

## Anticiper et quantifier les futurs possibles de la gestion en eau sur le bassin Durance-Verdon

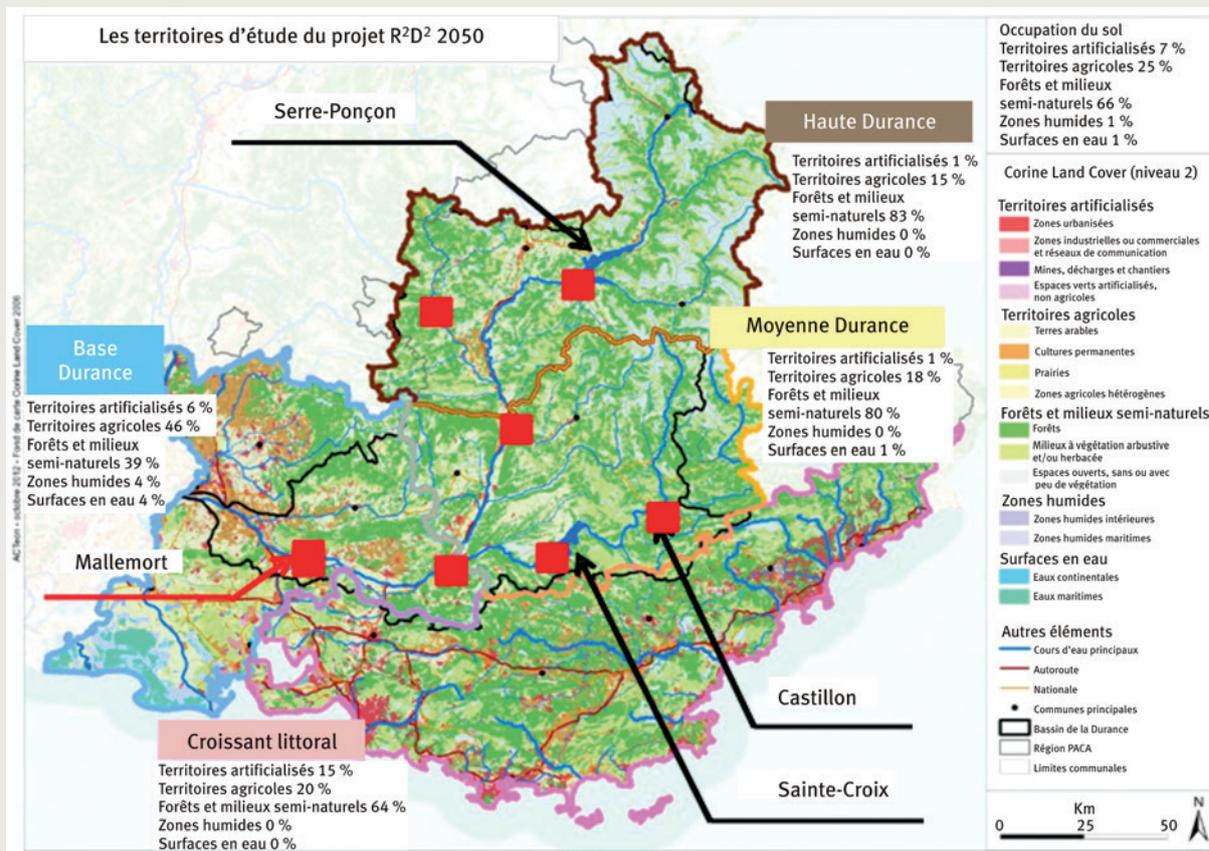
**En région Provence-Alpes-Cote-d'Azur, des inquiétudes pèsent sur l'équilibre fragile entre ressources disponibles et besoins en eau du fait de probables évolutions du climat et des activités socio-économiques sur le territoire. Afin d'élaborer une vision prospective de la gestion de l'eau à l'échelle des différents secteurs géographiques alimentés par les eaux de la Durance, un projet de recherche associant acteurs locaux et experts a été engagé. Il a permis d'étudier la vulnérabilité du mode de gestion actuel vis-à-vis des changements globaux et d'identifier les enjeux à venir pour la ressource en eau et ses usages (dont les services écosystémiques). Cet article se concentre sur la construction des trajectoires socio-économiques de développement territorial et sur leur conséquence sur les usages de l'eau et sur l'équilibre offre/demande.**

**L**a Durance et son principal affluent, le Verdon, constituent l'essentiel de la ressource en eau de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA). Le cours de la Durance est aménagé de longue date. Dès le XII<sup>e</sup> siècle, les premières concessions autorisent le détournement de ses eaux à partir de canaux pour l'entraînement des moulins à farine. Les agriculteurs disposent d'un droit d'usage pour l'arrosage des cultures seulement durant certaines périodes. Au XVI<sup>e</sup> siècle, de nombreux ouvrages sont édifiés afin de transférer l'eau de la Durance au-delà des limites de son bassin versant, vers les secteurs déficitaires du Bas-Rhône et du littoral pour permettre l'irrigation des cultures et l'approvisionnement en eau potable des grandes villes (Marseille). 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 associations d'usagers et titulaires de dotations se multiplient lors des périodes d'étiage durant les années de grande sécheresse. 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. Les oppositions d'intérêts font que les départements du Var, des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse, sont incapables de s'entendre sur un partage de la ressource, contraignant ainsi le législateur à intervenir. La loi du 11 juillet 1907

instaure la Commission Exécutive de la Durance qui a la charge de définir les besoins stricts des canaux et de restreindre les prélèvements lors des pénuries d'eau. La « loi d'aménagement de Serre-Ponçon et de la basse Durance » 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, ainsi que du Verdon. Les conventions de novembre 1953 et de mai 1962, qui prévoient la constitution de réserves destinées à garantir l'alimentation en eau des canaux, 200 Mm<sup>3</sup> sur la Durance (barrage de Serre-Ponçon) et 250 Mm<sup>3</sup> sur le Verdon (85 Mm<sup>3</sup> dans le barrage de Castillon, 140 Mm<sup>3</sup> dans la retenue de Sainte-Croix et 25 Mm<sup>3</sup> dans le barrage de Bimont), affirment la vocation du système Durance-Verdon à servir des usages multiples de l'eau pour la région.

Les aménagements, et notamment les grandes retenues, ainsi que la gestion des eaux de la Durance sont les pierres angulaires de la maîtrise de l'eau, élément essentiel du développement économique provençal. Néanmoins, les récentes sécheresses montrent que l'équilibre entre les ressources disponibles et les besoins en eau exprimés par les usages – qu'ils soient historiques (alimentation en eau potable – AEP, énergie, irrigation) ou plus récents (services écosystémiques, tourisme) – pourrait être remis en cause. Les incertitudes relatives à l'impact réel du changement climatique sur les ressources hydriques et aux évolutions futures des pressions

1 Territoires d'étude, ouvrages hydrauliques d'intérêt, occupation du sol et points d'analyse de l'équilibre offre/demande (■).



anthropiques nécessitent que l'on s'interroge dès à présent sur la pérennité du système actuel et les modalités d'adaptation durable susceptibles d'être mises en œuvre. Cette interrogation a été la préoccupation principale du projet R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050 « Risque, ressource en eau et gestion durable de la Durance en 2050 », cofinancé par le programme GICC du MEEM et par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée (Sauquet *et al.*, 2015). Une étude prospective, à l'horizon 2050, a été engagée afin d'étudier la vulnérabilité de l'équilibre offre/demande en eau et d'identifier les enjeux de gestion à venir pour différents scénarios climatiques et territoriaux.

### Méthode et intérêt de la méthode

La démarche utilisée est une approche intégratrice qui combine une modélisation du fonctionnement du système Durance-Verdon et une démarche de prospective territoriale. Bien que complexe à mettre en œuvre, cette approche est largement utilisée dans le domaine de l'environnement en France, que ce soit pour la gestion de l'eau, des milieux aquatiques ou de la biodiversité, en référence aux projets et études « Imagine 2030 », « Aqua 2030 », « Explore 2070 », « Biodiversité et territoires 2030 » ou « Garonne 2050 » (Arama *et al.*, 2015).

La modélisation de l'anthropo-hydrosystème inclut, d'une part, les représentations du climat, de la ressource naturelle et des prélèvements pour les usages de l'eau (irrigation, AEP, énergie, industrie et loisirs) et le maintien de la qualité des milieux, et, d'autre part, le fonctionnement des réservoirs principaux de Serre-Ponçon,

Sainte-Croix et Castillon sous contrainte de respect des débits réservés, de la cote touristique dans les retenues et des lâchers d'eau nécessaires aux usages en aval. Pour permettre d'avoir une vision régionalisée des devenir des territoires, le domaine d'étude a été découpé en quatre grands territoires « Croissant littoral », « Basse Durance », « Moyenne Durance » et « Haute Durance » (figure 1).

Cet article est centré sur l'étape de construction et de quantification des scénarios prospectifs et les principaux résultats relatifs aux usages. Seuls les enjeux méthodologiques de la caractérisation et de la quantification des demandes en eaux futures sont présentés.

Concernant l'anticipation des évolutions, le projet R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050 s'inscrit dans le champ de la prospective territoriale plutôt que dans une démarche générique de sensibilité autour de la demande en eau future. L'hypothèse sous-jacente est que cette demande future est le produit d'un ensemble de facteurs territoriaux et sectoriels. Ainsi, l'exercice de prospective a consisté en la construction de scénarios sociétaux contrastés à l'échelle de la région PACA. La demande en eau n'a été déduite qu'a posteriori. Dès le début, la méthode a favorisé l'approche participative. Cette dimension mobilise des savoirs complémentaires. La réflexion collective permet un meilleur partage des connaissances et des informations, une clarification sur les choix et les hypothèses et rend transparentes les incertitudes et les controverses. La participation des acteurs locaux favorise la co-construction de futurs possibles pour leur territoire et l'identification de leviers à mobiliser, par la suite, pour une stratégie d'adaptation efficace.

**Application**

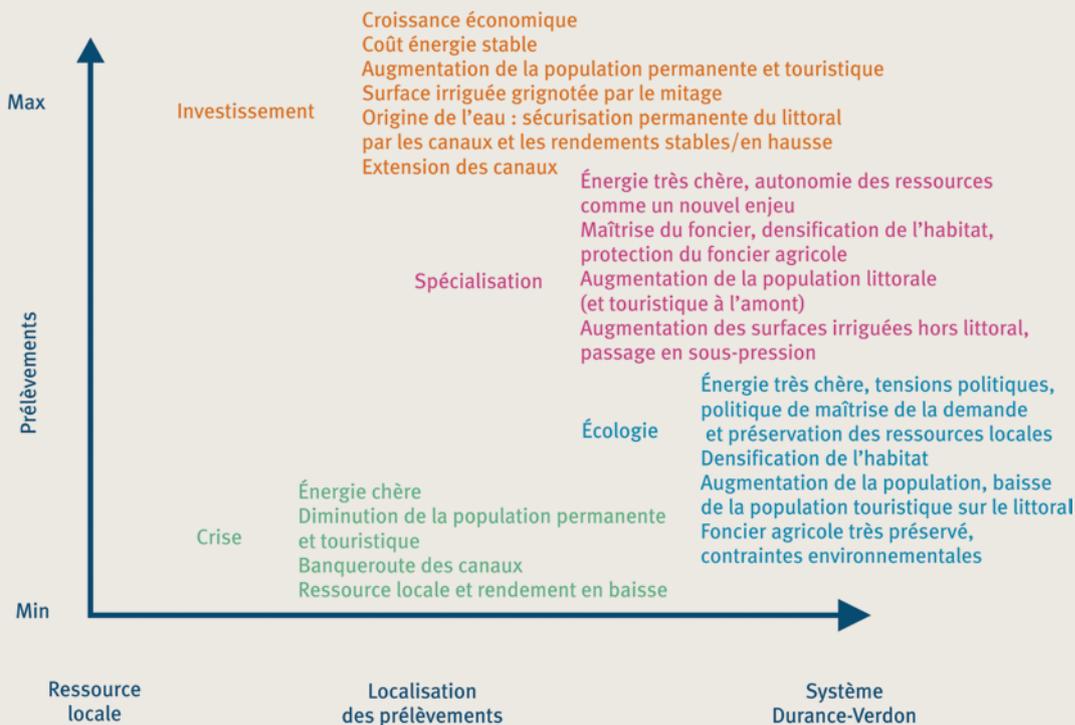
La préparation et l'animation des ateliers de prospective ont nécessité la construction d'un socle de connaissance des territoires de la zone d'étude et l'identification, d'une part, des tendances lourdes qui ont peu de chances d'évoluer dans un avenir proche, et, d'autre part, des vecteurs et relais, porteurs potentiels de changement et de rupture. Ces derniers ont été classés comme tels : variables « globales », définies aux échelles nationale et supranationale qui donnent « la couleur » de chaque scénario, variables « territoriales » qui font émerger des enjeux spécifiques au territoire et variables « sectorielles » qui expliquent la dynamique des activités utilisatrices de la ressource. La base de connaissance, traduite en documents de synthèse, a été soumise aux acteurs avant la tenue des ateliers.

À l'occasion de trois ateliers, les participants ont pu amender cette liste de variables, discuter de la pertinence de l'évolution historique de ces dernières et proposer des devenirs contrastés à l'horizon 2050, sous la forme de micro puis de macro-scénarios.

L'une des originalités de cette étude est d'avoir estimé les demandes futures en eau projetées pour chaque scénario littéraire. Pour ce faire, l'évolution des facteurs explicatifs des demandes/prélèvements en eau pour les usages a été estimée par les acteurs à partir :

- d'une analyse des ordres de grandeurs historiques et de la dynamique actuelle de chacune des variables identifiées,
- d'une définition des ordres de grandeurs des évolutions possibles de ces variables sur la base des hypothèses de transformation des territoires,

② Principales caractéristiques des quatre scénarios prospectifs issus des ateliers avec les acteurs.



① Évolution des déterminants de la demande en eau par rapport à 2010 (le signe dans le tableau renseigne le sens des changements).

Facteurs	Tendanciel	Spécialisation	Investissement	Crise	Écologie
Population résidentielle	+	+	+	-	+
Population touristique	+	+	+	-	+
Demande unitaire AEP	-	=	+	-	-
Utilisation ressources locales	=	-	-	+	+
Rendement réseaux AEP	+	+	+	-	+
Surfaces irriguées	-	+	-	-	+
Arrosage	+	=	+	+	=
Rendements canaux	+	+	+	=	+
Irrigation aspersion	=	+	=	=	+

- d'une réflexion sur la « sensibilité spatiale différenciée des changements » (Casanova, 2010) en fonction des spécificités propres aux territoires de la zone d'étude.

Ces éléments issus d'un processus de discussion et de validation ont été utilisés pour simuler les besoins en eau d'irrigation et en eau potable pour les différents scénarios. Ils ont aussi permis aux « experts » de projeter les demandes en eau futur des usages industrie et loisirs.

En ce qui concerne le travail de modélisation, les besoins en eau d'irrigation ont été quantifiés à l'aide d'un modèle classique de bilan hydrique (baptisé MODIC, Braud *et al.*, 2013). Ce modèle utilise en entrée des données journalières de pluie, de température et d'évapotranspiration de référence. Le besoin en eau de la plante est calculé à partir de deux fonctions, une de gestion de la réserve en eau du sol et une de régulation de l'évapotranspiration réelle. Des modules « itinéraires techniques » qui reflètent le comportement des irrigants permettent de passer du besoin en eau des cultures à la demande faite par ces derniers : seuil de déclenchement et taux de remplissage des réserves du sol pour le mode non gravitaire et niveau et fréquence d'apports pour le mode gravitaire...

Pour l'AEP, la demande unitaire (consommation journalière moyenne par ménage) pour chaque commune des territoires desservis a été estimée à partir de la fonction proposée par García-Valiñas *et al.* (2009). Les principales variables explicatives intervenant dans la fonction sont les proportions de la population de moins de 19 ans et de plus de 60 ans, la taille moyenne des ménages, le revenu imposable moyen par ménage ainsi que la fréquentation touristique. L'incidence des évolutions du climat n'est pas prise en compte. Les projections de la demande future sont une combinaison des évolutions démographiques (nombre d'habitants), de l'évolution de la demande par ménage et du rendement des réseaux.

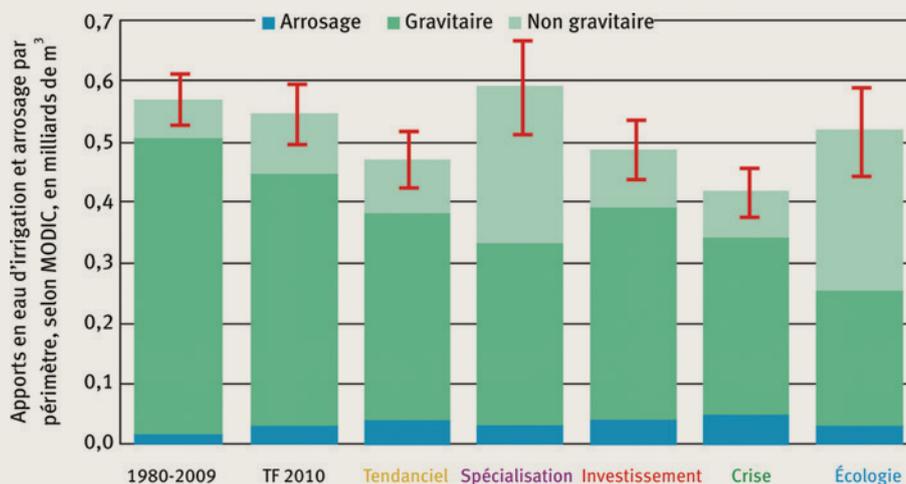
L'ensemble des données de demande en eau de l'industrie, de l'irrigation, des eaux domestiques et des activités de loisirs ont été « reliées » à leurs sous-bassins de prélèvement et restitution, et harmonisés à des échelles spatiales et temporelles communes aux climatologues et hydrologues afin d'alimenter la modélisation du bassin, de la gestion des retenues et les règles d'allocation des ressources.

### Résultats

Deux types de scénarios ont été construits : un scénario dit « Tendanciel » conditionné par les tendances perceptibles dans le système actuel et quatre scénarios contrastés permettant « d'encadrer » l'espace des futurs possibles (figure 2). Ces scénarios ont été rédigés sous forme de trame narrative (*storyline*). S'ajoute un scénario « Business-as-usual » baptisé TF 2010, calqué sur une photographie du territoire en 2010 et, qui permet d'évaluer l'impact du changement climatique indépendamment de toute autre évolution d'origine anthropique. Le tableau 1 présente pour chacun de ces scénarios, l'évolution des principaux facteurs explicatifs des besoins en eau des différents usages. La traduction quantifiée des scénarios montre une demande en eau d'irrigation (figure 3) qui baisse globalement sauf pour le scénario « Spécialisation » (entre -30 % et +4 %). Les résultats obtenus sont très variables d'un scénario à l'autre. Les différences relèvent principalement des évolutions socio-agro-économiques (assolements et mode d'irrigation) et, dans une moindre mesure, de l'incidence du changement climatique.

L'augmentation des surfaces irriguées et les modifications d'assolement pour les scénarios « Écologie » et « Spécialisation » induisent une hausse des besoins en eau des cultures qui est en partie compensée par le passage du mode gravitaire en mode sous-pression sur l'ensemble

3 Évolution de la demande en eau pour l'irrigation selon MODIC, par scénario. Les barres rouges représentent les incertitudes climatiques associées. « 1980-2009 » est le besoin en eau moyen sur la période 1980-2009 et prend en compte l'évolution de l'activité agricole sur cette période.



► du territoire sauf pour les plaines alluviales de la Basse-Durance et du Bas-Rhône. À l'inverse, la demande en eau pour les scénarios « Investissement » et « Crise » est en baisse essentiellement du fait de la diminution des surfaces irriguées sauf pour le périmètre desservi par la Société du Canal de Provence où celles-ci restent stables. Les projections de la demande future pour l'AEP (figure 4) montrent peu d'évolution pour l'ensemble des scénarios, hormis le scénario « Investissement », alors même que les hypothèses pouvaient laisser entendre le contraire. Pour les scénarios « Spécialisation » et « Écologie », l'augmentation des besoins due à la croissance de la population est compensée par l'amélioration du rendement des réseaux. S'ajoute une demande unitaire plus faible pour le scénario « Écologie ». Le scénario « Crise » conduit à une demande en baisse sous l'effet conjugué de la diminution de la population et de la demande unitaire (effet baisse des revenus). *A contrario*, l'augmentation de la demande du scénario « Investissement » se justifie par une forte croissance de la population, une amélioration modérée du rendement des réseaux et une demande unitaire en hausse (effet conjugué de la baisse du prix de l'eau, de l'augmentation de l'habitat individuel et de la fréquentation touristique).

Au final, la quantification des hypothèses de demande en eau des scénarios R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050 débouche sur une baisse des prélèvements dans le futur entre -30% et -10% (figure 5). Ces chiffres s'expliquent par la part importante de l'alimentation technique des canaux gravitaires dans les prélèvements (entre 36% et 50% des prélèvements). Les scénarios « Spécialisation » et « Écologie » font l'hypothèse d'une amélioration du rendement moyen des canaux d'environ 10% pour les canaux dont le rendement moyen actuel est inférieur à 80%. Cette hypothèse s'inscrit dans la « logique » de ces scénarios : préservation des ressources naturelles pour le scénario « Écologie », priorisation et développement du secteur agricole avec

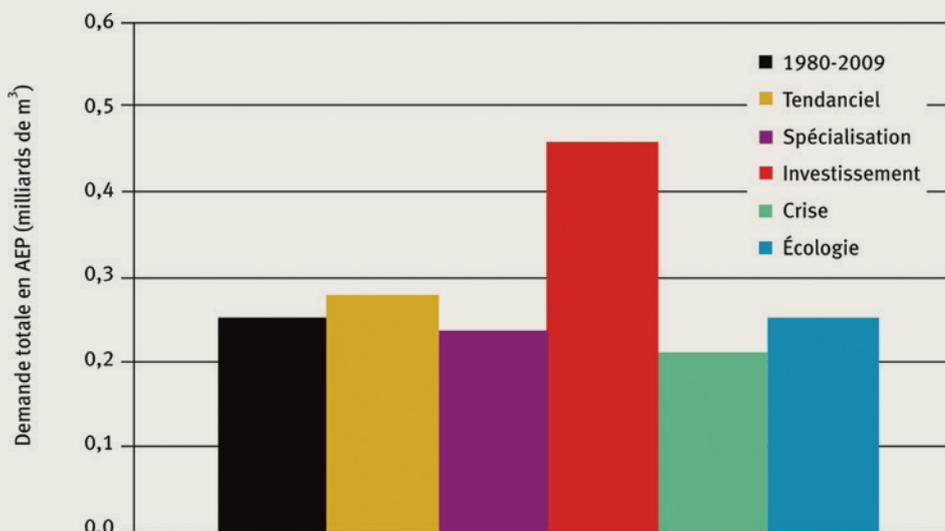
un recours accru à l'irrigation pour le scénario « Spécialisation ». Pour ce dernier, cette amélioration technique vient compenser la hausse des demandes.

La confrontation ressource-besoin montre que les réserves en eau de la Durance et du Verdon restent suffisantes à l'horizon considéré pour satisfaire aux demandes en eau de la part des usages, même si des incertitudes demeurent. Toutefois, certaines années, l'équilibre est assuré au détriment de la production d'énergie en hiver et du maintien des cotes touristiques sur les retenues en été. L'intensité et la fréquence des déséquilibres ne sont pas identiques sur tous les secteurs d'étude (solllicitations des aménagements de la Durance stables ou en baisse quel que soit le scénario, à l'inverse de celles concernant les ouvrages du Verdon). Grâce aux efforts d'économies d'eau réalisés sur les systèmes d'irrigation gravitaires, le système Durance verrait sa situation s'améliorer, alors que le système Verdon actuellement mieux optimisé verrait sa vulnérabilité s'accroître légèrement.

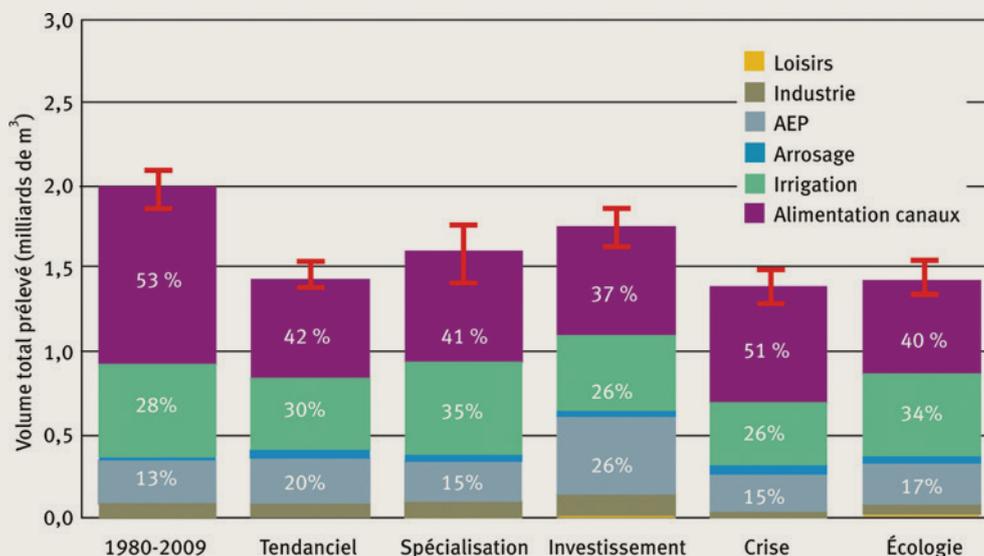
Un dernier atelier a permis de mettre en discussion ces résultats et leurs implications en termes d'adaptabilité. Trois types d'enjeux ont émergé et semblent devoir être mis à l'agenda dans le futur :

- une redéfinition des arbitrages sur l'allocation de la ressource future, les solidarités, les rééquilibrages et les priorités entre usages et entre territoires. Ce ré-arbitrage, s'il venait à se confirmer, devra être éclairé en évaluant les impacts économiques et sociaux de ces changements et des bénéfices portés par chacun (privés et publics) ;
- la recherche de ressources alternatives – prélèvement dans le Rhône, ressources souterraines locales, eaux grises, etc. – en continu ou en période de pointe pour soulager la sollicitation des réserves ;
- la constitution d'un comité de suivi de l'évolution de la ressource, en charge des mises à jour des allocations d'eau à l'échelle du système Durance-Verdon avant l'apparition de crises.

4 Évolution de la demande en eau pour l'AEP par scénario.



5 Évolution des prélèvements sur le système Durance Verdon par scénario et par usage.



### Conclusion

Les demandes en eau issues de ces scénarios, confrontées à la ressource disponible sous climat modifié, permettent de « mettre à l'épreuve » des changements globaux le mode de gestion actuel des réserves. Même si les réserves physiques en eau semblent suffisantes à l'horizon 2050, même si des incertitudes demeurent à tous les niveaux de modélisation, les résultats montrent que les évolutions du climat et, principalement, des pressions anthropiques vont modifier sensiblement la capacité future des ressources à satisfaire les demandes des différents usages, tant sur la Durance ou que sur le Verdon. Le système Durance-Verdon bénéficie d'un historique fort de gestion globale de l'eau qui permet d'être optimiste. Néanmoins, des tendances fortes émergent en période d'étiage. Elles doivent interroger dès à présent les territoires concernés sur des modalités alternatives et novatrices de gestion de la ressource, en complément des actions d'économie d'eau déjà engagées. ■

### Les auteurs

**René SAMIE**

Électricité de France, Direction Recherche & Développement, LNHE, 6 quai Watier, F-78401 Chatou Cedex, France.

[rene.samie@edf.fr](mailto:rene.samie@edf.fr)

**Hélène BOUSCASSE et Yannick ARAMA**

Bureau d'étude ACTeon, 9 avenue Saint Roch, F-38000 Grenoble, France.

[helene.bouscasse@gmail.com](mailto:helene.bouscasse@gmail.com)

[yannick.arama@gmail.com](mailto:yannick.arama@gmail.com)

**Éric SAUQUET**

Irstea, UR HHLY, Centre de Lyon, 5 rue de la Doua BP 32108, F-69616 Villeurbanne Cedex, France.

[eric.sauquet@irstea.fr](mailto:eric.sauquet@irstea.fr)

**Jean-François BRUN**

Société du Canal de Provence, Le Tholonet, CS70064, F-13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France.

[jean-francois.brun@canal-de-provence.com](mailto:jean-francois.brun@canal-de-provence.com)

**Pierre STROSSER**

Bureau d'étude ACTeon, 5 Place Sainte-Catherine, F-68000 Colmar, France

[p.strosser@acteon-environment.eu](mailto:p.strosser@acteon-environment.eu)

**Dominique ROUX**

Électricité de France, DPIH, Unité de production Méditerranée, 10 avenue Viton, F-13482 Marseille Cedex 20, France.

[roux-dominique@wanadoo.fr](mailto:roux-dominique@wanadoo.fr)

### EN SAVOIR PLUS...

ARAMA, Y., GOULARD, F., LAMBLIN, V., L'HUISSIER, L., SAUQUET, E., 2015, Garonne 2050. Un exercice de prospective participative sur la gestion de l'eau du bassin de la Garonne, *Revue Futuribles*, n° 407, juillet 2015, p. 57-65.

BRAUD, I., TILMANT, F., SAMIE, R., LE GOFF, I., 2013, Assessment of the SiSPAT SVAT Model for Irrigation Estimation in South-East France, *Procedia Environmental Sciences*, n° 19, p. 747-756.

GARCÍA-VALIÑAS, M.-A., NAUGES, C., REYNAUD, A., 2009, *How much water do residential users really need? An estimation of minimum water requirements for French households*, *Proceedings of the 17<sup>th</sup> Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists*, 24-27 June 2009, Amsterdam, 18 p.

SAUQUET, E., ARAMA, Y., BLANC COUTAGNE, E., BOUSCASSE, H., BRANGER, F., BRAUD, I., BRUN, J.-F., CHEREL, J., CIPRIANI, T., DATRY, T., DUCHARNE, A., HENDRICKX, F., HINGRAY, B., KROWICKI, F., LE GOFF, I., LE LAY, M., MAGAND, C., MALERBE, F., MATHEVET, T., MONTEIL, C., PERRIN, C., POULHE, P., ROSSI, A., SAMIE, R., STROSSER, P., THIREL, G., TILMANT, F., VIDAL, J.-P., 2015, *Projet R²D² 2050 – Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050*, MEDDE, Rapport final, convention 10-GCMOT-GICC-3-CVS-102, 2015, <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00044634>