« *Votre barrage réchauffe l'eau*« . Cette idée, que l'on entend le plus souvent dans la bouche des pêcheurs de truite mécontents de ne pas avoir des conditions halieutiques idéales pour leur loisir, vient tout juste d'être reprise dans la communication du Ministère de l'Ecologie. Il est exact que certaines retenues réchauffent l'eau de la rivière. Mais parfois, c'est l'inverse qui se produit. En fait, les transferts thermiques eau-air-sol sont particulièrement complexes et, en la matière, seules des études de terrain peuvent faire un bilan thermique des seuils et barrages. Accuser les seuls ouvrages de réchauffer l'eau méconnaît bien d'autres facteurs à l'oeuvre : le changement climatique bien sûr, la baisse quantitative de la ressource, la suppression des ripisylves. Et à l'heure où le premier facteur de réchauffement attendu est la hausse de concentration atmosphérique des gaz à effet de serre, la mobilisation des ouvrages existants dans la transition énergétique bas-carbone paraît une nécessité plus urgente que leur effacement.

Voici ce que dit notamment le Ministère sur son site (mise à jour du 7 décembre 2015) à propos du réchauffement et de l'évaporation des eaux dans les retenues : « *La restauration hydromorphologique des cours d'eau, à travers des effacements d'ouvrages notamment, permet de lutter contre le changement climatique en supprimant les effets aggravants des seuils et retenues sur le réchauffement et l'évaporation des eaux. Les retenues génèrent une évaporation forte d'eau en période estivale car une eau stagnante peu profonde se réchauffe beaucoup plus vite et plus fortement qu'une eau courante. Sur une longue durée d'ensoleillement, plus la surface d'eau exposée est importante plus les pertes par évaporation seront significatives. Ce phénomène est aggravé par le comblement progressif, parfois quasi-total, des retenues, par des sédiments, notamment dans le cas de seuil ancien qui ne sont plus gérés. Le volume d'eau est en effet alors diminué et étalé sur une très faible profondeur, accélérant son réchauffement.* »

Une remarque en passant : **le Ministère préfère les adjectifs aux chiffres** (*« forte », « beaucoup lus vite », « importante », « très faible »*). C'est assez classique en communication d'influence, il s'agit d'impressionner le public par des mots grandiloquents, en évitant de donner des ordres de grandeur, de préciser des mesures exactes ou d'apporter une intelligence plus globale du phénomène décrit.

Par exemple, les premières questions qui viennent à l'esprit en lisant le texte ci-dessus sont:

quel réchauffement observé des eaux (par rapport au réchauffement total attendu comme à l'amplitude thermique naturelle hiver-été, jour-nuit)?
quel volume d'eau évaporé (par rapport à l'évaporation totale d'un cours d'eau)? On ne saura pas. Le Ministère n'explique pas les phénomènes, il instruit désormais un procès à charge. Il serait nettement préférable que ce même Ministère demande à la recherche académique de produire des analyses systématiques sur le régime thermique des rivières en fonction de leur fragmentation (et de la typologie de cette fragmentation)… mais en dehors de quelques études de cas rassemblées de manière un peu impressionniste dans le dernier rapport de l'Onema sur les poissons à l'heure du réchauffement climatique (voir infra), on ne dispose pas à notre connaissance de tels travaux en France. Pourtant, bien que l'enjeu soit important à tout point de vue pour l'avenir des milieux aquatiques, **ce n'est pas simple de modéliser la température d'une rivière**.

Commençons par quelques étonnants phénomènes locaux : les barrages présents sur la Dordogne diminuent jusqu'à 4°C la température de la rivière à l'aval (Lascaux et Cazeneuve 2008, cité in Baptist et al Onema 2014, p. 112). Sur l'Yonne amont, la retenue de Pannecière refroidit l'eau à l'aval, au point que les truites – espèce aimant pourtant l'eau froide – en sont perturbées (Lascaux et al. 2001, ibid). Voilà qui est curieux : **les retenues, que l'on accuse d'un effet de réchauffement, auraient-elles finalement un pouvoir rafraichissant?**

La réponse n'est pas univoque : elle s'explique par les échanges d'énergie au sein de la masse d'eau et avec son environnement. Rappelons que **les transferts de chaleur se font par radiation** (rayonnement entrant ou sortant qui apporte ou dissipe de l'énergie), par **convection** (différentiel de température et de densité des corps fluides), par **conduction** (diffusion de mélange) et par **advection** (échange de flux quand le système est ouvert) à quoi s'ajoutent le **changement d'état de l'eau** (enthalpie de vaporisation ou transfert de chaleur latente) et la **friction** (interne à l'écoulement du fluide, ainsi qu'avec le sol et les parois du chenal).

La température d'un cours d'eau est déterminée par **de multiples facteurs qui vont influencer le poids relatif de ces modes de transfert thermique.** Le schéma ci-dessous, extrait de Dallas 2008, en donne quelques-uns (les principaux, mais pas tous).

Un modèle énergétique de la rivière doit donc intégrer tout ce qui est susceptible de faire varier les transferts thermiques. Il existe différentes familles de **modèles**,

déterministes ou probabilistes (voir des revues chez Benyahya et al 2007, Caissie 2006), et ceux-ci doivent être paramétrés pour interpréter chaque système à étudier. La chose est loin d'être aisée. Par exemple, l'extension de la surface du miroir d'eau tend à augmenter le rayonnement solaire entrant dans le volume de la retenue, et donc son réchauffement. La même extension de surface tend à aussi à augmenter l'évaporation et le rayonnement infrarouge sortant, qui sont deux modes de refroidissement.

L'importance relative de ces phénomènes énergétiques et thermiques change d'une saison à l'autre. On voit par exemple dans le schéma ci-dessous (cliquer pour agrandir) les processus dominants de transfert thermique non advectifs (c'est-à-dire ne venant pas d'affluents ou de la nappe dans la zone hyporhéique de fond) selon chaque mois d'une année (extrait de Webb et al 2008), sur une petite rivière anglaise. On observe en particulier qu'en été, les rayonnements ondes courtes (solaire entrant) et l'évaporation (changement de phase, chaleur latente) jouent des rôles accrus et symétriques (en gain et perte de chaleur pour la masse d'eau concernée).

On observe de surcroît que **ce comportement thermique change au fil des mois et des années, avec une variabilité inter-annuelle parfois notable.** Le schéma ci-dessous (même source Wood et al 2008) en donnent un exemple (cliquer pour agrandir). L'analyse concerne 25 ans de suivi d'une rivière, avec comparaison de la température de l'eau à l'aval d'une retenue et plus loin dans une zone naturelle sans impact, en janvier et en juillet. On s'aperçoit pour le mois d'été que l'effet peut même changer de signe d'une année sur l'autre (et qu'il est globalement négatif, c'est-à-dire un rafraîchissement).

Les conditions locales (hydrologiques, géologiques, topologiques et même biologiques) viennent notamment compliquer les choses. Par exemple **la surface de l'eau, si elle est peuplée de macrophytes flottants (nénuphars, potamots) comme c'est le cas de certaines retenues, laissera moins pénétrer le rayonnement solaire**.

La hauteur de lame d'eau est déterminante dans le phénomène appelé **stratification thermique** : si l'eau est assez profonde (et plus encore si elle est turbide), le fond restera frais quand la surface se réchauffera (en été), phénomène dû pour une part à un **différentiel de densité** entre eau chaude et froide et pour une autre part à la **moindre pénétration du rayonnement solaire** (qui réchauffe

la couche où il transfère son énergie). Une stratification inverse s'observera en hiver. Cela explique les phénomènes de la Dordogne ou de l'Yonne évoqués plus haut : **des barrages laissent passer une eau de fond qui est nettement plus fraîche (en été) que celle de surface**, cette dernière tendant à s'homogénéiser avec la température de l'air ambiant.

Le même mécanisme peut s'appliquer à des ouvrages plus modestes de moulins ou étangs. Si l'eau passe en surverse du seuil (on parle d'un écoulement **épilimnique**), elle sera plus chaude en été. Si elle passe par une vanne guillotine ouverte au fond (ou une buse ou un moine, écoulement **hypolimnique**), elle sera plus fraîche… à condition cependant qu'il y ait une profondeur suffisante. En tout état de cause, **accuser sans nuance ni explication les seuils et retenues de réchauffer l'eau n'a pas trop d'intérêt** : tout va dépendre de la configuration locale des différents facteurs qui établissent le régime thermique de l'eau. Et il existe des cas (bien sûr plutôt rares et concernant des grands barrages vers les têtes de bassin) où le problème peut devenir un refroidissement excessif, comme indiqué.

On le voit, **les choses ne sont jamais aussi simple que ne l'affirment les adversaires des ouvrages hydrauliques**. A ces considérations sur les échanges thermiques, il faut ajouter d'autres arguments:

les **sécheresses et canicules** sont des phénomènes courants aux échelles locales (même en dehors de l'influence anthropique récente sur le climat) et si la présence des retenues et étangs devait provoquer des fortes mortalités piscicoles, celles-ci seraient observées fréquemment et sur la plupart de rivières, ce qui n'est pas le cas à notre connaissance;
même quand on constate un réchauffement sur des petits ouvrages, **cela n'implique pas une moindre diversité spécifique à l'aval**, dans les eaux réchauffées, le contraire s'observant aussi bien (par exemple les résultats de Lessard et Hayes 2003 sur 10 rivières);
dans les plaines alluviales et rivières à faible pente, les espèces de poissons sont souvent **thermophiles et ubiquistes**, elles supportent des températures élevées et l'impact halieutique reste modeste;
il existe une **hétérogénéité thermique à toutes les échelles d'espace**, y compris par exemple des différences parfois importantes (jusqu'au 7°C, Webb et al 2008 op cit) entre le cours principal et des annexes latérales, de sorte que **les zones refuge des poissons dans les périodes chaudes de la journée doivent s'apprécier localement**;

il est observé couramment (y compris par des mesures malencontreuses d'ouverture de vanne à fin supposée écologique, cf cet article) que **des poissons de toutes espèces trouvent refuge dans des biefs à eau assez profonde** (en particulier sur des rivières karstiques lorsque des canaux de dérivation ont des fonds artificiellement imperméabilisés et préservent leur hauteur d'eau);
il a été montré que **la présence ou absence de ripisylve (végétation de berge) peut faire varier de plus de 3°C** la température moyenne d'un tronçon (Clim-arbres 2012) de sorte que la baisse de température par revégétalisation des berges serait une mesure non destructive plus intéressante pour la biodiversité et la thermie que la suppression de seuils ;
l'eau potable, l'irrigation, l'industrie consomme de l'eau de surface qui n'est pas toujours restituée près du point de pompage (contrairement à l'hydro-électricité dans 90% des cas), donc **le réchauffement futur de l'eau dépend aussi de la manière dont nous serons capable de respecter les volumes estivaux**, quand il y a davantage de besoins pour les milieux et pour certains usages ;
l'adaptation aux conséquences du changement climatique est un pis-aller par rapport à l'urgence de la prévention de ses causes. Si l'on brûle tout le charbon et tous les hydrocarbures non-conventionnels des sous-sols de la planète, la question des retenues sera assez secondaire pour nos sociétés et nos milieux… Il en résulte que **l'équipement hydro-électrique des ouvrages reste dans cette première partie de XXIe siècle une stratégie bas-carbone à envisager en priorité**, en particulier en zone non-tropicale (là où le bilan carbone et climatique est excellent);
au lieu de vouloir effacer les ouvrages, il existe divers moyens d'en contrôler ou corriger les effets thermiques non désirés, voire de leur faire jouer un rôle régulateur (options de décharge épi-, méso- ou hypolimnique). Ce devrait être la première proposition du gestionnaire, mais hélas celui-ci s'est enfermé dans un programme d'effacement de soi-disant « urgence » sur des rivières classées, ce qui interdit un dialogue constructif et des expérimentations là où elles sont possibles.
Remettons donc les idées à l'endroit : **il est exact que toutes choses égales par ailleurs, une zone large, peu profonde et à faible vitesse de retenue ou d'étang aura tendance à se réchauffer plus vite qu'une zone d'eau courante, ce qui peut avoir un effet significatif en été. Mais cette situation est loin de refléter tous les cas au bord des rivières, et il arrive que les retenues aient des effets opposés de rafraîchissement de l'eau à l'aval. La profondeur de la retenue, la turbidité de son eau, la végétation de ses berges et de sa surface, le mode d'écoulement vers l'aval sont des critères importants. Le régime thermique des rivières est un phénomène complexe, et la réponse biologique à la température l'est également. Dans certaines zones, le réchauffement de l'eau affecte peu les milieux**

aquatiques et ne modifie qu'à la marge la composition des assemblages biologiques ; dans d'autres, il est localement pénalisant pour des espèces adaptées aux eaux fraîches. En situation de réchauffement climatique – dont la première cause est l'émission carbone et dont l'hydro-électricité est une forme de prévention –, il est possible de procéder à des aménagements d'ouvrages favorables au milieu (par exemple curage de retenue et écoulement hypolimnique qui va refroidir). D'autres solutions non destructives, comme la revégétalisation des berges nues, permettent aussi de diminuer sensiblement la température estivale du réseau hydrique tout en améliorant les biodiversités locales. A cela s'ajoute que les eaux plus profondes des biefs et retenues peuvent servir de refuges dans certaines conditions. Le choix d'effacement des ouvrages n'est certainement pas la réponse la plus intelligente ni la plus prudente au problème du réchauffement des eaux.