



Une école de l'IMT



Webinaire "Échanges nappe/rivière"

Colmar - APRONA

Mardi 8 décembre 2020

AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT



Présentation du guide
méthodologique « Caractérisation
des échanges nappes/rivières en
milieu alluvionnaire »

Frédéric Paron

frederic.paron@mines-stetienne.fr



Contenu

Plan

- (1) Interface ESO/ESU : zone critique, DCE, services/fonctions hydro
- (2) Développement méthodologique et transfert de connaissance :
 - *guide méthodologique nappe/Rhône*
 - *guide technique Naprom*
- (3) Exemple d'outil : méthode géomatique d'analyse des niveaux d'eau
- (4) Perspectives : vers d'autres guides
- (5) Annexes :
 - *auteurs et contributeurs*
 - *mode de construction des guides nappes/Rhône et Naprom*
 - *références bibliographiques*

Contexte

Zone critique / DCE / Fonctions-Services hydro

Zone critique

- (1) Instrumentation et monitoring
- (2) Compréhension et description du fonctionnement
- (3) Calcul de flux et de bilans
- (4) Mise en œuvre d'indicateurs
- (5) Développement méthodologique
- (6) Transfert de connaissance du monde de la recherche vers celui des acteurs de l'eau

Source : Observatoires de la Zone Critique Applications et Recherches (OZCAR, 2017)

DCE

- (1) Connaissance
- (2) Évaluation du bon état des masses d'eau souterraines
- (3) Dimensionnement et suivi des opérations de restauration
- (4) Milieux humides dépendants des eaux souterraines :
 - identification/typologie
 - risque/dégradation
 - surveillance
 - indicateurs pluridisciplinaires

Source : AFB (2017) ; Guide Naprom (2017)

Fonctions-Services

- (1) Fonctions biogéochimiques (autoépuration, stockage de carbone...)
- (2) Fonctions écologiques (biodiversité, corridor...)
- (3) Fonctions hydrologiques (stockage, transfère, régulation, soutien d'étiage...)
- (4) Services : variables clefs pour un modèle économique

Sources : projet ZHTB phase 1 (2017) ; SNO Tourbière (2017) Gayet et al. (2016)

Interface eau souterraine/eau superficielle

Contexte

Cadre de travail

- ❖ *Approche scientifique* : développement méthodologique
 - ❖ *Approche opérationnelle* : outil, transfert de connaissance
-
- ❖ *Interdisciplinarité* : hydrologie, hydrogéologie, géologie, géophysique, géochimie, pédologie, imagerie, écologie souterraine, écologie végétale, modélisation, géomatique...
 - ❖ *Validation et co-construction* : relecteurs, groupes de travail...

Guide nappe/Rhône

Eau et connaissance - 2015

Un guide « somme »

Fondements

Apports et acquis du projet « Échanges Nappes-Rhône »

<http://www.graie.org/zabr/projetstrans/index.htm>

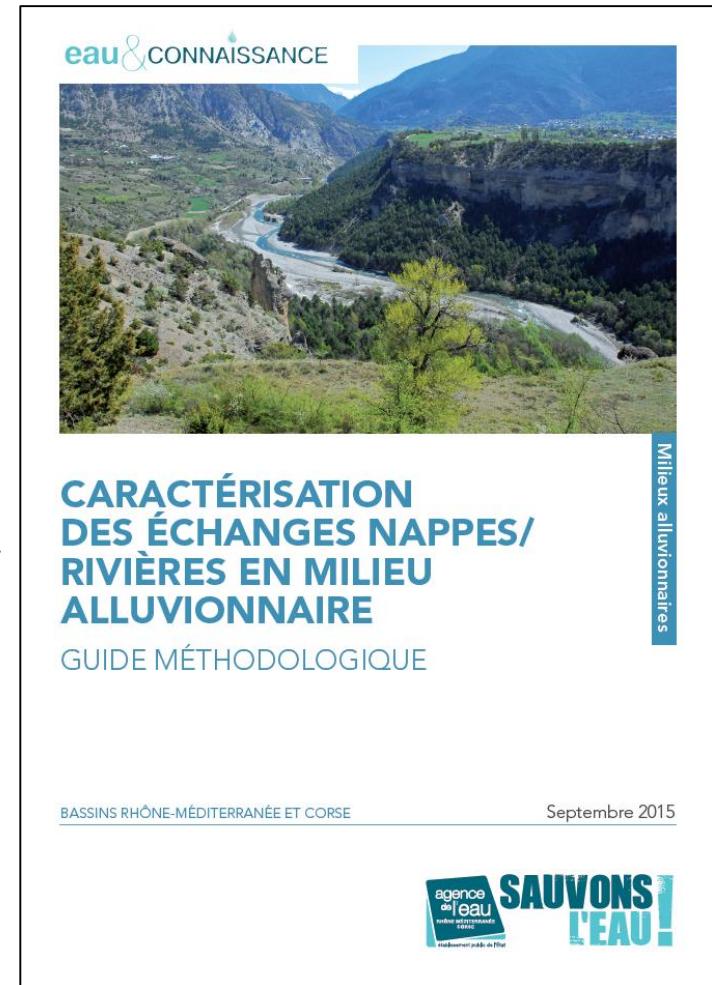
Concept et objectif du guide

Quels sont les outils les plus adaptés sur les milieux alluvionnaires pour caractériser les échanges nappe-rivière ?

Comment procéder et quelle est la marche à suivre pour caractériser les échanges nappe-rivière ?

Destination du guide – « acteurs » de l'eau

SAGE, Contrats de milieux, Agences de l'Eau, AFB (ONEMA), Administrations, Collectivités, Syndicats mixtes, Bureaux d'études...



Guide nappe/Rhône

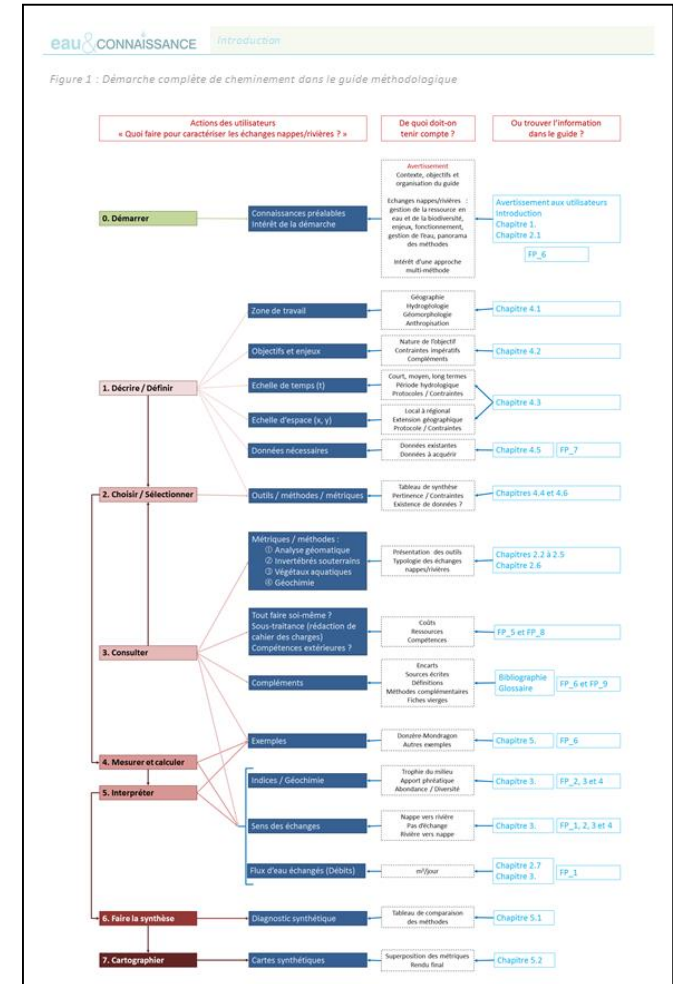
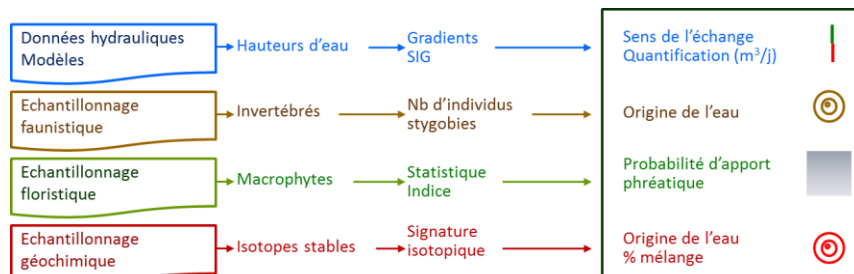
Contenu et organisation

Choix de la méthode selon :

- zone de travail
- objectifs / enjeux / moyens
- échelle spatio-temporelle pertinente
- existence ou non de données appropriées

Interprétation des résultats :

- par méthode
- tableau de synthèse comparatif
- cartographie des résultats



Guide technique Naprom

Guides et protocoles - 2017

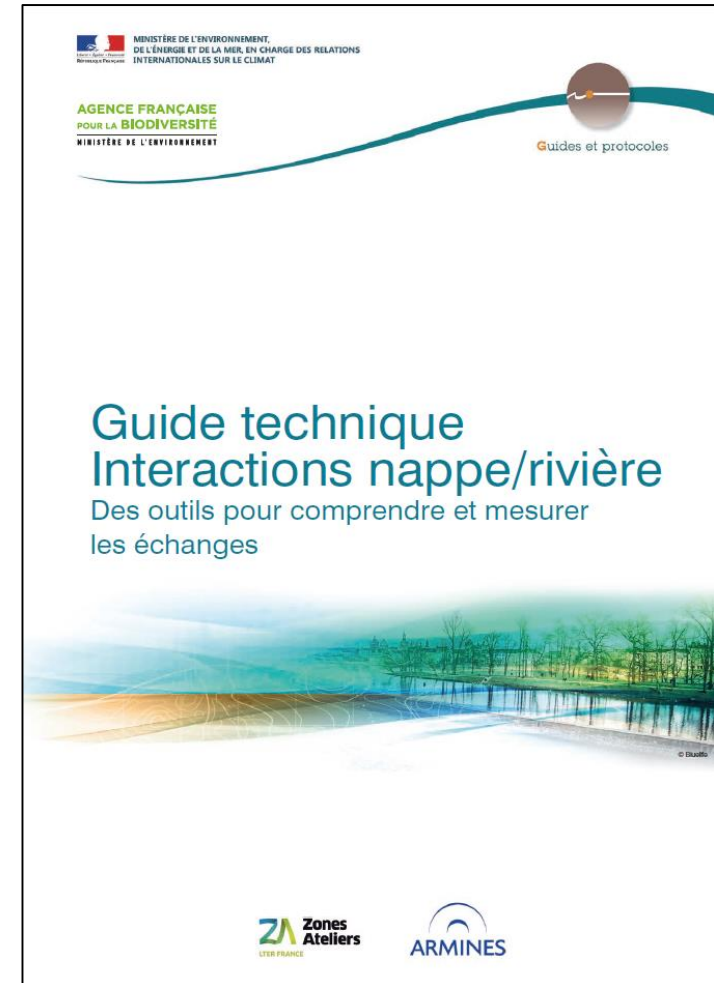
Un guide « light »

Fondements :

- valoriser les projets « Nappes-Rhône » et NAPROM
- mettre à profit l'expérience du guide méthodologique
- aller plus loin dans le travail avec les acteurs de l'eau

Concept et objectif du guide :

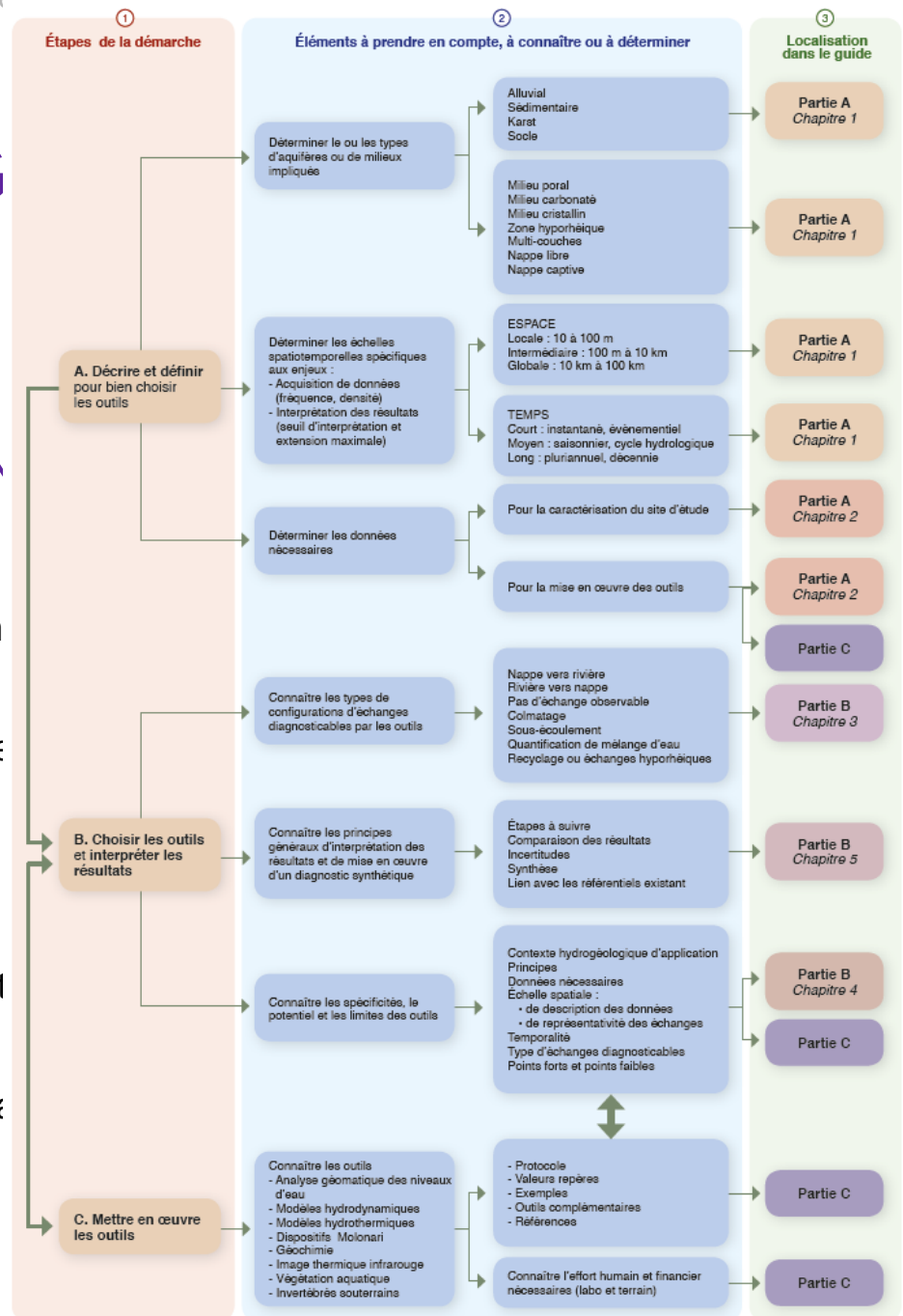
- proposer une aide à la caractérisation et au choix des sites
- intégrer de nouveaux outils dans la démarche
- étendre le champ d'utilisation du guide au domaine sédimentaire et la typologie des configuration d'échanges
- proposer un format plus léger avec une information plus facilement et plus rapidement accessible



Contenu et organisation

Apports et compléments du projet

- ❖ *Fleuve Rhône – Donzère-Mondragon (ZABR)*
Aquifère alluvial libre à semi-captif (>10m) – Amén
- ❖ *Plaine Forez – Fleuve Loire (PLGN3)*
Aquifère alluvial libre (<10m) – Incision du lit du fle
- ❖ *Orgeval – Bassin de la Seine*
Aquifère multi-couche – Petits cours d'eau
- ❖ *Plaine de l'Il – Bassin du Rhin*
Aquifère très épais (max : 250m) – Vaste zone d'él
- ❖ *Sèvre-Niortaise – fleuve côtier*
Aquifère multi-couche – Champ captant – Fort méx



Guide technique Naprom

Contenu et organisation

Partie A : Définir et décrire pour bien choisir les outils

Chapitre 1 - Enjeux, échelles de travail et types d'aquifères

Chapitre 2 - Données et caractérisation des sites d'étude

Partie B : Choisir les outils et interpréter

Chapitre 3 - Typologie des échanges nappe/rivière

Chapitre 4 - Outils : méthodes de diagnostic

Chapitre 5 - Diagnostic synthétique

Apport de la nappe à la rivière (ou à des eaux superficielles)

Outils

Apport latéral principalement ①

Analyse géomatique des niveaux d'eau

Apport latéral et apport de fond non-distingués ① et ②

Modèles hydrodynamiques distribués à base physique (Marthe, Eau-Dyssée)

Géochimie

Végétation aquatique

Invertébrés souterrains

Apport latéral et apport de fond distingués ① et/ou ②

Modèles hydrothermiques à base physique et dispositifs de mesure de

température et d'écoulements d'eau (Metis et Molonari)

IRT

Enjeux de gestion

Apports de nappe aux chenaux actifs d'un cours d'eau

Soutien du débit d'étiage

Tamponnage thermique et maintien d'une faune et d'une flore d'eau froide

En cas de pollution des nappes, risque de dégradation de la qualité des eaux superficielles

En cas de surexploitation de la nappe, risque d'assèchement sévère, de réchauffement des cours d'eau

Apports de nappe aux zones humides associées à un cours d'eau

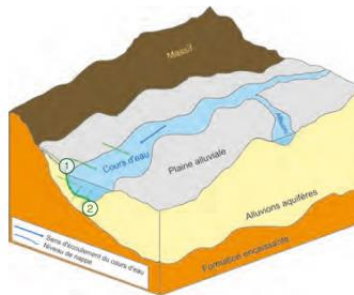
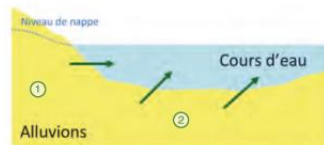
Maintien des zones humides lors d'assèchements estivaux prolongés

Maintien d'une faune et d'une flore d'eau froide à forte valeur patrimoniale (tamponnage thermique, limitation désoxygénation, maintien oligotrophie)

En cas de pollution des nappes, risque de dégradation de la qualité de la zone humide

En cas de surexploitation de la nappe, risque d'eutrophisation et de bloom algaux de la zone humide

① apport latéral
② apport par le fond



Partie C : Mettre en œuvre les outils

Introduction - Organisation et contenu des fiches outils

Fiche 1 - Analyse géomatique des niveaux d'eau

Fiche 2 - Modèles hydrodynamiques distribués (base physique)

Fiche 3 - Modèles hydrothermiques et dispositifs Molonari

Fiche 4 - Image thermique infrarouge (IRT)

Fiche 5 - Géochimie

Fiche 6 - Végétation aquatique

Fiche 7 - Invertébrés souterrains

Fiche 8 - Autres méthodes, autres modèles

Outils n°	Configurations d'échanges											
	Nappe → rivière		Rivière → nappe		Absence d'échange	Colmatage		Indicateurs du cheminement de l'eau				Cas particuliers
	Latéral	Fond	Latéral	Fond		Physique	Biologique	Sous-écoulement		Recyclage ou échanges hyporhéiques	Mélange	Nappe déconnectée ou surélevée
1. Analyse géomatique des niveaux d'eau	O	N	O	N	O	N	N	N	N	N	N	N
2. Modélisation hydrodynamique...	O* mais non distingués		O* mais non distingués		O	N	N	O* si maillage adapté		N	N	O
3.1. Modélisation hydrothermique...	O	O	O	O	O	N	N	O	N	N	N	O
3.2. Dispositif Molonari	O	O	O	O	O	O	N	N	O	O* si plusieurs Molonari sur le même tronçon		O* si couplage avec modèle
4. Infrarouge thermique (IRT)	O	O	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
5. Géochimie	O* mais non distingués		O* mais non distingués		O	O	N	O	O	N	O	O
6. Végétation aquatique	O* mais non distingués		N	N	O	O* pour les ZH alluvionnaires		N	O	O	N	N
7. Invertébrés souterrains	O* mais non distingués		O* mais non distingués		N	O	O	O	O	O	N	O

Guide technique Naprom

Fiche outil – ex : *Invertébrés souterrains*

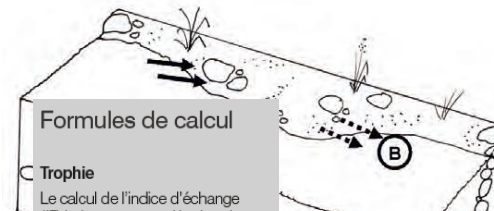
Organisation des fiches outils

Bandeau synthétique :

- contexte hydrogéologique
- échelles de temps et d'espace
- données nécessaires et coûts

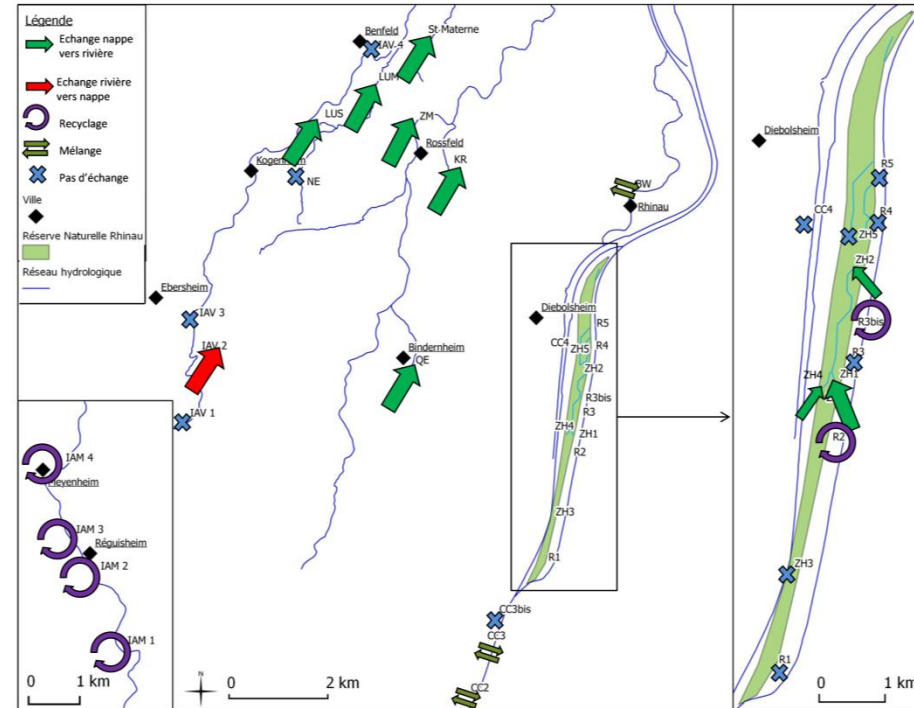
Descriptif :

- principe / protocole / aide à l'interprétation
- valeurs guides et repères / exemples
- points forts / points faibles, conditions d'utilisation et prérequis / données et informations nécessaires / méthodes complémentaires
- références bibliographiques / contacts



L'essentiel du protocole

1. Choisir le point d'échantillonnage en bordure du cours d'eau
2. Planter le piézomètre mobile à l'aide de la tête de frappe et



où l'abondance totale est faible ou nulle et où l'eau est chargée en ions dissous et hypoxique correspond à un secteur aux sédiments colmatés.

la biodiversité/Amines - Guide technique Interaction nappe

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.

Guide technique Naprom

Symboles pour décrire rapidement les outils

Contexte hydrogéologique	Échelle d'espace			Échelle de temps		Informations nécessaires	Coûts (€)		Coûts (temps)	
	Description des données	Seuil d'interprétation	Aire d'interprétation	Pas de temps Résultats	Pas de temps Données		Terrain	Bureau Labo	Terrain	Bureau Labo
 Nappes libres										
 Zone hyporhéique										
 Aquifères multi-couches										
 Milieux carbonatés										

Contexte hydrogéologique	Échelle d'espace			Échelle de temps		Niveau informations nécessaires	Coûts (€)		Coûts (temps)	
	Description des données	Seuil d'interprétation	Aire d'interprétation	Pas de temps Résultats	Pas de temps Données		Terrain	Bureau Labo	Terrain	Bureau Labo
 Nappes libres										

Contexte hydrogéologique	Échelle d'espace			Échelle de temps		Niveau informations nécessaires	Coûts (€)		Coûts (temps)	
	Description des données	Seuil d'interprétation	Aire d'interprétation	Pas de temps Résultats	Pas de temps Données		Terrain	Bureau Labo	Terrain	Bureau Labo
 Nappes libres et captives Aquifères multi-couches										

Contexte hydrogéologique	Échelle d'espace			Échelle de temps		Niveau informations nécessaires	Coûts (€)		Coûts (temps)	
	Description des données	Seuil d'interprétation	Aire d'interprétation	Pas de temps Résultats	Pas de temps Données		Terrain	Bureau Labo	Terrain	Bureau Labo
 Nappes libres Zone hyporhéique Milieux carbonatés										

Fiches outils : Bandeau descriptif et symboles

Restitutions

Séminaires : présentations orales et ateliers

Séminaire nappe/Rhône

Septembre 2014 – Graie-Zabr – Île de la Platière
Environ 100 participants

- + retour positif des participants
- + fort intérêt pour :
 - . l'approche pluridisciplinaire
 - . le socle de connaissance
 - . la description des outils
 - . la restauration de rivières et des zones humides

Synthèse de la journée disponible en suivant ce lien :

http://www.graie.org/zabr/zabrdoc/actualites/Actes_EauSout_sept14.pdf

Séminaire Naprom

Novembre 2015 – BRGM – Orléans la Source
Environ 60 participants

- + connaître et comprendre les échanges nappes/rivières
- + connaître et comprendre les méthodes et outils de caractérisation
- + connaître l'impact d'aménagements ou de la suppression d'aménagements
- Manque d'information : méthodes, logiciels, exemples

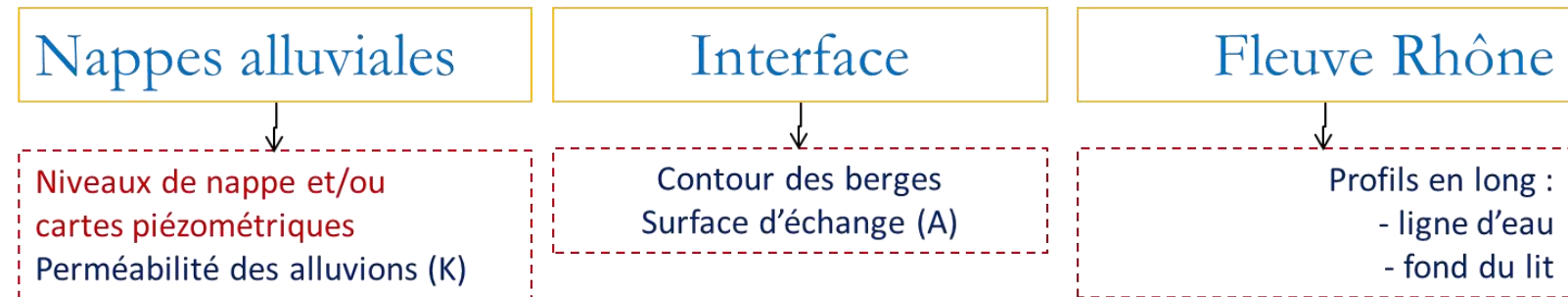
Synthèse de la journée disponible en suivant ce lien :

<http://www.onema.fr/Guide-Interactions-nappe-riviere>

Analyse géomatique

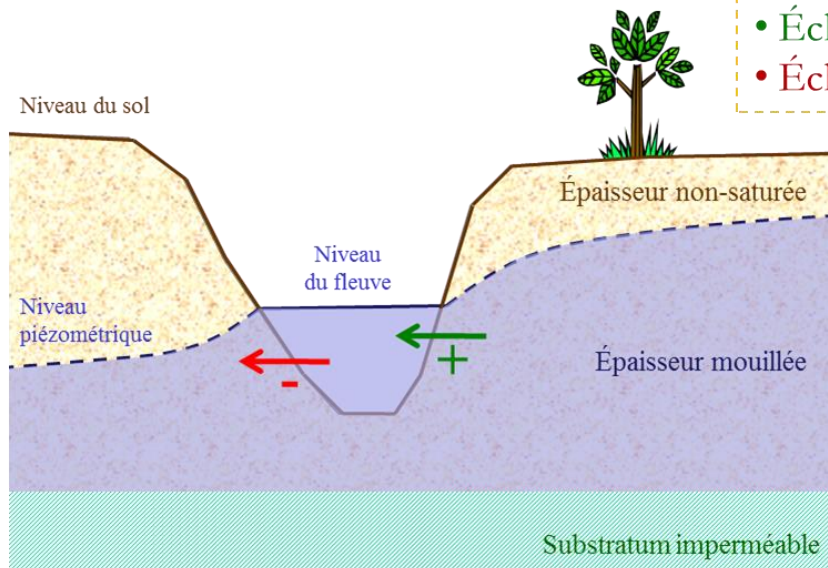
Principes

Une méthode uniquement destinée aux milieux poreux (ex : alluvions, sédiments)



Convention :

- Échanges nappe vers fleuve : +
- Échange fleuve vers nappe : -



Loi de Darcy $Q = K.A.i$

Q : débit en m³/s

K : perméabilité en m/s

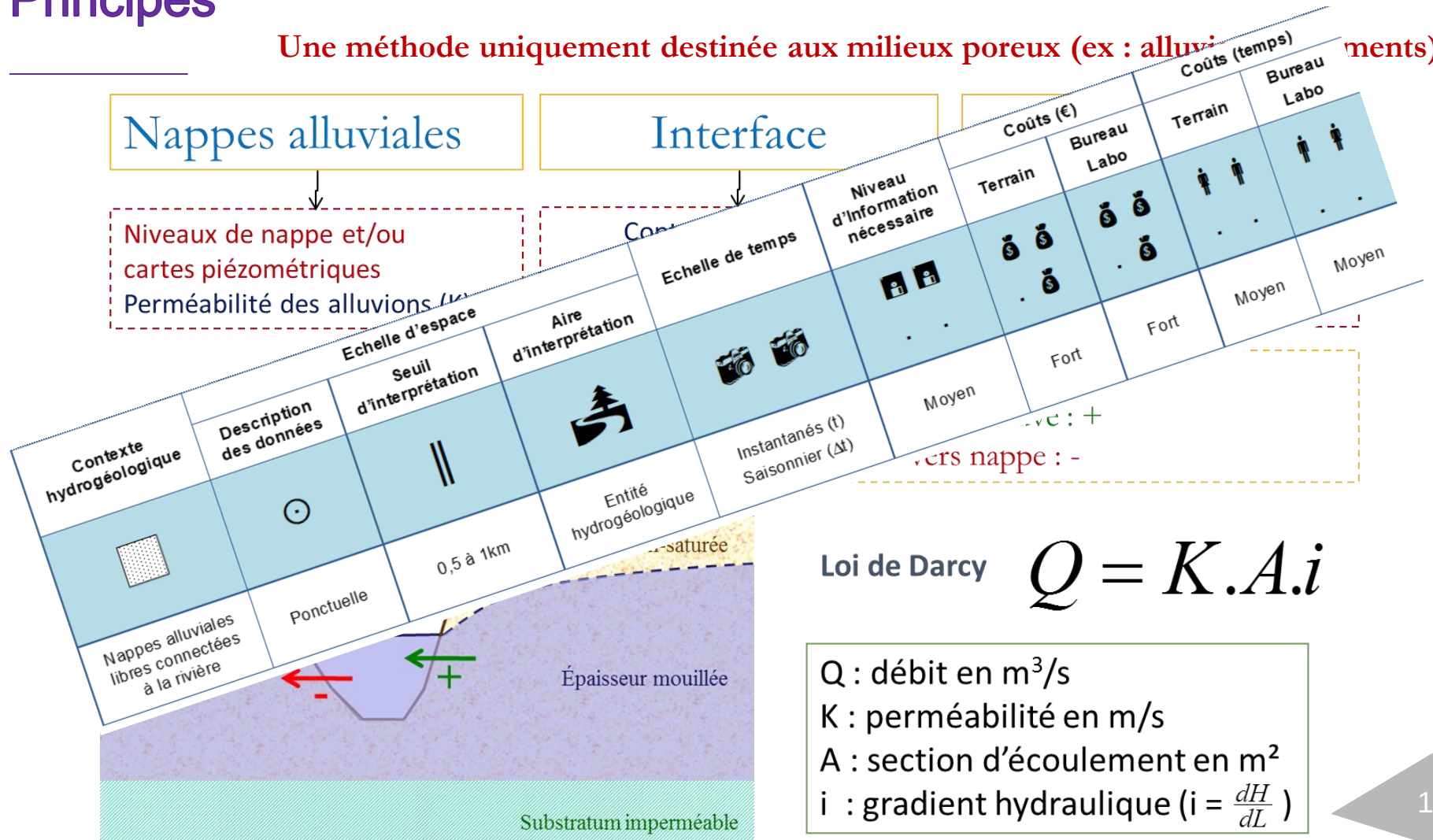
A : section d'écoulement en m²

i : gradient hydraulique ($i = \frac{dH}{dL}$)

Analyse géomatique

Principes

Une méthode uniquement destinée aux milieux poreux (ex : alluvions)



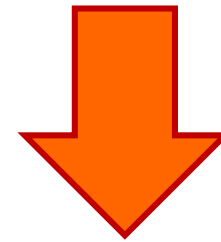
Analyse géomatique

Intérêt d'un modèle simplifié

- ❖ **Nombreuses données, mais :**
 - fragmentées et hétérogènes
 - éparses, lacunaires, parfois anciennes
 - empreintes d'incertitudes, asynchrones
 - de sources variées
- ❖ **+ Nombreuses influences humaines :**
 - centrales nucléaires ;
 - barrages hydroélectriques / réservoirs
 - écluses
 - canaux de dérivation, contre-canaux, canaux
 - digues, épis Girardon, seuils
 - pompages, rejets
 - urbanisation
- ❖ **Utilisation des modèles contraignantes :**
 - très couteux en temps de travail
 - très gourmands en données

Nous avons donc mis en œuvre
une méthode :

- simple
- peu couteuse
- reproductible
- adaptées aux contraintes

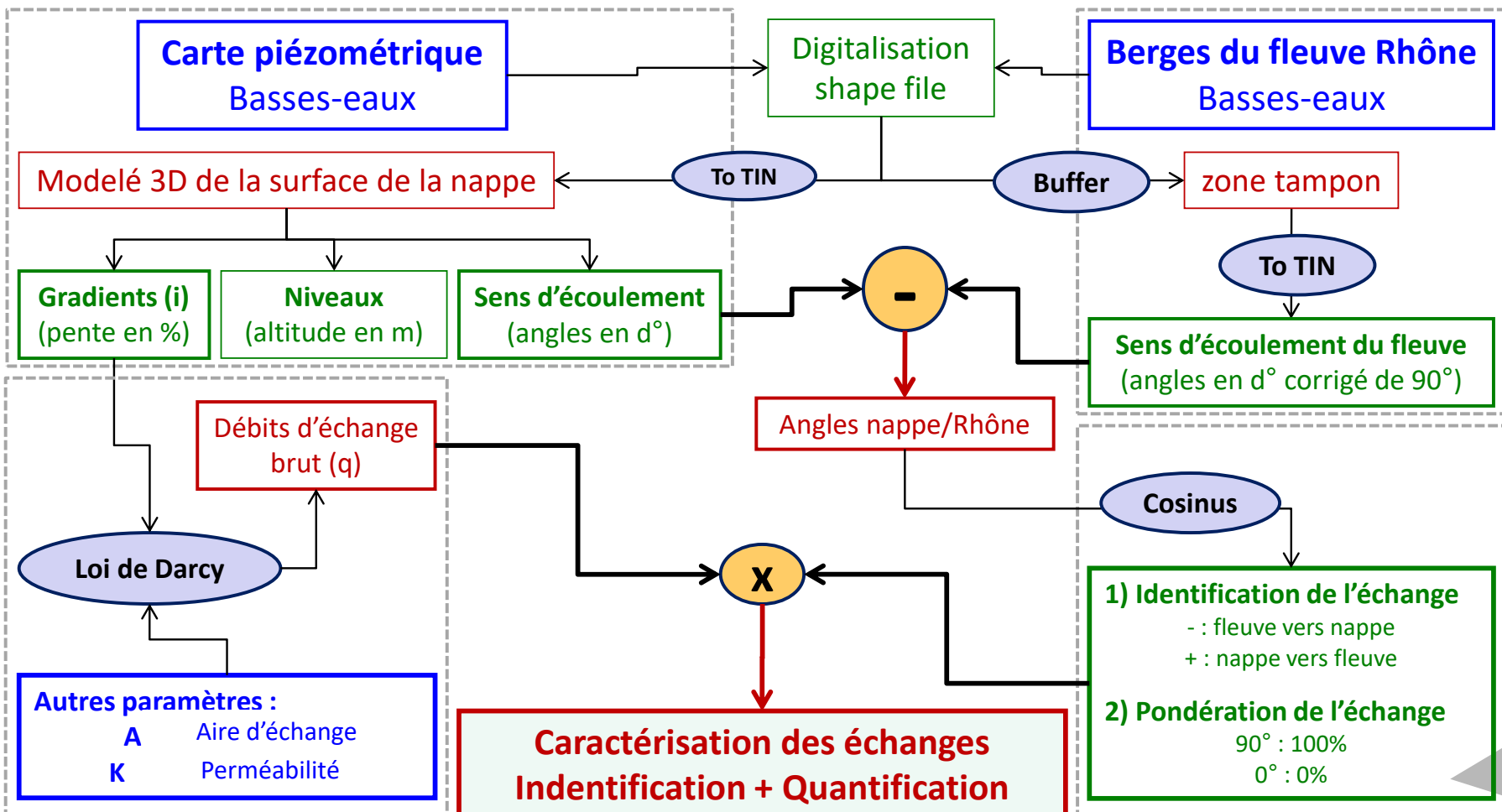


Outils SIG
d'analyse spatiale des
hauteurs d'eau en nappe
et en rivière

Analyse géomatique

Présentation rapide de la méthode

SIG et fonctions d'analyse spatiale



Analyse géomatique

Acquisition et préparation des données

❖ Récupération de données :

- Littérature : rapports, études...
- Données existantes : bases de données, bureaux d'études, questionnaires...

❖ Acquisition de données :

- Nivellement des ouvrages (puits, piézomètres...) au GPS
- Niveaux de nappe (sonde piézométrique, sonde de pression)
- Profils en long de la ligne d'eau (canoë et GPS)
- Profils en long du fond du lit (sonde bathymétrique et GPS)

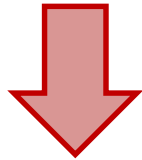
❖ Préparation des données :

- Cohérence des systèmes de coordonnées xy
- Cohérence du référentiel altimétrique (z)
- Géoréférencement
- Digitalisation
- Compatibilité et format des données (ArcGIS, MapInfo, Excel, Access...)

Analyse géomatique

Point clef : les TIN (réseau de triangles irréguliers)

- ❖ **TIN** = modèle de surface / morphologie
- ❖ Pour chaque nœud : altitude Z (elevation)



Transformation en triangles vectoriels

- ❖ Pour chaque triangle :
 - pente (slope) en % en d° [i]
 - angle (aspect) avec le Nord à 0°

$$Z_1 = 145,2\text{m}$$

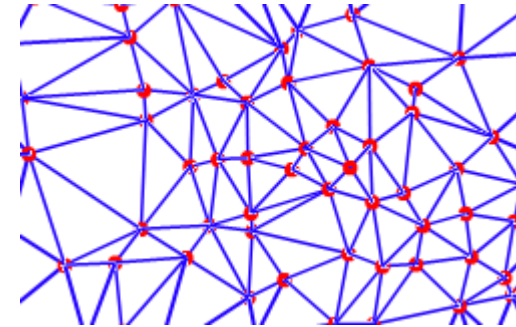
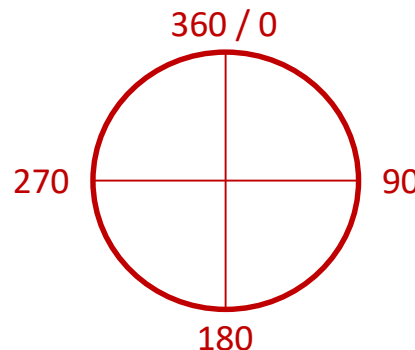
$$l = 100\text{m}$$

$$i = (145,2 - 145) / 100$$

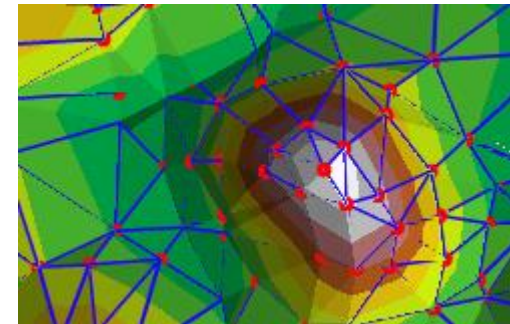
$$i = 0,002$$

$$180^\circ$$

$$Z_2 = 145\text{m}$$



<http://help.arcgis.com/>



Analyse géomatique

Point clef : sens d'écoulement du cours d'eau

❖ Berges du cours d'eau :

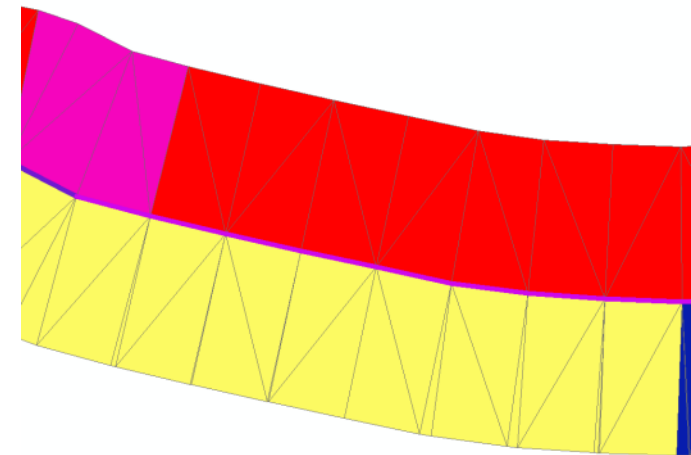
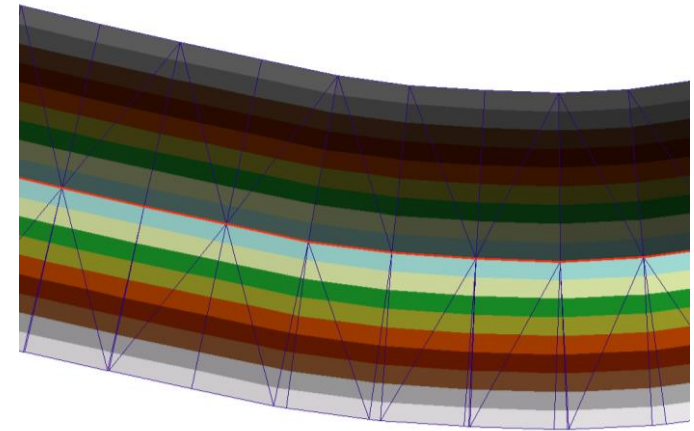
- Digitalisation à partir de Scan 25 IGN ou Photographies aériennes (Create Features)
- Segmentation régulière des polygones (Split line at vertices, COGO Toolbars)

❖ Création du TIN :

- Zone tampon de 100m autour de la polygline de cours d'eau (Buffer)
- Génération du TIN à partir de la polygline de berge et de la zone tampon (Create TIN)

❖ Affectation de l'angle du TIN aux segments de berge :

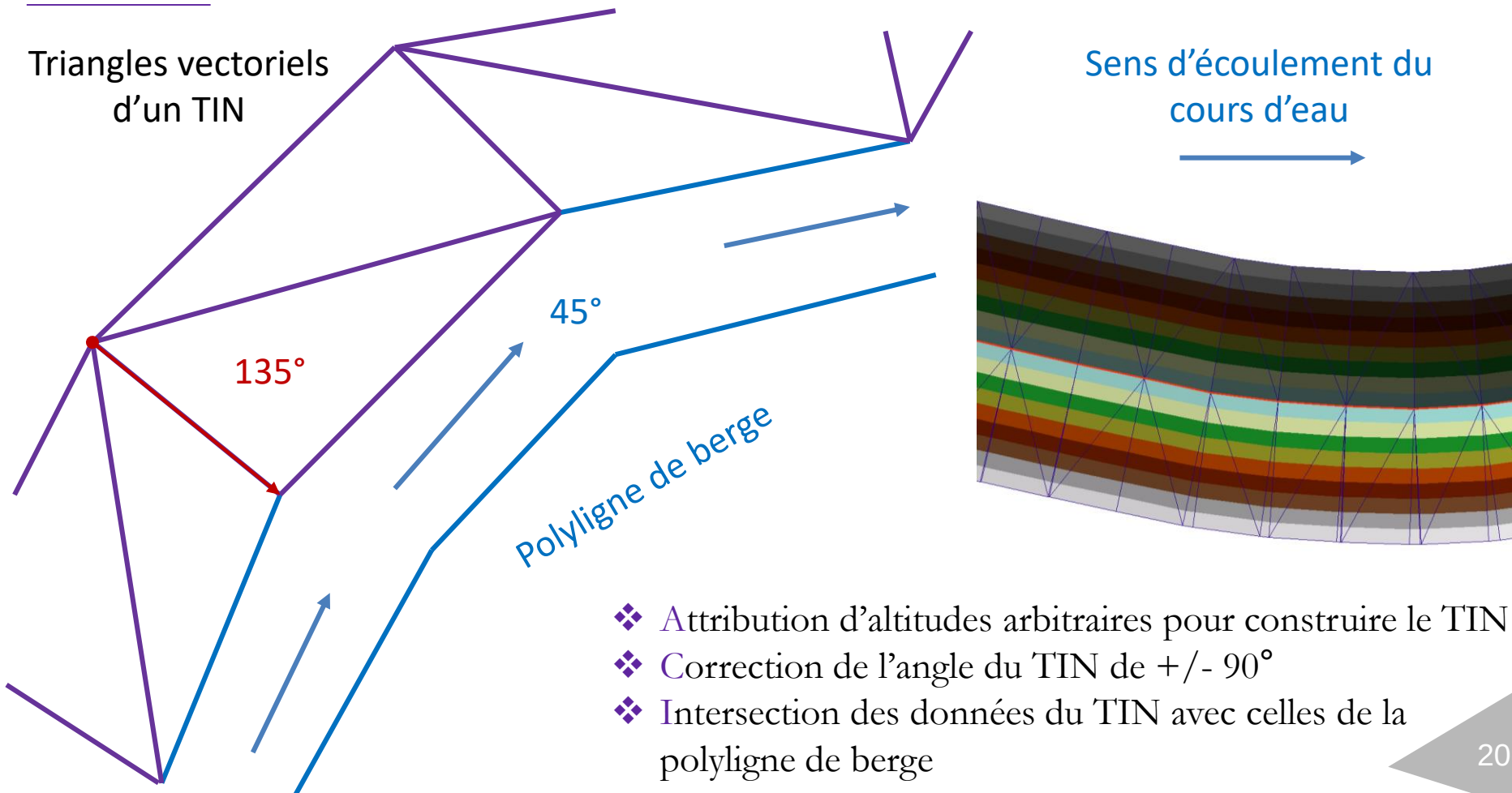
- Transformation du TIN en triangle (Tin to Triangle)
- Intersection des triangles et de la polygline de berge (Intersect)
- Calcul de l'angle d'écoulement : correction de $\pm 90^\circ$



TIN cours d'eau

Analyse géomatique

Point clef : correction de l'angle rivière



Analyse géomatique

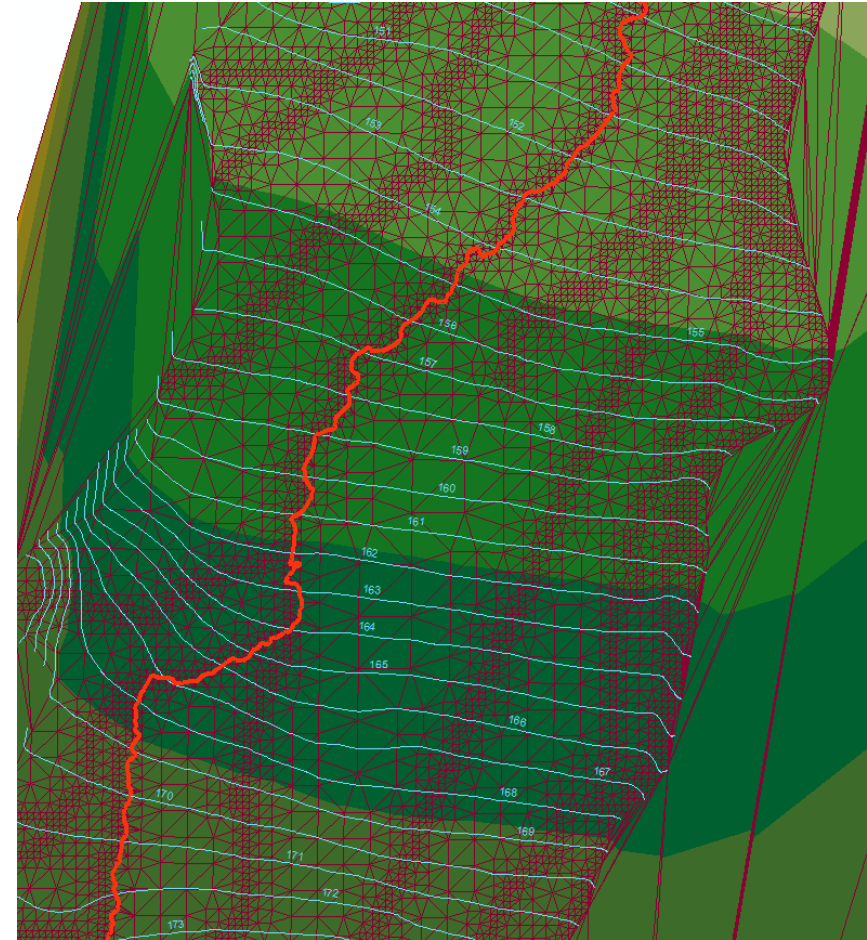
Point clef : sens d'écoulement de la nappe

❖ Création du TIN (Create TIN) :

- Courbes isopièzes ou niveaux ponctuels
- Niveaux d'eau dans la rivière

❖ Affectation des valeurs du TIN aux segments de berge :

- Transformation du TIN en triangle (Tin to Triangle)
- Intersection des triangles et de la polyligne de berge (Intersect) pour affectation du sens d'écoulement et du gradient de nappe à chaque segment de la polyligne de berge



TIN nappe

Analyse géomatique

Point clef : Angle et débit d'échange

❖ Angle d'échange

Angle cours d'eau – Angle de nappe = Angle d'échange

❖ Débit d'échange (selon les données disponibles) :

- Intégration au préalable des données disponibles ou de valeurs estimées pour chaque segment de polyligne de berge dans la table attributaire : perméabilité (K), surface d'échange (A)
- Calcul du débit d'échange avec la Loi de Darcy
- Pondération du débit en fonction de l'angle d'échange
- Détermination de l'incertitude (erreur relative sur le débit calculé)

Analyse géomatique

Points clefs : écoulement théorique à 180°

- ❖ ajustement de l'angle d'écoulement de la rivière à 180°
- ❖ correction de l'angle d'écoulement de la nappe en fonction de cet ajustement
- ❖ pour faciliter la prise de décision concernant le sens de l'échange :
 - réduit le nombre de cas possibles
 - facilite la programmation des fonctions conditionnelles

Dim angle

If [Angle_E] > 0 then

angle = 1

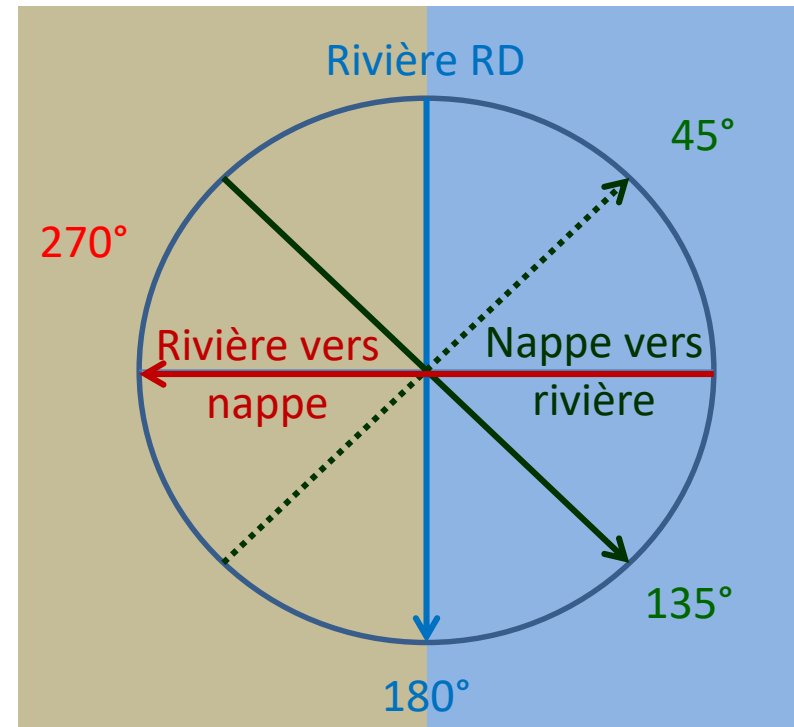
elseif [Angle_E] >= -360 then

angle = -1

else

angle = 0

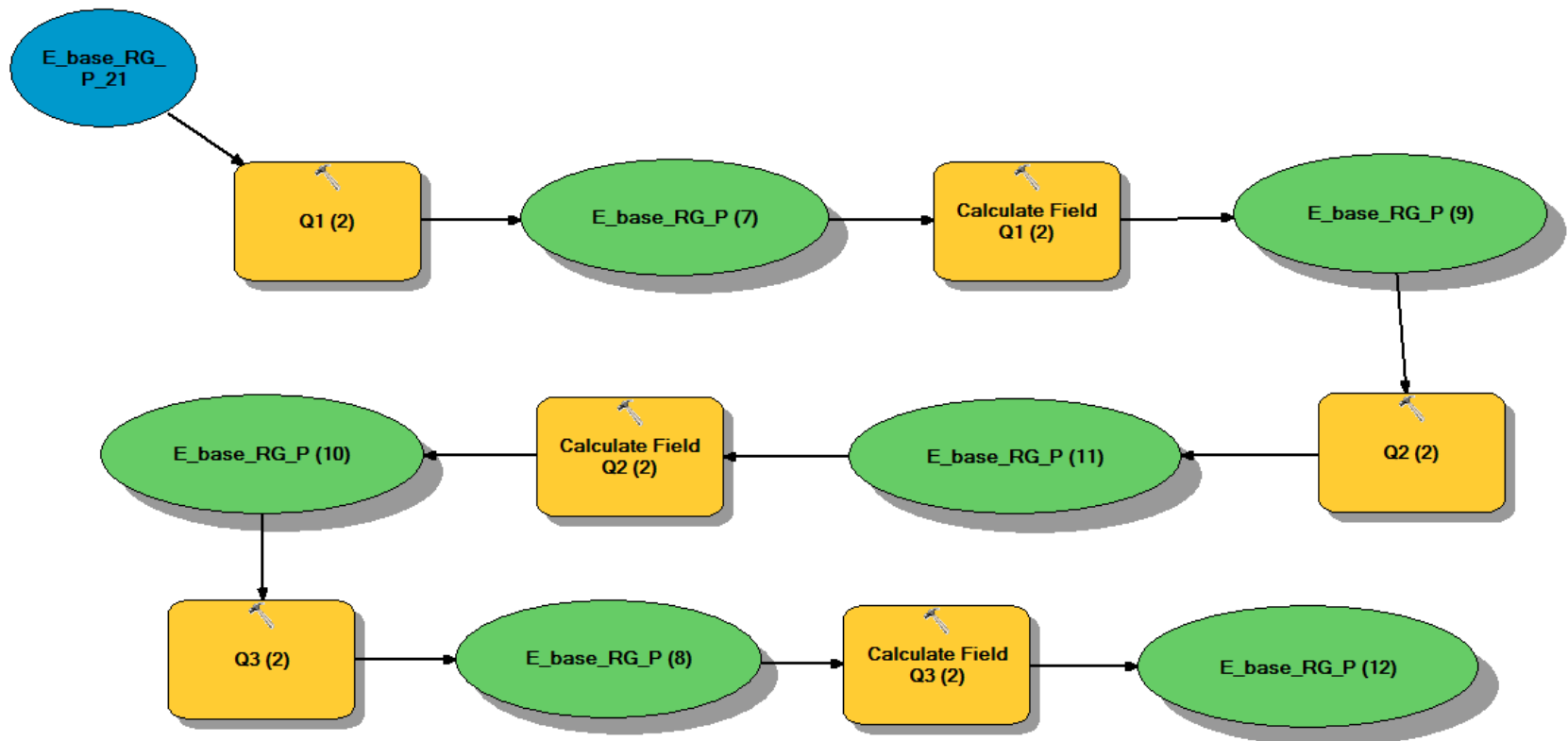
end if



Analyse géomatique

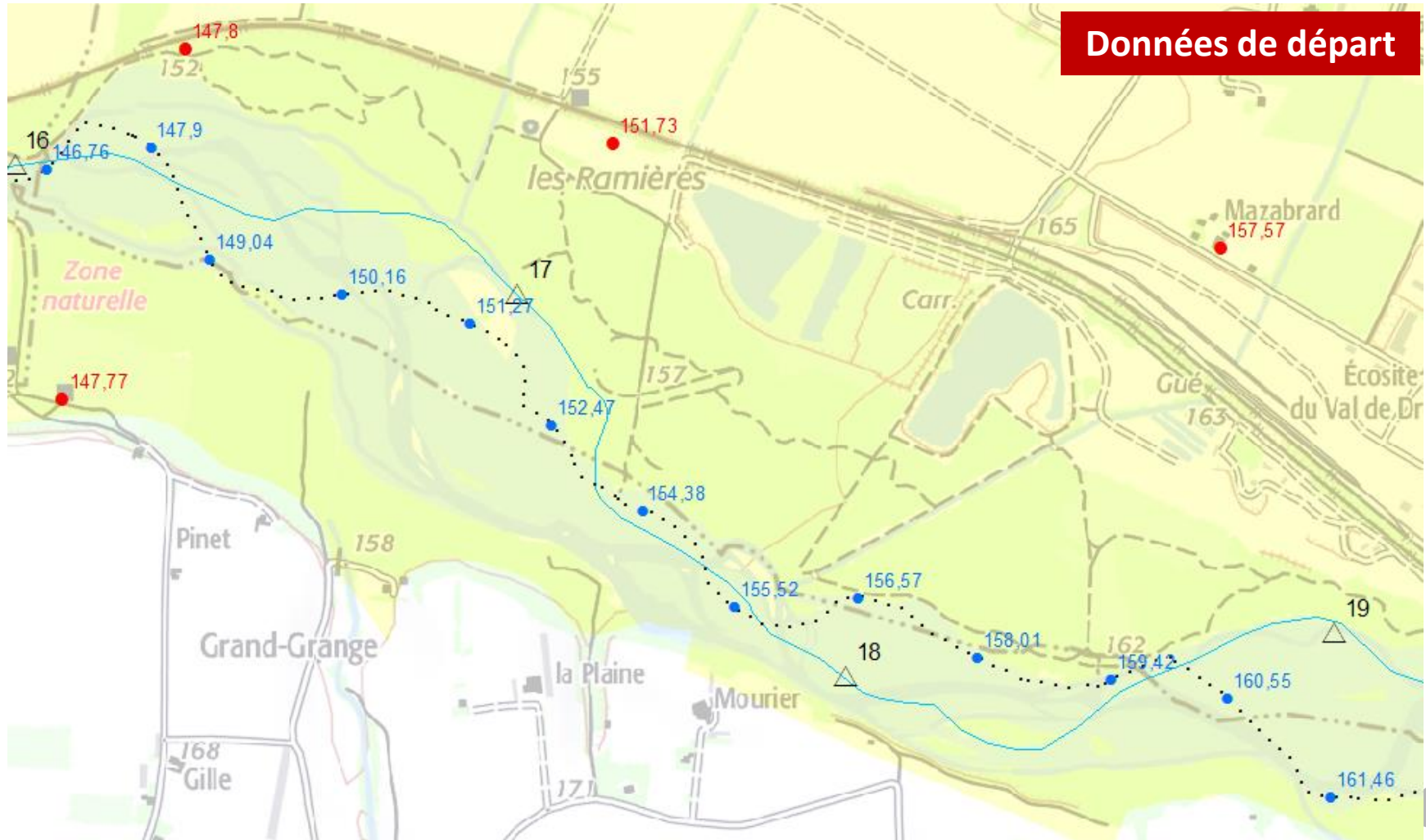
Point clef : model builder

$$Q1 = [Kx] * [i_nappe] * [Sens] * [Shape_Length] * [Sinus] * 86400 * [A]$$



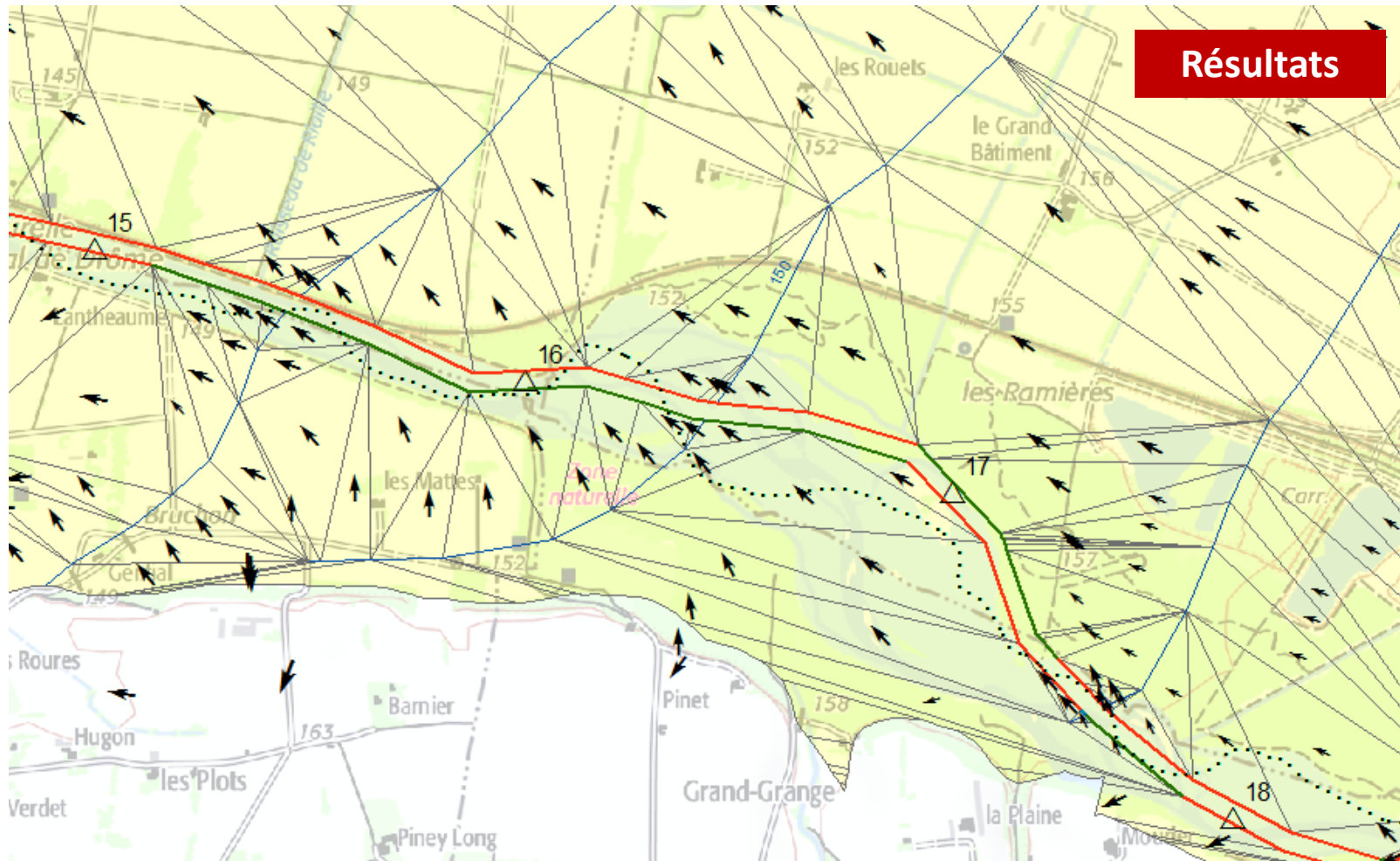
Analyse géomatique

Résultats – ex : Drôme



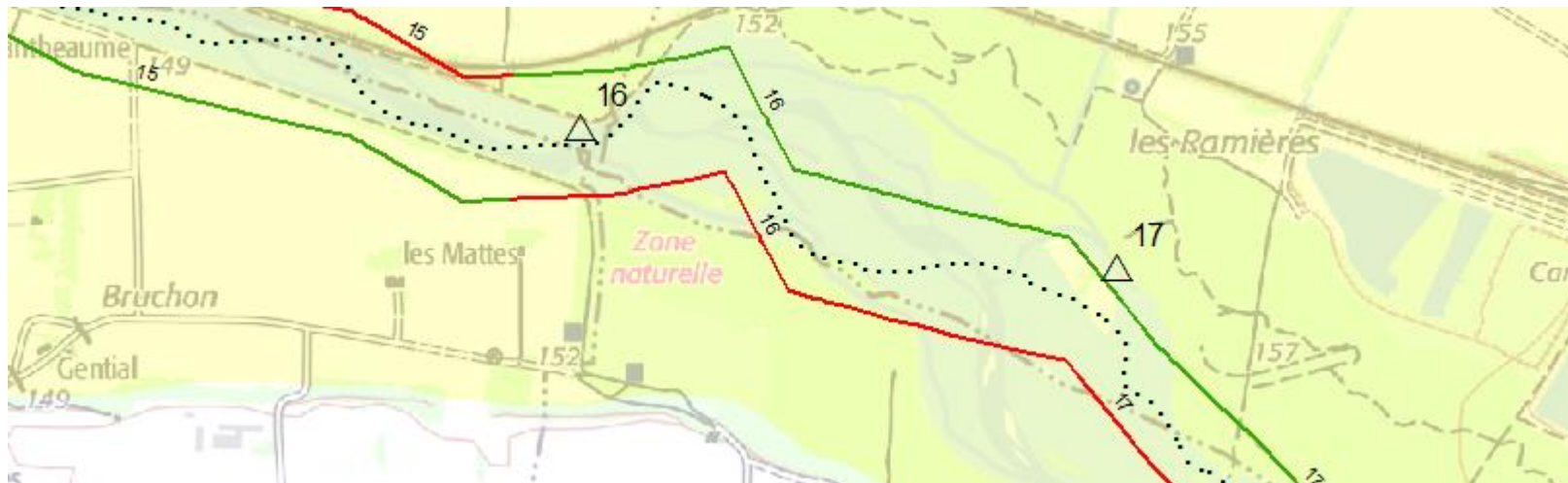
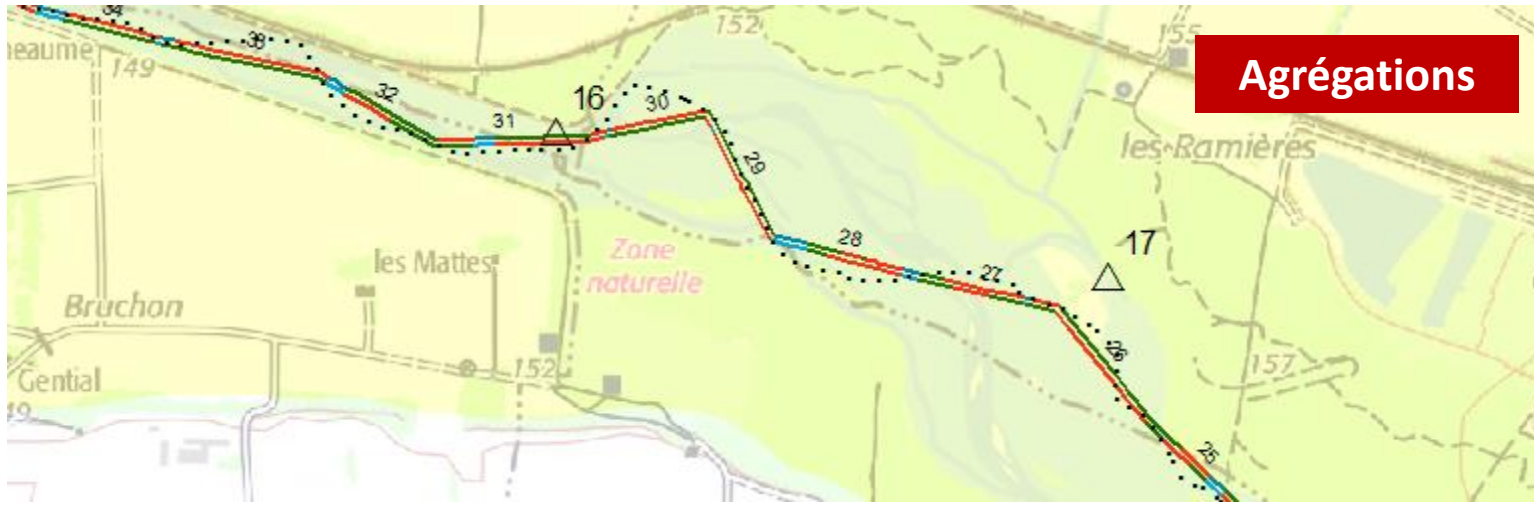
Analyse géomatique

Résultats – ex : Drôme



Analyse géomatique

Résultats – ex : Drôme



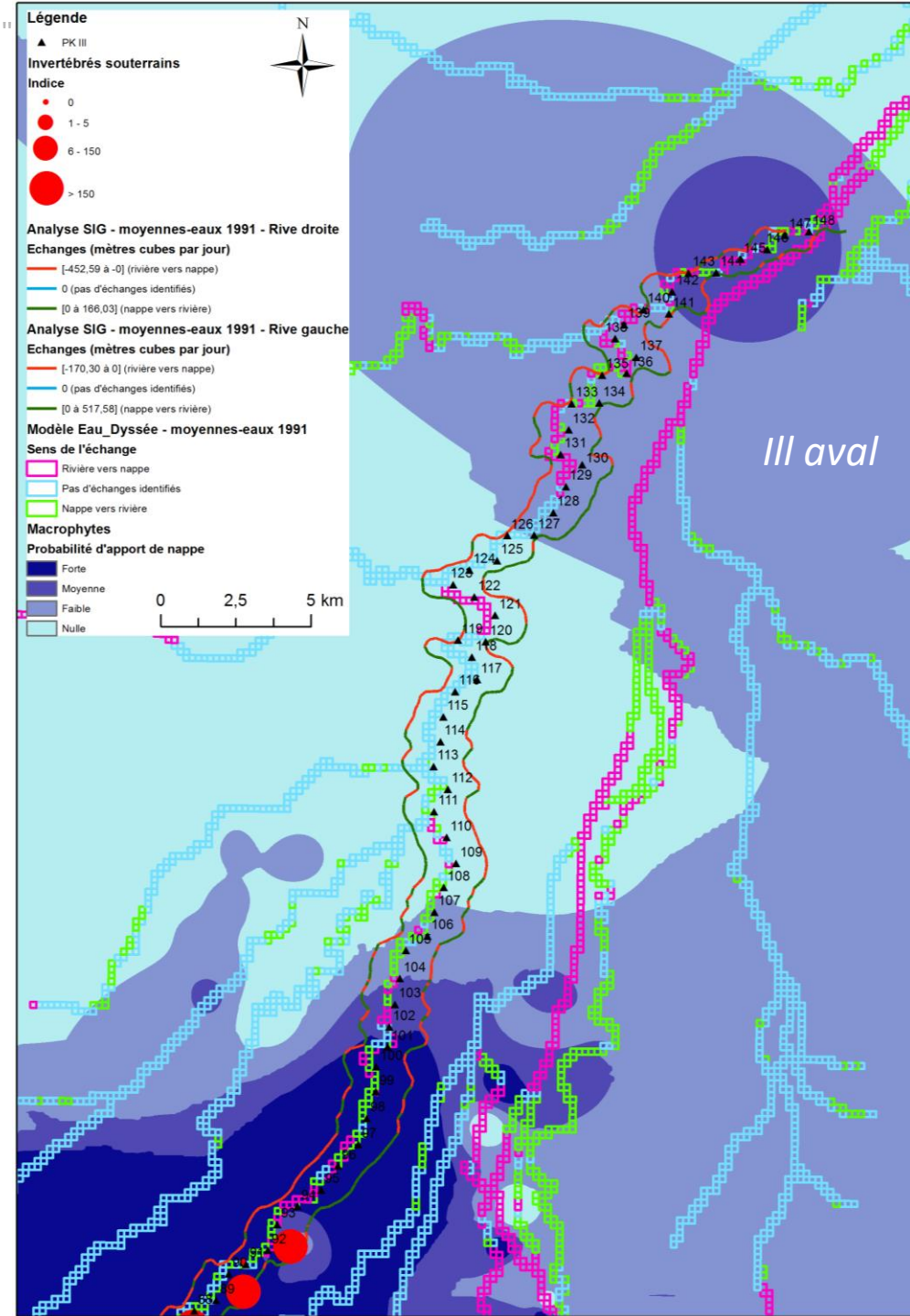
Résultats – ex: plaine de l'Il

L'Il perd environ 156 m³/jour vers la nappe sur les 280 km de linéaire de berge soit 0,55 m³/jour/km

La nappe alimente l'Il à l'amont essentiellement (PK 0 à 48 ; PK 61 à 71) et plus localement (PK 88 à 89 ; PK 120 à 122)

l'Il alimente la nappe sur la partie aval (globalement PK 72 à 148 ; PK 49 à 60)

Croisement des métriques



Analyse géomatique

Coûts

Coûts (hommes/jour)		
Tâches	Temps	Coût
TERRAIN		
Reconnaissance	2	2
Nivellement des puits (GPS)	10 puits/j	2
Relevé de la ligne d'eau d'un cours d'eau (GPS)	15km/j	4
Relevé bathymétrique de la profondeur d'un cours d'eau	4 tronçons/j	3
Relevé piézométrique	25 puits/j	2
Jaugeage (mesure de débit)	4 sections/j	4
TRAITEMENT SIG		
Préparation des données pour l'analyse géomatique	10	1
Analyse géomatique (traitement SIG)	5	1
Calcul des débits	2	1

Analyse géomatique

Matériel nécessaire

Matériel de mesure

Sonde piézométrique
Sonde bathymétrique
Conductimètre
Thermomètre
GPS + antenne
Appareil photographique
Matériel d'enregistrement en continu
Sondes enregistreuses,
Socles des sondes
Système de fixation des sondes
Ordinateur de terrain

Logiciels

SIG
GPS



Prise de notes

Carnet de terrain / Fiche de terrain
Crayon papier

Orientation et informations

Cartes IGN 1/25 000°
Cartes géologiques BRGM 1/50 000°
Boussole
Marteau de géologue
Rapports et études

Outils et petit matériel

Trousse de secours
Caisse à outils
Topofil

Navigation

Bateau gonflable (Photo 1) + rames
Gonfleur électrique et à pied
Gilets de sauvetage + casques
Moteur électrique + batterie + support
Socle pour GPS et antenne
Bidons et sacs étanches

Perspectives

Des projets et des actions en cours et à construire

- ❖ Guide "Interactions karst/rivière" (à paraître début 2021)
- ❖ Guide "Interactions zones humides/eso/esu" (en projet)

Perspectives

Des projets et des actions en cours et à construire

- ❖ Sessions de formation
- ❖ Développement méthodologique en contexte cristallin (ou socle) et volcanique (**Projet Caprice – Chaîne des Puys – en cours**)
- ❖ Intégration des retours d'expérience des précédents guides (guides évolutifs)
- ❖ Intégration des potentialités offertes par les sciences citoyennes, l'information géographique volontaire (VGI) et la ludification (**cf. méthodologie ANR ReVeRIES – en cours**)

Merci
de votre attention

Annexe 1

Une logique interdisciplinaire : auteurs et contributeurs

Guide nappe/Rhône

Auteurs

¹PARAN F, ²ARTHAUD F, ³NOVEL M, ¹GRAILLLOT D, ⁴BORNETTE G, ⁵PISCART C,
^{3,9}MARMONIER P, ⁶LAVASTRE V, ⁷TRAVI Y, ⁸CADILHAC L

Contributeurs (par ordre alphabétique)

³Baillet H, ³Capderrey C, ⁹Clémens A, ¹Dechomets R, ¹⁰Doutriaux E, ¹Dujardin F,
³Ferreira D, ¹Gaur S, ¹Germain A, ³Gibert J, ³Jezequel C, ¹¹Lafont M., ¹Lalot E, ¹Mimoun D,
³Puijalon S, ³Rodriguez C, ¹²Roux-Michollet D., ³Simon L, ⁷Stroffek S, ¹⁰Taravel Y,
¹³Winiarski T

1. ENSM-SE – GSE : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Centre SPIN, UMR CNRS 5600 EVS, Département Géo-Sciences et Environnement,
2. US-CARTEL : Université de Savoie, UMR INRA 042, Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et les Ecosystèmes Limniques
3. UCBL – LEHNA : Université Claude Bernard Lyon 1, UMR CNRS 5023, Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés
4. UMR CNRS 6249, Chronoenvironnement, Université de Franche Comté, Besançon
5. ECOBIO : Université de Rennes 1, UMR CNRS 6553, Ecosystèmes, Biodiversité, Evolution
6. UJM-SE : Université Jean Monnet de Saint-Etienne, UMR CNRS 6524, Magmas et Volcans
7. UAPV – LHA : Université d'Avignon Pays de Vaucluse, Département Hydrogéologie
8. AE-RMC : Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse
9. ZABR : Zone Atelier Bassin du Rhône
10. CNR : Compagnie Nationale du Rhône
11. Irstea : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, Lyon, UR Bely
12. GRAIE : Groupe de Recherche Rhône Alpes sur les Infrastructures et l'Eau
13. ENTPE – LEHNA : Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Vaulx-en-Velin, UMR CNRS 5023, Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés

Guide Naprom

Auteurs

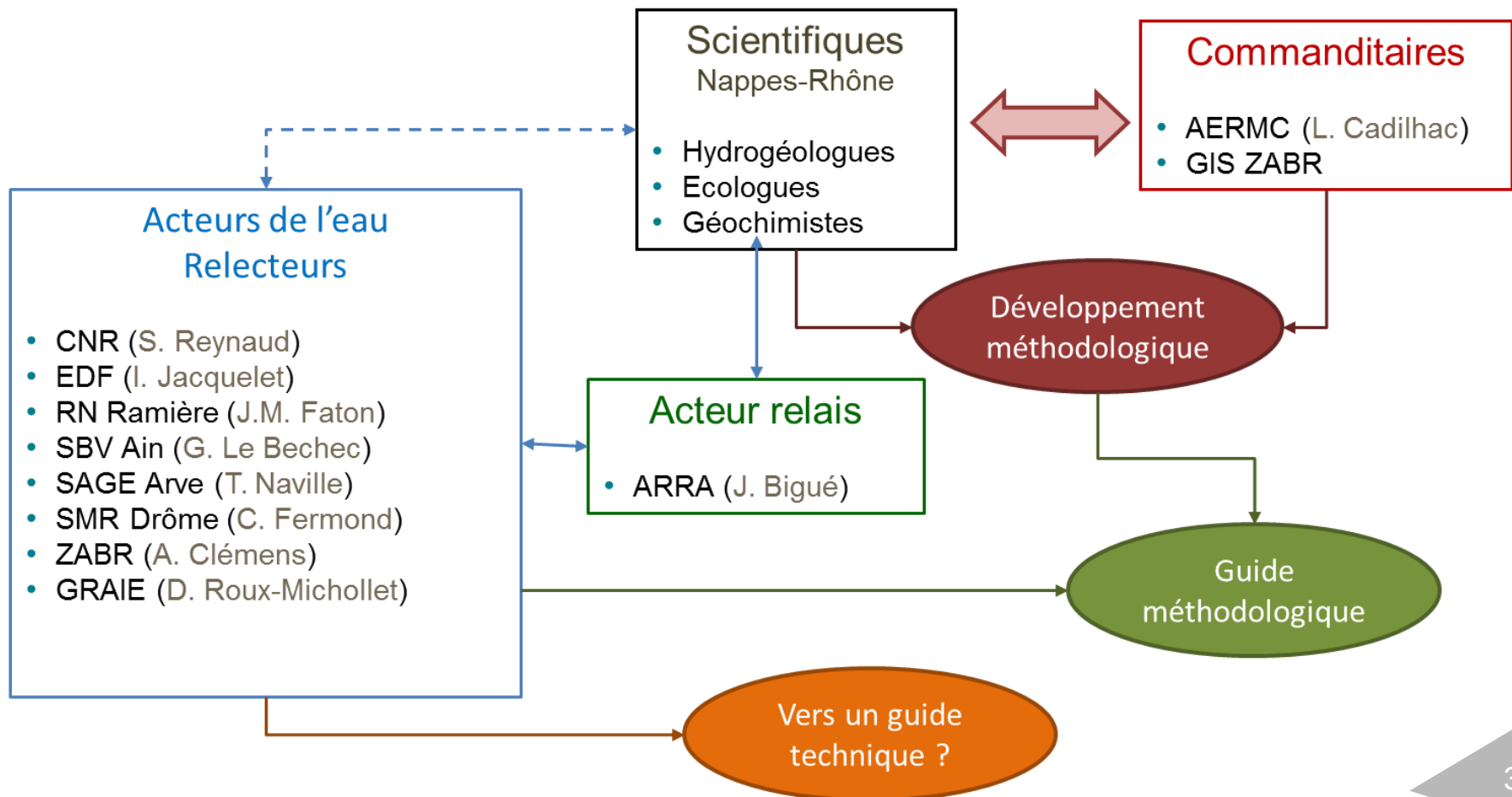
Paran Frédéric, UMR 5600 EVS, Mines Saint-Étienne, GSE, frederic.paran@mines-st-etienne.fr
Gralliot Didier, UMR 5600 EVS, didier.gralliot@mines-st-etienne.fr
Arthaud Florent, UMR 042 Cartel, florent.arthaud@univ-savoie.fr
Bornette Gudrun, UMR 6249 Chrono-environnement, gudrun.bornette@univ-fcomte.fr
Chatelier Marlon, BRGM Nouvelle-Aquitaine - site de Poitiers
Douez Olivier, BRGM - Direction régionale Nouvelle-Aquitaine, o.douez@brgm.fr
Filpo Nicolas, Mines ParisTech, Nicolas.Filpo@mines-paristech.fr
Habets Florence, Mines ParisTech, florence.habets@upmc.fr
Lavastre Véronique, UMR 6524 LMV, veronique.lavastre@univ-st-etienne.fr
Marmonier Pierre, UMR 5023 Lehna, pierre.marmonier@univ-lyon1.fr
Mouhri Amer, Mines ParisTech, amer.mouhri@gmail.com
Piégay Hervé, UMR 5600 EVS, Herve.Piegay@ens-lyon.fr
Piscart Christophe, UMR 6553 Ecobio, christophe.piscart@univ-rennes1.fr
Simon Laurent, UMR 5023 Lehna, laurent.simon@univ-lyon1.fr
Tallec Gaëlle, Irstea, gaelle.tallec@irstea.fr
Vergnes Jean-Pierre, BRGM Orléans, jp.vergnes@brgm.fr
Wawrzyniak Vincent, UMR 5600 EVS, vincent.wawrzyniak@gmail.com
Maugis Pascal, UMR 8212 Mosaic, pascal.maugis@lscs.jpl.fr
Augeard Bénédicte, AFB, benedicte.augeard@atbiodiversite.fr

Contributeurs et relecteurs

Dujardin F., **Lalot E.** (UMR 5600 EVS, Mines Saint-Étienne, GSE) ; **Bichot F.** (BRGM) ; **Thierlon C.** (Mines ParisTech) ; **Novel M.** (UMR 5023 Lehna) ; **Poulet N.** (Onema puis AFB) ; **Akopian M.** (AE-SN puis AFB) ; **Bigué J.** (Arra) ; **Bonneville S.**, **Carroget A.**, **Grivel S.**, **Lequien A.** (MEEM) ; **Cadilhac L.** (AE-RMC) ; **Clémens A.**, **Roux-Michollet D.** (Zabr-Grate) ; **Delporte C.** (CD 46) ; **Deruyver S.** (Sage Beauce) ; **Dumont E.** (Cete Ile-de-France) ; **Duval J.**, **Fermond C.** (SMRD) ; **Faton J.M.** (Réserve des Ramlières) ; **Grimault L.**, **Klerch D.** (Creseb) ; **Jacquelet I.** (EDF) ; **Janodet S.** (SPL Eau de Grenoble) ; **Lambert M.** (SEV) ; **Le Behec G.** (SBVA) ; **Lefur S.** (Astee) ; **Marchet P.** (AE-AG) ; **Naville T.** (SM3A) ; **Pellerin F.M.** (FNE / Marais poitevin) ; **Pelizzaro H.** (CD 64) ; **Raout F.** (Drieu Ile-de-France) ; **Reynaud A.** (Aquilbrie) ; **Reynaud S.** (CNR) ; **Schott P.**, **Toulet F.** (Aprona) ; **Tochon E.** (Antea Group) ; **Verley F.** (Dreal Centre)

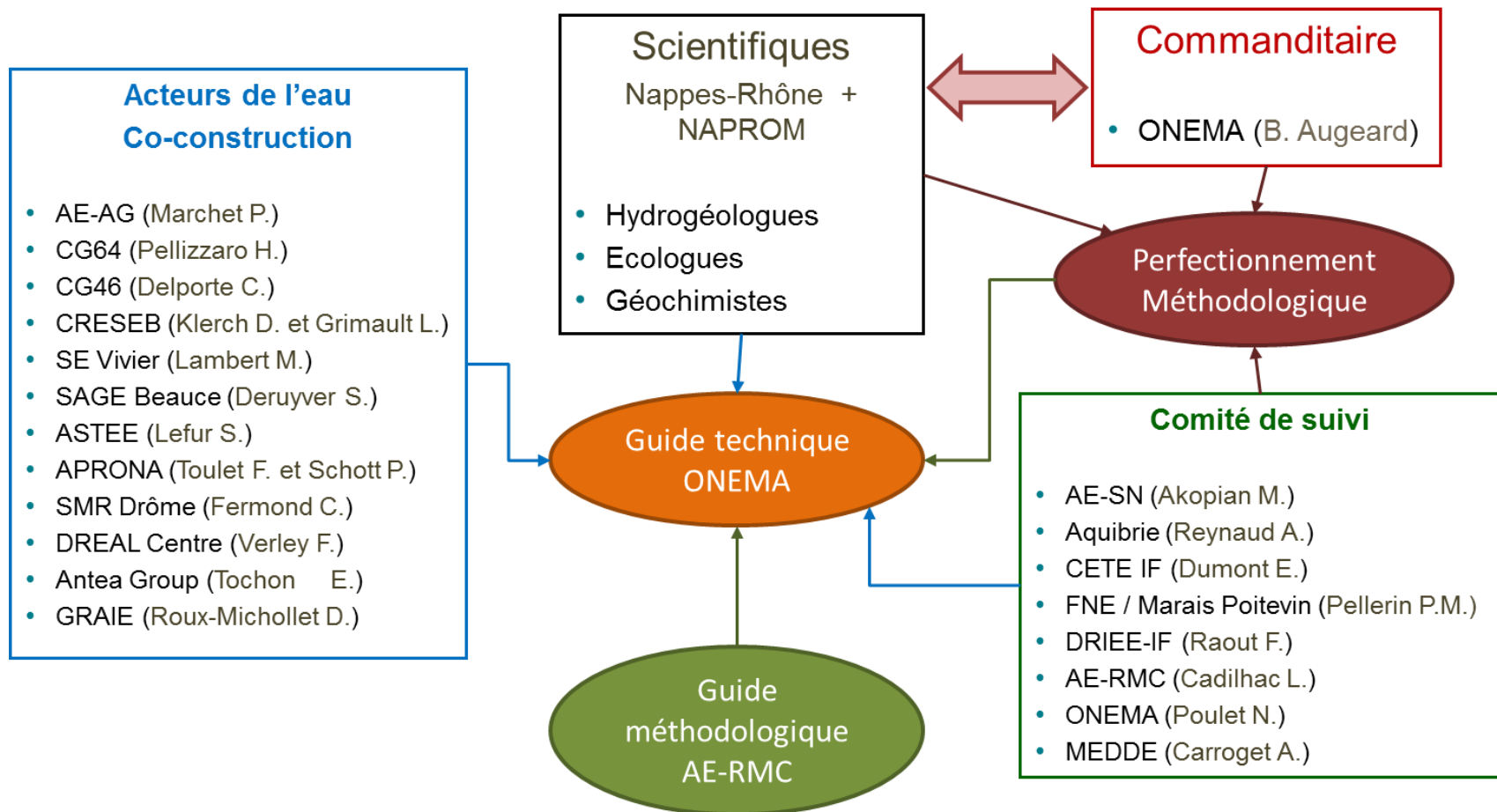
Annexe 2

Guide nappe/Rhône : validation par les acteurs de l'eau



Annexe 3

Guide Naprom : co-construction avec les acteurs de l'eau



Annexe 4

Références bibliographiques

Guide Naprom

Paran F., Augeard B. (coordinateurs) (2017) [Guide technique Interactions nappe/rivière : des outils pour comprendre et mesurer les échanges](#). Agence française pour la biodiversité, collection Guides et protocoles, 102p.

<http://www.onema.fr/Guide-Interactions-nappe-riviere>

Paran F., Graillot D., Arthaud F., Bodet L., Bornette G., Chatelier M., Douez O., Dujardin F., Flipo N., Guérin R., Habets F., Lalot E., Marmonier P., Mouhri A., Novel M., Piscart C., Rejiba F., Tallec G., Thierion C., Vergnes J.P., Maugis P., Augeard B. (2014) [Caractérisation des échanges nappes/rivières à l'échelle du tronçon ou du linéaire par métrique expérimentale ou par modélisation jusqu'à l'échelle régionale](#). Projet Naprom (Nappes-rivières : observation et modélisation). Armines, Onema, Rapport final, 209p.

Guide nappes/Rhône

Paran F., Arthaud F., Novel M., Graillot D., Bornette G., Piscart C., Marmonier P., Lavastre V., Travi Y., Cadilhac L. (2015) [Caractérisation des échanges nappes/rivières en milieu alluvionnaire – Guide méthodologique](#). Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse – Eau et connaissance, 178p.

http://www.graie.org/zabr/zabrdoc/Guides_methodo/Guide_Echanges_NR_RMC_VF.pdf

Lalot E. (2014) [Analyse des signaux piézométriques et modélisation pour l'évaluation quantitative des échanges hydrauliques entre aquifères alluviaux et rivières – Application au Rhône](#). Thèse de Doctorat. Mines Saint-Etienne.