

ÉLABORATION D’UNE CHAÎNE DE PRÉVISIONS HYDROMÉTÉOROLOGIQUES PROBABILISTES HORAIRES POUR UN USAGE OPERATIONNEL QUOTIDIEN

*Development of a Hydrometeorological Probabilistic Hourly Forecasting Chain for
Daily Operational Use*

Auteurs : CORON Laurent^{1*}, RINALDI Fabien², MOULIN Laetitia², PUYGRENIER Damien³

** auteur correspondant*

¹EDF-DTG, 4 rue Claude Marie Perroud, 31096 TOULOUSE, France

²EDF-DTG, 134 rue de l’étang, 38950 SAINT-MARTIN LE VINOUX, France

³EDF-CIH, 4 allée du lac de Tignes, 73290 LA MOTTE-SERVOLEX, France

Résumé : Cet article présente le travail d’élaboration d’une chaîne de prévisions probabilistes horaires de débits pour un usage opérationnel quotidien à EDF. Après un rappel du contexte d’usage et des motivations de cette démarche, l’article détaille les approches retenues pour les modules fonctionnels de la nouvelle chaîne qui sont : 1) l’articulation centrale entre une chaîne de calcul automatique et des interventions humaines, 2) l’expertise amont des observations en entrée des modèles, 3) l’expertise amont des prévisions météo probabilistes pour la prévision hydrologique, 4) l’expertise aval et locale, à la fois hydrologique et météorologique, et la consolidation des prévisions de débit, 5) les étapes périphériques de collecte de besoins clients et de valorisation des prévisions. Au fil des descriptions, l’article illustre comment les interactions entre les prévisionnistes et la chaîne de calcul ont été déterminantes sur les choix méthodologiques, notamment pour assurer l’efficacité requise par un usage opérationnel quotidien sur un grand nombre de points de prévision.

Mots-clefs : prévision, opérationnel, météorologie, hydrologie, développement

Abstract: This paper presents the development of a probabilistic hourly forecasting chain for daily operational use at EDF. After discussing the context and motivations of such development, the paper details the chosen approaches for each feature of the new chain, namely: 1) the central link between a chain of automatic computation and human interventions, 2) the upstream expertise on observations used as models inputs, 3) the upstream expertise on weather probabilistic forecasts used for hydrological forecasts, 4) the downstream and local expertise on both hydrological and meteorological inputs as well as the consolidation of flow forecasts, 5) the outlying features concerning the collection of customers’ needs and the optimization of forecasts’ sale and diffusion. Through the descriptions, the paper shows how the interactions between the forecasters and the computation chain are at the core of methodological choices, mainly to ensure the overall efficiency required by a daily operational use on a large set of forecast sites.

Keywords: forecast, operational, meteorology, hydrology, development

1. CONTEXTE OPERATIONNEL DES PREVISIONS HYDROLOGIQUES A EDF HYDRO DTG

Depuis les années 80, EDF dispose de centres opérationnels dans lesquels sont réalisées toutes les prévisions hydrométéorologiques pour l’entreprise. Ces prévisions ont pour objectifs d’aider à la sûreté, notamment en crue, et à la gestion de la ressource en eau pour la production hydroélectrique et la gestion des étiages. Dès leur création, ces centres intègrent un service temps réel de surveillance, d’alerte et d’accompagnement à destination de l’exploitant pour l’aider à anticiper l’évolution des débits (service 7j/7, 24h/24). Ce service facilite la mobilisation d’équipes en amont des épisodes et la mise en œuvre des consignes de crues pendant ceux-ci (Puygrenier *et al.*, 2023). En 2008, l’organisation de ces centres évolue pour répondre à un second service continu pour l’optimisation quotidienne des programmes de production d’hydroélectricité. Il consiste à produire ou réactualiser 6 jours sur 7 et avant 9h, des prévisions numériques de débits journaliers pour la semaine à venir. Ce besoin étant centré sur la gestion volumique de l’eau, la modélisation déployée pour ce service est au pas de temps journalier.

Au fil des années, les progrès sont nombreux tant dans la communauté scientifique et dans les services de l’état (Météo France, réseau SCHAPI-SPC, etc.) qu’au sein des équipes d’EDF, sur la prévision météorologique, la collecte en temps réel des données et les compétences des prévisionnistes sur l’analyse des phénomènes. La prévision journalière pour l’optimisation consiste d’abord en prévisions déterministes à 6 jours (2009), puis probabilistes à 14 jours (2012) et désormais à 28 jours (2020), sur un nombre de bassins versants en croissance. La prévision de crue s’éttoffe également au rythme des progrès des méthodes et des outils à disposition des prévisionnistes. Un cap majeur est franchi au milieu de la décennie 2010 avec l’émergence massive de modèles hydrologiques horaires. En quelques années, des modélisations pluie-débit horaires sont élaborées sur de nombreux bassins et valorisées dans des chaînes de prévisions déterministes à échéance de 4 jours. Les formats de diffusion s’enrichissent également. Initialement sous forme de tableaux de valeurs, les prévisions sont ensuite présentées sous forme de graphiques (cf. Figure 1). Ils sont diffusés par mail ou mis en ligne sur des portails web et mobile de consultation à la demande. Ces rendus graphiques permettent simultanément :

- un meilleur processus de contrôle entre prévisionnistes avant envoi,
- un meilleur suivi en temps réel de l’obsolescence d’une prévision,
- une compréhension plus claire et directe des alertes crue par les exploitants.

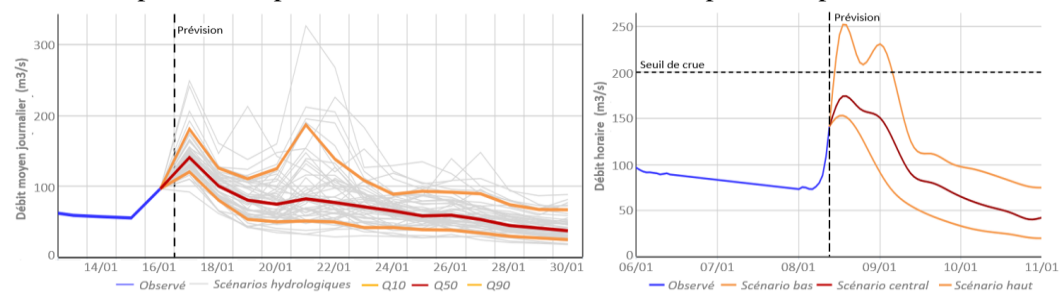


Figure 1 : Exemples de rendus graphiques de prévisions opérationnelles

À gauche : prévision journalière pour l’optimisation avec 50 scénarios probabilistes, résumés via 3 quantiles (10-50-90%)

À droite : prévision horaire pour l’alerte crue avec 3 scénarios déterministes envisagés (bas-central-haut)

Concernant le modèle hydrologique en lui-même, il s’agit du modèle conceptuel à réservoir intitulé MORDOR et largement utilisé à EDF Hydro DTG pour toutes les activités de prévision et d’études hydrologiques (ex. études de crues extrêmes, études de changement climatique, reconstitution de séries historiques, etc.). Ce modèle MORDOR, développé par Garçon (1996), a été amélioré au fil

des années et de son usage opérationnel (Paquet, 2007 ; Garavaglia *et al.*, 2017). Comme évoqué ci-dessus, il permet aujourd’hui un calcul au pas de temps horaire et a été optimisé pour simuler les débits de surface, notamment en zone de montagne, avec une approche semi-distribuée basée sur un étagement des forçages par bandes d’altitude ainsi qu’une amélioration des équations de modélisation de la fonte glaciaire et de l’évapotranspiration.

L’ensemble des progrès réalisés sur les méthodes, outils et livrables depuis 2008 ont fait l’objet d’une présentation lors de la dernière session 2018 de la SHF consacrée aux crues et inondations (Moulin *et al.*, 2018). À ce jour, les centres de prévision modélisent 400 bassins versants et produisent environ 17 000 prévisions probabilistes journalières par an pour l’optimisation et 1 800 prévisions déterministes horaires par an pour la gestion de crue (moyennes calculées sur la période 2020-2022). Toutefois, les chaînes actuelles de production conduisent à une situation de cohabitation de modèles, d’outils d’expertise et de livrables différents, déployés en parallèle les uns des autres en fonction des objectifs recherchés. Chacun des processus a ses avantages mais aussi ses limites, parmi lesquels on peut lister : approche journalière vs horaire, approche probabiliste vs déterministe, stratégies d’expertise des données d’entrée du modèle pouvant dépendre du pas de temps, etc. Cette cohabitation induit donc un travail supplémentaire pour les prévisionnistes qui doivent ainsi valoriser le meilleur de chacune des approches et assurer la cohérence entre des livrables issus d’outils différents. En situation de crue, ce travail est d’autant plus crucial mais aussi d’autant plus délicat.

Face à cette situation, EDF Hydro DTG mène actuellement un projet de refonte de tout son processus de prévision pour répondre aux besoins conjoints d’alerte crue de et d’optimisation de la production à l’horizon mensuel. Ce projet vise simultanément des gains sur la qualité et cohérence des prévisions mais aussi sur l’efficacité globale du processus de production des prévisions. La section suivante détaille les approches méthodologiques et organisationnelles retenues lors de l’élaboration de cette nouvelle chaîne opérationnelle de prévision.

2. ÉLABORATION D’UNE CHAÎNE HYDROMÉTÉO OPÉRATIONNELLE PROBABILISTE HORAIRE

2.1. Architecture générale autour d’un couplage entre calcul automatique et interventions humaines

Le nombre de prévisions de débits à produire quotidiennement, couplé au passage du pas de temps journalier au pas horaire, conduit aujourd’hui EDF Hydro DTG à refondre son processus de prévision. Cette refonte se concentre sur deux objectifs principaux :

1. Augmenter l’efficacité du processus global
 - a. Minimiser la répétition, par les prévisionnistes, de correctifs aux entrées et sorties des modèles, notamment entre la prévision de la veille et celle du jour ;
 - b. Éviter les besoins de mise en cohérence manuelle entre différents outils de prévisions ;
2. Améliorer la qualité des prévisions
 - a. Mieux représenter les phénomènes grâce au pas de temps horaire tout en gardant l’approche probabiliste ;
 - b. Réinvestir les gains d’efficacité pour permettre aux prévisionnistes de passer plus de temps pour l’analyse des cas complexes (expertise météo, analyse du comportement du bassin et/ou du modèle, travail sur l’assimilation de données, etc.).

Pour répondre à ces objectifs, toute la conception de la nouvelle chaîne opérationnelle repose sur le principe général d’un couplage entre une chaîne de calculs automatiques et des interventions humaines ciblées à différents niveaux de celle-ci. Les processus et interfaces mis en œuvre sont conçus avec l’ambition que ces interventions humaines respectent la hiérarchie suivante en termes de fréquence : sur la base prévisions automatiques précalibrées, de la **supervision** est réalisée puis, si nécessaire de l’**interaction** (ex. guidage des entrants modèles, ajustement de paramètres, etc.) et enfin, dans un nombre réduit de cas, une **reprise manuelle** (ex. relance intégrale du calcul hydrologique sur un bassin). Cette hiérarchie contraste nettement avec les pratiques en vigueur jusqu’ici où les prévisions opérationnelles sont quasi systématiquement produites à l’issue d’un lancement par l’opérateur du calcul hydrométéorologique sur chaque bassin.

L’architecture finale retenue pour cette nouvelle chaîne est schématisée sur la Figure 2 et le détail des principaux éléments structurels la composant est présenté dans les sections suivantes.

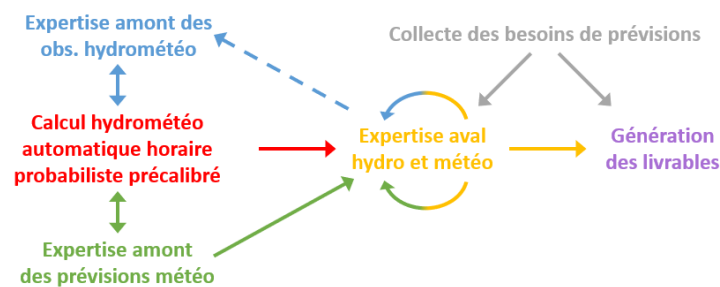


Figure 2 : Schéma global d’architecture des modules de la nouvelle chaîne opérationnelle

2.2. Expertise amont des observations météo et hydrologiques

Le processus de supervision et reconstitution des observations est un élément clé de toute chaîne de prévision hydrologique de qualité. En effet, les données des forçages passés sont essentielles pour un modèle pluie-débit fonctionnant en continu tel que celui utilisé à EDF, puisqu’elles conditionnent la bonne simulation de l’état d’un bassin versant au départ d’une prévision. Par exemple, des erreurs sur les précipitations passées altèrent l’estimation de l’état d’humidité des sols et donc la répartition entre infiltration et écoulement face à des précipitations à venir. De même, en montagne, des erreurs de températures de l’air passées peuvent conduire à un stock de neige mal modélisé et biaiser la prévision de débit au printemps lorsque la fonte contribue largement à l’écoulement.

Face à cet enjeu, la pratique en vigueur jusqu’ici à EDF Hydro DTG consiste à contrôler et corriger (si nécessaire) toutes les données qui entrent dans les modèles journaliers de prévision. Ce pas journalier s’adapte bien aux organisations puisque ce travail peut être fait au début de chaque journée de production, avec un contrôle resserré sur les données de J-1 et J-2. Ce travail est préalable aux lancements des calculs de prévisions hydrologiques pour chaque bassin. Le passage au pas horaire et le principe d’une chaîne lancée automatiquement chaque heure induit le besoin de repenser les flux et pratiques pour permettre, chaque heure, un calcul correct des prévisions hydrologiques. Dans ce cadre, les activités de détection et de reconstitution, jusqu’ici réalisées ensemble, sont désormais traitées comme deux choses distinctes : d’une part l’identification des capteurs en défaut qui sont alors déclarés comme invalides pour alimenter la chaîne de prévision, d’autre part la reconstitution des valeurs invalidées. Un dernier item, qui concerne la consolidation des données dans leur ensemble, sera renforcé dans la nouvelle approche.

Concernant l’**activité de détection**, une première passe est réalisée par des algorithmes automatiques qui vérifient les données en horaire et invalident les capteurs ayant des défauts évidents (ex. absence

de donnée ou valeur aberrante). Lors d’une seconde passe, des opérateurs supervisent ce travail automatique et le complètent par un traitement des cas moins évidents (ex. lente dérive d’un capteur, bouchage partiel). Cette étape de supervision reste quotidienne mais le fait de se concentrer sur la détection, séparément de la reconstitution, permet de travailler différemment. Jusqu’ici, les interfaces d’analyse imposaient une détection au niveau du pas du modèle (le plus souvent 24h) puisqu’elle était couplée à la reconstitution. Dans la nouvelle approche, les outils ciblant les problèmes de pluviomètres sont pensés pour analyser une séquence pluvieuse dans son ensemble et mieux détecter les biais de capteur (cf. Figure 3 où une séquence de 96h est analysée). De même, les analyses ciblant les thermomètres peuvent être repensées via des comparaisons graphiques des altitudes correspondantes d’isotherme 0°C, permettant la détecter des incohérences de valeurs et temporalités.

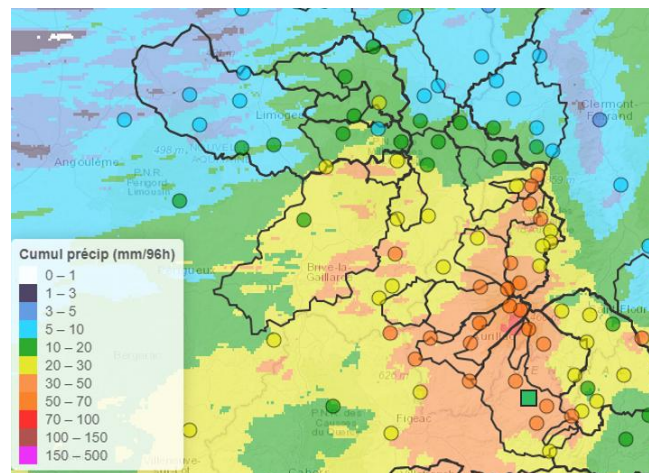


Figure 3 : Maquette d’interface de l’outil de détection des défauts au niveau des capteurs pluviométriques. Sur une période choisie (ici 96h), les données mesurées aux postes sont superposées à la lame Antilope de Météo France. Le jeu de couleurs et formes permet d’identifier rapidement les pluviomètres en écart (comme ici le carré vert en bas à droite)

Concernant l’**activité de reconstitution**, elle se déroule sur toutes les données déclarées invalidées lors de l’étape de détection. Une passe automatique a d’abord lieu par des algorithmes qui reconstituent les données au pas horaire au niveau de chaque capteur invalidé. Ces reconstitutions sont faites sur la base de combinaisons à partir de capteurs valides et voisins de ceux en défaut. Elles peuvent aussi valoriser des approches modèles telles que la lame d’eau Antilope de Météo France pour la pluviométrie de plaine ou le calcul MORDOR pour l’hydrométrie. Ces modes de reconstitution sont paramétrisés et hiérarchisés, pour chaque capteur, par les équipes d’EDF Hydro DTG en charge de la production des mesures climatologiques et hydrométriques. Des opérateurs contrôlent régulièrement la validité des reconstitutions et les affinent pour garantir leur pertinence dans la durée. Cette activité, au plus proche de l’opérationnel, contribue au rapprochement et à la mutualisation des gestes techniques entre les équipes de production de données observées et les équipes de prévisions. Les données ainsi complétées et « précalibrées » sont disponibles en temps réel (y compris les toutes dernières heures, sans besoin d’intervention humaine). Elles alimentent alors la chaîne automatique de prévisions hydrologiques. Ce processus est matérialisé par la double flèche bleue entre les modules « expertise amont des observations » et « calcul automatique précalibré » sur le schéma global d’architecture (cf. Figure 2).

Enfin, une dernière passe est menée, si nécessaire, pour **consolider les données** autour des simulations problématiques (par exemple conduisant à des écarts suspects entre débits simulés et observés). Ces consolidations peuvent être faites au niveau des capteurs de mesure mais aussi au niveau de la série qui porte le forçage spatialisé en entrée du modèle hydrologique. Par nature, cette étape est plutôt portée par les équipes de prévisionnistes puisqu’elle vise par exemple à traiter les cas

de non-représentativité lors du passage de mesures ponctuelles à un estimatif spatial (ex. combinaison linéaire de pluies mesurées au droit de pluviomètres vs pluie moyenne spatialisée requise en entrée du modèle hydrologique). Elle vise aussi à gérer les problématiques de dissociation pluie-neige dans le modèle sur la base d'un seul capteur de température pas toujours représentatif à toutes altitudes. Ce cheminement itératif est symbolisé par le processus circulaire de boucle retour au niveau du module « expertise aval hydrométéo » sur le schéma global d'architecture (cf. Figure 2). Cette passe de reprise doit être faite de manière ciblée sur les bassins où des problèmes de modélisation sont avérés par une analyse combinée des données et du comportement du modèle hydrologique. Il s'agit bien d'une phase de « consolidation de la modélisation hydrologique locale », à mener de manière réfléchie dans une optique de performance globale du modèle et certainement pas d'amélioration de la prévision du jour. Lorsque le besoin d'une reprise est avéré, les correctifs sont appliqués sur les séries alimentant les calculs hydrologiques. Cette intervention est matérialisée par la flèche pointillée qui revient du module « expertise aval hydrométéo » vers « expertise amont des observations » sur le schéma global d'architecture (cf. Figure 2).

Dans son ensemble, cette philosophie d'expertise amont des observations permet de réduire nettement le besoin d'intervention humaine dans un contexte opérationnel et d'améliorer les synergies entre les équipes de mesure et de prévision. De plus, l'efficacité dégagée libère des espaces d'analyses plus approfondies pour les modèles et bassins versants problématiques (en combinant l'analyse des forçages spatialisés et des biais de simulation). Cette évolution s'inscrit pleinement dans la démarche générale du projet qui vise autant à gagner sur l'efficacité que sur la qualité des prévisions (cf. section 2.1).

2.3. Expertise amont des prévisions de forçages météorologiques

La refonte de la chaîne opérationnelle inclut un volet dédié à la construction de forçages météo probabilistes avec des approches là encore en rupture avec les pratiques en vigueur jusqu'ici.

Les processus actuels héritent du développement itératif de la prévision opérationnelle à EDF Hydro DTG comme une réponse à divers besoins d'utilisation. Par exemple, le besoin de prévisions probabilistes journalières à 14 jours pour l'optimisation du parc de production avait conduit jusqu'ici à se centrer sur l'utilisation du modèle du Centre Européen de Prévision. Sa version ensembliste IFS-EPS constituait en effet le meilleur compromis sur les critères recherchés de qualité de prévision, de pas de temps, de nombre de scénarios et de profondeur d'échéances. Cela a conduit au processus en vigueur actuellement : a) un opérateur réalise une analyse météorologique régionale et multi-modèles, notamment par l'analyse du « calage modèle météo » ; b) pour chaque bassin modélisé, un post-traitement débiaise les sorties brutes du modèle d'IFS-EPS pour améliorer la représentation des forçages locaux de température (correction additive, calibrée pour chaque bassin sur rejeux de prévision passés) ; c) l'opérateur améliore la pertinence de ces forçages journaliers (à minima sur les premières échéances) en intégrant manuellement les visions d'autres modèles météorologiques tels que les runs déterministes d'AROME et ARPEGE issus de Météo France (il dispose pour cela d'outils de déformation de la distribution journalière des forçages) ; d) à l'issue de cette expertise, l'opérateur alimente le modèle hydrologique par 50 trajectoires de précipitations et températures de l'air toujours au pas journalier. En complément, pour les situations de crue, l'opérateur dispose de prévisions météorologiques horaires issues trois modèles (CEP/IFS-HRES, AROME, ARPEGE) mais seulement sur des trajectoires déterministes (1 scénario par modèle) et à faibles échéances (2-5 jours) donc inutilisables pour le besoin d'optimisation bi-hebdomadaire ou mensuel.

L'élaboration d'une nouvelle chaîne de prévision opérationnelle à EDF Hydro DTG est l'occasion de refondre cette étape d'expertise des scénarios météo futurs, à l'image du travail mené sur l'expertise

des observations. L’approche retenue est basée sur l’élaboration d’un ensemble de scénarios probabilistes construits par mélange pondéré des ensembles AROME-EPS, ARPEGE-EPS et IFS-EPS (voire des runs déterministes). Ce mélange aboutit à la création de scénarios probabilistes appairés précipitations-température pour chaque bassin-versant cible. Ces scénarios probabilistes horaires peuvent alors alimenter le modèle hydrologique et générer une prévision de débit. À noter : une présentation dédiée lors de la SHF 2023 crues et inondations et détaille les méthodes d’appairage de modèles de différentes portées et de mélange des scénarios (Rinaldi *et al.*, 2023).

En pratique, cette nouvelle approche d’élaboration des forçages prévus se décline selon deux axes.

- D’une part, un ensemble de scénarios est construit automatiquement par une pondération par défaut, définie par une analyse statistique visant fiabilité et précision des forçages de précipitation et température pour les bassins versants. À l’image des traitements sur les observations, cet ensemble est désigné sous le terme « précalibré » et alimente la chaîne automatique qui se lance chaque heure et intègre les nouveaux runs météo. Ce premier axe de pilotage des forçages est matérialisé par la double flèche verte entre les modules « expertise amont des prévisions météo » et « calcul auto. précalibré » sur le schéma global d’architecture (cf. Figure 2).
- D’autre part, un ensemble de scénarios construit manuellement à l’aide d’une pondération dont les poids sont choisis par l’opérateur, définie par une analyse de la situation et des runs météo disponibles au moment du choix (aperçu de l’outil en Figure 4). Répercutée sur chaque bassin cible, cette pondération génère un ensemble désigné sous le terme « expertisé régionalement ». Il servira de référence comparative aux forçages « précalibrés » de la chaîne automatique de calcul. Il engendrera aussi un tir « pré-expertisé » de 50 scénarios hydrologiques, qui pourront être consolidés dans l’outil d’expertise aval présenté dans la section suivante. Ce second axe de pilotage des forçages est matérialisé par la flèche verte entre les modules « expertise amont des prévisions météo » et « expertise aval hydrométéo » sur le schéma global d’architecture (cf. Figure 2).

En complément des gains d’efficacité, cette approche permet des gains de qualité sous la forme d’une meilleure cohérence régionale des prévisions et de la valorisation directe des scénarios d’ensemble AROME-EPS et ARPEGE-EPS jusqu’ici non valorisés.

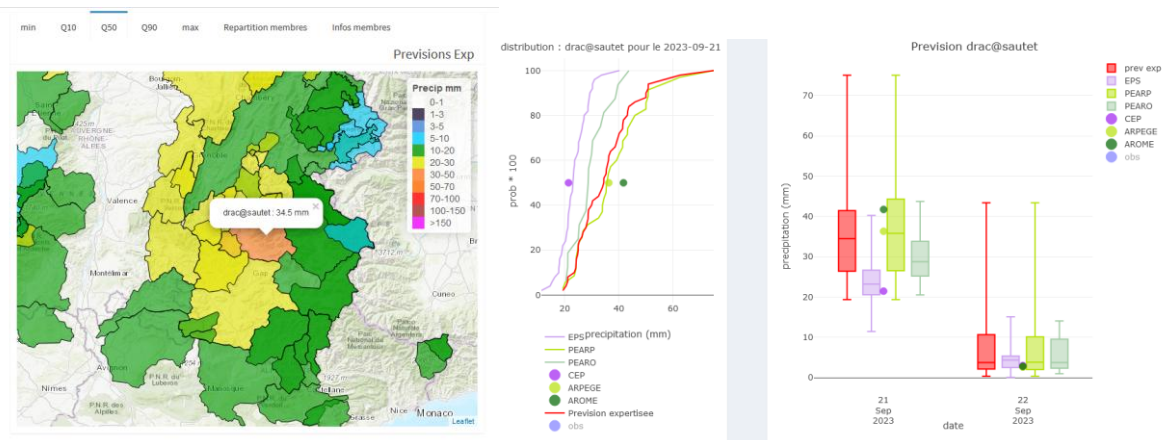


Figure 4 : Exemple d’interface de l’outil de mélange pondéré pour la journée du 21-09-2023. À gauche, vision spatiale des quantile 50% des précipitations journalières. À droite, visualisation sur un bassin (Drac au Sautet) sous forme de boîtes à moustaches et de distributions cumulées. La distribution (rouge) dépendante des pondérations choisies sur l’horizon sélectionné (J à J+1 ici) est comparée aux distributions initiales de chaque modèle source.

2.4. Expertise aval hydrométéorologique

Les processus d’expertise amont des observations et des scénarios météo (cf. sections 2.2 et 2.3) permettent la production continue de données qui alimentent un modèle hydrologique pour construire des prévisions probabilistes et « précalibrées » de débit. Sur la base de ces calculs, l’opérateur mène une expertise aval hydro et météo qui prend la forme d’une analyse du comportement modèle hydrologique et de la qualité des prévisions. Elle est rapide ou laborieuse selon l’importance des phénomènes locaux dans la prévision météorologique ou la pertinence contextuelle du modèle hydrologique pour retranscrire les évolutions de débit. Elle se fait nécessairement de manière itérative, ce qui est symbolisé sur le schéma global d’architecture par le processus circulaire au niveau de du module « expertise aval hydrométéo » (cf. Figure 2). Elle se décompose selon plusieurs volets :

- Un volet « expertise aval météo » cible la consolidation des prévisions météorologiques à l’échelle du bassin. Pour adapter les prévisions à l’échelle locale, l’opérateur a le choix entre répartir les scénarios « précalibrés » issus de l’approche multi-modèle qui valorisent les derniers runs météo, ou utiliser les scénarios « expertisés régionalement » issus d’une analyse humaine et réalisée peu de temps avant (sous peine d’être obsolète). Partant de là, une déformation locale peut être menée, notamment en montagne, pour améliorer les scénarios de températures pour mieux représenter l’altitude/dynamique de la limite pluie-neige, ou améliorer les scénarios de précipitations pour mieux représenter les phénomènes orographiques ou convectifs.
- Un volet « expertise aval hydro » cible l’identification des besoins d’assimilation de données ou des défauts intrinsèques au modèle. Cette étape peut aboutir à des reprises des forçages pour améliorer la simulation hydrologique ou une compensation manuelle d’erreur directement portée au niveau de la prévision. On veillera à ce que toute reprise des forçages soit faite de manière consolidée et non pas avec la simple visée d’amélioration de la prévision du jour.
- Un ultime volet donne à l’opérateur des leviers de déformation au niveau de la prévision de débit en elle-même. Ces interventions visent à traiter les problèmes résiduels tels qu’un défaut du modèle pluie-débit ou de l’algorithme servant à « recalculer » la prévision automatique pour qu’elle relie des derniers débits observés. Elles peuvent aussi permettre d’ajuster les critères de finesse, justesse et fiabilité de la prévision probabiliste à courte, moyenne ou longue échéance. Dès leur conception, les interfaces des outils d’expertise aval sont pensées dans l’esprit du multi-usage des prévisions au sein d’EDF Hydro DTG, notamment la cohabitation entre la prévision quotidienne pour l’optimisation de la production hydroélectrique et la prévision de crue sur épisode météo. Une illustration de l’outil d’expertise aval est fournie en Figure 5.

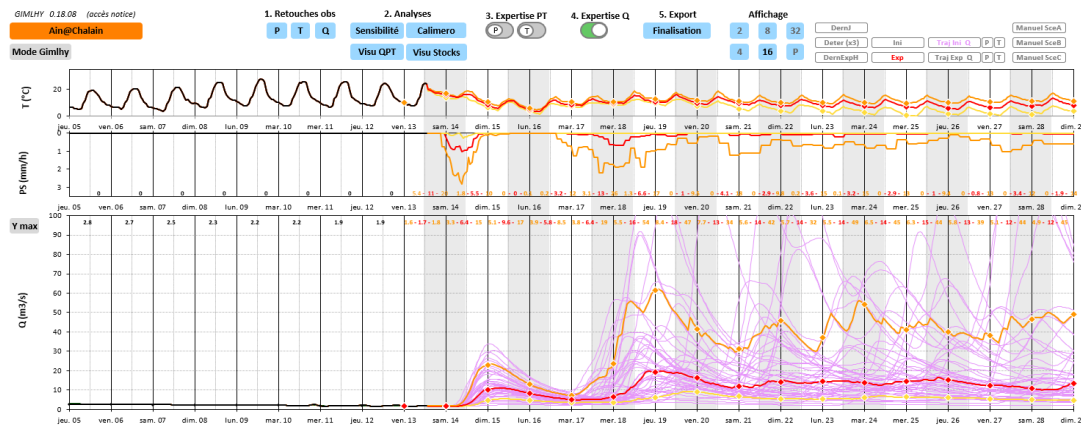


Figure 5 : Maquette d’interface graphique de l’outil d’expertise aval de la prévision hydrologique
On y aperçoit une prévision horaire probabiliste de débit, déformable via 3 quantiles guides.

2.5. Collecte des besoins de prévision et génération des livrables

En complément des éléments discutés jusqu’ici, deux thématiques annexes sont également repensées dans le cadre de la refonte générale des approches : la collecte des besoins de prévision et l’étape d’exposition des livrables. Ces thématiques n’étant pas au cœur de la chaîne de production des prévisions de débit, plutôt qu’une présentation détaillée, seule une liste d’ambition sur ces thèmes est listée ici :

- Progresser sur les outils d’aide à la détection des enjeux de prévision, notamment en valorisant les approches probabilistes horaires pour pré-identifier automatiquement des risques pour un aménagement de passage en état de crue ;
- Proposer des interfaces aux destinataires de la prévision de débit pour piloter le programme de production (ex. remontée d’un besoin de prévision sur un site donné, d’une augmentation de fréquence de bulletin, ou expression des conditions de surveillance et réactualisation) ;
- Croiser les deux items précédents pour disposer d’une pré-hiérarchisation des prévisions, pour fournir aux opérateurs une proposition de programme de production des livrables et anticiper de possibles besoins en renfort humains dans les situations de crise ;
- Ancrer progressivement la distinction entre le livrable brut métier issu de l’expertise des opérateurs (i.e. une prévision probabiliste de débit) et le panel de livrables induits qui sont générés sous les divers formats demandés par les utilisateurs de la prévision (ex. probabilités d’atteinte de seuils, statistiques de temporalité, gradient, pointe, volumes cumulés, etc.).

3. CONCLUSIONS

Cet article présente la démarche d’élaboration d’une nouvelle chaîne de prévisions probabilistes horaires de débits pour un usage opérationnel à EDF Hydro DTG. Il se place dans la filiation directe de celui de Moulin *et al.* (2018) qui détaillait les progrès réalisés sur les méthodes, outils et livrables de prévision hydrologique des mêmes équipes entre 2008 et 2018.

Chaque module fonctionnel de la nouvelle chaîne fait l’objet d’une présentation :

- 1) l’articulation centrale entre une chaîne de calcul automatique et les interventions humaines,
- 2) l’expertise amont des observations météorologiques et hydrologiques en entrée des modèles,
- 3) l’expertise amont des prévisions météo probabilistes pour la prévision hydrologique,
- 4) l’expertise aval et locale, à la fois hydrologique et météorologique, et la consolidation des prévisions de débit,
- 5) les étapes périphériques de collecte de besoins clients et de génération des livrables.

L’évolution ainsi engagée dépasse le périmètre d’un changement de pas de temps ou de source de données. Elle constitue l’occasion de repenser les méthodes et la place des opérateurs dans le processus de production des prévisions de débits, afin de viser un usage à la fois efficient et modulaire dans l’optique d’un usage opérationnel quotidien sur un grand nombre de points de prévision. Cela se décline notamment en renforçant le rôle de l’opérateur comme véritable superviseur et ajusteur de méthodes tandis que les machines soumettent des calculs. L’ambition est de maximiser la qualité des précalibrages pour que la prévision proposée en sortie de chaîne ne nécessite qu’un faible niveau de reprise par l’opérateur dans la plupart des cas d’usage. L’efficience ainsi réalisée libère du temps alors réinvesti pour le traitement des cas les plus complexes.

Partant du schéma global d’architecture (cf. Figure 2), les détails fournis dans cet article permettent de conclure par la présentation du schéma détaillé d’architecture (cf. Figure 6) qui reflète chaque module fonctionnel de la nouvelle chaîne de prévision hydrologique opérationnelle à EDF Hydro DTG.

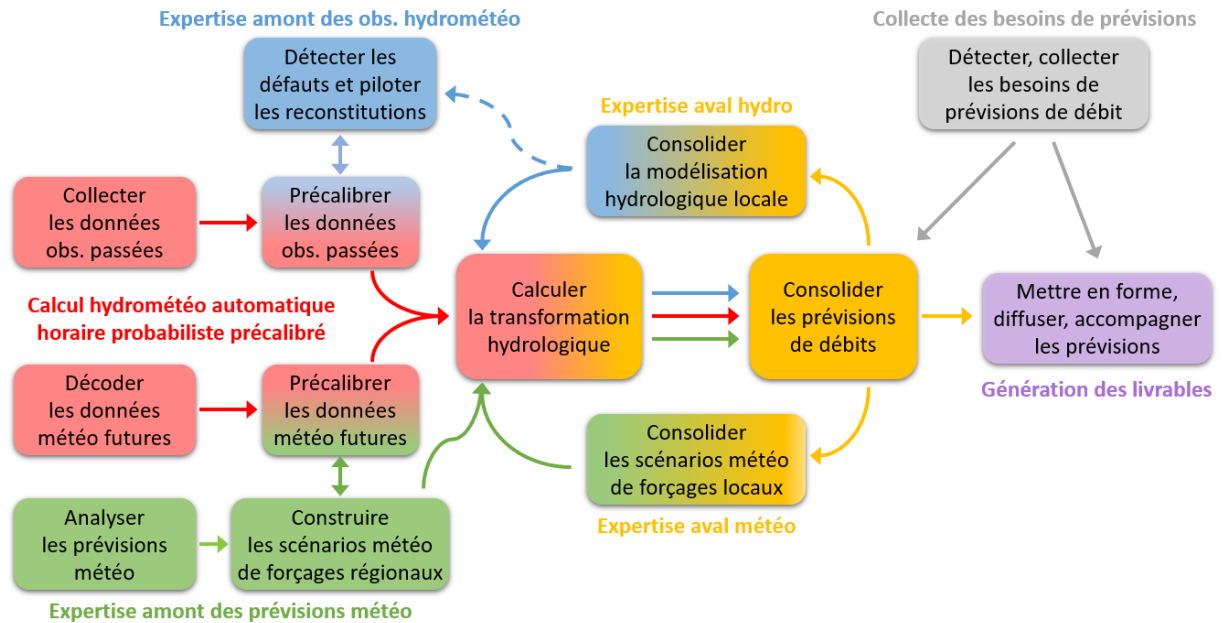


Figure 6 : Schéma détaillé d’architecture des modules de la nouvelle chaîne opérationnelle

4. REFERENCES

- Garçon R., 1996 ; *Prévision opérationnelle des apports de la Durance à Serre-Ponçon à l’aide du modèle MORDOR* ; La Houille Blanche 5, 71–76.
- Garavaglia F., Le Lay M., Gottardi F., Garçon R. 2017 ; *Impact of model structure on flow simulation and hydrological realism: from a lumped to a semi-distributed approach* ; Hydrology and Earth System Sciences 2017/8/1 3937-3952.
- Moulin L., Abonnel A., Puygrenier D., Valéry A. & Garçon R., 2018 ; *Prévision hydrométéorologique opérationnelle à EDF-DTG, Progrès récents et états des lieux* ; Communication orale SHF 2018 Crue Inondation.
- Paquet E., 2007 ; *Évolution du modèle hydrologique MORDOR : modélisation du stock nival à différentes altitudes* ; La Houille Blanche Volume 90, 2004 - Issue 2.
- Puygrenier D., Coron L., Moulin L., Magry E., Courbier A., 2023 ; *Prévisions des crues à EDF : vers des outils permettant une meilleure prise de décision* ; Poster SHF 2023 Crue Inondation.
- Rinaldi F., Le Lay M., Coron L., 2023 ; *Méthodologie de construction de forçages météo probabilistes pour la prévision hydrologique* ; SHF 2023 Crue Inondation.