

**Etat des connaissances sur les éventuelles  
répercussions de modifications  
du régime hydrologique et de la température  
de l'eau sur l'écosystème du Rhin  
et actions envisageables**

Internationale  
Kommission zum  
Schutz des Rheins

Commission  
Internationale  
pour la Protection  
du Rhin

Internationale  
Commissie ter  
Bescherming  
van de Rijn

*Rapport n° 204*



**Editeur:**

Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Coblenz

Postfach 20 02 53, D 56002 Coblenz

Téléphone +49-(0)261-94252-0, télécopie +49-(0)261-94252-52

Courriel électronique: sekretariat@iksr.de

[www.iksr.org](http://www.iksr.org)

ISBN 3-941994-27-1978-3-941994-27-0

© IKS-CIPR-ICBR 2013

# Etat des connaissances sur les éventuelles répercussions de modifications du régime hydrologique et de la température de l'eau sur l'écosystème du Rhin et actions envisageables

<i>Introduction</i> .....	<b>3</b>
<b>1. Répercussions éventuelles du changement climatique sur les habitats aquatiques et amphibiens du bassin du Rhin</b> .....	<b>4</b>
1.1 Interactions générales.....	5
<i>Précipitations intenses, débits élevés et crues</i> .....	6
<i>Etiage</i> .....	6
<i>Température de l'eau</i> .....	7
<i>La température comme valeur indicative de sensibilité</i> .....	7
<i>L'oxygène comme valeur indicative de sensibilité</i> .....	8
1.2 Phytoplancton .....	8
1.3 Macrophytes / phytobenthos .....	11
1.4 Macrozoobenthos .....	11
1.5 Faune piscicole .....	12
<i>Apports et régime de charriage</i> .....	12
<i>Etiage</i> .....	13
<i>Température de l'eau</i> .....	13
1.6 Espèces néobiotiques .....	16
<i>Macrophytes</i> .....	16
<i>Macrozoobenthos</i> .....	17
<i>Faune piscicole</i> .....	17
<b>2. Répercussions éventuelles du changement climatique sur les habitats semi-aquatiques et terrestres du bassin du Rhin</b> .....	<b>18</b>
<b>3. Actions envisageables pour atténuer les répercussions négatives du changement climatique sur l'écosystème du Rhin</b> .....	<b>19</b>
3.1 Renforcer les écosystèmes en protégeant et en mettant en réseau les biotopes	19
3.2 Atténuer les répercussions de températures de l'eau surélevées.....	21
3.3 Réduire l'érosion des sols et les apports sédimentaires consécutifs aux précipitations intenses et aux crues .....	21
<b>4. Références aux mesures d'exploitation prises ou envisagées en réaction au changement climatique</b> .....	<b>22</b>
<b>5. Possibilités d'optimisation des bases de données du contrôle de surveillance biologique DCE à la lumière des effets attendus du changement climatique</b> .....	<b>23</b>
<b>6. Références bibliographiques</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexe 1</b> .....	<b>29</b>
<b>Annexe 2</b> .....	<b>36</b>

## **Introduction**

*Les connaissances actuelles relatives aux répercussions du changement climatique sur les habitats aquatiques et amphibies du milieu rhénan ont été regroupées dans le présent document sous forme systématique au sein du Groupe de travail 'Ecologie' de la CIPR à partir de la bibliographie disponible.*

*Il se fonde sur les principales répercussions attendues du changement climatique sur le régime hydrologique et thermique du Rhin et de ses affluents, telles qu'elles sont représentées dans l'étude bibliographique<sup>1</sup> et dans l'« étude de scénarios<sup>2</sup> » du groupe d'experts KLIMA de la CIPR. Sur les évolutions de la température, on ne dispose actuellement que des informations de l'étude bibliographique, mais des données plus récentes sont attendues en 2013.*

*Ces deux études fournissent des indications claires sur les signaux de modification climatique attendus. Cependant, ces indications sont exprimées sous forme de fourchettes de valeurs attendues à courte et à longue échéance, ce qui restreint leur exploitation à des fins écologiques. Il n'est pas possible d'indiquer les évolutions des débits extrêmes, en particulier pour les phénomènes de crue, ou uniquement dans une marge d'incertitude très large.*

*Le présent rapport s'articule autour des groupes biotopiques exposés dans l'Atlas de la « mise en réseau des biotopes sur le Rhin<sup>3</sup> » ainsi que des éléments de qualité biologiques définis par la DCE.*

*Les travaux du Groupe de travail 'Ecologie' portent sur une description des interactions générales, et plus particulièrement sur les impacts attendus sur les quatre éléments de qualité biologique que sont le phytoplancton, le complexe macrophytes/phytobenthos, le macrozoobenthos et la faune piscicole. Un chapitre à part est consacré aux espèces néobiotiques.*

*A titre complémentaire, un chapitre est également dédié aux habitats semi-aquatiques et terrestres.*

*Un rôle clé est ici attribué à la détermination de « valeurs indicatives de sensibilité » dont l'atteinte est considérée comme un signal d'impact sur les biens à protéger<sup>4</sup>.*

*Conformément au mandat du Groupe de travail 'Ecologie', une attention particulière doit être accordée à la mise au point d'une position commune sur les impacts des modifications de température sur les biocénoses.*

*Enfin, des actions envisageables pour atténuer les répercussions négatives du changement climatique sont déjà mises en avant. Il est clair que les mesures susceptibles de renforcer les écosystèmes en protégeant, étendant et mettant en réseau les biotopes et en promouvant ainsi la biodiversité sont fondamentalement positives et doivent être encouragées sous l'angle d'une stratégie de lutte contre les impacts du changement climatique. La mise en œuvre du « réseau de biotopes sur le Rhin » revêt une importance croissante dans le contexte d'une atténuation des répercussions du changement climatique.*

*Des références aux mesures des utilisateurs de la ressource en eau - en réaction au changement climatique - et aux possibilités d'améliorer les bases de données viennent compléter l'ensemble.*

---

<sup>1</sup> CIPR 2009a

<sup>2</sup> CIPR 2011

<sup>3</sup> CIPR 2006

<sup>4</sup> Les biens à protéger en relation avec la gestion des eaux, qui sont susceptibles d'être touchés par le changement climatique, sont les suivants : prévention des inondations, qualité des eaux, différents usages de l'eau comme l'approvisionnement en eau potable, l'hydroélectricité, la navigation et la mise à disposition d'eaux de refroidissement. On entend par biens à protéger sous l'angle écologique les biocénoses animales et végétales, les types biotopiques / habitats ainsi que le fonctionnement des écosystèmes.

## 1. Répercussions éventuelles du changement climatique sur les habitats aquatiques et amphibies du bassin du Rhin

Ajouté aux pressions des multiples usages anthropiques existants<sup>5</sup>, le changement climatique constitue un facteur supplémentaire de stress pour la plupart des organismes des écosystèmes aquatiques. Cette remarque vaut notamment pour le bassin du Rhin caractérisé par une densité élevée de population, une forte industrialisation et une exploitation agricole intensive.

Globalement, on considère que les modifications des conditions écologiques mettent particulièrement en péril :

- les espèces rares ;
- les espèces implantées dans des habitats de petite ou de moyenne superficie ;
- les espèces endémiques présentes dans une région particulière et précisément délimitée ;
- Les espèces sténobiotiques ou sténotopes, qui ne supportent que les faibles variations des facteurs écologiques.

Les marécages, forêts, pelouses sèches et zones de bruyère, de même que les sources, les berges et les habitats littoraux comptent parmi les biotopes les plus sensibles au changement climatique<sup>6</sup>.



**Fig. 1: Pelouse maigre de la réserve de Taubergießen (photo : Regierungspräsidium Freiburg)**

La vulnérabilité (le risque de dégradation) d'un écosystème dépend de l'intensité du changement climatique dans une région donnée et de la capacité d'adaptation de l'écosystème et/ou des espèces en présence.

Les écosystèmes des régions suivantes du bassin du Rhin sont les plus vulnérables :

- Les conditions de vie des organismes implantés dans le fossé du Rhin supérieur vont vraisemblablement changer sous l'impact de températures plus élevées, de crues plus fréquentes, de précipitations intenses et d'un décalage des précipitations estivales vers l'hiver.
- On s'attend à ce que le changement climatique soit particulièrement prononcé dans les Alpes et qu'il affecte un nombre important d'espèces animales et végétales endémiques vivant en partie dans des sites microclimatiques spécifiques et ne disposant pratiquement pas d'issue de secours.

Les hautes terres centrales sont les moins vulnérables en raison de leur climat plus frais et plus humide<sup>7</sup>, mais les estimations sont plus négatives pour certaines zones humides et petites rivières, de même que pour quelques espèces adaptées aux conditions météorologiques fraîches et humides (voir ci-dessous).

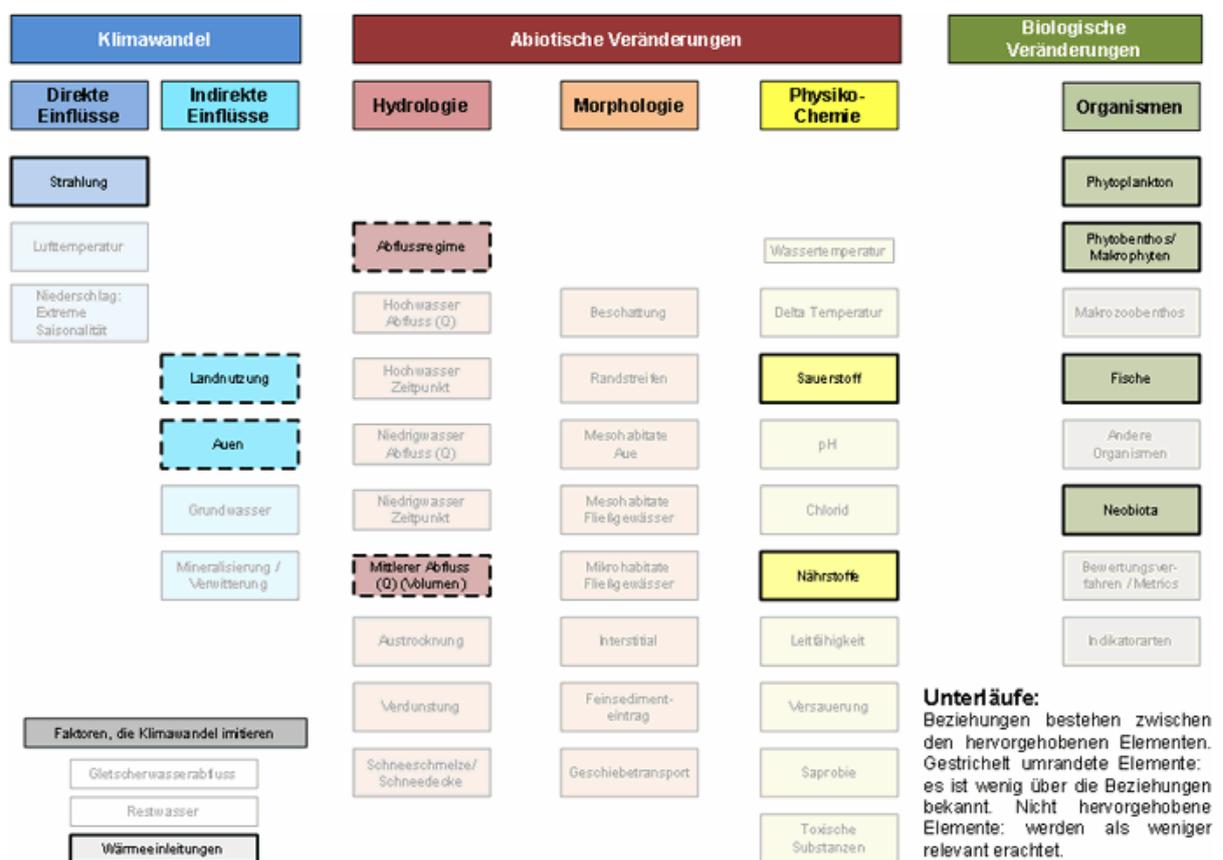
<sup>5</sup> Différents auteurs dans RABITSCH et al. 2010

<sup>6</sup> RABITSCH et al. 2010

<sup>7</sup> ZEBISCH et al. 2005

Les modifications directes et indirectes des facteurs abiotiques et les impacts du changement climatique sur les organismes ou groupes d'organismes ont été rassemblées dans le cadre du projet KLIWA<sup>8</sup>. En raison de la grande diversité de facteurs et usages multi-actifs dans les grands bassins, les interactions en présence dans les parties aval des cours d'eau sont plus complexes que dans les parties moyennes ou amont. Le cours principal du Rhin entre en grande partie dans la catégorie « cours inférieur d'une rivière ». Il est souvent difficile d'identifier ici des réactions nettes dans une direction donnée (renforcement ou affaiblissement), les études faisant fréquemment apparaître des phénomènes opposés. Les effets directs du changement climatique, les hausses de température par ex., sont moins marquants que d'autres facteurs (par ex. les concentrations de substances) ou les usages anthropiques. A l'opposé des cours moyens et amont, l'éventuel manque d'oxygène est un facteur important dans les tronçons régulés.

La figure 2 montre quels sont les paramètres touchés pour ce type de cours d'eau.



**Fig. 2 : Facteurs abiotiques et groupes d'organismes du cours inférieur d'un fleuve sur lesquels un impact du changement climatique est concevable.**

Des relations existent entre les éléments mis en relief. Eléments dans un cadre en tirets : relations peu connues. Eléments en arrière-plan : pertinence jugée secondaire. Source : <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de> – Légende de la figure 1 : voir annexe 2.

### 1.1 Interactions générales

Les crués et les étiages, ressentis par les hommes comme des événements perturbateurs ou catastrophiques, sont des phénomènes naturels caractéristiques des écosystèmes

<sup>8</sup> KLIWA 2010, <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de>

fluviaux et essentiels pour leur fonctionnement. Les variations dynamiques de niveau d'eau offrent régulièrement aux organismes vivant dans l'eau et dans ses alentours de nouvelles opportunités de colonisation et d'extension et de nombreuses espèces ont développé des stratégies d'adaptation pour survivre à ces fluctuations. Cependant, les impacts sur les organismes de niveaux de crues extrêmes plus fréquents, phénomène constaté récemment, restent encore peu analysés et leurs répercussions pourraient avoir une grande portée. Etant donné que les biocénoses des grands fleuves nécessitent 1 à 2 ans pour se régénérer, une augmentation de la fréquence et de la durée d'états de crue et d'étiage peut amener à modifier à moyen ou long terme les formes de colonisation du milieu aquatique<sup>9</sup>.

Il convient également de réévaluer les effets d'une hausse prolongée, voire même durable de la température de l'eau, car ce critère règle de nombreux processus vitaux dans les organismes (voir ci-après).

### ***Précipitations intenses, débits élevés et crues***

En situation de débit élevé et de crue, de même qu'en phase de précipitations intenses suivies de processus d'érosion et de ruissellement, des quantités importantes de nutriments, sels et polluants se déversent dans les rivières. En relation avec des températures élevées, ces apports peuvent stimuler la dégradation microbienne et faire ainsi augmenter la consommation d'oxygène dans les eaux, notamment en aval des stations d'épuration<sup>10</sup>.

Si la fonte des neiges démarre plus tôt, les apports de sédiments et de nutriments issus des surfaces labourées encore dépourvues de cultures au tout début du printemps peuvent se déverser en très grandes quantités dans les eaux. Il en résulte une augmentation du débit solide et des répercussions conséquentes sur tous les organismes sessiles à différents stades de croissance (macrophytes, phytobenthos, macrozoobenthos, frai de poissons). Par ailleurs, il peut arriver que des sédiments fins colmatent les habitats interstitiels dans le lit fluvial, ce qui se traduit par une carence d'oxygène.

La hausse des débits pourrait avoir éventuellement pour effet positif d'agrandir (temporairement) les habitats aquatiques et semi-aquatiques, là où existe une connexion entre le fleuve et le champ alluvial. La dynamique fluviale pourrait ainsi favoriser le développement de biotopes aquatiques tels que les marécages, les roselières et la végétation de hautes herbes, les prairies permanentes et les forêts alluviales ainsi que la dissémination de semences végétales. Si les crues de petite à moyenne amplitude survenaient plus souvent, les inondations écologiques d'espaces de rétention des crues pourraient, sous certaines conditions, avoir lieu plus fréquemment.

### ***Etiage***

En période d'étiage, les surfaces asséchées en bordure des fleuves gagnent du terrain et donnent naissance, quand la morphologie des berges le permet, à de nouveaux biotopes et à des annexes hydrauliques séparés du cours principal. Dans le même temps, le volume et la surface de l'espace en eau se rétrécissent.

Sur les berges, les bancs graveleux exempts de végétation sont utilisés comme site de couvaison par les oiseaux tels que le petit gravelot et le chevalier guignette et comme biotope d'alimentation par les carabidés et les arachnides. Les organismes aquatiques mobiles suivent l'abaissement de la ligne d'eau pendant que les organismes sessiles doivent surmonter la phase de sécheresse, par ex. en constituant des stades durables de survie. Dans la masse d'eau subsistante au milieu du fleuve, le nombre d'espèces et la densité d'individus (par m<sup>2</sup>) augmentent. La vitesse du courant y étant plus rapide que dans les habitats asséchés à proximité des berges, de nombreux organismes sont exposés au risque de dérive.

---

<sup>9</sup> KOOP et al. 2007

<sup>10</sup> KOOP et al. 2007



**Fig. 3: Schalen der Körbchenmuschel (Corbicula) am Ufer der Rheins bei Oberwesel am 24. August 2003 (Foto: W. Wiechmann, BfG)**

Un assèchement total des eaux courantes et calmes entraîne immédiatement la mort et la perte d'habitat pour les organismes y vivant.

Les étiages peuvent provoquer des effets de concentration des pressions chimiques. Les organismes sensibles peuvent en être endommagés. Les phases d'étiage peuvent en outre favoriser la concentration d'agents pathogènes, en particulier quand la température et la consommation d'oxygène augmentent parallèlement à la baisse du volume d'eau (voir plus bas).

### **Température de l'eau**

Pour la faune et la flore, la température est un des principaux facteurs environnementaux car elle règle entre autres la reproduction, la croissance, le développement et la migration. Les organismes à sang froid (poïkilothermes) tels que les poissons et les macroinvertébrés, qui ne contrôlent pas leur température corporelle mais l'adaptent constamment au milieu ambiant, sont particulièrement touchés.

Des températures de l'eau en hausse peuvent modifier la composition des espèces et les structures de domination le long des fleuves. Les sténothermes froids, c'est-à-dire les espèces dépendantes de basses températures, sont particulièrement vulnérables. Leurs aires d'implantation peuvent se décaler vers le nord ou vers des zones fluviales plus en altitude. Les espèces eurythermes, qui peuvent supporter de vastes amplitudes thermiques, et les espèces thermophiles, parmi elles de nombreux néozoaires, que l'on rencontrait plutôt jusqu'à présent dans les zones d'embouchure, voient leurs conditions de vie améliorées et peuvent coloniser les cours fluviaux vers l'amont. Cette remarque s'applique ici notamment au macrozoobenthos et aux poissons et, dans une certaine mesure, aux macrophytes.

Les températures élevées ont en outre pour effet d'accélérer les fonctions métabolites. Quand la température augmente de 10°C, la consommation d'énergie du métabolisme basal double (règle Q10). Si la nourriture est insuffisante, le système immunitaire s'affaiblit. Par ailleurs, la propagation d'agents pathogènes, de parasites, etc. est favorisée.<sup>11</sup>

Dans le cours inférieur des grands fleuves notamment, les éléments végétaux (phytoplancton, macrophytes et phytobenthos) sont également touchés par le rayonnement solaire plus intensif.

### **La température comme valeur indicative de sensibilité**

Les plages de températures moyennes et maximales sont les plus significatives. On dispose d'une documentation étendue sur les plages de température d'eau appréciées par la faune piscicole. Il convient de distinguer entre autres les paramètres suivants : Les limites critiques de température (CTMax oder CTMin) sont atteintes quand un poisson n'est plus capable de s'échapper du milieu où dominent des températures mortelles. Dans les marges critiques supérieures ou inférieures, on relève un net changement de comportement dû à la température. On fait par ex. une distinction entre une température entraînant la fuite du poisson, une température provoquant sa désorientation ou une

<sup>11</sup> KOOP et al. 2007, RABITSCH et al. 2010

température constituant une perturbation. Dans une fourchette de température optimale, les poissons s'alimentent et aucun comportement anormal n'est observé. La température privilégiée est la plage de température correspondant au gradient de température dans lequel évolue le poisson.<sup>12</sup>

La directive communautaire<sup>13</sup> fixe comme températures à ne pas dépasser 21,5°C pour les eaux salmonicoles (= rivières à poissons sténothermes froids/salmonidés) et 28°C pour les eaux cyprinicoles (rivières à poissons thermophiles/cyprinidés). La température des rivières de reproduction des poissons requérant un milieu frais ne doit pas dépasser 10°C en période de frai. Un dépassement temporaire de cette température est concevable dans 2% des cas.

En plus des températures maximales, la durée d'une période caniculaire est déterminante pour la survie des organismes. A l'été 2003, on a ainsi observé une mortalité massive de bivalves et d'anguilles quand la température du cours principal du Rhin est restée supérieure à 25°C pendant 41 jours. En revanche, cette destruction à grande échelle n'a pas eu lieu en 2006 après une période de canicule de 31 jours.<sup>14</sup>

Les débits sortants des grands lacs, dont les eaux se réchauffent plus fortement que les eaux courantes, sont particulièrement sensibles aux hausses de température. On rappellera dans ce contexte qu'env. 50.000 ombres (20,9 tonnes de poissons) ont ainsi été décimés dans le tronçon du Rhin directement en aval du lac de Constance sous l'effet des températures caniculaires de l'été 2003. Le 12 août 2003, une température de 25,9 °C a été mesurée à Stein am Rhein à une profondeur de 4 mètres et l'eau des rives affichait plus de 27 °C<sup>15</sup>.

### ***L'oxygène comme valeur indicative de sensibilité***

La concentration en oxygène dans l'eau est normalement comprise entre au moins 6 mg/l et 9 mg/l.

Si le milieu fluvial subit une pollution organique, la consommation d'oxygène peut fortement augmenter, notamment en période de températures élevées. Si la concentration d'oxygène descend au-dessous de 4 mg/l dans les rivières à cyprinidés ou de 6 mg/l dans les rivières à salmonidés, une limite critique est atteinte pour la faune piscicole de ces cours d'eau.<sup>16</sup> Même si les températures restent basses, la plupart des poissons ne peuvent pas survivre dans des conditions d'oxygénation < 3 mg/l.<sup>17</sup>

## **1.2 Phytoplancton**

Une amélioration des conditions de vie du phytoplancton – ralentissement du courant, hausse des teneurs en nutriments et des températures sur une période plus longue de l'année - signifie généralement un abaissement de la qualité écologique d'un cours d'eau. En particulier dans les eaux calmes, une croissance accrue du phytoplancton se traduit tout d'abord par une sursaturation d'oxygène puis par des processus de dégradation consommateurs d'oxygène accompagnés d'une réduction d'activité des organismes filtreurs, c'est-à-dire des espèces planctophages comme par ex. la palourde asiatique du genre *Corbicula* et la dreissène polymorphe du genre *dreissena*, ce qui renforce à nouveau la croissance planctonique.<sup>18</sup>

Dans la plupart des cas, les modélisations pronostiquent une augmentation des concentrations de chlorophylle due aux faibles débits, aux hausses de température et aux processus d'eutrophisation.<sup>19</sup>

<sup>12</sup> KÜTTEL et al. 2002, voir également le tableau 1 en annexe

<sup>13</sup> Directive 2006/44/CEE du Conseil du 6 septembre 2006 concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons.

<sup>14</sup> KOOP et al. 2007

<sup>15</sup> OFEFP 2004

<sup>16</sup> Cf. directive 2006/44/CEE du Conseil du 6 septembre 2006 concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons.

<sup>17</sup> Tiré de KOOP et al. 2007: CASSELMANN & HARVEY 1975

<sup>18</sup> CIPR 2009e

<sup>19</sup> Tiré de KLIWA 2010 : ZEBISCH et al. 2005; WAGENSCHNEIDER 2006, STADTHAGEN 2007, DUCHARNE et al. 2007, QUIEL et al. 2008

Une expérience a cependant montré qu'une hausse de température pouvait avoir un effet négatif sur la biomasse phytoplanctonique, la taille moyenne des cellules et le pourcentage de diatomées microplanctoniques, laissant supposer un transfert d'énergie plus faible des producteurs primaires vers les poissons sur toute la chaîne alimentaire.<sup>20</sup>

On a observé, entre autres dans le Rhin, pendant une phase de sécheresse accompagnée d'une hausse des températures de l'eau, lors de l'été 2003 par ex., une forte augmentation du phytoplancton et des macrophytes<sup>21</sup>, surtout des diatomées. Il en résulte une prolifération herbeuse dans les eaux et un risque de forte augmentation des cyanobactéries.<sup>22</sup>

Parallèlement à l'impact de la formation algale sur le régime d'oxygène des eaux (voir plus haut), une forte croissance des algues peut provoquer une « décalcification biogène ». L'eau prend une couleur laiteuse et de la mousse se forme sous l'effet des déjections calcaires des algues, comme on a pu l'observer en 2003 sur le haut Rhin.

Lorsque les pH sont élevés, l'ammonium se transforme progressivement en ammoniac, substance toxique pour les poissons.<sup>23</sup>

Le modèle sur la qualité des eaux QSim (*Quality Simulation*) de la BfG permet de simuler le développement planctonique, notamment celui des algues, et d'estimer la qualité des eaux et les flux de MES organiques. Au fil des perfectionnements de cet outil, il devrait fournir des prévisions plus réalistes, également pour le Rhin.<sup>24</sup>



**Fig. 4: Différents aspects de l'eau soumise à des proliférations de cyanobactéries. (Source: M. Leitão, Guide pratique des Cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France)**

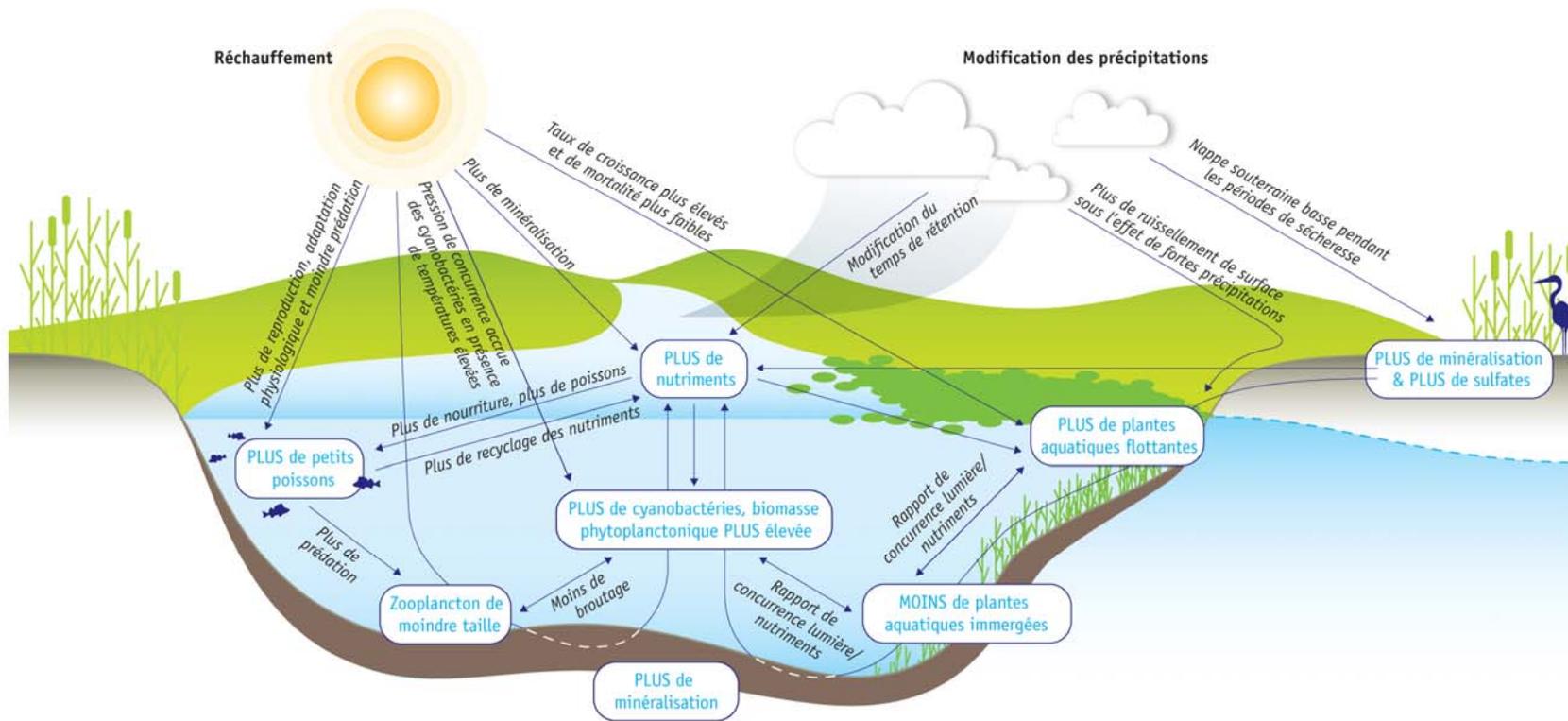
<sup>20</sup> Tiré de KLIWA 2010 : SOMMER & LENGFELLNER 2008

<sup>21</sup> Bundesanstalt für Gewässerkunde 2006

<sup>22</sup> CIPR 2004

<sup>23</sup> OFEFP 2004

<sup>24</sup> Tiré de KLIWA 2010 : KIRCHESCH & SCHÖL 1999



**Figure 5 : Principaux effets du changement climatique.** Présentation schématique des principaux effets du changement climatique sur l'eutrophisation et sur les effets de l'eutrophisation. Source : STOWA 2011, tiré de Moss et al. 2011 (International Society for Limnology).

### 1.3 Macrophytes / phytobenthos

Le régime hydrologique et le charriage qui y est lié ont un impact majeur sur la croissance macrophytologique. En phase de crue notamment, les sédiments sont fortement brassés, ce qui a des répercussions négatives autant sur le phytobenthos que sur les macrophytes. Certaines espèces macrophytologiques (par ex. la renoncule flottante *Ranunculus fluitans*) sont susceptibles de profiter des apports diffus de nutriments (par ex. lors de précipitations intenses) et de l'eutrophisation croissante qu'ils entraînent et de provoquer une surproduction herbeuse dans le milieu aquatique. Ce phénomène est souvent lié à une baisse de qualité écologique. En relation avec des températures élevées et un rayonnement intense, il peut se produire un développement rapide de la biomasse phytobenthologique et macrophytologique suivie d'une dégradation aussi rapide. Le dépérissement et la décomposition des matériaux organiques entraînent alors une baisse des teneurs en oxygène dans les interstices du lit mineur (« colmatage biogénique » ; cf. « faune piscicole »)<sup>25</sup>.

Les espèces végétales sténothermes froides vivant dans les petites rivières riches en sédiments fins, les sources et les lacs de montagne seraient les premières à être touchées par une hausse des températures et cet impact pourrait se traduire par un recul d'espèces rares. On citera ici la montie des fontaines (*Montia fontana*), la dorine à feuilles opposées (*Chrysosplenium oppositifolium*) et le potamot alpin (*Potamogeton alpinus*).<sup>26</sup>

### 1.4 Macrozoobenthos

Le changement climatique a principalement un effet négatif sur le macrozoobenthos. Une étude réalisée sur des affluents du Rhin moyen (Wisper, Gründelbach, Nette, Saynbach, Ahr) a montré que l'effet de remous des crues du Rhin ralentissait le courant sur le cours inférieur des affluents et que la réduction de la force d'entraînement de l'eau faisait augmenter la sédimentation. Il résulte de ces perturbations une biodiversité macrozoobenthologique moins riche que dans les zones plus en amont et une autre structure de domination : le pourcentage d'espèces rhéophiles diminue. Dans les semaines suivant une crue du Rhin, le pourcentage d'espèces rhéophiles augmente à nouveau dans l'affluent ; la biocénose qui s'y redéveloppe se démarque sensiblement de celle du Rhin.<sup>27</sup> Si la fréquence des crues du Rhin augmente, la période de récupération peut être plus courte, ce qui appauvrit durablement la biocénose.

Certaines espèces locales dominantes peuvent régresser quand les substrats se dessèchent en phase d'étiage. La plupart des macroinvertébrés sont capables de supporter sans effort des variations de la ligne d'eau quand elles ne dépassent pas 40 à 50 cm par heure. Seules des crues extrêmes se répercutent sur les biocénoses. On a déjà relevé des déplacements importants de macroinvertébrés vers les débouchés des affluents, ce qui leur permet d'éviter les effets de concentration et les températures plus élevées de l'eau.<sup>28</sup>

Une hausse de température touchera en particulier le macrozoobenthos des ruisseaux, des petites rivières et des zones de sources montagneuses, et parmi elles de nombreuses espèces sténothermes froides. Il en résulte alors un décalage des biocénoses le long du cours fluvial avec le risque pour les sténothermes de tomber dans un « cul de sac » dès lors que toute fuite plus en amont devient impossible (voir également 'faune piscicole').<sup>29</sup> On citera ici à titre d'exemples :

- différents gastéropodes d'eaux de source (*Bythinella* spp.),
- la pisidie des sources (*Pisidium personatum*),

<sup>25</sup> IBISCH 2004

<sup>26</sup> MKUNLV 2010

<sup>27</sup> Tiré de KLIWA 2010 : BECKMANN 2002

<sup>28</sup> KLIWA 2010

<sup>29</sup> Tiré de KLIWA 2010 : CORDELLIER 2009, LORENZ & GRAF 2008; auteurs divers dans WWF 2009

- plusieurs espèces d'odonates, par ex. le cordulégastré bidenté (*Cordulegaster bidentata*), l'aeschné azurée (*Aeshna caerulea*), l'aeschné subarctique (*Aeshna subarctica elisabethae*) et la cordulie des Alpes (*Somatochlora alpestris*),
- de nombreux plécoptères,
- un nombre important de trichoptères par ex. *Agapetus fuscipes*,<sup>30</sup>

L'effet secondaire de la régression d'espèces importantes de brouteurs, comme par ex. *A. fuscipes*, dans les petits ruisseaux serait la formation d'un biofilm plus épais et de couches algales sur les pierres (cf. macrophytes/phytobenthos).

On trouve ainsi surtout dans les Alpes calcaires un nombre élevé d'espèces invertébrées endémiques qu'une hausse de température pourrait mettre en péril.

On peut également attendre une mortalité importante de bivalves si la température atteint des niveaux extrêmes, comme au cours de l'été 2003.<sup>31</sup>

Le changement climatique pourrait être favorable par ex. aux chironomides, aux gammaires ou aux espèces thermophiles comme le gastéropode *Physella acuta* ou d'autres néozoaires qui font en partie concurrence aux espèces indigènes (voir 'néobiotes'). On suppose que la propagation de ces espèces aura généralement pour conséquence une dégradation de l'état écologique tel que défini par la DCE.<sup>32</sup>

Une hausse des températures de l'eau en hiver peut se traduire par l'interruption précoce d'une phase de repos ou modifier des périodes de développement<sup>33</sup>.

On relève en outre sur certaines espèces un voltinisme plus prononcé, c'est-à-dire une reproduction plus fréquente donnant lieu à plusieurs générations par an.<sup>34</sup>

## 1.5 Faune piscicole



**Fig. 2: Saumon mâle (photo Ulrich Haufe, LÖBF)**

### ***Apports et régime de charriage***

L'apport de matériaux fins, par ex. lors de fortes précipitations, peut colmater les interstices des fonds graveleux des rivières dans lesquels les poissons frayant sur le gravier (entre autres le saumon et la truite) déposent leurs œufs et dans lesquels les alevins demeurent après l'éclosion, et avoir pour effet de réduire la concentration en oxygène des eaux interstitielles.<sup>35</sup> Une baisse de qualité de l'eau due aux apports diffus peut en outre avoir des effets néfastes sur le frai et les juvéniles.

<sup>30</sup> MKUNLV 2010, RABITSCH et al. 2010

<sup>31</sup> Tiré de KLIWA 2010 : LUBW 2004

<sup>32</sup> DAUFRESNE et al. 2007, Groß 2003, LUBW 2004 et SCHÖLL 2007 dans KLIWA 2010

<sup>33</sup> MEHLIG & ROSENBAUM-MERTENS 2008, FISCHER 2003, LADEWIG 2004 dans KLIWA 2010

<sup>34</sup> Tiré de KLIWA 2010 : BRAUNE et al. 2008

<sup>35</sup> MKUNLV 2010, IBISCH 2004

Le transport de matériaux solides est un phénomène hydrologique naturel qui restructure en permanence le lit fluvial et l'alimente en oxygène. Toutefois, la période et la fréquence sont des facteurs décisifs qui pourraient varier avec le changement climatique.

La fonte des glaciers et du permafrost dans les Alpes libère des éboulis, ce qui devrait se traduire à l'avenir par un charriage plus important de gravier et de sable dans de nombreux fleuves de montagne. La conséquence en est un transport accru de matériaux solides. S'il y a lieu en hiver pendant la période de reproduction et d'éclosion des œufs des truites de rivière, poissons frayant sur le gravier, il peut endommager le frai et les juvéniles<sup>36</sup>.

### ***Etiage***

Les faibles débits sont en général défavorables à la migration piscicole. Si une phase d'étiage dure trop longtemps, les poissons migrateurs ne peuvent respecter la fenêtre de temps qui leur est accordée pour atteindre leurs rivières frayères et ils sont alors contraints de frayer dans des habitats moins adéquats. En outre, ils s'exposent à un risque de mortalité plus élevé dû à la pêche ou à la prédation.

Une baisse de débit pourrait faire chuter la biodiversité piscicole de 4% à 22% (et au maximum de 75%) d'ici 2070.<sup>37</sup>

Les périodes de sécheresse, notamment lorsqu'elles sont accompagnées de températures élevées de l'eau, peuvent accroître la mortalité piscicole et les maladies (voir ci-dessous).



**Fig. 3: Niedrigwasser 2009 am Rhein (Foto: Marc Braun)**

### ***Température de l'eau***

Par rapport aux cyprinidés, poissons supportant généralement bien les variations de température, les salmonidés sont peu tolérants à ces variations (voir tab. 1 en annexe). Les valeurs telles que la température maximale critique et la fourchette optimale (voir ci-dessus) varient selon les stades de vie et sont plus strictes pour les œufs et les juvéniles que pour les poissons adultes. En revanche, ces derniers nécessitent des conditions particulières de température de l'eau pendant la période de frai. Pour le développement des poissons, le nombre de jours successifs où règne une température de l'eau donnée est déterminant.<sup>38</sup>

Il existe par ailleurs une adaptation régionale des peuplements piscicoles appartenant à une espèce. Selon les prévisions, les températures d'eau élevées et les étiages constitueront uniquement un risque pour les truites par ex. (*Salmo trutta*, plusieurs sous-espèces dans le bassin du Rhin) vivant dans le sud de l'Europe, Alpes comprises.<sup>39</sup> Les

<sup>36</sup> Projet en cours SEDRIVER, <http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/wildbaeche/projekte/sedriver/>

<sup>37</sup> Tiré de KLIWA 2010 : XENOPOLOUS et al. 2005

<sup>38</sup> TISSON & SOUCHON 2010

<sup>39</sup> EUROLIMPACS, NOTTER & STAUB 2009 ; voir aussi fig. 2

œufs, embryons et juvéniles de truites vivant en milieu alpin (et éventuellement dans les rivières de massifs moyens) sont susceptibles de mieux supporter des températures hivernales plus élevées que les truites de rivière adultes, mais uniquement jusqu'à un certain degré de réchauffement. Les populations de truites de rivière adaptées aux conditions locales peuvent tolérer des températures en hausse et assurer ainsi la survie de l'espèce. De telles capacités de tolérance ne sont pas physiologiques mais résultent d'une adaptation du cycle de vie, par ex. d'un décalage de la période de frai.

Si la période de frai des poissons intervenait plus tôt du fait des hivers doux, des petits poissons zooplanctonivores seraient présents dans la chaîne alimentaire sur une période plus longue de l'année<sup>40</sup>.

Les truites étant des prédateurs importants des macroinvertébrés, leur recul toucherait toute la chaîne alimentaire aquatique.<sup>41</sup>

### ***Répartition des biocénoses piscicoles sur le profil longitudinal***

Dans les massifs moyens et les Alpes, la subordination de processus biologiques aux températures se traduit par un net zonage longitudinal des biocénoses piscicoles depuis la source jusqu'à l'embouchure. On fait ainsi la distinction entre région à truites, région à ombres, région à barbeaux et région à brèmes. Cette subdivision est fonction de l'augmentation progressive de la température de l'eau et de l'atténuation de la pente d'un fleuve de sa source jusqu'à son embouchure. Ainsi, les salmonidés sont généralement localisés dans les cours supérieurs et les cyprinidés se limitent aux cours inférieurs.

La hausse des températures de l'eau donne lieu à une extension de l'habitat des poissons d'eaux plus chaudes comme le barbeau, la brème, l'ablette, la loche franche et le chevesne. Ils peuvent se propager vers l'amont et peuvent, dans certaines conditions, profiter du changement climatique.

Les saumons en revanche, adaptés aux rivières fraîches, sont refoulés et contraints de migrer vers des cours d'eau situés à plus grande altitude pour éviter les températures critiques.<sup>42</sup> Dans un modèle mis au point pour une rivière alpine (Mur, bassin du Danube), on a pronostiqué un décalage de la région à salmonidés de 27 km vers la source pour une hausse de la température de l'eau d'env. 1 °C. Il résulte d'une modélisation pour le Rhin supérieur une régression de la truite fario et une augmentation simultanée du chevesne.<sup>43</sup> La température de l'eau n'a augmenté que de 1,5°C au cours des 30 dernières années dans le cours supérieur du Rhône (en aval du lac Léman), mais cette évolution a eu un impact plus prononcé que celui de la hausse de 3,0°C relevée dans le cours inférieur, là où les espèces thermophiles étaient déjà dominantes. Quelques espèces de cyprinidés rhéophiles ont régressé vers les régions de plus haute altitude.<sup>44</sup>

Les poissons ne peuvent toutefois migrer vers des zones plus élevées que si les tronçons plus en amont sont accessibles et morphologiquement adaptés. La plupart des affluents montagneux du Rhin étant fortement fragmentés par des ouvrages transversaux et le décalage pronostiqué des biocénoses piscicoles vers des zones de plus haute altitude étant donc illusoire dans la plupart des cas, il est concevable qu'une hausse de température se traduise par l'extinction de certaines espèces à l'échelle locale (voir tab. 1 en annexe). Par ailleurs, de nombreuses espèces des cours fluviaux moyens et inférieurs (hyporhithral et épipotamal) ne sont pas adaptées aux vitesses d'écoulement élevées des cours supérieurs on doute donc qu'elles puissent compenser ces « trous » dans l'éventail des espèces ou que les peuplements piscicoles restent stables dans le cours supérieur des rivières.

---

<sup>40</sup> STOWA 2011

<sup>41</sup> EUROLIMPACS 2009

<sup>42</sup> RABITSCH et al. 2010

<sup>43</sup> PONT 2003

<sup>44</sup> KHALANSKI et al. 2008

Les populations typiques des cours fluviaux moyens et inférieurs frais à moyennement chauds en été (hyporhithral et épipotamal) tendront à s'uniformiser sous l'effet de l'immigration d'espèces similaires.<sup>45</sup>

La biodiversité va augmenter dans les populations sources par l'arrivée d'espèces venues de tronçons fluviaux situés plus en aval, mais certaines espèces sources locales sont susceptibles de disparaître en raison de la concurrence plus vive, car elles ne peuvent se décaler vers l'amont et sont alors éventuellement touchées par l'assèchement (temporaire) des sources.



**Figure 8 : Aire de distribution possible de la truite de rivière en Suisse en 2050** selon un modèle de L'OFEV partant de l'hypothèse d'une hausse de température de 5,5°C ; un tel scénario mènerait à une réduction de 44% de l'habitat optimal des truites de rivière par rapport à la superficie actuelle (dans d'autres scénarios, la réduction est d'au moins 6%). Ceci signifierait que la truite fario disparaîtrait pratiquement du Mittelland suisse. Bleu : tronçons fluviaux dans lesquels peuvent vivre les truites de rivière. Violet : tronçons fluviaux trop chauds pour les truites de rivière. Source : NOTTER & STAUB 2009

Tout comme le saumon, l'**éperlan** a une nageoire adipeuse et est un poisson migrateur qui a besoin d'eau fraîche bien oxygénée pour frayer. Dans certains lacs où l'éperlan est présent, l'IJsselmeer entre autres, le taux d'oxygénation a évolué du fait du changement climatique et de la pression organique (eutrophisation). Lorsque les températures sont élevées, le taux d'oxygène peut baisser (sur une courte durée) à un niveau létal pour l'éperlan. Les peuplements de corégones et de lottes de rivières également ont fortement diminué pour cette raison. Cette régression des peuplements n'est pas compensée par des espèces tolérant mieux les températures plus élevées et de faibles concentrations d'oxygène, de sorte que les peuplements piscicoles diminuent globalement du fait de la perte des espèces sténothermes. Ces relations de cause à effet n'ont pas été observées dans les rivières du fait de la meilleure oxygénation des eaux courantes.<sup>46</sup>

### **Migration piscicole**

On peut s'attendre à ce que les poissons migrateurs s'adaptent en partie à la plus grande variabilité des précipitations et des débits, car on sait qu'ils profitent de conditions de débit avantageuses pour lancer leur migration et qu'ils restent en attente quand ces conditions sont défavorables.

Des précipitations intenses sur de petits bassins et des débits plus élevés dans toutes les rivières, quelle que soit leur taille, peuvent parfois créer des conditions temporaires et locales plus avantageuses pour la migration piscicole.

Des tronçons aux eaux trop chaudes peuvent devenir des barrières thermiques pour les espèces migratrices (par ex. saumons, truites de mer et grandes aloses) migrant de la mer vers leurs affluents frayères. Les salmonidés migrateurs doivent traverser les

<sup>45</sup> Tiré de KLIWA 2010 : BUISSON & GRENOUILLET 2009

<sup>46</sup> Voir KANGUR et al., diverses publications ; LAMMENS (RWS), communication orale

grandes rivières cyprinicoles (notamment le cours principal du Rhin, la Moselle, le Main) pour atteindre rejoindre leurs rivières de reproduction aux eaux plus fraîches (métarhtral à épipotamal). On a pu constater entre autres lors d'études avec transpondeurs dans le Rhin que les salmonidés adultes qui remontent les rivières interrompent leur migration lorsque les températures atteignent 25°C, ce qui peut être vu comme un facteur de stress et une réduction de la fenêtre de temps qu'ont les géniteurs pour frayer.<sup>47</sup> Des températures de l'eau élevées, comme celles mesurées lors de la canicule de l'été 2003 où elles ont dépassé les 27 °C dans le Rhin et ont frôlé les 28°C dans certains affluents (par ex. la Sieg) pendant 6 semaines environ en juillet/août, ont interrompu la migration des salmonidés adultes, cependant uniquement sur une brève période de temps. A l'avenir, l'effet conjoint d'une hausse de température dans le Rhin et ses affluents et d'impacts anthropogènes (rejets thermiques) pourrait constituer un facteur limitant pour les peuplements de saumons dans le Rhin.<sup>48</sup>

### **Maladies**

En cas de températures élevées au-dessous du seuil léthal, le risque de mortalité imputable au stress et aux infections augmente également, principalement pour les poissons remis à l'eau après leur capture fortuite.<sup>49</sup>

Les températures élevées affaiblissent le système immunitaire des salmonidés et les rendent plus vulnérables aux maladies. Sous l'impact du réchauffement climatique, on s'attend à une recrudescence de la maladie rénale proliférative par ex. (*Proliferative Kidney Disease*, PKD), qui est mortelle pour les truites de rivière à partir d'une température de l'eau de 15°C.<sup>50</sup>

Il semblerait également que la vibriose, une maladie bactérienne touchant l'anguille européenne, soit favorisée par le stress induit par la chaleur et la présence concomitante fréquente des poissons dans un moindre volume d'eau.<sup>51</sup>

### **1.6 Espèces néobiotiques**

On note depuis quelques années dans le Rhin et ses affluents une modification très prononcée des biocénoses due à l'immigration de néobiotes, ce phénomène étant renforcé par la navigation et les usages anthropiques, de sorte que les interactions biologiques se superposent en partie aux effets abiotiques du changement climatique.

En cas de propagation et d'immigration d'espèces allochtones, le changement climatique n'est généralement pas le facteur déterminant, mais il peut toutefois faciliter l'implantation de certaines espèces et impacter fortement les rapports d'abondance.<sup>52</sup>

De nombreux néobiotes tolèrent une eutrophisation, un degré de salinité plus élevé et en particulier une hausse des températures ; ils profitent donc indirectement du changement climatique.

La reproduction et la propagation de la plupart des espèces néobiotiques thermophiles sont favorisées par des hivers doux et freinées dès lors que les températures hivernales de l'eau se maintiennent au-dessous de 5°C.

### **Macrophytes**

L'élodée de Nuttal (*Elodea nuttallii*), une espèce néophyte tolérant une large amplitude de température, s'est implantée et répandue très rapidement en Europe centrale depuis le milieu du siècle dernier. Sa croissance peut démarrer à partir d'une température de 4°C et est encore temporairement concevable lorsque les eaux dépassent 28°C. Cette espèce pourrait donc profiter du changement climatique si les températures de l'eau venaient à

<sup>47</sup> CIPR 2009b ; BREUKELAAR (RWS), communication orale

<sup>48</sup> CIPR 2009b

<sup>49</sup> CIPR 2009b

<sup>50</sup> Tiré de KLIWA 2010: WAHLI et al. 2002, STERUD et al. 2007; BURKHARDT-HOLM 2009

<sup>51</sup> CIPR 2004, KOOP et al. 2007

<sup>52</sup> STOWA 2011

augmenter. Au cours des dernières années, *E. nuttallii* a refoulé l'élodée du Canada (*Elodea canadensis*), une espèce néophyte largement répandue jusqu'alors mais qui ne supporte que des températures ne dépassant pas 25°C. Les algues planctoniques souffrent également de la forte concurrence de *E. nuttallii*.

L'hydrocotyle fausse-renoncule (*Hydrocotyle ranunculoides*) apprécie les plans d'eau ou les rivières à faible courant, de même que les cours d'eau eutrophes, et les températures comprises entre 25°C et 30°C constituent les conditions idéales à son développement physiologique. Dans le bassin du Rhin, cette espèce n'a été détectée jusqu'à présent que dans l'Erft. Quand ses feuilles flottantes et submersibles s'étendent sous forme de tapis dense, elles exercent une pression concurrentielle massive sur d'autres espèces submersibles et peuvent refouler des espèces indigènes.<sup>53</sup>

On attend également une propagation de la fougère d'eau (*Azolla filiculoides*) thermophile.<sup>54</sup>

### Macrozoobenthos

La palourde asiatique (*Corbicula fluminea*), originaire du sud-est de l'Asie, est actuellement l'espèce dominante dans les voies navigables. Elle est sensible aux basses températures de l'eau, ce qui limite probablement son extension vers l'est alors qu'on la rencontre parfois en colonies massives en aval des rejets d'eaux chaudes. Une telle extension massive de cette palourde peut provoquer le recul d'espèces indigènes de gastéropodes dulçaquicoles. Lorsque les températures de l'eau atteignent des valeurs maximales pouvant atteindre 30°C, le temps de survie de *C. fluminea* passe toutefois d'un mois à quelques jours, ce qui peut donner lieu à une mortalité massive, comme en 2003 dans le Rhin.<sup>55</sup>

D'autres espèces susceptibles de profiter de températures plus élevées de l'eau sont le gammare du Danube (*Dikerogammarus villosus*) et la planaire *Dugesia tigrina*. Le néozoaire *Potamopyrgus antipodarum*, un gastéropode originaire de Nouvelle-Zélande, profite des niveaux d'eau bas. Il broute dans le substrat mou à la recherche de nourriture.

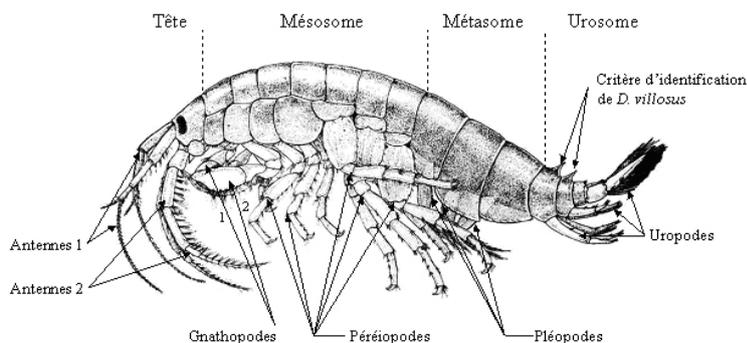


Fig 4: *Dikerogammarus villosus* (Foto: Université de Lorraine)

### Faune piscicole

Le gobie de Kessler (*Neogobio kessleri*) est une espèce originaire du Danube qui a transité par le canal Main-Danube pour coloniser le bassin du Rhin. Cette espèce tolère des températures de l'eau atteignant 25 à 30°C et se pose en concurrente d'espèces piscicoles indigènes en tant que consommatrice d'invertébrés. Elle se nourrit également de frai de poissons et pourrait de ce fait avoir un impact négatif sur les efforts de réimplantation du saumon et d'autres espèces piscicoles.

On note un comportement similaire chez le gobie à taches noires (*Neogobio melanostomus*; espèce originaire entre autres de la mer Noire). Il pourrait supplanter des poissons indigènes en raison de son comportement de prédateur nocturne. Des

<sup>53</sup> HUSSNER et al. 2010 ; divers dans KLIWA 2010

<sup>54</sup> MKULNV 2010

<sup>55</sup> KOOP et al. 2007

impacts du même type sont attendus du gobie fluviatile (*Neogobius fluviatilis*) bien que cette espèce, dont la tolérance aux températures oscille entre 4° et 20°C, devrait moins profiter du changement climatique.

La truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), une espèce implantée de longue date en raison de son exploitation commerciale, est moins sensible aux températures d'eau élevées (10° à 24°C) et aux teneurs plus faibles en oxygène que la truite de rivière autochtone (*Salmo trutta fario*) et pourrait donc également être avantagée par le changement climatique.<sup>56</sup>

## 2. Répercussions éventuelles du changement climatique sur les habitats semi-aquatiques et terrestres du bassin du Rhin

- **Marécages, roselières et végétation de hautes herbes (groupe biotopique 3)**
- **prairies permanentes (groupe biotopique 4)**
- **biotopes secs (groupe biotopique 5)**
- **forêts alluviales / autres forêts de l'ancienne zone alluviale (groupes biotopiques 6 et 7)**

Pendant de longues phases de sécheresse en été, le dessèchement par évaporation et baisse de la nappe phréatique peut renforcer la minéralisation de l'humus et de la tourbe et entraîner par là même un plus fort dégagement de nutriments et une eutrophisation dans les biotopes humides comme les roselières, la végétation de hautes herbes, les prairies humides et très humides et les forêts alluviales. Dans les biotopes secs en revanche, la disponibilité de nutriments peut baisser et entraîner ainsi une oligotrophisation. Ces deux phénomènes peuvent entraîner un déplacement de l'éventail des espèces et s'accompagner de la perte d'espèces rares.

De nombreuses espèces dans les habitats semi-aquatiques sont tributaires d'une grande humidité des sols et/ou d'une végétation donnée et peuvent disparaître si les conditions changent.<sup>57</sup>

On peut concevoir par ex. que des espèces méditerranéennes, et parmi elles des néophytes, s'implantent et s'étendent dans les biotopes secs, du fait de leur capacité à supporter des phases de sécheresse prolongées. De nombreuses espèces thermophiles (par ex. certaines orchidées, quelques espèces d'oiseaux ou d'insectes volants) verront vraisemblablement leurs conditions de vie améliorées et pourront éventuellement recoloniser des habitats abandonnés à une époque antérieure. Entre le Rhin supérieur et le delta, il revient à la vallée rhénane un rôle particulièrement important de corridor de migration pour les déplacements du sud vers le nord.

Dans les prairies permanentes, on peut s'attendre à un démarrage plus précoce du fauchage et du pâturage et à des répercussions conséquentes sur les espèces vivant dans les prairies permanentes.

**Fig. 5: Auenlandschaft bei Bingen (Foto: Klaus Wendling)**



<sup>56</sup> OFEFP 2002

<sup>57</sup> MKUNLV 2010

### 3. Actions envisageables pour atténuer les répercussions négatives du changement climatique sur l'écosystème du Rhin

Bien que la question du changement climatique ne figure pas explicitement dans le texte de la DCE, les Directeurs de l'eau de l'UE ont retenu dans le cadre de leur « stratégie commune de mise en œuvre » que ce sujet pouvait être intégré sous forme de nombreux champs d'actions dans le processus de mise en œuvre cyclique de la DCE. Les grands sujets concrètement évoqués sont la typologie des rivières, l'analyse des pressions et des incidences (« *pressures and impacts* »), l'analyse économique, la surveillance, les programmes de mesures et les objectifs visés.<sup>58</sup> A partir des connaissances disponibles, les programmes de mesures doivent être soumis à un contrôle climatique. Il convient de vérifier quelles sont les mesures dont l'effet renforce ou affaiblit au contraire la capacité d'adaptation, quelles sont celles pouvant être vues comme des solutions *sans regrets* ou *gagnant-gagnant* et quelles sont celles dont l'efficacité reste plus ou moins insensible aux impacts du changement climatique (*robust measures*) dans l'atteinte des objectifs de la DCE. A partir de 2015, les plans de gestion doivent « intégrer tous les aspects de la résistance au climat » (*climate proofed*).<sup>59</sup>

Les objectifs de qualité écologiques et morphologiques de la DCE semblent tout particulièrement renforcer la résilience (capacité de résistance) des eaux face à des conditions climatiques modifiées.

Vu les impacts attendus du changement climatique d'ici 2050, certains experts estiment que le risque de ne pas atteindre le « bon état » augmente pour les masses d'eau qui oscillent actuellement entre atteinte de l'objectif et « état moyen ». Pour les masses d'eau qui, selon les critères actuellement en vigueur, sont dans un « bon état », le risque est jugé faible. Il est à attendre cependant que moins la pression organique et trophique sera forte sur une masse d'eau (eaux de surface, eaux souterraines) et moins les altérations morphologiques des masses d'eau de surface seront prononcées, moins les répercussions d'une hausse de température pronostiquée seront ressenties sur la qualité de l'eau et du milieu aquatique<sup>60</sup>.

En regard de ce constat, il convient de limiter au plus les altérations pour que le niveau de vulnérabilité des espèces, biocénoses et écosystèmes du Rhin passe de « élevé » à « moyen ».

Les actions envisageables indiquées ci-dessous proviennent en majeure partie des stratégies d'adaptation nationales déjà disponibles ainsi que de rapports internationaux sur le changement climatique.

#### 3.1 Renforcer les écosystèmes en protégeant et en mettant en réseau les biotopes

Le changement climatique aura probablement pour effet de modifier l'étendue des écosystèmes et la distribution des espèces y vivant. Pour cette raison, la protection des habitats reste une tâche de première importance. On veillera à renforcer la politique de préservation et d'extension des réserves naturelles et la désignation de nouvelles zones à protéger, de même que les mesures visant à améliorer les habitats des espèces déjà menacées actuellement et ceux d'espèces susceptibles de le devenir sous l'impact du changement climatique.

Les projets de protection et de préservation doivent être souples et adaptés aux nouvelles conditions en présence. Il convient d'adapter éventuellement les catalogues d'espèces indicatives par ex. pour réagir à la menace d'extinction d'espèces isolées ou

<sup>58</sup> EUROPEAN COMMISSION 2009, voir également REESE 2011

<sup>59</sup> Rapport « Best practices and approaches for a climate check of the first Programmes of Measures » aux Directeurs de l'eau de l'UE (11/2008)

<sup>60</sup> Déclaration « à degré moyen/élevé de fiabilité » tirée du MINISTÈRE FEDERAL AUTRICHIEN DE L'AGRICULTURE, DE LA SYLVICULTURE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA GESTION DES EAUX (2010)

d'espèces non menacées jusqu'alors. De même, on vérifiera, si besoin est, l'état de référence (des biocénoses entre autres).

Des examens et des recherches plus poussés sont à engager sur les espèces allochtones et plus particulièrement sur celles à comportement invasif (néozoaires, néophytes, cf. chapitre 4). Les possibilités de prévention et de contrôle restent cependant très limitées, en particulier sur les voies navigables (Wiesner et al. 2010, LUWG 2011).

La protection des processus naturels est à mettre au premier plan dans le contexte général de conditions climatiques en évolution. On citera parmi ces processus le fait de tolérer la succession naturelle, la régénération écologique et la promotion de la libre migration des espèces (voir plus bas).

On sait que la présence d'une mosaïque variée d'habitats favorise la biodiversité. Sur le Rhin et ses affluents, cette variété prend par ex. la forme :

- de segments à écoulement libre (km), recelant notamment des frayères pour les espèces piscicoles rhéophiles ;
- de berges écologiquement aménagées ;
- d'anciens bras, bras latéraux et autres annexes hydrauliques raccordés au cours principal ;
- de zones saumâtres (transition plus naturelle entre eaux douces et eaux salées).

S'y ajoutent tous les nouveaux habitats qui remplacent ceux disparus dans le lit mineur suite aux mesures d'aménagement ainsi que leur restauration.

Le milieu alluvial et les eaux alluviales sont à reconnecter dans la plus grande mesure possible au réseau d'eaux courantes. Les zones alluviales devraient être exploitées sous forme extensive comme prairies permanentes ou surfaces forestières et non comme surfaces labourées. Tous ces exemples de mesures de type « gagnant-gagnant » contribuent à promouvoir la biodiversité et la mise en réseau des biotopes. Elles aident à préserver le bon état des eaux et renforcent à deux égards la prévention des inondations : grâce à une meilleure rétention des eaux en surface et à leur effet préventif de réduction des dommages potentiels et des risques dans les zones inondables. On s'efforcera, en tout lieu possible, de tolérer à nouveau la dynamique fluviale naturelle.<sup>61</sup>

On peut citer ici, à titre d'exemple, les programmes suivants appliqués au bassin du Rhin :

- « Revitalisations fluviales » en Suisse<sup>62</sup>
  - « Trame verte et bleue » en France<sup>63</sup>
  - « Programme Intégré pour le Rhin » au Bade-Wurtemberg<sup>64</sup>
  - « Aktion Blau » / « Aktion Blau Plus » en Rhénanie-Palatinat
  - « Lebendige Gewässer » en Rhénanie-du-Nord-Westphalie
  - « Plus d'espace pour le fleuve » aux Pays-Bas.<sup>65</sup>
- « Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin » de la CIPR sur l'ensemble du bassin du Rhin.<sup>66</sup>

Des espaces de refuge climatique pourraient être identifiés et mis en réseau avec les habitats actuels d'espèces piscicoles menacées.<sup>67</sup>

La mise en réseau des biotopes favorise les déplacements migratoires vers des zones climatiquement plus avantageuses d'espèces dont les habitats se décalent par ex. vers le nord ou vers les zones montagneuses sous l'effet d'une hausse de la température.

Dans l'optique d'une atténuation des répercussions du changement climatique également, la concrétisation du projet de « mise en réseau des biotopes sur le Rhin »<sup>68</sup>,

<sup>61</sup> Partenariat pour la protection de l'environnement et du climat 2011, Luxembourg

<sup>62</sup> Voir OFEV / EAWAG 2010

<sup>63</sup> Voir [www.legrenelle-environnement.fr/-Trame-verte-et-bleue-.html](http://www.legrenelle-environnement.fr/-Trame-verte-et-bleue-.html)

<sup>64</sup> Voir [www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1188090/index.html](http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1188090/index.html)

<sup>65</sup> Voir [www.ruimtevoorderivier.nl/](http://www.ruimtevoorderivier.nl/)

<sup>66</sup> Voir CIPR 2009c

<sup>67</sup> FREYHOF 2009 dans RABITSCH et al. 2010

<sup>68</sup> CIPR 2006

qui décrit précisément les actions susmentionnées pour le cours principal du Rhin et son milieu alluvial, gagne en importance.

### **3.2 Atténuer les répercussions de températures de l'eau surélevées**

Quand les affluents sont mis en réseau avec le cours principal, les poissons du Rhin ont localement la possibilité de refluer vers les rivières et bras latéraux aux eaux plus fraîches (car plus ombragées par exemple). Il convient en outre de tolérer l'extension du lit fluvial pour favoriser l'échange entre eaux fluviales et eaux souterraines. Les résurgences d'eaux souterraines froides constituent également une aire de retrait pour les poissons quand les températures de l'eau sont élevées. Pour limiter, grâce à l'ombragement, la hausse des températures de l'eau, on recommande de planter des bosquets le long des berges des affluents de petite et de moyenne taille et de promouvoir leur implantation sauvage. Une telle mesure est toutefois peu efficace sur de grandes parties du cours principal du Rhin et sur ses grands affluents en raison de leur largeur.

Il convient de limiter le plus possible une hausse anthropogène supplémentaire de la température des eaux sous l'effet de rejets thermiques et de s'assurer qu'elle ne fait pas obstacle à l'atteinte du bon état ou du bon potentiel écologique. La directive communautaire<sup>69</sup> fixe comme températures à ne pas dépasser 21,5°C pour les eaux salmonicoles (= rivières à poissons sténothermes froids/salmonidés) et 28°C pour les eaux cyprinicoles (rivières à poissons thermophiles/cyprinidés). La température des rivières de reproduction des poissons requérant un milieu frais ne doit pas dépasser 10°C en période de frai. Un dépassement de ces limites de température est tolérable pendant 2% du temps.

Avec l'entrée en vigueur de la DCE, la directive sur la qualité des eaux piscicoles fixant des critères à appliquer par les Etats membres de l'UE va être abrogée fin 2013 et de nouvelles règles devront être mises au point pour les rejets thermiques. Il est prévu en Allemagne d'ancrer ces règles sur les dispositions du règlement fédéral sur les eaux de surface (Oberflächengewässerverordnung ; OGewV) récemment adopté. Ces dispositions prendraient alors en compte les conditions requises dans certains types de rivières pour le développement d'espèces ou de communautés d'espèces sur tout leur cycle de vie. Dans certains cas, de nouveaux outils de pilotage des ouvrages permettent de respecter les valeurs indicatives saisonnières avec un effet écologique optimal et des pertes économiques aussi limitées que possible. Quand une valeur indicative menace d'être dépassée, l'exploitation de centrales thermiques peut être ralentie ou d'autres mesures peuvent être prises pour réduire les rejets thermiques.<sup>70</sup> Dans le cas de périodes caniculaires, il conviendrait d'améliorer l'échange d'informations sur les mesures prises pour réduire les rejets thermiques et de relier plus étroitement les acteurs au niveau international.

Il conviendrait de vérifier, dans le cadre d'opérations d'alevinage, que les conditions de température actuellement en présence dans le tronçon sélectionné se prêtent bien à l'espèce dont on souhaite l'introduction, même si cette espèce y était jadis implantée.<sup>71</sup>

### **3.3 Réduire l'érosion des sols et les apports sédimentaires consécutifs aux précipitations intenses et aux crues**

On peut limiter l'érosion des sols et les apports sédimentaires, en particulier ceux dus aux précipitations intenses et aux crues, en restaurant les berges et en optant pour une

---

<sup>69</sup> Directive 2006/44/CEE du Conseil du 6 septembre 2006 concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons. Abrogée à partir du 31.12.13 (DCE, art. 22)

<sup>70</sup> HOFFMANN et al. 2011

<sup>71</sup> Bulletin d'information FIBER 03/2010m

[http://www.fischereiberatung.ch/newsletter/News\\_10\\_03/index?clear\\_lang=1#klima](http://www.fischereiberatung.ch/newsletter/News_10_03/index?clear_lang=1#klima).

agriculture plus extensive sur les bandes riveraines, par ex. en favorisant les prairies et pâturages permanents par rapport aux terres labourées (voir chapitre 2.1). Réduire les surfaces imperméabilisées constitue également une contribution importante et, de plus, une mesure préventive contre les inondations (*effet gagnant-gagnant*).<sup>72</sup>

#### **4. Références aux mesures d'exploitation prises ou envisagées en réaction au changement climatique**

Dans les différents secteurs d'exploitation du Rhin, entre autres l'économie énergétique, l'industrie, la navigation et l'agriculture, on s'attend à ce que les modifications découlant du changement climatique aient des effets indirects sur l'écosystème du Rhin. De tels effets peuvent provenir d'activités réalisées soit pour **réduire les émissions de CO<sub>2</sub>** soit pour **compenser les répercussions du changement climatique**.

##### ***Culture de plantes énergétiques***

La culture de plantes énergétiques se traduit par une exploitation agricole intensive. Si cette exploitation s'étend au milieu alluvial redynamisé, il peut en résulter une baisse de biodiversité et une perte d'habitats dans les zones alluviales et une augmentation des apports de nutriments et de sédiments fins dans les eaux. Par ailleurs, la plupart des plantes énergétiques soustraient au sous-sol plus d'eau que d'autres cultures.

##### ***Hydroélectricité***

La construction de nouveaux ouvrages transversaux équipés d'usines hydroélectriques restreint la continuité fluviale et abaisse le pourcentage de tronçons à écoulement libre. Une telle évolution pénalise tout particulièrement les rivières d'espèces cibles et les rivières prioritaires dans leurs fonctions d'affluents frayères et de corridors de migration pour les poissons migrateurs et les cyclostomes. Elle devrait donc être évitée dans la mesure du possible.<sup>73</sup>

##### ***Protection contre les inondations***

Les dispositifs techniques de protection contre les inondations ne devraient être renforcés que dans le cadre local de zones urbaines. Sous l'angle de la protection de la nature, on y préférera en tout lieu possible des mesures de protection contre les inondations intégrant les fonctions écologiques des éléments morphologiques des berges et du milieu alluvial (par mise en eau de polders ou recul de digues).

##### ***Navigation***

Les situations d'étiage se produisant déjà plus fréquemment sur le Rhin, le secteur de la navigation commence à envisager d'utiliser des bateaux de moindres dimensions, en particulier pour le transport de marchandises. Une telle évolution aurait pour conséquence positive de réduire le batillage et d'atténuer son impact sur la faune et la flore ripicoles.

Creuser le chenal de navigation, entre autres pour garantir la navigation en période d'étiage, altère le lit fluvial dans sa fonction d'habitat, par ex. des organismes macrozoobenthiques.

Dans des conditions naturelles, une rivière présente des zones de fond plat à faible courant et des niches d'érosion où aiment à séjourner les poissons juvéniles, comme par

---

<sup>72</sup> Partenariat pour la protection de l'environnement et du climat 2011, Luxembourg

<sup>73</sup> CIPR 2009b

ex. les smolts et les alosons en phase de dévalaison, de même que les civelles en phase de montaison. Les géniteurs remontant dans les rivières (par ex. le saumon, la truite de mer, la grande alose) recherchent les niches d'érosion aux eaux plus fraîches, notamment en période d'étiage (quand les températures de l'eau sont particulièrement élevées) pour y faire halte sur leur trajet de migration. Il convient donc d'éviter en tout lieu possible que ces éléments morphologiques soient aplanis ou (partiellement) comblés, afin qu'ils conservent leurs fonctions d'habitats et de refuges.

## 5. Possibilités d'optimisation des bases de données du contrôle de surveillance biologique DCE à la lumière des effets attendus du changement climatique

### *Bon état écologique / bon potentiel écologique*

Il convient de tenir compte des répercussions du changement climatique, non pas uniquement au niveau des mesures mais également au niveau des objectifs de gestion. En effet, le « bon état écologique » a été concrètement défini à partir d'un état de référence naturel pour chaque type de rivière. Dans le cas des masses d'eau fortement modifiées, il a été déterminé le « bon potentiel écologique ». Il peut s'avérer nécessaire d'adapter les objectifs s'il apparaît que le « bon état écologique » ne sera pas atteint dans une rivière (de référence) non soumise à pression ou que son atteinte suppose de mettre en œuvre des moyens démesurés du fait de conditions climatiques modifiées. Il convient cependant d'être très prudent avec de telles adaptations d'objectifs pour éviter d'abaisser la qualité écologique visée.<sup>74</sup>

Une hausse des températures de l'eau peut modifier la composition des espèces et les rapports de domination sur le cours fluvial avec un déplacement d'habitats vers les zones septentrionales ou les régions fluviales de plus haute altitude. Ceci concerne tout l'éventail des espèces indigènes et également quelques espèces néobiotiques dont la propagation massive, notamment dans les eaux navigables, est en partie due au changement climatique. A certains endroits, les néozoaires représentent dans le Rhin plus de 90% de la biomasse. Au moins dans le cas des espèces allochtones « récentes » issues de régions plus chaudes (mer Noire, Amérique du Sud, Asie), on part du principe qu'un réchauffement progressif des eaux peut continuer à favoriser les possibilités d'expansion.<sup>75</sup>

Il est possible que cette évolution dynamique remette en question la validité prolongée des états de référence pour les éléments de qualité « Macrozoobenthos » et éventuellement « Poissons » et « Macrophytes ». Quelques Etats du bassin du Rhin ont déjà évalué le potentiel de colonisation et les impacts écologiques, économiques et sanitaires de néobiotes.<sup>76</sup>

### *Surveillance climatique*

Les grands fleuves et leurs bassins étant soumis à de très nombreux usages, il est particulièrement difficile de déterminer quelles sont, parmi les interactions en présence, celles imputables au changement climatique et celles dues aux autres impacts anthropiques (navigation, rejets d'eaux de refroidissement etc.). La propagation des néozoaires dans les voies navigables est un exemple très illustratif de cette problématique. En outre, de nombreux processus biologiques sont en partie dictés par le régime hydrologique. C'est notamment le cas pour le développement du phytoplancton et pour la formation de phytocénoses aquatiques dans les fleuves.<sup>77</sup> L'observation d'organismes indicatifs individuels est donc une tâche extrêmement complexe en regard

<sup>74</sup> REESE 2011

<sup>75</sup> REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2009

<sup>76</sup> OFEV 2002, Suisse ; Partenariat pour la protection de l'environnement et du climat 2011, Luxembourg

<sup>77</sup> KLIWA 2010

des processus biologiques de transformation auxquels sont soumises les communautés d'espèces invertébrées ou encore la faune piscicole du Rhin. Les modifications dues au changement climatique ne seront éventuellement reconnaissables qu'à long terme sur la base d'indices biocénétiques directement ou indirectement impactés par le régime de température ou de débit ou encore par le niveau de la teneur en nutriments. Des recherches sont en cours sur ce point.<sup>78</sup> A l'heure actuelle, la question de savoir si les résultats de telles recherches seront applicables en pratique dans le cadre de programmes de surveillance du Rhin reste posée. Pour mettre au point à l'avenir les outils requis pour une surveillance climatique, il est donc très important de disposer d'une solide base de données du type de celle disponible grâce au programme d'analyse biologique de la CIPR<sup>79</sup>.

---

<sup>78</sup> Par ex. MARTEN 2011

<sup>79</sup> Voir CIPR 2009d

## 6. Références bibliographiques

- BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2006): Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland: Ursachen - Wirkungen - Folgen. Mitteilung Nr. 27. 211.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft. [www.klimawandelanpassung.at](http://www.klimawandelanpassung.at)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Kurzfassung. Wien.
- BUNZEL-DRÜKE, Margret (2011): Wie reagieren Fische und Rundmäuler auf den Klimawandel? Natur in NRW 4/11, S. 27 – 32.
- CIPR (2004) : Pressions thermiques sur les eaux pendant l'été 2003. Synthèse des rapports de situation nationaux. 70. Assemblée plénière des 8 et 9 juillet 2004 – Berne. Rapport CIPR n° 142f.
- CIPR (2006) : Réseau de biotopes sur le Rhin. Rapport & atlas. [www.iksr.org](http://www.iksr.org) - brochures.
- CIPR (2009a) : Analyse des connaissances actuelles relatives aux modifications climatiques et aux impacts du changement climatique sur le régime hydrologique dans le bassin du Rhin. Rapport CIPR n° 174 à consulter à l'adresse [www.iksr.org](http://www.iksr.org)
- CIPR (2009b) : Analyse ichtyo-écologique globale et évaluation de l'efficacité des mesures en cours et des mesures envisagées dans le bassin du Rhin pour réintroduire les poissons migrateurs. Rapport CIPR n° 167 (version longue).
- CIPR (2009c) : Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin. Rapport CIPR n° 179 à consulter à l'adresse [www.iksr.org](http://www.iksr.org)
- CIPR (2009d) : Programme de mesure biologique Rhin 2006/2007, partie A : rapport de synthèse sur les éléments de qualité phytoplancton, macrophytes/phytobenthos, macrozoobenthos, poissons. Rapport CIPR n° 168 à consulter à l'adresse [www.iksr.org](http://www.iksr.org)
- CIPR (2009e) : Programme d'analyse biologique Rhin 2006/2007, partie II-A – Le phytoplancton dans le Rhin (2006-2007). Rapport CIPR n° 169 à consulter à l'adresse [www.iksr.org](http://www.iksr.org)
- CIPR (2011) : Etude de scénarios sur le régime hydrologique du Rhin – avril 2011 – Rapport CIPR n° 188 , [www.iksr.org](http://www.iksr.org)
- Euro-Limpacs-Projekt (2009): Definition of indicators for Climate Change effects on freshwater ecosystems. <http://www.climate-and-freshwater.info>.
- EUROPEAN COMMISSION (2009): River Basin Management in a changing climate. Technical Report 2009-040, Guidance document No. 24, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). (Leitfaden Nr. 24 zur Gemeinsamen Umsetzungsstrategie zur Wasserrahmenrichtlinie) .
- HOFFMANN, A.; KAUEMANN, G.; WINDMANN, M.; TISCHBIERECK, J.; LEONHARD, V. (2011): Temperaturmanagement in der Wupper. Natur in NRW 1/11, S. 34-40.
- HUSSNER, A., WEYER, K. VAN DE, GROSS, E., HILT, S. (2010): Eine Übersicht über die aquatischen Neophyten in Deutschland – Etablierung, Auswirkungen und Managementperspektiven. Handbuch Angewandte Limnologie – 27. Erg. Lfg. 4/10: 1-27.
- IBISCH, Ralf B. (2004): Biogene Steuerung ökologischer Systemeigenschaften des hyporheischen Interstitials der Lahn (Hessen). Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Wasserwesen, Institut für Hydrobiologie, Dresden.

- KANGUR A., KANGUR P., KANGUR K. & MÖLS T. (2007) The role of temperature in the population dynamics of smelt *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* Pallas in Lake Peipsi (Estonia/Russia). *Hydrobiologia* 584, 433–441.
- KANGUR A., KANGUR P., KANGUR K. & MÖLS T. Long-term effects of concurrent eutrophication and environmental extremes on the fish community of Lake Peipsi (Estonia/Russia). Submitted to *Fishery Management and Ecology*.
- KANGUR K., KANGUR A., KANGUR P. & LAUGASTE R. (2005) Fish kill in Lake Peipsi in summer 2002 as a synergistic effect of cyanobacterial bloom, high temperature and low water level. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology Ecology* 54, 67–80
- KHALANSKI, M., CARREL, G., DESAINT, B., FRUGET, J.-F., OLIVIER, J.-M., POIREL, A., SOUCHON, Y. (2008): Étude thermique globale du Rhône - Impacts hydrobiologiques des échauffements cumulés (*Global thermal study of the Rhone - Hydrobiological impact of cumulative warming - with english summary*). *Hydroécologie Appliquée* 16: 53-108.
- KLIWA (2010): Einfluss des Klimawandels auf die Fließgewässerqualität – Literaturlauswertung und erste Vulnerabilitätseinschätzung. Bericht im Auftrag des KLIWA-Konsortiums. 59 S. + Anhang.
- KLIWA (2010): Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (Kooperation zwischen dem Deutschen Wetterdienst (DWD), dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit und dem Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz => „Fließgewässerbiologie und Klimawandel“ <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de/>).
- KOOP, J.H.E., BERGFELD, T., KELLER, M. (2007): Einfluss von extremen Niedrigwasser-Ereignissen und gleichzeitigen "Hitzeperioden" auf die Ökologie von Bundeswasserstraßen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 51, Heft 5, S. 202-209
- KÜTTEL, S., Peter, A., Wüest, A. (2002): Temperaturpräferenzen und –limiten von Fischarten Schweizerischer Fließgewässer. Rhône Revitalisierung, Publikation Nummer 1.
- LAWA (2007): Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement – Empfehlungen, 15 S.
- LAWA (2010): Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“ - Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen. 36 S.
- LUWG (Hg.) (2011): Neubürger in Rhein und Mosel. – Infoblatt Gewässerschutz 01/11.
- MARTEN, M. (2011): Makrozoobenthos und Klimawandel – reichen unsere Monitoringsysteme aus? Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie, Bayreuth 2010. S. 375-380.
- MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (2011): Plan national d'adaptation de la France aux effets du changement climatique 2011 – 2015. [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr) .
- MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU, MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN, LANDBOUW EN INNOVATIE (2010): Deltaprogramma / Nationaal waterplan 2009 - 2015. [www.rijksoverheid.nl](http://www.rijksoverheid.nl)
- MKULNV (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW) (2010): Natur im Wandel: Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. [www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de) .
- MOSS, B., KOSTEN, S., MEERHOFF, M., BATTARBEE, R.W., JEPPESEN, E., MAZZEO, N., HAVENS, K., LACEROT, G., ZHENGWEN, L., DE MEESTER, L., PAERL, H. & SCHEFFER, M. (2011): Allied attack: climate change and nutrient pollution. *Inland waters* 1 (2011), pp. 101-105

- NOTTER, B., STAUB, E. (2009) Lebensraum der Bachforelle um 2050. GWA Gas, Wasser, Abwasser. Nr. 1/2009: 39-44.
- OFEFP (2004): Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369, Bern. (résumé en français) <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00533/index.html?lang=de>
- OFEV (OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT) (2010): Stratégie d'adaptation de la Suisse dans le domaine des changements climatiques – Rapport intermédiaire adressé au Conseil fédéral.
- OFEV / EAWAG 2010: Revitalisation des cours d'eau : synergies entre protection contre les crues et écologie. Congrès d'information du projet «Gestion intégrale de l'espace fluvial» 25 novembre 2010, Kulturhalle 12, Berne. [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)
- OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT, DES FORÊTS ET DU PAYSAGE DE LA SUISSE (OFEFP) (2002): Einwanderung von Fischarten in die Schweiz – Rheineinzugsgebiet. Mitteilungen zur Fischerei, Nr. 72, Bern.
- PARLEMENT EUROPEEN ET CONSEIL EUROPEEN (2006) : Directive 2006/44/CEE du Conseil du 6 septembre 2006 concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons (version codifiée). Journal officiel de l'UE.
- PARTENARIAT FÜR UMWELT UND KLIMA (2011): « Paquet Climat » (6 mai 2011), Synthesedokument der *groupe de pilotage* für eine nationale Nachhaltigkeitsstrategie, Luxemburg. [www.developpement-durable-infrastructures.public.lu](http://www.developpement-durable-infrastructures.public.lu) .
- PONT, D. (Koordinator) (2003): Programme GICC – AQUABIO. Conséquences potentielles du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines françaises - Rapport final. CNRS, Université de Lyon
- RABITSCH, W., WINTER, M., KÜHN, E., KÜHN, I., GÖTZL, M., ESSL, F. und GRUTTKE, H. (2010): Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Fauna in Deutschland. BfN-Heft Nr. 98, Bonn.
- REESE, M. (2011): Die Anpassungen an den Klimawandel im Bewirtschaftungssystem der Wasserrahmenrichtlinie. Zeitschrift für Wasserrecht, Heft 2/2011, S. 61-82.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (2009): Bewirtschaftungsplan Hochrhein (Baden-Württemberg) gemäß EG-WRRRL. Freiburg.
- STERUD, E., FORSETH, T., UGEDAL, O. POPPE, T. T., JOERGENSEN, A., BRUHEIM, T., FJELDSTAD, H.-P., MO, T. A. (2007): Severe mortality in wild Atlantic salmon *Salmo salar* due to proliferative kidney disease (PKD) caused by *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa). Disease of Aquatic Organisms, 77: 191-198.
- STOWA (Stichting toegepast onderzoek waterbeheer) 2011: Een frisse blik op warmer water. Over de invloed van klimaatverandering op de aquatische ecologie en hoe je de negatieve effecten kunt tegengaan. Stowa-Bericht Nr. 2011-20 im Auftrag von Rijkswaterstaat waterdienst. Amersfoort.
- TERRA INCOGNITA STEDENBOUW EN LANDSCHAPSARCHITECTUUR im Auftrag des Ministerie van Infrastructuur, Milieu, Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (2009): Handreikingen Ruimtelijke Kwaliteit Rijn / Waal / IJssel. [www.ruimtevoorderivier.nl](http://www.ruimtevoorderivier.nl).
- TISSOT, L., SOUCHON, Y. (2010): Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen (*Synthesis on thermal tolerances of the principal freshwater fish species of large Western Europe rivers*). Hydroécologie Appliquée, Band 17, S. 17-76.
- UNECE (2009): Guidance on water and adaptation to climate change.
- WAHLI, T., KNUESSEL, R., BERNET, D., SEGNER, H., PUGOVKIN, D., BURKHARDT-HOLM, P., ESCHER, M., SCHMIDT-POSTHAUS, H. (2002): Proliferative kidney disease in Switzerland: current state of knowledge. Journal of Fish Disease, 25: 491-500.

- WIESNER, C.; Wolter, C., Rabitsch, W. & S. Nehring (2010): Gebietsfremde Fische in Deutschland und Österreich. BfN-Skripten 279, 192 S.
- WWF Deutschland (2009): Die mögliche Wirkung des Klimawandels auf Wassertemperaturen von Fließgewässern. Frankfurt am Main.
- ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HABE, C., FRITSCH, U., CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Kurzfassung. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), UFOPLAN 201 41 253.

## Annexe 1

**Tableau 1 : Impact pronostiqué d'une hausse de la température sur les poissons et les cyclostomes dans le bassin du Rhin et d'autres rivières d'Europe centrale**

Explications : Règlement communautaire sur l'anguille : n° 1100/2007/CE du Conseil du 18/9/2007 comprenant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes ; directive FFH ou faune-flore-habitats n° 92/43/CEE du 21.5.1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages ; CITES : convention de Washington sur la protection des espèces

Nom scientifique de l'espèce piscicole	Espèce piscicole - nom français	Prévision	Statut de protection, origine	Observations Températures tolérées / valeurs extrêmes (et optimales)	Source
<i>Abramis brama</i>	Brème	Hausse		Oeufs 8-28°C (18-23°C) Larves 17,5-19,5°C Juvéniles 14-34°C Adultes 8-28°C / 35°C (23-26°C) Période de frai 8-23°C / 28°C (12-20°C) Extension de l'habitat dans les rivières des massifs moyens et dans les Alpes	KÜTTEL et al. 2002, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	Baisse		Baisse pronostiquée dans les fleuves français pour une hausse de température de 2°C	PONT & CRANE dans PONT 2003
		Hausse		Peut tolérer des températures de l'eau > 20°C ; forte hausse prévue oeufs 21-27°C Larves 22,5°C Adultes 20-38°C (20-30°C) Période de frai 14-28°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, MKUNLV 2010, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	Baisse		Baisse due à une extension probablement plus faible de la région à ombres oeufs 16,3-19,3°C Larves 12-24°C Adultes 1,9-23,9°C Période de frai 12-25°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Alosa alosa</i>	Grande alose	Hausse	FFH annexes II & V	Hausse due au programme de réintroduction et non au changement climatique	BUNZEL-DRÜKE 2011

Nom scientifique de l'espèce piscicole	Espèce piscicole – nom français	Prévision	Statut de protection, origine	Observations Températures tolérées / valeurs extrêmes (et optimales)	SOURCE
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	Baisse	CITES annexe II, règlement européen sur l'anguille	Juvéniles (civelles) : > 15°C Adultes : > 0/ 8°C, < 30 / 39°C (8-29°C / 22-23°C) Espèce menacée par le stress et les maladies en période de canicule ; la vibriose est plus fréquente	KÜTTEL et al. 2002, CIPR 2004
<i>Aspius aspius</i>	Aspe	Hausse	FFH annexes II & V	Pas de modification	BUNZEL-DRÜKE 2011 BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau	Baisse Hausse	FFH annexe V	pour une hausse de température de 2°C œufs 12,1-21°C (16-19°C) Larves 14,8-18,9°C (18,5°C) Juvéniles 7-27°C Adultes 7-30°C Période de frai 8-20°C / 29°C Extension de l'habitat dans les rivières des massifs moyens et dans les Alpes	PONT 2003 KÜTTEL et al. 2002
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	Hausse		Peut tolérer des températures de l'eau > 20°C	MKUNLV 2010, Bunzel-Drüke 2011
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	Baisse Hausse		Baisse pronostiquée dans les fleuves français pour une hausse de température de 2°C  œufs 15-20°C Adultes 15-25°C Période de frai 9,6-29°C	PONT 2003  BUNZEL-DRÜKE 2011, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Carassius carassius</i> <i>Chondrostoma nasus</i>	Carassin Hotu	Baisse Baisse		Baisse due à l'assèchement en été de petites surfaces d'eaux dormantes et de fossés Œufs : 8,6-19°C Larves 10-28°C (15°C) Juvéniles 7-27°C Adultes 4-24°C Période de frai 6-16,2°C	Bunzel-Drüke 2011 KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010

Nom scientifique de l'espèce piscicole - Nom	Espèce piscicole - nom français	Prévision	Statut de protection, origine	Observations Températures tolérées / valeurs extrêmes (et optimales)	SOURCE
<i>Cottus gobio</i>	Chabot	Baisse	FFH annexe II	Juvéniles < 28°C (5-27°C) Adultes < 16 / 20°C (10-15°C) Période de frai 7-14°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe	Hausse	Espèce très répandue du fait des alevinages	Période de frai : > 17°C, juvéniles : 16-25°C. Taux de reproduction élevé en cas d'inondation de la végétation terrestre en mai/juin	BALON 1995, STEFFENS 2008 entre autres dans BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Esox lucius</i>	Brochet			Œufs 2-23°C (8-15°C) Larves 12,3-21°C Juvéniles 9-28°C (26°C) Adultes 10-30 / 34°C (20-26°C) Période de frai 0-20°C (7-17°C)	EUROLIMPACS; KÜTTEL et al. 2002, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Épinoche	(Baisse)		Espèce pionnière à forte capacité d'adaptation et susceptible de profiter de l'assèchement temporaire des rivières mais toutefois peu compétitive. Evite en outre les températures supérieures à 20°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002
<i>Gobio gobio</i>	Goujon			œufs 16-20°C Larves 20,5°C Juvéniles 7-27°C Adultes 5-30,9 / 37°C (15-27°C) Période de frai 12-17°C	KÜTTEL et al. 2002, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	Baisse		œufs 9-21°C Larves 16,5-30°C Juvéniles 7-24,8°C Période de frai 2-18°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Lampetra planeri</i>	Petite lamproie	Baisse	FFH annexe II	Baisse pronostiquée dans les fleuves français pour une hausse de température de 2°C	Bunzel-Drüke 2011, Pont 2003
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche-soleil	Baisse		Espèce allochtone œufs 22,5°C Larves 20,4-23,5°C Juvéniles 13-28°C (31,5°C) Adultes 11,9-40°C (24,2-30°C) Période de frai 20-25°C (22,5°C)	Pont 2003, sources diverses dans TISSON & SOUCHON 2010

<b>Nom scientifique de l'espèce piscicole Nom</b>	<b>Espèce piscicole - nom français</b>	<b>Prévision</b>	<b>Statut de protection, origine</b>	<b>Observations Températures tolérées / valeurs extrêmes (et optimales)</b>	<b>Source</b>
<i>Leucaspis delineatus</i>	<b>Able de Heckel</b>	Baisse		Baisse due à l'assèchement en été de petites surfaces d'eaux dormantes et de fossés	Bunzel-Drüke 2011
<i>Leuciscus cephalus</i>	<b>Chevesne</b>	Hausse		Oeufs 12,3-30°C (17-23°C) Larves 14-25°C (17,5-25°C) Juvéniles 7-24°C Adultes 7-27 / 34°C (8-25°C) Période de frai 14-20°C Propagation vers l'amont	Bunzel-Drüke 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Leuciscus leuciscus</i>	<b>Vandoise</b>	Baisse		Oeufs 4-23°C (6-15°C) Larves 16-25°C (12,3-17,5°C) Juvéniles & adultes 10-20°C Période de frai 5-16,5°C (8-9°C)	KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Lota lota</i>	<b>Lotte de rivière</b>	Baisse		Forte baisse attendue, entre autres dans l'Usselmeer, du fait d'un manque d'oxygène temporaire	Bunzel-Drüke 2011, Lammens 2012, communication orale
<i>Misgurnus fossilis</i>	<b>Loche d'étang</b>	Baisse	FFH annexe II	Baisse due à l'assèchement en été de petites surfaces d'eaux dormantes et de fossés	Bunzel-Drüke 2011
<i>Neogobio kessleri</i>	<b>Gobie de Kessler</b>	Hausse	Espèce allochtone	Originnaire de la mer Noire 25°C - 30°C, concurrente et prédatrice d'espèces autochtones et de leur frai, entre autres le saumon	KLIWA 2010
<i>Neogobio melanostomus</i>	<b>Gobie à taches noires</b>	Hausse	Espèce allochtone	Voir gobie de Kessler	KLIWA 2010
<i>Neogobio fluviatilis</i>	<b>Gobie fluviatile</b>	/.	Espèce allochtone	Devrait moins profiter du changement climatique que d'autres espèces de gobie du fait de sa tolérance à des températures variant entre 4°C et 20°C	KLIWA 2010
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<b>Truite arc-en-ciel</b>	Hausse	Espèce introduite pour l'exploiter	Oeufs < 20 / 18°C (8-11°C) Juvéniles 26°C (17°C) Adultes < 26°C (16-19°C) Espèce introduite à des fins commerciales ; moins sensible aux températures plus élevées de l'eau que la truite fario ; susceptible d'évincer cette dernière.	Bunzel-Drüke 2011, KLIWA 2010

<b>Nom scientifique de l'espèce piscicole</b>	<b>Espèce piscicole – nom français</b>	<b>Prévision</b>	<b>Statut de protection, origine</b>	<b>Observations</b>	<b>SOURCE</b>
<i>Osperus eperlanus</i>	<b>Eperlan</b>	Baisse ./.		Le manque d'oxygène dans les lacs (par ex. dans l'Isselmeer) peut atteindre un niveau létal pour l'éperlan Pas de modification des peuplements pronostiquée pour la Rhénanie-du-Nord-Westphalie	Lammens 2012, communication orale Bunzel-Drüke 2011
<i>Perca fluviatilis</i>	<b>Perche fluviatile</b>	Hausse ?		Ceufs 5-21°C Larves 5-30°C (11-15,5°C) Juvéniles < 8°C / < 36°C (25°C) Adultes 10-31°C / 36,2°C Période de frai 5-19°C	Sources diverses dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Phoxinus phoxinus</i>	<b>Vairon</b>	Baisse		Baisse due à une extension probablement plus faible de la région à ombres	Bunzel-Drüke 2011
<i>Pseudorasbora parva</i>	<b>Pseudorasbora parva</b>	Baisse	Espèce allochtone	Baisse due à l'assèchement en été de petites surfaces d'eaux dormantes et de fossés	Bunzel-Drüke 2011
<i>Pungitius pungitius</i>	<b>Epinochette</b>	Baisse		Baisse due à l'assèchement en été de petites surfaces d'eaux dormantes et de fossés	Bunzel-Drüke 2011
<i>Rhodeus amarus</i>	<b>Bouvière</b>	Hausse	FFH annexe II	Adultes 12-30°C / 37°C (25°C) Période de frai 12-22°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Rutilus rutilus</i>	<b>Gardon</b>			Ceufs 5-27°C (12-20°C) Larves 17,5°C Juvéniles 7-21°C Adultes 12-30°C / 36°C (8 / 20-25°C) Période de frai 5-22°C (8-19°C)	KÜTTEL et al. 2002, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Salmo trutta fario</i> (& <i>Salmo trutta trutta</i> )	<b>Truite fario (&amp; truite de mer)</b>	Baisse		Ceufs 0-13°C (7-12°C) Juvéniles < 23 / 28°C (6-14°C / 8-13°C) Adultes < 25 / 28°C (4-19°C / 14-17°C) Période de frai 1-10°C (6°C) Baisse probable, au moins dans le sud de l'Europe. Avantages éventuels plus au nord du fait de la survie des alevins si les hivers sont plus doux. Elle peut disparaître lorsqu'elle ne peut pas migrer vers des zones plus élevées.	BUNZEL-DRÜKE 2011, EUROLIMPACS, MKUNLV 2010, NOTTER & STAUB 2009, PONT 2003, WEBB & WALSH 2004 dans WWF 2009
<i>Salmo trutta lacustris</i>	<b>Truite lacustre</b>			Adultes < 25/ 30°C (16-23°C) Période de frai 1-9°C	KÜTTEL et al. 2002
<b>Nom</b>	<b>Espèce</b>	<b>Prévision</b>	<b>Statut de</b>	<b>Observations</b>	<b>SOURCE</b>

<b>scientifique de l'espèce piscicole</b> <b>Nom</b>	<b>piscicole – nom français</b>		<b>protection, origine</b>	<b>Températures tolérées / valeurs extrêmes (et optimales)</b>	
<i>Salmo salar</i>	<b>Saumon</b>	Baisse	FFH annexe II & annexe V (en eau douce)	Oeufs < 16°C (4-11°C) Juvéniles < 17°C (< 10°C) Alevins < 23°C Saumons d'été (âgés de 2-3 mois) < 28,7-29,2°C Tacons (0+ bis 1+) < 27,4-32,8°C Smolts dévalants < 19°C (7-14,3 °C) Adultes < 28-32°C (9-17°C) Période de frai < 10°C (6-8°C) Interruption de la migration à env. 25°C Une légère hausse de température en hiver a des impacts positifs sur le développement des œufs. Classe de risque moyen dans le cadre d'une analyse de sensibilité au climat.	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002  RABITSCH et al. 2010
<i>Salvelinus fontinalis</i>	<b>Saumon de fontaine</b>	Baisse		Espèce présente dans l'épirhithral et le métarhithral	BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Sander (Stizostedion) lucioperca</i>	<b>Sandre</b>	?		Oeufs 3-24°C / 25°C Larves 13,1-26°C (13,1-15,5°C) Juvéniles 27,3-30°C Adultes < 33,3°C Période de frai 3-26°C	Sources diverses dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Silurus glanis</i>	<b>Silure</b>	Hausse		oeufs 22-25°C Juvéniles > 13°C (24,5°C) Adultes 7-33°C / (27°C) Période de frai 17-25°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, MKUNLV 2011, diverses sources dans TISSON & SOUCHON 2010
<i>Thymallus thymallus</i>	<b>Ombre commun</b>	Baisse	FFH annexe V	Oeufs 6-13 / 14°C (9°C) Adultes < 18/ 24°C (15-17°C) Période de frai < 15°C (6-10°C) Cette espèce a besoin de cours d'eau frais d'une largeur donnée. Là où de tels cours d'eau n'existent pas ou ne sont pas accessibles à une altitude plus élevée, l'espèce pourrait disparaître complètement. Classe de risque moyen dans le cadre d'une analyse de sensibilité au climat.	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002 PONT 2003, NOTTER & STAUB 2009 ; RABITSCH et al. 2010
<i>Analyse de toutes les</i>		Hausse : 26%;		Environ un tiers des espèces piscicoles et des cyclostomes dans le Land allemand de Rhénanie-du-Nord-Westphalie subiront	MKUNLV 2010

<i>espèces piscicoles présentes</i>	Baisse : 21%		globalement des impacts négatifs, ce qui est parfois dû à d'autres aspects du changement climatique.	
-------------------------------------	-----------------	--	--	--

## Annexe 2

**Légende de la figure 1** : Facteurs abiotiques et groupes d'organismes du cours inférieur d'un fleuve sur lesquels un impact du changement climatique est concevable.

Source : <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de>

Allemand	Français
<b>Klimawandel</b>	<b>Changement climatique</b>
<b>Direkte Einflüsse</b>	<b>Impacts directs</b>
Strahlung	Rayonnement
Lufttemperatur	Température de l'air
Niederschlag: Extreme, Saisonalität	Précipitations : valeurs extrêmes/saisonnnières
<b>Indirekte Einflüsse</b>	<b>Impacts indirects</b>
Landnutzung	Occupation des sols
Auen	Milieu alluvial
Grundwasser	Eaux souterraines
Mineralisierung / Verwitterung	Minéralisation / altération atmosphérique
<b>Faktoren, die den Klimawandel imitieren</b>	<b>Facteurs imitant les impacts du changement climatique</b>
Gletscherwasserabfluss	Débit d'eaux de fonte des glaciers
Restwasser	Débit réservé
Wärmeeinleitungen	Rejets thermiques
<b>Abiotische Veränderungen</b>	<b>Modifications abiotiques</b>
<b>Hydrologie</b>	<b>Hydrologie</b>
Abflussregime	Régime hydrologique
Hochwasser-Abfluss (Q)	Débit de crue (Q)
Hochwasser-Zeitpunkt	Phase de crue
Niedrigwasser-Abfluss (Q)	Débit d'étiage (Q)
Niedrigwasser-Zeitpunkt	Phase d'étiage
Mittlerer Abfluss (Q) (Volumen)	Débit moyen (Q) (volume)
Austrocknung	Dessèchement
Verdunstung	Evaporation
Schneesmelze / Schneedecke	Fonte des neiges / couverture nivale
<b>Morphologie</b>	<b>Morphologie</b>
Beschattung	Ombragement
Randstreifen	Bandes riveraines
Mesohabitate Aue	Mésohabitats du milieu alluvial
Mesohabitate Fließgewässer	Mésohabitats des rivières
Mikrohabitate Fließgewässer	Microhabitats des rivières
Interstitial	Interstitiel
Feinsedimenteintrag	Apport de sédiments fins
Geschiebetransport	Charriage
<b>Physiko-Chemie</b>	<b>Physicochimie</b>
Wassertemperatur	Température de l'eau
Delta Temperatur (= Amplitude)	Température delta (= amplitude)
Sauerstoff	Oxygène
pH	pH
Chlorid	Chlorures
Nährstoffe	Nutriments
Leitfähigkeit	Conductivité
Versauerung	Acidification
Saprobie	Saprobie
Toxische Substanzen	Substances toxiques

<b>Biologische Veränderungen</b>	<b>Modifications biologiques</b>
<b>Organismen</b>	<b>Organismes</b>
Phytoplankton	Phytoplancton
Phytobenthos / Makrophyten	Phytobenthos / macrophytes
Makrozoobenthos	Macrozoobenthos
Fische	Poissons
Andere Organismen	Autres organismes
Neobiota	Néobiotes
Bewertungsverfahren / Metrics	Méthode d'évaluation / métrique
Indikatorarten	Espèces indicatives