

Peut-on améliorer les performances de modèles pluie-débit en utilisant les données satellites MODIS ?

Application sur le bassin versant de la Roya

Projet d'ingénierie – GE5 & M2 HP – année 2018/2019
Rapport intermédiaire

BOUTOUBA Ryan
FOUGERE Maxime
LAMOURI Alexander
LEGUEMANI Al Moataz
ROUX Quentin

17 décembre 2018

Sommaire

Introduction	3
1. Synthèse bibliographique	4
2. Données et modèle	5
3. Résultats.....	8
4. Perspectives et problèmes rencontrés	14
Références	16

Introduction

La Roya prend sa source en France dans le Massif du Mercantour à 1871 m d'altitude et se jette dans la mer Méditerranée en Italie. Les utilisations anthropiques multiples de ce fleuve (hydroélectricité, alimentation en eau potable) en font un point stratégique. Il est donc nécessaire de caractériser la ressource en eau de ce bassin. De par son altitude (1871 m à sa source), le bassin versant de la Roya revêt quasiment chaque année son manteau blanc durant la période hivernale. Cette couverture neigeuse alimentera le cours d'eau lors de sa fonte au printemps. La couverture neigeuse pouvant s'étendre sur plusieurs km², il est très difficile et coûteux d'obtenir des mesures terrain sur une si grande surface à pas de temps réguliers. C'est pourquoi les données satellites MODIS produites chaque jour depuis 15 ans sont de plus en plus utilisées par les hydrologues pour caractériser le manteau neigeux. Nous nous intéresserons dans cette étude aux bassins versants de la Roya à Tende et de la Roya à Breil-sur-Roya, repérés en Figure 1.

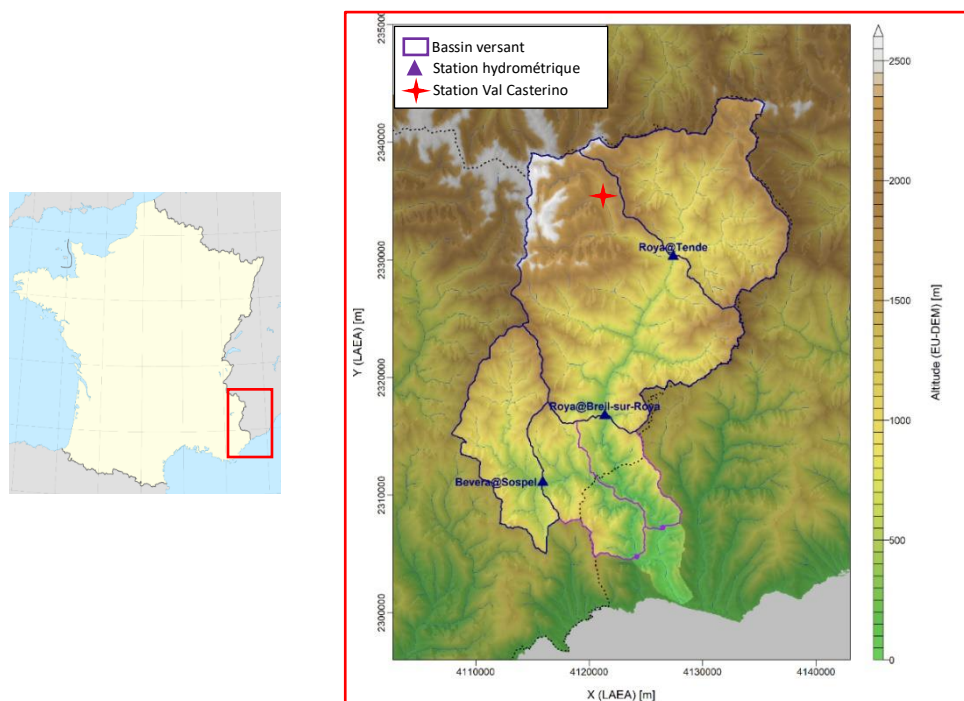


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.

Les objectifs de ce projet sont multiples, une première partie consistera en la revue bibliographique des différentes études relatives à ce sujet. Nous déterminerons ensuite la variabilité spatiale et temporelle de la couverture neigeuse grâce aux données MODIS du bassin versant de la Roya. Puis nous comparerons les séries d'enneigement des données MODIS avec les mesures de terrain issues de la station de ski de Val Casterino, unique point de mesure physique sur notre bassin versant. Enfin, nous essayerons d'intégrer les données satellites MODIS dans le modèle GR4J selon la méthode définie par (Riboust et al. 2019).

1. Synthèse bibliographique

1.1. *Fonctionnement d'un modèle hydrologique*

Les modèles hydrologiques peuvent être divisés en deux groupes principaux : à base physique et conceptuel.

Les modèles à base physique permettent de représenter la relation pluie-débit en utilisant les processus physiques qui se produisent dans le bassin. Ils fournissent un aperçu plus détaillé des différents paramètres et variables du bassin, mais nécessitent une quantité importante de données en entrée. Par conséquent, lorsque des données sont effectivement disponibles, le temps de calcul est généralement assez long.

Les modèles conceptuels ne considèrent pas explicitement les phénomènes physiques. Ils utilisent des réservoirs, reliés les uns aux autres, pour reproduire les différents compartiments hydrologiques du bassin versant. Ils nécessitent peu de données d'entrée (Magand, 2014).

Ces deux types de modèles essaient de reproduire la relation entre précipitations et les débits et doivent être calés à partir de mesures historiques. Chaque modèle fonctionne à une échelle spatiale donnée : globale, semi-distribuée ou distribuée.

Les modèles globaux traitent l'ensemble du bassin versant comme une entité unique, ignorant les éventuelles spécificités de certaines parties de celui-ci. Les modèles semi-distribués divisent le bassin versant en plusieurs sous-bassins en fonction de critères hydrologiques ou topographiques, par exemple. Les modèles distribués découpent le bassin en un réseau maillé et permettent de mieux prendre en compte les spécificités locales puisque des calculs sont effectués pour chaque cellule (qui s'étend souvent sur quelques km²) (Thirel et al., 2018).

1.2. *Utilisation des données MODIS pour la modélisation hydrologique*

Les données MODIS sont de plus en plus utilisées et ont fait l'objet de nombreuses études (Franz and Karsten, 2013; Gascoin et al., 2015; Parajka and Blöschl, 2008). Un certain nombre de ces études et notamment les travaux de Parajka and Blöschl (2008) portent sur le prétraitement des images. En effet les données MODIS produites par deux satellites utilisant des longueurs d'ondes du visible. Il n'est donc pas rare que la couverture neigeuse soit obstruée par la couverture nuageuse. Ces prétraitements visent à réduire ces incertitudes. Nous détaillerons plus en détail ces études dans la partie « Données » de ce présent rapport.

Les travaux de Gascoin et al. (2015) ont permis de valider l'utilisation des données MODIS pour la détermination de la couverture neigeuse du Massif Pyrénéen. Pour cela, une comparaison avec des données in-situ ainsi que des données satellites issues du programme Landsat (<https://landsat.usgs.gov>) a été réalisée. Les données MODIS bien que parfois incertaines en raison de la couverture nuageuse restent de bonne qualité pour ce type d'utilisation. En revanche, l'auteur nous met en garde quant à l'utilisation de ces données dans un modèle hydrologique (qui est l'objectif de ce projet) car les données MODIS sont moins précises dans les zones de transition où la fonte des neiges est rapide. Cependant l'utilisation de ces données pourrait permettre une amélioration des modèles hydrologiques.

C'est notamment l'objet des travaux de Riboust et al. (2019). Cette étude sera notre étude de référence pour la réalisation de notre projet.

2. Données et modèle

2.1. Banque HYDRO

Les débits sont issus de la Banque HYDRO (<http://hydro.eaufrance.fr/>), un site gouvernemental qui collecte et vérifie les hauteurs d'eau d'un grand nombre de cours d'eau français. Ces niveaux d'eau sont ensuite convertis en débits grâce à des courbes de tarage. Ces courbes de tarages calibrées après plusieurs campagnes de mesures au niveau de la station fournissent les valeurs de débits en fonction de la hauteur d'eau mesurée.

Les données sont fournies au pas de temps journalier. Chaque valeur correspond au débit journalier moyen [l/s]. Il est assez facile de convertir ces données de débits en lames d'eau ruisselées en utilisant l'aire et la topographie (MNT : Modèle Numérique de Terrain) du bassin versant étudié.

2.2. SAFRAN

Le système SAFRAN fournit des données climatiques après une réanalyse utilisant une grille de 8x8 km² (Vidal et al., 2010). Ce jeu de données est souvent utilisé avec des modèles à base physique. En effet, les données SAFRAN fournissent un grand nombre de variables utilisées comme données d'entrées dans ces modèles avec une fréquence relativement importante (toutes les 6 heures). Pour notre étude, cependant, nous utiliserons les données suivantes :

- Précipitation totales (précipitations et précipitations solides) [mm/jour],
- Température de l'air [°C].

Les données fournies sont issues d'une extraction faite par Irstea et couvrent la période 1958 – 2013. Une ré-extraction sera faite par nos soins afin de couvrir la période 2000-2016, période pour laquelle les données MODIS sont disponibles.

2.3. MODIS

Les instruments MODIS sont des spectromètres embarqués dans deux satellites, Terra et Aqua. Ces satellites font partie du programme « Earth Observing System » de la NASA. Ce programme a pour objectif l'observation à long terme de la surface terrestre, de la biosphère, de l'atmosphère et des océans (<https://eospso.nasa.gov/>). Les satellites Terra et Aqua couvrent l'ensemble de la surface terrestre en 1 à 2 jours. Parmi la multitude de données récoltées par ces satellites, on retrouve notamment les données de couverture neigeuse. Ces données sont disponibles sur le site du National Snow and Ice Data Center (NSIDC, <http://nsidc.org>), avec une résolution de 500m. Ces données sont adaptées aux études de relativement grande échelle. La surface étudiée dans notre cas représente un peu plus de 600km². On peut donc considérer qu'une résolution des données MODIS de 500m est une source de données utilisable pour notre étude. En comparaison, nous avons utilisé une grille de 64km² pour les données SAFRAN.

Cependant les spectromètres MODIS opèrent dans les longueurs d'ondes du visible et sont donc soumis aux aléas climatiques, principalement la couverture nuageuse. En effet, une couverture nuageuse trop importante bloque la visibilité et altère la qualité des données de couverture neigeuse. Les études de Parajka and Blöschl (2008) ont permis de mettre au point une méthode de traitement pour réduire l'effet de la couverture nuageuse. Pour cela, différentes corrections sont appliquées :

- Correction par croisement entre les satellites Terra et Aqua : Les images sont prises à environ 3h d'intervalle entre chaque satellite. La couverture neigeuse est donc comparée entre les deux satellites.
- Correction spatiale : On observe les pixels aux alentours (jusqu'à 8) du pixel nuageux et on affecte au pixel couvert par les nuages la valeur (neige ou absence de neige) la plus représentée sur les pixels voisins.
- Correction temporelle : Cette correction consiste à affecter au pixel nuageux la valeur au pas de temps précédent (jusqu'à 7 jours). Cette correction est possible car la couverture neigeuse est une donnée qui n'évolue pas trop rapidement. L'utilisation du filtre temporel à 7 jours permet une réduction de la couverture de 95% avec une précision annuelle supérieure 92% (Parajka and Blöschl, 2008).

Nous disposons des rasters journaliers de données du 01/09/2000 au 31/08/2016.

2.4. *Données neige in-situ*

Afin de vérifier la qualité des données MODIS, nous comparerons ces données avec des données in-situ issues de Météo France. Celles-ci proviennent de la station de Ski de Val Casterino, située à proximité de Tende (comme visible en Figure 1). Nous avons récupéré les données sur le site internet de Météo France (<https://donneespubliques.meteofrance.fr/...>).

Nous avons donc des données mensuelles au format csv depuis décembre 2010. Nous n'avons pas de données de comparaison disponibles pour les mois antérieurs. De plus, les mesures ne sont pas faites à pas de temps réguliers. Ainsi, certains mois contiennent plus d'une dizaine de relevés alors que d'autres en contiennent moins de cinq. Cela aura une influence sur la comparaison avec les données MODIS.

2.5. *Modèle*

Le modèle pluie-débit qui sera utilisé sera GR4J, développé par Irstea Antony. Il est présenté dans les travaux de Perrin et al. (2003) et Andréassian et al. (2006). Il sera couplé au module de prise en compte de la neige CemaNeige (Valéry et al., 2014). Ce modèle pluie-débit journalier essaye de représenter au mieux les débits en fonction de nombreux paramètres hydro climatiques. Deux paramètres sont requis en entrée du modèle, l'évapotranspiration potentielle Oudin et al. (2005) ainsi que les précipitations.

Les deux composants principaux du modèle GR4J Perrin et al. (2003) sont les suivants :

- Un module de production qui évalue la quantité de précipitation qui sera transformée en ruissellement,
- Un module de routage qui divise la pluie nette en débits directs et indirects par le biais d'hydrographes unitaires (UH) Andréassian et al. (2006).

La composition détaillée du modèle GR4 est présentée dans la figure 2.

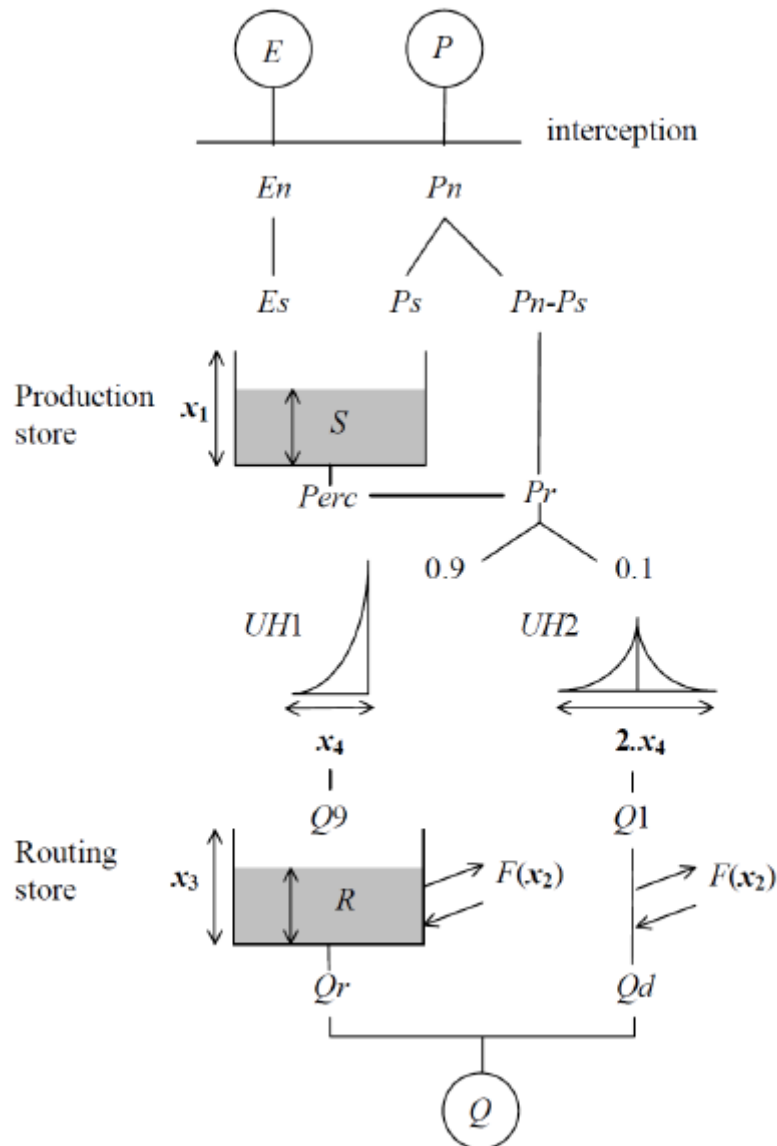


Figure 2: Fonctionnement du modèle GR4J.

Avec :

E , l'évapotranspiration potentielle, calculée selon la méthode définie par Oudin et al. (2005) (**entrée 1**),

E_n , l'évapotranspiration nette,

E_s , l'évapotranspiration du réservoir « Production store »,

P , les précipitations (**entrée 2**),

P_n , la pluie nette,

P_s , la part de P_n qui alimente le réservoir « Production Store »,

$Perc$, la percolation issue du réservoir,

P_r , les précipitations qui entrent dans le module de routage, définie comme suit : $P_r = Perc + (P_n - P_s)$,

S , la quantité d'eau dans le réservoir « Production Store »,

Q_9 , la quantité d'eau entrante dans le réservoir « Routing store »,

F , l'échange d'eau avec la nappe,

R , la quantité d'eau dans le réservoir « Routing store »,

Q_1 , la quantité d'eau provenant de $UH2$,

Q_r , le débit sortant du réservoir « Routing store »,

Q_d , le débit issu de UH2 une fois les échanges avec le sous-sol pris en compte,
 $Q = Q_r + Q_d$, le débit total.

UH1 et UH2 sont les hydrographes unitaires : 90% de P_r est traité avec UH1 et 10% avec UH2.
GR4J étant un modèle journalier, toutes les données présentées ci-dessus sont en [mm/jour].

Les paramètres X_1 à X_4 sont calibrés à partir des données d'entrées et des séries de débits observées in situ.

X_1 est la capacité maximale du « Production store » [mm], X_2 est le coefficient d'échange avec le sous-sol [mm/jour], X_3 est la capacité maximale journalière du « Routing store » [mm] et X_4 est le temps de base de l'hydrographe unitaire UH1 [jours].

Afin d'évaluer l'état hydrologique du bassin versant au début de la simulation, un « warm up » doit être défini en utilisant seulement les données climatiques (précipitations et températures).

Un module complémentaire (CemaNeige) prend en compte la neige et son effet sur le débit (Valéry et al., 2014). Cette routine de prise en compte de la neige nécessite deux données d'entrées supplémentaires : la température de l'air et l'altitude du bassin versant. A partir de ces données, le module détermine la proportion de précipitations solides.

Le bassin versant est divisé en 5 bandes d'altitudes d'aires équivalentes. Cela entraîne la création de deux paramètres additionnels qui doivent être calibrés : CemaNeige X_1 , le coefficient de pondération de l'état thermal du manteau neigeux [-] et CemaNeige X_2 , le coefficient de fonte [mm/°C/jour]. Les données de sortie de cette routine de prise en compte de la neige sont les précipitations ainsi que la fonte des neiges. Le résultat est moyenné sur chacune des 5 bandes d'altitudes.

Notre zone d'étude se situant majoritairement dans un contexte montagneux, nous prendrons le module CemaNeige en compte dans nos simulations.

3. Résultats

3.1. Ré-extraction des données SAFRAN

Afin d'avoir des séries temporelles de pluies et températures couvrant la même période que la série de données MODIS, à savoir 01/09/2000 – 31/08/2016, une ré-extraction des données SAFRAN a été nécessaire. En effet, les données initialement fournies, extraites préalablement par Irstea, couvrent la période 1958 – 2013.

A partir des rasters de données climatiques de SAFRAN et des contours de nos deux bassins versants, les séries temporelles évoquées ont été extraites pour la période couverte par les données MODIS. Des masques transcrivant le poids de chacune des mailles ont été générés pour chaque bassin, comme on le voit en Figure 3.

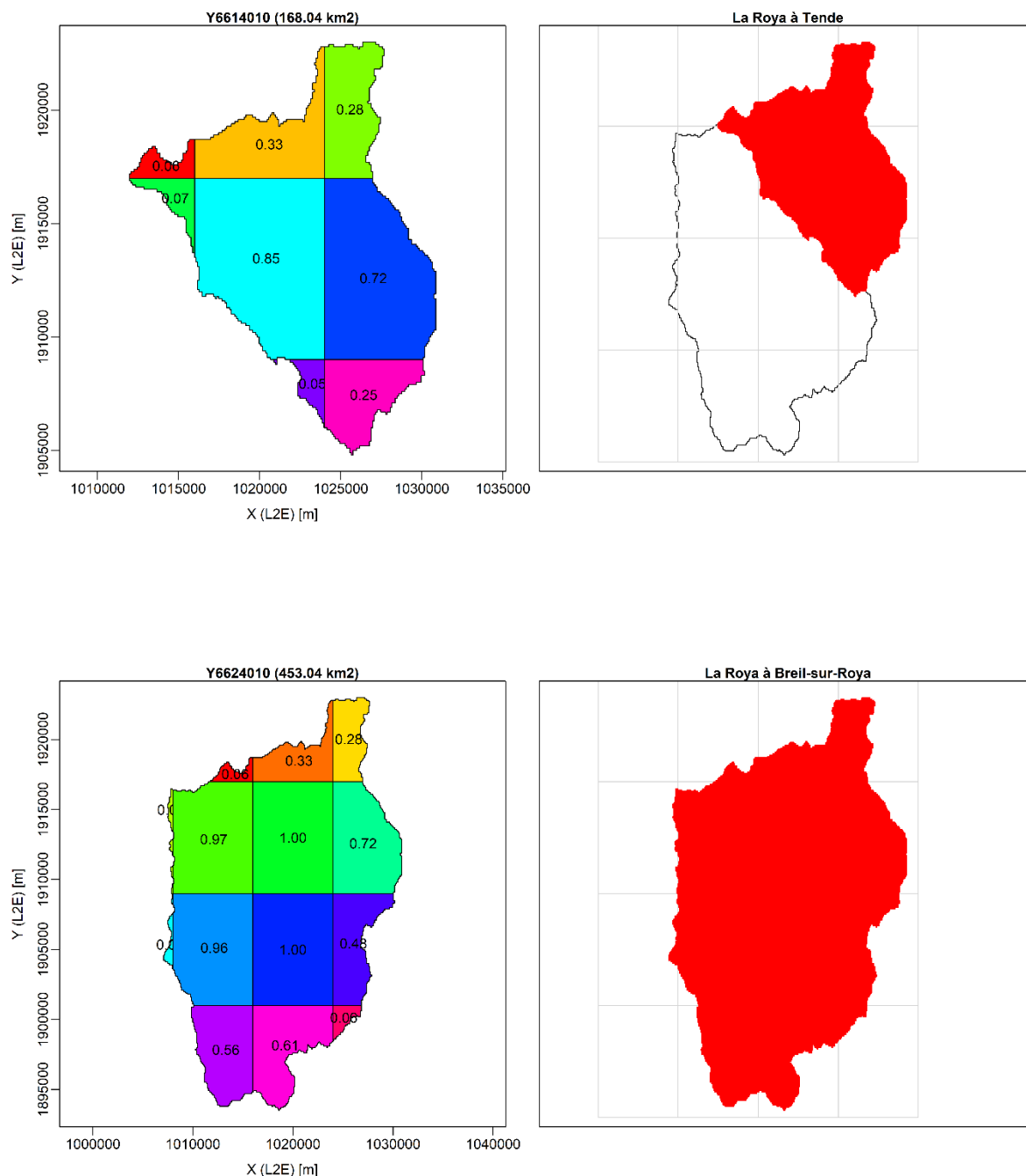


Figure 3 : Maillages SAFRAN.

La finalité de l'extraction consiste à générer, pour chaque jour, une pluie et une température de bassin obtenues par moyenne pondérée des mailles incluses dans le bassin versant.

Pour vérifier la fiabilité de l'extraction, les données extraites ont été comparées aux données fournies (extraites par Irstea) sur la plage commune couverte, soit 2000-2013. Comme le montre la Figure 4, les résultats sont relativement bons pour le bassin de la Roya à Tende mais nettement moins pour celui de la Roya à Breil-sur-Roya, où on sous-estime grandement les cumuls de pluies et les températures.

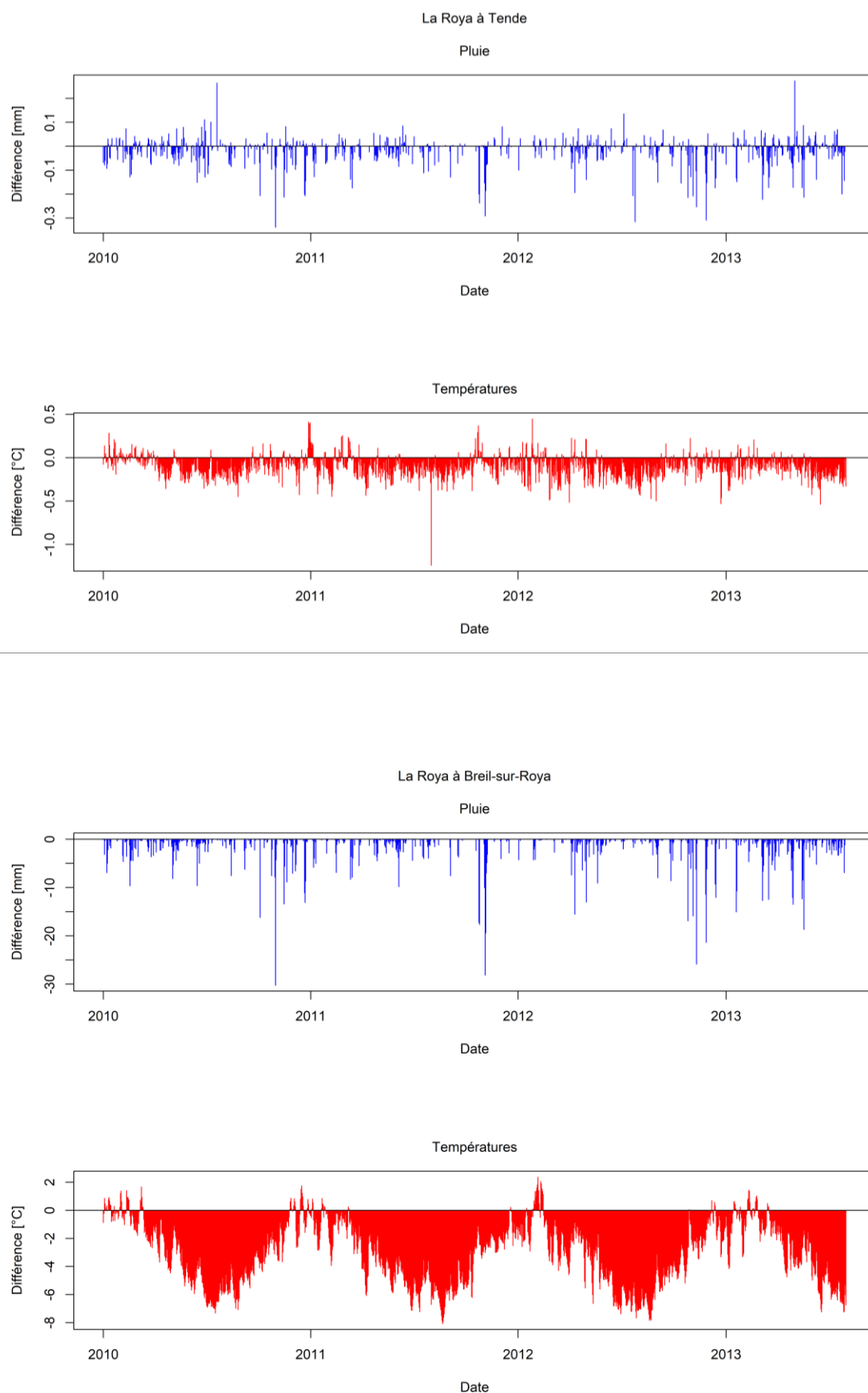


Figure 4 : Comparaison des extractions des données SAFRAN (différence entre l'extraction par Irstea et notre ré-extraction).

Cette forte différence peut être due à l'absence de données climatiques sur les mailles frontalières du bassin versant (qui ne sont pas incluses dans le bassin de la Roya à Tende). Cela fait sens avec la sous-estimation constatée.

Malgré cette erreur manifeste, cela ne remet pas en cause le déroulement de l'étude en elle-même. En effet, cette erreur affectera similairement les résultats des simulations pluie-débit avec ou sans l'utilisation des données MODIS. Ainsi, la comparaison des performances sera toujours possible.

3.2. Extraction des données MODIS

En suivant une procédure similaire à celle évoquée précédemment, les données MODIS ont été extraites à partir des rasters journaliers et des contours de bassins versants. L'information donnée chaque jour et pour chaque maille étant la présence ou non de neige, il est possible de calculer chaque jour le pourcentage du bassin versant qui est couvert par la neige. L'évolution temporelle de cette couverture est visible en Figure 5.

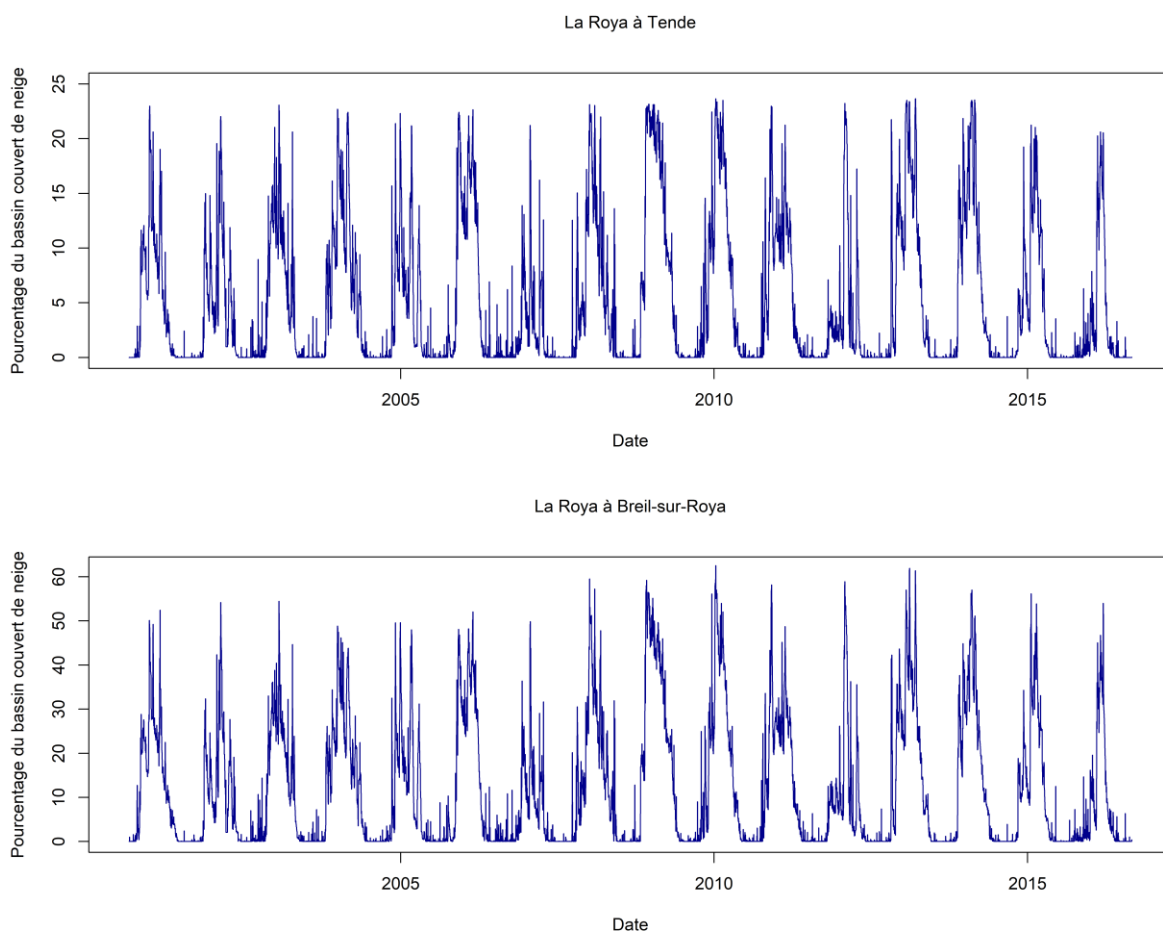


Figure 5 : Pourcentage de couverture neigeuse des bassins versants selon les données MODIS.

Les tendances saisonnières d'enneigement et de fonte sont cohérents.

3.3. Comparaison des données MODIS et des données de neige Météo France de la station Val Casterino

Afin de renforcer la vérification des données MODIS, celles-ci ont été comparées aux données de neige Météo France de la station Val Casterino. Cependant, comme on le voit en Figure 6, sur la période 2010-2016 commune aux deux sources de données, de nombreux jours (63%) comportent au moins une donnée manquante et rendent la comparaison impossible.

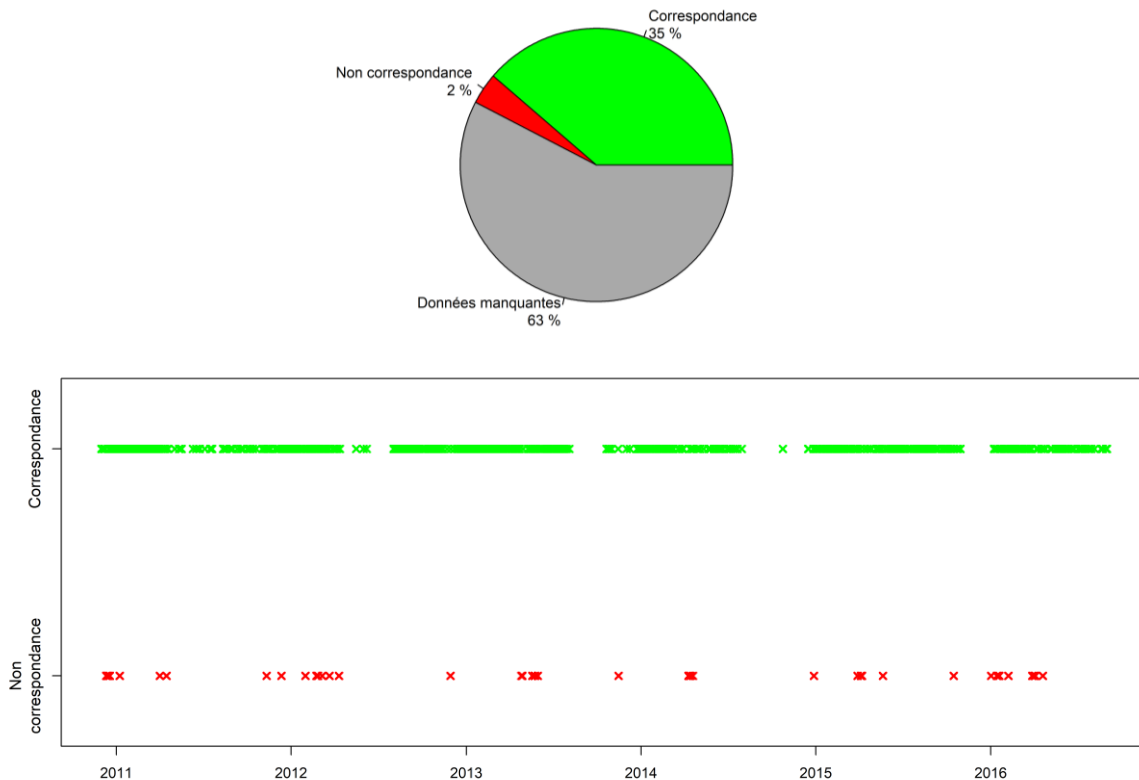


Figure 6 : Comparaison entre les données MODIS et les données Météo France de la station Val Casterino.

Toutefois, lorsque la comparaison est possible, on relève une correspondance des données 94% du temps. Cela confirme la fiabilité des données MODIS.

3.4. Calage du modèle GR4J avec CemaNeige

Le calage de GR4J a été réalisé sur les deux bassins versants, selon 4 périodes de calage différentes, avec et sans CemaNeige.

Les périodes en question sont les suivantes :

- les années paires,
- les années impaires,
- la première moitié de la plage temporelle considérée (soit 2010-2013),
- la seconde moitié (2013-2016).

Pour chacun de ces calages, les débits simulés avec et sans CemaNeige ont été sauvegardés et tracés afin d'être comparés avec les débits observés. La Figure 7 donne deux exemples de graphiques générés.

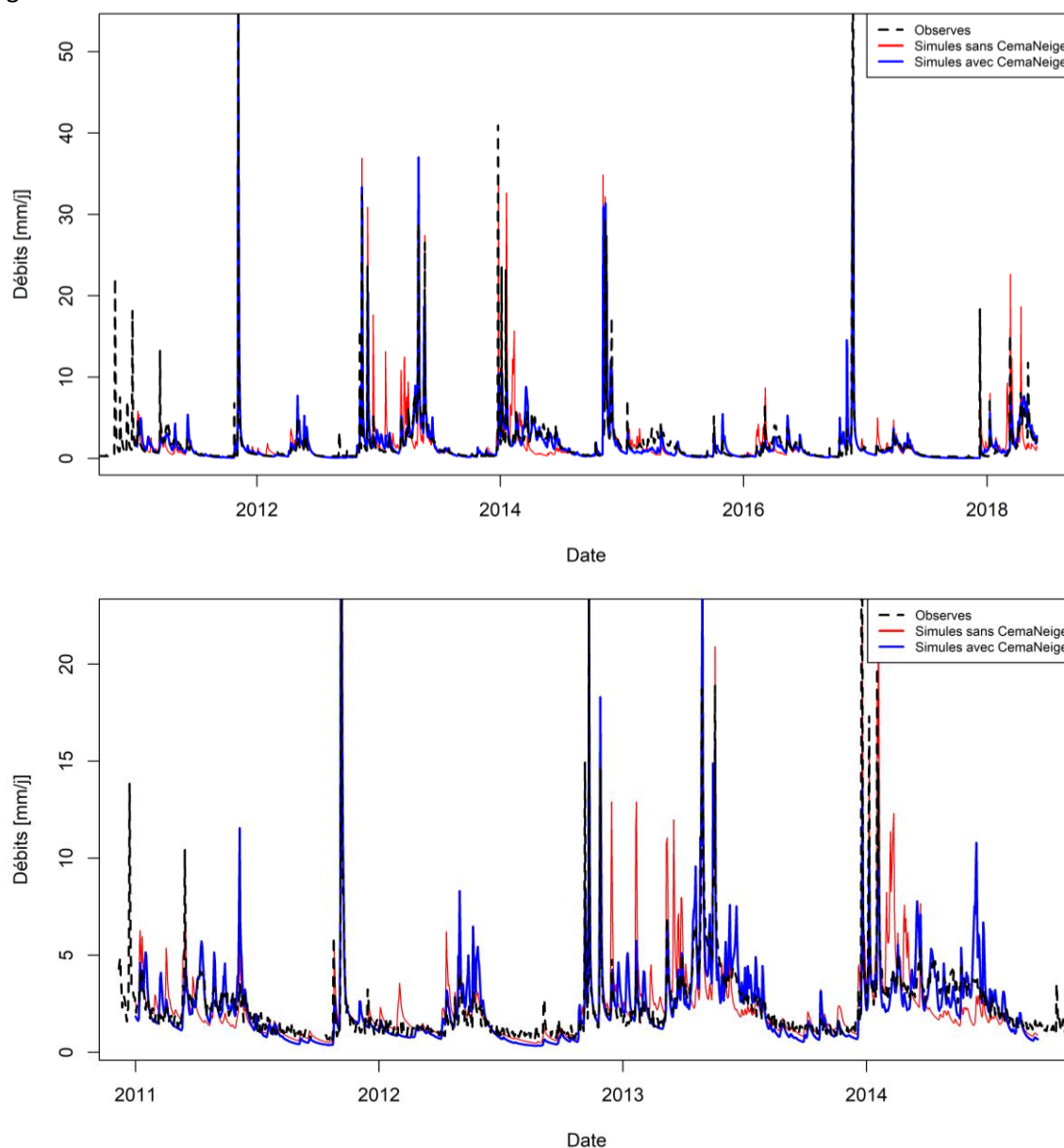


Figure 7 : Exemple de débits observés et simulés avec GR4J. a) La Roya@Tende, calés sur les années impaires
b) La Roya@Breil, calés sur la première moitié des années.

Les critères de performance obtenus à l'issue de chaque modélisation ont été enregistrés. Ils sont représentés en Figure 8 sous forme de boîtes à moustaches.

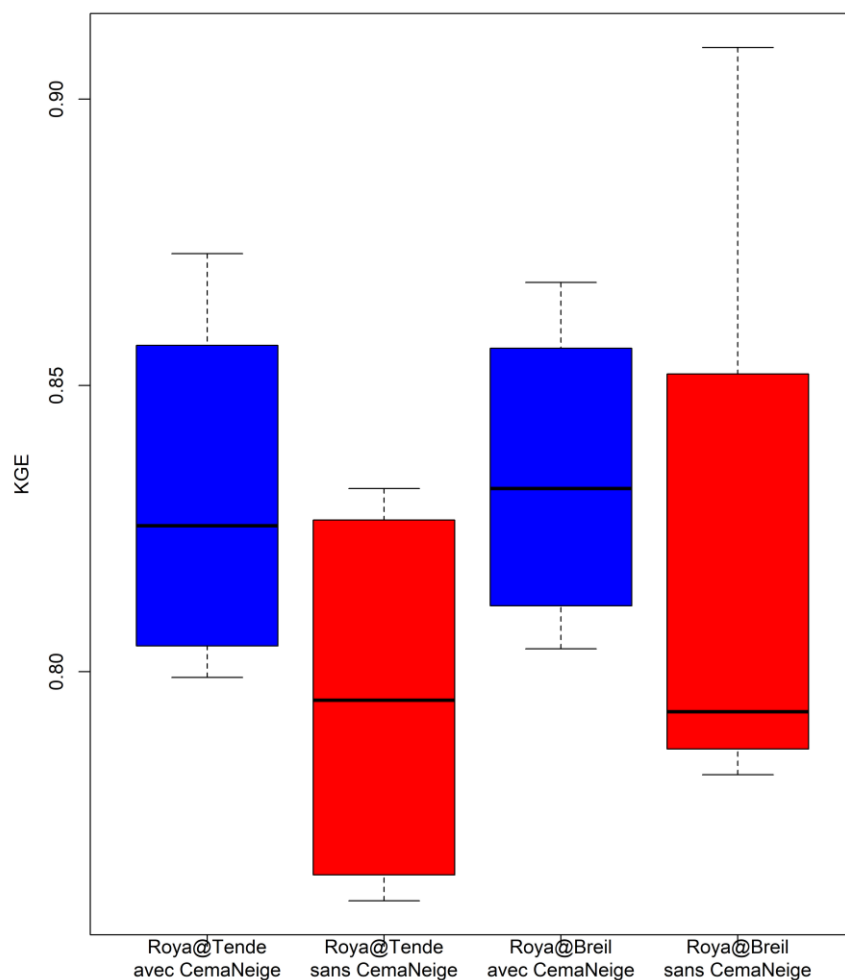


Figure 8 : Représentation de la distribution des critères de performance (KGE) obtenus.

Chaque boîte est construite à partir de 4 valeurs (une pour chaque période de calage existante).

Cependant, d'après les résultats présentés précédemment, le modèle est plus performant lorsque l'on prend en compte la neige via le module CemaNeige.

4. Perspectives et problèmes rencontrés

4.1 Réflexions parallèles

Une piste d'étude parallèle a été de réfléchir à une manière ludique et explicite d'intégrer le module CemaNeige dans le package airGRteaching (Delaigue et al., 2017).

Une possible illustration est proposée en Figure 9. Lorsque qu'une bande d'altitude voit son stock de neige augmenter au pas de temps suivant, le niveau dans le réservoir augmente et le volume est coloré en vert. Au contraire, lorsque ce stock diminue, le volume est représenté en rouge. Ces deux cas de figures sont représentés ci-dessous.

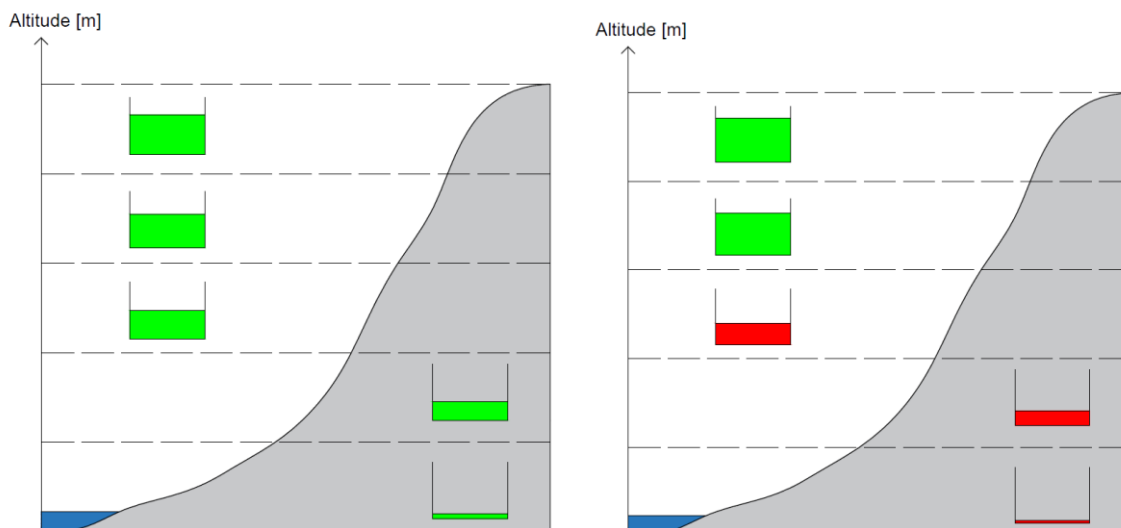


Figure 9: Exemples de représentation de CemaNeige dans AirGRteaching.

Une autre piste de réflexion a été d'étudier à quel point la récupération des données MODIS pouvait se faire en temps réel. Les images prises toutes les 5 minutes par les satellites Terra et Aqua sont postées environ 2h30 après leur observation en satellite, en téléchargement libre sur le site de la NASA (<https://lance-modis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>). On parle alors d'images en quasi-temps réel.

Cependant, ces données sont brutes, et un traitement pour s'affranchir de la couverture nuageuse reste nécessaire.

4.2 Problèmes rencontrés

Le projet n'a pas pu se concrétiser suite au retard de la part d'Irstea dans l'implémentation d'un module permettant la prise en compte des données MODIS dans R.

4.3 Conclusion

C'est finalement frustrés que nous concluons ce projet. L'objectif initial était de comparer les performances du modèle avec et sans la prise en compte des données MODIS. Cela n'a pas été possible. Cependant, ce projet nous a permis de nous familiariser avec l'utilisation d'imagerie satellite et de nous perfectionner sur la modélisation hydrologique (de l'extraction des données climatiques au calage du modèle).

Nous espérons que ce projet pourra être poursuivi par une équipe d'étudiant dans le cadre d'un prochain stage ou projet d'ingénierie.

Références

- Andréassian, V., Bergström, S., Chahinian, N., Duan, Q., Gusev, Y., Littlewood, I., Mathevet, T., Michel, C., Montanari, A., Moretti, G., Moussa, R., Nasonova, O., Connor, Paquet, E., Perrin, C., Rousseau, A., Schaake, J., Wagener, T., Xie, Z., 2006.** Catalogue of the models used in MOPEX 2004/2005. IAHS-AISH Publ.
- Delaigue, O., Coron, L., Brigode, P., 2017.** airGRteaching: Teaching Hydrological Modelling with GR (Shiny Interface Included). R package version X.X.X.X. URL: <https://webgr.irstea.fr/en/airGR/>.
- Franz, K.J., Karsten, L.R., 2013.** Calibration of a distributed snow model using MODIS snow covered area data. *J. Hydrol.* 494, 160–175.
- Gascoin, S., Hagolle, O., Huc, M., Jarlan, L., Dejoux, J.-F., Szczypta, C., Marti, R., Sánchez, R., 2015.** A snow cover climatology for the Pyrenees from MODIS snow products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 2337–2351.
- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K., Martinez, G.F., 2009.** Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *J. Hydrol.* 377, 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
- Magand, C., 2014.** Influence de la représentation des processus nivaux sur l'hydrologie de la Durance et sa réponse au changement climatique. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, Paris, France.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., Loumagne, C., 2005.** Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *J. Hydrol.* 303, 290–306. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>.
- Parajka, J., Blöschl, G., 2008.** Spatio-temporal combination of MODIS images—potential for snow cover mapping. *Water Resour. Res.* 44.
- Perrin, C., Michel, C., Andréassian, V., 2003.** Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *J. Hydrol.* 279, 275–289. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00225-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00225-7)
- Riboust, P., Thirel, G., Le Moine, N., Ribstein, P., 2019.** Revisiting a simple degree-day model for integrating satellite data: implementation of SWE-SCA hysteresees. *J Hydrol Hydromech* 67, 70–81.
- Roux, Q., 2018.** Hydro-climatic regime and rainfall-runoff modeling on the Roya catchment (GE4). Polytech Nice Sophia, Sophia-Antipolis, France.
- Thirel, G., Gerlinger, K., Perrin, C., Drogue, G., Renard, B., Wagner, J.-P., 2018.** Evolutions des débits futurs sur le bassin du Rhin en contexte de changement climatique. Une évaluation actualisée avec les simulations climatiques du 5e rapport du GIEC. Rapport final du projet MOSARH21.
- Valéry, A., Andréassian, V., Perrin, C., 2014.** 'As simple as possible but not simpler': what is useful in a temperature-based snow-accounting routine? Part 2 - Sensitivity analysis of the Cemaneige snow accounting routine on 380 catchments. *J. Hydrol.* 517, 1176–1187. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.058>
- 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. *Int. J. Climatol.* 30, 1627–1644. <https://doi.org/10.1002/joc.2003>

Table des matières

Introduction	3
1. Synthèse bibliographique	4
1.1. Fonctionnement d'un modèle hydrologique	4
1.2. Utilisation des données MODIS pour la modélisation hydrologique	4
2. Données et modèle	5
2.1. Banque HYDRO	5
2.2. SAFRAN	5
2.3. MODIS	5
2.4. Données neige in-situ	6
2.5. Modèle	6
3. Résultats	8
3.1. Ré-extraction des données SAFRAN	8
3.2. Extraction des données MODIS	11
3.3. Comparaison des données MODIS et des données de neige Météo France de la station Val Casterino	12
3.4. Calage du modèle GR4J avec CemaNeige	12
4. Perspectives	14
Références	16

Table des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.	3
Figure 2 : Maillages SAFRAN	9
Figure 3 : Comparaison des extractions des données SAFRAN (différence entre l'extraction par Irstea et notre ré-extraction).	10
Figure 4 : Pourcentage de couverture neigeuse des bassins versants selon les données MODIS.	11
Figure 5 : Comparaison entre les données MODIS et les données Météo France de la station Val Casterino.	12