

# La Durance du future (France) : le projet R2D2-250, la démarche C3PO ou la modélisation prospective pour aider la décision

## *The R2D2-250 project, the C3PO approach or prospective modeling to help decision-making*

Pascal Dumoulin<sup>1\*</sup>, Catherine Le Normant<sup>2</sup>, et René Samie<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance, Mallemort, France

<sup>2</sup>EDF-Hydro-Méditerranée, Marseille, France

<sup>3</sup>EDF-R&D-Laboratoire Nationale d'Hydraulique et Environnement, Chatou, France

**Résumé.** Le bassin hydrographique de la Durance constitue l'essentiel des ressources en eau de la région Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur. Une gestion durable des eaux et des nombreux aménagements multifonction est indispensable à l'économie régionale. En 2015, le projet R2D2-2050 a mené un exercice de prospective participative afin d'identifier les enjeux futurs liés à la disponibilité et à l'utilisation de la ressource en eau pour plusieurs scénarios d'évolution du climat et des territoires. Les résultats font présager des épisodes de tensions sur la ressource dans le futur et ont montré la nécessité de poursuivre et de renforcer les mesures d'adaptation. Pour répondre aux enjeux futurs liés à l'eau de la Durance, le SMAVD porte la démarche d'élaboration d'un des plus grands SAGE de France. Pour accompagner ce projet politique ambitieux sur le plan technique, le SMAVD développe un outil d'aide à la décision C3PO (modélisation ressources-usages-infrastructures sous WEAP). Cette démarche innovante associe les acteurs du bassin versant et du monde scientifique et permettra d'identifier les leviers d'adaptation durables aux changements globaux. Les intérêts réciproques autour de cet outil ont donné lieu à un partenariat exemplaire entre le SMAVD et EDF gestionnaire des aménagements hydroélectriques, bien au-delà de l'échange de données.

**Abstract.** Durance's watershed produces the main water resource of Provence-Alpes-Côte d'Azur region. Sustainable multifunctional water management is essential to the regional economy. In 2015, the R2D2-2050 project carried out a participatory foresight exercise in order to identify future issues related to the availability and use of water resources for several scenarios of climate and territory evolution. The results foreshadow episodes of stress on the resource. To meet the future challenges related to the water of the Durance, the SMAVD is leading the elaboration of one of the largest

---

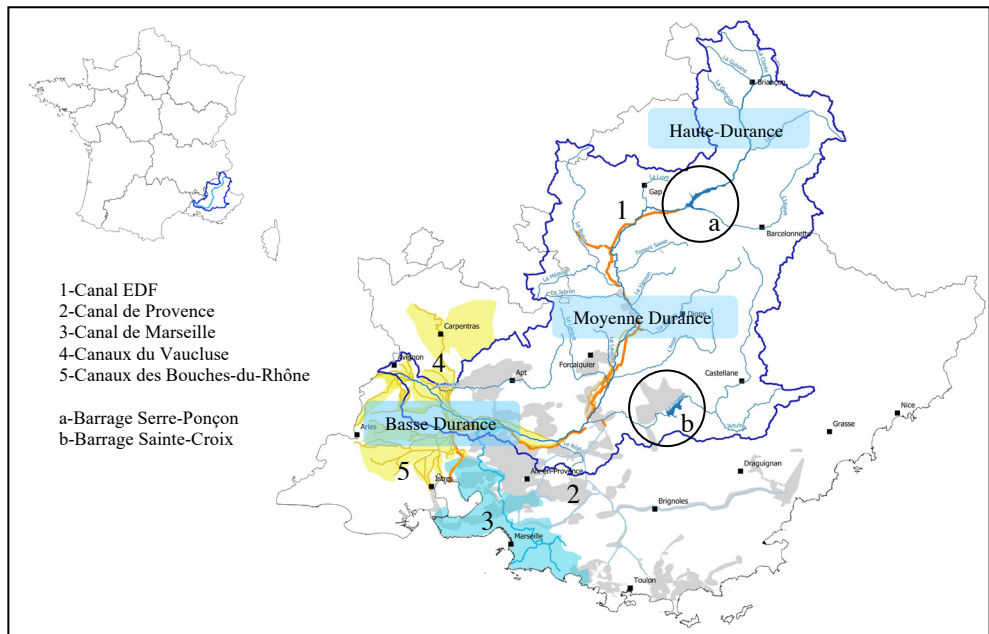
\* Corresponding author: [pascal.dumoulin@smavd.org](mailto:pascal.dumoulin@smavd.org)

SAGEs in France. To support this political project, the SMAVD is developing a decision-making tool (resource-uses-infrastructure modelling): C3PO. This innovative project brings together stakeholders and scientists and will define the levers for sustainable adaptation to global changes. The mutual interests around this tool have given rise to an exemplary partnership between the SMAVD and EDF, manager of hydroelectric infrastructure, beyond the exchange of data.

## 1 La gestion multiusage de la ressource en eau de la Durance : un savoir-faire régional ancestral, un atout pour le futur

### 1.1 Le système Durance-Verdon : vision historique d'un aménagement multiusage remarquable

Principale rivière du sud-est de la France, la Durance prend naissance dans les Alpes du sud à 2 300 mètres d'altitude et traverse la région Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) avant de rejoindre la rive gauche du Rhône au sud d'Avignon après un périple de 302 km. Son régime hydrologique naturel est de type pluvio-nival avec une influence méditerranéenne de plus en plus marquée dans la partie inférieure de son cours. Le climat associé à un relief très marqué est à l'origine d'une grande variabilité des températures et de la pluviométrie ; variabilité spatiale, entre territoires aux caractéristiques morphologiques très contrastées, et temporelle, au cours de l'année et d'une année sur l'autre. La Durance et son principal affluent, le Verdon, constituent l'essentiel de la ressource en eau utilisée en région Sud-PACA.



**Fig. 1.** Présentation du bassin versant de la Durance.

Le bassin versant de la Durance couvre un territoire de 14 200 km<sup>2</sup> (Figure 1).

La partie amont est un territoire de montagne constitué de hauts reliefs ou de plateaux secs. L'espace est à dominante rurale. La densité de population est très faible. Le tourisme important, et l'agriculture orientée vers l'élevage et les productions associées sont les principales activités économiques. Les paysages sont bien préservés et présentent un intérêt patrimonial fort.

La partie aval est composée de plaines alluviales bordées par des collines et terrasses qui s'élargissent progressivement à l'approche de la confluence avec le Rhône. La densité de population augmente fortement alors que les pôles urbains et les espaces péri-urbanisés se multiplient. Les activités économiques structurantes sont l'agriculture intensive fortement irriguée, les services présents, le tourisme autour des grandes retenues et l'énergie (production d'hydroélectricité et recherche dans le domaine du nucléaire).

### *1.1.1 Des aménagements hydrauliques historiques*

Le cours de la Durance est aménagé de longue date. Dès le XIII<sup>e</sup> siècle, les premières concessions autorisent le détournement des eaux pour l'entraînement des moulins à farine et à huile. De nombreux canaux voient le jour comme le canal de Saint-Julien en basse Durance ou le canal de Brillanne en moyenne Durance. Les agriculteurs disposent d'un droit d'usage pour l'arrosage des cultures durant certaines périodes. Au XV<sup>e</sup> siècle, sous l'impulsion d'Adam Craponne, de nombreux ouvrages sont édifiés et le réseau de canaux s'étend progressivement afin de transférer l'eau de la Durance au-delà des limites de son bassin versant, vers les secteurs déficitaires de la plaine du Bas-Rhône et du littoral pour permettre l'irrigation des cultures en pleine essor. Au XIX<sup>e</sup> siècle, deux dérivations hors du bassin de la Durance sont construites :

- le canal de Marseille (1849) dérive les eaux de la Durance afin d'approvisionner en eau urbaine et pour le reste en eau agricole et industrielle la ville de Marseille et de ses environs ainsi que les communes du sud de l'étang de Berre ;
- Le canal du Verdon (ou d'Aix) construit un peu plus tard (1875) dérive les eaux du Verdon vers Aix en Provence. Ce canal est aujourd'hui hors service et sa dotation est intégrée dans celle du canal de Provence.

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, des sociétés privées investissent dans la « houille blanche » pour alimenter en électricité une partie des villes et des industries de la région.

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, les conflits entre titulaires de droit d'eau se multiplient en période d'étiage lors des années de grande sécheresse, principalement en basse Durance. Le capital hydraulique du bassin à l'état naturel ne permet plus de faire face à la croissance de l'activité agricole et des besoins régionaux. Notamment, les très faibles débits d'étiage naturel (environ 40 m<sup>3</sup>/s) de la Durance ne permettent pas de garantir les droits d'eau des prises de la basse Durance (70 m<sup>3</sup>/s en 1890), d'autant plus qu'une grande partie des eaux sont dérivées en dehors du bassin versant de la Durance (plaine de Crau et basse vallée du Rhône notamment) et ne permettent pas de réalimenter la rivière et ainsi de bénéficier aux surfaces agricoles les plus aval.

La loi du 11 juillet 1907 instaure la Commission Exécutive de la Durance (CED) afin de remédier aux conflits inhérents aux pénuries d'eau. Celle-ci a la charge de suivre l'évolution des débits de la Durance, de définir les besoins stricts de chaque prise d'eau et de restreindre leurs prélèvements lors des périodes de pénurie d'eau. Ce système a introduit plus d'équité dans la répartition des eaux et permis d'éviter une aggravation des conflits entre les titulaires de droits d'eau.

### 1.1.2 La Loi de 1955 et l'aménagement Durance-Verdon

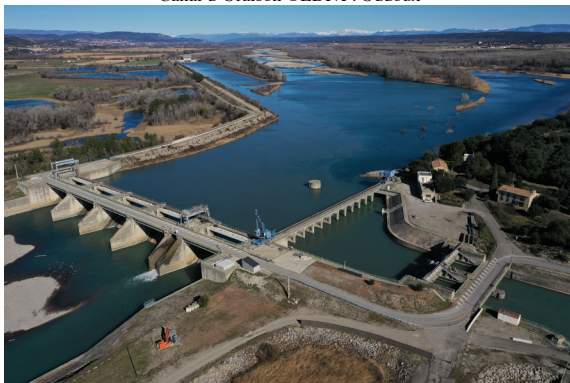
La loi du 5 janvier 1955 marque le début de l'aménagement hydroélectrique de la Durance, à partir du barrage de Serre-Ponçon jusqu'à l'étang de Berre. La déclaration d'utilité publique donne pour objectif d'optimiser au mieux le potentiel hydraulique du bassin afin d'assurer l'alimentation en électricité d'une région très déficitaire en énergie, d'une part, et, d'autre part, de sécuriser l'irrigation en période d'été et l'alimentation en eau potable des villes du littoral. La construction et la gestion des aménagements sont concédées à Electricité de France (EDF).



Barrage de Serre-Ponçon ©EDF/B. Bodin



Canal d'Oraison ©EDF/F. Oddoux



Barrage de Cadarache ©EDF/A.Veyrac

Mis en service entre 1960 et 1977, l'aménagement Durance-Verdon est constitué de trois grands réservoirs de stockage : Serre-Ponçon, le réservoir de tête de l'aménagement de la Durance, Sainte-Croix et Castillon, sur le Verdon, de volumes utiles respectifs 1000, 301 et 113 Mm<sup>3</sup>. Entre Serre-Ponçon et l'étang de Berre, un canal, d'une capacité de 250 m<sup>3</sup>/s, alimente 15 centrales hydroélectriques. Huit autres usines de production situées sur le reste du réseau hydrographique du bassin complètent les aménagements hydroélectriques Durance-Verdon (Figure 2). L'ensemble totalise une puissance de 2000 MW mobilisable en une dizaine de minutes (avec restitution dans l'étang de Berre) pour une production d'énergie renouvelable annuelle moyenne de 6.5 milliards de KWh, soit environ 35 % de la production électrique régionale.



**Fig. 2.** Principaux aménagements EDF sur le bassin versant de la Durance.

Deux conventions entre le ministère de l'Agriculture et EDF, de novembre 1953 et mars 1962, prévoient la constitution de deux réserves d'eau afin de faire face aux pénuries et sécuriser les besoins en eau :

- la première de 200 Mm<sup>3</sup> dans le réservoir de Serre-Ponçon est destinée à garantir l'alimentation en eau des canaux d'irrigation de la Basse Durance entre le 1er juillet et le 30 septembre, lorsque le débit naturel de la Durance est insuffisant. Le débit maximal pouvant être dérivé par ces canaux est de 114 m<sup>3</sup>/s. La gestion de la réserve agricole est réalisée par la CED en collaboration avec EDF ;
- la deuxième de 250 Mm<sup>3</sup> maximum sur le Verdon est destinée à alimenter les infrastructures hydrauliques de transport confiés à la Société du Canal de Provence (SCP) lorsque le débit du Verdon est insuffisant.

À ce jour, une grande partie des eaux prélevées est destinée à l'irrigation des surfaces agricoles (80 % des prélèvements totaux). Plus de 70 % de ces surfaces se situe en dehors du bassin : comtat Venaissin (Vaucluse), plaine de Crau (Bouches du Rhône), région d'Aix en

Provence, et plus récemment, les secteurs de plateau devenus accessibles depuis le développement des réseaux sous pression (Valensole, Sud et Nord Lubéron, plateau de Forcalquier, plaine des Mées...).

Les prélèvements pour les autres usages (alimentation en eau domestique et en eau industrielle) sont moins importants en volume mais ceux-ci sont aussi essentiels sur le plan économique et social. D'autres usages qui répondent à de nouvelles attentes sociétales ont émergé plus récemment comme :

- les loisirs liés à l'eau : les grandes retenues de Serre-Ponçon, Sainte Croix et Castillon du bassin constituent des pôles d'attraction importants pour le tourisme régional. Cet usage est aujourd'hui intégré dans les modalités de gestion de l'eau par EDF afin de chercher à atteindre et maintenir durant la saison estivale un niveau d'eau (cote touristique) suffisant pour la pratique des activités de loisirs nautiques ;
- l'enjeu de préservation des milieux aquatiques avec le relèvement des débits réservés des cours d'eau du bassin, les mesures de limitation des apports d'eau douce et de limons dans l'étang de Berre ;
- l'arrosage des jardins qui tend à remplacer l'irrigation agricole dans les zones urbaines et péri-urbaines.

## **1.2 Un système robuste bientôt mis à l'épreuve par le changement climatique : R2D2-2050, une étude essentielle pour objectiver les tensions à venir**

Jusqu'à présent, les aménagements Durance-Verdon et les modalités de gestion de la ressource ont prouvé leur efficacité en mettant à l'abri les départements méditerranéens des manques d'eau lors des années de sécheresse. Ils constituent les maillons essentiels de la maîtrise de l'eau et du développement socio-économique du bassin versant et plus largement de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Toutefois, des épisodes récents (sécheresse de 2007 notamment) montrent que l'équilibre entre les ressources disponibles et les besoins en eau exprimés par les usages est fragile et peut-être remis en cause.

L'accroissement probable des demandes en eau, sous la pression conjuguée de la poussée démographique et de la valorisation économique de la région, ainsi qu'une moindre disponibilité des ressources hydriques, du fait des effets des évolutions climatiques nécessitent que l'on s'interroge sur la pérennité du système de gestion / conciliation des usages de l'eau actuel et sur les modalités d'adaptation durable susceptibles d'être mises en œuvre.

### *1.2.1 La modélisation comme outil de prospective*

En 2015, l'étude prospective R2D2-2050 [1] a étudié la vulnérabilité de l'équilibre offre/demande en eau afin d'identifier les enjeux de gestion à venir pour différents scénarios climatiques et territoriaux à l'horizon 2050. La démarche intégrative adoptée combine la modélisation du fonctionnement du système Durance-Verdon et la construction de scénarios d'évolution des territoires à partir d'ateliers participatifs.

Le projet a utilisé une approche multi-modèle qui consiste à effectuer les mêmes simulations à l'aide de modèles utilisant des approches différentes afin d'appréhender en partie les incertitudes liées à l'exercice. Ainsi plus de 300 projections climatiques provenant de 11 projections « grande échelle » issues de 4 modèles climatiques globaux sous scénario d'émission de gaz à effet de serre A1B ont été exploitées [2]. De même, 3 modèles de descente d'échelle permettant d'obtenir des projections climatiques à l'échelle spatiale adaptée, sept modèles hydrologiques et 3 modèles de demande en eau des cultures ont été utilisés.

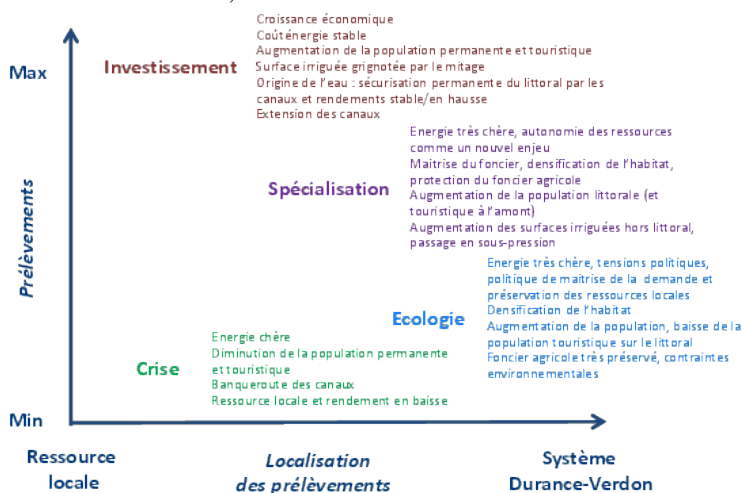
La modélisation de l’anthropo-hydrosystème qui inclut le bassin versant de la Durance proprement dit et le bassin déversant (i.e. l’ensemble des territoires alimentés par les eaux de la Durance et qui sont situés en dehors du bassin versant) intègre :

- les représentations du climat, de la ressource naturelle et des prélèvements nécessaires aux usages de l’eau et aux milieux ;
- les interactions entre ressource-usages et gestion de l’eau ;
- le fonctionnement des principaux réservoirs hydroélectriques, Serre-Ponçon, Sainte-Croix et Castillon, en fonction, des impératifs de production d’électricité, et, des contraintes de débits réservés, de maintien de la cote touristique dans les retenues et de volumes d’eau nécessaires aux usages en aval. Ce travail permet de représenter au mieux l’influence des épisodes de stockage / déstockage d’eau des retenues sur les débits.

Concernant l’anticipation des évolutions de la demande en eau future, le projet s’est inscrit dans le champ de la prospective territoriale [3] plutôt que dans une démarche générique de sensibilité. L’hypothèse sous-jacente est que le niveau de demande est le produit d’un ensemble de facteurs territoriaux, sociaux et économiques. La construction des scénarios à l’échelle des territoires desservis par la Durance et ses affluents a impliqué dès le début les acteurs locaux. Cette méthode permet un meilleur partage des connaissances et des informations, mais aussi des incertitudes ainsi qu’une clarification sur les choix et les hypothèses. Elle favorise la construction de futurs possibles et l’identification de leviers à mobiliser, par la suite, pour une stratégie d’adaptation efficace.

Deux types de scénarios ont été élaborés : un scénario dit « tendanciel » qui est l’évolution future compte tenu des tendances inscrites dans le système actuel et quatre scénarios contrastés dits « extrêmes » permettant « d’encadrer » l’espace des avenir possibles du territoire. La Figure 3 présente les grands vecteurs qui sous-tendent les quatre scénarios en fonction de leurs incidences sur l’intensité des prélèvements d’eau et de leur dépendance à une ressource locale ou au système Durance-Verdon.

L’une des originalités de l’étude R2D2-2050[1] est d’avoir quantifié les scénarios littéraires. L’évolution des populations résidentielle et touristique, de l’occupation des sols, des assolements, des surfaces irriguées, des rendements des réseaux d’adduction et de distribution d’eau, des changements de mode d’irrigation, de source d’approvisionnement en eau, de technologie entre 2010 et 2050 a été chiffrée sur l’ensemble de la période pour les cinq scénarios en différenciant au besoin ces évolutions selon les territoires. La demande en eau proprement dite a été estimée, à l’aide de différents modèles.



**Fig. 3.** Principales caractéristiques des quatre scénarios prospectifs pour le territoire.

### 1.2.2 Des résultats qui questionnent les équilibres actuels

L'étude montre que l'évolution du climat engendre une baisse notable de la ressource en eau disponible avec des étages plus longs et plus intenses et des modifications de la dynamique de constitution et de fonte du manteau neigeux. Selon les scénarios projetés, les évolutions climatiques mais surtout socio-économiques modifient sensiblement la capacité du système Durance-Verdon à satisfaire les demandes des différents usages. Pour les scénarios les plus défavorables, des tendances fortes émergent les années très sèches. Pour ces années, l'équilibre en période d'étiage n'est assuré qu'au détriment de la production d'énergie en hiver et du maintien de cotes touristiques en été. L'intensité des déséquilibres et leur fréquence ne sont pas identiques sur tous les secteurs d'étude. Ainsi, le système Verdon paraît plus vulnérable que celui de la Durance, principalement du fait que le potentiel d'économie d'eau sur le bassin du Verdon est moindre (réseau d'adduction et de distribution totalement sous pression, irrigation sous aspersion ou goutte à goutte...) que celui de la Durance.

La question d'adaptations locales spécifiques au système Durance-Verdon n'a pas été abordée en profondeur par le projet. Néanmoins les scénarios socio-économiques présupposent le maintien voire l'intensification ou à l'inverse la diminution des mesures d'économie d'eau et l'utilisation plus efficace des ressources en eau, amorcées dans les politiques actuelles de gestion. Les mesures insérées dans les scénarios sont d'ordre structurel (maintien ou amélioration des rendements des canaux d'irrigation et des réseaux de distribution d'AEP). Elles s'inscrivent dans une dynamique d'économie d'eau sur le territoire déjà en cours. *In fine* elles contribueront à réduire l'impact négatif du changement climatique (ressource naturelle disponible diminuée) sous réserve de leur poursuite et de leur extension, ou d'adaptation à la marge (modification de gestion, volumes prélevables, requalification d'infrastructures, amélioration plus importante de l'efficacité hydraulique...).

Confronté à ces résultats, les acteurs locaux ont fait émerger quatre types d'interrogations pour le futur :

- Un potentiel d'économies d'eau existe. Mais sera-t-il suffisant pour compenser les évolutions futures ?
- Quelles priorités entre usages et entre territoires, l'arbitrage des règles de partage devant être éclairé en évaluant les impacts économiques et sociaux de ces changements et des bénéfices portés par chacun ?
- Quelles possibilités de ressources alternatives (le fleuve Rhône, les ressources souterraines locales) en continu ou en période de pointe pour soulager la sollicitation des réserves ?
- Quelle nouvelle gouvernance pour parvenir à un nouvel équilibre pérenne dans un contexte incertain ?

## 2 C3PO : une démarche de modélisation innovante, au cœur d'un projet de territoire, pour répondre aux enjeux futurs du partage de l'eau de la Durance

Le SMAVD a été labellisé Établissement Public Territorial de Bassin (EPTB) en 2010, lui conférant une mission d'animation pour : faciliter les échanges entre les acteurs du bassin et coordonner les différentes politiques de gestion de l'eau et des milieux aquatiques, dans une perspective de gestion intégrée du bassin versant. À ce titre, le SMAVD est porteur d'un projet de Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). Des instances de concertation rassemblant des élus, des représentants des usagers et des milieux, des acteurs associatifs et des représentants de l'État ont été mises en place. Elles préfigurent la future Commission Locale de l'Eau de la Durance qui représente une centaine d'acteurs.



Pour accompagner ce projet de gouvernance, le SMAVD a initié une démarche innovante de modélisation intégrée de l'ensemble du bassin versant, dans la continuité directe du projet de recherche R2D2-2050 [1]. L'outil de simulation C3PO, actuellement en construction, permet d'ores et déjà de structurer la réflexion sur la gestion la ressource en eau. L'EPTB disposera ainsi d'un outil d'aide à la décision pour l'évaluation de scénarios d'évolution de la ressource, des usages et des modalités de gestion comme par exemple :

- Quels effets du changement climatique et de l'évolution des territoires sur la disponibilité de la ressource en eau ? Sur la satisfaction des différents usages ?
- Quels leviers d'adaptation possibles pour la répartition de l'eau entre les différents usages ?
- Quels seraient les effets provoqués par la modification d'ouvrages / règles de gestion / pratiques agricoles à l'échelle globale ? Sur les débits en rivière ? Sur le niveau de la nappe ?

Les scénarios et les résultats de la modélisation alimenteront les réflexions de la future Commission Locale de l'Eau du futur SAGE de la Durance.

## 2.1 C3PO : une démarche qui fédère la connaissance

### 2.1.1 Les grands principes de la modélisation

La construction de l'outil de modélisation C3PO a justifié le recensement de la connaissance disponible à l'échelle du bassin versant de la Durance concernant : le climat ; la disponibilité de la ressource ; les besoins et les prélèvements exprimés par les différents usages (irrigation et eau potable notamment) ; les infrastructures de transport d'eau (gravitaires ou sous-pression) et leurs règles de gestion.

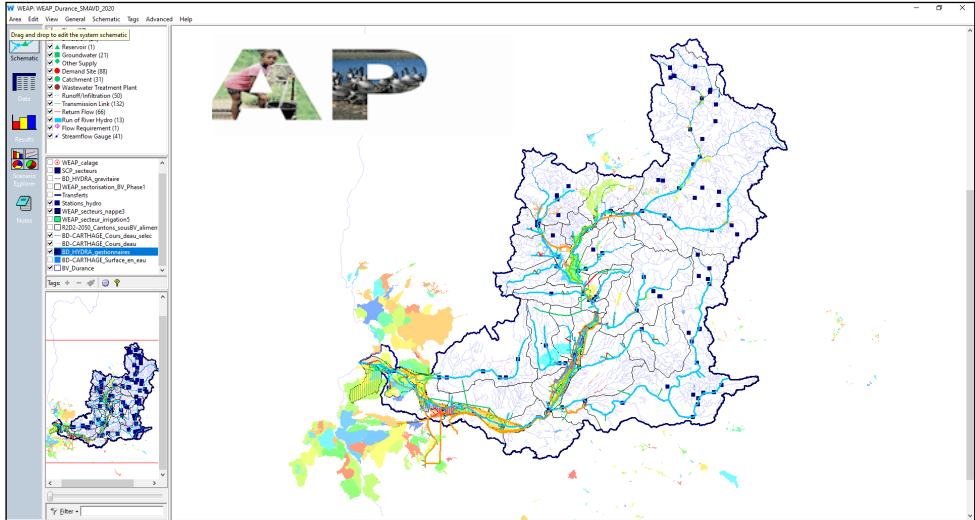
Les éléments de diagnostics issus du croisement des bases de données (INSEE, R2D2-2050[1], redevance Agence de l'Eau, Article 50) et des études disponibles (Étude de la nappe [4], Études de Volumes Prélevables, Stratégie Régionale d'Hydraulique Agricole [5], sont utilisées comme données d'entrée ou de calage du modèle (Tableau 1).

**Tableau 1.** Modélisation intégrée C3PO : données d'entrée et de calage.

Thématique	Variable	Entrée	Calage	Source(s)
Climat	Précipitation	X		Météo France
	Température	X		Météo France
	Evapotranspiration	X		Météo France
Disponibilité	Enneigement		X	Météo France
	Débit observé	X	X	BanqueHydro, DDT, EDF
	Débit simulé	X		Modélisation GR4J
	Piézométrie observée		X	BD ADES, archives DIREN et SRAE
Usages	AEP/Démographie	X		INSEE
	AEP/Prélèvements	X	X	Syndicats Eau Potable, BD AERMC
	Irrigation/Surfaces irriguées et cultures	X		Recensement Général Agricole
	Irrigation/Prélèvements	X		CED, BD AERMC, Chambres d'Agriculture, Canal de Provence
	Irrigation/Retour aux milieux		X	Etudes de Flux AERMC
Infrastructure	Bilan aménagements	X	X	EDF
	Production hydroélectrique	X	X	EDF, RTE
	Règles de gestion	X	X	EDF

Ce travail de mise en cohérence des données disponibles à l'échelle du bassin versant pour alimenter l'outil C3PO permet d'organiser la connaissance à l'échelle de ce territoire et de disposer de bases données homogènes sur la période de simulation 1988-2015.

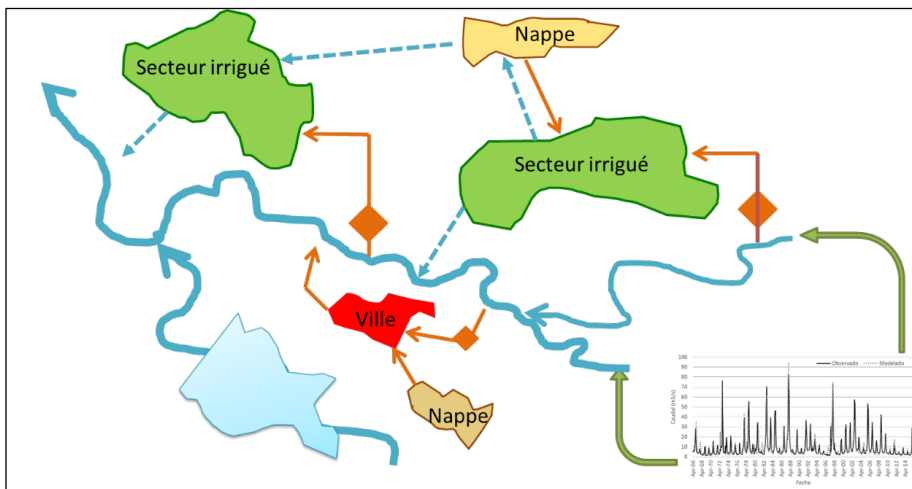
L'outil C3PO est développé en utilisant le logiciel WEAP ("Water Evaluation And Planning" system) développé par le Stockholm Environment Institute depuis la fin des années 1980. Il s'agit d'un modèle d'allocation de la ressource en eau utilisé par une communauté croissante d'utilisateurs dans près de 200 pays. Son interface permet de présenter de manière transparente la façon dont le modèle est construit et favorise ainsi une représentation partagée du fonctionnement du bassin versant (Figure 4).



**Fig. 4.** Interface graphique de l'outil C3PO (WEAP).

La modélisation est menée au pas de temps mensuel. Les simulations sur la période historique sont effectuées sur la période 1988-2015. L'emprise spatiale du modèle intègre le bassin versant et les territoires desservis représentés à travers leurs prélèvements sur la ressource générée par le bassin.

L'approche de modélisation, dite semi-distribuée, s'appuie sur un découpage du bassin versant en secteurs homogènes (sous bassin versant, secteur d'irrigation, secteurs de nappes) et sur une représentation « à priori » des flux d'eau (Figure 5). Les relations complexes entre la rivière et la nappe, par exemple, ou entre les périmètres irrigués, la nappe (percolation) et la rivière (colatures) sont ainsi appréhendées de manière simplifiée. Une comparaison des grands principes de modélisation R2D2-2050 / C3PO est présentée dans le Tableau 2.



**Fig. 5.** Découpage en secteurs homogènes et représentation schématique simplifiée des flux d’eaux.

**Tableau 2.** Comparaison des grands principes de modélisation R2D2-2050/C3PO.

Hypothèse	R2D2-2050	C3PO
Outil	MORGLite	WEAP
Approche	Intégrée, semi-distribuée	
Pas de temps	Journalier	Mensuel
Emprise	Bassin versant + déversant	
Période	1980-2009 et 2036-2065	1988-2015
Hydrologie	Découpage en 5 sous-bassin versants	Découpage en 27 sous-bassin versants
Usages	AEP, irrigation, industrie, tourisme, règles de gestion	
Nappe	Non modélisée explicitement	Nappe alluviale de la Durance, découpage en 22 secteurs

La demande en eau d’irrigation est modélisée en suivant la méthode FAO56. Elle est basée sur les données de surfaces irriguées, types de culture et méthodes d’irrigation provenant de l’analyse des Recensements Généraux Agricoles (1978, 1988, 2000 et 2010) effectuée dans le projet R2D2-2050 [1]. Les cultures sont caractérisées par un coefficient cultural et la demande en irrigation, agrégée à l’échelle de grands périmètres irrigués, est estimée en prenant en compte le climat local (évapotranspiration potentielle et précipitation).

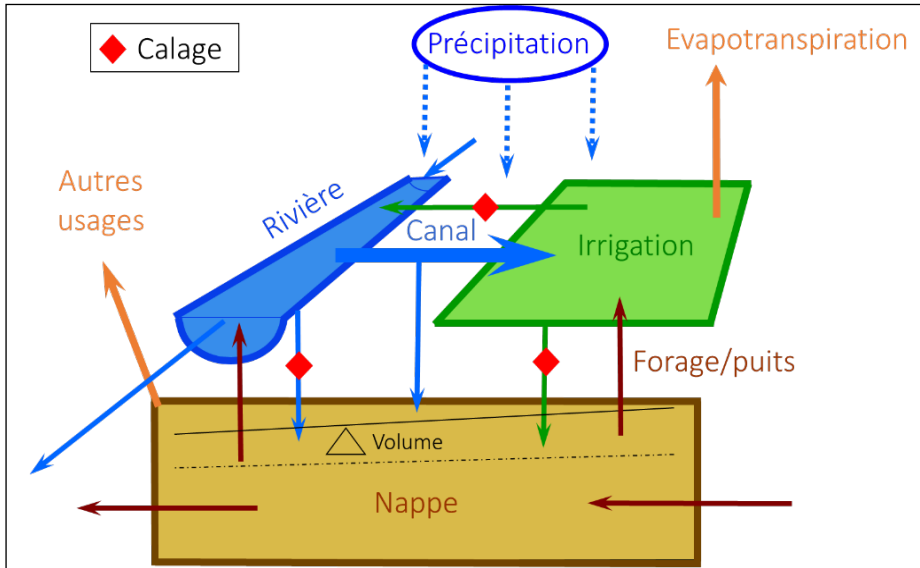
La demande en eau potable est estimée à partir des données démographiques de population permanente (INSEE) et d’une dotation unitaire exprimée en m<sup>3</sup>/hab/an. L’influence de la population touristique sur la demande en eau potable se base sur l’utilisation de distributions mensuelles par bassins touristiques, telle qu’effectuée dans le cadre du projet R2D2-2050 [1].

La demande exprimée par les milieux est indirectement intégrée dans la modélisation par la prise en compte des débits réservés dans la règle de gestion de l’aménagement hydroélectrique.

La nappe alluviale de la Durance constitue une ressource essentielle, notamment dans le contexte de changement climatique auquel est confronté le bassin versant. Ses dynamiques d’interaction avec les différentes sources de recharge (rivière, irrigation, nappes latérales)

sont relativement mal connues. L'estimation des flux de recharge est rendue difficile du fait qu'il n'est pas possible de les observer ni de les mesurer dans la pratique.

L'outil C3PO permet une représentation simplifiée des interactions entre la rivière, la nappe et l'irrigation (Figure 6). Il permet d'améliorer la connaissance sur les dynamiques de recharge et de prélèvement de la nappe et à travers des bilans entrées-sorties par secteur de nappe. Le découpage en secteurs de nappe homogènes utilisé est celui proposé par l'étude exploratoire de la nappe alluviale de la Durance (BRLi-Hydrofis, 2015), basé sur des critères de géométrie du corps alluvial, d'alimentation par les encaissements et de piézométrie.



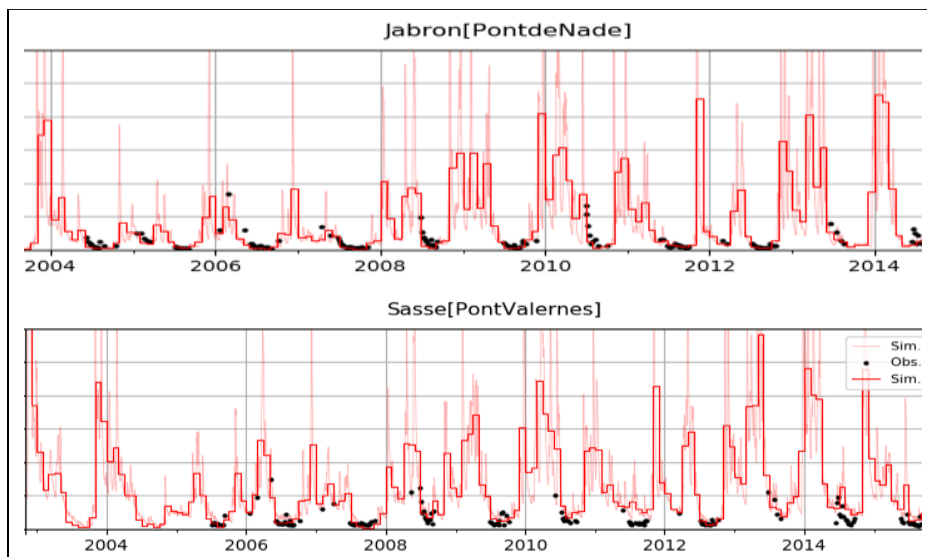
**Fig. 6.** Représentation de la nappe dans le modèle et des flux d'échange (recharge, prélèvement) avec la rivière et l'irrigation.

### 2.1.2 Un calage nécessaire

Les simulations obtenues sont comparées aux observations disponibles sur la période historique 1988-2015. Des ajustements ont été nécessaires pour aboutir à un calage préliminaire de l'outil de modélisation. Ils concernent principalement l'hydrologie modélisée, les prélèvements modélisés et les interactions entre la rivière, la nappe et l'irrigation.

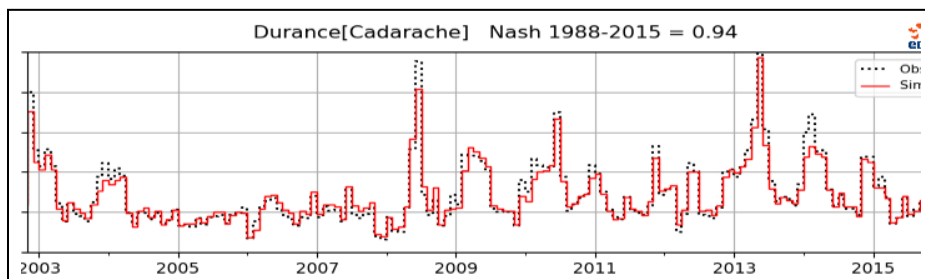
Sur la partie souterraine, le calage du modèle est effectué en comparant les volumes simulés aux volumes observés, estimés à partir des chroniques piézométriques existantes (BD ADES et archives).

Sur les affluents de la Durance, majoritairement non instrumentés, le calage est effectué par comparaison avec les données de jaugeages ponctuels effectuées par l'État pendant la période estivale dans le cadre du suivi sécheresse (Figure 7).



**Fig. 7.** Calage des affluents Sasse et Jabron : en rouge les débits simulés ; les points noirs représentent les jaugeages ponctuels.

Lorsqu’une station hydrométrique existe, le calage est effectué par comparaison des chroniques simulées et observées. Ces chroniques sont influencées par les usages amont, également modélisés dans l’outil C3PO. Le calage obtenu pour la Durance à Cadarache est représenté sur la Figure 8.



**Fig. 8.** La Durance à Cadarache, en rouge les débits simulés et en pointillés noirs les débits observés. Zoom sur la période 2003-2015.

## 2.2 C3PO : un projet qui fédère les acteurs du bassin

Les besoins en termes de données de la démarche de modélisation C3PO ont justifié la mise en place de partenariats avec différents producteurs de données. En effet, certaines données produites présentent un caractère stratégique et/ou confidentiel. D’autres données justifient une forte expertise pour leur élaboration.

Météo France fournit un certain nombre de données utiles à la modélisation relatives au climat et à l’enneigement. Une convention de partenariat a été signée en 2018 visant à faciliter la coopération entre le SMAVD, INRAE et AgroParisTech pour concevoir, adapter, utiliser et évaluer des outils et des méthodes susceptibles de contribuer au projet de planification et de gestion intégrée du bassin versant de la Durance.

Le SMAVD a noué un partenariat avec EDF formalisé à travers une convention (cf. 2.3). Trois autres projets de convention sont en cours d’élaboration avec la CED, la Société du

Canal de Provence et la Chambre Régionale d'Agriculture concernant la mise à disposition de données de prélèvement et d'assolements. Ces conventions formalisent l'intérêt de ces partenaires pour la démarche C3PO.

La construction de l'outil est organisée de manière participative avec les acteurs du territoire. Trois groupes de travail ont ainsi été organisés pour accompagner le travail de construction de l'outil de modélisation, expliciter les objectifs et plus-values recherchées et en faciliter l'appropriation. Ils ont permis de réunir experts scientifiques et personnes ressources de la Durance dans le domaine de la gestion de l'eau autour des trois thématiques centrales du travail de modélisation (Tableau 3).

**Tableau 3.** Mobilisation des acteurs.

	<b>GT1 - avril 2019</b>	<b>GT2 - septembre 2019</b>	<b>GT3 - décembre 2019</b>
<b>Collège</b>	<b>Hydrologie-Hydrrométrie</b>	<b>Réseaux et Agriculture irriguée</b>	<b>Nappe et AEP</b>
Scientifique	Inrae EDF R&D	Inrae Montpellier Sup'Agro EDF R&D	Université d'Avignon BRGM Experts hydrogéologues
Usagers	EDF Gestionnaires de milieu	EDF Gestionnaires de réseaux d'irrigation Société du Canal de Provence	EDF Gestionnaires de réseau AEP
Partenaires	DREAL, DDT Agence de l'Eau RMC	DREAL, DDT Agence de l'Eau RMC Commission Exécutive de la Durance Région Sud	DREAL, DDT Agence de l'Eau RMC Agence Régionale de Santé Région Sud

Le premier groupe a été réuni en avril 2019 sur la thématique « Hydrologie-Hydrrométrie-Modélisation ». Il avait vocation à porter un regard critique sur la stratégie de modélisation mais aussi à mettre en lien les acteurs de l'hydrométrie sur le bassin de la Durance (producteurs de donnée) et les acteurs concernés par l'hydrologie, la modélisation et la gestion de la ressource en eau (utilisateurs de données).

Un second groupe s'est réuni en septembre 2019 sur la thématique « Réseaux et agriculture irriguée » afin d'aborder les aspects liés à la modélisation des infrastructures de transferts d'eau et l'estimation des besoins en irrigation.

Un troisième groupe s'est réuni sur la thématique « Nappe alluviale et eau potable » en décembre 2019. La discussion a concerné la prise en compte des enjeux liés à la nappe alluviale de la Durance dans le modèle, notamment les alimentations latérales de la nappe, l'estimation des prélèvements pour l'eau potable ; l'irrigation individuelle et les usages domestiques.

Les participants de ces groupes de travail seront sollicités ultérieurement pour discuter des résultats du calage préliminaire, puis pour définir les scénarios prospectifs à analyser.

Un Comité de Pilotage de la démarche est mis en place associant partenaires et producteurs de données. Cette instance donnera les grandes orientations concernant la vie de l'outil C3PO en général ; la mise disposition des résultats issus des simulations à d'autres acteurs.

### **2.3 Le partenariat SMAVD-EDF : au-delà d'un échange de données, un travail partenarial**

Sur la Durance, EDF Hydro Méditerranée, concessionnaire des aménagements hydroélectriques de la Durance et du Verdon et le SMAVD, EPTB de la Durance, travaillent ensemble depuis de nombreuses années sur des sujets comme le transport solide et les essartements. Cette collaboration s'est élargie plus récemment à la thématique de la Ressource en Eau dans le cadre du projet C3PO et autour de la construction de l'outil de simulation. Convaincue de la nécessité de travailler collectivement sur la question de l'adaptation des territoires et des usages au changement climatique, EDF apporte son soutien au projet en mettant à disposition du SMAVD les données nécessaires aux étapes de calage et en l'appuyant pour le travail d'intégration dans l'outil des principes de gestion des grands réservoirs de Serre-Ponçon, Castillon et Sainte-Croix.

EDF, dans le cadre de ses missions capitalise les données relatives au fonctionnement des aménagements hydroélectriques et à la gestion des grandes retenues de stockage du bassin, à l'hydrologie en différents points du bassin versant et a développé des modèles de simulation pour la gestion opérationnelle des ouvrages hydroélectriques. Ses experts en hydrologie et modélisation, qui ont participé au projet de recherche R2D2-2050 [1], sont aussi sollicités sur le projet.

Les données utiles pour la 1ère phase de développement et de calage du modèle ont été fournies en décembre 2019. Cette 1ère phase a consisté à reconstituer les chroniques observées en considérant les résultats de la règle de gestion des aménagements (débits déstockés aux ouvrages). La 2ème phase de développement est en cours avec la transmission de données complémentaires en septembre 2020 et des échanges sur la façon de représenter les règles de gestion des grands aménagements compte tenu des principes de modélisation de WEAP.

Une fois le modèle validé, EDF Hydro Méditerranée s'impliquera dans le cadre de la démarche de SAGE animée par le SMAVD, pour définir et étudier des scénarios prospectifs, en concertation avec l'ensemble des acteurs de l'eau sur le bassin. Face à la baisse annoncée de la ressource, il s'agira d'innover pour construire le futur du système Durance-Verdon en préservant l'atout unique que constitue le patrimoine hydraulique présent en région Sud-PACA et les usages qui sont associés.

### **Références**

1. Sauquet et al., 2015, *Projet R2D2-2050 Risque, Ressource en Eau et gestion Durable de la Durance en 2050* (2015)
2. P. Van der Linden & J. F. B. Mitchell, *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts. Summary of research and result from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX 3PB, UK (2009)
3. P. Durance, M. Godet, P. Mirénowicz, V. Pacini, V., *La prospective territoriale, Pourquoi faire ? Comment faire ?* Les cahiers du LIPSOR, Série Recherche n°7 (2007)
4. BRLi, Hydrofis, *Étude exploratoire de la nappe de la Durance* (2015)
5. Chambre Régionale d'Agriculture PACA, *Stratégie Régionale d'Hydraulique Agricole* (2014)