molonari : l'exfiltration est dominante sur les tronçons rouges et l'infiltration sur les tronçons bleus (Mouhri* et al. *2014a, b)* 69
Figure 22 : *Infrarouge (IR) et régions spectrales adjacentes. L'infrarouge thermique (IRT entre 0,8-14 µm) est composé de l'IR proche (SW shortwave), moyen (MW mid-wave) et lointain (LW long-wave) (Vollmer et Möllmann, 2010)* 72
Figure 23 : *Anomalies thermiques estivales sur l'Ain : bras mort froid ; a : et résurgence latérale ; b : Le fond est une orthophoto de 2012 (© IGN BD Ortho® in Wawrzyniak (2015))* 74
Figure 24 : *Courbes d'isovaleurs de la composition isotopique de l'oxygène (δ ^{18}O) annuelle moyenne des précipitations en France (Millot* et al. *2010)* 80
Figure 25 : *Composition isotopique de l'oxygène de l'eau de surface du Rhône, des eaux de la zone hyporhéique à 50 cm de profondeur dans les sédiments, et de la nappe phréatique. Haut-Rhône, secteur de Brégnier-Cordon ; a : secteur dans lequel la zone hyporhéique (Z. Interstitielle), de composition voisine de celle de la nappe, est alimentée majoritairement (> 70%) par la nappe ; b : secteur dans lequel la zone hyporhéique, de composition voisine de celle du Rhône, est alimentée majoritairement par le fleuve* 81
Figure 26 : *Schéma de principe du diagnostic fondé sur la végétation aquatique*....84
Figure 27 : *Mentha aquatica in Montégut (1993)* 86
Figure 28 : *Potamogeton coloratus in Montégut (1993)* 86
Figure 29 : *Estimation de l'intensité des apports phréatiques aux milieux aquatiques du Rhône dans le secteur de Donzère-Mondragon*....87
Figure 30 : *Localisation des zones de remontée potentielle d'eau souterraine vers la surface en aval de seuil et en aval de banc (© P. Marmonier)* 90
Figure 31 : *Bilan des échanges nappe/rivières sur la plaine alluviale du Rhin pour la métrique invertébrés ; a : secteur amont de l'Ille et b : secteur du Rhin court-circuité (© C. Piscart)* 93

Photos

Photo 1 : *GPS monté sur canoë (© J. Jolivet)* 49
Photo 2 : *Mesure GPS sur trépied (© H. Chapuis)* 49
Photo 3 : *Dispositif Molonari sur un petit cours d'eau du bassin versant de l'Orgeval (© F. Paran)*....66
Photo 4 : *Dispositif Molonari sur une rivière plus large du bassin versant de l'Orgeval (© N. Flipo)*....66
Photo 5 : *Sonde de pression/température sur son socle pour extraction de données (© F. Paran*) 66
Photo 6 : *Sonde hyporhéique à quatre capteurs verticaux de température (© N. Flipo)* 70
Photo 7 : *Sonde hyporhéique à quatre capteurs verticaux de température connectés à leur datalogger (© N. Flipo)* ...70
Photos 8 : *Trois des vecteurs aéroportés utilisés ; a : le drone Drelio ; b : l'hélicoptère Robinson R22 et c : le para-moteur* (© plateforme ISIG) 73
Photo 9 : *a : Caméras IRT VarioCAM® hr head et b : hr research (© Infratec)*....73

Photo 10 : *Exemple d'invertébré souterrain : Niphargus rhenorhodanensis (© Université Lyon 1, E3S)* 89
Photo 11 : *Exemple d'invertébré souterrain : Proasellus cavaticus (© Université Lyon 1, E3S)*.....89
Photo 12 : *Filets de type Cvetkov nécessaires pour un échantillonnage complémentaire de faune dans des puits dont la profondeur totale (>17m) ou le niveau piézométrique (>8m) ne permettent pas l'utilisation d'une pompe manuelle (© C. Piscart)* 91
Photo 13 : *Équipement nécessaire pour un pompage à l'aide de la méthode Bou-Rouch ; a : sonde en acier avec crépine ; b : pompe à piston placée sur la sonde ; c : tête de frapper ; d : masse (© P. Marmonier & C. Piscart)* 91