

**Equilibre offre demande en  
eau à l'horizon 2050 sur le  
territoire Durance Verdon**



**Coordination : Eric Sauquet, *Irstea, UR HH Lyon***

***Responsable scientifique du projet de recherche soutenu par  
l'APR GICC-2010 et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse***

***Partenariat :***



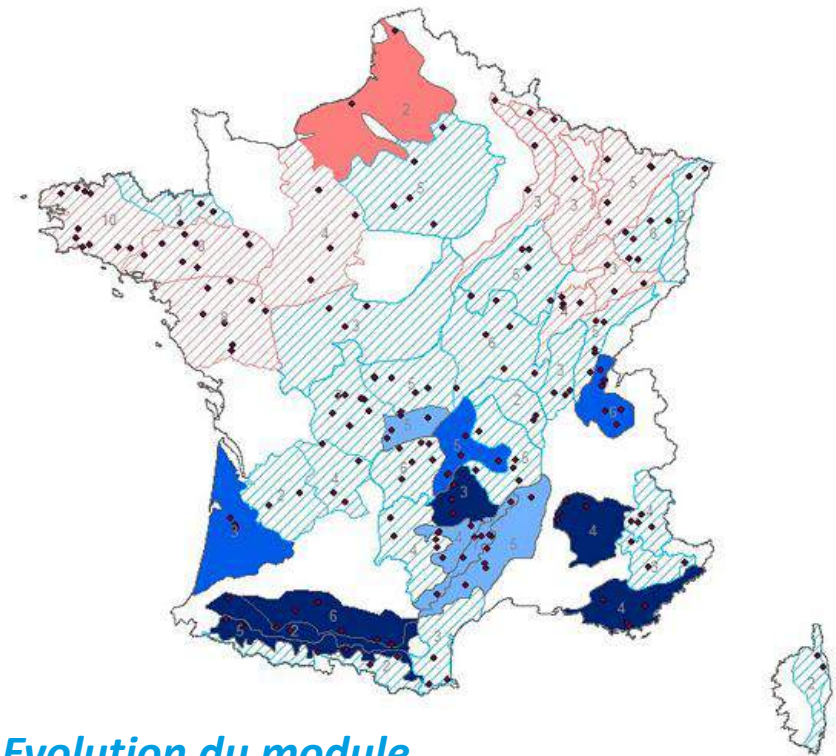
***Durée : 12/2010 – 11/2014***

## Des éléments de contexte

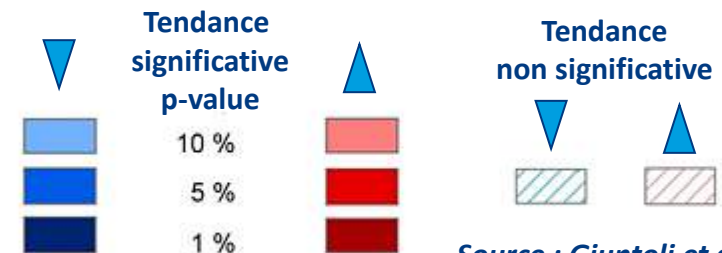
**Un territoire à enjeu** : la Durance est un des châteaux d'eau du sud de la France

### Des inquiétudes :

- des sécheresses sévères observées récemment (2007, 2011, 2015)
- des tendances récentes observées sur les variables hydrologiques
- un secteur méditerranéen (probablement) fortement impacté par le changement global



### Evolution du module (1968-2008)

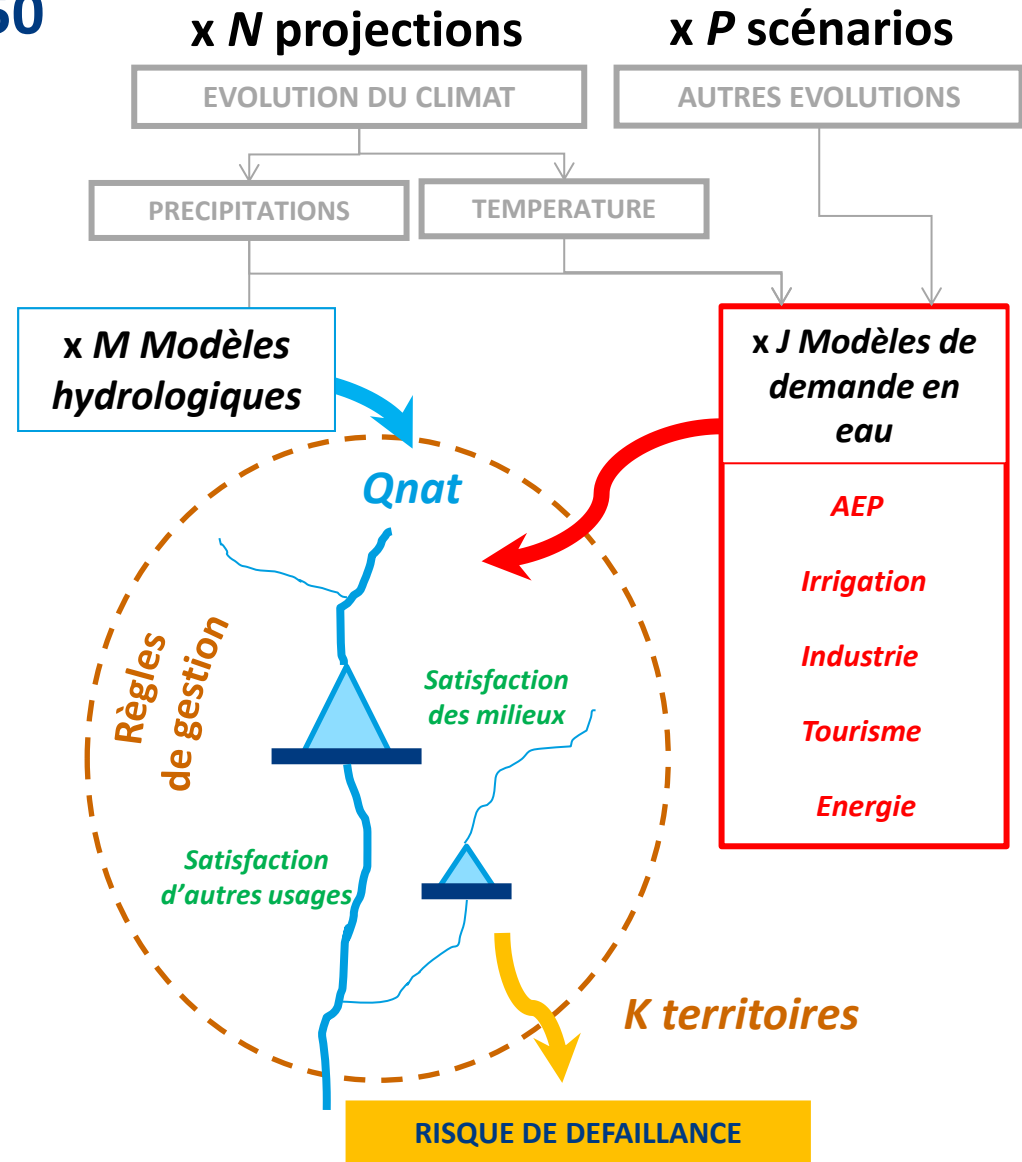


Source : Giuntoli et al., 2012

# Les ambitions de R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050

**Objectif :** analyser l'impact hydrologique et socio-économique du changement climatique et l'effet de stratégies d'adaptation dans le bassin de la Durance à l'horizon 2050

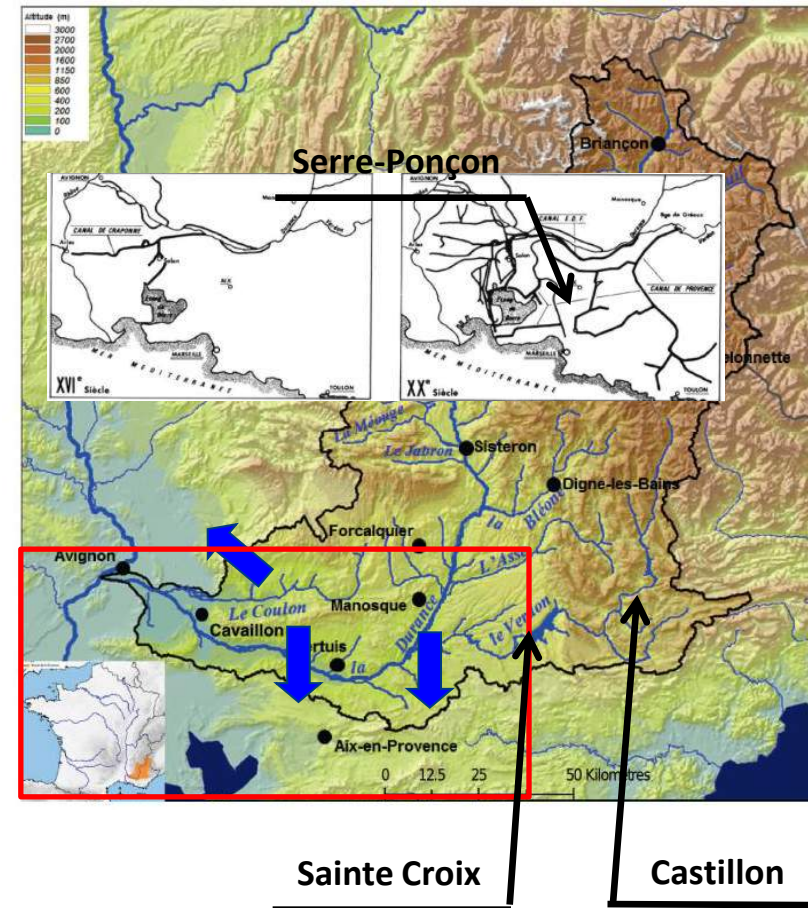
**Une approche multi-modèle et multi-scénario pour apprécier les incertitudes**



# Le secteur d'étude : le bassin de la Durance (~ 14 000 km<sup>2</sup>)

## Ses spécificités :

- un bassin soumis à des influences climatiques contrastées
  - un bassin fortement anthropisé depuis le XII<sup>e</sup> siècle (canal St-Julien)
  - une ressource très sollicitée par différents usages (énergie, AEP, agriculture), à l'intérieur du bassin et à l'extérieur via des transferts (←)
  - une gestion dynamique optimisée de la ressource grâce à de grands ouvrages hydrauliques
- ... des spécificités/complexités qui rendent les outils de modélisation génériques inefficaces



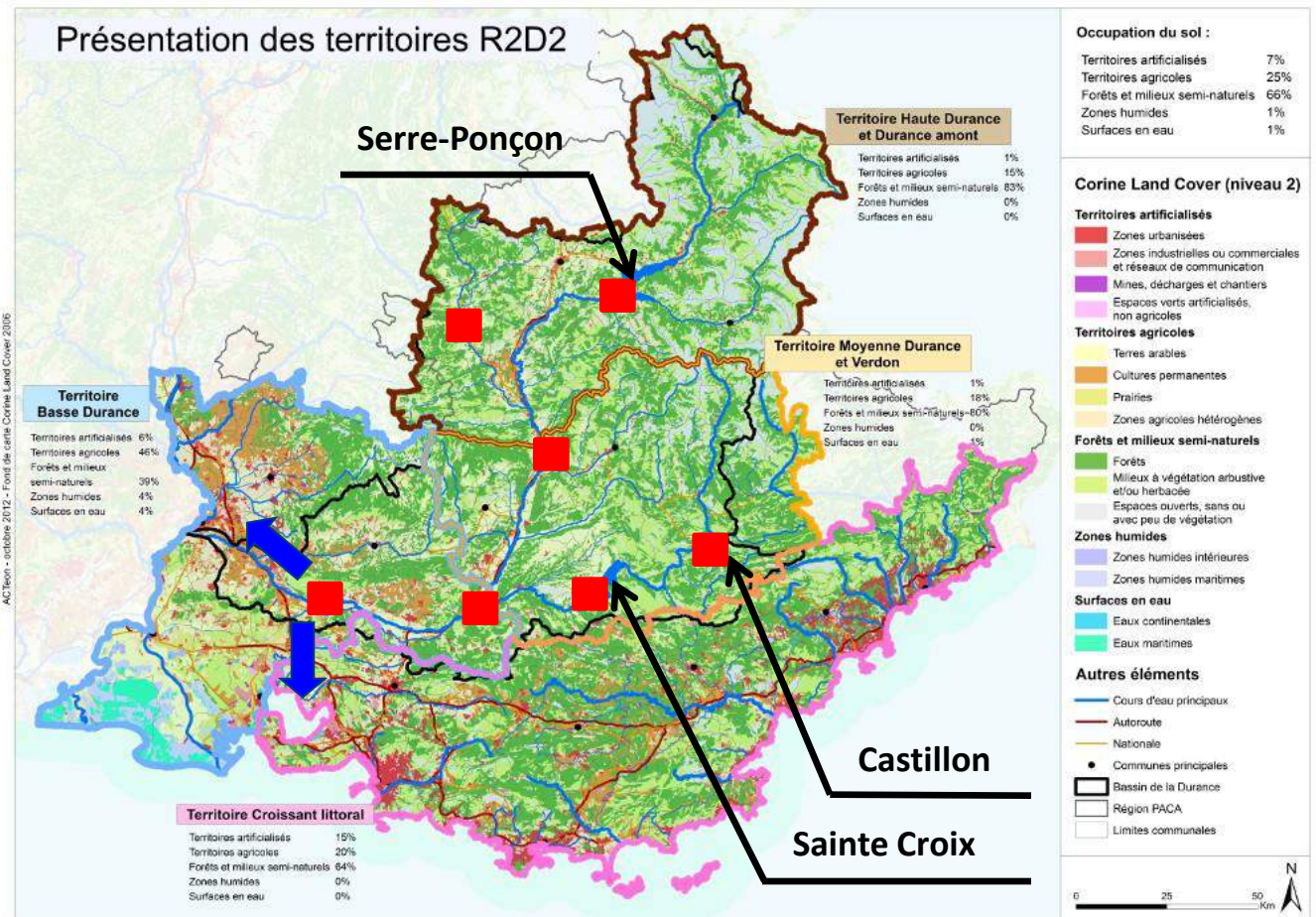
**D'où des développements spécifiques pour représenter le « système Durance »**

# Le secteur d'étude : le bassin de la Durance (~ 14 000 km<sup>2</sup>)

→ Modélisation de la ressource naturelle en 25 bassins jaugés dont 7 points principaux ■ (dits « de contrôle »)

→ Modélisation de la demande des territoires alimentés par les eaux du système Durance

→ Quantification offre-demande sur sept sous bassins versants associés aux sept points de contrôle ■



## Les étapes clefs

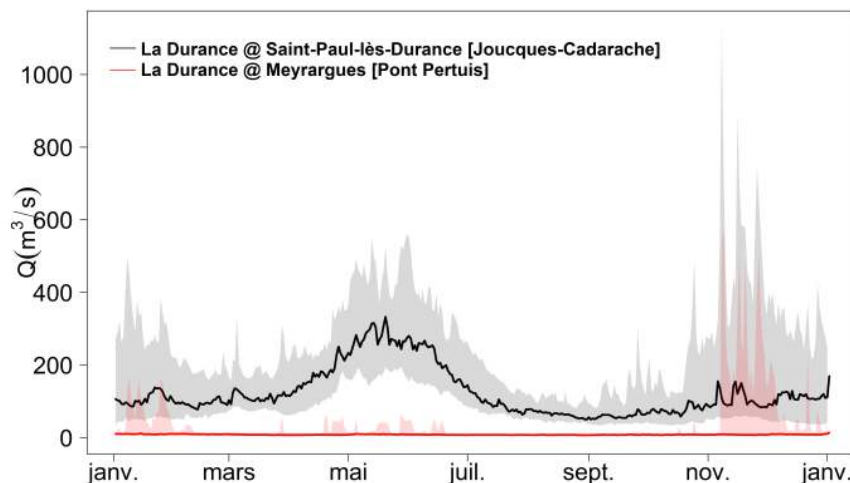


Connaissances et outils

Des bases de données multiples pour décrire

- l'hydrologie → Banque HYDRO et EDF
- le climat → BD Safran (Météo France) et SPAZM (EDF)
- le bassin → IGN, IGCS
- les usages → RGA, BD redevance Agence RMC, SCP, HYDRA, INSEE

et reconstruire une hydrologie naturelle (la « ressource à partager »)



**Débits journaliers naturalisés et influencés en Basse Durance.** En trait épais : médiane interannuelle des débits journaliers  
En ombré : intervalle entre les premier et dernier déciles (quantiles 10 et 90%) (Sources : EDF, banque HYDRO)

**Données non centralisées, non consolidées, non adaptées pour une étude quantitative de la ressource**  
→ a nécessité un travail de fond

# Les étapes clefs

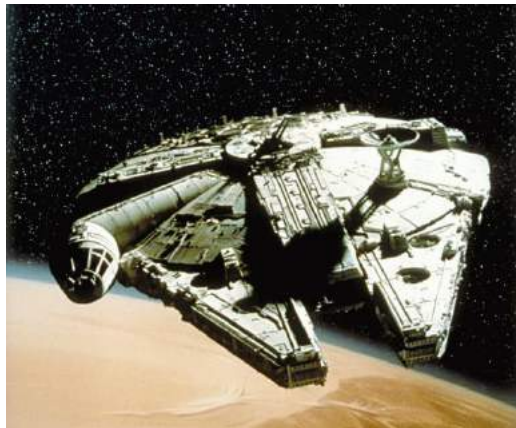


Connaissances et outils



Plan ?

L'idée des modèles



Une réalité

Trois modèles de demande en eau agricole

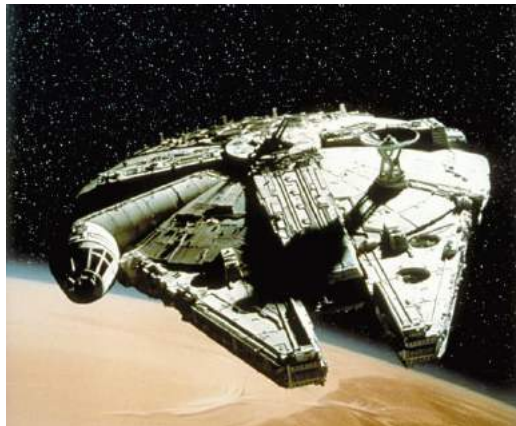
Sept modèles hydrologiques pour simuler la ressource naturelle

Modèle d'allocation de l'eau inspirée des pratiques opérationnelles d'EDF et une première expérience sur la Garonne (Hendrickx et Sauquet, 2013)

# Les étapes clefs



Connaissances et outils



Une réalité



Plan ?

L'idée des modèles



Aptitude en vol ?

Fidèle ?



Calage des modèles sur des données partielles



Amélioration des modèles (ex. processus de fonte par Magand (2014))

Une fidélité toute relative (perçue au travers de critères numériques) : on veut que les modèles soient fiables pour l'usage que l'on souhaite en faire



# Les étapes clés



Connaissances et outils

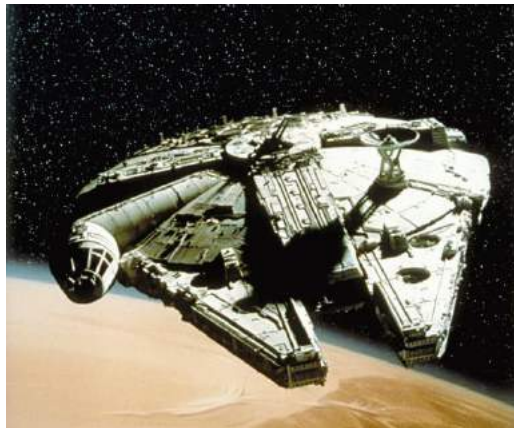


Plan ?

L'idée des modèles



Aptitude en vol ?

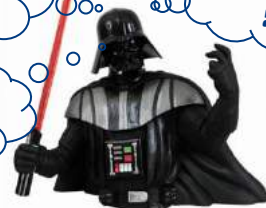


Une réalité



Fidèle ?

Quel hyper espace ?



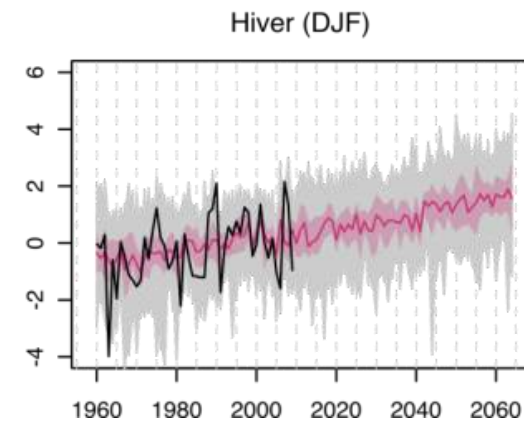
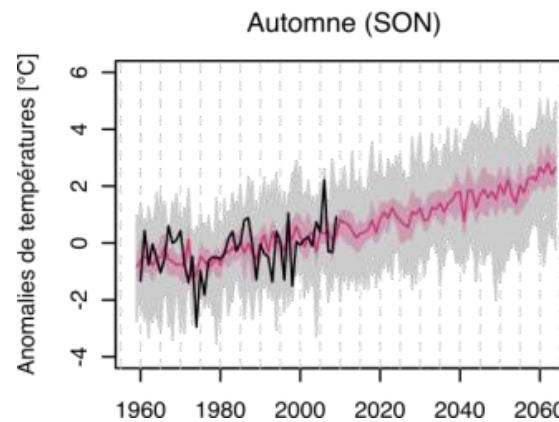
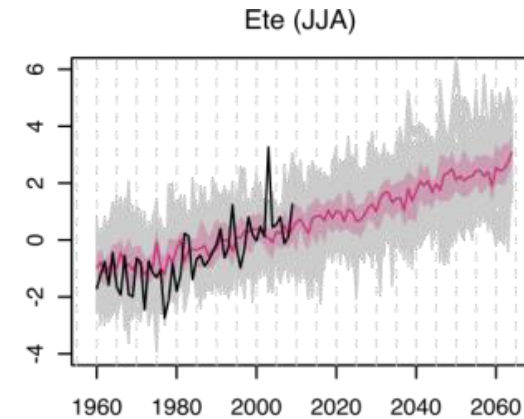
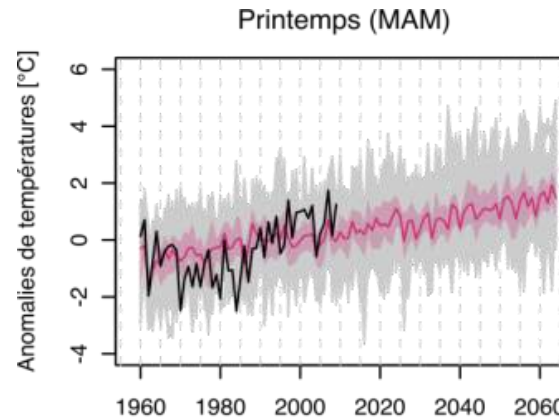
© F. Hendrickx



## La composante climatique de l'hyper espace

Le changement climatique envisagé sur la période 2036-2065, mesuré sur 330 projections élaborées, se traduit par rapport au climat présent 1980-2009 par :

- une augmentation d'au moins  $1^{\circ}\text{C}$  sur l'ensemble du bassin
- des changements plus importants en été (autour de  $+2.2^{\circ}\text{C}$ ) qu'en hiver (autour de  $+1.4^{\circ}\text{C}$ )
- une hausse de l'évapotranspiration potentielle de l'ordre de 50 mm
- une évolution incertaine des précipitations fortes
- l'absence d'évolution notable de la fréquence des jours « secs » ( $< 1\text{ mm}$ )

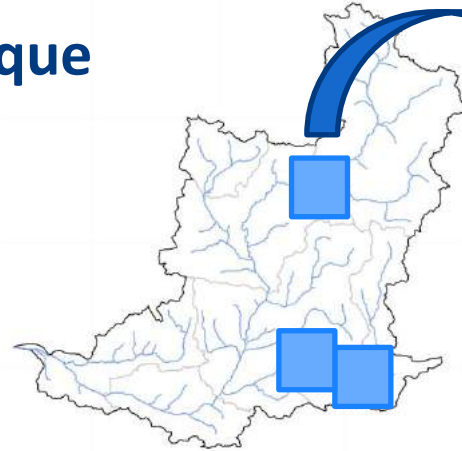




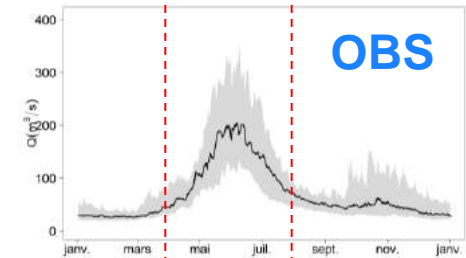
## La composante hydrologique

Les modèles hydrologiques semblent converger vers :

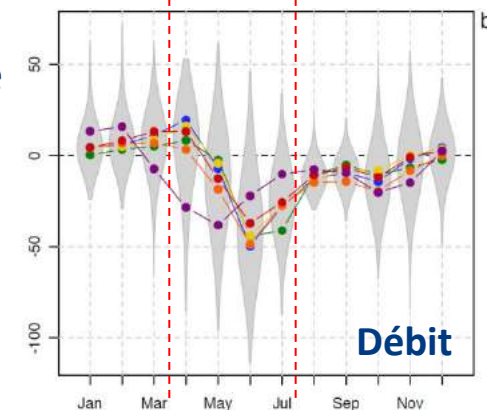
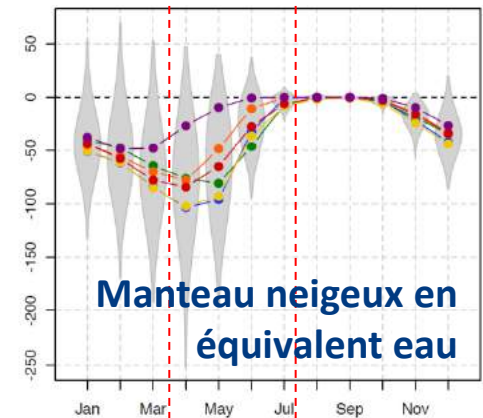
- Un stock de neige plus réduit, conséquence d'une augmentation des températures
- Un maximum observé plus précocement
- Des modifications portant sur la constitution du stock de neige et sur sa fonte constatées à Serre-Ponçon se propagent vers l'aval
- Des changements de débits les plus importants pendant le printemps (saison de fonte actuelle)
- Une réduction des débits d'étiage estivaux, de l'ordre de **-20 m<sup>3</sup>/s** sur le débit moyen d'août à **Cadarache**
- Une évolution incertaine des crues, mais une dynamique vraisemblablement modifiée sur les bassins à dominante nivale



Période de fonte



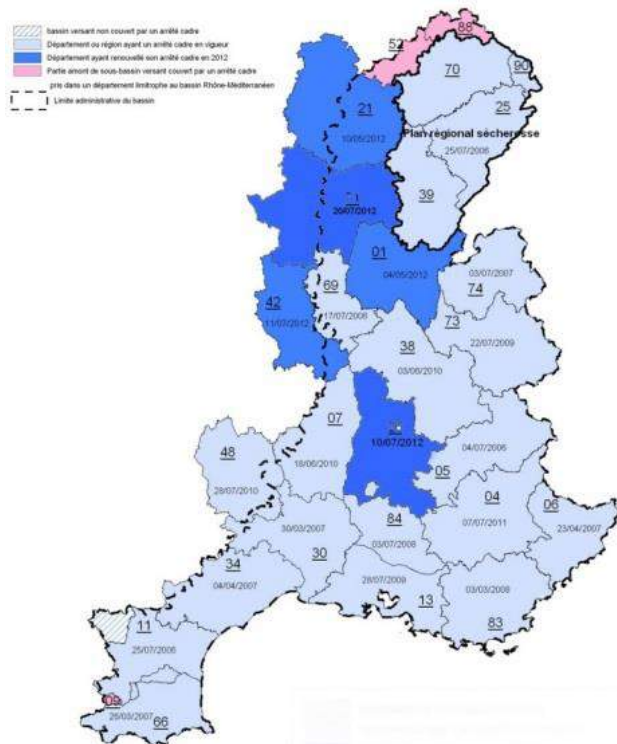
Ecart au temps présent





# Projeter le futur de la ressource en eau

## Un diagnostic inspiré des dispositifs arrêtés « sécheresse »



➔ Dispositif réglementaire : restrictions de prélèvement selon la sévérité des étiages (niveaux **vigilance**, **alerte**, **alerte renforcée**, **crise**, conditionnés par le franchissement de seuils de débit, des prévisions de pluie)

Année	Alpes-de-Haute-Provence	Hautes-Alpes
2007	30/03/2007 (0) 10/04/2007 (1) 25/07/2007 (1 & 2) 09/08/2007 (2) 13/09/2007 (2) 15/10/2007 (F)	19/07/2007 (0) 03/08/2007 (1) 13/08/2007 (1) 07/09/2007 (2) 30/09/2007 (F)

➔ Mise en place d'un modèle conditionné par la ressource en eau naturelle reposant **UNIQUEMENT** sur le franchissement continu de seuils définis par période de 10 jours et de périodes de retour 2, 5, 10 et 20 ans

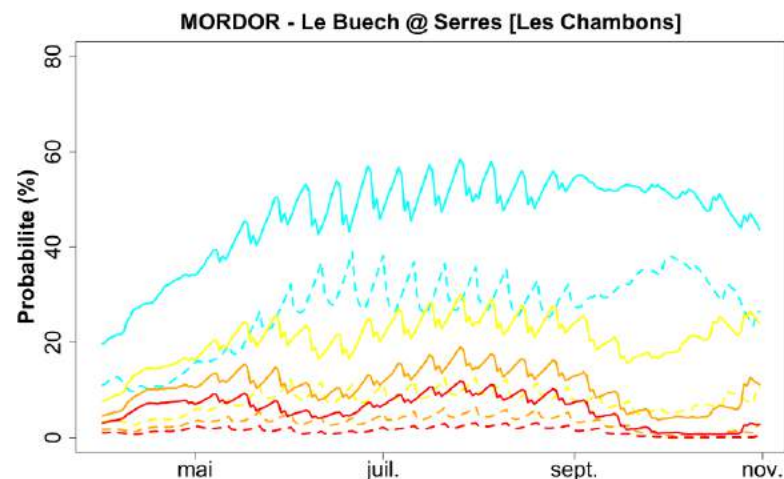
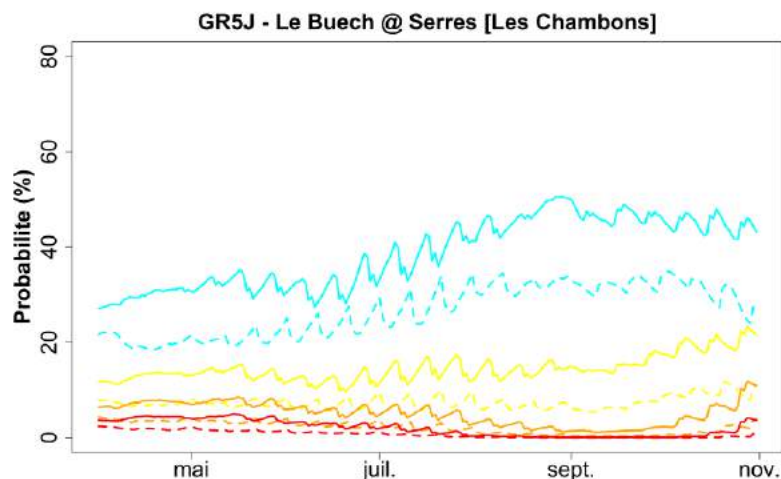
➔ Cohérence avec l'historique 2003-2011 des mesures de restriction mises en place



# Projeter le futur de la ressource en eau

## Un diagnostic inspiré des dispositifs arrêtés « sécheresse »

- ➔ Application du dispositif inspiré des arrêtés cadre sécheresse en vigueur en considérant les seuils actuels
- ➔ Exemple du Buech à Serres :



Evolution de la probabilité d'être sous un des seuils d'alerte entre le temps présent 1980-2009 et 2036-2065

- ➔ Une augmentation des jours de crise, synonyme de restrictions d'usage plus fréquentes



## La composante territoriale

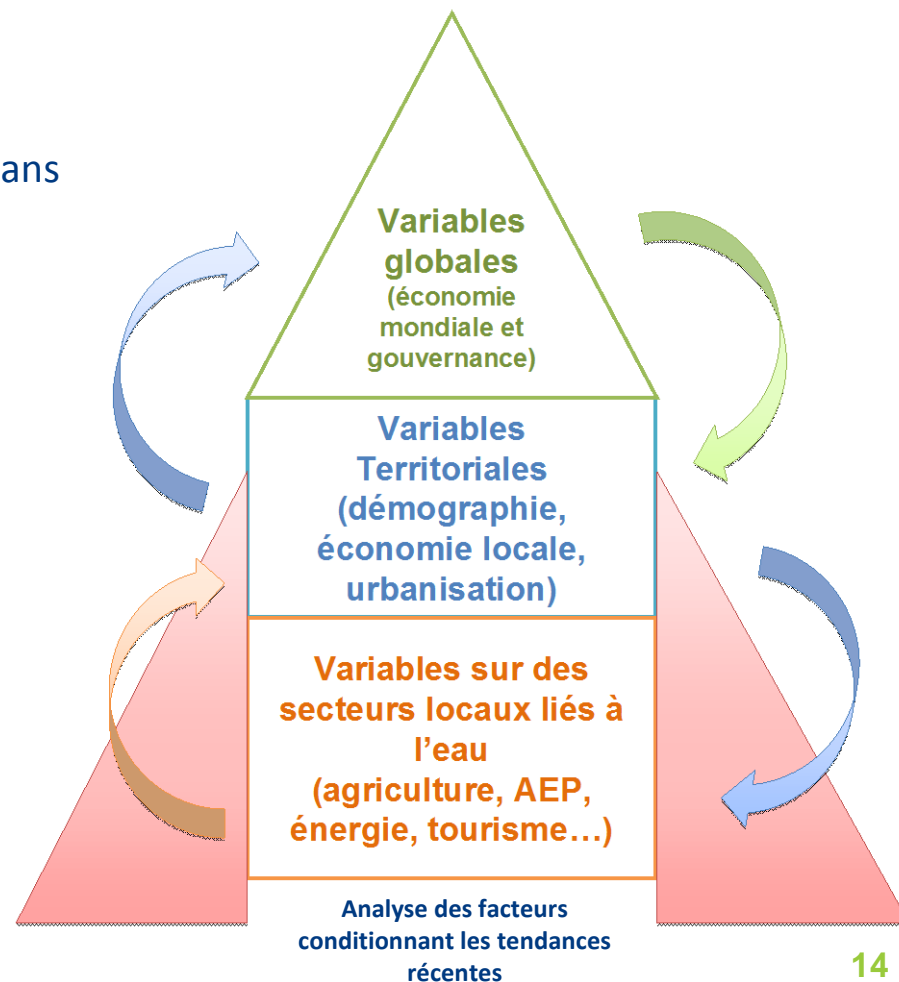
Comme pour le climat, le futur n'étant pas prévisible, une des manières d'appréhender l'incertitude de l'avenir est d'en déterminer un faisceau à l'aide de scénarios contrastés

Deux options possibles :

1. des scénarios de demande en eau future sans en chercher l'origine ou
2. des scénarios de territoire et en déduire une demande en eau

La solution 2 a été retenue **avec une implication des acteurs**. Notons que :

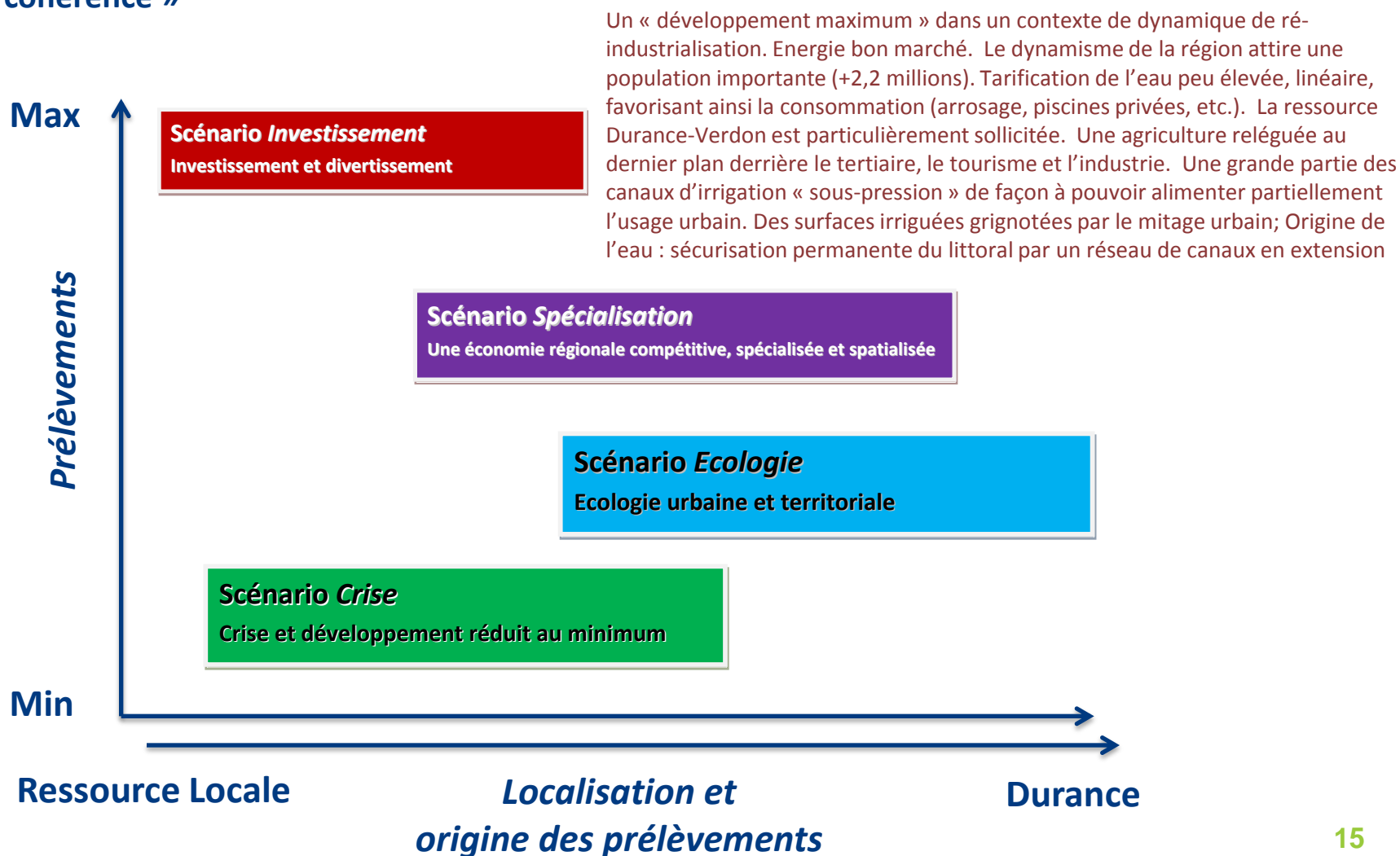
- d'autres scénarios auraient pu expliquer un même « niveau » de demande en eau
- les scénarios ont été élaborés **indépendamment de l'évolution du climat**
- le futur du territoire n'est certainement pas un de nos scénarios





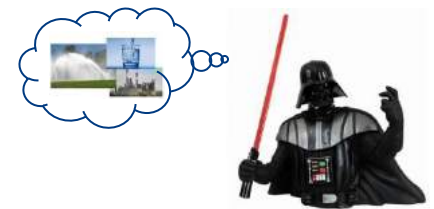
# Une enveloppe en matière de prélèvements

Des histoires littéraires sur l'évolution de la demande en eau intégrant « tendance, contraste et cohérence »



# Quantification des scénarios

Des histoires littéraires, **spatialisées et quantifiées** sur l'évolution de la demande en eau intégrant « tendance, contraste et cohérence »



**Scénario Spécialisation**  
Une économie régionale compétitive, spécialisée et spatialisée

**Scénario Investissement**  
Investissement et divertissement

**Symbole du scénario**

Dans un monde sans régulation internationale et en très forte concurrence, les ressources (eau, énergie, etc.) ont devenu un véritable enjeu, tant à l'échelle régionale. Les prix de l'énergie sont très élevés et les productions locales et les technologies peu compétitives. Les nouvelles attributions aux dépens de l'État et l'augmentation des revenus productifs par les nouvelles industries à haute valeur ajoutée (industries pétrochimique-chimie notamment) ont permis de garantir le développement de la région.

**Symbole du scénario**

Le contact politique et financier est favorable à un « développement maximum ». L'exploitation du gaz de schiste ailleurs dans le monde entraîne une baisse du prix de l'énergie permettant une croissance forte mais délicate. La question environnementale n'est pas au premier plan et reste diluée au cas par cas. Dans ce contexte, une dynamique de réurbanisation est en cours en Europe. Dans le secteur de l'agriculture, les normes de qualité et de sécurité sur l'ensemble de la filière induisent une forme de protectionnisme ainsi qu'un certain nombre de contraintes sur les acteurs des filières dans la région. La décentralisation des pouvoirs vers l'échelon local donne une place majeure aux intercommunalités et à la Région. Cette dernière donne la priorité au rattachement et au développement régional.

**Le littoral, en bordure de Rhodanerie**, est un territoire qui s'est développé au cours de très haute qualité libérale. La pression (sauf Crau et Comtat). Les communes alimentées par de l'eau principalement situées dans le grand Rhodanerie (Avignon). Les zones urbaines dynamiques de performance et de sur le territoire avec une population de 95% sur le littoral et sur la période vers l'arrière-pays. L'eau est considérée comme une ressource précieuse. Elle est prélevée sans être irriguée. L'usage est limité à l'usage agricole. La consommation en eau potable par habitant est élevée. Les zones compétitives ont en faisant face à une double contrainte : réduire l'usage des phytopesticides et assurer un volume de production de « qualité industrielle ».

Le dynamisme de la région attire une population importante (2,2 millions) à destination du croissant littoral et du val de Durance entraînant une densification des pôles urbains (60 millions d'habitants). La tarification de l'eau reste peu élevée, linéaire, favorisant ainsi la consommation (usage des espaces privés, piscines, etc.). La ressource Durance-Verdon est particulièrement sollicitée. Le Rhône est également mis à contribution pour la partie Est du territoire.

L'offre touristique est enrichie : des grands sports d'attraction aux sports en eaux vives en passant par des stations de ski renommées (équipées de canons à neige) permettant d'étendre l'offre et entraînant une forte hausse de la fréquentation (+20%). La hausse de la demande d'énergie et l'évolution des technologies contribuent à une meilleure exploitation de l'hydroélectricité. L'agriculture est irriguée au dernier plan derrière le tertiaire, la tourisme et l'industrie. L'étalement urbain non contrôlé se poursuit en l'absence de contraintes énergétiques ou environnementales fortes. Le prix du foncier agricole continue de croître du fait de la concurrence avec l'urbanisation et les installations. Dans les zones compétitives des axes urbains, quelques exploitations régionales continuent à produire à des prix compétitifs tout en faisant face à une double contrainte : réduire l'usage des phytopesticides et assurer un volume de production de « qualité industrielle ».

Les cultures céréalières voient leur part relative augmenter en raison de la demande croissante en aliments à base de céréales complètes. Au contraire, la production de viande diminue ainsi que les surfaces en prairie et surfaces toujours en herbe au profit de l'urbanisation et du maraîchage. De manière générale, la plupart des surfaces irriguées nouvelles sont urbanisées. Seul le fond de Crau conserve sa place dans l'assolement irrigué. Une grande partie des cultures irriguées passe à « sous pression » de façon à pouvoir alimenter partiellement l'usage.

**Investissement :**

SAU diminue d'autant + fortement que proche ville

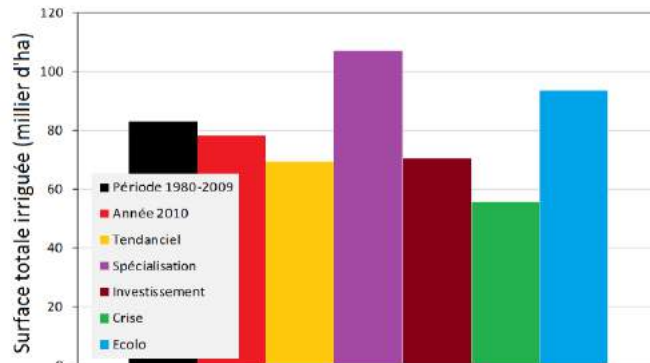
Par culture = % id. à 2010

**Ecologie :**

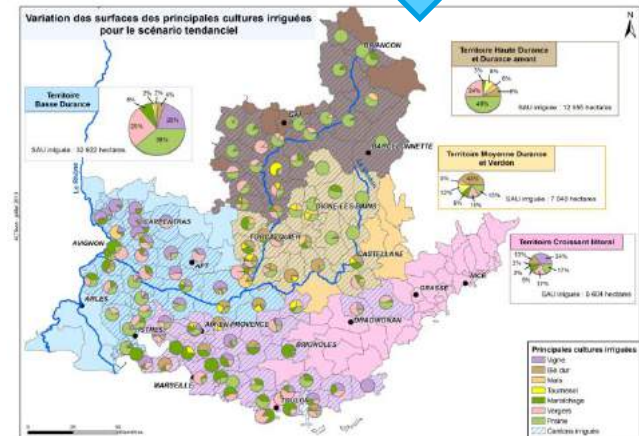
SAU augmente quand proche ville

Par culture = % fixés avec distinction proche ville / éloigné ville

**Echelle globale**



**Spatialisation et quantification**

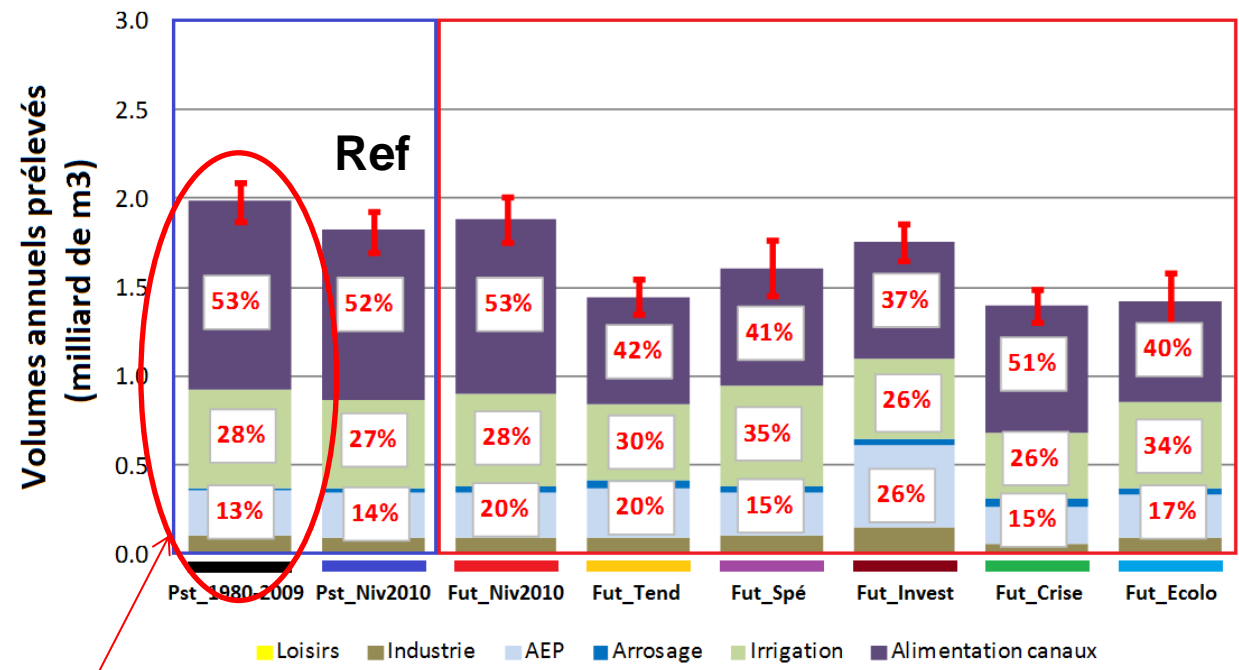






# Les prélèvements à l'échelle du système Durance

→ Des hypothèses non négligeables d'économie d'eau (rendements AEP et canaux d'irrigation) qui expliquent la tendance à une baisse des prélèvements



En temps présent :

QA = 157.4 m<sup>3</sup>/s  
= 5 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>

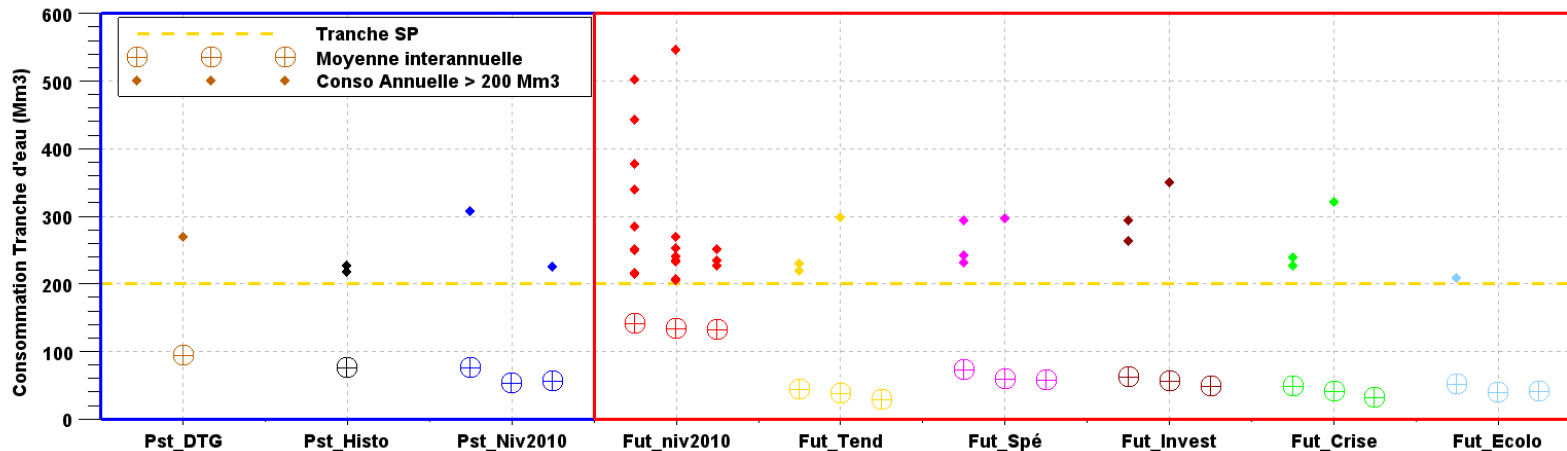
Capacité totale de stockage = 2.3 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>

- Niv2010 (Pst)
- Crise (Fut)
- Ecologie (Fut)
- Investissement (Fut)
- Spécialisation (Fut)
- Tendancier (Fut)
- Niv2010 (Fut)
- Historique (1980-2004)

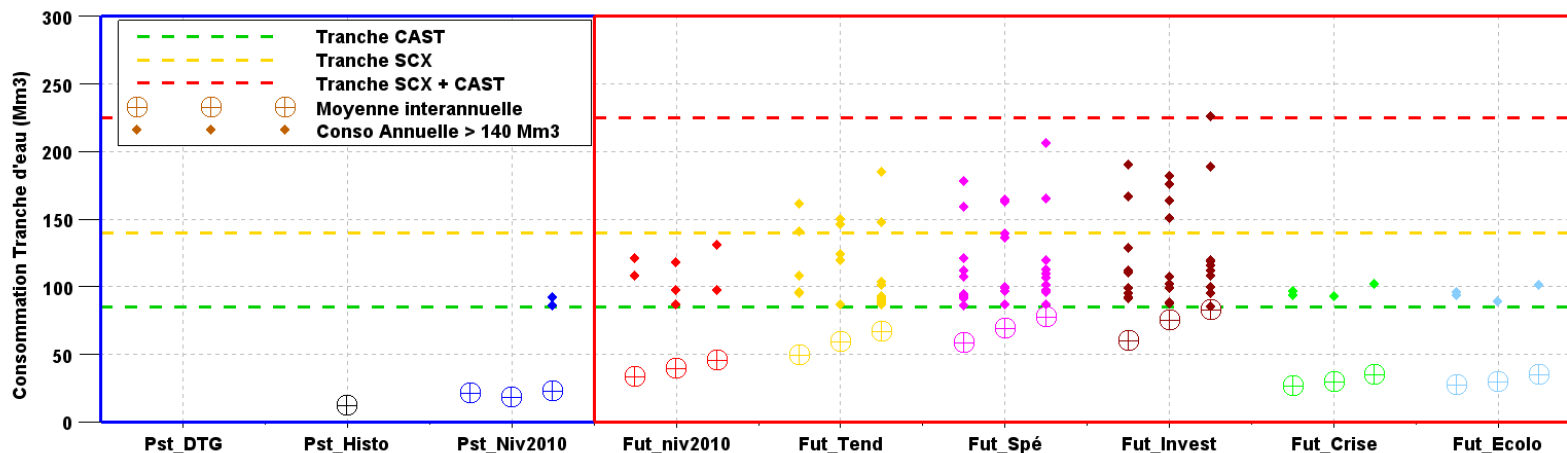


# La gestion des réserves en 2050

## Durance



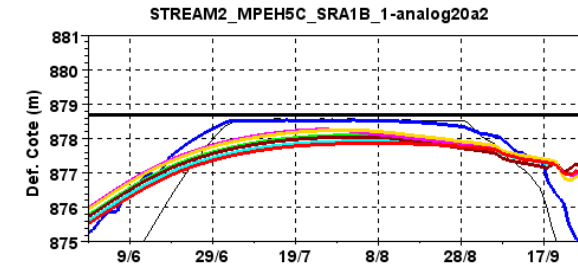
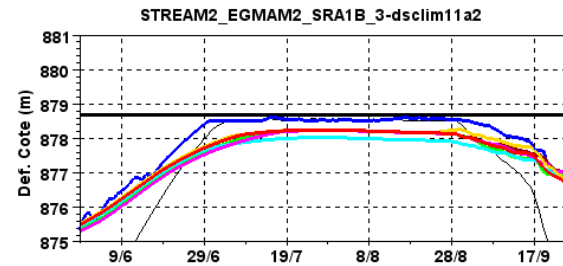
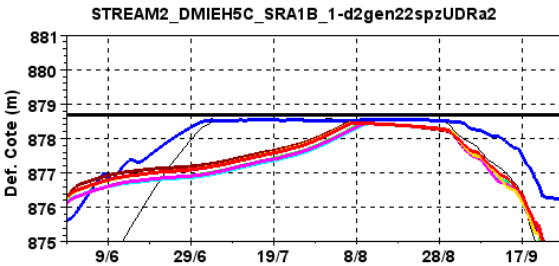
## Verdon



Consommation des tranches d'eau sur la ressource Durance et Verdon  
(valeur moyenne et dépassements des volumes contractuels)



# La gestion des réserves en 2050



## Cotes non atteintes une année sur 10 sur la retenue de Castillon

### Résultats :

- à Serre-Ponçon, il y a amélioration de la capacité à tenir la cote de compatibilité touristique (liée à la baisse des prélèvements pour l'alimentation en eau) sauf pour le scénario Niv2010
- à Sainte-Croix, les scénarios **Spécialisation** et **Investissement** conduisent à ne pas pouvoir assurer la compatibilité touristique sur une très grande partie de la saison (a minima le mois d'août). Pour les autres devenirs, la capacité à tenir la cote touristique est proche de la situation actuelle
- à Castillon, aucune simulation n'a conduit à pouvoir tenir l'objectif de cote 9 années sur 10 sur l'ensemble de la saison

### A relativiser par rapport aux hypothèses utilisées pour la simulation :

- le dépassement des volumes des tranches d'eau réservées autorisé dans la simulation
- sur la ressource Verdon, seule la retenue de Sainte-Croix mise à contribution à l'image de la gestion actuelle



## Conclusion générale

- Augmentation de la température moyenne de l'air impactant l'hydrologie de montagne
- Evolution incertaine des précipitations
- Diminution des stocks de neige et fonte avancée dans l'année qui induisent une réduction des débits au printemps
- Diminution de la ressource en eau en période estivale
- Diminution de la demande globale en eau à l'échelle du territoire, cette demande étant fortement conditionnée par les scénarios territoriaux élaborés ici,
- Satisfaction des demandes en eau en aval des ouvrages considérées comme prioritaires, au détriment de la production d'énergie en hiver (flexibilité moindre de l'hydro-électricité en période de pointe) et du maintien de cotes touristiques en été
- Diminution de la production d'énergie due notamment à la réduction des apports en amont des ouvrages hydroélectriques
  
- **Des résultats obtenus avec les modalités de gestion actuelle avec des incertitudes (mais il faut apprendre à les gérer)**
- **Un apport des acteurs non négligeable dans la construction de scénarios mais des interférences qui ont impacté la dynamique du projet**



## Perspective

### → Des « leçons » à tirer pour le futur

- Des tendances fortes qui incitent la poursuite de mesures sans regret dès maintenant
  - Même si les réserves physiques en eau semblent suffisantes à l'horizon 2050, les changements climatiques et socio-économiques (eux les premiers d'ailleurs dans un contexte de « bassin déversant ») vont modifier sensiblement la capacité à satisfaire les différents usages, sur la Durance comme sur le Verdon. Il faudra donc aux acteurs trouver les voies qui leur permettront de parvenir à un nouvel équilibre qui sera un compromis (→ la priorisation actuelle à mettre en débat ?)
  - Si on ne fait rien, la situation deviendra difficile à gérer
  - Une prise en main des résultats du projet par les acteurs (actions en cours avec l'Agence de l'Eau (= supports de communication, portail de données) et avec le GREC PACA)
- Démarche R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050 en cours de déploiement à l'échelle du Rhône (projet Irstea « MDR », cofinancement AERMC-CNR-FEDER (action Présage 45537)**

## Principaux contributeurs :



*ARAMA Yannick (ACTeon), BLANC-COUTAGNE Eugénie (SCP), BOUSCASSE Hélène (ACTeon), BRANGER Flora (Irstea), BRAUD Isabelle (Irstea), BRUN Jean-François (SCP), CHEREL Johan (SCP), CIPRIANI Thomas (Irstea), DATRY Thibault (Irstea), DUCHARNE Agnès (UPMC), HENDRICKX Frédéric (EDF – R&D), HINGRAY Benoît (LTHE), KROWICKI Florence (ACTeon), LE GOFF Isabelle (SCP), LE LAY Matthieu (EDF –DTG), MAGAND Claire (UPMC), MALERBE Florence (SCP), MATHEVET Thibault (EDF – DTG), MONTEIL Céline (EDF – R&D), PERRIN Charles (Irstea), POULHE Pascal (EDF – R&D), ROSSI Alexandra (ACTeon), SAMIE René (EDF – R&D), STROSSER Pierre (ACTeon), THIREL Guillaume (Irstea), TILMANT François (Irstea), VIDAL Jean-Philippe (Irstea)*

## Pour plus d'informations :

Sauquet et al. *Projet R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 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>