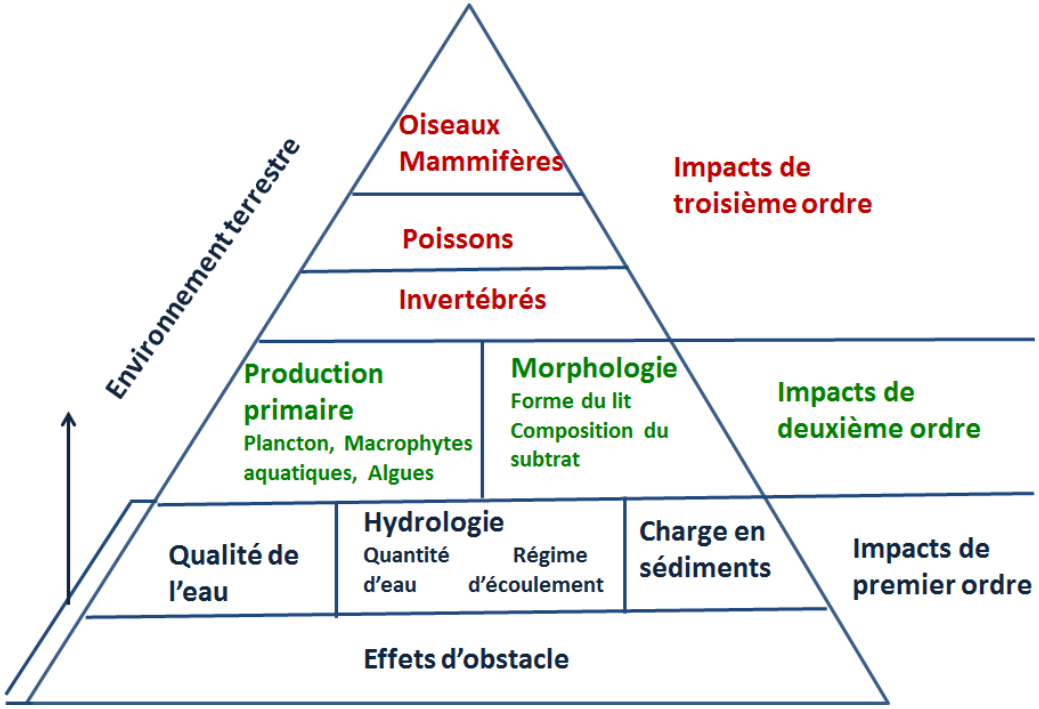
GEST'EAU

La communauté des acteurs de gestion intégrée de l'eau

Impact des plans d'eau
Evolution en contexte de changement climatique



Source :Bergkamp et al, repris de Petts, 1984, cf ESCO Impact cumulé des retenues, Carluer et al., 2016

florence.habets@ens.fr

DÉPARTEMENT DE GÉOSCIENCES

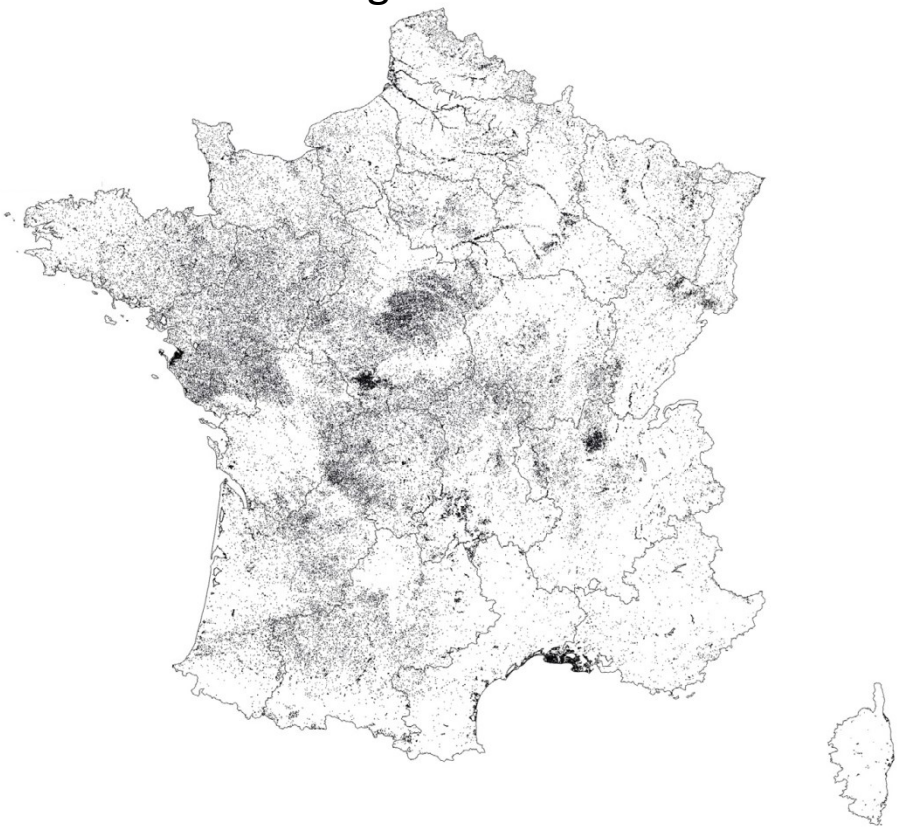
Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau?

Combien de réservoirs en France ?

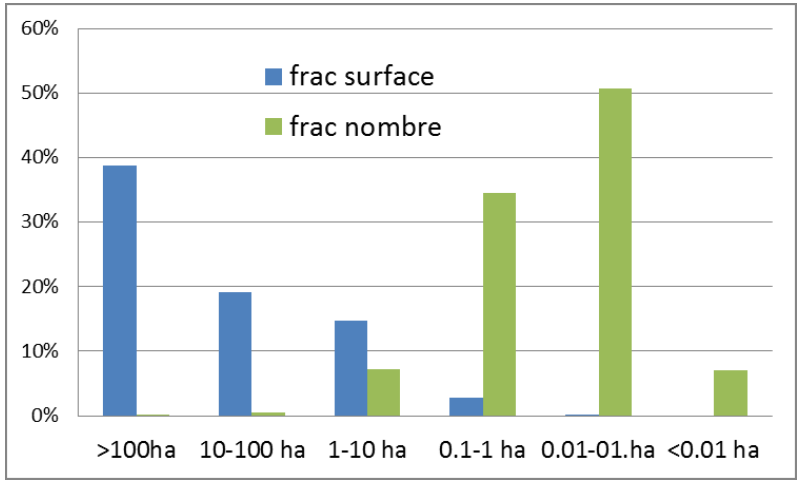
Estimations

- Yang *et al., RSE, 2020*
- Terasmaa *et al., Heliyon, 2019*

Focalisent sur les petits plans d'eau
~600000 plans d'eau
dont 98% d'origine humaine



Répartition des retenues en fonction de leurs surface



<u>Surface des plans d'eau en France</u>
4550km²

- soit 0.8% de la France
- mais, à peu près 1/3 des surfaces irriguées

Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau?

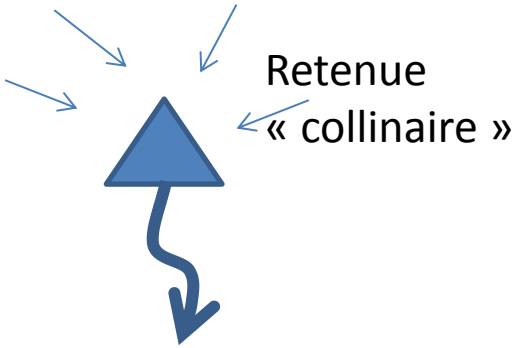
L'impact des plans d'eau dépend :

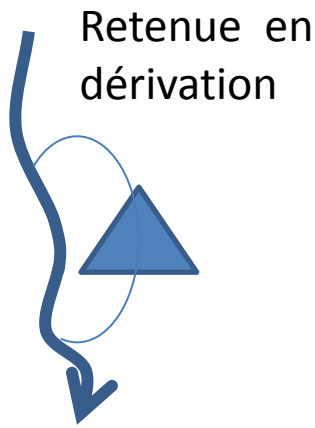
- **de leurs usages**
- **De leurs nombres et volumes**

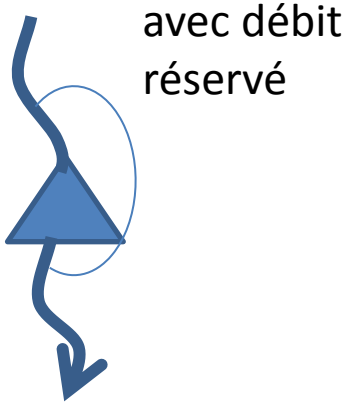
Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau?

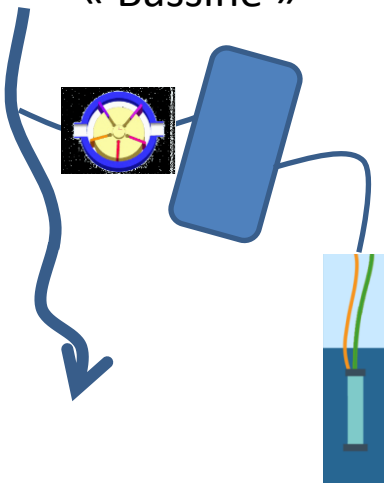
L'impact des plans d'eau dépend :

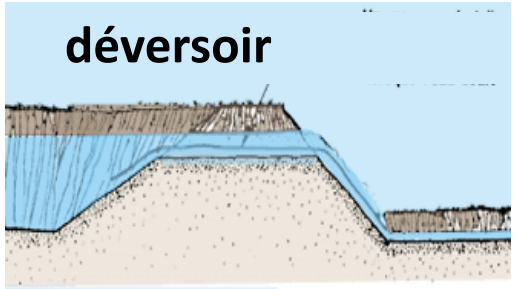
- **de leurs usages**
- **De leurs nombres et volumes**
- **de leurs modes de remplissage et vidange**

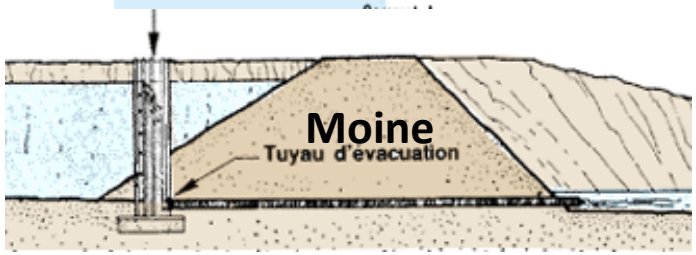


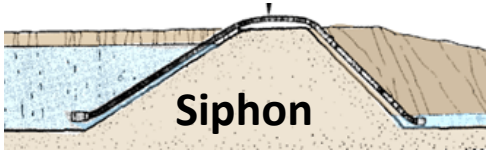












figures FAO

Comment les plans d'eau affectent la QUALITE de l'eau?

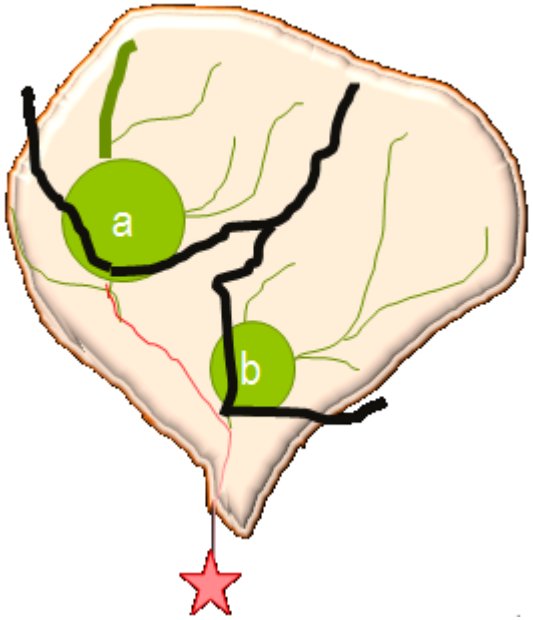
Impact des plans d'eau sur **le transport sédimentaire**

90% des sédiments sont piégés dans une retenue

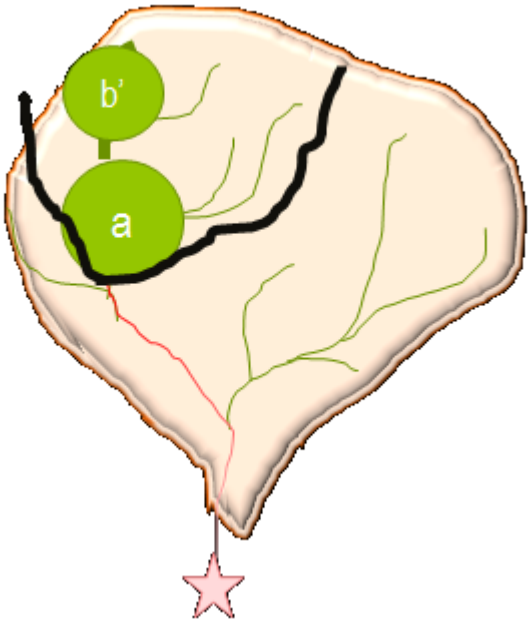
➔ Modification hydromorphologique à l'aval

Effets cumulés Additif ou infra-additif

Additif



Infra-additif



Vcum = Va*seul* + Vb*seul* **>>** V'cum < Va*seul*+Vb'*seul*

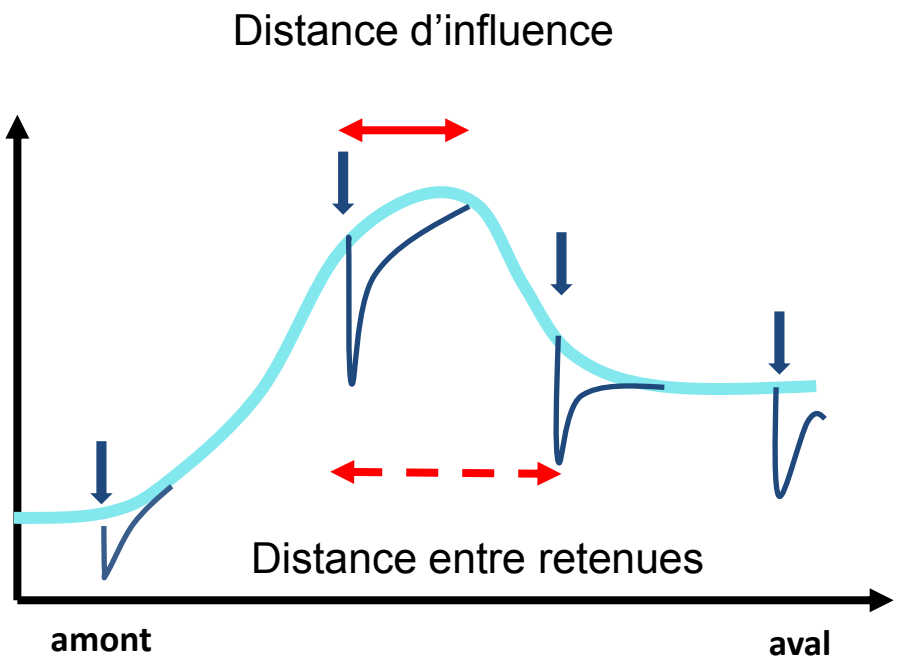
Synthèse bibliographique internationale (ESCO Retenue, Carluer et al., 2016)

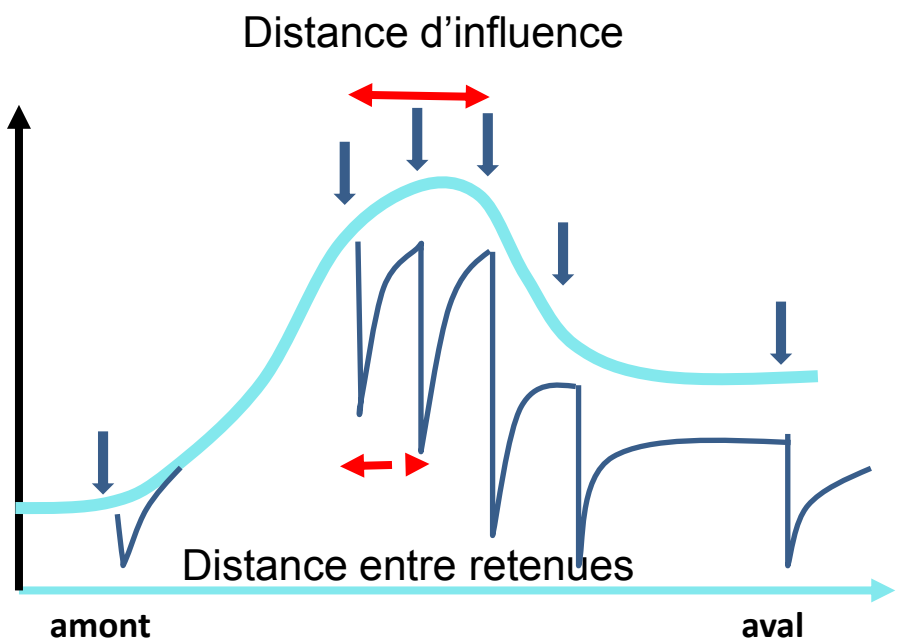
Comment les plans d'eau affectent la QUALITE de l'eau?

Effet d'une retenue sur **la qualité physico-chimique**

Importance de la connectivité hydrologique Effet distance

- **Température, O_2, concentrations NO3** : effet potentiellement cumulé





Retenues en série sur une même rivière

⇨ **Longueur de réseau hydrographique affecté**

Synthèse bibliographique internationale (ESCO Retenue, Carluer et al., 2016)

Comment les plans d'eau affectent la QUALITE de l'eau?

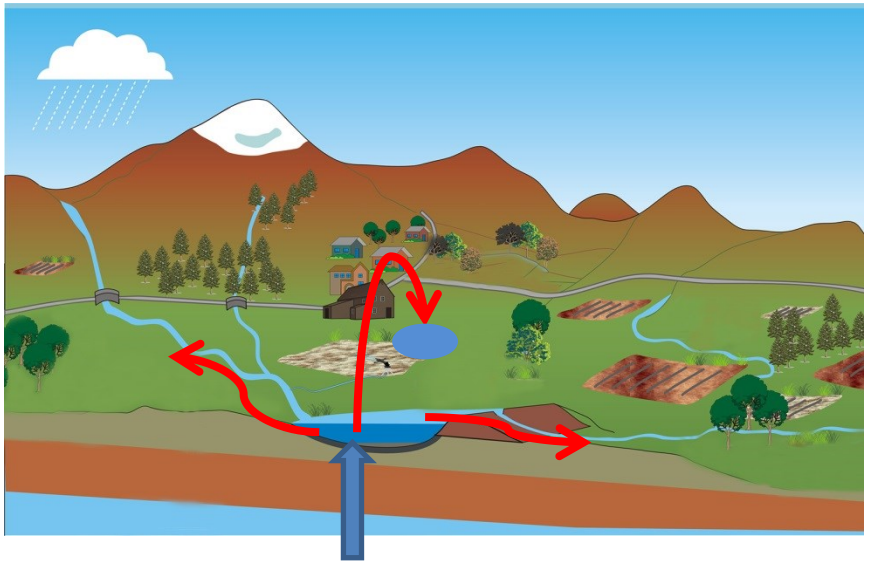
Effets d'une retenue sur les **compartiments biotiques**

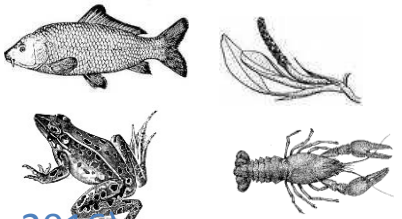
La retenue : un nouvel habitat support de biodiversité ?

Pas de substitution des retenues aux milieux aquatiques naturels préexistants

- Destruction des milieux préexistants ➔
- Création d'un nouvel habitat → implantation d'espèces lentisques

Retenues →
- abritent des espèces patrimoniales (e.g. Odonates, Batraciens)
- favorisent l'implantation d'espèces exotiques envahissantes





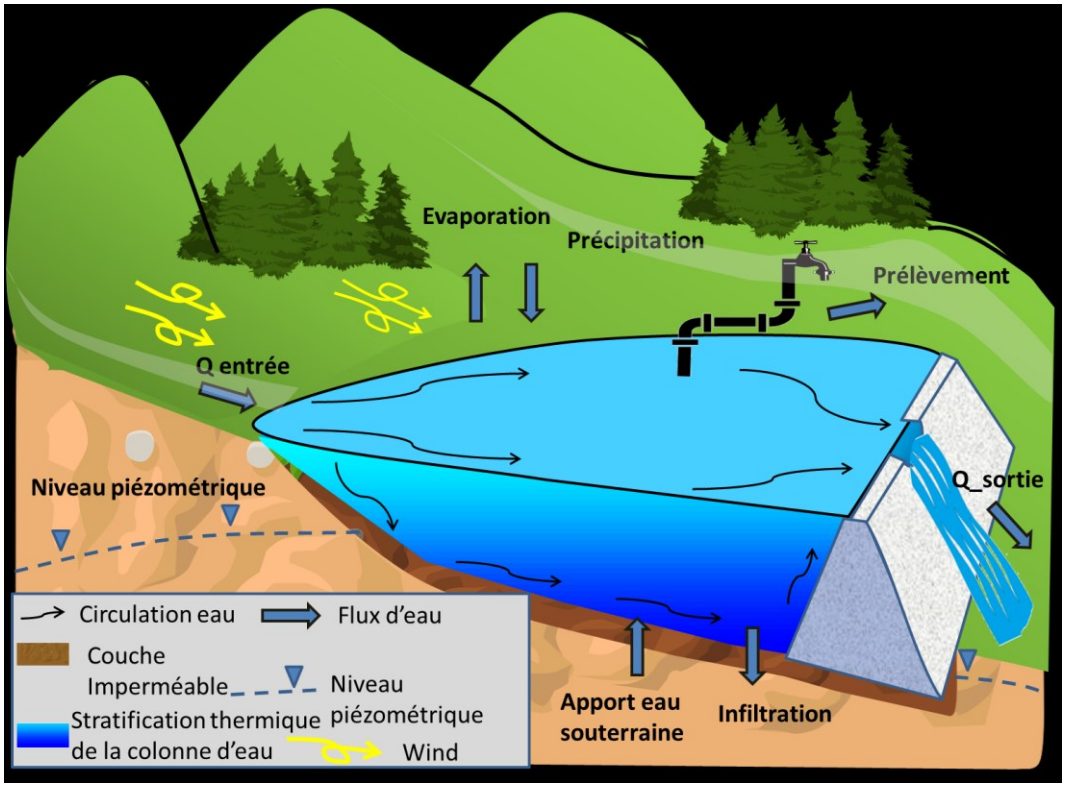
Synthèse bibliographique internationale (ESCO Retenue, Carluer et al., 2016)

Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau quantitative ?

Fonctionnement d'un plan d'eau

Les débits en sorties du plan d'eau sont égaux à la somme:

+ des débits en entrée
+ des apports des précipitations sur le plan d'eau
- de la variation de stock dans la réserve
- des pertes par évaporation sur le plan d'eau
- des prélèvements
- des pertes par infiltration

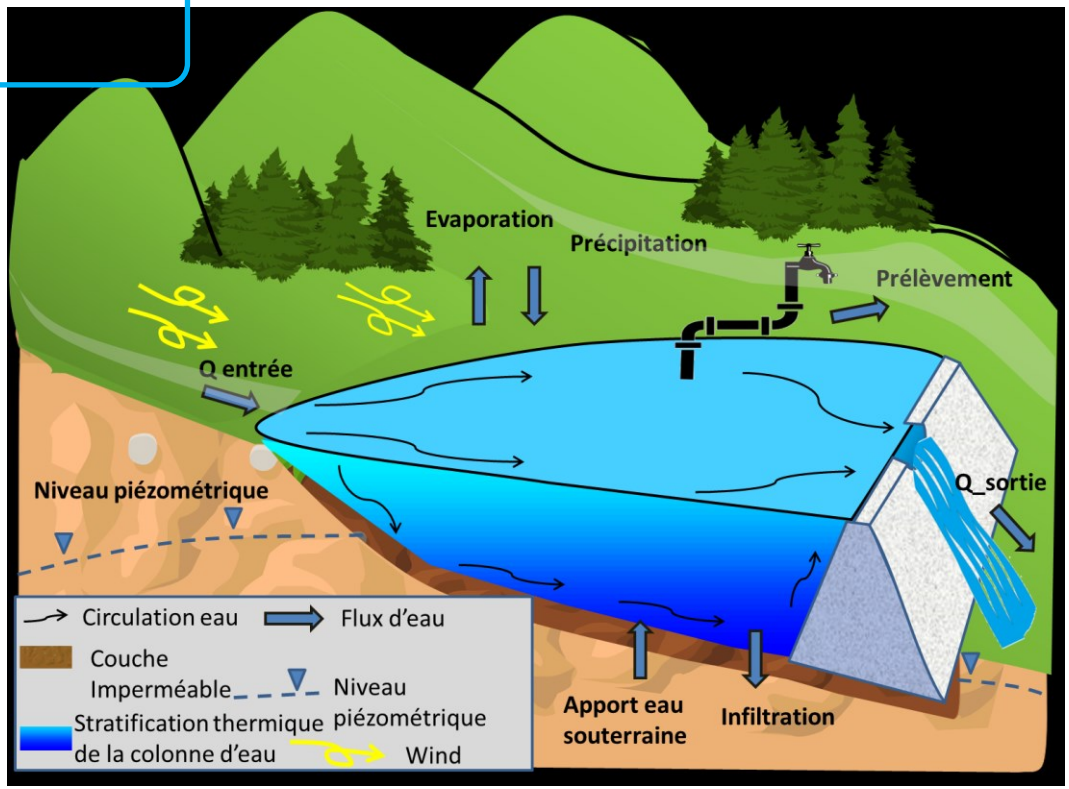


Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau quantitative ?

Fonctionnement d'un plan d'eau

Les débits en sorties du plan d'eau sont égaux à la somme:

- + des débits en entrée
- + des apports des précipitations sur le plan d'eau
- - de la variation de stock dans la réserve
- - des pertes par évaporation sur le plan d'eau
- - des prélèvements
- - des pertes par infiltration



Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau quantitative ?

Fonctionnement d'un plan d'eau

- les pertes par évaporation sur le plan d'eau

Méthodes d'observation:

Mesures des flux (eddy covariance)

Bac évaporation

$$E_{vaporation} = Q_{entrée} + P_{récipitation} - Q_{sortie} - Q_{infiltration} - Q_{prélèvement} - \Delta V$$

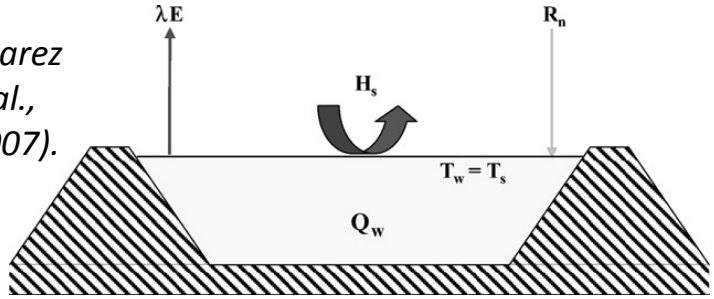
Bilan Hydrique

$\delta^{18}O$ [‰ VSMOW] $\delta^{2}H$ [‰ VSMOW]

Approche isotopique

Estimation

Alvarez et al., (2007).



Météo= Penman Monteith

Modélisation

Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau quantitative ?

Fonctionnement d'un plan d'eau

- les pertes par évaporation sur le plan d'eau

L'évaporation est d'autant plus forte que la température du plan d'eau en surface est élevée

- ✓ Faible profondeur d'eau ➔ forte T° du lac
- ✓ Pas d'obstacle au vent
- ✓ Pas d'ombre portée
- ✓ L'humidité de l'air est faible (= fort déficit de pression de vapeur)
  ➔ ce déficit augmente avec le dérèglement climatique
- ✓ une forte sensibilité au rayonnement infra rouge (tendance à la hausse)

Si la surface du lac est assez grande, une fine couche saturée en humidité peut se former en surface et limiter les pertes en évaporation

Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau quantitative ?

Fonctionnement d'un plan d'eau

- les pertes par évaporation sur le plan d'eau

Evapotranspiration d'une parcelle
< précipitation

Evapotranspiration d'un plan d'eau
~ Evapotranspiration potentielle
>> précipitation

➔ Contribue à une perte de l'écoulement parvenu au plan d'eau (=précipitations amont ayant échappées à l'évapotranspiration)

Martinez Alvarez et al (2008) estiment que les +14000 petites retenues représentant moins de 0.3% du bassin de Ségura en Espagne évaporent l'équivalent de 27% de l'AEP du bassin

Zhao and Gao (2019) estiment que les pertes par évaporation de 721 grands lacs correspondent à 93% de l'usage eau potable des Etats Unis

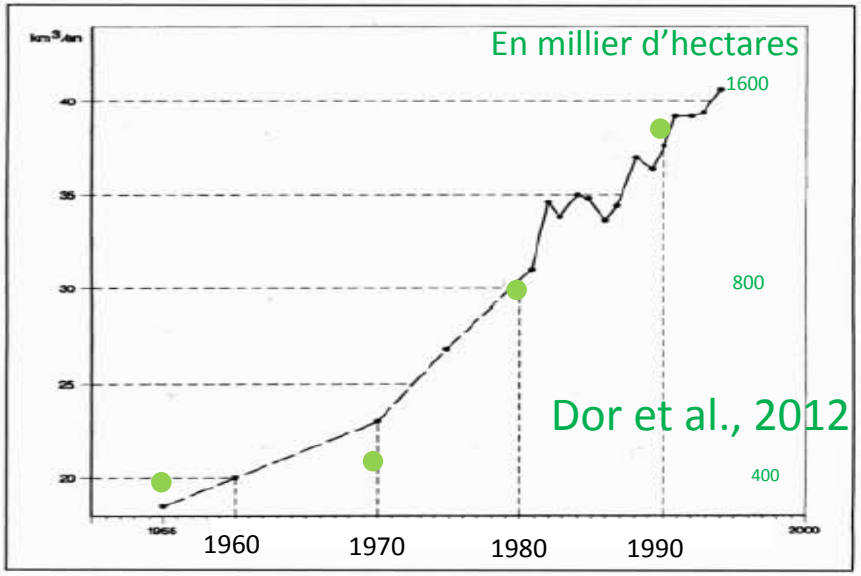
Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau quantitative ?

Fonctionnement d'un plan d'eau

- Les prélèvements: en forte hausse en France depuis les années 1950

➔Une partie dans les plans d'eau

Evolution surface irriguée



10. Evolution des prélèvements en eau totaux annuels en France de 1955 à 1994 (exhaure des mines, consommations des voies navigables et de l'hydroélectricité non comprises). (Source : de 1955 à 1975 : Commissions de l'eau des Plans et Agences de bassin ; après 1980 : ministère de l'Environnement, 1996).

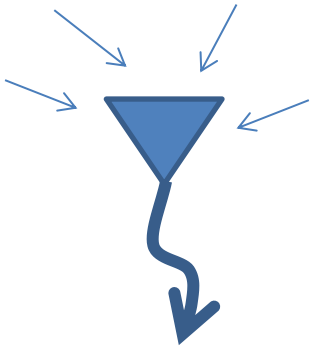
Prélèvements dans les plans d'eau:
Entre 0 et 4 fois le volume de la retenue (Lowe et al., 2005)

Margat, La Houille Blanche

Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau quantitative ?

impact des plans d'eau sur les débits

a) Retenues de type collinaire



Prélève toute l'eau jusqu'à remplissage

➔ Fort réduction des débits en automne

➔ Impact aussi en printemps /été avec re-remplissage

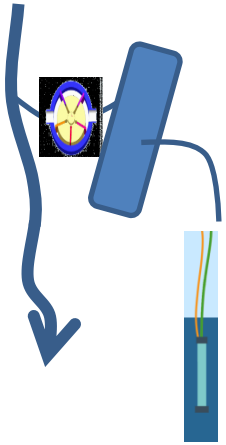
c) Retenue en dérivation

Potentiellement « transparent » hors de la période de remplissage

b) Retenues avec débits réservés

Idem, mais, préservation d'un débit réservé (1/10 du module…)

« Bassine » ?



Impacts s'approchant des retenues en dérivation

Moins marqué sur les crues

Plus marqué en été (prlvt en nappe)

Habets Molénat et al., HESS, 2018

Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau?

impact des plans d'eau sur les débits

Synthèse des impacts sur les débits annuels

Réduction des débits annuels entre en moyenne de 10%
Pour les conditions (densité, précipitation) proches de la France : entre 10 et 35%
Les impacts sont beaucoup plus forts les années sèches : jusqu'à 50%

Impacts sur les débits d'étiage

Peut aller jusqu'à l'assec si retenues types collinaires (même avec débits réservés)

Impacts sur les débits de crues

Ecrêtement avec gros réservoirs et cumul de petits réservoirs → Galéa, G. et al. (2005) sur Séoune et Tescou
Pas vrai sur les bassines: limité par le débit des pompes + eaux tourbeuses

Habets Molénat et al., HESS, 2018

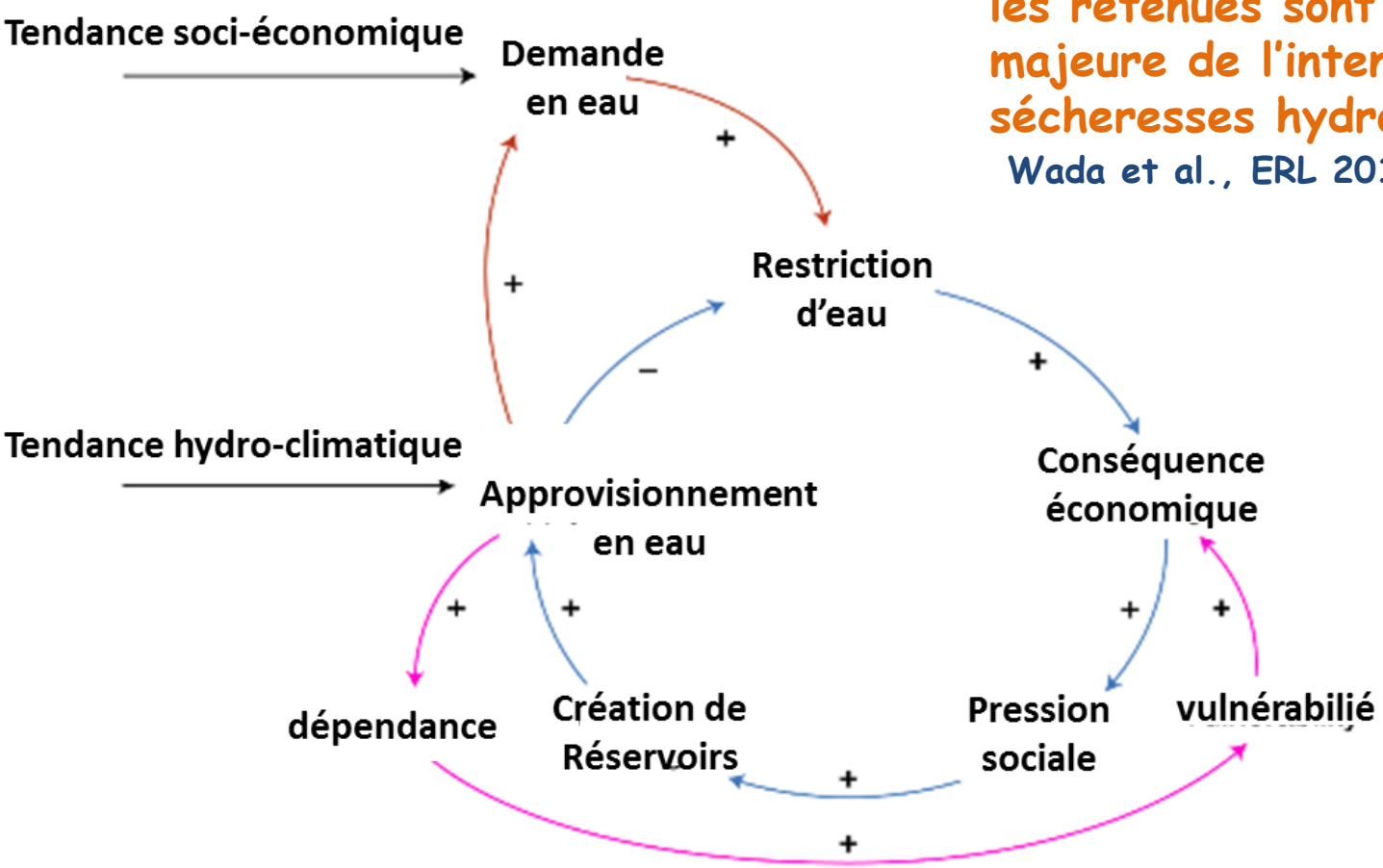
Impact des plans d'eau

Le cercle vicieux associé aux retenues

➔ l'augmentation de l'offre conduit à une hausse de la demande et à une vulnérabilité plus élevée

Les prélèvements, favorisés par les retenues sont une composante majeure de l'intensification des sécheresses hydrologiques

Wada et al., ERL 2013

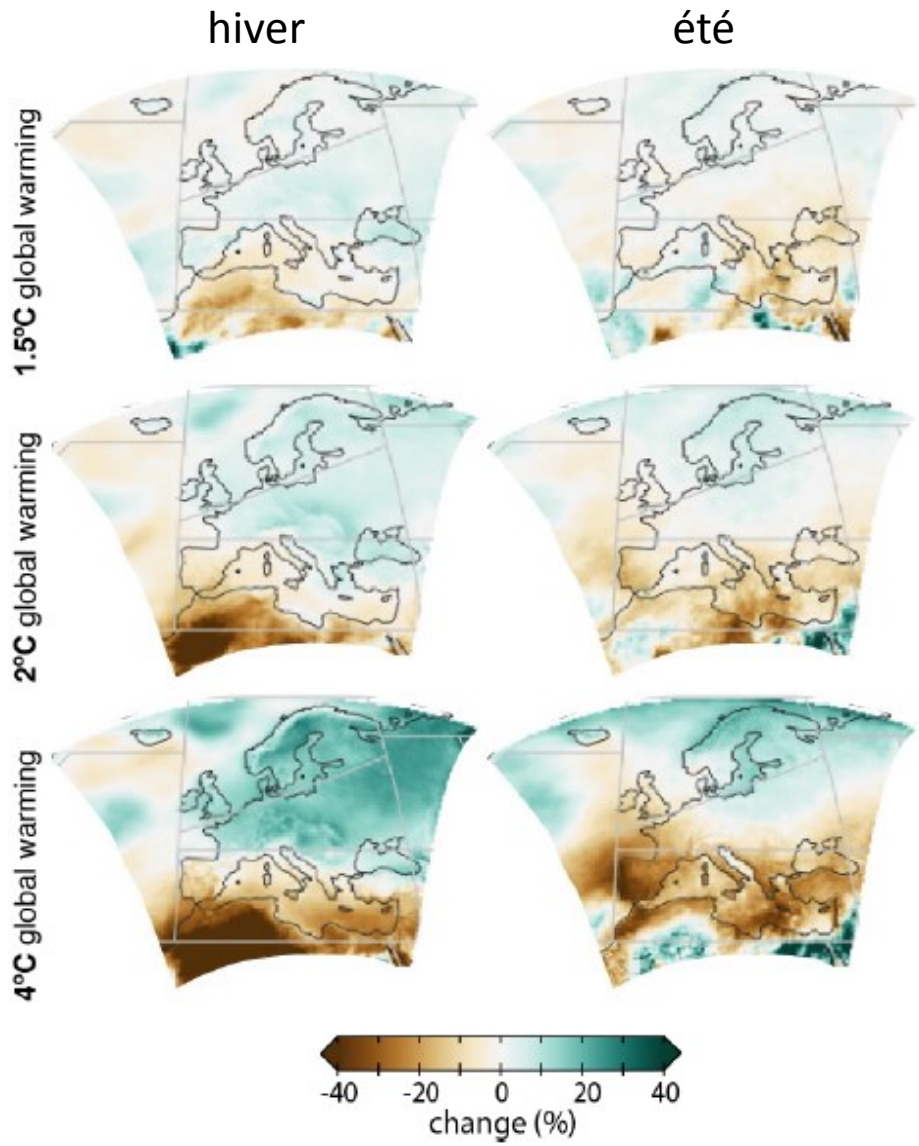


Di Baldassarre et al. (2018)

Projections climatiques

Résultats du 6ème rapport du GIEC adopté en aout 2021: évolution des précipitations en Europe

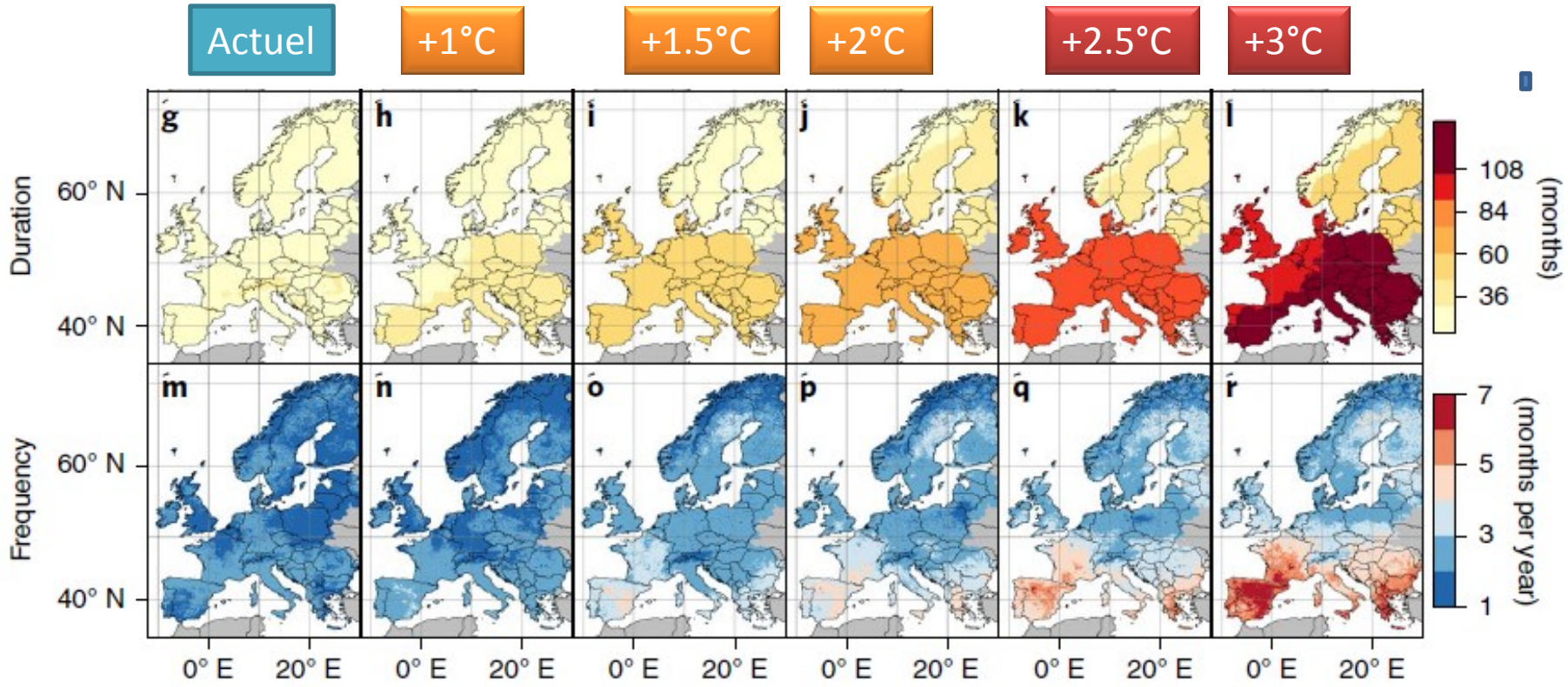
- on atténue les émissions de gaz à effet de serre
+ la T° globale augmente
+ les précipitations sont modifiées



(IPCC AR6, Chap3, Cassou et al. 2021)

Projections climatiques

Evolution de la durée des sécheresses agronomiques en Europe en fonction de l'évolution de la température globale



Toutes les études s'accordent sur une augmentation des sécheresses en Europe, en durée, fréquence et surface

Samaniego et al., Nature Clim Change 2018

Conséquence du dérèglement climatique sur les plans d'eau

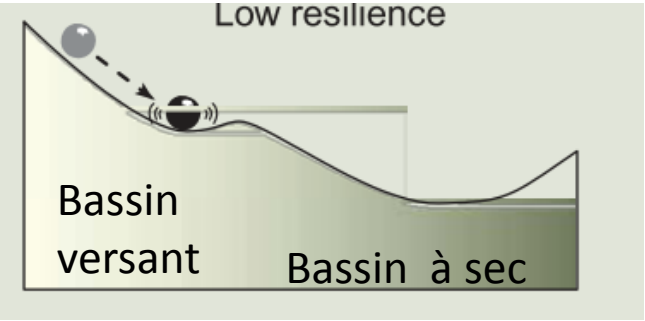
- **Augmentation des impacts qualitatifs: T°, émission de GES**
- **Perte par évaporation plus importante**
- **Augmentation du risque de non remplissage (sécheresse longue)**
- **Risque de rupture accentué (évènements + intenses)**
- **Impact accentué sur la diminution des débits**
- **Augmentation des impacts sur les débits avals / apports à la mer**

CONCLUSIONS

Il n'y a pas de solutions uniques aux problèmes posés par le dérèglement climatique

La construction de nouveaux plans d'eau ne devrait pas être utilisée comme 1ere solution
A l'inverse, elle doit intervenir après une remise en question globale du fonctionnement local

Nécessité de réduire nos impacts pour respecter les limites planétaires,
y compris les déclinaisons régionales…
pour éviter de **Basculer** vers un état d'équilibre moins favorable



Rockstrom et al., 2009,
Falkenmark et al., 2018

florence.habets@ens.fr

DÉPARTEMENT DE GÉOSCIENCES

Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau?

Combien de réservoirs en France ?

Méthode pour les estimations:

- Images aériennes ou satellites:

  + avantages: de nos jours, très bonne résolution spatiale, plusieurs images possibles avec des angles différents, donne idée des surfaces en eau

  - Inconvénients: pas d'informations sur le mode de connexion /restitution, le volume, les usages

- Enquêtes de terrain:

  + avantages: permet d'avoir les infos sur la connexion, estimation du volume par hauteur de la digue, surface

  - Inconvénients: long, pas forcément d'information sur les usages

Des relations empiriques existent pour relier surface/volume: semblent pertinentes si calibrées régionalement

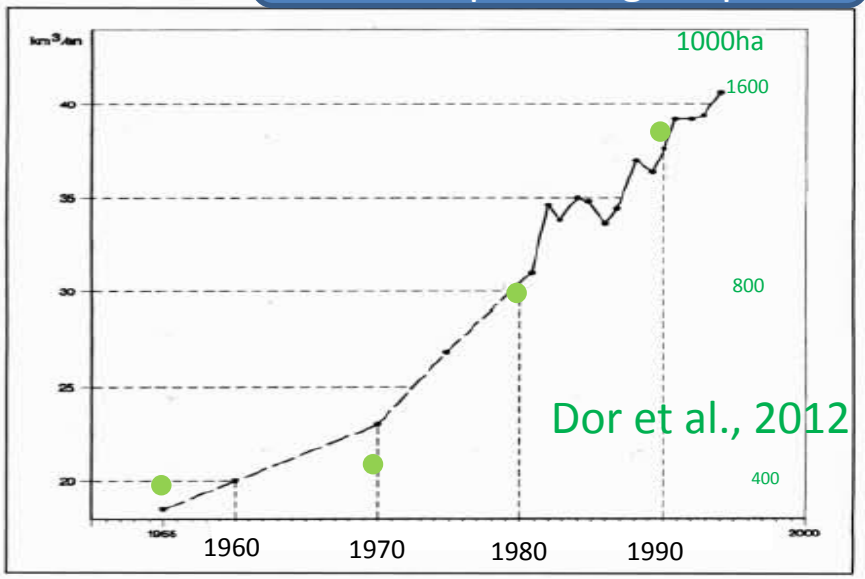
Comment les plans d'eau affectent la ressource en eau quantitative ?

Fonctionnement d'un plan d'eau

- Les prélèvements: en forte hausse en France depuis les années 1950

➔Une partie dans les plans d'eau

Lien sécheresses –retenues connu depuis longtemps: ex



10. Evolution des prélèvements en eau totaux annuels en France de 1955 à 1994 (exhaure des mines, consommations des voies navigables et de l'hydroélectricité non comprises). (Source : de 1955 à 1975 : Commissions de l'eau des Plans et Agences de bassin ; après 1980 : ministère de l'Environnement, 1996).

Margat, La Houille Blanche

Lambert, R. (1975) Été , étiage et tarissement des cours d 'eau dans le bassin garonnais

~1950, peu d'irrigation ➔rares pbs les étés les plus secs pour besoins domestiques et industriels difficilement satisfaits

~ 1960 ➔ pbs une année sur deux.

~1975 ➔ bp de pbs: stockage des eaux hivernales et printanières pour couvrir les besoins agricoles, industriels et urbains

Anticipation en 1975 pour l'an 2000

croissance des besoins

+ stabilité relative des ressources

➔ pénurie tous les ans

➔ Création de capacité de stockage >100 Millions de m3

➔ A l'horizon 2000, stockage hivernale + stockage années humides vers années sèches