



HAL
open science

Dérivation de paramètres caractéristiques du sol pour la modélisation hydrologique sur la région Rhône-Alpes - Analyse de sensibilité de la modélisation à la description du sol sur le bassin de l'Ardèche

N. Bahl

► To cite this version:

N. Bahl. Dérivation de paramètres caractéristiques du sol pour la modélisation hydrologique sur la région Rhône-Alpes - Analyse de sensibilité de la modélisation à la description du sol sur le bassin de l'Ardèche. Sciences de l'environnement. 2016. hal-02603622

HAL Id: hal-02603622

<https://hal.inrae.fr/hal-02603622v1>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture



École Nationale du Génie de l'Eau et de l'environnement de Strasbourg

Dérivation de paramètres caractéristiques du sol pour la modélisation hydrologique sur la région Rhône-Alpes

Analyse de sensibilité de la modélisation à la description du sol sur le bassin de l'Ardèche

Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Nicolas BAHL
Encadrante Irstea : Isabelle BRAUD
Encadrant ENGEES : Sylvain PAYRAUDEAU
Juin 2016

Remerciements

Le travail réalisé dans ce mémoire contribue au projet "Modélisation hydrologique Distribuée du Rhône", soutenu financièrement par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse, les fonds FEDER et la CNR. Nous remercions la Chambre Régionale d'Agriculture de Rhône-Alpes" pour la fourniture de la base de données sol Rhône-Alpes et INFOLSOL pour la fourniture du Référentiel Régional Pédologique de la Haute-Marne



Merci à Isabelle Braud, mon encadrante. Que ce fut à l'occasion de simulations hydrologiques imparfaites, de scripts R défectueux, ou de conseils pour la présentation de mes travaux, son aide a toujours été indispensable. Et a fait de ces six mois une période des plus riches en apprentissages

Merci à Isabelle Gouttevin, dont toutes les mailles présentées dans ce rapport portent un peu la trace, grâce à son initiation à l'utilitaire HRU-Delin

... Utilitaire nécessitant par ailleurs quelques connaissances de Linux. Heureusement, Claire Rambeau et sa formation étaient là !
Merci à elle aussi

Merci aussi à toutes celles et ceux qui ont pu assister à mes présentations, et me livrer leurs remarques et impressions

Merci finalement à toutes celles et ceux sans qui ces six mois n'auraient pas été les mêmes. L'humeur toujours bonne du bureau, les repas pleins de discussions, les courses riches en couleurs, le coin café tout le temps amusant, les échanges au ping-pong pas toujours victorieux, seront autant de bons souvenirs

Résumé

Le projet de « Modélisation hydrologique Distribuée du Rhône » (MDR), est mené depuis 2013, en grande partie par l'unité de recherche Hydrologie-Hydraulique d'Irstea Lyon-Villeurbanne. Ce projet de modélisation vise à fournir un outil lié à la ressource en eau à l'échelle d'un bassin versant, en prenant en compte les différents usages qui en sont fait : irrigation, alimentation en eau potable, production hydro-électrique, etc. D'autre part, cet outil doit permettre de contribuer à des exercices de prospective. La zone étudiée est l'ensemble du bassin versant du Rhône, soit près de 100 000 km².

Concrètement, le projet MDR se base sur un modèle hydrologique nommé J2000-Rhône. Pour fonctionner, ce dernier se base sur un certain nombre de paramètres : la géologie du bassin versant, l'occupation des sols, ou encore – et c'est sur cette partie que se focalise ce stage – les sols eux-mêmes. En effet, les cartes de sols utilisées jusqu'à présent avaient une échelle au 1/1 000 000ème. Or une carte des sols de l'ex-région Rhône-Alpes d'une échelle au 1 / 250 000ème a été obtenue au cours du projet.

D'où l'objectif de ce stage : mettre en forme ces données dans une nouvelle base, en tirer les informations utiles au modèle J2000-Rhône, et enfin juger l'apport de ces nouvelles données, plus précises à la modélisation. Plusieurs simulations effectuées sur le bassin de l'Ardèche démontrent que les nouvelles données sol permettent effectivement d'obtenir un gain de précision dans les résultats du modèle hydrologique. Si les résultats semblent satisfaisants au terme de l'étude, il ressort aussi que plusieurs perspectives d'améliorations restent à explorer.

Abstract

The « Modélisation hydrologique Distribuée du Rhône - Distributed Hydrological Modelling of the Rhône catchment » (MDR) project is carried out since 2013 mostly by the Hydrology-Hydraulics research unit from Irstea Lyon-Villeurbanne. The MDR project aims at providing an instrument for water resources management. Within the Rhône catchment, it takes into account various water usages: irrigation, drinking water supply, hydro-electricity and dams... Prospective scenarios (including climate change and modifications of usages) by 2050 have also been considered for this 100 000 km² Rhône River watershed.

The study is based on the J2000-Rhône distributed hydrological model. Model parameters are derived from different GIS layers, such as topography, geology, land use, or pedology. Up to now, soils were described using a 1/1 000 000 resolution soil map. However new soil data are now available for the Rhône-Alpes region with a 1/250 000 resolution, that is more accurate.

The first objective of the study was to process this new data base gathering all the available data and deriving the soil parameters required by the J2000-Rhône model. The second objective was to assess to what extent the use of this new data base was able to improve the model results. For this, several hydrological modellings were performed on a test-catchment, the Ardèche catchment. The results show that better results are obtained with the 1/250 000 soil information. However, new perspectives remain to investigate, for further improvements of that hydrological model.

Table des matières

SYMBOLES, SIGLES ET ABREVIATIONS.....	12
GLOSSAIRE	13
I. PRESENTATION GLOBALE DE L'ETUDE.....	17
1. Présentation d'Irstea Lyon-Villeurbanne.....	17
2. Pourquoi une modélisation hydrologique du Rhône ?	18
3. Comment modéliser ?.....	18
a. J2000	18
b. J2000-Rhône	22
4. Présentation de la zone d'étude	24
5. Le projet MDR : les points clés	25
II. CREATION DES BASES DE DONNEES SOL	27
1. Présentation des données.....	27
a. Origine des données	27
b. Contenu des bases de données	27
2. Structuration des bases de données	31
a. Migration vers PostgreSQL depuis Access	31
b. Exploitation de la base de données PostgreSQL	32
c. Quelques cartes issues des tables créées	32
3. Autres régions.....	35
III. APPLICATION DU MODELE J2000-RHONE A L'ARDECHE.....	36
1. Génération des HRUs.....	36
2. Simulation avec J2000-Rhône	40
3. Les simulations de référence.....	42
a. Simulation de référence sans distinction plaine/montagne	42
b. Simulation de référence avec distinction plaine/montagne	42
4. Les quatre simulations associées aux nouvelles données sol	43
a. Première simulation	43
b. Deuxième simulation	43
c. Troisième simulation.....	44

d. Quatrième simulation	44
5. Récapitulatif des simulations	45
6. Les résultats du modèle	46
IV. ANALYSE DE CES RESULTATS	47
1. Méthodologie	47
a. Le critère de Nash	47
b. Les biais de simulation	48
c. Les données de comparaison	49
1. Analyse des quatre simulations	50
a. Critère de Nash et biais aux stations	50
b. Commentaire des résultats	53
c. Analyse des autres composantes du cycle hydrologique simulées par J2000-Rhône	55
d. Conclusions	61
V. SYNTHÈSE GLOBALE	62
ANNEXES	64
BIBLIOGRAPHIE	87

Table des annexes

Cartes supplémentaires.....	65
Annexe 1 : découpage de la région Rhône-Alpes en UCS.....	66
Annexe 2 : taux moyens d'argile sur la région Rhône-Alpes	67
Annexe 3 : taux moyens de sable sur la région Rhône-Alpes	68
Annexe 4 : taux moyens de limons sur la région Rhône-Alpes.....	69
Annexe 5 : découpage du département de la Haute-Marne en UCS.....	70
Annexe 6 : réserves utiles moyenne sur le département de la Haute-Marne.....	71
Annexe 7 : différences des découpages du BV ardéchois en HRUs entre les anciennes et nouvelles données sols	72
Un peu d'informatique.....	73
Annexe 8 : création de la nouvelle couche raster des sols sur le BV de l'Ardèche.....	73
Utilisation de J2000.....	74
Annexe 9 : représentation schématique du fonctionnement de J2000	74
Annexe 10 : Interface du logiciel J2000	75
Quelques scripts utilisés.....	76
Annexe 11 : Extraits de la création de la base de données Rhône-Alpes, en SQL	76
Annexe 12 : Calcul de quelques critères d'évaluation des simulations, en R	78
Détail des résultats d'autres simulations.....	80
Annexe 13 : Station V5004030, simulation n°1	80
Annexe 14 : Station V5004030, simulation n°2	81
Annexe 15 : Station V5004030, simulation n°3	82
Annexe 16 : Station V5064010, simulation n°4	83
Annexe 17 : Station V5004010, simulation n°4	84
Valeurs du critère de Nash sur les stations du BV de l'Ardèche	85
Annexe 18 : Résultats moyens du Nash.....	85
Annexe 19 : Valeurs du critère de Nash sur l'ensemble des stations du BV de l'Ardèche	86

Symboles, sigles et abréviations

Symboles

Abs : Valeur absolue

Q_{sim} : Débit simulé (m^3/s)

Q_{obs} : Débit observé (m^3/s)

Sigles et abréviations

BD : Base de Données

BV : Bassin Versant

CNR : Compagnie Nationale du Rhône

FEDER : Fonds Européen de Développement Economique et Régional

HRU(s) : Hydrological Response Unit(s) – Unité(s) de réponse hydrologique

JAMS : Just Another Modelling System – Plateforme de développement de J2000

LPS : Large Pore Storage – Pores grossiers

MDR : Modélisation hydrologique Distribuée du Rhône

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MPS : Medium Pore Storage – Capacité au champ

RU : Réserve Utile

SGBD : Système de Gestion de Bases de Données

SIG : Système d'Information Géographique

SQL : Structured Query Language – Langage informatique pour l'exploitation de bases de données

UCS : Unités Cartographiques de Sol

UTS : Unité Typologique de Sol

Glossaire

Vocabulaire scientifique

- Bassin Versant :** - Aire de collecte des eaux, définie par un contour à l'intérieur duquel toutes les eaux surfaciques et souterraines s'écoulent vers un exutoire
- Exutoire :** - Point de confluence des écoulements d'un bassin versant
- Infiltration :** - Processus par lequel l'eau pénètre le sol (ou un autre substrat) à partir de la surface du sol
- Pédologie :** - Étude des sols, de leur évolution, en se basant sur des critères chimiques, physiques et biologiques
- Percolation :** - Ecoulement des eaux dans la couverture pédologique perméable, sous l'effet de la gravité
- Modèle hydrologique :** - Outil numérique permettant de représenter le cycle hydrologique sur un bassin versant, en se basant sur des variables telles que le climat, l'évapotranspiration ou l'humidité des sols

Vocabulaire informatique

- Base de données :** - Outil permettant de stocker et de retrouver des données brutes, ou des informations, en rapport avec un thème. Cet outil est structuré et dans le cas présent, informatisé
- Raster :** - Données images d'un territoire où l'espace est divisé de manière régulière. Une matrice divise le territoire avec une grille régulière de cellules auxquelles sont associées des valeurs chiffrées
- Shapefile :** - Fichier vecteur utilisé par un SIG (voir définition du vecteur ci-dessous)
- Vecteur :** - Comme pour les rasters, ce sont des données images d'un territoire. Mais contrairement aux rasters, les entités sont traduites au moyen de formes géométriques (points, lignes, polygones), ce qui donne donc une représentation discontinue du territoire
- Table :** - Une base de données est constituée d'un ensemble de tables. Ces dernières peuvent être vues comme des matrices dont les colonnes portent les noms des attributs, et les lignes sont autant d'enregistrements pour ces attributs

Liste des figures

Figure 1 : Le centre de Lyon-Villeurbanne	17
Figure 2 : Schéma du fonctionnement de J2000.....	20
Figure 3 : Extrait d'un BV découpé en HRUs.....	22
Figure 4 : Carte du bassin versant du Rhône modélisé dans J2000-Rhône, et de la région Rhône-Alpes	24
Figure 5 : Les huit départements de la région Rhône-Alpes	28
Figure 6 : Découpage d'un paysage en UTS et UCS.....	29
Figure 7: Schéma explicatif de la migration des bases de données.....	31
Figure 8 : épaisseur moyenne totale des sols, Rhône-Alpes	33
Figure 9 : Réserve utile moyenne, Rhône-Alpes.....	34
Figure 10 : Carte du BV du Rhône modélisé dans J2000, et de la Haute-Marne	35
Figure 11 : Ancien raster sol utilisé dans HRU-Delin (4 classes issues de la European Soil Database).....	38
Figure 12 : Nouveau raster sol utilisé dans HRU-Delin (4 classes issues de la BD Sol au 1/250 000ème).....	38
Figure 13 : Comparaison entre le tracé de l'Ardèche et le shape HRU-Delin.....	39
Figure 14 : Les vecteurs cours d'eau et HRUs obtenus avec HRU-Delin	40
Figure 15 : Allure de débits mesurés à une station hydrologique (ici l'Ardèche à Pont-de-Labeaume, année 1996).....	48
Figure 16 : Localisation des stations du bassin de l'Ardèche utilisées pour les simulations	50
Figure 17 : Amélioration des critères de Nash pour la simulation n°3 par rapport à la simulation de référence sans distinction plaines/montagnes	56
Figure 18 : Moyenne mensuelle interannuelle des saturations des réservoirs LPS et MPS pour la station V5004030.....	57
Figure 19 : Moyenne mensuelle interannuelle des débits RD1, RD2 et RG1 pour la station V5004030	58
Figure 20 : L'Ardèche à Meyras, un territoire boisé.....	59
Figure 21 : Moyenne mensuelle interannuelle des débits observés et simulés pour la station V5004030	60
Figure 22 : Cartographie des valeurs de Nash de la simulation n°3 sur le BV de l'Ardèche	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Contenu des bases de données départementales	30
Tableau 2 : Classes d'altitudes utilisées dans HRU-Delin.....	37
Tableau 3 : Classes de sol.....	37
Tableau 4: Fichier sol J2000 type	41
Tableau 5 : paramètres sol, simulation de référence sans distinction plaine/montagne	42
Tableau 6 : paramètres sol, simulation de référence avec distinction plaine/montagne.....	43
Tableau 7 : Paramètres sols, simulation 3	44
Tableau 8 : Paramètres sols, simulation 4	44
Tableau 9 : Récapitulatif des quatre simulations.....	46
Tableau 10 : Liste descriptive des stations du BV de l'Ardèche utilisées dans l'évaluation du modèle J2000-Rhône sur l'Ardèche.....	49
Tableau 11 : Valeurs des Nash (\sqrt{Q}) des stations du BV de l'Ardèche.....	51

Tableau 12 : Valeurs des biais de simulations (%) des stations du BV de l'Ardèche	52
Tableau 13 : Biais moyens (%) des différentes simulations.....	53
Tableau 14 : Nash (\sqrt{Q}) médians pour les différentes simulations	54

I. Présentation globale de l'étude

1. Présentation d'Irstea Lyon-Villeurbanne

L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, plus connu sous le nom d'Irstea, est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST), dont la recherche se focalise sur des problématiques concrètes. Autrement dit, Irstea a pour vocation de proposer des solutions applicables, bénéficiant à la décision publique.

Pour permettre cela, Irstea s'appuie sur neuf centres répartis sur le territoire français, et plus de 1600 collaborateurs. Le stage décrit dans le présent rapport a été effectué dans le centre Lyon-Villeurbanne, au sein de l'unité Hydrologie – Hydraulique Lyon (HHLy), l'une des trois unités de recherche liées au centre de Lyon-Villeurbanne.



Figure 1 : Le centre de Lyon-Villeurbanne

Les recherches de l'unité HHLy se focalisent sur l'étude quantitative et qualitative des eaux, au travers de modélisations, d'études expérimentales, en laboratoire ou in situ. Ces recherches englobent une large variété de phénomènes liés à l'eau, de la protection contre les événements extrêmes au transport sédimentaire, en passant par l'étude des impacts des activités humaines sur la gestion de la ressource en eau.

Cette dernière thématique est d'ailleurs une de celles qui est étudiée par l'équipe « Hydrologie des bassins versants », au travers du projet « Modélisation hydrologique Distribuée du Rhône ».

2. Pourquoi une modélisation hydrologique du Rhône ?

Depuis Gletsch, localité du canton du Valais en Suisse, jusqu'au delta de la Camargue où il se jette dans la Méditerranée, le Rhône s'écoule sur quelques 812 km, et draine un bassin versant de 95 590 km². Sur ce bassin, l'eau est évidemment essentielle à bon nombre d'activités. L'alimentation en eau potable, la production hydro-électrique, l'irrigation, l'industrie ne sont que quelques un des exemples que l'on pourrait citer. Dès lors, il est important de disposer d'outils de gestion de cette ressource en eau, de pouvoir évaluer l'impact des évolutions des pratiques qui y sont liées.

C'est dans ce contexte que plusieurs acteurs ont initié le projet Modélisation hydrologique Distribuée du Rhône (MDR). Sa finalité est d'obtenir un outil de prospective lié à la ressource en eau, en prenant en compte les différents usages qui en sont fait, sur le bassin versant du Rhône donc. La réalisation de cet outil – un modèle hydrologique – est du ressort d'Irstea Lyon-Villeurbanne, et plus particulièrement de son unité de recherche Hydrologie – Hydraulique. Sa conception ayant débuté en 2013, le modèle doit être en mesure de représenter de manière réaliste les processus physiques majeurs sur l'ensemble du BV, tout en prenant en compte leur variabilité spatiale. D'autre part, ce projet prend cadre dans un contexte qui est celui du changement climatique, d'où l'utilité des études prospectives qui évalueront quels impacts potentiels pourraient influencer les usages de l'eau.

Outre Irstea, trois autres acteurs ont un rôle dans ce projet. Il s'agit de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), et du Fond Européen de Développement Economique et Régional (FEDER). Ces trois organismes co-financent le projet MDR.

3. Comment modéliser ?

a. J2000

Le modèle hydrologique développé par Irstea pour le projet se base sur le modèle J2000¹ (Krause et al., 2006). C'est à l'université de Jena en Allemagne (au Department of Geoinformatics, Hydrology and Modelling) qu'a été créé ce modèle semi distribué, dont le développement a débuté en 1997.

¹ http://ilms.uni-jena.de/ilmswiki/index.php/Hydrological_Model_J2000



Qu'est-ce qu'un modèle hydrologique distribué ?

La notion de modèle hydrologique distribué signifie que le bassin versant étudié est divisé en plusieurs entités spatiales. En pratique, ce découpage peut prendre la forme d'un maillage, et permet donc d'observer la variabilité spatiale des phénomènes étudiés. Dans le cas de J2000, le modèle est plus précisément dit semi-distribué, ce qui veut dire que certains paramètres sont tout de même globalisés sur l'ensemble du bassin.

Ecrit en langage Java, ce modèle dispose de plusieurs particularités qui en font un choix pertinent pour cette étude.

- **J2000 est un modèle adapté aux bassins de large échelle**
c'est-à-dire de quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers de km² (ce qui correspond donc bien aux près de 100 000 km² du BV du Rhône).
- **Ce modèle se veut flexible**
Cet aspect-là se traduit de diverses manières. Pour commencer, J2000 et la plateforme dans lequel il est développé (JAMS –Just Another Modelling System²), sont des logiciels dit « open-source ». Cela signifie que le code source du modèle est à disposition du grand public peut être modifié par l'utilisateur s'il le désire. Ce qui sera le cas ici. L'architecture modulaire de J2000 (telle que présentée dans la figure 1) est une autre caractéristique intéressante de ce modèle, qui là encore, améliore l'adaptabilité de ce modèle. Et pour finir, un avantage un peu moins technique : J2000 est gratuit.
- **J2000 modélise une très large palette de phénomènes physiques**
Ceci nous ramène à la notion de modularité de J2000. Infiltration, ruissellement, évapotranspiration, écoulements dans la nappe phréatique, J2000 permet d'avoir une représentation globale des phénomènes physiques en lien avec l'eau. La figure ci-dessous permet de se faire une idée du fonctionnement de J2000

² <http://jams.uni-jena.de/>

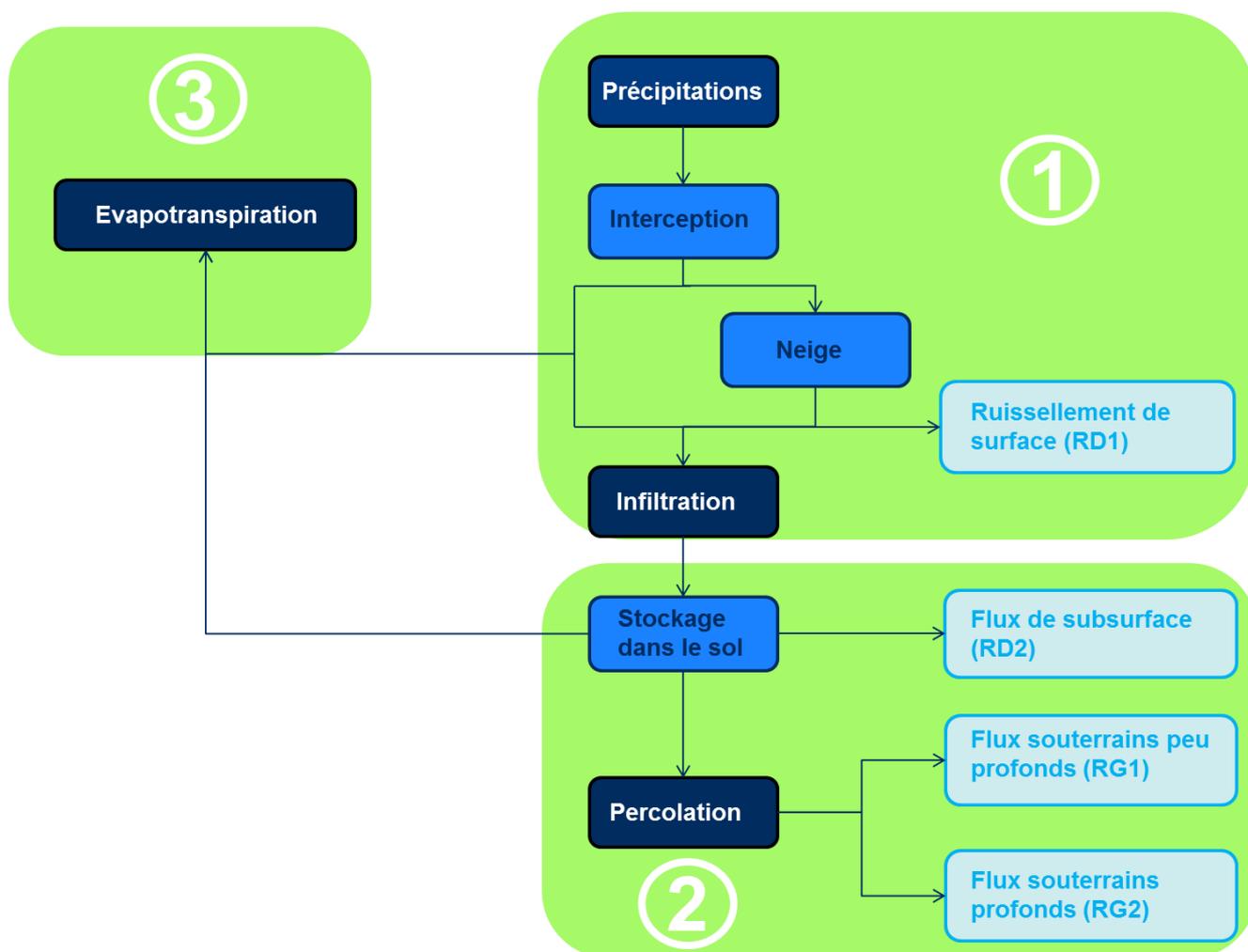


Figure 2 : Schéma du fonctionnement de J2000³

Quelques explications pour mieux comprendre cette figure descriptive de J2000

- **Cadre n°1**

Lors d'un évènement pluvieux, plusieurs « trajectoires » sont possibles pour l'eau. Une partie est interceptée par le couvert végétal, qui varie au cours de l'année. Ce phénomène est pris en compte par le module interception, qui est un module réservoir. Reste la part nette des précipitations qui soit s'infiltrer, soit ruisselle. Ce ruissellement constitue le premier des quatre types de flux produits par J2000.

A noter également que J2000 possède un module « Neige » prenant en compte l'ensemble des phénomènes liés à la neige, de son accumulation jusqu'à la fonte.

³ Ce schéma est une version légèrement simplifiée inspirée d'une figure présentée dans le rapport MDR 2015, jointe en annexe 9

- **Cadre n°2**

Une fois l'eau infiltrée, l'eau remplit différentes parties du sol. J2000 fait une distinction entre les réservoirs de macro-pores (c'est-à-dire les plus grossiers) qui sont occupés par l'eau dite gravitaire, et ceux de pores plus fins. Dans ce dernier cas, c'est la capacité au champ qui est représentée, qui n'est utilisée que lorsque le sol est préalablement chargé en eau. S'il l'on est en présence d'un substrat peu infiltrant, ou de pente importante, un flux de subsurface est généré (RD2).

Si tel n'est pas le cas, l'eau restante se répartit dans les deux derniers flux du modèle : les flux souterrains peu profonds (RG1) et profonds (RG2).

- **Cadre n°3**

Finalement, l'évapotranspiration est elle aussi prise en compte. Celle-ci est calculée à partir de l'eau interceptée par la végétation, et de la réserve utile. Ce second paramètre, lié aux sols, sera détaillé plus en détail par la suite.

Comme déjà évoqué en début de cette partie, J2000 simule les différents processus hydrologiques sur un maillage. Ce dernier est néanmoins assez particulier, puisqu'il ne prend pas la forme des traditionnels maillages triangulaires ou rectangulaires. En effet, le maillage de J2000 est irrégulier. Pour comprendre les raisons de cette particularité, il est à noter que les mailles sont appelées « unités de réponse hydrologiques » (ou HRUs, Hydrological Response Units). Ces mailles sont basées sur une représentation simplifiée de l'espace à base de réservoirs, et ont un comportement hydrologique supposé homogène entre elles (d'où l'irrégularité de leurs formes).

A chaque pas de temps (journalier dans le cas de J2000), les flux sont transférés d'HRU en HRU, jusqu'à atteindre le réseau hydrographique, comme présenté sur la figure ci-dessous :

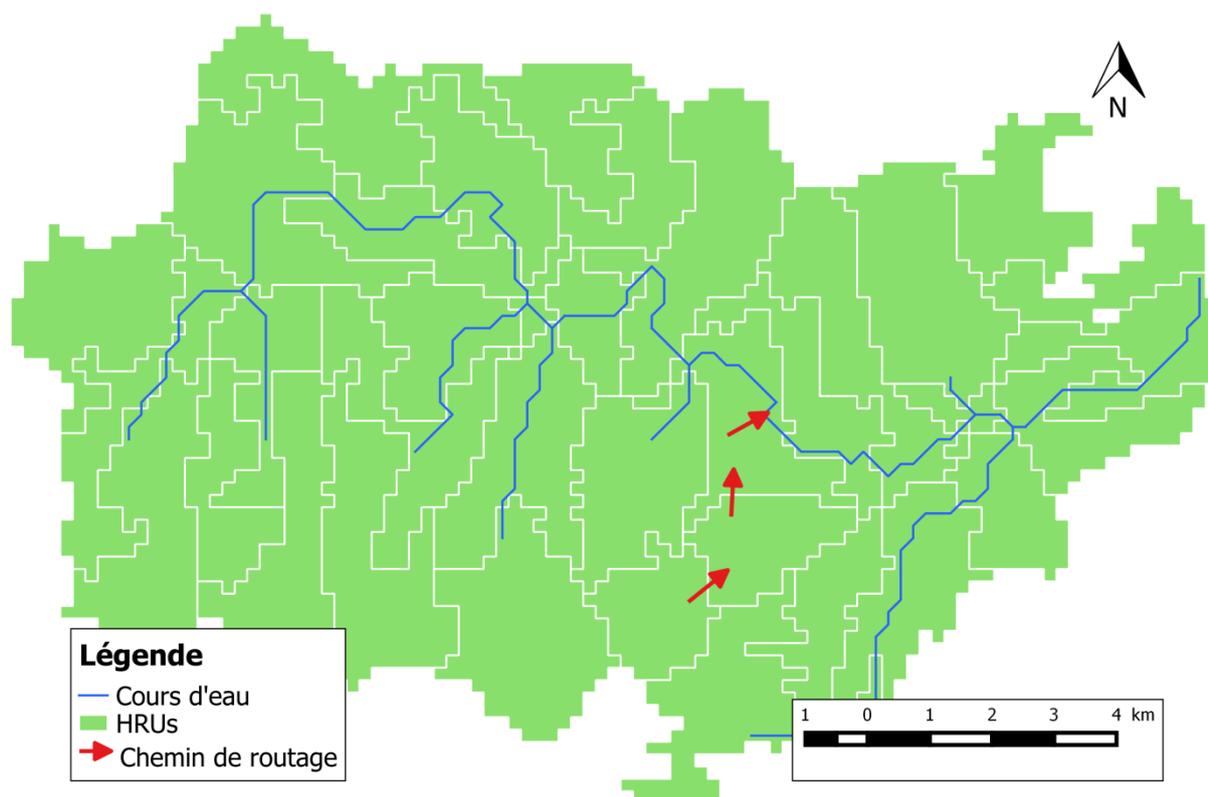


Figure 3 : Extrait d'un BV découpé en HRUs

b. J2000-Rhône

Bien entendu un modèle requiert des données pour fonctionner. Or J2000, développé à Jena, est pensé pour fonctionner sur des bassins situés en Allemagne. Pour pouvoir fonctionner convenablement sur le BV du Rhône, J2000 a donc été adapté en une nouvelle version, J2000-Rhône. Quelques modifications ont été apportées aux modules du modèle abordé plus haut. Certaines fonctionnalités ont été supprimées, tel que le flux RG2 (souterrain profond, figure 2). Mais d'autres, comme les nouveaux modules relatifs aux réservoirs, dérivations, ou à l'irrigation, ont été ajoutées.

Quant aux données, voilà celles qui sont mises à contribution par le modèle :

- Un MNT, le modèle numérique de terrain Aster⁴ du bassin versant du Rhône. Ce MNT est à une résolution à 30 m tandis que les données qui y sont liées ont été agrégées à 200m.⁵
- Les données climatiques sont issues de l'analyse SAFRAN (Vidal et al., 2010), produites par Météo-France (Centre National de Recherches Météorologiques, CNRM). Ces données sont d'une résolution de 8x8 km.⁶

⁴ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflexion radiometer

⁵ <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

⁶ <http://www.cnrm-game-meteo.fr/spip.php?article788>

- Une carte d'occupation des sols, décrivant la répartition des différentes entités sur la zone d'étude : terres agricoles, forêts, étendues d'eau, etc. Cette carte est élaborée à partir de la base de données européenne Corine Land Cover 2006, d'une résolution de 100m.⁷
- Une carte géologique au 1 / 250 000ème, produite par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).
- Et pour finir, les données dont il sera le plus question dans ce rapport : une carte pédologique. Ces informations relatives aux sols sont regroupées dans une carte au 1/1 000 000ème. On observera qu'il n'y a donc pas nécessairement la même résolution entre les différentes cartes utilisées par J2000. Utilisées jusqu'alors, ces données sont issues de la Soil European Database⁸.

Il existe cependant une alternative à ces données. A une échelle plus restreinte, des cartes pédologiques au 1/250 000ème existent par exemple pour le bassin versant de la Durance. Si à terme, l'ensemble du bassin du Rhône devrait être couvert par de telles cartes, ce n'est pas encore le cas actuellement. Mais ces données sont intégrées au fur et à mesure du projet, et sont disponibles pour une nouvelle zone : l'ex région Rhône-Alpes. Voilà la première étape de ce travail, intégrer ces données au modèle. Avec cette résolution plus précise, au 1/250 000 ème, le gain espéré est une amélioration des résultats du modèle.

⁷ <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/li/1825.html>

⁸ <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/european-soil-database-v20-vector-and-attribute-data>

4. Présentation de la zone d'étude

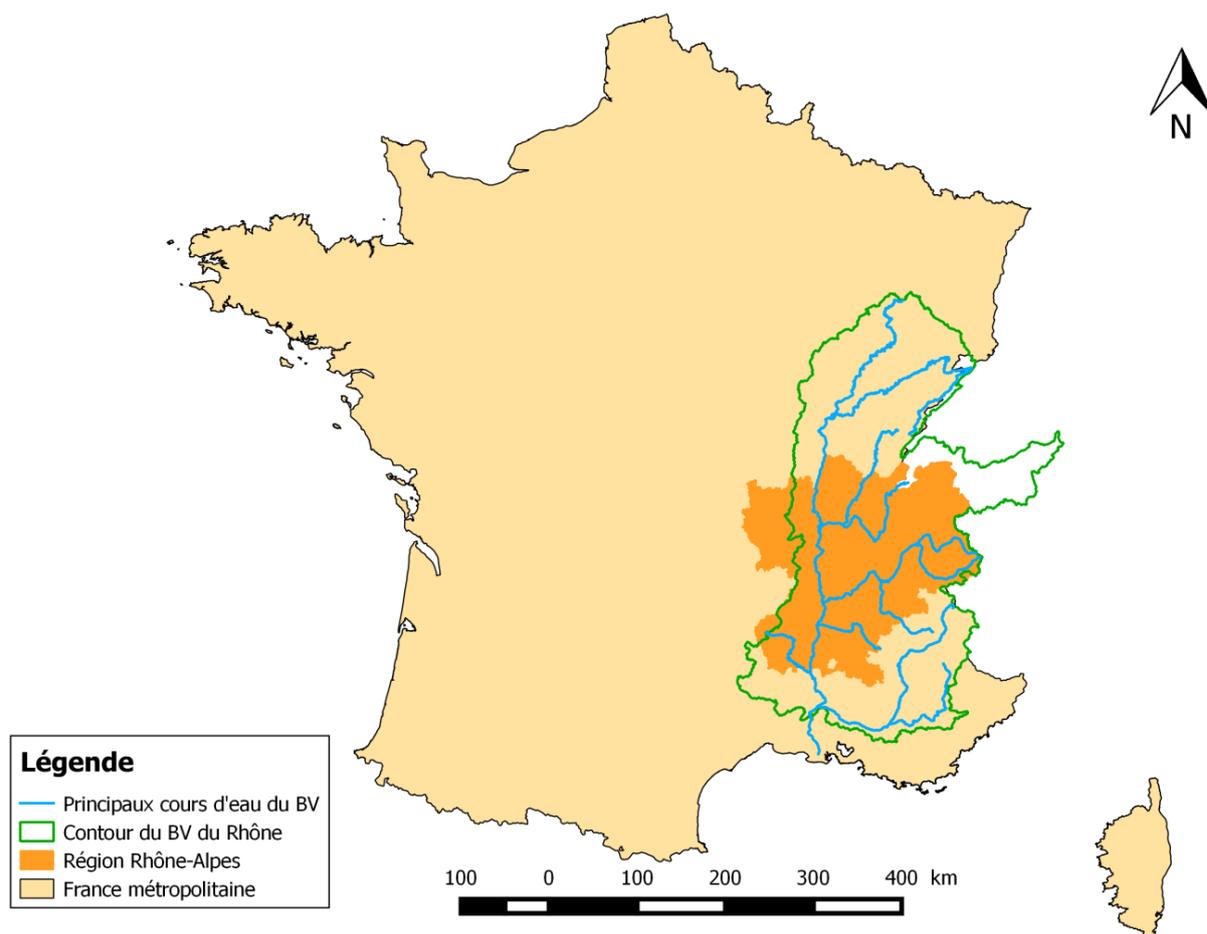


Figure 4 : Carte du bassin versant du Rhône modélisé dans J2000-Rhône, et de la région Rhône-Alpes

Se répartissant en majeure partie dans l'est de la France, mais aussi sur une partie de la Suisse, le bassin versant du Rhône (en vert sur la figure 4) couvre de nombreuses régions françaises. Celle qui occupe la plus grande part est la région Rhône-Alpes. La région et ses huit départements (l'Ain, l'Ardèche, la Drôme, l'Isère, la Loire, le Rhône, la Savoie et la Haute-Savoie) présentent une grande variété de paysages, et de pédo-paysages. Cette diversité n'est évidemment pas sans influence sur l'hydrologie de la région, et peut être illustrée par les reliefs variés, dus à la cohabitation d'une large part d'ensembles montagneux (le Jura, le Massif Central et les Alpes) avec des zones de plaine telles que la vallée du Rhône. Pour finir, citons deux des plus importants cours d'eau de la région : le Rhône, et un de ses principaux affluents, la Saône.

Il apparaît également sur cette carte que l'exutoire du bassin versant du Rhône considéré dans la modélisation ne coïncide pas avec la limite aval de son embouchure, au niveau de la

Méditerranée. En fait, l'exutoire du bassin versant correspond à la station de mesure la plus en aval sur le Rhône, au niveau de la station de Beaucaire-Tarascon.

5. Le projet MDR : points clés et objectifs de l'étude

Pour clôturer cette partie de présentation du projet, et de ce stage, voici quelques informations sur l'état d'avancement du projet MDR. Comme expliqué plus haut, ce dernier a débuté en 2013, et certains résultats ont donc d'ores et déjà pu être obtenus.

▪ Un projet en deux phases

La première année a eu pour but le déploiement du modèle hydrologique en hydrologie naturelle lui-même. La collecte des données, leur mise en forme, le développement de J2000-Rhône ont constitué le gros du travail. La seconde phase du projet vise elle à implémenter divers modules de gestion (Alimentation en eau potable, prélèvements liés à l'agriculture, production hydro-électrique). Des exercices de prospectives y sont menés, jusqu'à l'horizon 2050.

▪ ... Qui ne reste pas figé dans le temps

Des améliorations sont continuellement apportées au modèle. Outre celles touchant les données sols décrites dans cette étude, il est possible de citer l'ajout de nouvelles données météorologiques. Sur les zones de montagnes, plutôt que les données SAFRAN, qui avaient montré leur limite sur les zones de relief, les données SPAZM (Gottardi et al., 2012), produites par EDF et intégrant plus de stations en zone de montagne, ont été utilisées avec des résultats améliorés.

▪ Les résultats tendent à être bons

Sur les 234 stations de mesure du bassin, 117 (soit 50%) ont un critère de Nash (voir définition en section IV.1.a) supérieur à 0,5. 73% (171/234) d'entre elles ont un critère de Nash supérieur à 0,3.

▪ De nouvelles améliorations en perspective via la présente étude ?

C'est en tout cas ce qui est espéré par le biais de ce travail. Nous l'avons vu en toute fin de partie I.b., de nouvelles données sols au 1/250 000ème ont été obtenues. Les objectifs du travail présenté dans ce mémoire étaient doubles :

- 1) Mettre en forme les données au 1/250 000ème, couvrant la totalité de l'ancienne région Rhône-Alpes, et les transférer dans une base de données commune, puis en déduire des propriétés caractéristiques des sols utiles à la modélisation hydrologique
- 2) Evaluer l'apport de ces nouvelles données sur la qualité des simulations du modèle J2000-Rhône. Pour ce faire, nous nous sommes focalisés sur une zone d'étude réduite située en région Rhône-Alpes : le bassin de l'Ardèche auquel d'autres travaux s'étaient déjà intéressés. Sur ce bassin, les nouvelles données ont servi à dériver un nouveau maillage et de nouveaux fichiers de paramètres sols, avant de réaliser de nouvelles simulations avec J2000-Rhône sur la période 1985-2012. Ces nouveaux résultats ont été

comparés aux observations et à la simulation de référence exploitant la base de données européenne. Pour des questions de cohérence avec le travail réalisé précédemment et parce que le développement d'un modèle horaire dépassait largement le cadre de ce stage, cette évaluation a été réalisée avec des données journalières, même si des données horaires auraient permis de mieux mettre en valeur l'apport des données à plus haute résolution.

Ces données, couvrant la totalité de l'ancienne région Rhône-Alpes, vont dans un premier temps être mises en forme et transférées dans une base de données commune. Cette étape préalable réalisée, il sera possible d'exploiter ces dernières, sur le bassin versant de l'Ardèche : nous en tireront un maillage, et nous les intégreront à J2000. Les résultats des modélisations effectuées seront finalement observés et analysés.

II. Création des bases de données sol

1. Présentation des données

a. Origine des données

Les nouvelles bases de données sol des huit départements ont pu être constituées grâce au Groupement d'Intérêt Scientifique Sol⁹ (GIS Sol), constitué d'un ensemble d'organismes ayant trait à la pédologie, comme l'INRA ou le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Le Gis Sol a mené le programme IGCS (Inventaire, Gestion et conservation des sols) qui vise à identifier, définir et localiser les principaux types de sols de territoires. Les propriétés des sols sont ainsi cartographiables par les différents acteurs ayant trait à l'agriculture ou à l'environnement, à une échelle au 1/250 000ème dans notre cas.

b. Contenu des bases de données

Les données fournies pour la région Rhône-Alpes se présentent sous forme de bases de données MS-Access. Contrairement à ce qui est désiré à terme, il y a bien plusieurs bases de données (une par département, soit huit en tout, figure 5) et non une base de données commune à l'ensemble de la région.

⁹ <https://www.gissol.fr/>

Les départements rhônalpins



Figure 5 : Les huit départements de la région Rhône-Alpes

(Source : rhonealpes.fr)

Les sols de la région sont découpés selon le type de pédopaysage qu'ils représentent. Ces paysages sont définis par une combinaison de caractéristiques des sols (nature du sol, pente, orientation, profondeur, pH, etc.). Plusieurs classes homogènes de sol sont ainsi définies dans ce que l'on appelle des « unité typologiques de sol » (UTS). Les UTS sont donc des catégories conceptuelles de sol, définies uniquement selon les caractéristiques « intrinsèques » des sols. En conséquence de quoi ces UTS ne peuvent pas contenir de référence quant à la localisation des sols. Or cette information est aussi nécessaire, puisque c'est bien l'élaboration d'une carte des sols qui est souhaitée.

Ceci sera apporté par des « Unités Cartographiques de Sol » (UCS), qui sont les unités géographiques élémentaires de cette base pédologique. Celles-ci contiennent une ou plusieurs UTS. Chacune de ces UCS se voit attribuer un numéro qui lui est propre ; cela permet d'établir un

lien entre la base de données et la couche d'information utilisée pour la carte des propriétés des sols.

Afin de clarifier ces notions d'UTS et d'UCS, voici un schéma mettant ces deux notions en images :

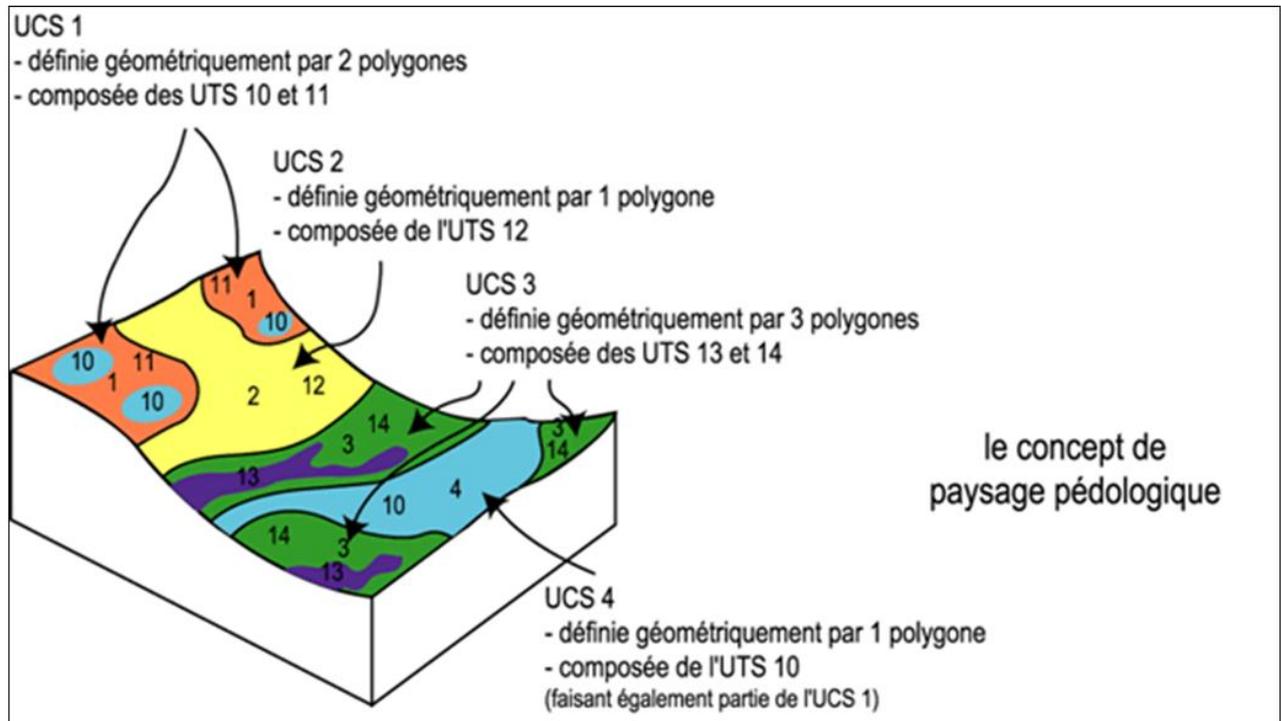


Figure 6 : Découpage d'un paysage en UTS et UCS

(Source : <http://acklins.orleans.inra.fr/programme/bdgsf/contenu.php>)

Concrètement, ces UTS sont définies à partir d'analyses menées au niveau de profils de sols, c'est-à-dire par le biais d'ouvertures, et de description de fosses pédologiques.

Les UTS, les UCS, et l'ensemble des données sols des huit départements se trouvent dans des bases de données, dont voilà un tableau décrivant la structure (identique quel que soit le département):

Tableau 1 : Contenu des bases de données départementales

Table	Description
Etude	La table Etude décrit l'étude de façon générale : numéro de cette dernière, échelle, année, titre, thème, etc. La table Etude fait partie des tables de données générales sur l'étude.
L_ucs_uts	La table l_ucs_uts indique l'affectation de l'Unité Typologique de Sol (UTS) à une Unité Cartographique de Sol (UCS). Elle permet de relier, pour une étude donnée, une UTS à une UCS qui la contient et de décrire, s'il y a lieu, son organisation par rapport aux autres UTS présentes dans cette UCS. Une UTS peut appartenir à une ou plusieurs UCS. Il y a donc autant d'enregistrements dans la table l_ucs_uts qu'il y a d'UCS auxquelles l'UTS appartient.
Strate	La table strate décrit, pour chaque Unité Typologique de Sol (UTS), l'organisation spatiale des strates (numéro, nom, profondeur d'apparition, épaisseur, forme, horizons de sol, etc.) qui lui sont affectées.
Strate_qual	Comme son nom l'indique, la table strate_qual décrit les variables qualitatives caractéristiques des strates d'une Unité Typologique de Sol. Les variables qualitatives correspondent à des données descriptives, par exemple la couleur, la texture, les éléments grossiers.
Strate_quant	La table strat_quant décrit quant à elle... les variables quantitatives caractéristiques des strates d'une Unité Typologique de Sol. Les variables quantitatives correspondent à des données analytiques tels que la granulométrie, le taux de matière organique, le taux de calcaire, etc.
Ucs	La table ucs est la table de DoneSol qui décrit les Unités Cartographiques de Sol (UCS) d'une étude et leur environnement (altitude, domaine morphologique, type de paysage, etc.).
Uts	La table UTS est la table de DoneSol qui décrit les Unités Typologiques de Sol (UTS).
Uc_carto	Enfin, il est nécessaire de disposer une table qui permettra d'exporter les données vers un logiciel SIG. Ceci est réalisé avec la table uc_carto, qui renseigne les géométries des différentes entités.

2. Structuration des bases de données

a. Migration vers PostgreSQL depuis Access

La première étape consiste à faire migrer ces bases Access vers un autre système de gestion de bases de données, PostgreSQL¹⁰. En effet, PostgreSQL est plus adapté qu'Access à l'exploitation de ces données, et est en accès libre. Il possède notamment une extension, postGIS, qui permet la manipulation d'informations géographiques contenues dans ces tables sous forme de géométries. Grâce à postGIS, PostgreSQL peut donc être utilisé par des systèmes d'informations géographiques, QGIS¹¹ dans notre cas.

Ci-dessous, un schéma qui résume le processus de création de la base de données des sols de la région Rhône-Alpes.

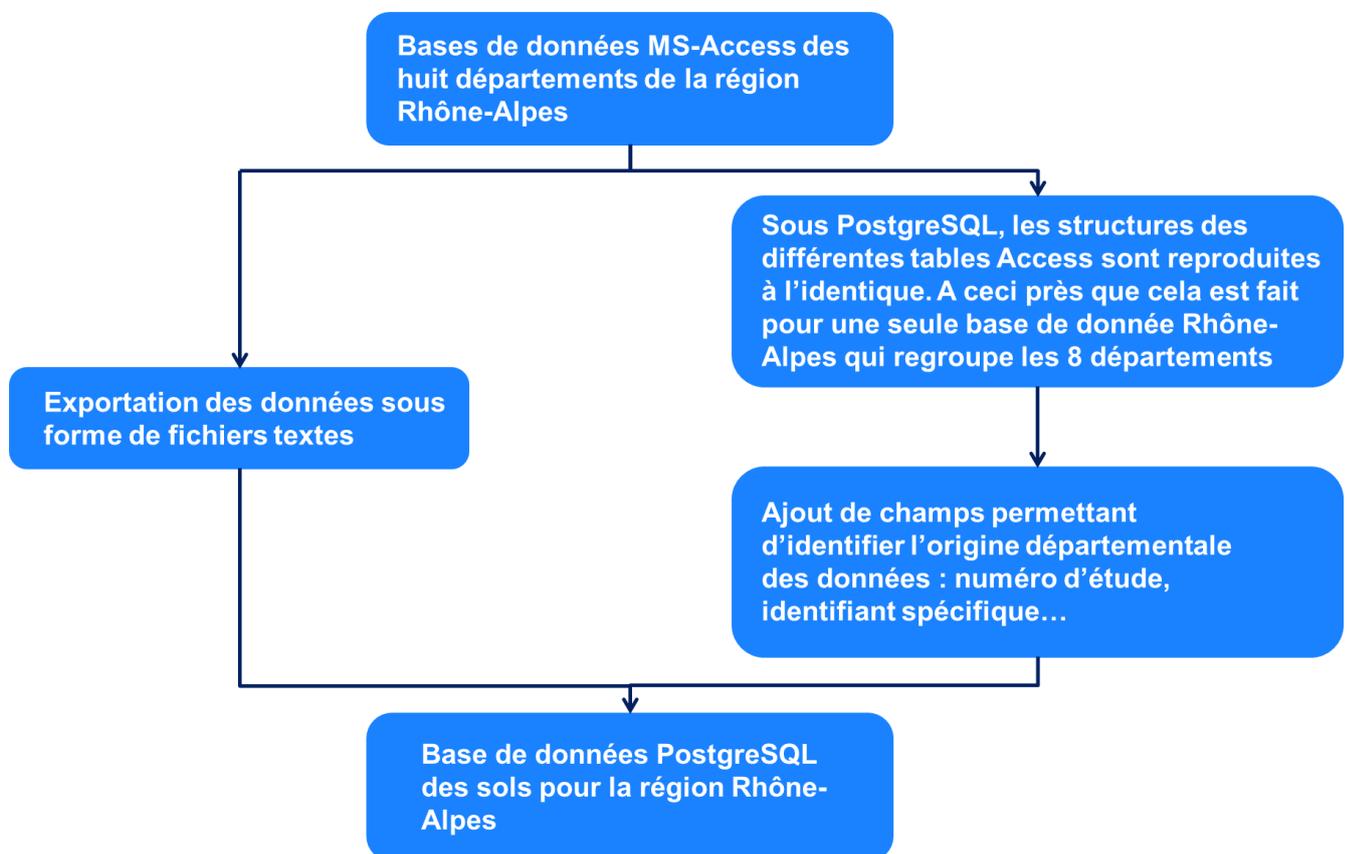


Figure 7: Schéma explicatif de la migration des bases de données

¹⁰ <https://www.postgresql.org/>

¹¹ Quantum GIS, <http://www.qgis.org/fr/site/>

b. Exploitation de la base de données PostgreSQL

La base de données PostgreSQL créée, il convient de calculer un certain nombre de paramètres pour ces sols. Les résultats de ces calculs sont eux-mêmes stockés dans la base de données Rhône-Alpes sous la forme de nouvelles tables qui y sont ajoutées.

Il est donc à noter que deux types de données sont contenus dans cette base :

- Un ensemble de paramètres directement contenus dans les bases de données départementales à partir desquelles a été construite la base de données Rhône-Alpes (pourcentages de sable, d'argile dans les sols, épaisseurs, taux d'éléments grossiers...). Notons que l'attribution d'une valeur d'un de ces paramètres à une UCS peut se faire de deux manières différentes : en ne prenant en compte que l'UTS majoritaire au sein de l'UCS, ou en prenant la moyenne pondérée des différentes UTS.
- Mais aussi des paramètres calculés à partir de ceux présentés ci-dessus. En s'appuyant sur les fonctions de pédo-transfert de Rawl et Brakensiek (1985), sont entre autres calculés les conductivités hydrauliques à saturation, porosités moyennes et maximales.

Le nombre de tables et vues qui ont ainsi été créées est assez conséquent, et le détail du contenu de chacune d'entre elles ne serait pas d'un grand intérêt, d'autant plus que certaines de ces tables ont uniquement été créées comme intermédiaires à la construction d'autres tables. Il ne sera donc détaillé ici que le contenu des tables les plus importantes, notamment celles utilisées pour J2000-Rhône.

Dès lors que les bases de données sont construites, elles peuvent être exportées vers QGIS. Cette action s'effectue via l'extension PostGIS, et va permettre d'aborder la phase suivante du travail.

c. Quelques cartes issues des tables créées

Comme évoqué dans la partie II.2.a, il est possible de visualiser le résultat des bases de données créées sous QGIS. Voici donc quelques cartes, qui permettent non seulement d'avoir une meilleure idée du contenu de la nouvelle base donnée Rhône-Alpes, mais qui introduisent aussi certains paramètres qui auront leur importance dans la suite de l'étude.

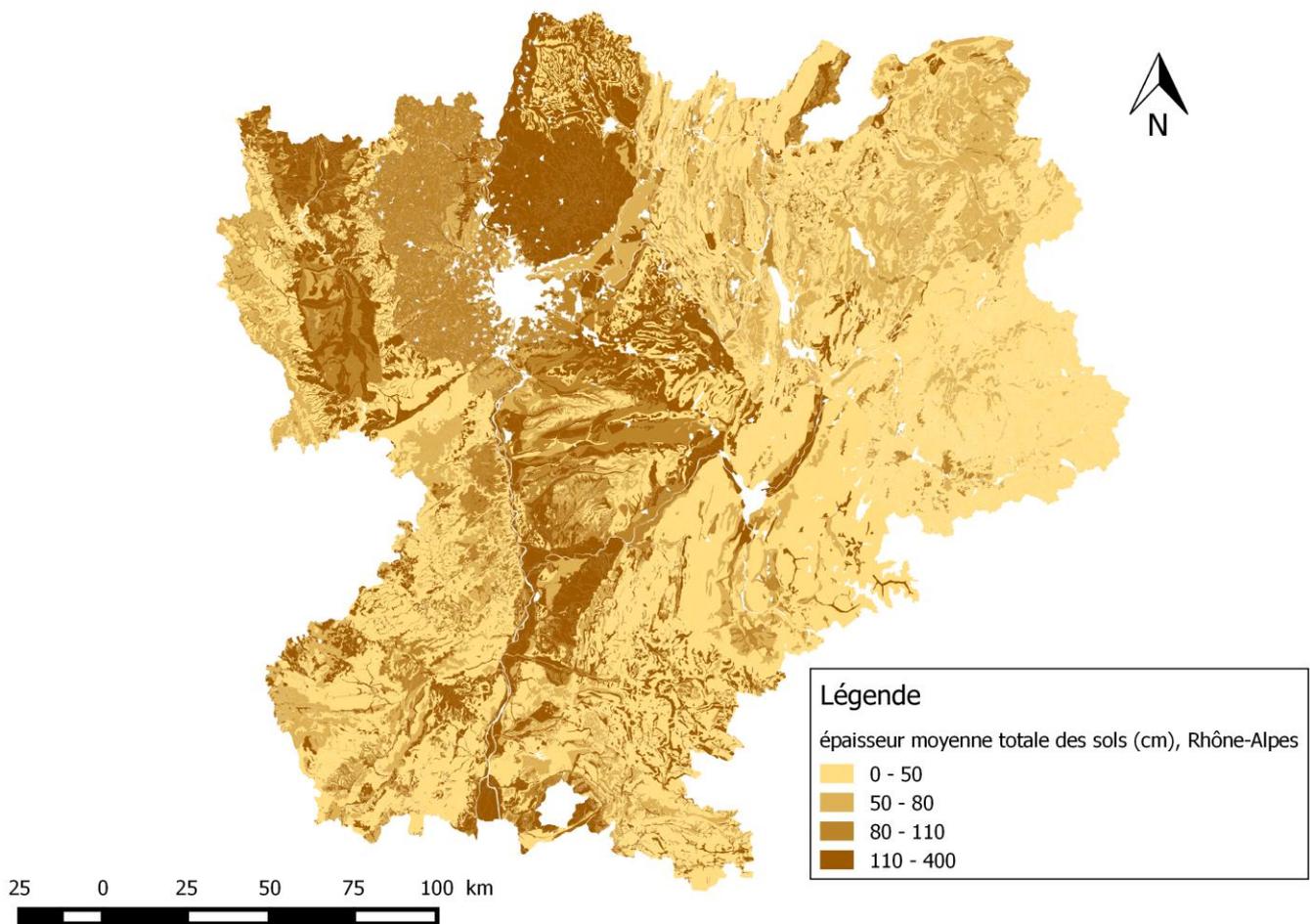


Figure 8 : épaisseur moyenne totale des sols, Rhône-Alpes

Ci-dessus, l'épaisseur moyenne totale des sols sur la région Rhône-Alpes. Ce paramètre représente l'épaisseur qu'atteint un sol avant d'être arrêté par ce qui est communément appelé la roche mère. C'est toujours via les campagnes d'études par lesquelles ont été réalisées diverses fosses pédologiques qu'ont été obtenues ces valeurs. Une remarque toutefois : les valeurs renseignées sont à voir comme des valeurs minimales. Il arrive en effet que dans les bases de données le dernier horizon ne soit pas décrit.

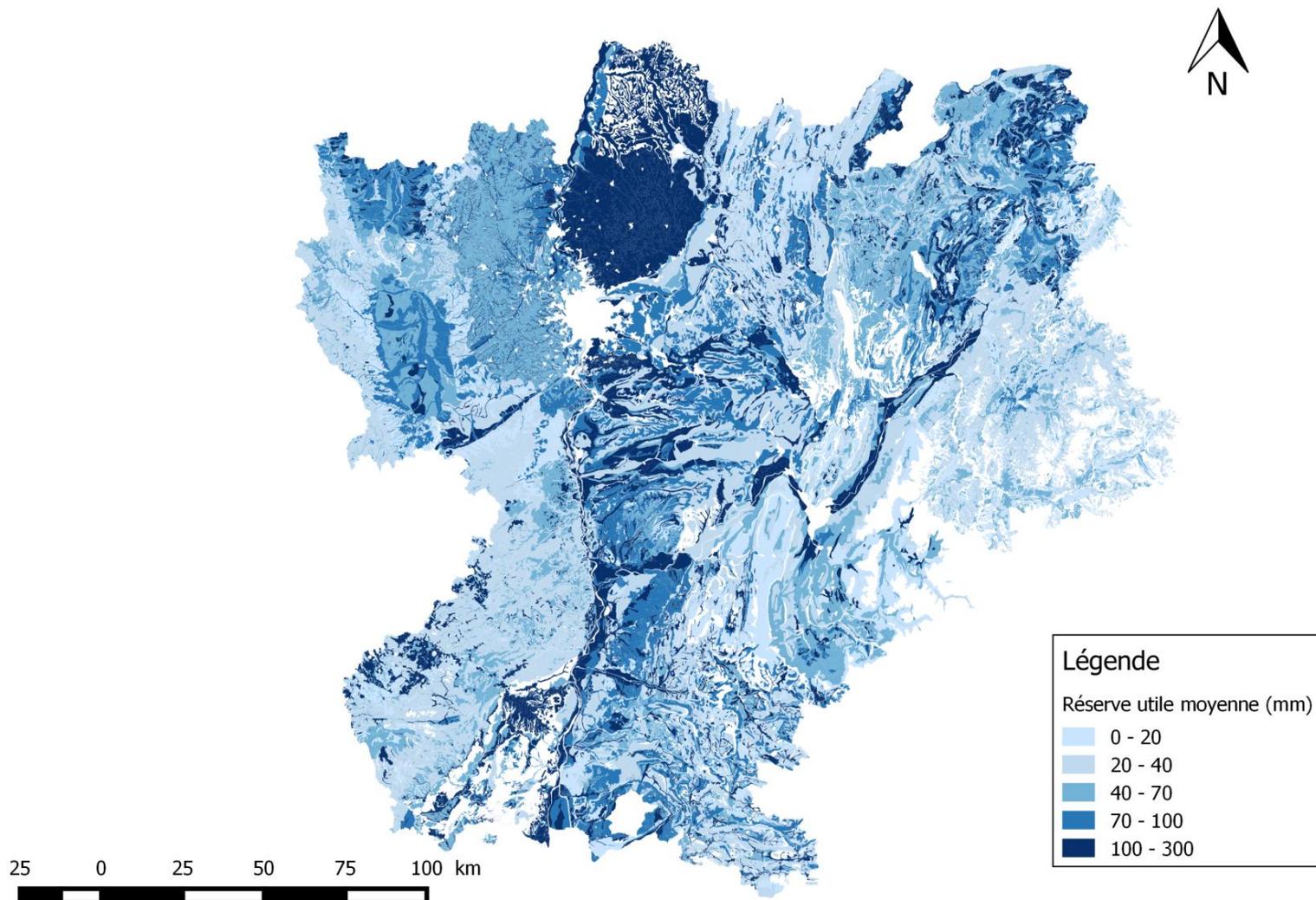


Figure 9 : Réserve utile moyenne, Rhône-Alpes

Un autre des paramètres calculé à partir des bases de données est la réserve utile (RU) des sols de la région. Cette réserve représente la quantité d'eau que le sol peut absorber, puis restituer aux végétaux par la suite.

La région Rhône-Alpes n'était pas la dernière région qui ne disposait pas de carte des sols au 1/250 000ème. Ces cartes sont même encore incomplètes à ce jour¹², même si quelques zones supplémentaires ont pu être mises en forme au cours du stage :

3. Autres régions

Haute-Marne

De manière analogue à ce qui a été réalisé pour la région Rhône-Alpes, une base de données du département de la Haute-Marne a été réalisée.

En effet, la partie sud-est de ce département de la région Grand Est intersecte le bassin versant du Rhône (figure 10).

La structure de table Access fournie est la même que celle pour la région Rhône-Alpes, et il en va de même pour celle qui est construite sous PostgreSQL.

Certaines cartes obtenues grâce à ces bases de données sont présentées en annexes 5 et 6.

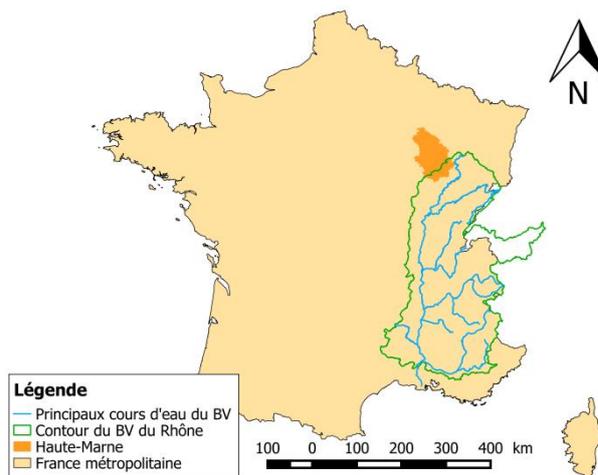


Figure 10 : Carte du BV du Rhône modélisé dans J2000, et de la Haute-Marne

¹² Les bases de données de la Bourgogne, de la Franche-Comté et du département des Vosges ne sont par exemple pas encore disponibles

III. Application du modèle J2000-Rhône à l'Ardèche

Les bases de données étant établies, reste à les exploiter. Pour ce faire, c'est le bassin versant de l'Ardèche qui a été retenu comme bassin test. Ce bassin versant correspond à celui de la rivière du même nom. Depuis sa source au col de la Chavade jusqu'à la confluence avec le Rhône à Pont-Saint-Esprit, ce cours d'eau s'écoule sur 120 km et draine un BV de près de 2500 km², en comptant évidemment de nombreux affluents : Le Chassezac, la Beaume ou la Volane, pour n'en citer que quelques-uns des plus importants.¹³



Pourquoi ce choix de l'Ardèche ?

L'Ardèche, ou plus exactement son bassin versant, a été choisie comme zone d'étude particulière pour plusieurs raisons : la première est de travailler sur une zone réduite dans un premier temps, plus facilement compréhensible, afin d'avoir une meilleure lisibilité quant aux résultats obtenus.

Mais ce n'est pas la seule raison. En effet, le fait d'étudier le BV de l'Ardèche permet de ne pas être en terrain totalement inconnu, puisque d'autres projets ont déjà été menés sur cette zone. Par exemple, le projet Floodscale¹⁴ (Braud et al., 2014), tourné vers l'étude des crues éclaircies, étudiait lui aussi les processus hydrologiques de ce BV au moyen de simulations. A cela s'ajoute que l'Ardèche est particulièrement intéressante pour un des principaux partenaires du projet MDR, la Compagnie Nationale du Rhône. En effet, si la CNR n'est pas elle-même gestionnaire des barrages situés sur ce BV, elle possède en revanche un certain nombre d'ouvrages hydro-électriques à l'aval de Pont-Saint-Esprit, zone de confluence entre l'Ardèche et le Rhône, qui se retrouvent donc influencés par le BV Ardéchois. Pour finir, le bassin versant de l'Ardèche, ponctué de plaines, plateaux et montagnes, possède une topographie diversifiée qui n'est pas sans intérêt pour cette étude.

1. Génération des HRUs

Avant de pouvoir effectuer la simulation à proprement parler sur le bassin versant de l'Ardèche, il est nécessaire de générer les HRUs de cette zone. En partie I.5, il avait été vu que ces dernières sont en fait un ensemble de zones, présentant chacune une réponse homogène sur le plan hydrologique, qui correspond au maillage du modèle. Cette étape a une importance toute particulière, puisque c'est grâce à elle que nous obtiendrons certains fichiers indispensables au

¹³ <http://www.ardeche-eau.fr/presentation-du-territoire-et-du-reseau-hydrographique.html>

¹⁴ Observation et modélisation multi-échelles pour la compréhension et la simulation des crues éclaircies
<https://floodscale.irstea.fr/front-page-en>

modèle J2000. Par ailleurs, les choix effectués pour obtenir ces fichiers influenceront évidemment les jeux de paramètres obtenus.

Ainsi, ces entités sont générées en prenant en compte un certain nombre de paramètres. Tout d'abord, un MNT du bassin versant, à partir duquel seront extraites à la fois des informations topographiques telles que l'altitude (divisée en classes, tableau 2), les valeurs des pentes et leurs orientations, mais aussi des informations relatives aux flux orientés, comme les directions de drainage par exemple. La création des HRUs fait aussi appel à trois rasters relatifs à la géologie, l'occupation des sols, et les sols (le paramètre représenté pour cette dernière catégorie étant l'épaisseur des sols). Finalement, une couche SIG de vecteurs représentant les stations de jaugeage est nécessaire. Leur inclusion dans l'obtention du maillage permet d'identifier les HRUs et sous-bassins drainés pour chaque station.

Le découpage en HRU a été effectué grâce à un utilitaire HRU-delin développé dans le cadre du projet MDR (Tilmant et al., 2015) et adapté d'un logiciel GRASS-HRU¹⁵ développé à l'Université de Jena.

Tableau 2 : Classes d'altitudes utilisées dans HRU-Delin

Classe	Intervalle d'altitude (m)
1	0 - 500
2	500 - 1000
3	1000 - 1500
4	1500 - 2000
5	2000 - 2500
6	2500 - 3000
7	3000 - 3500
8	3500 - 4000
9	4000 - 4500
10	4500 - 5000

Bien entendu, le raster lié aux sols du BV de l'Ardèche est remplacé par une nouvelle version issue des bases de données précédemment créées. Ce raster discrétise les sols du BV en quatre catégories (tableau 3) :

Tableau 3 : Classes de sol

Classe de sol	Intervalle d'épaisseur (cm)
1	> 110
2	80 - 110
3	50 - 80
4	0 - 50

Ces classes ont été choisies dans l'optique de pouvoir réaliser des comparaisons avec les précédentes études. Dans ces dernières, ces quatre mêmes classes avaient aussi été choisies (figures 11 et 12).

¹⁵ <http://ilms.uni-jena.de/ilmswiki/index.php/GRASS-HRU>

La visualisation des deux versions de ce raster permet de se faire une première idée du gain de précision obtenu.

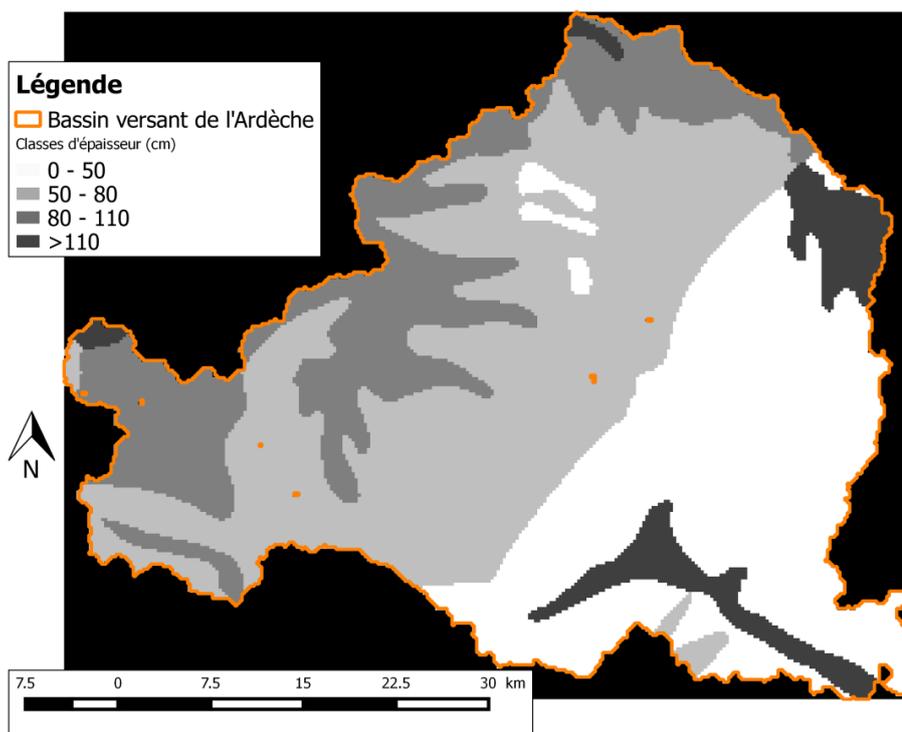


Figure 11 : Ancien raster sol utilisé dans HRU-Delin (4 classes issues de la European Soil Database)

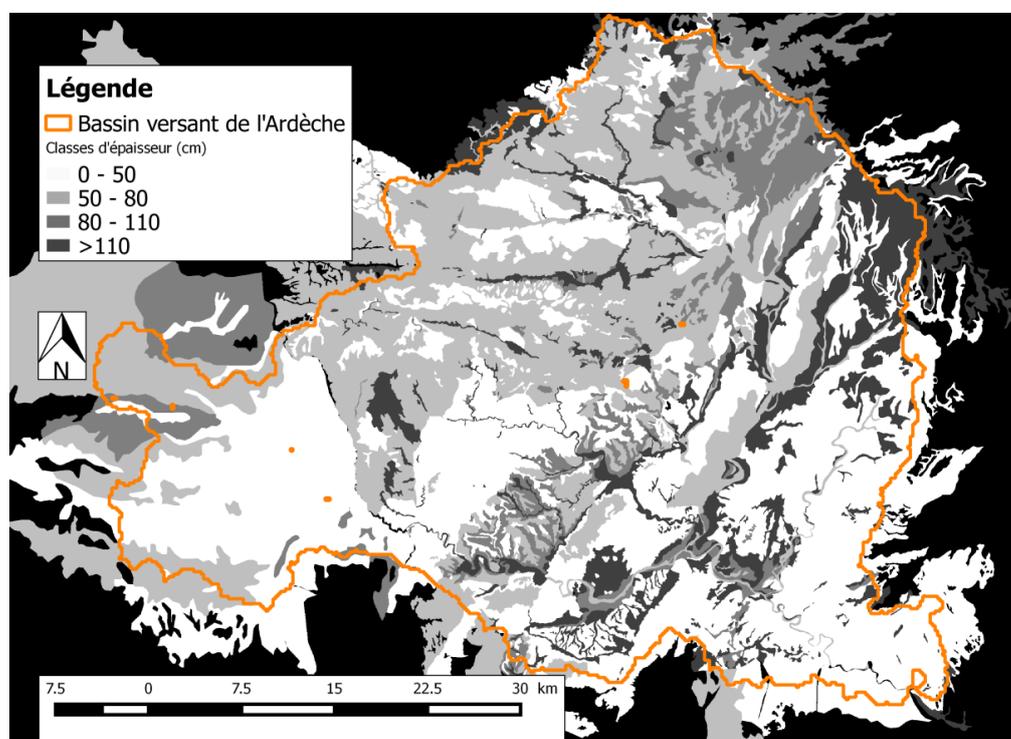


Figure 12 : Nouveau raster sol utilisé dans HRU-Delin (4 classes issues de la BD Sol au 1/250 000ème)

Le détail de l'obtention de cette nouvelle couche raster est explicité en annexe 8.

L'ensemble de ces données est ensuite traité par un utilitaire nommé HRU-delin (abréviation de HRU-delineation) qui fonctionne sous Linux. A partir des informations énumérées ci-dessus, HRU-delin délimite les HRUs, en quatre étapes :

- 1) Préparation des couches pour les étapes suivantes, dérivation des flux et des sous-bassins
 - Obtention du shapefile des cours d'eau du bassin
- 2) Relocalisation des stations de jaugeage utilisées pour l'évaluation du modèle sur les cours d'eau dérivés du MNT par calcul. Découpage des cours d'eau aux stations, dérivation des bassins aux stations
 - Cette relocalisation des stations est nécessaire du fait du décalage avec la réalité qui peut être généré par HRU-Delin lorsqu'il réalise le tracé des cours d'eau. Les stations doivent donc être repositionnées sur ce dernier (figure 13)

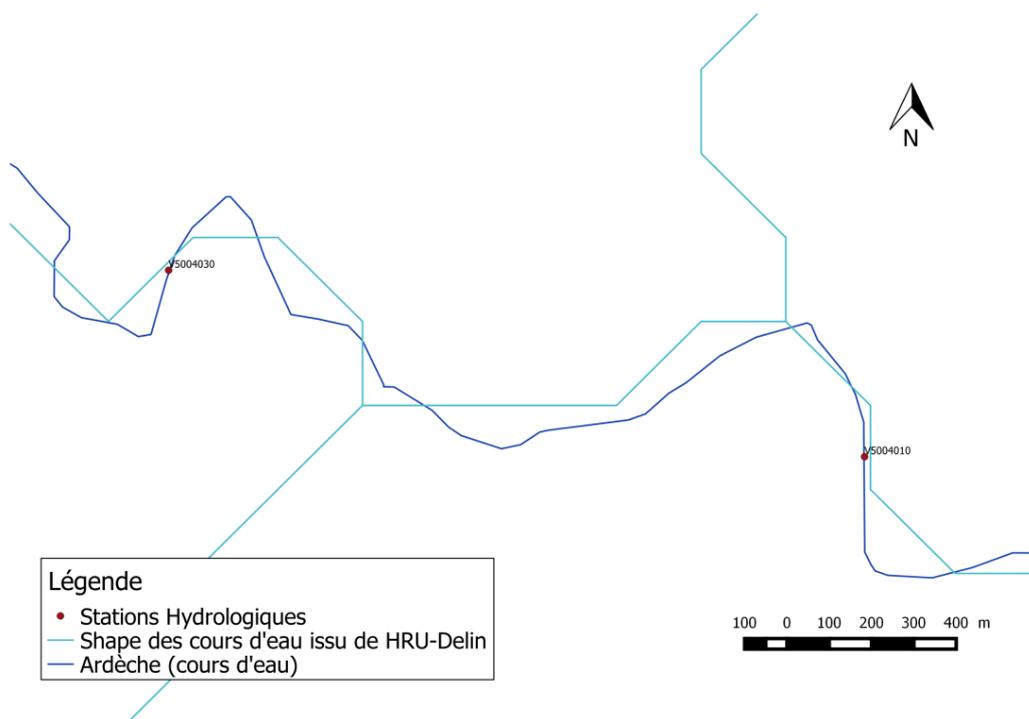


Figure 13 : Comparaison entre le tracé de l'Ardèche et le shape HRU-Delin

- 3) Délimitation des HRUs. La figure 13 montre la carte des HRUs et du réseau hydrographique obtenus avec la carte de la BD Rhône-Alpes (1/250 000ème). On obtient 296 HRUs.

- Obtention du shape des HRUs

- 4) Calcul de la topologie et création des fichiers paramètres destinés à la modélisation

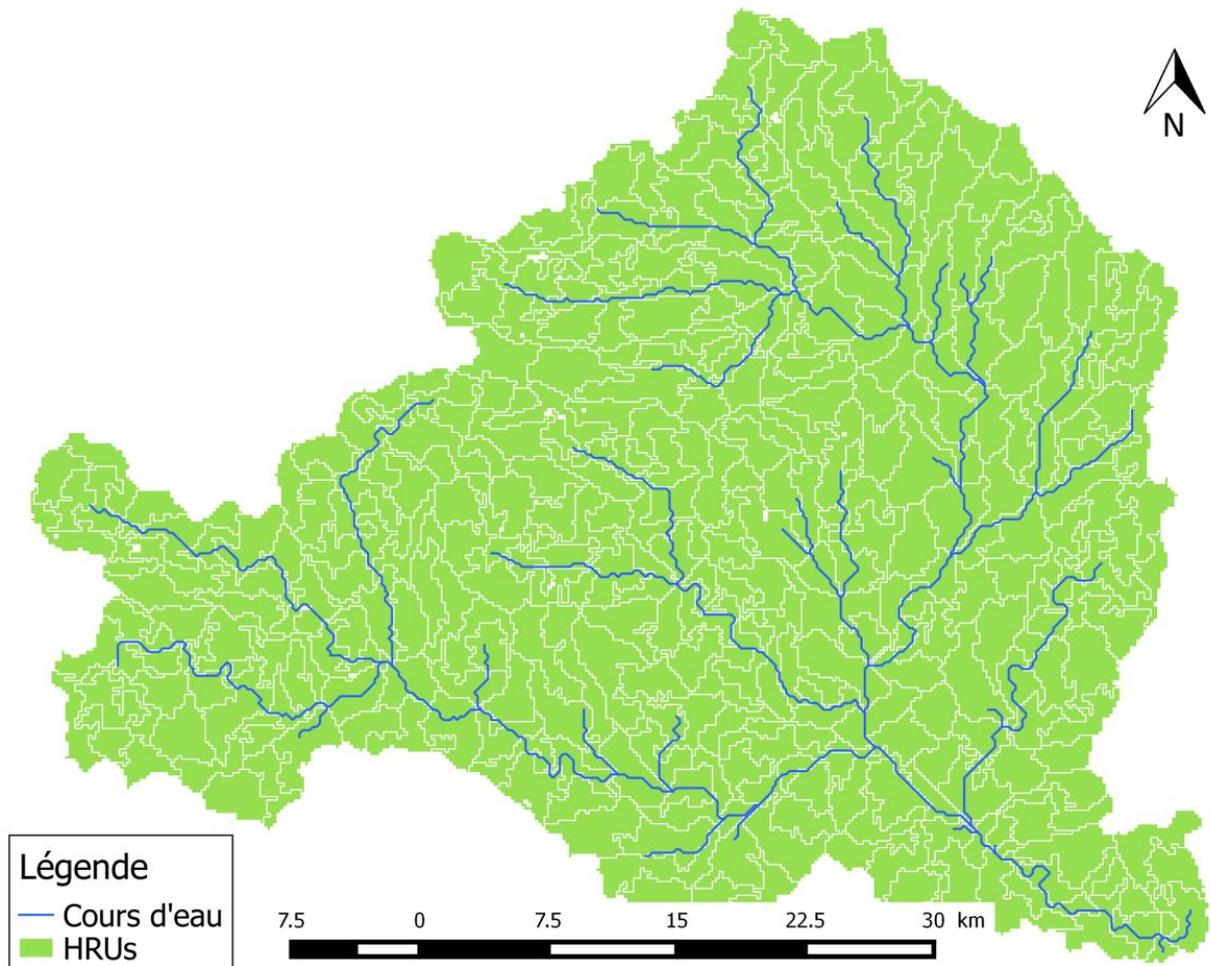


Figure 14 : Les vecteurs cours d'eau et HRUs obtenus avec HRU-Delin

2. Simulation avec J2000-Rhône

Une fois que les HRUs ont été générées, il est possible d'aborder l'adaptation du modèle J2000-Rhône en lui-même. Le modèle initialement disponible était établi pour l'ensemble du bassin du Rhône, en particulier pour la prise en compte des différentes stations de jaugeage.

Dès lors, pour modéliser l'hydrologie du bassin versant de l'Ardèche, un certain nombre de modifications sont nécessaires. Pour commencer, seules les stations hydrologiques utilisées pour la génération des HRUs seront utilisées. Cela nécessite d'une part de supprimer un grand nombre de stations du modèle, qui évidemment est originellement calibré pour l'ensemble du BV du Rhône. Mais aussi d'ajouter certaines stations qui en étaient absentes. Ainsi, nous passons de 6 à 10 stations hydrologiques pour ce modèle « J2000-Ardèche ».

Parmi les différents paramètres d'entrées du modèle, trois vont être adaptés : le fichier paramètres sols (soils.par), et ceux relatifs aux HRUs (hrus.par) et aux cours d'eau (reach.par). Les deux derniers ont été obtenus précédemment avec HRU-Delin, et à quelques modifications près, sont prêts à l'emploi. Les données contenues dans le fichier sol en revanche doivent être recalculées. Typiquement, voici comment un fichier sol de J2000 se présente (tableau 4) :

Tableau 4: Fichier sol J2000 type

Soil ID	Air capacity	Field capacity 1	Field capacity 2	Field capacity [...]	Field capacity 11
n/a	mm	mm/dm	mm/dm	mm/dm	mm/dm
1	250	11,46	11,46	11,46	11,46
2	180	10,54	10,54	10,54	-
3	140	11,26	11,26	11,26	-
4	130	12,50	12,50	-	-

La première colonne, « Soil ID », renvoie tout simplement aux classes de sol : « 1 » pour les sols d'une épaisseur supérieure à 110 cm, « 2 » pour ceux entre 110 et 80 cm, etc. Ensuite, sont présents dans ce fichier deux types de paramètres : plusieurs colonnes de « Field capacity », et une colonne « Air capacity ». Les premières renvoient à la réserve utile des sols. L'hypothèse est faite que cette réserve se répartit de manière homogène dans une classe de sol, qui est découpé en sections de 10 cm. Un exemple pour être plus clair :

La réserve utile moyenne des sols de la classe d'épaisseur >110 cm vaut 126,06 mm. Dans le fichier sol, cette classe va être découpée en 11 couches de 10 cm pour la RU, qui contiendront chacune $126,06/11 = 11,46$ cm.

Le paramètre « Air capacity » décrit lui le volume des pores du sol.

La construction de ce fichier laisse une certaine marge de manœuvre. Ainsi, il a été choisi d'effectuer plusieurs simulations, qui diffèrent entre elles par ce fichier soils.par. Les fichiers relatifs aux cours d'eau et aux HRUs sont quant à eux identiques quelle que soit la simulation, ce sont ceux obtenus par HRU-Delin (fig. 14), ils se basent sur les données sol au 1/250 000ème.

3. Les simulations de référence

Avant d'aborder le paramétrage des simulations intégrant certaines données sol au 1/250 000ème, il convient de réaliser des simulations « référence », qui nous permettront de connaître la plus-value apportée par la BD Rhône-Alpes. Deux simulations dites de référence seront réalisées, dont voici les caractéristiques de la première d'entre elles :

a. Simulation de référence sans distinction plaine/montagne

Cette simulation peut être considérée comme la plus simple : elle ne compte que quatre classes de sols qui se basent sur les paramètres sol préalablement utilisés dans le projet MDR. Ces paramètres sont les paramètres (après calage) utilisés sur le bassin versant de la Saône, et avaient donné de bons résultats lors de leurs utilisations. Cette simulation intègre donc les valeurs de référence, issues directement de la base sol Europe.

Tableau 5 : paramètres sol, simulation de référence sans distinction plaine/montagne

Classe de sol	Intervalle épaisseur (cm)	Épaisseur moy. (en cm)	Stock maximal moyen (en mm)	RU moyenne (en mm)	Air Capacity (en mm)
1	> 110	110	375	125	250
2	80 - 110	80	266	86	180
3	50 - 80	50	194	54	140
4	20 - 50	20	155	25	130

b. Simulation de référence avec distinction plaine/montagne

Un bassin versant de la taille de celui du Rhône comporte sans surprise une grande variété de paysages. En l'occurrence, des zones de montagne comme les Alpes coexistent avec des zones de plaine. Sur l'Ardèche, cette variété reste bel et bien présente. Dès lors, ne serait-il pas pertinent de distinguer les paramètres sols de plaine de ceux de montagne ? C'est ce qui a été envisagé pour certains bassins dans le projet MDR. La distinction entre zone de montagne et zone de plaine se fait en fonction de la pente moyenne des HRUs. Quand celle-ci est inférieure à 10°, on considère que l'HRU se situe en zone de plaine, tandis que lorsque la pente est supérieure à 10°, l'HRU sera de type montagneux. Dans les bassins où cette solution a pu être appliquée –la Durance notamment–, les résultats s'en sont retrouvés améliorés. A cela s'ajoute les conclusions d'autres études, qui ont montré que les BD sol sous-estiment parfois les profondeurs des sols sur certaines géologies.

Pour les HRUs de plaine, on reprendra les paramètres sol de la Saône, comme dans la simulation sans distinction. Pour les zones de plaines, ce sont les données du bassin versant de la Durance qui vont être utilisées. A noter que ce ne sont toutefois pas des données brutes des bases de données de ces BV qui sont utilisées, mais des données calées. Le calage avait montré que les

meilleurs résultats étaient obtenus pour des paramètres sols environ 1.5 fois plus élevés pour les sols d'épaisseurs >110 cm, et environ 2 fois plus élevés pour les trois autres tranches d'épaisseur de sol (Vannier et al., 2014).

Ces données Saône pour la plaine et Durance pour la montagne sont en fait ce qui est utilisé de manière généralisée sur le BV du Rhône à l'heure actuelle.

Tableau 6 : paramètres sol, simulation de référence avec distinction plaine/montagne

Classe de sol	Intervalle épaisseur (cm)	Epaisseur moy. (en cm)	Stock maximal moyen (en mm)	RU moyenne (en mm)	Air Capacity (en mm)
1	> 110	110	375	125	250
2	80 - 110	80	266	86	180
3	50 - 80	50	194	54	140
4	20 - 50	20	155	25	130
5 (montagne)	> 110	110	496	125	371
6 (montagne)	80 - 110	80	543	129	414
7 (montagne)	50 - 80	50	508	108	400
8 (montagne)	20 - 50	20	289	41	248

4. Les quatre simulations associées aux nouvelles données sol

a. Première simulation

Cette première simulation a en commun avec la première simulation les valeurs contenues dans le fichier sol (voir tableau 5). Elle s'en distingue cependant par son maillage. Celui-ci a été obtenu en s'appuyant sur la nouvelle répartition des quatre classes de sol à l'échelle du bassin de l'Ardèche (figures 11 et 12). L'idée est de vérifier si ce maillage, plus conforme à la réalité, peut améliorer les résultats de la simulation.

b. Deuxième simulation

Dans une optique semblable, la deuxième simulation s'appuie sur le même fichier sol que la simulation de référence avec distinction plaine/montagne cette fois-ci. Cela permettra d'estimer si la distinction plaine/montagne reste pertinente sur le bassin ardéchois.

c. Troisième simulation

Comme pour la première simulation, seules quatre classes de sol seront utilisées ici. Mais contrairement à la première simulation, les données inscrites dans soils.par proviennent cette fois de la base de données Rhône-Alpes.

Tableau 7 : Paramètres sols, simulation 3

Classe de sol	Intervalle épaisseur (cm)	Epaisseur moy. (en cm)	Stock maximal moyen (en mm)	RU moyenne (en mm)	Air Capacity (en mm)
1	> 110	110	522	126	396
2	80 - 110	80	369	84	285
3	50 - 80	50	226	56	170
4	0 - 50	20	106	25	81

d. Quatrième simulation

Tout comme la troisième simulation était une transposition de la première avec les données sol du Rhône-Alpes, la quatrième se veut une transposition de la deuxième version avec ces mêmes données. Ainsi se trouvent dans cette classe à la fois quatre classes d'épaisseur pour les zones de plaine et quatre classes pour les zones de montagne, mais avec les données sol de la BD Rhône-Alpes cette fois. Comme pour la simulation de référence avec distinction plaine/montagne, on prend des paramètres sol montagne 1.5 fois plus élevés pour les épaisseurs > 110cm, et 2 fois plus élevés pour le reste des classes d'épaisseurs de sol.

Tableau 8 : Paramètres sols, simulation 4

Classe de sol	Intervalle épaisseur (cm)	Epaisseur moy. (en cm)	Stock maximal moyen (en mm)	RU moyenne (en mm)	Air Capacity (en mm)
---------------	---------------------------	------------------------	-----------------------------	--------------------	----------------------

/Récapitulatif des simulations

1	> 110	110	522	126	396
2	80 - 110	80	369	84	285
3	50 - 80	50	226	56	170
4	20 - 50	20	106	25	81
5 (montagne)	> 110	110	1044	252	792
6 (montagne)	80 - 110	80	739	169	570
7 (montagne)	50 - 80	50	453	113	340
8 (montagne)	0 - 50	20	212	50	162

5. Récapitulatif des simulations

Quatre simulations vont donc être comparées avec les simulations de références. Elles intègrent à des degrés divers les nouvelles données sol au 1/250 000ème, comme cela est visible sur le tableau 9.

Tableau 9 : Récapitulatif des quatre simulations

Simulation	Distinction Plaine/Montagne	Nombre de classes	Données utilisées pour le fichier sol	Données utilisées pour le maillage
Simulation de référence sans distinction plaine/montagne	Non	4	Données Saône	Soil European Database (1/1 000 000ème)
Simulation de référence avec distinction plaine/montagne	Oui	4 (plaine) + 4(montagne)	Données Saône (plaine) et données Durance (montagne)	Soil European Database (1/1 000 000ème)
1	Non	4	Données Saône	BD Rhône Alpes (1/250 000 ème)
2	Oui	4 (plaine) + 4(montagne)	Données Saône (plaine) et données Durance (montagne)	BD Rhône Alpes (1/250 000 ème)
3	Non	4	BD Rhône-Alpes	BD Rhône Alpes (1/250 000 ème)
4	Oui	4 (plaine) + 4(montagne)	BD Rhône-Alpes (plaine et montagne)	BD Rhône Alpes (1/250 000 ème)

6. Les résultats du modèle

J2000 permet d'obtenir les résultats des simulations sous trois formes distinctes. La sortie du modèle prend soit la forme d'un « HRUloop », soit d'un « TimeLoop ». « HRUloop » donne entre autres les débits pour chaque HRU au pas de temps journalier. Dans notre cas, seul le « TimeLoop » qui donne ces débits uniquement pour les stations sera utilisé. Avec environ 300 HRUs rien que pour l'Ardèche, le HRUloop n'est pas la solution la plus ergonomique.

IV. Analyse de ces résultats

1. Méthodologie

a. Le critère de Nash

Pour analyser ces résultats, il est judicieux de s'intéresser au critère de Nash et Sutcliffe (Nash et Sutcliffe, 1970). Pour rappel, ce critère adimensionnel se calcule de la manière suivante :

$$Nash(Q) = 1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum(Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

Avec Q_{obs} et Q_{sim} les valeurs de débits respectivement observés et simulés, à chaque pas de temps journalier sur la période 1985-2012. Et $\overline{Q_{obs}}$ la moyenne des débits observés sur cette même période.

Ainsi, ce critère varie entre $-\infty$ et 1. Lorsqu'il prend une valeur de 1, cela signifie que le modèle simule parfaitement les débits représentés par nos données d'observation. A $Nash = 0$, les performances du modèle sont équivalentes à celles d'un modèle qui donnerait comme simulation la moyenne des observations. En deçà de $Nash = 0$ on peut remettre en cause l'utilité du modèle, puisque dans ce cas, cela signifie que les observations décrivent mieux le fonctionnement du BV que le modèle lui-même.

Utilisé tel quel, ce critère présente toutefois un inconvénient. Il donne beaucoup de poids aux valeurs importantes de débits, ce qui peut amener à des interprétations trompeuses, puisque les périodes de débits très importants sont loin d'être majoritaires dans notre étude qui englobe l'intégralité des gammes de débits qu'il peut y avoir sur une année (voir fig.16).

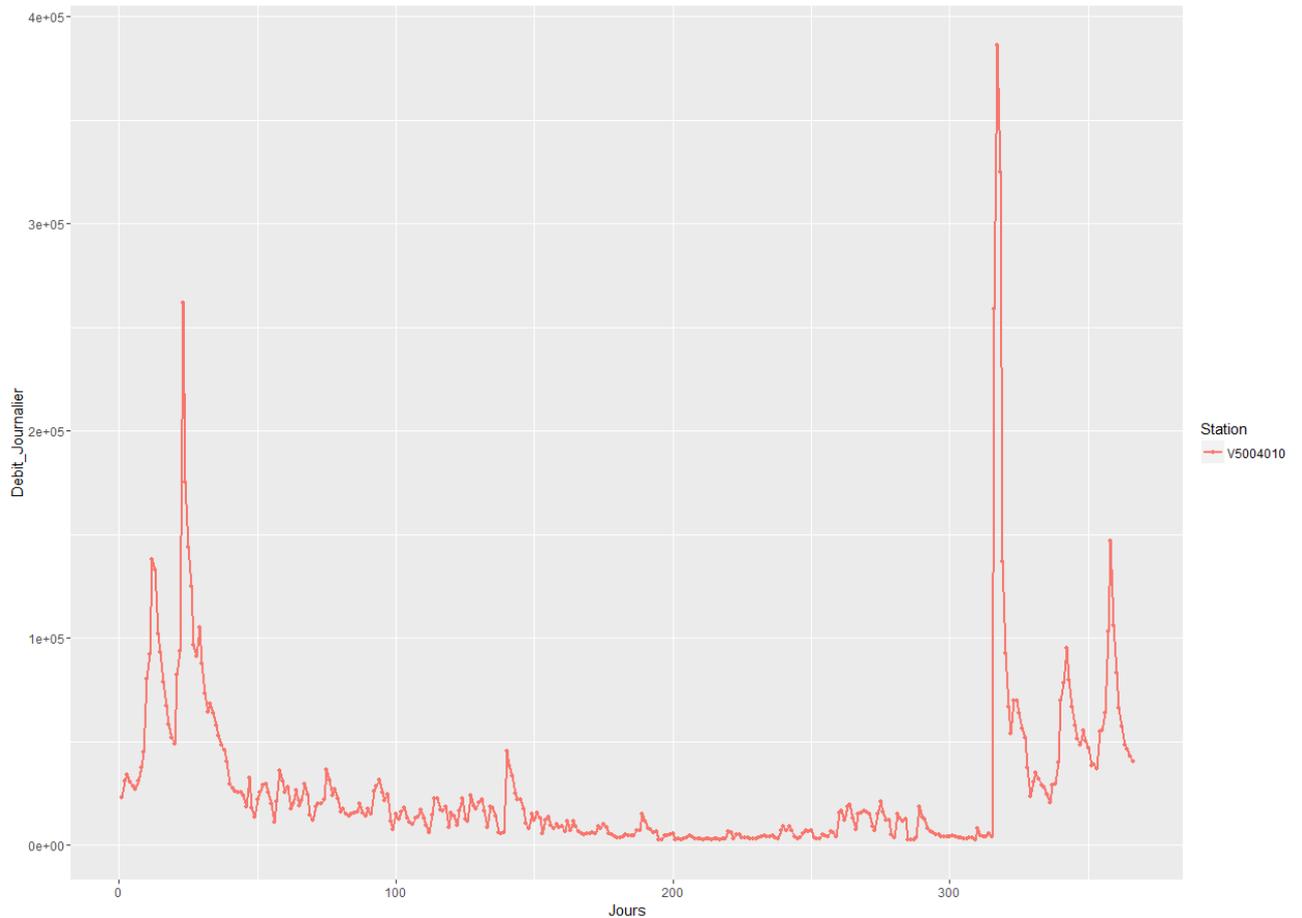


Figure 15 : Allure de débits mesurés à une station hydrologique (ici l'Ardèche à Pont-de-Labeaume, année 1996)

Pour corriger ce problème, le critère de Nash et Sutcliffe peut également se calculer en remplaçant les débits par leurs racines carrées¹⁶ :

$$Nash(\sqrt{Q}) = 1 - \frac{\sum(\sqrt{Q_{obs}} - \sqrt{Q_{sim}})^2}{\sum(\sqrt{Q_{obs}} - \sqrt{\overline{Q_{obs}}})^2}$$

Ce sera donc cette variante qui sera utilisée pour évaluer la performance des différentes simulations.

b. Les biais de simulation

En plus du critère de Nash, un autre indicateur va être observé pour juger de la qualité des simulations. Le critère de biais (%) permet de mesurer la tendance d'un modèle à sous-estimer ou surestimer les débits. Par conséquent, ce critère doit être minimisé, et la situation optimale est d'avoir un biais nul.

¹⁶ A noter qu'une variante existe, puisqu'il est aussi possible de remplacer Q par $\log(Q)$ dans l'expression du critère de Nash et Sutcliffe

$$Biais = \sum \frac{Q_{sim} - Q_{obs}}{Q_{obs}} * 100$$

Ce critère permet donc de calibrer un modèle de manière à ce que le bilan estimé se rapproche de ce qui donné par les observations.

c. Les données de comparaison

Afin de calculer ce critère de Nash, il est donc nécessaire de disposer d'observations de débits. Ces observations sont issues en majeure partie de la banque hydro¹⁷.

Tableau 10 : Liste descriptive des stations du BV de l'Ardèche utilisées dans l'évaluation du modèle J2000-Rhône sur l'Ardèche

Nom de la station	Code Banque Hydro	Source des données	Producteur
L'Ardèche à Pont-de-Labeaume	V 500 4010	Banque hydro	SPC Grand Delta ¹⁸
L'Ardèche à Vogüé	V 501 4010	Banque hydro	SPC Grand Delta
La Borne à Pont St Nicoulaud	V 504 5810	EDF	EDF
L'Altier à Goulette	V 504 6610	EDF	EDF
L'Ardèche à St Martin d'Ardèche	V 506 4010	Banque hydro	SPC Grand Delta
L'Ardèche à Meyras	V 500 4030	Banque hydro	SPC Grand Delta
L'Ardèche à Pont d'Ucel	V 501 4030	Banque hydro	SPC Grand Delta
La Beaume à Rosières	V 503 5020	Banque hydro	SPC Grand Delta
La Volane à Vals	V 501 5210	Banque hydro	SPC Grand Delta
L'Ardèche à Pont d'Arc	V 505 4010	Banque hydro	SPC Grand Delta

¹⁷ <http://www.hydro.eaufrance.fr>

¹⁸ Service de Prévision des Crues du Grand Delta, assuré par la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) Rhône-Alpes

La localisation de ces stations sur le bassin de l'Ardèche est visible ci-dessous, sur la figure 15.

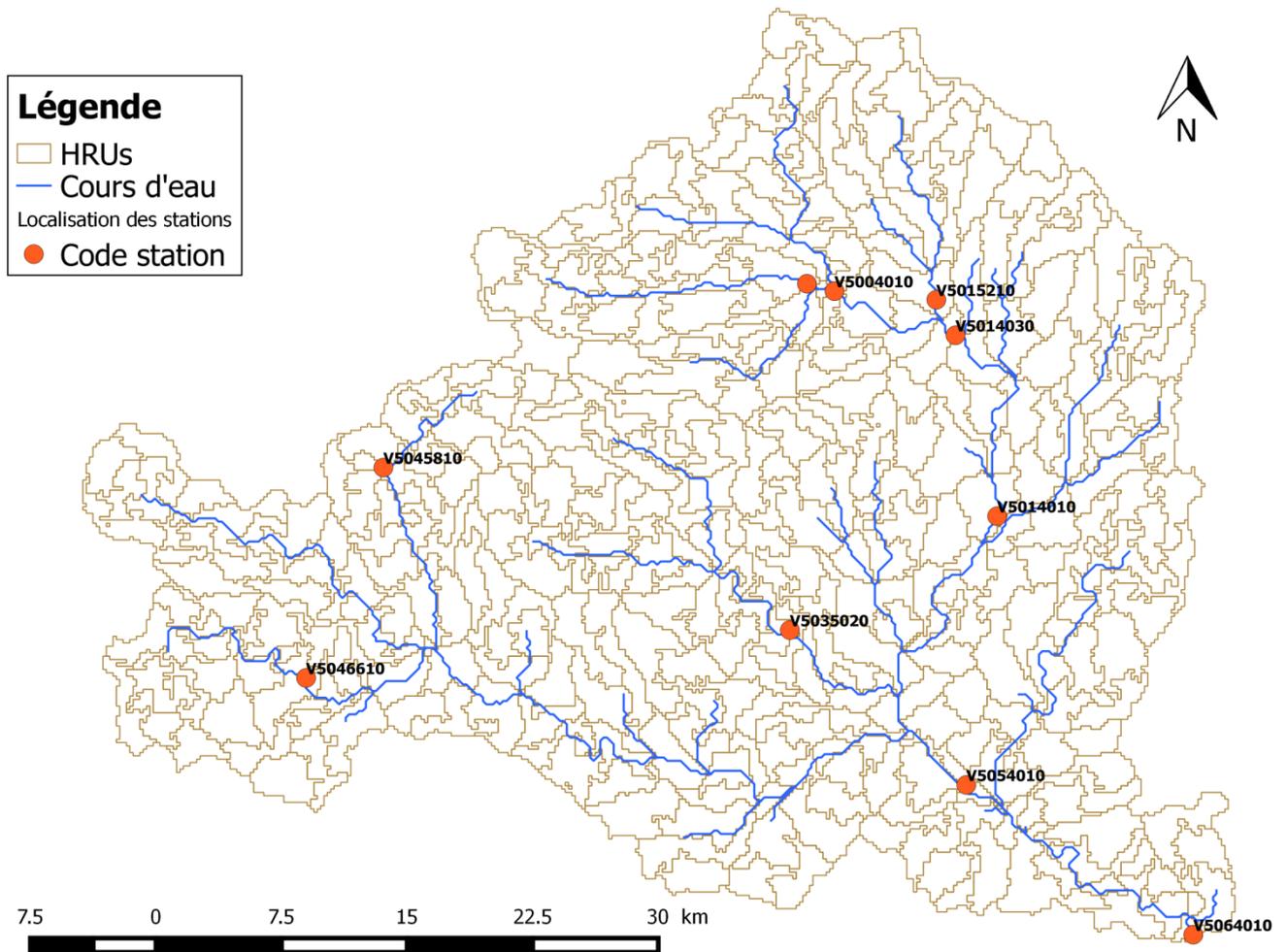


Figure 16 : Localisation des stations du bassin de l'Ardèche utilisées pour les simulations

1. Analyse des quatre simulations

a. Critère de Nash et biais aux stations

Voici deux tableaux dans lesquels sont regroupés les résultats des simulations

Tableau 11 : Valeurs des Nash (\sqrt{Q}) des stations du BV de l'Ardèche

Nom de la station	Code Station	Nash (\sqrt{Q}) simulation de référence sans distinction plaine/montagne	Nash (\sqrt{Q}) simulation 1	Nash (\sqrt{Q}) simulation 3	Nash (\sqrt{Q}) simulation de référence avec distinction plaine/montagne	Nash (\sqrt{Q}) simulation 2	Nash (\sqrt{Q}) simulation 4
L'Ardèche à Pont-de-Labeaume	V 500 4010	0,61	0,61	0,61	0,58	0,59	0,60
L'Ardèche à Vogüé	V 501 4010	0,75	0,75	0,75	0,73	0,73	0,73
La Borne à Pont St Nicoulaud	V 504 5810	0,79	0,79	0,79	0,72	0,72	0,72
L'Altier à Goulette	V 504 6610	0,73	0,79	0,77	0,74	0,78	0,79
L'Ardèche à St Martin d'Ardèche	V 506 4010	0,80	0,82	0,83	0,80	0,81	0,82
L'Ardèche à Meyras	V 500 4030	0,76	0,77	0,78	0,67	0,70	0,71
L'Ardèche à Pont d'Ucel	V 501 4030	0,64	0,64	0,65	0,59	0,61	0,61
La Beaume à Rosières	V 503 5020	0,70	0,70	0,71	0,68	0,70	0,71
La Volane à Vals	V 501 5210	0,64	0,63	0,64	0,64	0,66	0,65
L'Ardèche à Pont d'Arc	V 505 4010	0,78	0,78	0,79	0,76	0,77	0,77
Pas de distinction plaine/montagne					Distinction plaine/montagne		

Tableau 12 : Valeurs des biais de simulations (%) des stations du BV de l'Ardèche

Nom de la station	Code Station	Biais simulation de référence sans distinction plaine/montagne	Biais simulation 1	Biais simulation 3	Biais simulation de référence avec distinction plaine/montagne	Biais simulation 2	Biais simulation 4
L'Ardèche à Pont-de-Labeaume	V 500 4010	-38,6	-38,5	-38,6	-45,2	-45,3	-44,5
L'Ardèche à Vogüé	V 501 4010	-27,7	-27,5	-28,1	-34,0	-33,9	-33,8
La Borne à Pont St Nicoulaud	V 504 5810	-14,6	-11,9	-13,0	-23,1	-22,5	-21,6
L'Altier à Goulette	V 504 6610	-7,9	-24,0	-22,0	-16,8	-28,3	-26,0
L'Ardèche à St Martin d'Ardèche	V 506 4010	-6,7	-5,8	-4,8	-13,1	-11,7	-10,1
L'Ardèche à Meyras	V 500 4030	-1,5	-2,7	-1,2	-13,2	-12,9	-10,6
L'Ardèche à Pont d'Ucel	V 501 4030	-34,6	-33,4	-34,1	-44,6	-43,5	-43,1
La Beaume à Rosières	V 503 5020	-15,7	-13,2	-12,9	-28,1	-24,6	-23,2
La Volane à Vals	V 501 5210	-28,7	-24,8	-27,0	-39,4	-35,8	-36,8
L'Ardèche à Pont d'Arc	V 505 4010	-12,7	-11,6	-11,3	-21,1	-19,5	-18,4
Pas de distinction plaine/montagne					Distinction plaine/montagne		

b. Commentaire des résultats

Le tableau 11 est une première comparaison riche en enseignements. Voilà quelques constats établis à partir de ce tableau

- **L'ajout des nouveaux paramètres a eu une influence modérée de manière générale**

Force est de constater qu'entre les résultats se basant sur les anciens et nouveaux paramètres sols, la différence n'est pas toujours très importante. Cette relative similitude peut par exemple se voir en calculant la moyenne des différences absolues entre simulations.

$$\text{Moyenne (Abs(Nash}(\sqrt{Q})\text{ anciens paramètres sols} - \text{Nash}(\sqrt{Q})\text{ simulations 1 \& 3))} \approx 0.01$$

Ce qui donne une valeur d'à peine plus de 0.01 dans le cas d'absence de distinction plaine/montagne. La présence de cette distinction ne permet guère d'avoir de meilleurs résultats :

$$\text{Moyenne (Abs(Nash}(\sqrt{Q})\text{ anciens paramètres sols} - \text{Nash}(\sqrt{Q})\text{ simulations 2 \& 4))} \approx 0.02$$

- **Les débits aux stations semblent trop faibles**

Le tableau 12 est très révélateur de ce problème : quelle que soit la simulation considérée les biais calculés sont négatifs. Ce qui signifie que les débits aux différentes stations sont trop faibles en l'état des choses.

Tableau 13 : Biais moyens (%) des différentes simulations

Simulation	Biais moyen
simulation de référence sans distinction plaine/montagne	-18,9
1	-19,3
3	-19,3
simulation de référence avec distinction plaine/montagne	-27,9
2	-27,8
4	-26,8

Le tableau 13 permet de montrer qu'en moyenne, les débits semblent 20% trop faibles. D'assez fortes disparités entre stations se cachent sans surprise derrière ces moyennes. Autant certaines semblent effectivement assez biaisées, comme l'Ardèche à Pont-de-Labeaume (parfois plus de 40% de biais), autant d'autres semblent bien plus conformes à la réalité comme l'Ardèche à Meyras (à peine plus de 1% dans le cas le plus favorable).

Il est aussi à noter une nette tendance (10% d'écart en moyenne) des simulations sans distinction plaine/montagne à être moins biaisées que celle avec cette distinction. Ce qui nous amène au point suivant.

- **La distinction entre plaines et montagnes est-elle vraiment pertinente sur le BV de l'Ardèche ?**

C'est une question qui peut paraître légitime au vu des résultats obtenus pour ces premières simulations. Pour mieux appréhender les résultats généraux de ces dernières, voici un tableau indiquant les moyennes du *Nash* (\sqrt{Q}) de chacune

Tableau 14 : Nash (\sqrt{Q}) médians pour les différentes simulations

Simulation	Critère de Nash (\sqrt{Q}) médian
simulation de référence sans distinction plaine/montagne	0,74
1	0,76
3	0,76
simulation de référence avec distinction plaine/montagne	0,70
2	0,71
4	0,72

Du tableau 12, il ressort que la distinction ne semble pas avoir d'effet positif sur les résultats. Au contraire même, puisque la qualité des résultats se retrouve détériorée par cette distinction. Le critère de Nash médian diminue ainsi d'environ 0.04 entre la simulation sans distinction et son homologue avec distinction intégrant le même type de paramètres sol. Seules exceptions notables à cette tendance, les stations de la Beaume à Rosière (V 503 5020) et de l'Altier à Goulette (V 504 6610) font l'objet d'une légère hausse avec la présence de la distinction plaine/montagne dans les simulations.

- **Mais globalement, les résultats sont satisfaisants**

Place à quelques observations bien plus positives. Avec des stations disposant toutes sans exception d'un $Nash(\sqrt{Q})$ supérieur à 0.5, et comme le montre le tableau 12 de médianes même toutes au-dessus de 0.7, les résultats peuvent être décrits comme bons. Cela confirme, si besoin en était, que J2000-Rhône est adapté à l'étude. Certaines stations (l'Ardèche à Pont d'Arc, l'Ardèche à St Martin d'Ardèche) semble disposer de simulations très réalistes ($Nash(\sqrt{Q}) \approx 0.8$).

- **Les données sol au 1/250 000ème ont été bénéfiques**

Toujours à la vue du tableau 12, on remarque une augmentation des valeurs médiane des critères de Nash pour les simulations 1 et 3. Si cette dernière ne vaut que 0.02, elle cache en réalité quelques disparités entre stations, qui dans certains cas voient la qualité des simulations qui y sont associées augmenter de manière plus intéressante.

Pour finir, aussi petites soient les différences entre simulations, il faut souligner qu'il y a une différence entre les deux types de paramètres : les anciens paramètres sols ont été soumis à un calage, contrairement à ceux issus des bases de données au 1 : 250 000ème. A ce titre, des résultats de la même qualité que ceux des anciennes bases de données peuvent aussi être vus comme encourageants, puisqu'il est envisageable de les améliorer au travers d'un calage. C'est aussi un point intéressant pour la mise en œuvre du modèle sur de nouveaux bassins versants, même si, dans notre étude, nous avons conservé les améliorations réalisées par ajustement sur les autres composantes de J2000-Rhône, en particulier celles liées à la description des écoulements dans le réservoir souterrain.

c. Analyse des autres composantes du cycle hydrologique simulées par J2000-Rhône

Il est aussi possible de pousser l'analyse plus loin en analysant les autres variables calculées par le modèle, qui influent sur les valeurs de débits qui ont été simulées aux stations. Seront ainsi analysées les variations de stockage d'eau dans le sol, des trois composantes du débit (RD1, RD2 et RG1) respectivement les composantes de ruissellement rapide, de sub-surface et de base, et finalement des débits aux stations eux-mêmes. Nous nous focaliseront sur les résultats de la station V500 4300 (L'Ardèche à Meyras) lors de la simulation 4, pour laquelle l'ajout des paramètres sol au 1/250 000ème ont permis d'améliorer la valeur du Nash (\sqrt{Q}). De manière générale, les stations disposant de simulations à la précision accrue sont répertoriées dans la figure ci-dessous

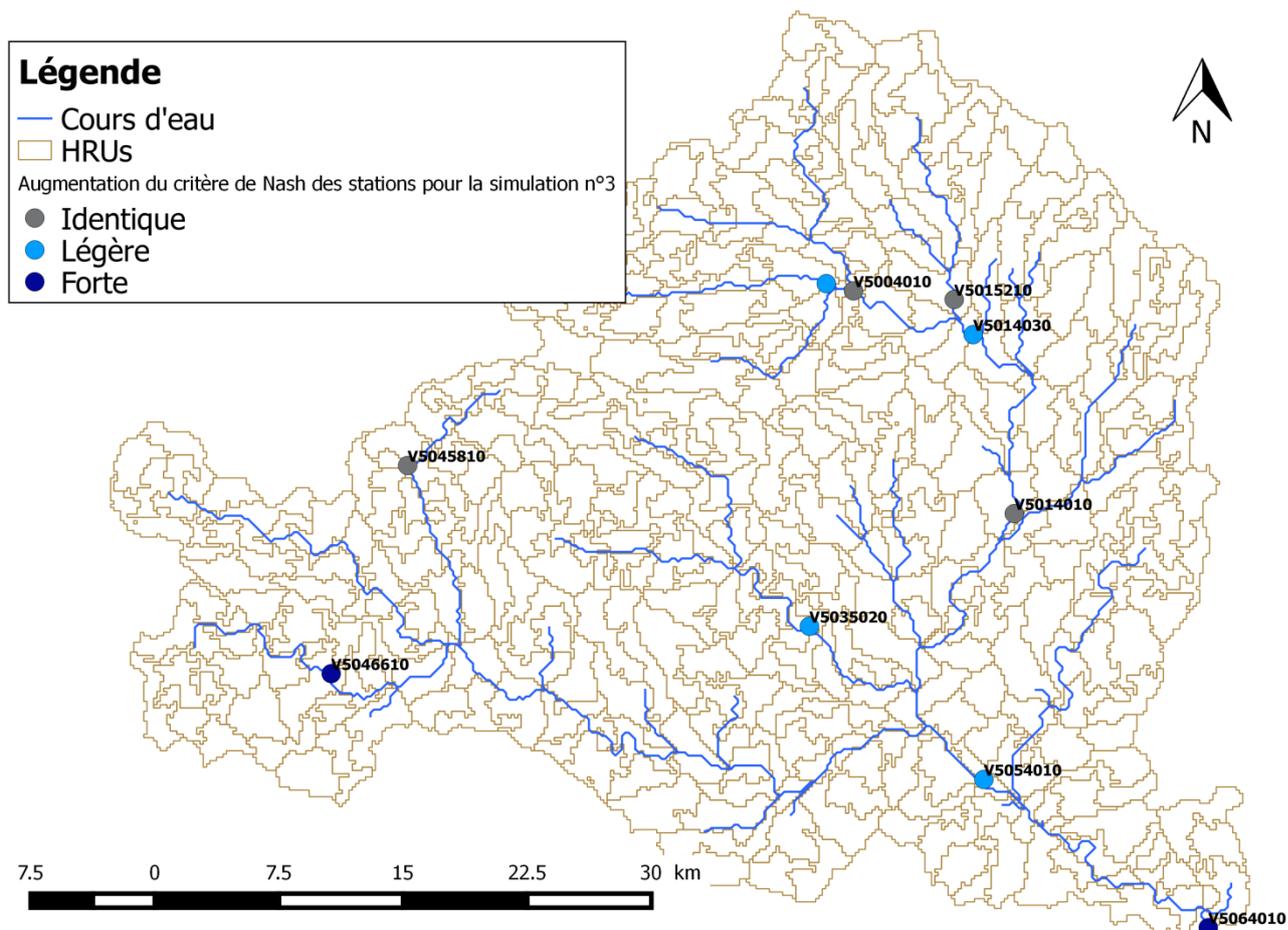


Figure 17 : Amélioration des critères de Nash pour la simulation n°3 par rapport à la simulation de référence sans distinction plaines/montagnes

▪ Stockage dans le sol

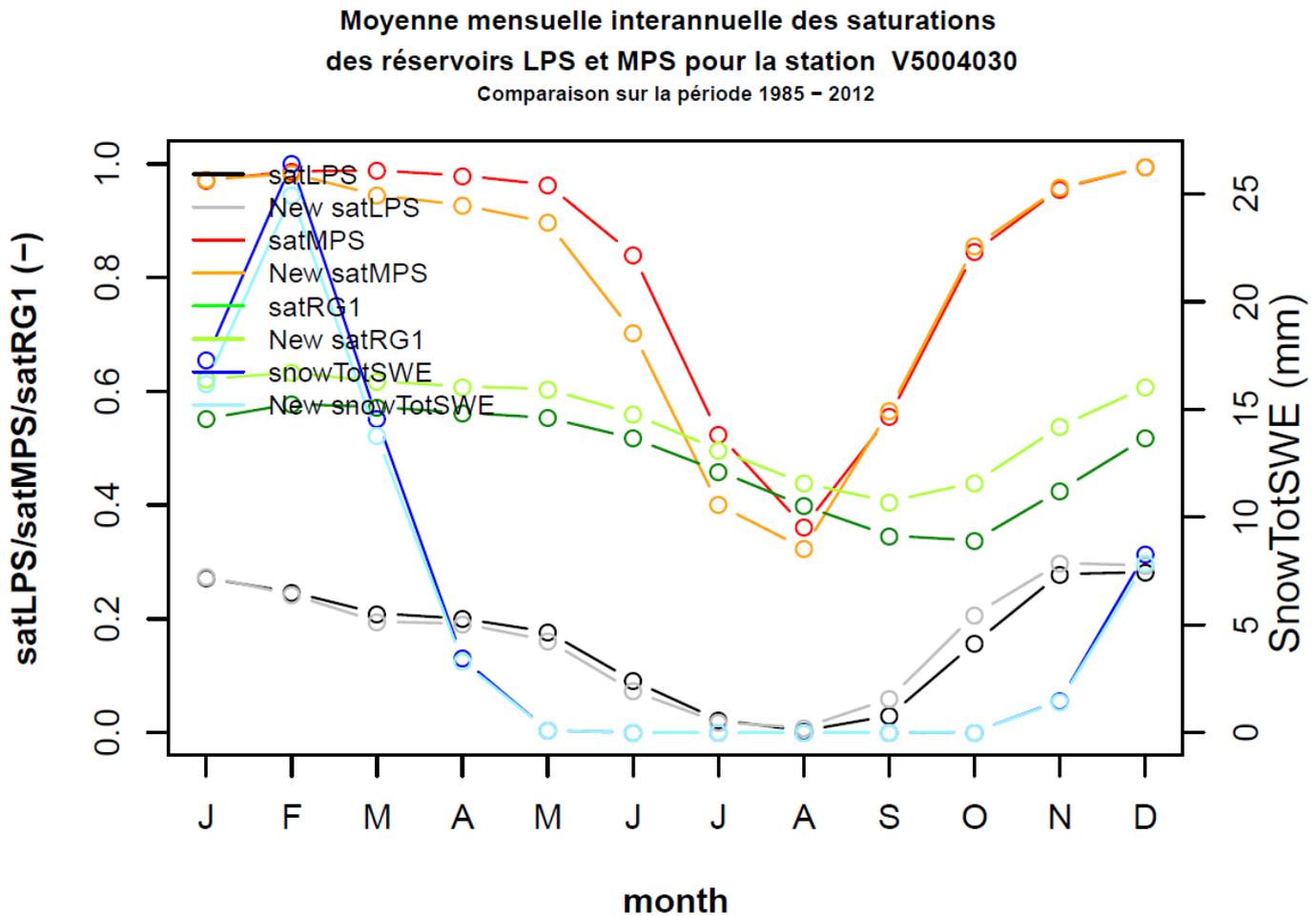


Figure 18 : Moyenne mensuelle interannuelle des saturations des réservoirs LPS et MPS pour la station V5004030

Ces premières courbes permettent d’apprécier le taux de saturation de différents réservoirs déjà présentés brièvement dans la figure 1.

« SatLPS » et « satMPS » (respectivement Saturated Large Pore Storage et Saturated Medium Pore Storage) correspondent aux taux de saturation des réservoirs sol MPS et LPS. Alors que satMPS semble plutôt diminuer avec l’ajout des paramètres sols au 1/250 000ème, c’est l’inverse qui se produit pour satLPS.

Rappelons à cette occasion que le réservoir LPS représente le stockage d’eau dans le sol par les pores larges dans lesquelles l’eau est sensible à la gravité. Ce sont les écoulements latéraux, et la percolation vers la nappe qui vont être impactés par ces eaux. De son côté, le réservoir MPS représente le réservoir de stockage dans les pores moyennes du sol. Ici, la force principale ayant une influence sur les eaux n’est plus la gravité, mais les forces d’adsorption. Dès lors, ce réservoir est plutôt utilisé pour la transpiration des plantes.

En plus de ces deux paramètres dépeignant un réservoir superficiel des eaux, est représenté satRG1, saturation des réservoirs profonds. On constate ici aussi une augmentation de la saturation de cette partie du sol tout au long de l'année.

Pour finir, une courbe SnowTotSWE, signifiant « Total Snow Water Equivalent » est représentée sur ce graphique. Les légères variations visibles sur cette courbe, indiquant les eaux libérées par la fonte des neiges, ne sont très vraisemblablement dues qu'à la différence d'agencement qu'il peut y avoir entre les deux maillages en HRUs.

Reste donc à voir quels vont être les effets de ces variations de saturation entre simulations sur les flux générés, ce qui va être fait sur la figure suivante.

- Composantes du débit

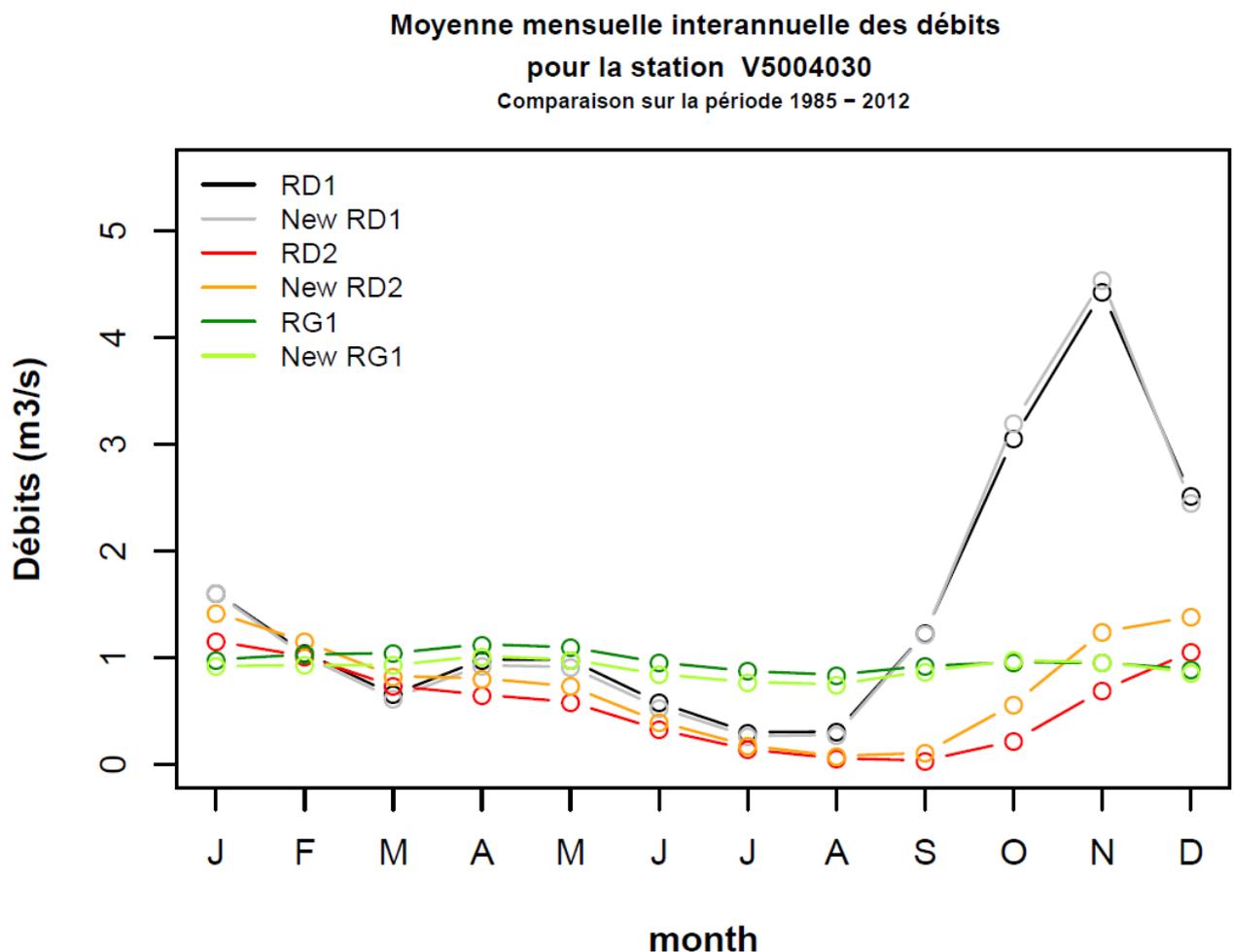


Figure 19 : Moyenne mensuelle interannuelle des débits RD1, RD2 et RG1 pour la station V5004030



Figure 20 : L'Ardèche à Meyras, un territoire boisé

Source : GéoPortail.fr

facteurs : agencement des HRUs plus pertinent, données sol plus adaptées au contexte local du BV de l'Ardèche...

Notons aussi que les écoulements profonds (RG1) ne varient que très peu. Ceci est plutôt logique. Le remplissage des couches profondes est effectivement affecté par les sols via le phénomène de percolation, et une hausse visible de la saturation était notée à la figure 19.

Analysons les variations de ces flux dans le sens de la profondeur. A la surface, le ruissellement ne varie pas beaucoup, même si une légère hausse est perceptible. Il peut être judicieux de remarquer que la station ici observée se trouve sur un BV densément boisé (fig. 21), ce qui pourrait signifier qu'une partie non négligeable des précipitations est interceptée, d'où une augmentation du ruissellement modéré. Directement sous la surface, les flux de subsurface (RG2) augmentent eux de manière plus marquée, et ce particulièrement de septembre à février.

A la lumière de ces observations et de celles de la figure 20, les écoulements semblent donc s'être fluidifiés avec l'ajout des nouvelles données sol. Cette amélioration peut être liée à plusieurs

- Débits à la station de l'Ardèche à Meyras

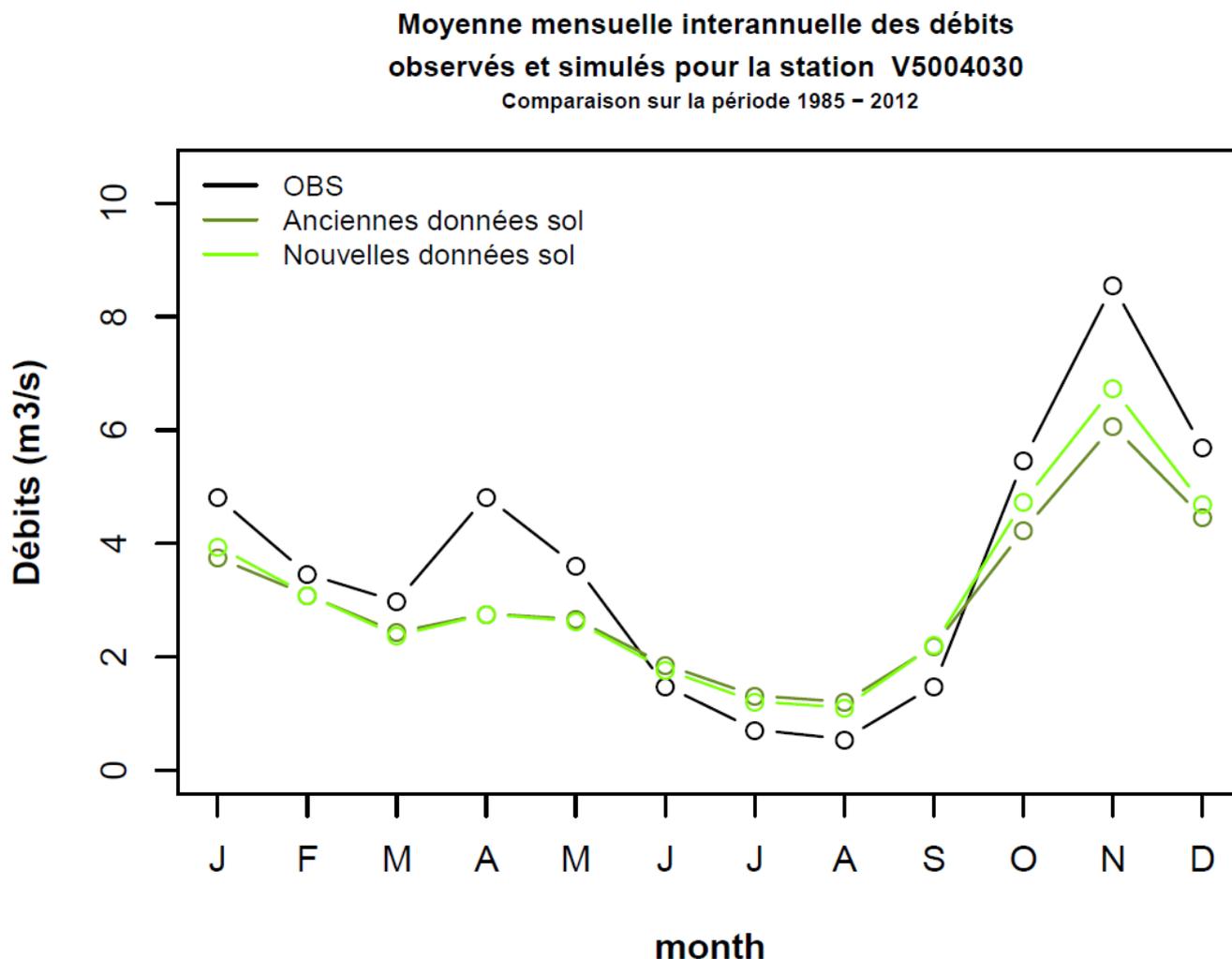


Figure 21 : Moyenne mensuelle interannuelle des débits observés et simulés pour la station V5004030

Les flux générés par une HRU sont fonction des trois flux vus entre autres sur la figure 20.

$$\text{Ecoulement sur une HRU} = \text{RD1} + \text{RD2} + \text{RG1}$$

Il est alors logique de retrouver l'augmentation légère perçue pour RD1 et plus conséquente dans le cas de RD2, dans le débit simulé aux stations.

On s'aperçoit que les paramètres sol au 250 000ème permettent ainsi de mieux modéliser les périodes de forts débits (pic du mois de novembre), où dans le cas des anciennes données, les écoulements semblaient être plus bridés.

d. Conclusions

L'ajout des paramètres sol au 250 000ème a conduit à une augmentation des critères de Nash des stations sur le BV de l'Ardèche, révélateurs de l'amélioration des simulations liées à ces paramètres sol.

Remarquons cependant que cette amélioration est à deux vitesses : si les HRUs liées aux nouvelles données sol augmentent de manière intéressante les résultats des simulations, les nouvelles valeurs de réserves utiles et d'air capacity ont eu des effets plus modestes.

Ceci ne signifie pourtant pas que tous les résultats se sont montrés conformes à ce qui était imaginé. La distinction plaine/montagne, qui a pourtant fait ses preuves sur certains autres BV au cours du projet MDR, n'a pas apporté la plus-value attendue. Au contraire, les simulations intégrant cette distinction se sont montrées moins exactes, avec des valeurs de Nash amoindries par rapport à celles considérant indifféremment plaines et montagnes.

Cela mis à part, il est appréciable d'avoir obtenu une amélioration des résultats, illustrée par la figure ci-dessous représentant les Nash de la simulation n°3 qui a été détaillée en partie IV.1.c

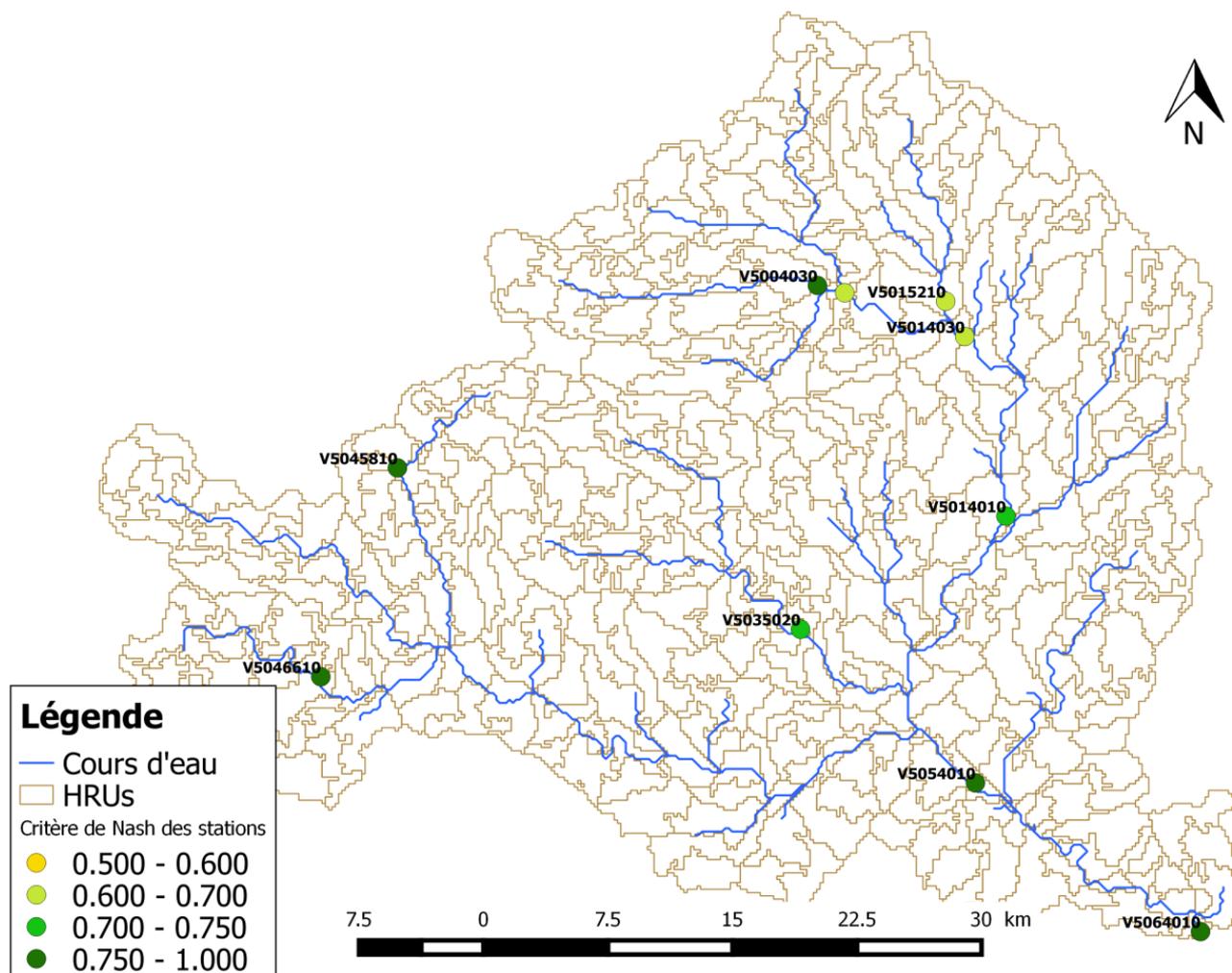


Figure 22 : Cartographie des valeurs de Nash de la simulation n°3 sur le BV de l'Ardèche

V. Synthèse globale

Comme cela avait été détaillé en partie I.5., ce travail se scindait globalement autour de deux objectifs.

Le premier objectif de ce stage était la réalisation d'une base de données des sols pour la région Rhône-Alpes. Des scripts SQL existants pour des manipulations similaires pour d'autres régions (le Languedoc-Roussillon, la Provence-Alpes-Côte-D'azur), cette étape s'est déroulée sans soucis majeur et a abouti à la création de la base de données en question, selon une architecture qui avait déjà été adoptée pour d'autres régions.

Vient ensuite l'intégration des données sol au modèle J2000. Là encore, la première étape, celle du maillage, a été réalisée de manière conforme aux travaux précédents du projet MDR (mêmes classes d'altitude, même taille minimale pour les HRUs, etc). Davantage de choix ont dû être pris pour la suite. Ces choix ont aboutis à ce qui est présenté dans ce rapport : quatre simulations intégrant de manières différentes les données sol au 1/250 000ème précédemment mises en forme.

Ces simulations ont permis de démontrer qu'il y avait un réel bénéfice provenant des nouvelles données sol. Même si le gain obtenu n'est pas toujours spectaculaire, il est tout de même tout à fait appréciable. Soulignons aussi qu'il aurait finalement été surprenant que les simulations puissent gagner beaucoup plus en précision. D'une part parce que les données sol utilisées jusque-là donnaient également d'assez bons résultats sur l'Ardèche, d'autre part parce que la pédologie n'est évidemment pas le seul facteur influant sur la qualité des simulations.

L'optimum a été atteint pour la simulation intégrant les données sol au 1/250 000ème à la fois pour la génération des HRUs et pour le fichier sol, ce qui est un bon point. Avec à la clé des simulations de très bonnes factures pour certaines, avec un critère de Nash atteignant 0.83 pour la station présentant les meilleurs résultats (l'Ardèche à Saint-Martin-d'Ardèche, V506 4010). Même dans le cas le plus défavorable, le critère de Nash reste honnête avec une valeur de 0.61 (l'Ardèche à Pont-de-Labeaume, V500 4010). La plus forte amélioration¹⁹ a bénéficié à l'Altier à Goulette (V504 6610), dont le Nash passe de 0.73 à 0.77. Tout cela pour une médiane des valeurs de Nash atteignant 0.76. Soulignons finalement que contrairement à certains autres bassins, le BV de l'Ardèche ne bénéficie pas de meilleurs résultats lorsqu'une distinction est faite entre plaines et montagnes.

Ceci étant dit, il convient de signaler que plusieurs axes d'améliorations restent à étudier pour le projet MDR, et pour l'Ardèche en particulier :

- Prendre en compte l'impact des ouvrages hydrauliques sur les débits, en utilisant pour l'évaluation des séries de débits renaturalisées, qui tiennent compte des apports d'eau de la Loire dans le bassin de l'Ardèche et/ou utiliser la version du modèle J2000-Rhône qui inclut l'impact de ces ouvrages sur le cycle hydrologique

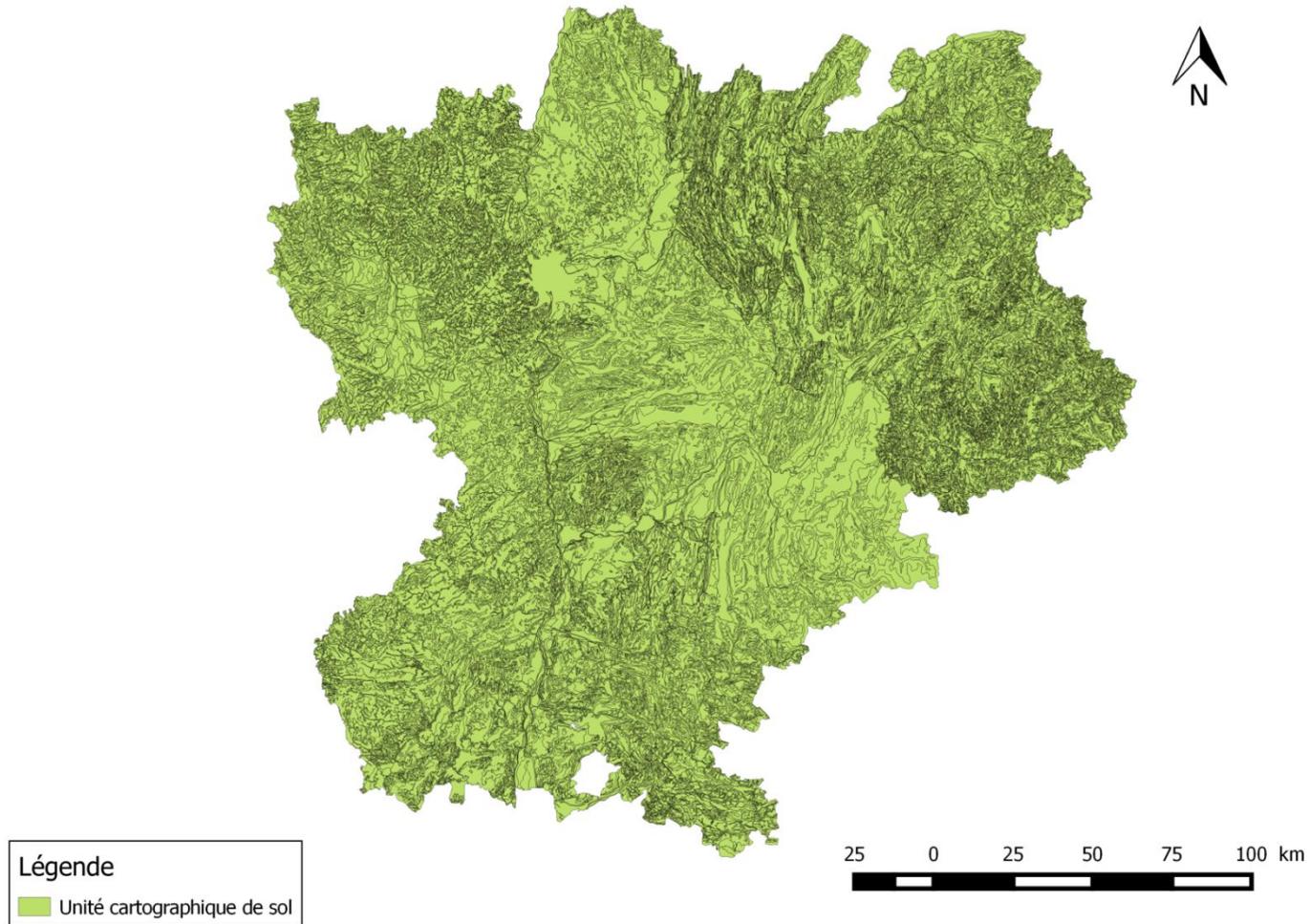
¹⁹ Pour la simulation n° 3. D'autres simulations présentent des améliorations ponctuelles plus fortes encore

- Passer le modèle à pas de temps horaire, ce qui compte tenu des caractéristiques pluviométriques sur le bassin, en particulier des événements intenses d'automne pourrait permettre de mieux valoriser les données sol plus précises
- Evaluer aussi l'apport de cette nouvelle description du sol avec de nouveaux forçages pluviométriques disponibles sur la zone (données SPAZM ou réanalyses combinant données radar et pluviographes sur la zone (Boudevillain et al., 2016))

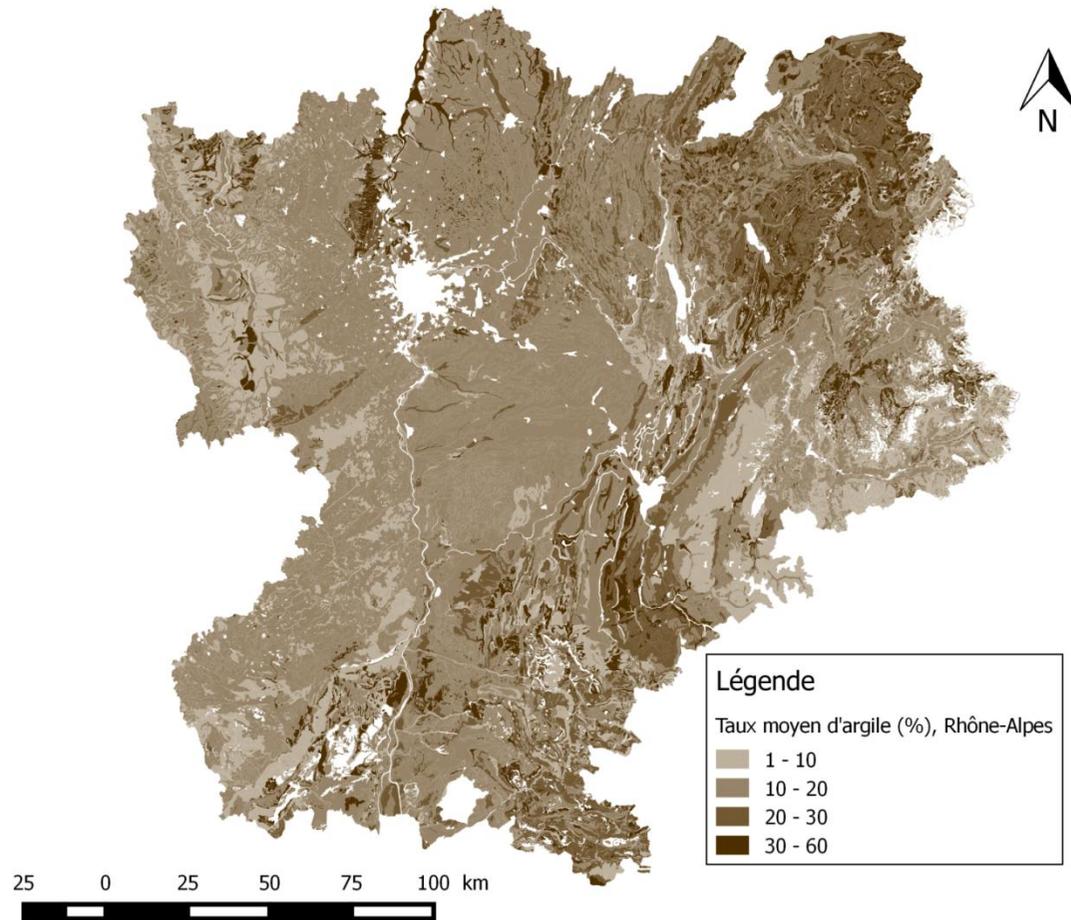
Annexes

Cartes supplémentaires

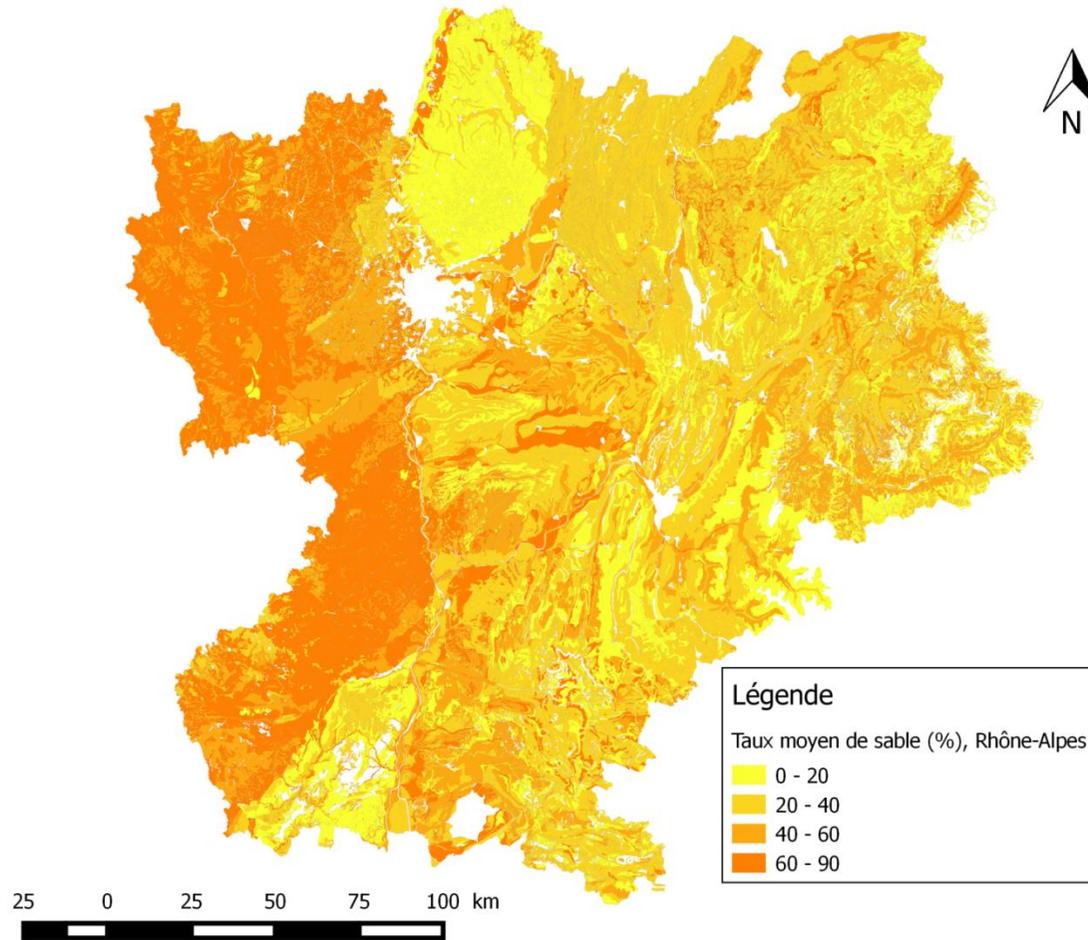
Annexe 1 : découpage de la région Rhône-Alpes en UCS



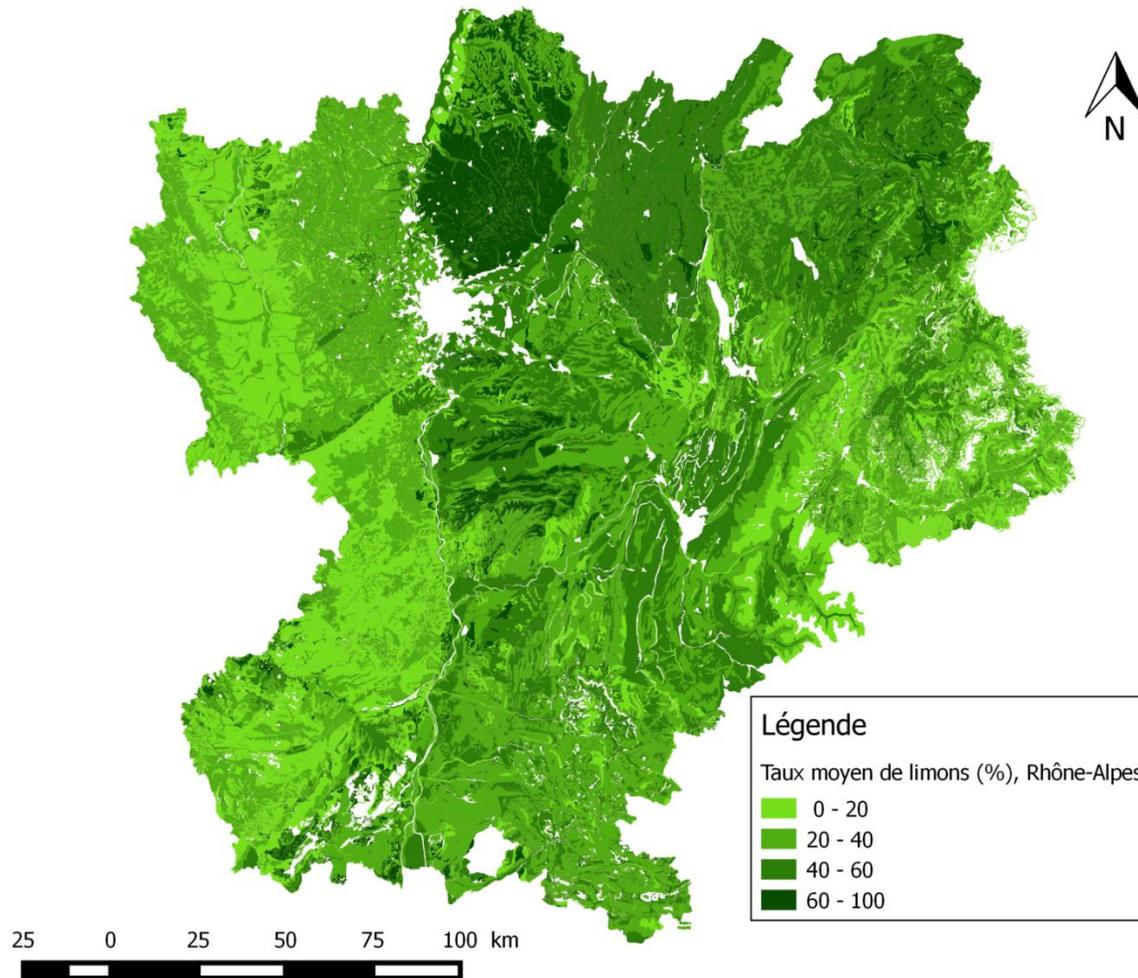
Annexe 2 : taux moyens d'argile sur la région Rhône-Alpes



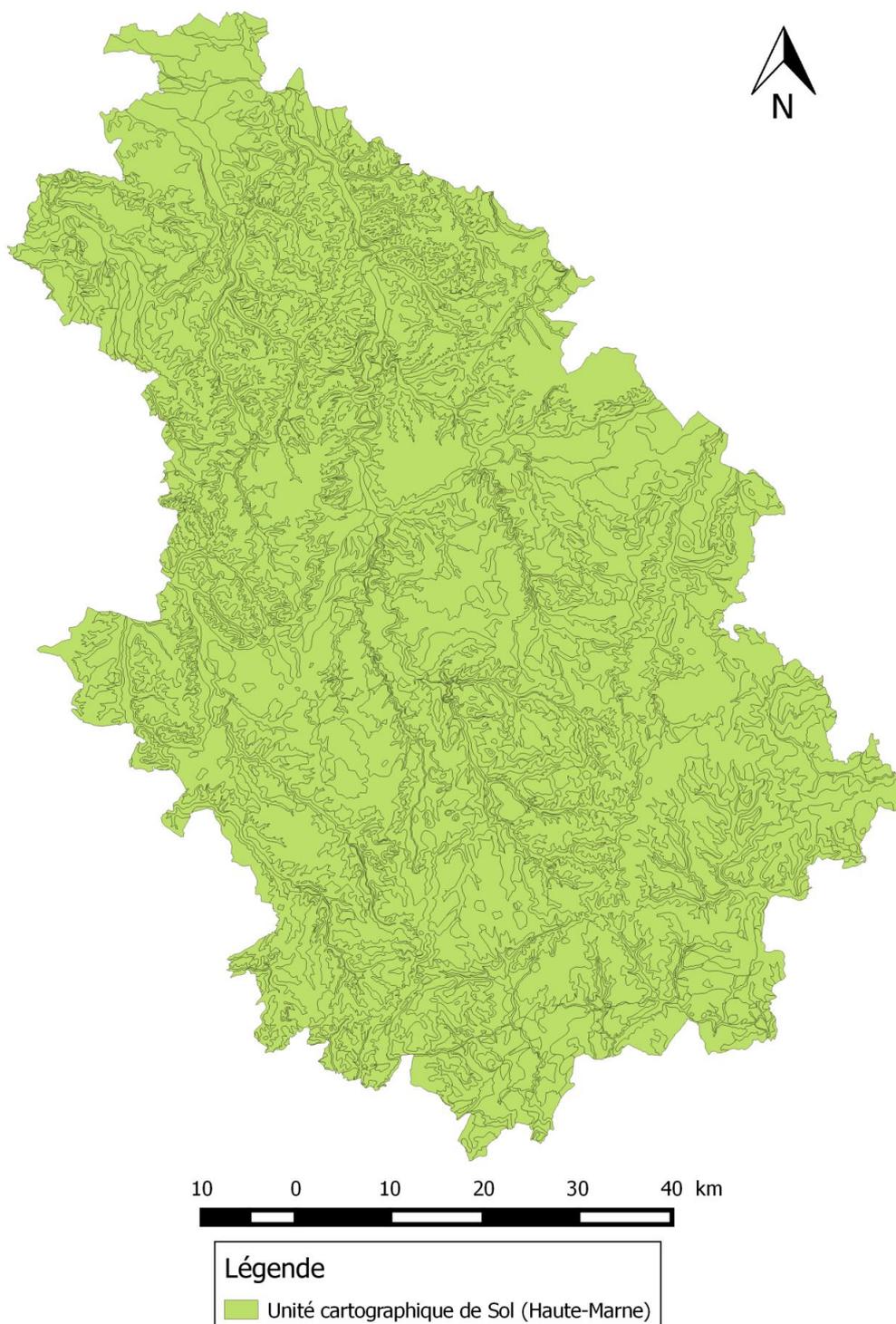
Annexe 3 : taux moyens de sable sur la région Rhône-Alpes



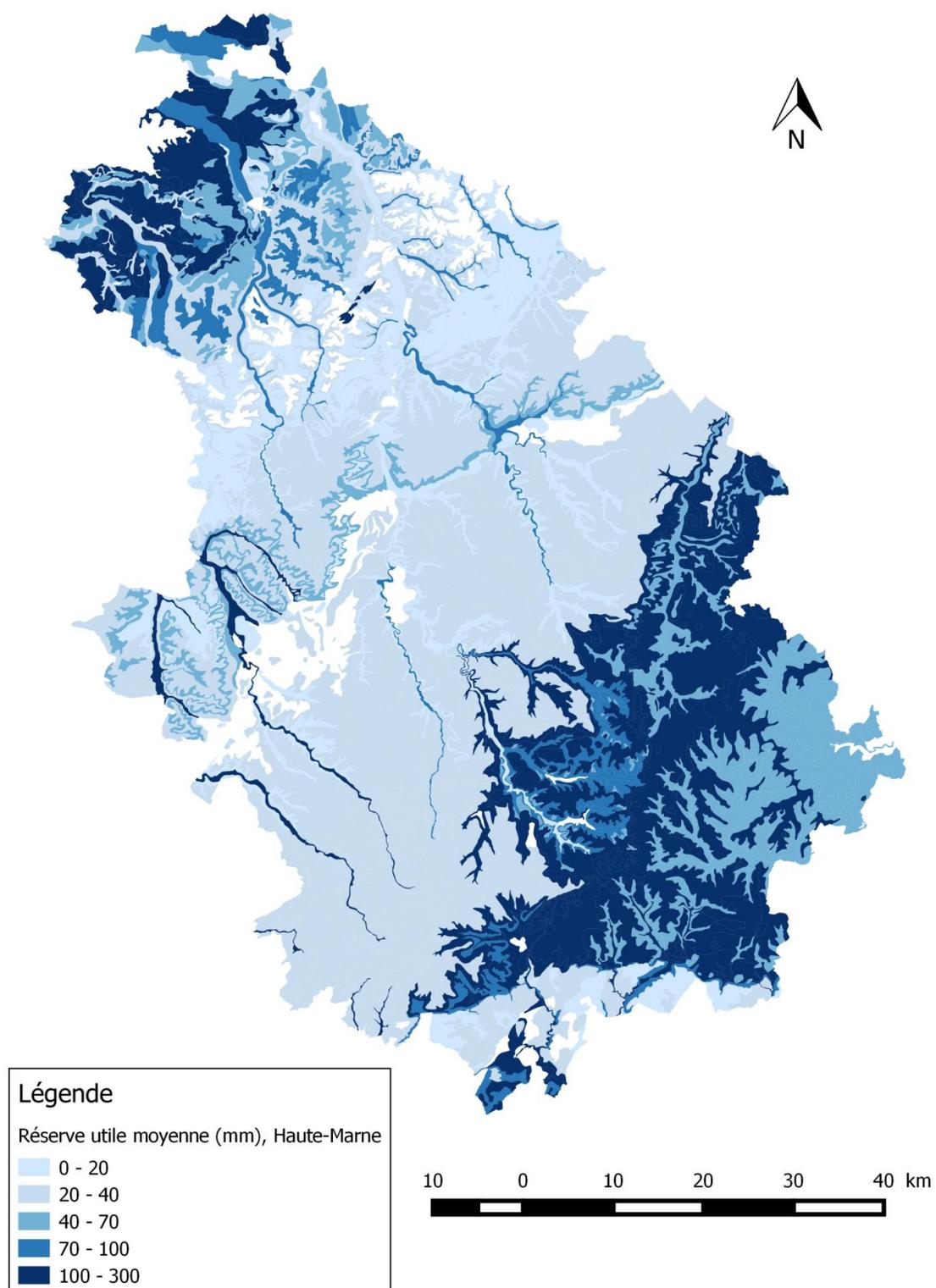
Annexe 4 : taux moyens de limons sur la région Rhône-Alpes



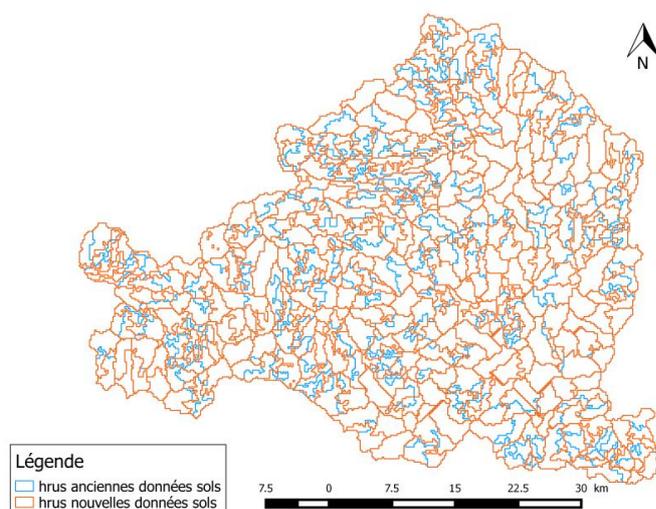
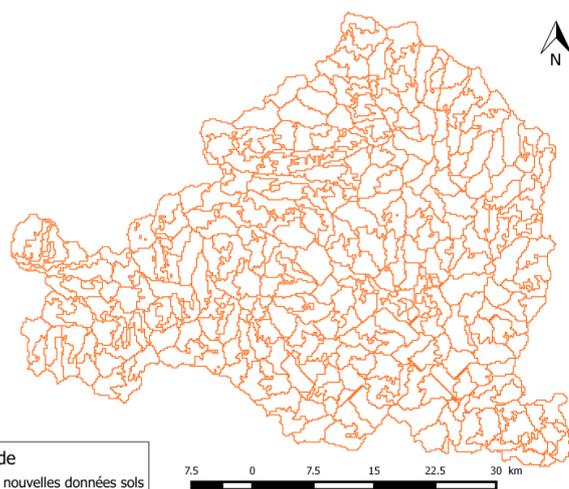
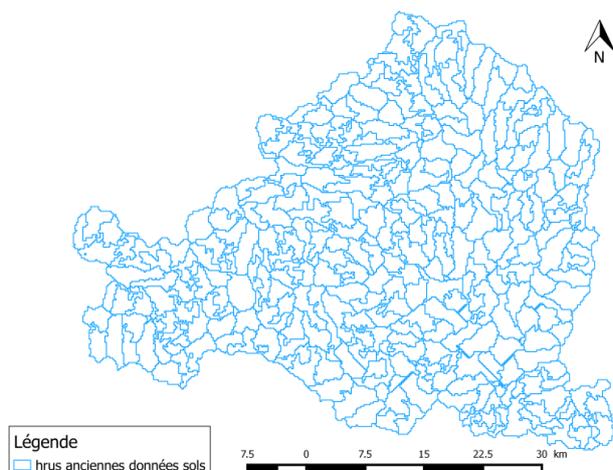
Annexe 5 : découpage du département de la Haute-Marne en UCS



Annexe 6 : réserves utiles moyenne sur le département de la Haute-Marne



Annexe 7 : différences des découpages du BV ardéchois en HRUs entre les anciennes et nouvelles données sols



Ci-contre, les différents maillages obtenus pour le BV de l'Ardèche.

En bleu, le maillage généré avec HRU-Delin avec la base de donnée européenne des sols (1/1 000 000ème). En orange, le maillage s'appuyant sur les données sol au 1/250 000ème.

On constate que l'agencement des HRUs diffère assez significativement en fonction des données utilisées. La taille moyenne des HRUs elle ne varie pas, mais ce n'est pas étonnant. En effet, la taille minimale des HRUs est à renseigner dans HRU-Delin, indifféremment des données utilisées. Le choix a donc été fait de garder une même taille minimale de HRU, dans la perspective des comparaisons entre simulations à suivre.

Un peu d'informatique

Cette partie des annexes vise à expliquer plus en détail certaines manipulations informatiques qui ont été effectuées au cours du projet, qui pour des questions de lisibilité, n'ont pas été directement intégrées au rapport. Voici donc le détail de quelques-unes des étapes principales de ce travail.

Annexe 8 : création de la nouvelle couche raster des sols sur le BV de l'Ardèche

En théorie, la création de cette couche, essentielle pour le fonctionnement de HRU-Delin est assez rapide : il suffit de convertir en raster la couche vecteur issue des données relatives à l'Ardèche de la base de données Rhône-Alpes.

Premier problème : Le bassin versant de l'Ardèche (la rivière) ne se limite pas à l'Ardèche (le département) ! En effet bien que l'Ardèche prenne sa source dans le département du même nom, certains de ses affluents se situent eux en Languedoc-Roussillon. On peut notamment citer la Borne, ou l'Altier. Or les bases de données – et donc les cartes des sols – sont organisées par région, et il faudra donc dans le cas présent recouper certaines données à la fois de la région Rhône-Alpes, mais aussi du Languedoc-Roussillon. Heureusement, cette dernière fait partie des régions disposant déjà d'une base de données des sols, et il est donc possible de remédier à ce problème. Il faut donc sélectionner les UCS incluses dans le BV de l'Ardèche dans les deux cas de régions, et en faire une nouvelle table commune dans la base de données.

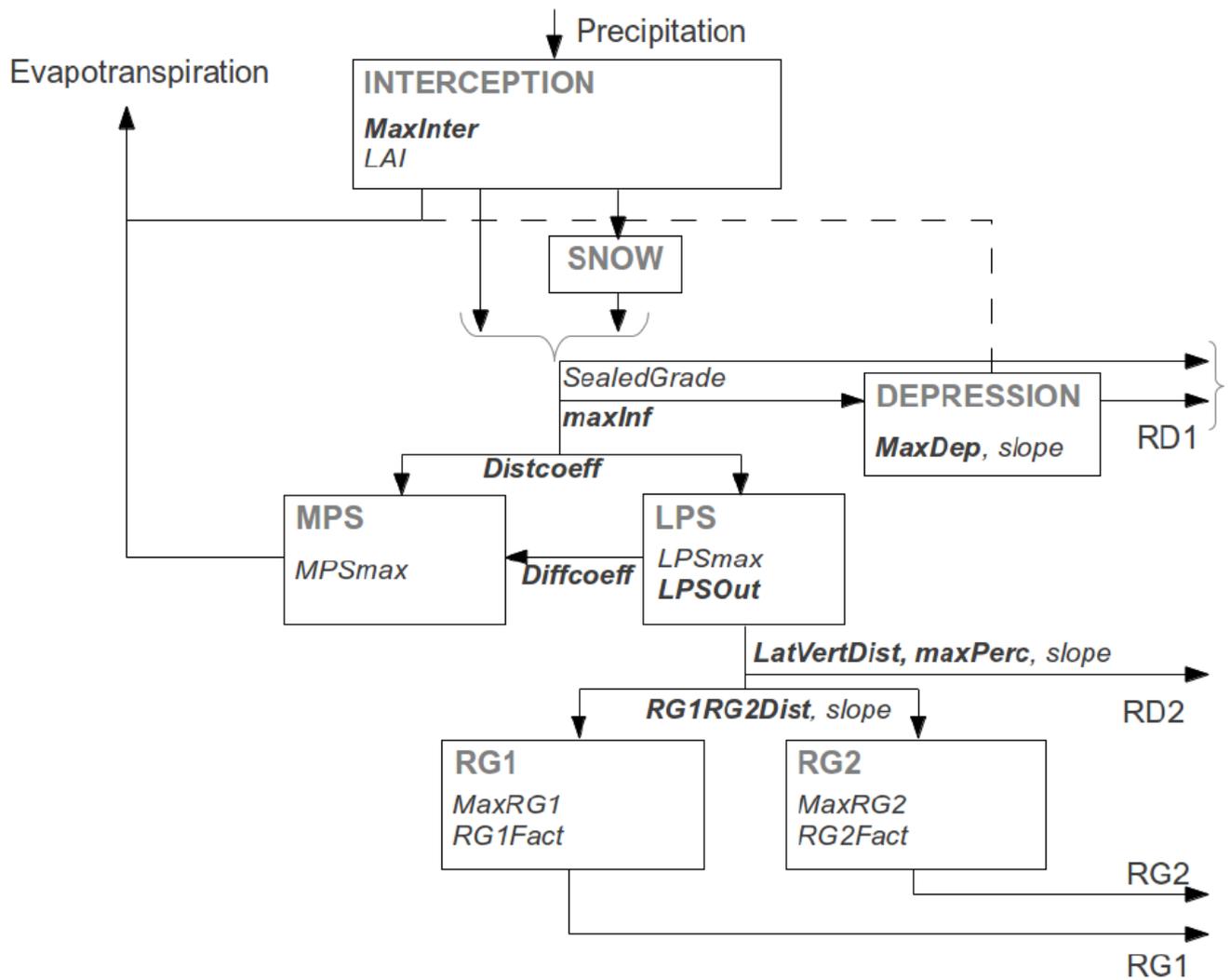
Problème suivant, les classes de la colonne «gemoetry» varient entre les bases de données Rhône-Alpes et Languedoc-Roussillon (polygon dans un cas, multipolygon dans l'autre). Une colonne ne pouvant contenir qu'un seul type de données, il est nécessaire de convertir les multi-polygones en polygones avec le code SQL suivant :

```
ALTER TABLE Soil_thickness_LR_RA
ALTER COLUMN geom TYPE geometry,
ADD CONSTRAINT enforce_geotype_geom CHECK (geometrytype(geom) = ANY
(ARRAY['MULTIPOLYGON'::text, 'POLYGON'::text])),
ADD CONSTRAINT enforce_srid CHECK (st_srid(geom) = 2154)
```

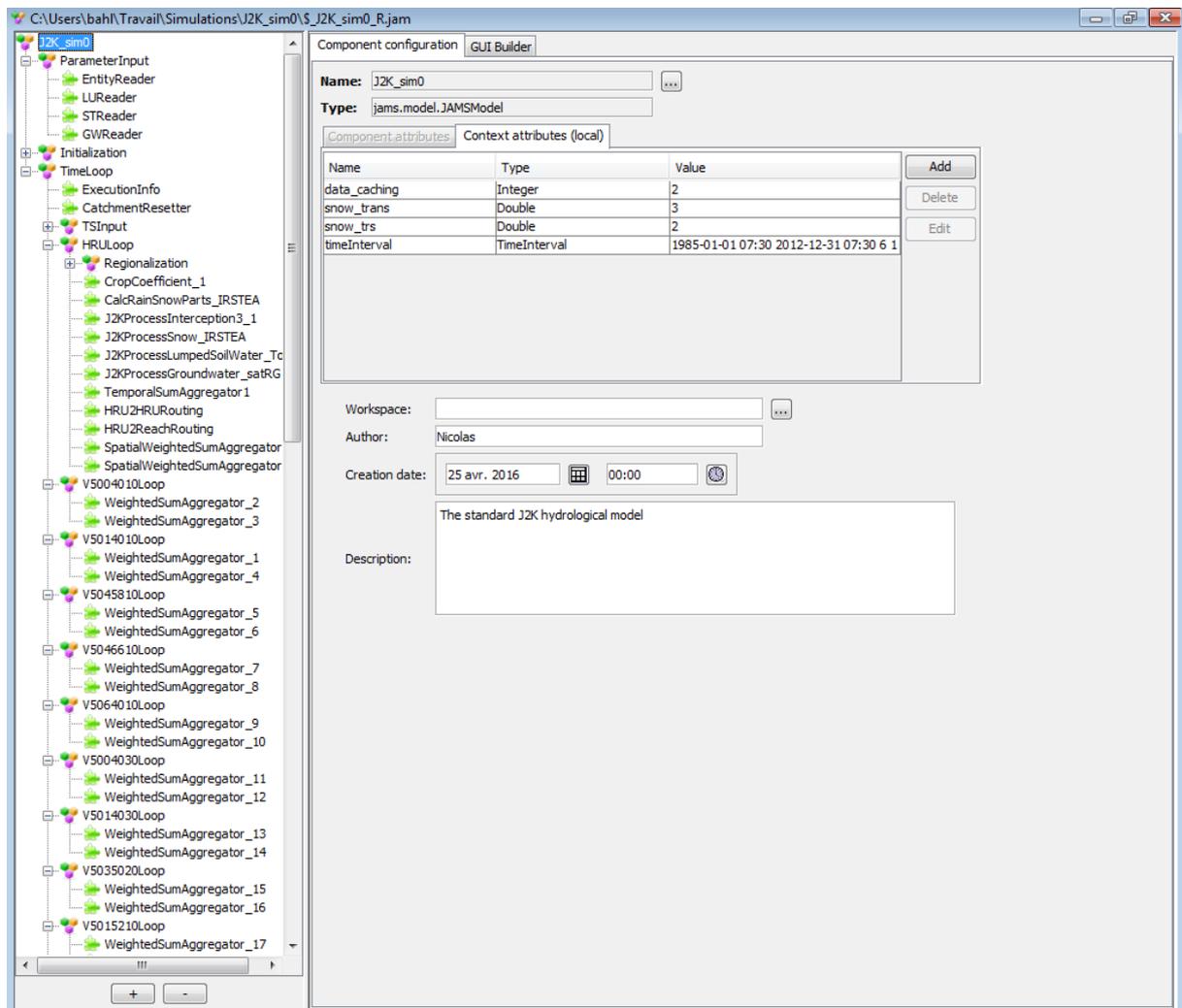
Une fois cette table construite, il reste à importer les données (même méthode que [figure 6](#)). Le vecteur peut alors être ouvert sous QGIS, et il ne reste alors plus qu'à créer des classes de sols et à rasteriser la couche.

Utilisation de J2000

Annexe 9 : représentation schématique du fonctionnement de J2000



Annexe 10 : Interface du logiciel J2000



Quelques scripts utilisés

Annexe 11 : Extraits de la création de la base de données Rhône-Alpes, en SQL

- Chaque département est intégré à la base de données Rhône-Alpes. Tout en conservant un identifiant permettant au département de rester identifiable

```
CREATE TABLE all_uc_ra AS SELECT gid, "no_uc", "no_int_uc", geom, no_etude
FROM uccarto01 ORDER BY gid;
ALTER TABLE all_uc_ra ADD COLUMN id_dept_uc double precision;
UPDATE all_uc_ra SET id_dept_uc = 1000000 + gid;
INSERT INTO all_uc_ra (SELECT gid, "no_uc", "no_int_uc", geom, no_etude,
25000000+ gid FROM uccarto25 ORDER BY gid);
INSERT INTO all_uc_ra (SELECT gid, "no_uc", "no_int_uc", geom, no_etude,
26000000+ gid FROM uccarto26 ORDER BY gid);
INSERT INTO all_uc_ra (SELECT gid, "no_uc", "no_int_uc", geom, no_etude,
38000000+ gid FROM uccarto38 ORDER BY gid);
INSERT INTO all_uc_ra (SELECT gid, "no_uc", "no_int_uc", geom, no_etude,
42000000+ gid FROM uccarto42 ORDER BY gid);
INSERT INTO all_uc_ra (SELECT gid, "no_uc", "no_int_uc", geom, no_etude,
69000000+ gid FROM uccarto69 ORDER BY gid);
INSERT INTO all_uc_ra (SELECT gid, "no_uc", "no_int_uc", geom, no_etude,
73000000+ gid FROM uccarto73 ORDER BY gid);
INSERT INTO all_uc_ra (SELECT gid, "no_uc", "no_int_uc", geom, no_etude,
74000000+ gid FROM uccarto74 ORDER BY gid);

ALTER TABLE all_uc_ra ADD COLUMN "nb_uts" numeric(2);
UPDATE all_uc_ra SET "nb_uts" = (SELECT temp."nb_uts" FROM
(SELECT ucs."no_etude", ucs."no_ucs", ucs."nb_uts" FROM ucs) AS temp
WHERE all_uc_ra."no_etude" = temp."no_etude" AND all_uc_ra."no_uc" =
temp."no_ucs");
ALTER TABLE all_uc_ra ADD COLUMN "nom_uc" character varying(240);
UPDATE all_uc_ra SET "nom_uc" = (SELECT temp."nom_ucs" FROM
(SELECT ucs."no_etude", ucs."no_ucs", ucs."nom_ucs" FROM ucs) AS
temp
WHERE all_uc_ra."no_etude" = temp."no_etude" AND all_uc_ra."no_uc" =
temp."no_ucs");

ALTER TABLE all_uc_ra ADD COLUMN gid serial;
ORDER BY all_uc_ra."no_etude", all_uc_ra."no_uc";
ALTER TABLE all_uc_ra OWNER TO postgres;
```

- Un aperçu des paramètres contenu dans la BD Rhône-Alpes

```
CREATE TABLE pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map
AS SELECT temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."no_etude",
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."no_int_uc",
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."no_uc",
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map.geom,
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."no_us",
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."forme_veg", temp_pour_all_uc_
us_maj2_ra_surface_map."surfacel",
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."nom_us",
epais_moy_tot,
max_storage_tot,
max_storage_corrige_tot,
ru_tot,
```

```
ru_corrige_tot,  
no_strate,  
position_strate,  
epais_moy,  
argile_moy,  
limon_moy,  
sable_moy,  
pierro_min,  
pierro_moy,  
pierro_max,  
texture_class,  
porosite_braken_eff,  
e10ks_ms,  
theta_r,  
hbc_m,  
lambda,  
thetas_corrige,  
ks_ms_corrige,  
theta_field,  
theta_field_corrige,  
theta_wilt,  
theta_wilt_corrige,  
applied_rb85  
FROM temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map LEFT JOIN all_us_ra_surface  
ON all_us_ra_surface.no_etude =  
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."no_etude"  
AND all_us_ra_surface.no_us =  
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."no_us"  
ORDER BY temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."no_etude",  
temp_pour_all_uc_us_maj2_ra_surface_map."no_uc"  
;
```

- Quatre classes d'épaisseur de sol distinguées

```
CREATE TABLE Soil_thickness_classes_2_LR_RA AS  
SELECT bd.epais_moy_tot, bd.geom, bd.gid, bd.id_soil,  
CASE  
WHEN bd.epais_moy_tot >= 110::double precision THEN 1::double  
precision  
WHEN bd.epais_moy_tot < 110::double precision AND  
bd.epais_moy_tot >= 80::double precision THEN 2::double precision  
WHEN bd.epais_moy_tot < 80::double precision AND  
bd.epais_moy_tot >= 50::double precision THEN 3::double precision  
WHEN bd.epais_moy_tot < 50::double precision THEN 4::double  
precision  
END AS thickness_class  
FROM Soil_thickness_LR_RA bd;  
ALTER TABLE Soil_thickness_classes_2_LR_RA OWNER TO postgres;
```

Annexe 12 : Calcul de quelques critères d'évaluation des simulations, en R

- Critère de $Nash(Q)$

```
Nash <- function(sim, obs)
{
  Nash <- 1 - sum(((sim - obs))^2, na.rm = TRUE) /
    sum(((obs - mean(obs, na.rm = TRUE)))^2, na.rm = TRUE);
  Nash
}
```

- Critère de $Nash(\sqrt{Q})$

```
sqrtNash <- function(sim, obs)
{
  Nash <- 1 - sum(((sqrt(sim) - sqrt(obs))^2), na.rm = TRUE) /
    sum(((sqrt(obs) - mean(sqrt(obs), na.rm = TRUE))^2), na.rm = TRUE);
  Nash
}
```

- Critère de $Nash(\log(Q))$

```
logNash <- function(sim, obs, value)
{
  Nash <- 1 - sum(((log(sim+value) - log(obs+value))^2), na.rm = TRUE) /
    sum(((log(obs+value) - mean(log(obs+value), na.rm = TRUE))^2), na.rm =
TRUE);
  Nash
}
```

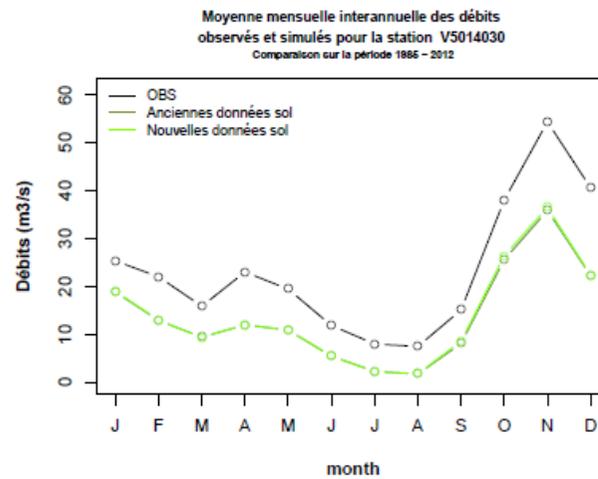
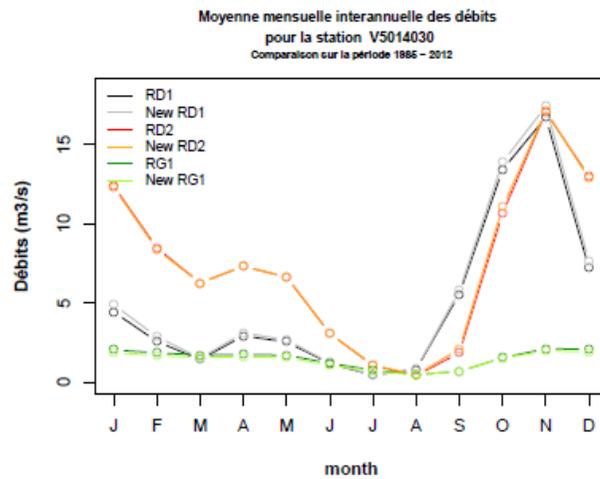
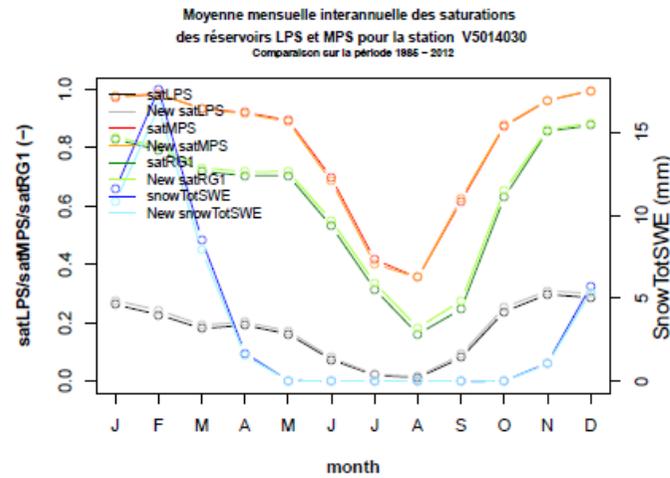
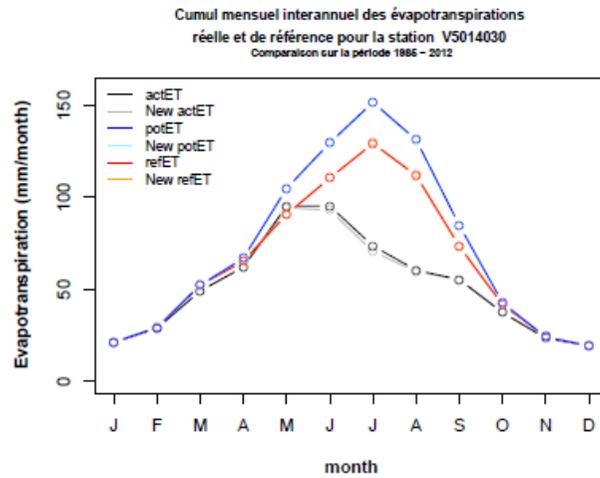
- Biais

```
Bias <- function(sim, obs)
{
  Bias <- sum((sim - obs), na.rm = TRUE) /
    sum(obs, na.rm = TRUE) * 100;
  Bias
}
```

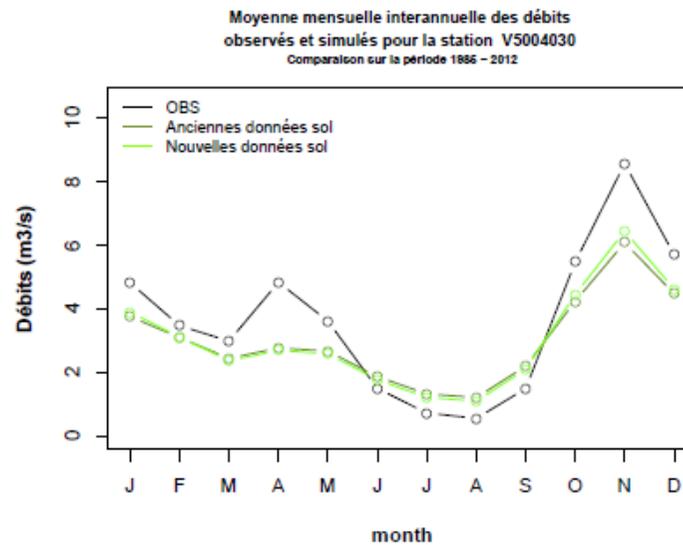
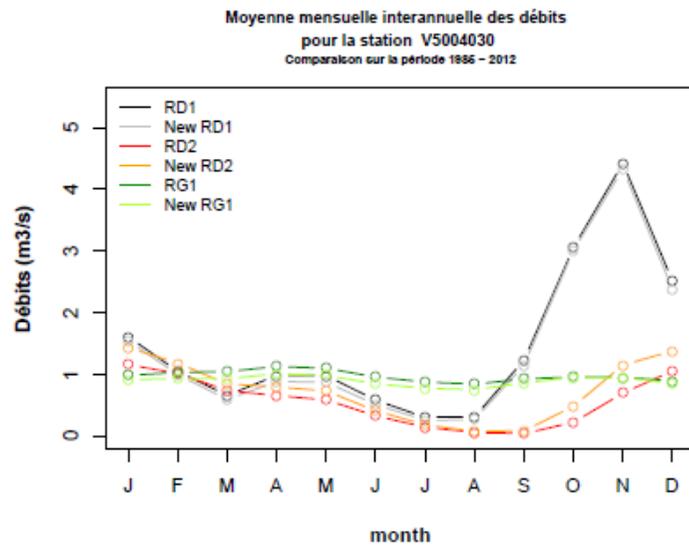
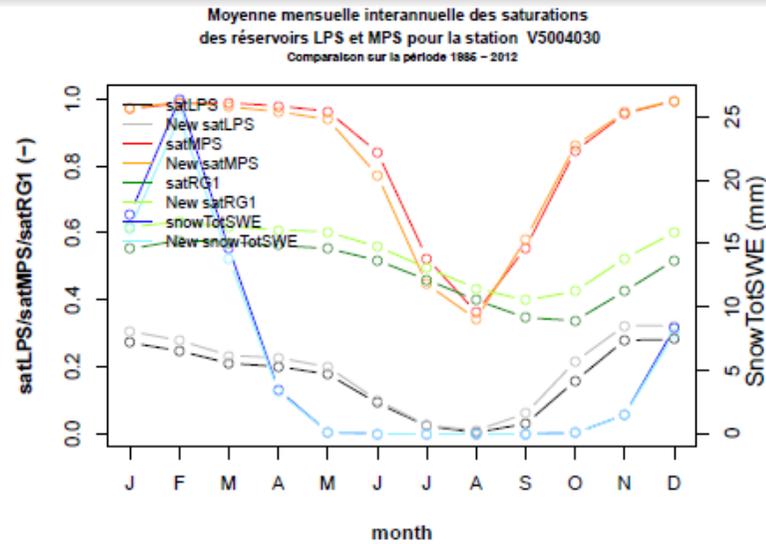
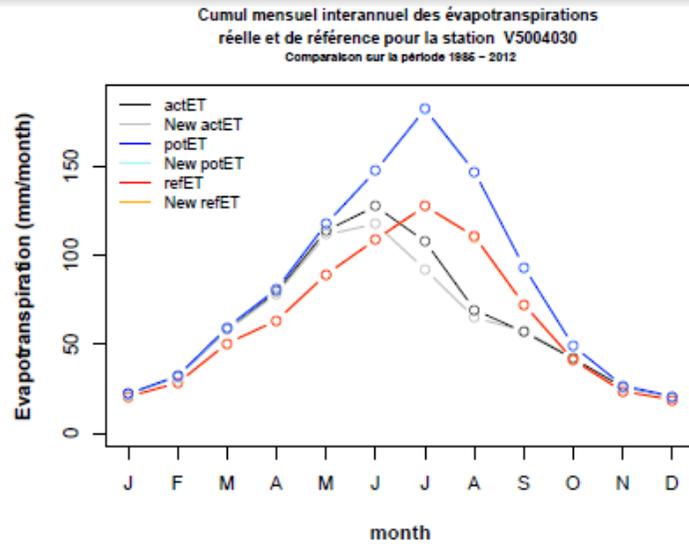
/Analyse des quatre simulations

Détail des résultats d'autres simulations

Annexe 13 : Station V5004030, simulation n°1

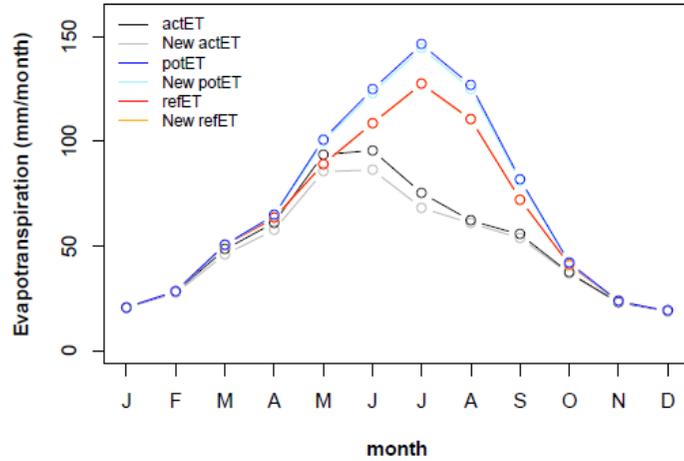


Annexe 14 : Station V5004030, simulation n°2

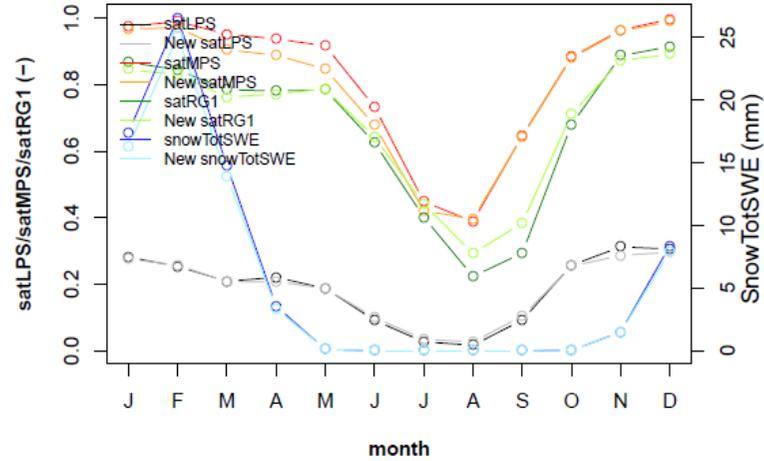


Annexe 15 : Station V5004030, simulation n°3

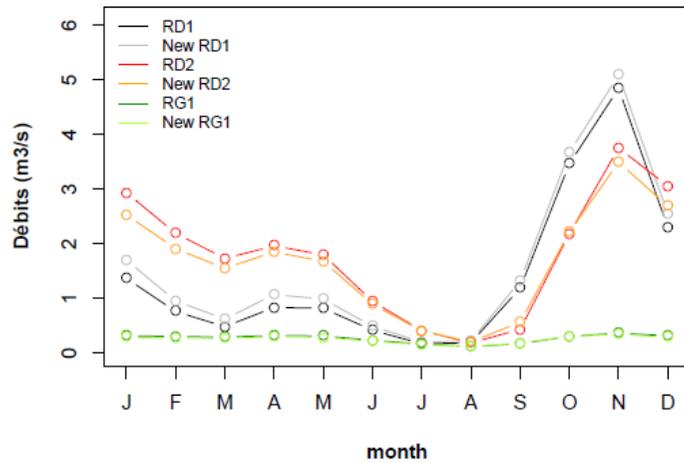
Cumul mensuel interannuel des évapotranspirations
réelle et de référence pour la station V5004030
Comparaison sur la période 1985 - 2012



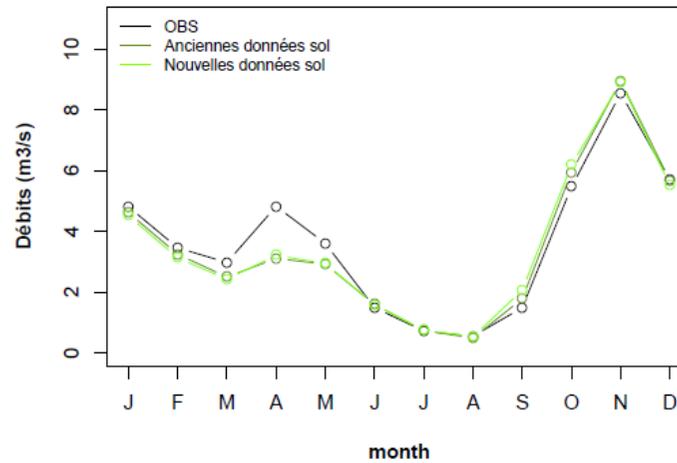
Moyenne mensuelle interannuelle des saturations
des réservoirs LPS et MPS pour la station V5004030
Comparaison sur la période 1985 - 2012



Moyenne mensuelle interannuelle des débits
pour la station V5004030
Comparaison sur la période 1985 - 2012

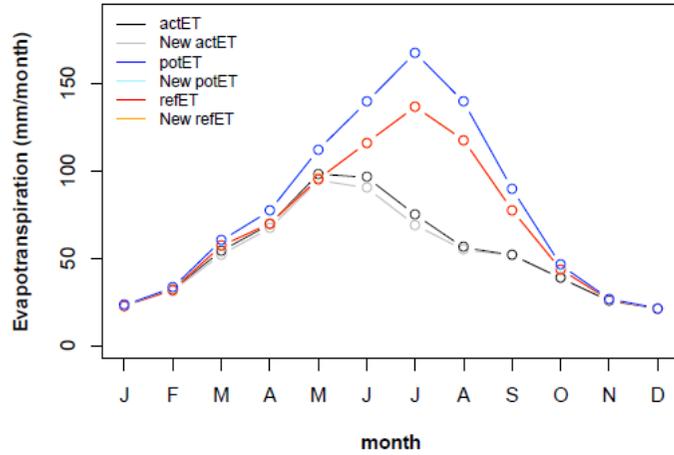


Moyenne mensuelle interannuelle des débits
observés et simulés pour la station V5004030
Comparaison sur la période 1985 - 2012

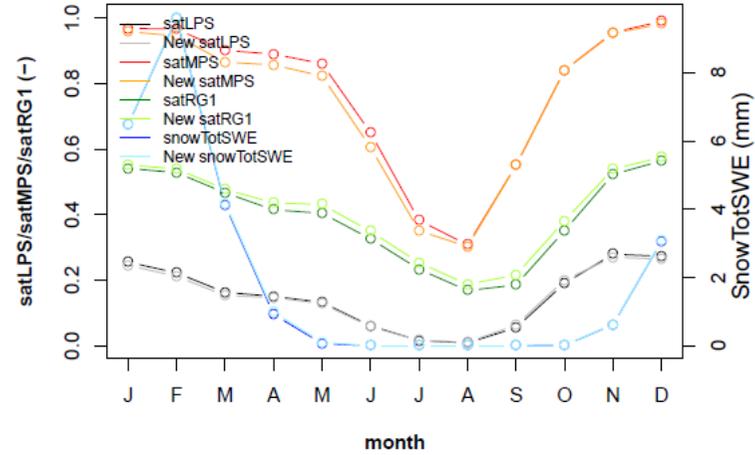


Annexe 16 : Station V5064010, simulation n°4

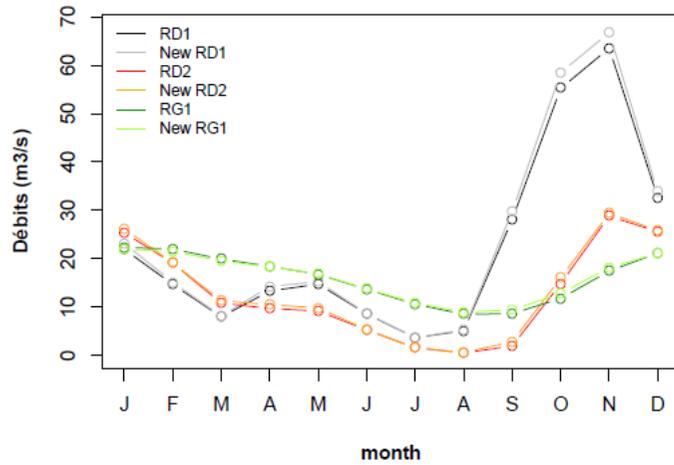
Cumul mensuel interannuel des évapotranspirations réelle et de référence pour la station V5064010
Comparaison sur la période 1985 - 2012



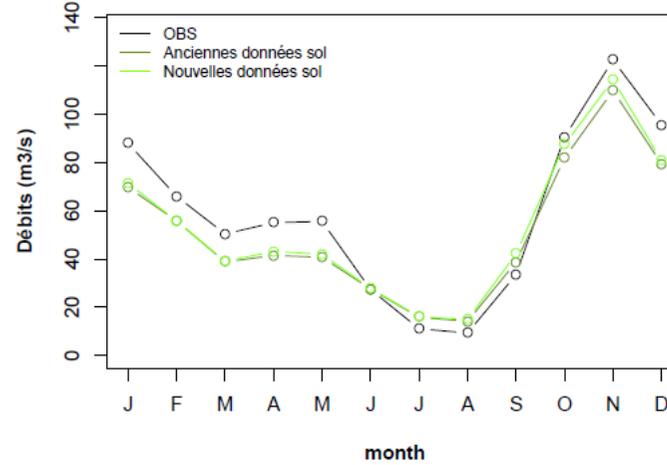
Moyenne mensuelle interannuelle des saturations des réservoirs LPS et MPS pour la station V5064010
Comparaison sur la période 1985 - 2012



Moyenne mensuelle interannuelle des débits pour la station V5064010
Comparaison sur la période 1985 - 2012

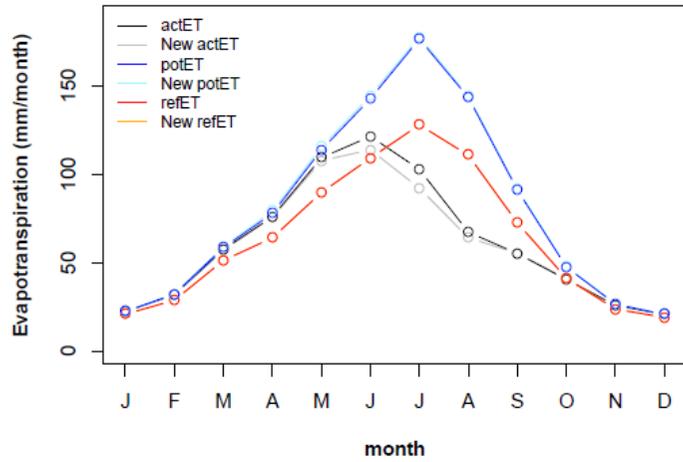


Moyenne mensuelle interannuelle des débits observés et simulés pour la station V5064010
Comparaison sur la période 1985 - 2012

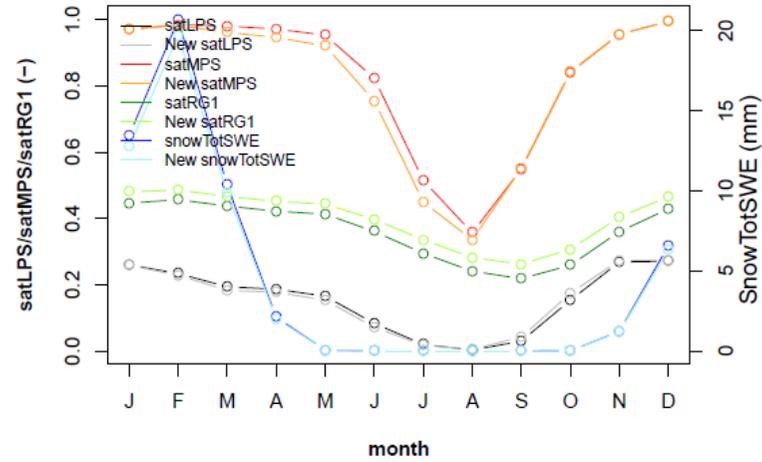


Annexe 17 : Station V5004010, simulation n°4

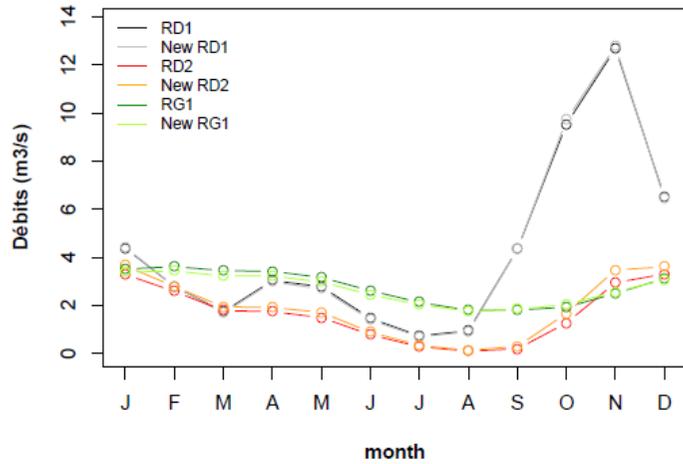
Cumul mensuel interannuel des évapotranspirations
réelle et de référence pour la station V5004010
Comparaison sur la période 1985 - 2012



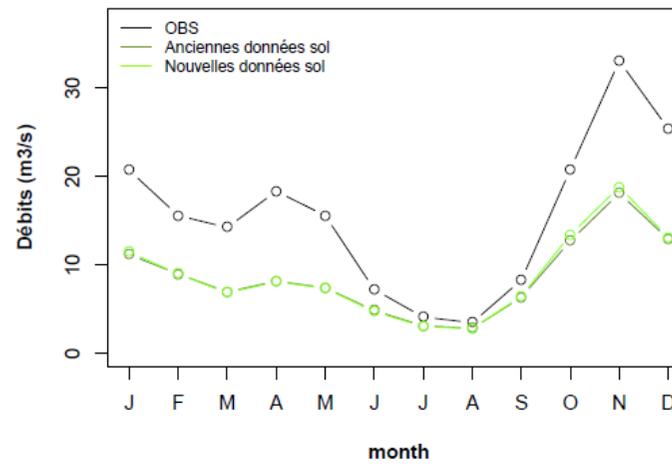
Moyenne mensuelle interannuelle des saturations
des réservoirs LPS et MPS pour la station V5004010
Comparaison sur la période 1985 - 2012



Moyenne mensuelle interannuelle des débits
pour la station V5004010
Comparaison sur la période 1985 - 2012



Moyenne mensuelle interannuelle des débits
observés et simulés pour la station V5004010
Comparaison sur la période 1985 - 2012



Valeurs du critère de Nash sur les stations du BV de l'Ardèche

Annexe 18 : Résultats moyens du Nash

Simulation	médiane
simulation de référence sans distinction plaine/montagne	0,74
1	0,75
3	0,75
simulation de référence avec distinction plaine/montagne	0,67
2	0,63
4	0,64

Annexe 19 : Valeurs du critère de Nash sur l'ensemble des stations du BV de l'Ardèche

Nom de la station	Code Station	Nash simulation de référence sans distinction plaine/montagne	Nash simulation 1	Nash simulation 3	Nash simulation de référence avec distinction plaine/montagne	Nash simulation 2	Nash simulation 4
L'Ardèche à Pont-de-Labeaume	V 500 4010	0,74	0,74	0,74	0,59	0,59	0,60
L'Ardèche à Vogüé	V 501 4010	0,75	0,76	0,75	0,66	0,66	0,66
La Borne à Pont St Nicoulaud	V 504 5810	0,70	0,72	0,71	0,59	0,59	0,60
L'Altier à Goulette	V 504 6610	0,60	0,75	0,75	0,63	0,67	0,69
L'Ardèche à St Martin d'Ardèche	V 506 4010	0,75	0,77	0,78	0,71	0,73	0,74
L'Ardèche à Meyras	V 500 4030	0,65	0,67	0,67	0,53	0,55	0,57
L'Ardèche à Pont d'Ucel	V 501 4030	0,76	0,77	0,76	0,60	0,62	0,62
La Beaume à Rosières	V 503 5020	0,71	0,72	0,72	0,60	0,63	0,65
La Volane à Vals	V 501 5210	0,73	0,72	0,73	0,59	0,62	0,61
L'Ardèche à Pont d'Arc	V 505 4010	0,75	0,76	0,76	0,69	0,70	0,71

Bibliographie

- Bonnet, S. (2012). *Cartographie des zones potentielles de production ou d'accumulation du ruissellement de surface en région cévenole*.
- Boudevillain B, D. G. (s.d.). A high-resolution rainfall re-analysis based on radar-rain gauge merging in the Cévennes-Vivarais region, France. *Journal of Hydrology*.
- Braud, I., Aral, P.A., Bouvier, C., Branger, F., Delrieu, G., Le Coz, J., Nord, G., Vandervaere, J.P., Anquetin, S., Adamovic, M., Andrieu, J., Batiot, C., Boudevillain, B., Brunet, P., Carreau, J., Confoland, A., Didon-Lescot, J.F., Domergue, J.M., Douvinet, J., Dramais, G., Freydier, R., Gérard, S., Huza, J., Leblois, E., Le Bourgeois, O., Le Boursicaud, R., Marchand, P., Martin, P., Nottale, L., Patris, N., Renard, B., Seidel, J.L., Taupin, J.D., Vannier, O., Vincendon, B., Wijbrans, A.. (2014). Multi-scale hydrometeorological observation and modelling for flash flood understanding. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18(9): 3733-3761.
- Friedrich-Schiller-Universität Jena. (s.d.). *IMLS-Wiki*. Consulté le Février, sur uni-jena.de: http://ilms.uni-jena.de/ilmswiki/index.php/Hydrological_Model_J2000
- Hingray, B., Picouet, C., & Musy, A. (2014). *Hydrologie : Une science pour l'ingénieur*. Presse polytechniques et universitaires romandes.
- INRA Orléans. (2015, Novembre). *DoneSol version 3.5*. 2016, sur Gis Sol: <https://dw3.gissol.fr/fichiers/dictionnaire-donesol-igcs.pdf>
- Livneh, B. K. (2015). Influence of soil textural properties on hydrologic fluxes in the Mississippi river basin. *Hydrological Processes*, 29(21): 4638-4655.
- Manus, C. (2007). *Analyse de la variabilité de la réponse hydrologique à la variabilité des caractéristiques des sols en région Cévennes-Vivarais*.
- Gottardi F., Obled C., Gailhard J., Paquet E., 2012. Statistical reanalysis of precipitation fields based on ground network data and weather patterns: Application over French mountains. *Journal of hydrology*
- Schaefli, B., & Gupta, H. V. (2007). Do Nash values have value? *Hydrological Processes*.
- Tilmant, F., Cipriani, T., Branger, F., Sauquet, E., Braud, I., Leblois, E., et al. (2013). *Modélisation hydrologique distribuée du Rhône, rapport d'avancement*. Villeurbanne.
- Tilmant, F., Gouttevin, B. C., Montginoul, M., Branger, F., Leblois, E., Sauquet, E., et al. (2015). *Modélisation hydrologique distribuée du Rhône, rapport d'avancement n°3*. Villeurbanne.

- Vidal, J-P., Martin, E., Franchistéguy, L., Baillon, M., Soubeyroux, J-M., 2010. A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *International Journal of Climatology*, 30, 11, 1627–1644.
- Rawls W.J. and Brakensiek D.L. (1985). Prediction of soil water properties for hydrologic modelling. American Society of Civil Engineers symposium, Denver, April 30-May 1, 1985.
- Krause, P., *et al.*, 2006, Multiscale investigations in a mesoscale catchment – hydrological modelling in the Gera catchment, *Adv. Geosci.*, 9, 53–61.

/Analyse des quatre simulations



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme(s) : Ingénieur de l'ENGEES

Spécialité : Gestion Durable de l'Eau dans les Territoires (GEDET)

Auteur : Nicolas Bahl

Année : 2016

Titre : Dérivation de paramètres caractéristiques du sol pour la modélisation hydrologique sur la région Rhône-Alpes

Analyse de sensibilité de la modélisation à la description du sol sur le bassin de l'Ardèche

Nombre de pages texte : 51

annexes : 21

Nombre de références bibliographiques : 15

Structure d'accueil : Irstea / Villeurbanne / Rhône

Maître de stage : Isabelle Braud

Résumé

Le projet de « Modélisation hydrologique Distribuée du Rhône » (MDR), se basant sur le modèle J2000-Rhône, est mené depuis 2013, par l'unité de recherche Hydrologie-Hydraulique d'Irstea Lyon-Villeurbanne. Ce projet de modélisation hydrologique du bassin versant du Rhône a à sa disposition une nouvelle carte des sols d'une échelle au 1 / 250 000ème, plus précise que ce qui était utilisé jusque-là.

Ces données sont mises en forme et intégrées à J2000-Rhône. D'autre part, plusieurs simulations sont effectuées sur le bassin de l'Ardèche, qui démontrent que ces nouvelles données permettent d'obtenir plus de précision dans les résultats du modèle hydrologique.

Mots-clés : Hydrologie / Pédologie / Géomatique / Gestion des données / Traitement de données / Modélisation hydrologique / Evaluation de modèle hydrologique