

Séminaire de restitution CLIMSEC, Toulouse le 30 juin 2011

Etat des connaissances sur les effets du changement climatique dans le domaine de l'eau

Eric Martin

CNRM-GAME



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Evaluation du GIEC pour l'Europe (2007)

- La question de l'eau est sous jacente dans de nombreuses conclusions
 - Les risques liés au changement climatique seront globalement en hausse (crues et sécheresses)
 - Population vivant dans des bassins soumis à des stress hydriques augmentera
 - Accentuation des différences entre régions
 - Difficulté d'adaptation pour les écosystèmes naturels, de nombreux secteurs économiques
 - Adaptation : bénéficie des réactions aux événements extrêmes, peu de plan d'adaptations à l'échelle de pays ou de secteurs

Plan de l'exposé

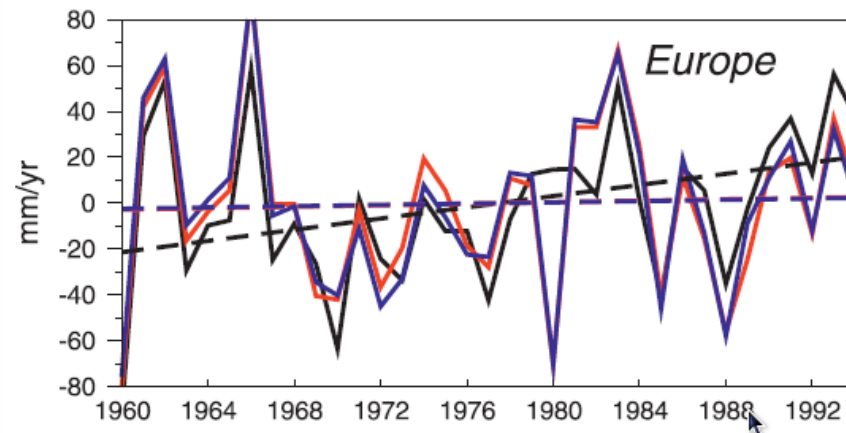
1. Les tendances actuelles
2. Changement climatique : quels processus gouvernent l'évolution de la ressource en eau ?
3. Quelques études récentes sur l'impact du changement climatique dans le domaine de l'eau en France.
4. Vers des études d'adaptions, besoin d'études plus intégrées.



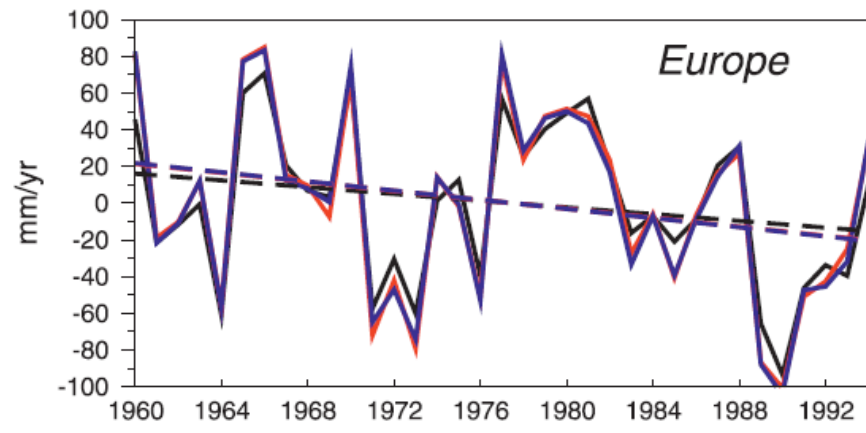
Analyse des débits observés en France

- Détection des tendances climatiques sur 40 ans (période de référence 1960-2002). Peu de changements apparaissent, à quelques exceptions près :
- Liées à la neige/glace en région alpine :
 - Etiages d'hiver moins sévères
 - Ecoulements d'origine glaciaire en hausse dans les Alpes du Nord.
- Sud ouest (Pyrénées/Pays basque, rivières à dominantes pluviales)
 - Diminution des débits d'étiage, volumes annuels écoulés (dans une moindre mesure) et des pics de crue ont tendance à diminuer ;
 - Diminution des débits d'étiages (Pays Basque).
- Nord-Est de la France :
 - tendance à une légère aggravation des crues.

A l'échelle de l'Europe : modélisation



Nord de 60°N



Sud de 60°N

Une tendance à la baisse dans le sud de l'Europe [1960-1994]

Plan de l'exposé

1. Les tendances actuelles
2. Changement climatique : quels processus gouvernent l'évolution de la ressource en eau ?
3. Quelques études récentes sur l'impact du changement climatique dans le domaine de l'eau en France.
4. Vers des études d'adaptations, besoin d'études plus intégrées.

La sécheresse et les grands cycles du système terrestre

$$\Delta \text{Eau du sol} = P - E - R$$

P= précipitations

E=évapotranspiration

R= écoulement

$$\Delta \text{Eau du sol} = P - E - R$$

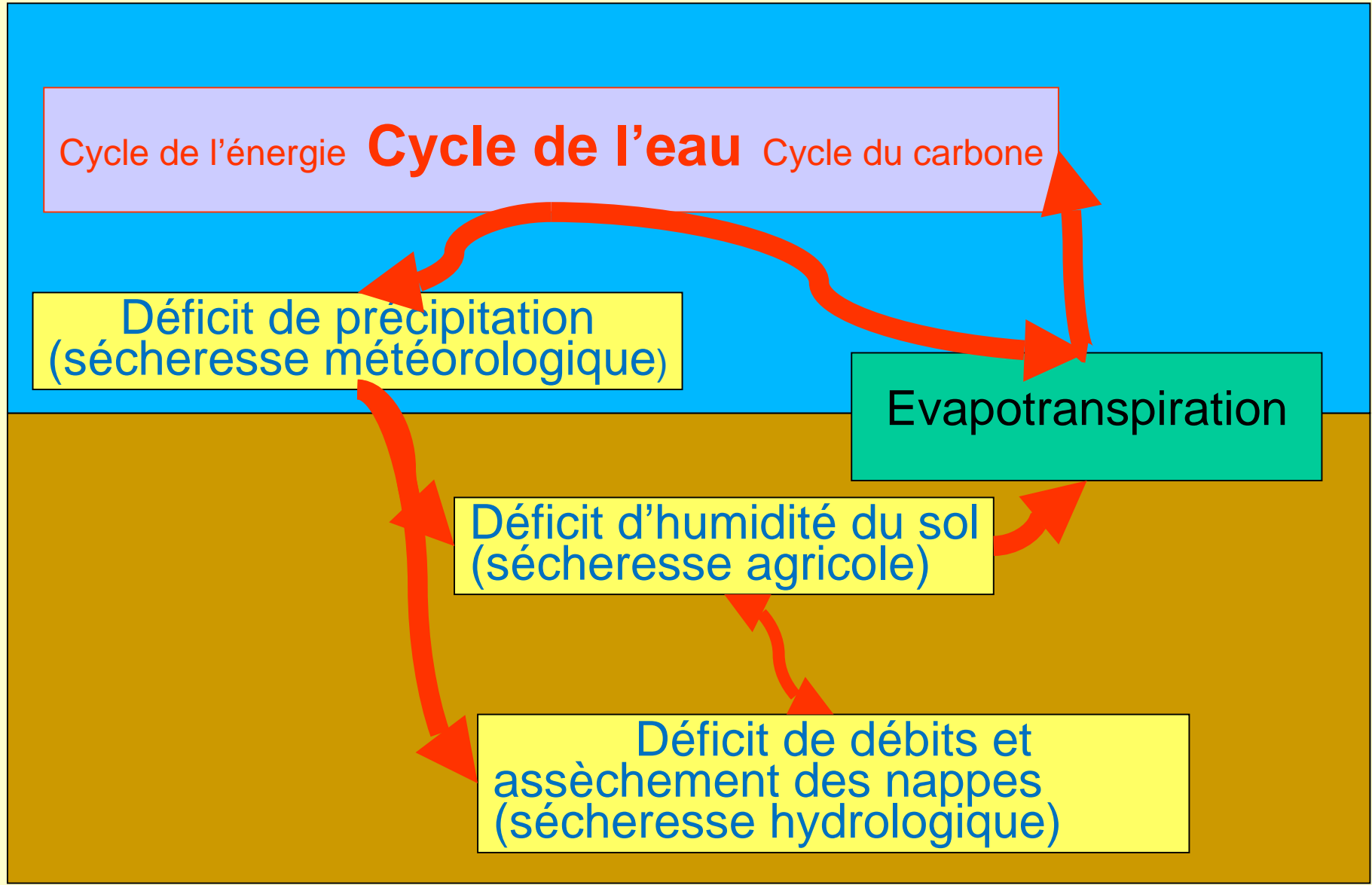
Cycle de l'énergie **Cycle de l'eau** Cycle du carbone

Déficit de précipitation
(sécheresse météorologique)

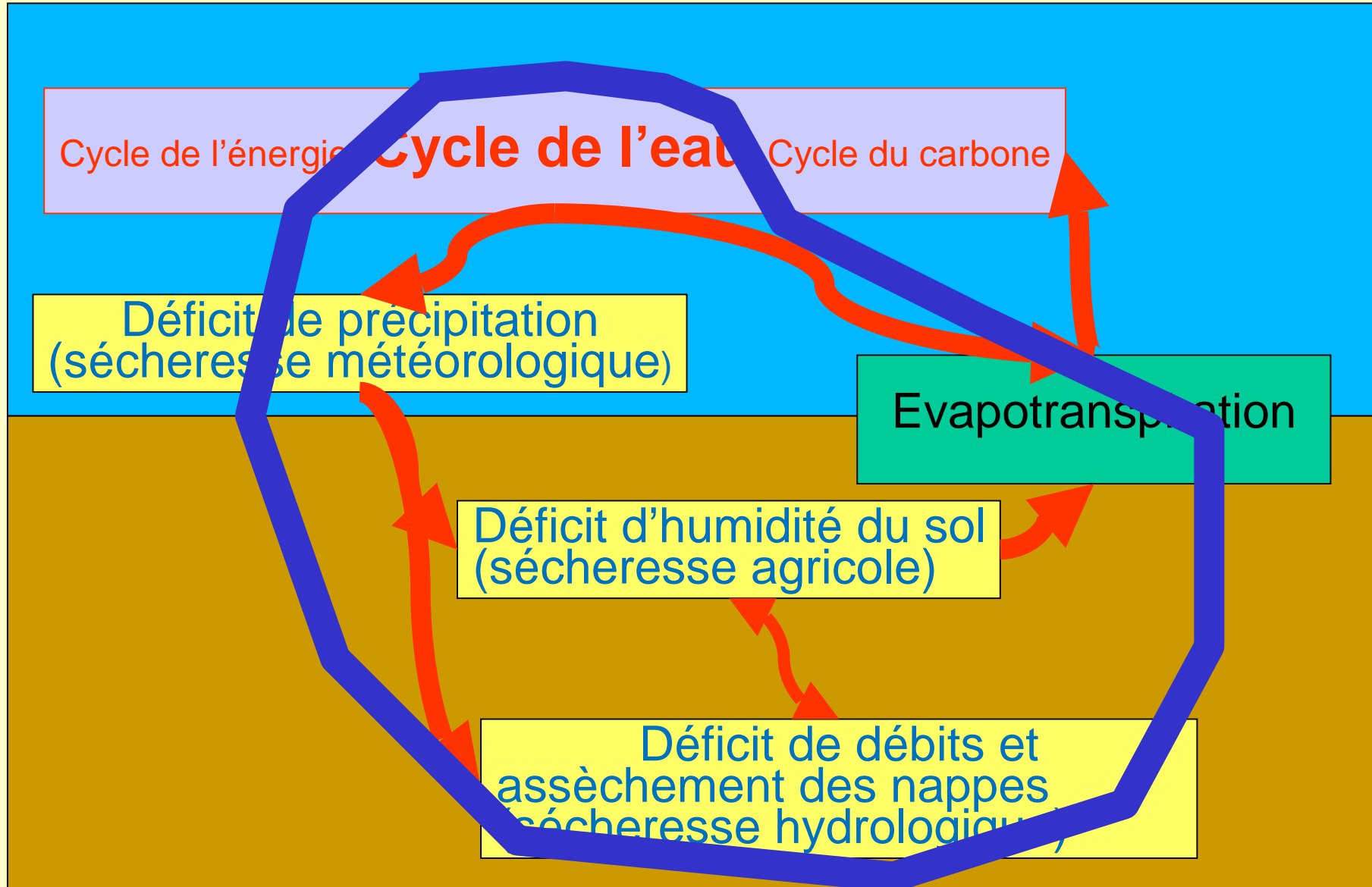
Evapotranspiration

Déficit d'humidité du sol
(sécheresse agricole)

Déficit de débits et
assèchement des nappes
(sécheresse hydrologique)



$$\Delta \text{Eau du sol} = P - E - R$$



$$\Delta \text{Eau du sol} = P - E - R$$

Changement
climatique

Cycle de l'énergie **Cycle de l'eau** Cycle du carbone

Déficit de précipitation
(sécheresse météorologique)

Evapotranspiration

Déficit d'humidité du sol
(sécheresse agricole)

Déficit de débits et
assèchement des nappes
(sécheresse hydrologique)

Simulation spatialisée du bilan hydrique (1970-2000)

Rapport ETR/Précipitations

E/P

Rapport écoulement/Précipitations

R/P

Le changement climatique joue de manière différenciée selon les bassins

- sur les entrées du système (pluie, neige, bilan thermique),
- Sur l'évaporation et la répartition évapotranspiration/écoulement
- sur les éléments internes du système (manteau neigeux, humidité du sol, nappes)

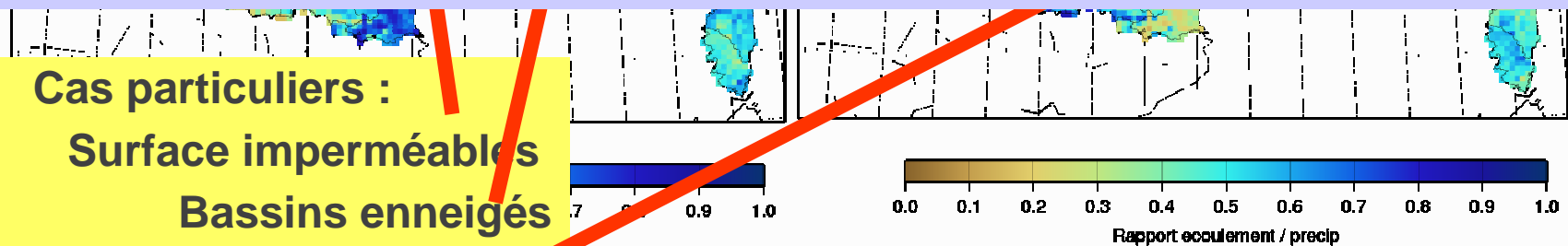
Cas particuliers :

Surface imperméables

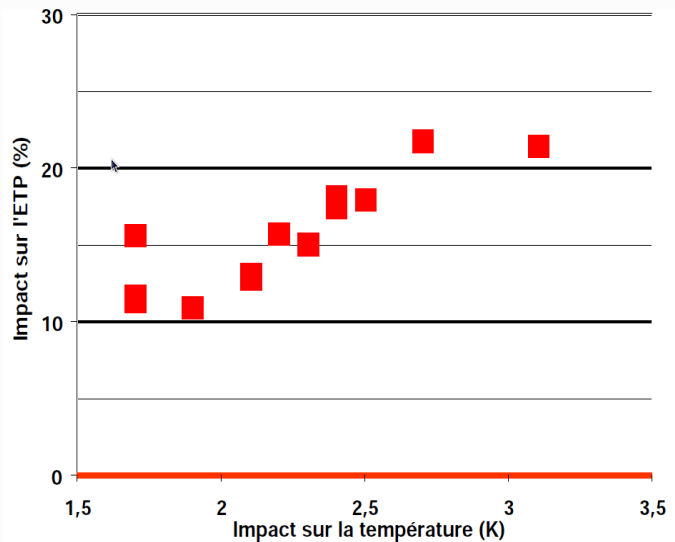
Bassins enneigés

Précipitations intenses

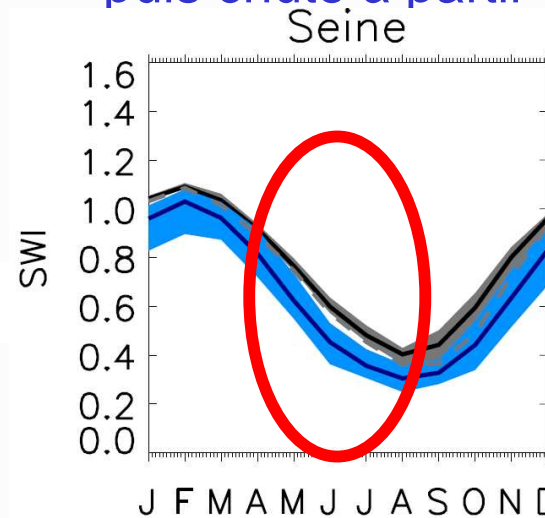
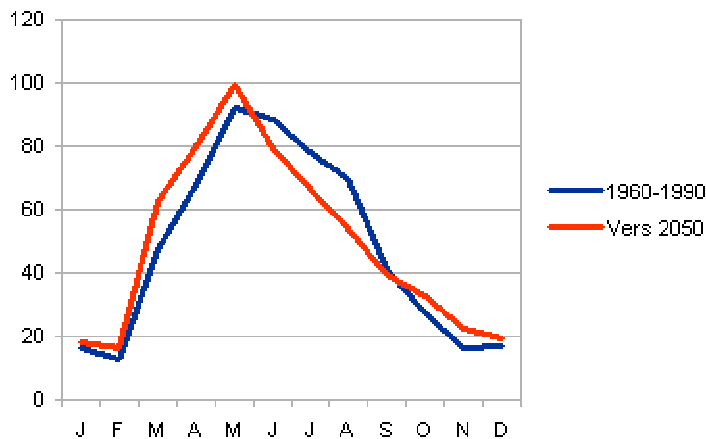
Zones karstiques



Changement climatique et évapotranspiration



- La demande évaporative est liée à l'augmentation de la température et augmente (ETP)
- L'évaporation réelle est contrôlée par la demande évaporative et la teneur en eau dans les sols. Elle augmente fortement au printemps, puis chute à partir de juin



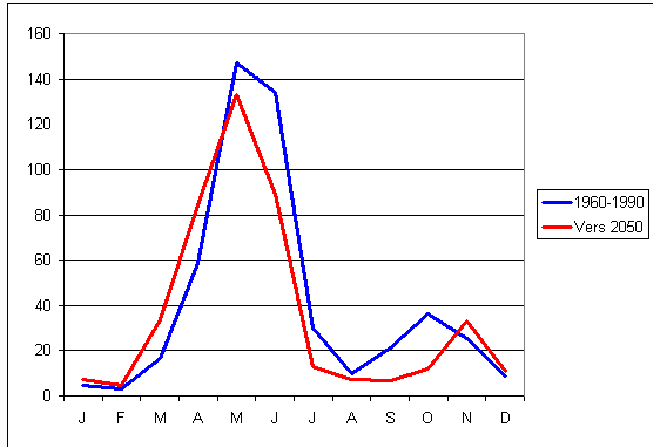
Humidité
du sol,
bassin
de la Seine

ETR mensuelle, bassin de la Seine

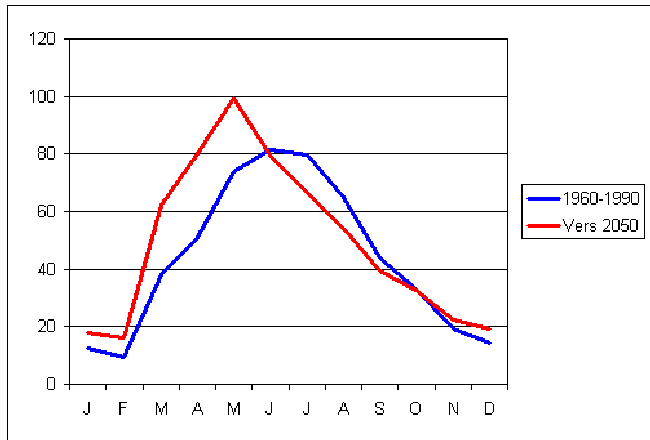
12

Source projets GICC-Seine et RexhySS

Changement climatique et neige



Débit la Durance à Embrun (m³/s)



Evaporation mensuelle, bassin de la Durance à Embrun (mm/mois)

- Effet direct :
 - Moins de chute de neige
 - Fonte plus rapide au printemps
- Effet indirect
 - augmentation de l'évapotranspiration
- Conséquences sur les débits
 - Pic printanier de débit avancé et/ou diminué
 - Étiage hivernal moins marqué
 - Baisse du débit

Schéma type des études d'impact

Scénarios socio-économiques globaux

Évolution du climat :
modélisation du système Terre

Désagrégation des scénarios :
estimation des variables météorologiques à échelle fine

Impact

Adaptation

Systemes

Vulnérabilité

Evaluation en parallèle des incertitudes :

- Scénarios globaux
- Évolution climatique et désagrégation
- Connaissance des systèmes, de leur vulnérabilité et capacité d'adaptation

Les méthodes de régionalisation

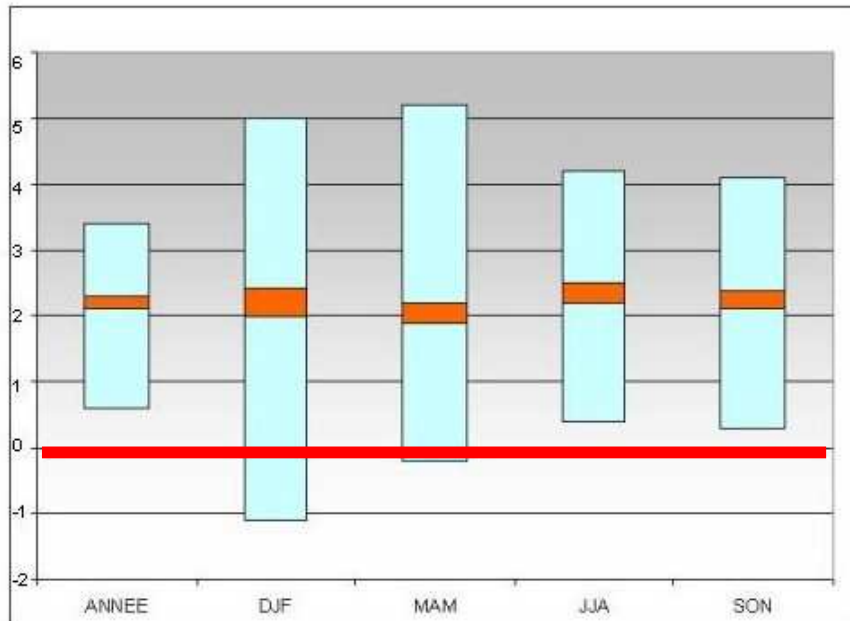
- Cette étape est indispensable, elle permet de passer de l'échelle des modèles du système Terre actuels (200-300 km) à l'échelle des modèles d'impact (1-10 km)

Méthode	Description
Anomalies ou « deltas »	Appliquer un delta calculé à grande échelle à un état « climat présent » bien connu
Désagrégation statistique	Appliquer un lien statistique climat local / climat grande échelle calée sur le climat présent
Désagrégation dynamique	Utilisation de climat régional à haute résolution

Plan de l'exposé

1. Les tendances actuelles
2. Changement climatique : quels processus gouvernent l'évolution de la ressource en eau ?
3. Quelques études récentes sur l'impact du changement climatique dans le domaine de l'eau en France.
4. Vers des études d'adaptions, besoin d'études plus intégrées.

La France à l'horizon 2050 (2046-2065)



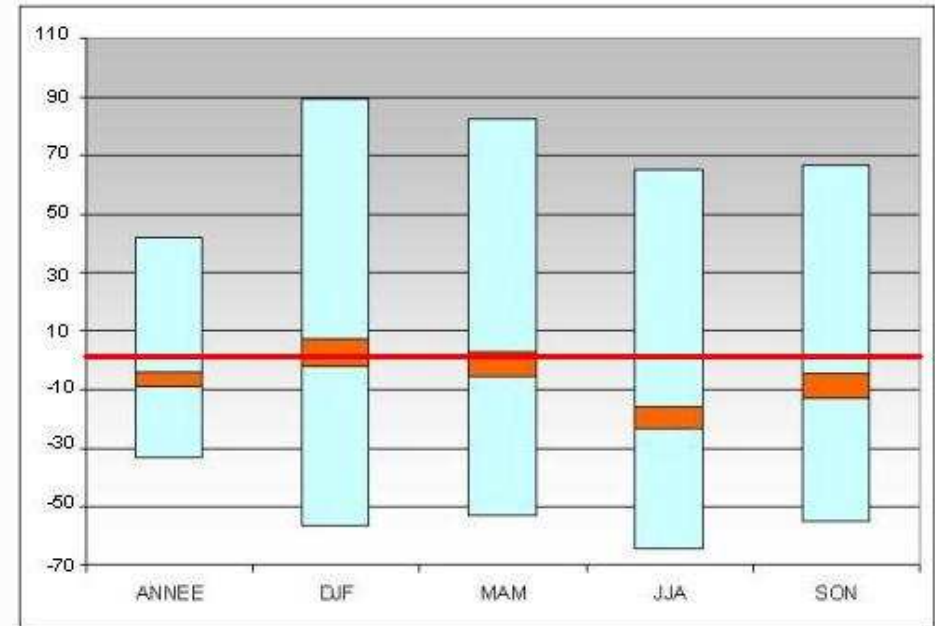
Température

Variation par rapport à la période 1960-1990 (°C ou %)

Moyenne sur 7 modèles du GIEC (AR4) scénario A1B sur l'ensemble de la France

Rouge : intervalle 95%

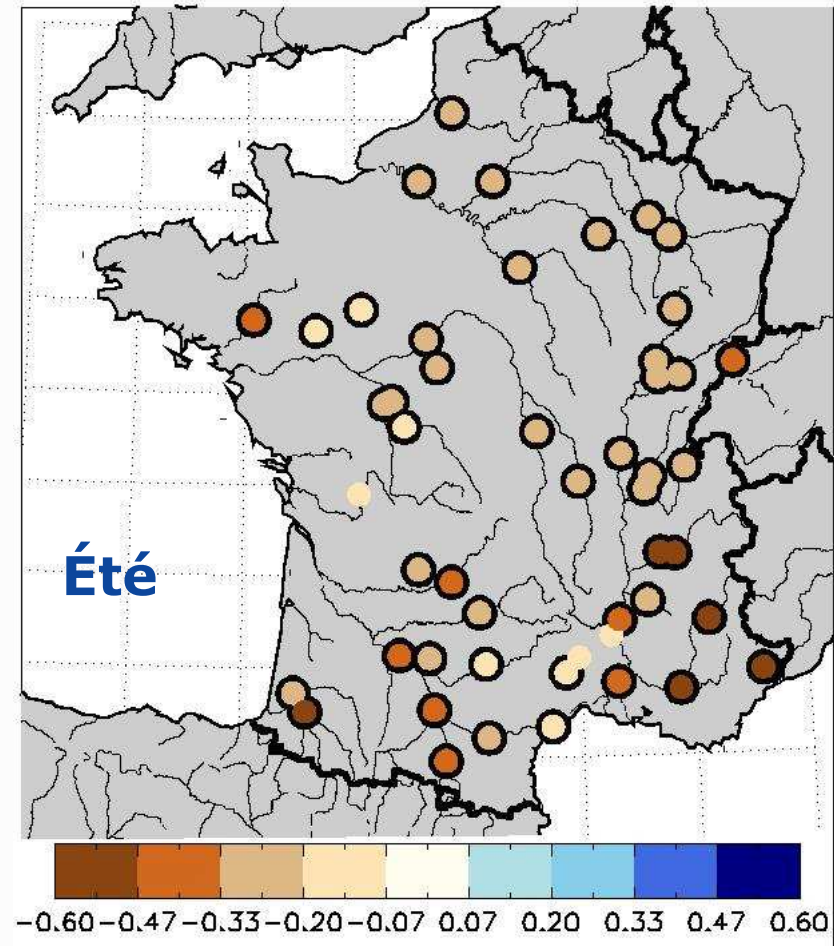
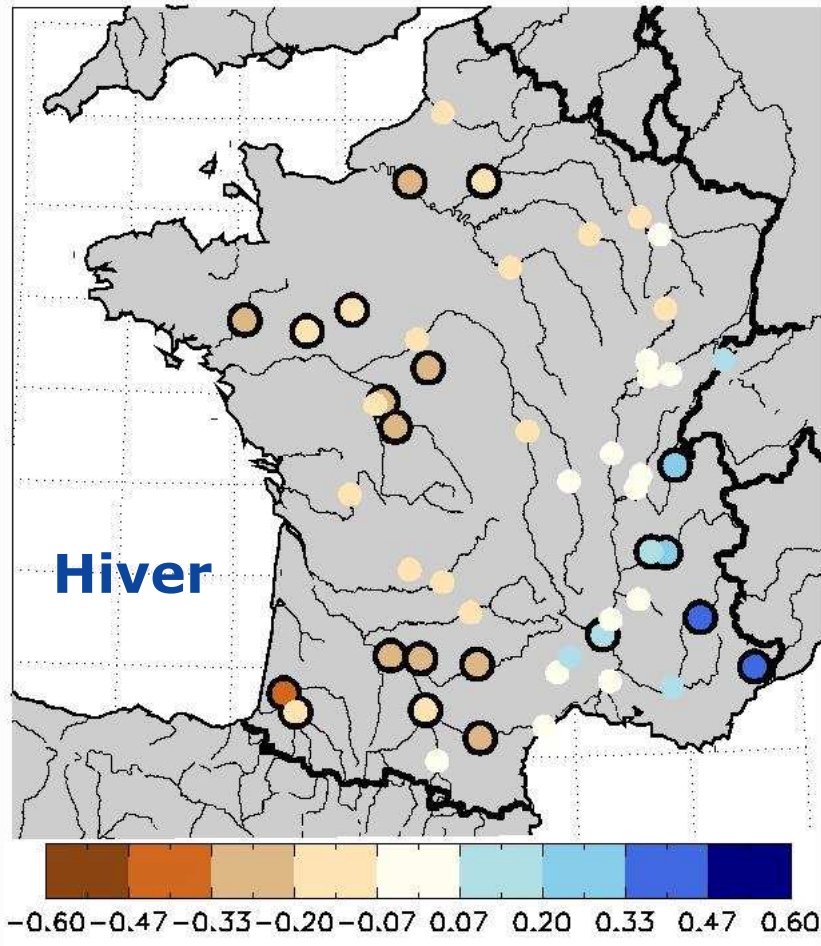
Bleu : min/max



Précipitations

Source : Projet EXPLORE2070, Météo-France, CERFACS

Quels changements de débits en France en 2050 ?

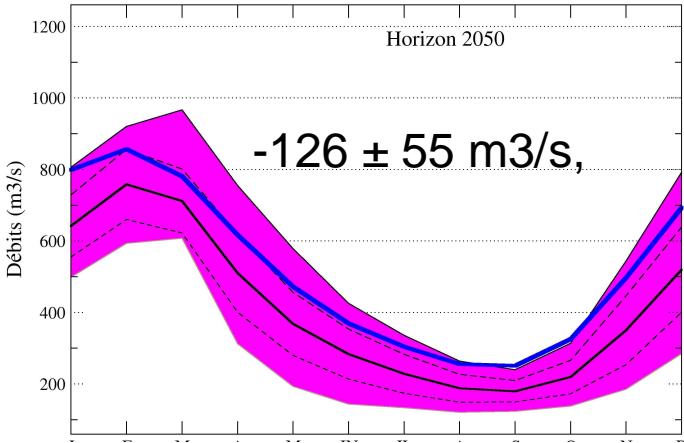


Changement relatif en % par rapport à 1970-2000

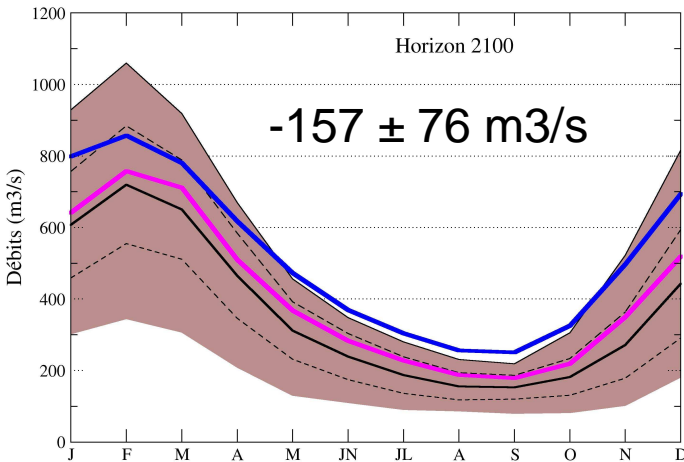
Cas de la Seine

En m³/S

Seine à Poses

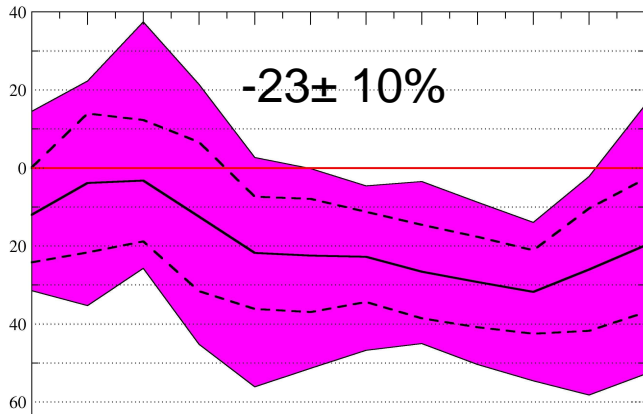


Seine a Poses

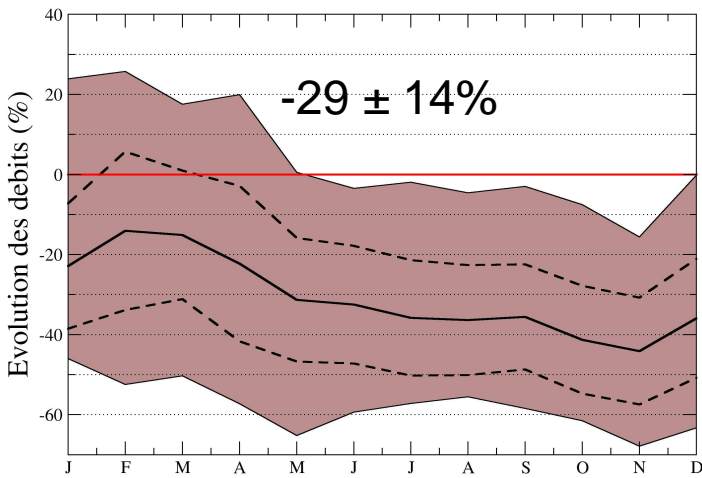


En évolution par rapport au temps présent

Impact Horizon 2050



Impact Horizon 2100



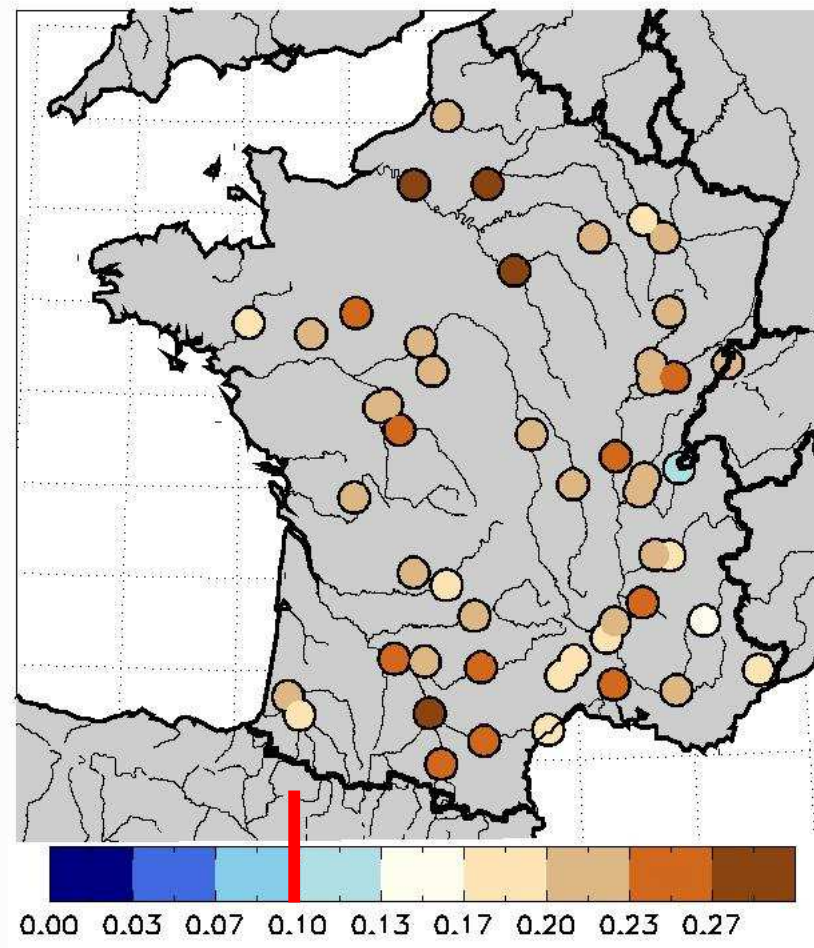
Forte dispersion pour le climat actuel, mais bonne comparaison aux observations

Forte diminution des débits en automne et hiver

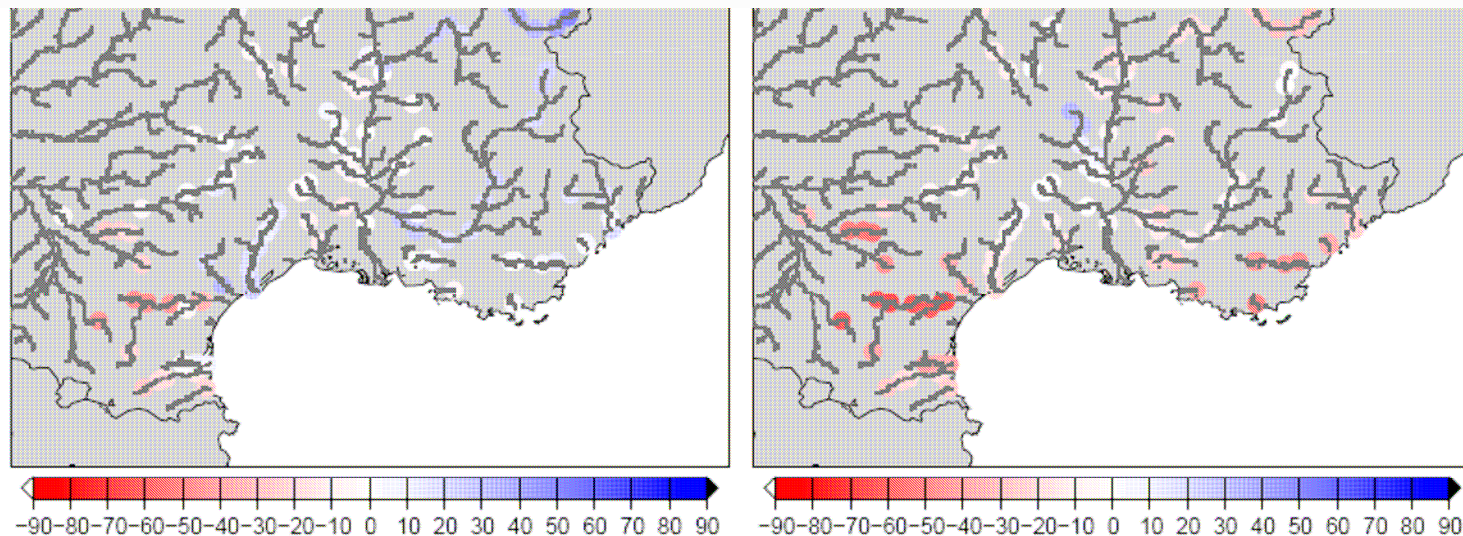
Baisse de la piézométrie

Modifications des débits d'étiages sévères en France en 2050 ?

**Pourcentage de jours
débit < quantile 10%
de la période actuelle
1970-2000**



Impact sur les débits extrêmes d'automne dans le sud de la France



Régionalisation statistique

Régionalisation dynamique

Variations relatives (%) du débit extrême (dépassé 1% du temps) en automne
En utilisant deux méthodes de désagrégation scénario A2
2070/2100 vs 1970/2000

Malgré un climat globalement plus sec, des crues aussi fortes (voire plus) qu'actuellement sont possibles

Quantification des incertitudes sur la Seine

- Impact sur le débit annuel de la Seine à Poses :

2050	-126 m³/s ± 55	-23% ± 10%
2100	-157 m³/s ± 76	-29% ± 14%

- Quantification à partir de différentes simulations

Source	Impact (% de la variance totale)
Modèle de circulation générale	78%
Méthode de désagrégation	56%
Modèle hydrologique	48%

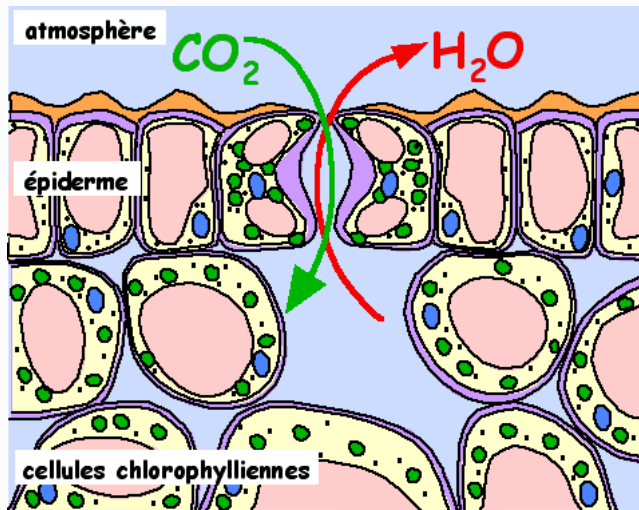
Premières conclusions

- Variations très significative des débits.
 - Baisse généralisée des débits estivaux.
 - Baisse légère des débits hivernaux (augmentation si diminution du caractère nival)
- Augmentation des extrêmes :
 - Étiages plus prononcés
 - Crues du même ordre que dans le climat présent
- Estimation des incertitudes
 - Multiplication des simulations (modèles, désagrégation, modèles hydrologique)
 - Aucune des trois sources ne peut être négligée, en particulier pour ce qui concerne les extrêmes
- Conséquences sur économie (agriculture), qualité de l'eau, biodiversité, traitées de manière partielle. Souvent débits naturels.

Plan de l'exposé

1. Les tendances actuelles
2. Changement climatique : quels processus gouvernent l'évolution de la ressource en eau ?
3. Quelques études récentes sur l'impact du changement climatique dans le domaine de l'eau en France.
4. Vers des études d'adaptions, besoin d'études plus intégrées.

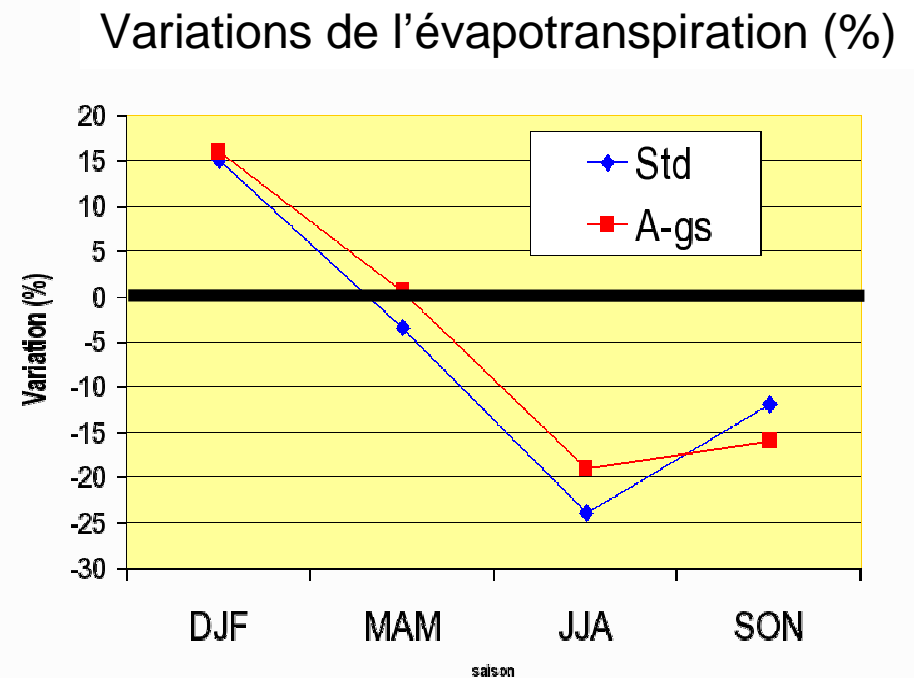
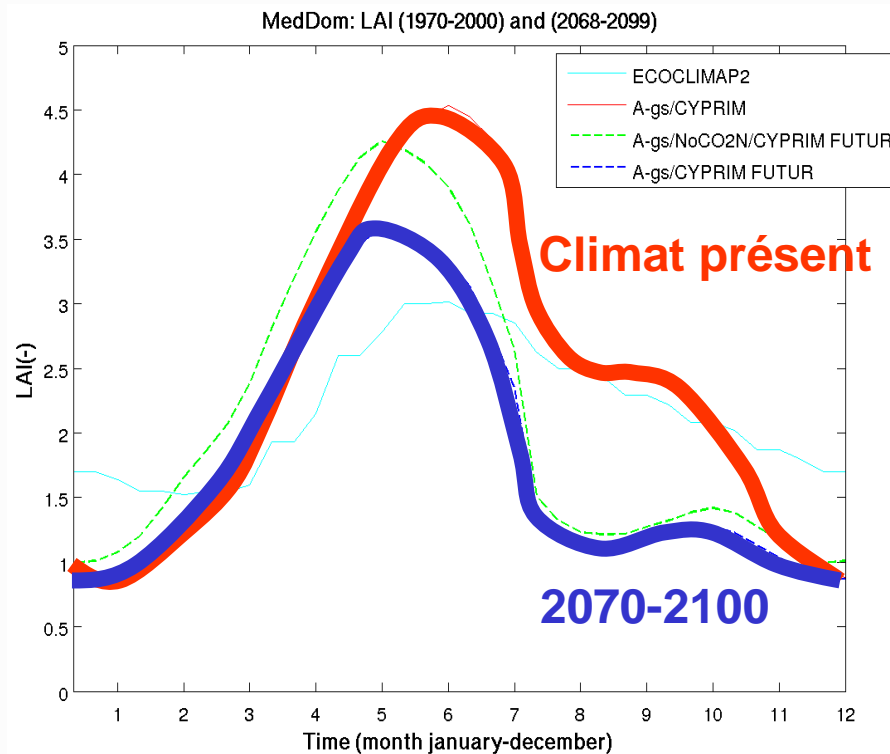
Coupler cycle de l'eau et du carbone



Echanges d'eau et de dioxyde de carbone au niveau des feuilles

- Une augmentation de la concentration en dioxyde de carbone se traduit par
 - Un effet antitranspirant : la plante peut assimiler plus facilement le carbone, les pertes de vapeur d'eau sont limitées
 - Un effet fertilisant : la plante a tendance à augmenter sa surface foliaire
- Meilleure prise en compte de la réaction des plantes

Impact sur la zone méditerranéenne française

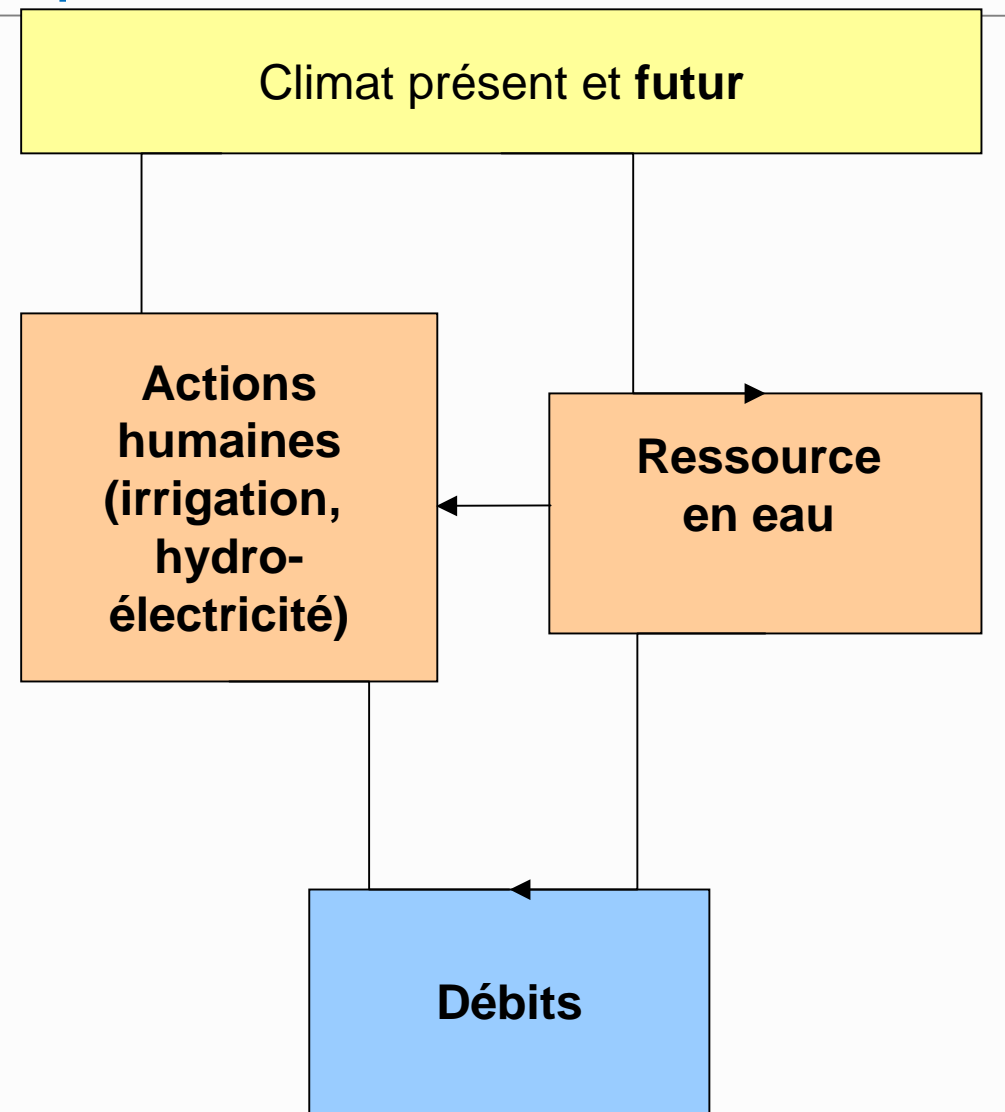
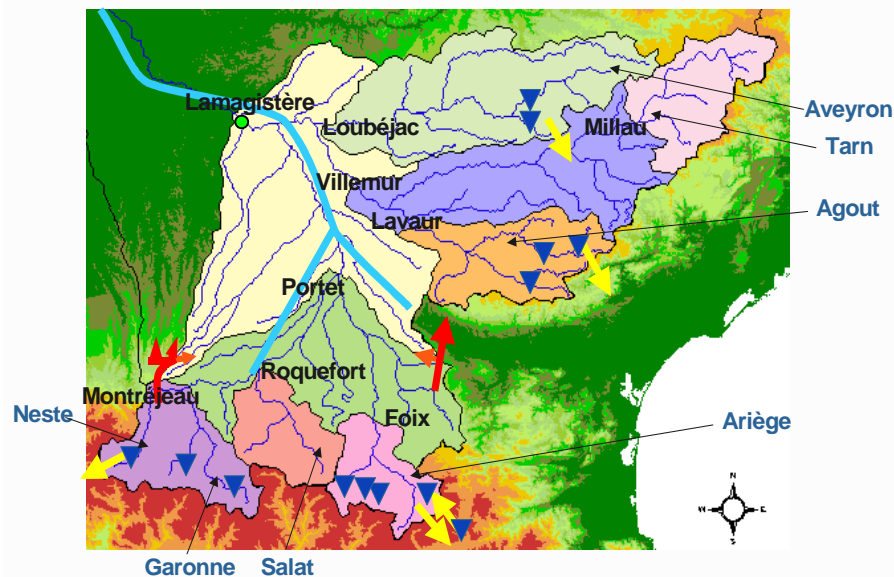


Impact du changement climatique sur le développement de la végétation (LAI)

La prise en compte du cycle continental du carbone module les résultats précédents

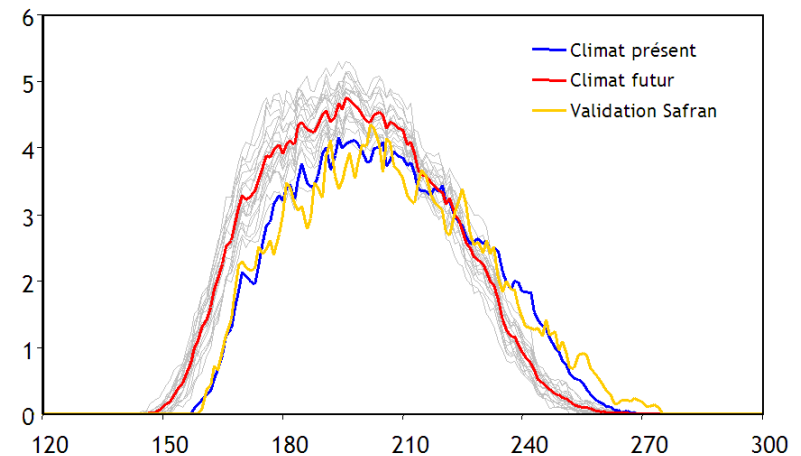
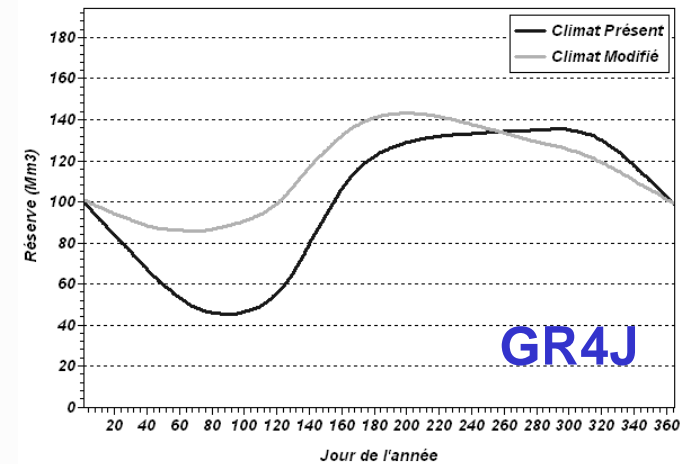
Prendre en compte les activités humaines

- Nécessité d'une étude précise des ressources en eau et de leur utilisation
- Hypothèse pour le futur



Intégrer l'activité humaine

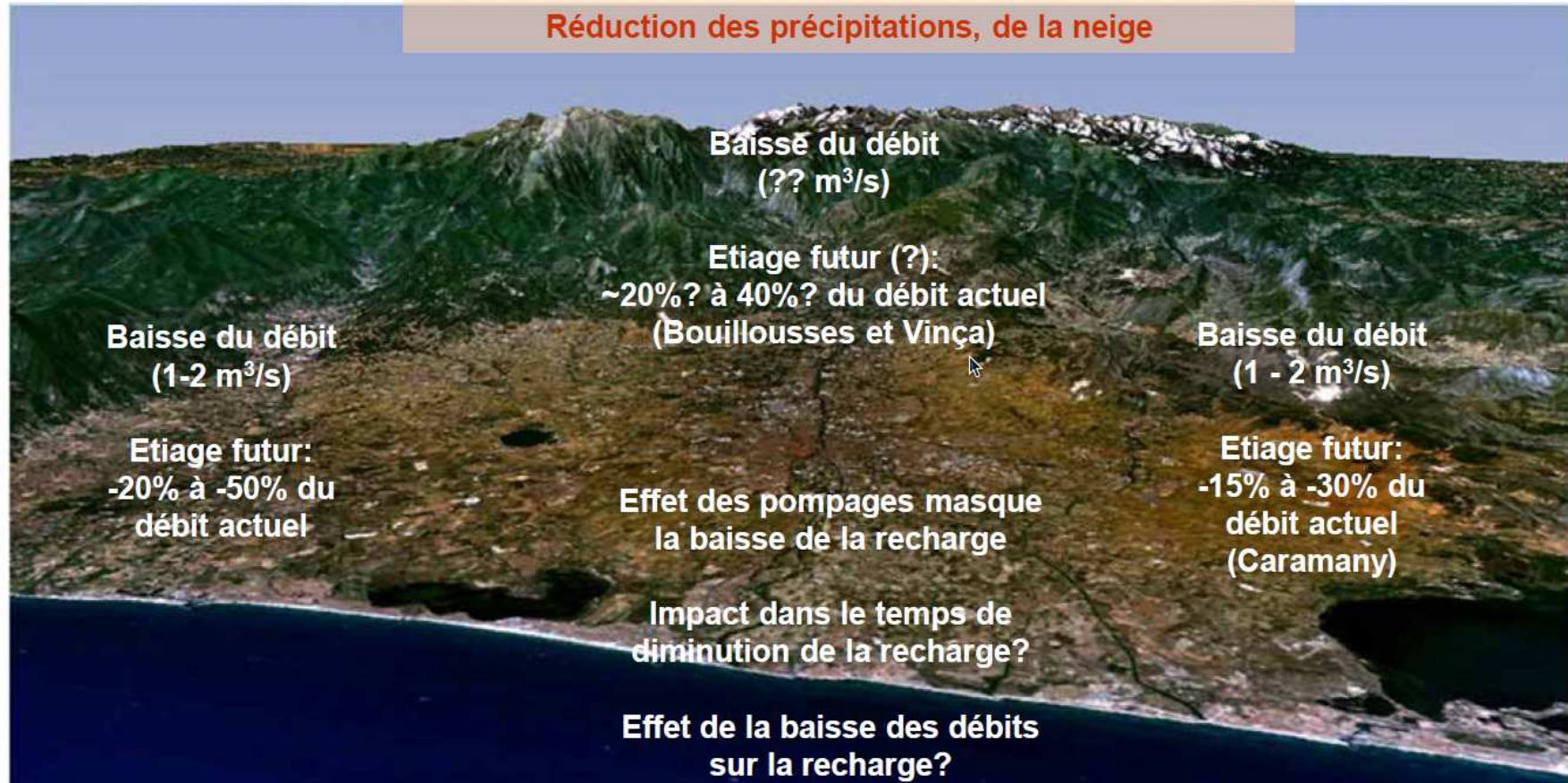
- Évolution d'une « macro réserve hydroélectrique » à Foix
Climat présent et futur
Production moins risquée mais en baisse
- Demande en eau estimée (modèle 2 réservoirs, intégré sur la Garonne à Lamagistère)
-> influence sur les débits



Le Roussillon : différents types de ressource

Augmentation de la température et de l'ETP

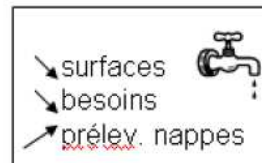
Réduction des précipitations, de la neige



Inclure des scénarios de rupture

S1 : Agriculture ultra-compétitive

Exploitations fortement capitalisée maîtrisées par l'aval



S2 : Agriculture duale

Agriculture productive & multifonctionnelle coexistent



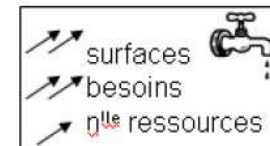
S3 : Sud Intense ou l'Europe des régions

Produits de qualité, images de marque des terroirs, politique régionale forte



S1 : Agriculture haute performance environnementale

L'agriculture renaissante: emploi, technologies pour l'environnement et santé



VULNERABILITÉ DES HYDROSYSTÈMES
SOUSS AU CHANGEMENT GLOBAL
EN ZONE MÉDITERRANÉENNE

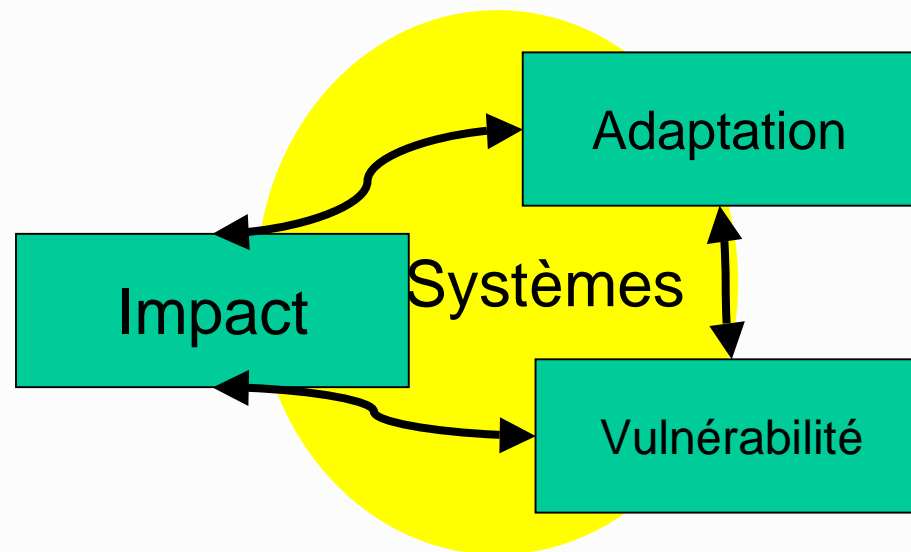
Réunion de clôture du projet
9 novembre 2010 - CC



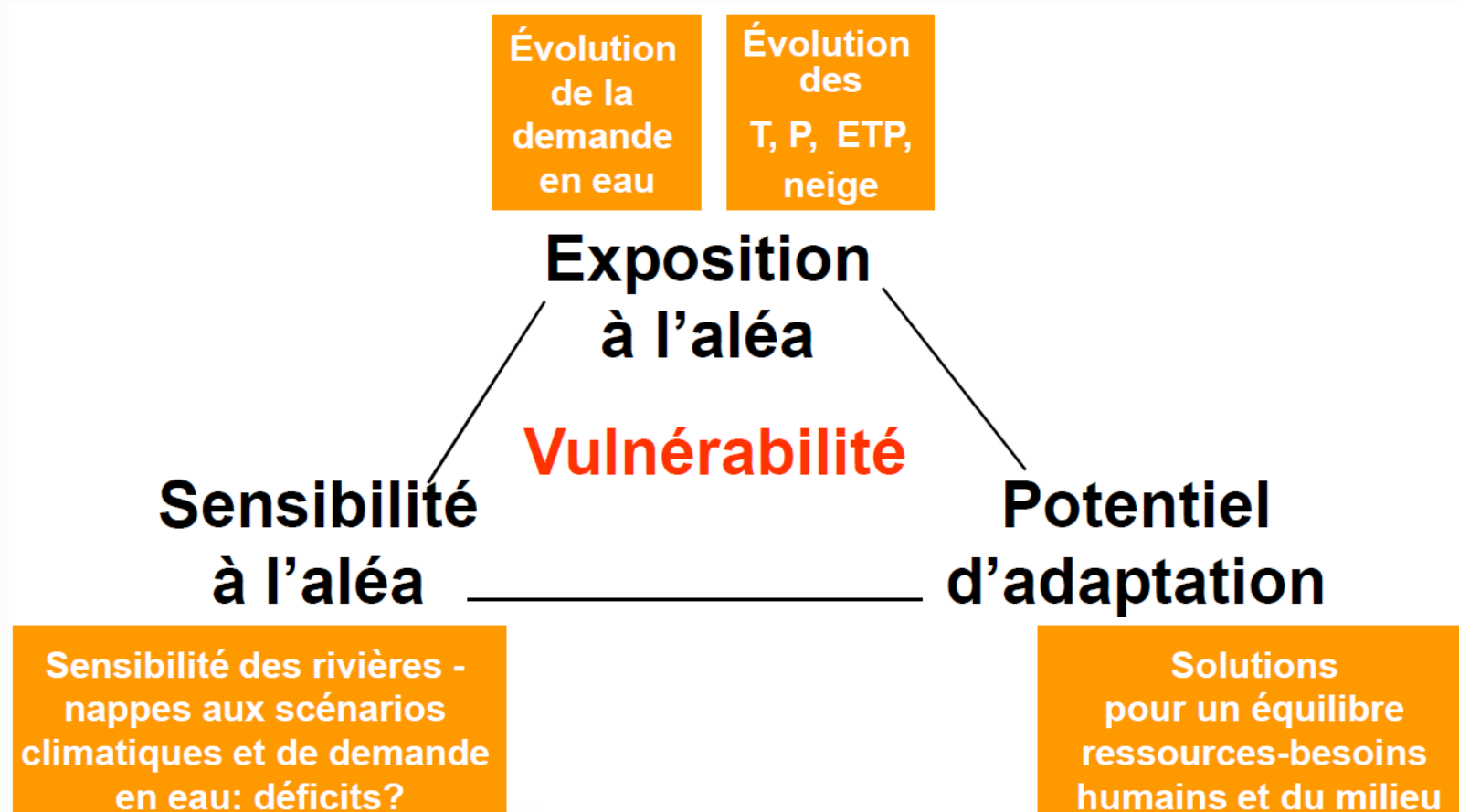
Fermer les bilans d'eau

L'enjeu pour franchir le pas et passer à l'adaptation :

Aller au-delà du constat que la demande en eau excède la ressource : chercher un scénario réaliste qui soit en accord avec la ressource.



Fermer les bilans d'eau



Conclusion

L'impact des changements climatiques sur la ressource en eau est accentué par des rétroactions positives (neige, demande évaporative)

L'impact du changement climatique est très important à la fois sur les variables moyennes et les extrêmes. Certains changements sont inéluctables et perdureront des centaines d'années.

Les extrêmes sont encore étudiés de manière très générale. Besoin de définition des extrêmes adaptées :

- sécheresse, (dynamique, durée, intensité, ...intérêt du projet CLIMSEC!)
- Agriculture, forêts, biodiversité, qualité de l'eau, AEP, industrie...

De nombreux domaines où l'impact de l'activité humaine est du même ordre que celui du changement climatique (agriculture, qualité de l'eau)

Conclusion

Un grand enjeu : aller vers des études régionale prenant en compte de manière explicite l'adaptation (« boucler les bilans d'eau »), des scénarios de rupture

- Besoin de données de terrains
- Interdisciplinarité , dialogues avec les acteurs
- Projets d'ampleur supérieure aux projets actuels

Et toujours : besoin de quantification des incertitudes : multiplication de simulations, d'hypothèses ? Autres méthodes ?

Sites Internet de quelques études d'impact climatique en hydrologie

Rhône (programme GICC, 2005, coordinateur E. Leblois, Cémagref)

<http://medias.obs-mip.fr/gicc/interface/projet.php?2%2F00>

Garonne (CNRM – Agence de l'eau Adour-Garonne, 2003, Y. Caballero, J. Noilhan, CNRM)

<http://www.eau-adour-garonne.fr/page.asp?page=1756>

Seine (programme GICC1, 2005, coordinatrice Agnès Ducharne, UMR SISYPHE)

<http://medias.obs-mip.fr/gicc/interface/voir.php?8%2F01&Resume>

France (thèse de Julien Boé, CERFACS, directeur de thèse L. Terray)

http://www.cerfacs.fr/globc/publication/thesis/2007/these_boe.pdf

Méditerranée et précipitations extrêmes (Projet CYPRIM, coordinatrice V. Ducrocq,

<http://www.cnrm.meteo.fr/cyprim/>

**Thèse de Pere Quintana Seguí, Directeurs de thèse E. Martin, CNRM-GAME, F. Habets UMR
SYSIPHE-ENSMP, 2008)** <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00367576/fr/>

**Régionalisation et extrêmes hydrologiques sur la Seine et la Somme (RExHySS, programme
GICC2, en cours, coordinatrice A. Ducharne, UMR SISYPHE)**

www.sisyphe.upmc.fr/~agnes/rexhyss/

VULCAIN : Roussillon <http://agire.brgm.fr/VULCAIN.htm>

R2D2 : Durance <https://r2d2-2050.cemagref.fr/>

contacts : eric.martin@meteo.fr