Etude sur l'élevage des carpes dites chinoises en France et évaluation de leur possible reproduction naturelle dans les cours d'eau Français.

Fabrice Teletchea[1] et Yannick Le Doré[2]

[1]Enseignant-chercheur à l'IUT Nancy-Brabois et responsable pédagogique de la Licence professionnelle « Aquaculture Continentale et Aquariologie »
[2]Technicien de recherche et Formation

Laboratoire « UR AFPA »
Equipe « Domestication en Aquaculture Continentale » sous la direction du Pr. Pascal Fontaine.
Domaine Scientifique Victor Grignard
BP 70239
54506 Vandœuvre-lès-Nancy
Tel. 03 83 68 55 96
fabrice.teletchea@iutnb.uhp-nancy.fr
yannick.ledore@lsa-man.uhp-nancy.fr

Remerciements

Nous souhaitons remercier l'ensemble des personnes impliquées dans le comité du pilotage pour leurs échanges et leurs discussions fructueuses : Aurélien TOCQUEVILLE (Ingénieur Cellule aquacole – ITAVI), Pierre TRIBON et Benoît BOURBON (DPMA – MAAPRAT), Yvette WHITE (secrétaire générale FFA/CIPA), Patrice ASTRE (Président de la FFA), Jean-Pierre DARREAU (Président de l'AFPPE), Christophe MOURRIERAS (Directeur DDPP de Tours), Emmanuelle BREYNE (Animatrice aquacole AFPPE/STEB/SPSO), Jacques ROBERT (Bureau de la chasse et de la pêche – MEDDTL), Nicolas POULET (Chargé de mission « écologie des organismes aquatiques » - ONEMA), Pascal TRINTIGNAC (Conseiller aquacole régional SMIDAP), Philippe RELOT (Rapporteur de la Commission Plans d'eau FFA, vice-président de l'AFPPE), Raphaël ROUX (Stagiaire DREAL de Nantes), René MARX (Président de l'UNSAAEB) et Bertrand de LA RIVIERE (UNSAAEB).

Résumé

Ce présent rapport a trois objectifs principaux :

[1] Mener une synthèse bibliographique sur les trois espèces de carpes dites chinoises introduites en France dans la seconde moitié du 20ème siècle : la carpe herbivore ou amour blanc (*Ctenopharyngodon idella*), la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*) et la carpe à grosse tête (*Aristichthys nobilis*),
[2] Etudier les intérêts de ces trois espèces,
[3] Evaluer les risques réels d'une reproduction naturelle en France et autres risques des carpes chinoises dans le milieu naturel.

Ce rapport est basé sur l'analyse de 125 références bibliographiques.

- Ces trois espèces de carpes ont une biologie très similaire : ce sont des animaux euryèces qui grandissent vite et qui peuvent atteindre des tailles (> 100 cm) et des poids très importants (> 20 kg), surtout en comparaison des autres espèces présentes en France. Le régime alimentaire de ces trois espèces diffère : les carpes herbivores consomment principalement des macrophytes et des algues filamenteuses, les carpes argentées sont principalement phytoplanctonophages et les carpes à grosse tête zooplanctonophages.

- Ces trois espèces ont une importance économique considérable au niveau mondial puisqu'elles totalisent à elles seules plus de 10 millions de tonnes produites par an (principalement en Chine).

- Ces trois espèces ont été introduites dans de très nombreux pays (près d'une centaine pour chacune) au cours des 50 dernières années pour la lutte biologique et l'aquaculture. Cependant, la reproduction naturelle n'a été observée seulement que dans quelques pays possédant des écosystèmes très proches de leur milieu d'origine. En effet, ces carpes nécessitent en priorité de grands fleuves avec un fort courant (ca. 1 m/s) qui présentent des variations importantes et rapides du niveau de l'eau (1 à 2 m) et des températures optimales comprise entre 20 et 25°C en été. De telles conditions n'existent pas en France et par conséquent leur reproduction naturelle est, en l'état actuel des connaissances, très peu probable.

- Malgré une présence en France depuis les années 1950, l'aire de répartition de ces trois espèces reste presque exclusivement cantonnée aux eaux closes. Dans les 40 dernières années, seule une dizaine d'individus auraient été capturés par an pour les carpes herbivores, un à deux pour la carpe argentée et aucune pour la carpe à grosse tête.

- Etant donné que la reproduction naturelle est très peu probable en France et que ces trois espèces sont presque exclusivement cantonnées aux eaux closes, leur expansion sur notre territoire dépendra quasi-exclusivement de comportements humains (incluant les relâchés illégaux par des particuliers par exemple). De plus, dans l'éventualité où ces poissons poseraient des problèmes, il est relativement facile d'y remédier étant donné la taille des animaux (pêche des poissons ou captures lors de la mise à sec des étangs).

- Les bénéfices et les risques associés aux trois espèces sont différents. Il est clair que la carpe herbivore permet de contrôler efficacement et durablement le développement trop important de la végétation aquatique et permet ainsi de remplacer le faucardage et l'utilisation de produits chimiques. Les conséquences sur l'écosystème et les espèces natives sont négligeables voire peu importantes, surtout si les densités utilisées sont basses (autour de 30 kg/ha). L'intérêt des deux autres espèces est moins évident, notamment pour la carpe à grosse tête. De plus, les impacts (ou risques) sur les écosystèmes de ces deux espèces, carpe argentée et carpe à grosse tête, sont complexes à mettre en évidence et sont très souvent contradictoires.

Il convient de noter au moins trois incohérences dans la situation actuelle

- Des mesures franco-françaises n'auraient aucun effet sur trois des sept principaux fleuves « français » : le Rhin, la Meuse et le Rhône quant au devenir de ces trois espèces dans les eaux libres en France car leurs cours s'étend au-delà des frontières nationales.

- Une enquête réalisée *sous couvert d'anonymats* auprès d'une douzaine de grossistes a révélé qu'environ 50 000 individus, (principalement des carpes amours (80%) et des carpes argentées (20%), aucune carpe à grosse tête), sont vendus annuellement en France par ces grossistes pour le commerce du poisson d'ornement.

- Il est assez facile d'obtenir légalement des carpes herbivores dans de très nombreuses animaleries en France.

Pour toutes ces raisons, il semble possible et judicieux d'autoriser de nouveau l'utilisation de la carpe herbivore et de la carpe argentée dans les plans d'eau.

Sommaire

Remerciements 2
Résumé 3
A. Introduction 7
1. Contexte général 7
2. Présentation rapide de la faune piscicole européenne et française 8
3. Objectifs de la présente étude 11
B. Présentation des trois carpes chinoises 12
1. *Ctenopharyngodon idella* (carpe herbivore, amour blanc) 12
a. Morphologie 12
b. Biologie 13
c. Aire de répartition 18
d. Importance économique 24
e. Méthodes d'élevage 25
2. *Hypophthalmichthys molitrix* (carpe argentée) 27
a. Morphologie 27
b. Biologie 27
c. Aire de répartition 31
d. Importance économique 34
e. Méthodes d'élevage 35
3. *Aristichthys nobilis* (carpe à grosse tête) 36
a. Morphologie 36
b. Biologie 36
c. Aire de distribution 39
d. Importance économique 42
e. Méthodes d'élevage 43
4. Reproduction des trois espèces en milieu naturel 44
a. Particularités de la biologie de la reproduction 44
b. Reproduction en milieu naturel suite à des introductions 46
c. Etudes de cas 49
d. La reproduction des carpes chinoises en France sera-t-elle possible ? 52
C. Intérêts des trois carpes chinoises 55
1. *Ctenopharyngodon idella* (carpe herbivore, amour blanc) 55
a. Consommation de la chair 55
b. Impacts positifs pour le plan d'eau 56
c. Autres 61

2. *Hypophthalmichthys molitrix* (carpe argentée) 62
a. Consommation de la chair 62
b. Impacts positifs pour le plan d'eau 62
c. Autres 63
3. *Aristichthys nobilis* (carpe à grosse tête) 65
a. Consommation de la chair 65
b. Impacts positifs pour le plan d'eau 65
c. Autres 65
4. Comparaison de l'intérêt des trois carpes chinoises 66
D. Risques liés à l'introduction des carpes chinoises 68
1. *Ctenopharyngodon idella* (carpe herbivore, amour blanc) 68
2. *Hypophthalmichthys molitrix* (carpe argentée) 71
3. *Aristichthys nobilis* (carpe à grosse tête) 72
4. Comparaison des risques potentiels liés aux trois carpes chinoises. 72
E. Conclusions 74
F. Références 76
F. Annexes 86
1. Glossaire 86
2. Régime hydrologique des principaux fleuves français, du Danube et du Mississippi. 87

A. Introduction

1. Contexte général

Les **introductions d'espèces exogènes,** aussi appelées non-natives, non-indigènes, allochtones, étrangères ou exotiques (voir **GLOSSAIRE**) constituent l'une des plus grandes menaces actuelles qui pèsent sur la biodiversité, avec la pollution, la surexploitation et la perte ou la destruction des habitats (Lodge, 1993 ; Hall et Mills, 2000 ; Olden, 2006 ; Olden et al., 2007). Ces introductions, liées quasi-exclusivement à l'activité humaine, se sont accélérées au cours du siècle passé et singulièrement en France (Keith et Allardi, 1997 ; Pascal et Lorvelec, 2005 ; Pascal et al., 2006).

Les causes des introductions de poissons exogènes sont multiples : l'aquaculture, la pêche commerciale, la pêche de loisir, l'aquariophilie et la gestion des milieux humides (Crivelli, 1995 ; Eby et al., 2006 ; Innal et Erk'akan, 2006 ; Savini et al., 2010). Par exemple, 1205 cas d'introduction d'espèces ont été répertoriées dans le monde uniquement pour l'aquaculture (Casal, 2006). **En Europe, 65% de la production piscicole continentale est basée sur des espèces exogènes** (Turchini et De silva, 2008). Ces introductions peuvent aussi être dues à des modifications anthropiques du milieu : construction de canaux ou de barrages (Mavruk et Avsar, 2008 ; Johnson et al., 2008). De nombreuses introductions sont aussi accidentelles, comme les individus échappés de fermes aquacoles ou ceux transportés dans les ballastes de bateaux (Manchester et Bullock, 2000 ; Arismendi et al., 2009 ; Guedes et al., 2009).

La grande majorité des espèces exogènes n'arrivent pas à s'implanter et celles qui y arrivent ont généralement peu d'impacts sur les espèces endogènes ou le milieu natif (Moyle et Light, 1996 ; Manchester et Bullock, 2000 ; Sax et Brown, 2000 ;Kolar et Lodge, 2001 ; Copp et al., 2005). Cependant, García-Berthou et al. (2005) ont montré que le pourcentage d'établissement des 123 espèces de poissons dulcicoles introduits dans six pays européens est en moyenne de 63 %, c'est-à-dire bien supérieur au 5–20 % communément admis. Les principales perturbations décrites sur les espèces natives et les écosystèmes sont : l'hybridation, la prédation, la compétition, l'extirpation, la dissémination de maladies ou de parasites, la perturbation des habitats, des cycles biogéochimiques et des réseaux trophiques (Crivelli, 1995 ; Moyle et Light, 1996 ; Eby et al., 2006 ; Savini et al., 2010).

Bien qu'il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus quant aux caractéristiques des « bons colonisateurs », quelques hypothèses ont été avancées : **espèces euryèces**, une grande distribution géographique naturelle, stratégies démographiques *r*, commensales des activités humaines (Moyle et Light, 1996 ; Ricciardi et Rasmussen, 1998). En ce qui concerne les écosystèmes, tous semblent potentiellement colonisables même si certains sont plus sensibles : ceux ayant une richesse spécifique faible, les milieux isolés géographiquement ou historiquement (îles), ceux présentant un niveau important de perturbations naturelles ou anthropiques, ou encore ceux où il n'y a pas d'ennemis coadaptés, incluant les compétiteurs, les prédateurs, les parasites et les maladies (Moyle et Light, 1996 ; Sax et Brown, 2000 ; Leprieur et al., 2008). L'interaction entre les caractéristiques des espèces exogènes et des écosystèmes introduits (facteurs abiotiques et biotiques) est évidemment fondamentale dans le devenir des introductions (Shea et Chesson, 2002 ; Facon et al., 2006). Enfin l'intensité des introductions, *i.e.*, le nombre d'individus introduits et la fréquence des introductions, est positivement liée à l'établissement des espèces exogènes (Kolar et Lodge, 2001).

2. Présentation rapide de la faune piscicole européenne et française

Plusieurs ouvrages ou articles ont été consacrés à la faune piscicole Européenne, le dernier en date et le plus complet étant celui de Kottelat et Freyhof (2007). Il apparaît que cette faune est assez pauvre puisque ces auteurs ne recensent « que » 579 espèces, surtout en comparaison des 13 000 espèces de poissons d'eau douce décrites dans le monde (www.fishbase.org; Lévêque et al., 2008). Parmi ces 579 espèces, 33 ont été introduites à partir de régions hors d'Europe (Asie, Amérique du Nord) dont 28 sont actuellement établies (Kottelat et Freyhof 2007). De plus, de très nombreuses espèces ont été déplacées entre les pays Européens (Copp et al. 2005 ; Koščo et al. 2010). Leprieur et al. (2008) ont ainsi mis en évidence **que l'Europe de l'Ouest et du Sud figurent parmi les six zones au monde où les espèces introduites représentent plus du quart des espèces totales**.

Une base de données (http://www.europe-aliens.org/), issue du projet DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe), a récemment été développée recensant plus de **11 000 espèces animales et végétales exogènes** en Europe (Hulme et al., 2009). 178 espèces de poissons d'eau douce sont répertoriées dans cette base parmi lesquelles trois : **le gobie arrondi (*Neogobius melanostomus*), le pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*) et l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*)** se retrouvent dans la liste des « 100 pires espèces invasives ».

La faune piscicole française a aussi été étudiée (e.g., Spillmann 1961 ; Billard, 1997 ; Persat et Keith 1997 ; Keith et Allardi 2001). 82 espèces sont présentes sur le territoire métropolitain, dont 36 exogènes ; 23 auraient établi des populations pérennes (Copp et al., 2005). Ainsi, **plus d'un tiers de la faune ichthyologique vivant actuellement en France métropolitaine a été introduite** au cours des 150 dernières années (Keith et Allardi, 1997). Une évaluation en 2009 a recensé 95 espèces en France métropolitaine, dont 26 sont exogènes. Une synthèse des principaux travaux sur les espèces exogènes de poissons en France est indiquée dans le Tableau 1.

L'impact des introductions d'espèces de poissons en France n'est en général pas documenté (Keith et Allardi 1997 ; Pascal et al. 2006). Sur les 21 espèces décrites comme exogènes par Pascal et al. (2006), seulement trois ont fait l'objet d'études particulières en France pour évaluer leurs impacts sur le fonctionnement des écosystèmes, i.e., la carpe commune (*Cyprinus carpio*), la truite arc-en-ciel (*Oncohynchus mykiss*) et l'omble de fontaine. De plus, une seule espèce, le poisson-chat (*Ameirus melas*) a fait l'objet de mesures spécifiques de gestion au titre d'espèce exogène. Dans les années 1980-1990, il a fait l'objet de nombreuses pêches visant, sans succès, son éradication locale (Pascal et al. 2006).

Tableau 1. Bilan des connaissances sur les 27 espèces introduites en France (d'après Keith et Allardi, 1997). Modifié d'après la liste rouge des espèces menacées en France, voir : (www.uicn.fr/IMG/pdf/Dossier_presse_Liste_rouge_Poissons_d_eau_douce_de_metropole.pdf).

Espèces par statut	Origines	Date de l'introduction	Raisons	Impacts principaux
Acclimatés (voir GLOSSAIRE) et en extension (*n* = 10)				
Salvelinus fontinalis (Mitchill, 1815)[3]	Amérique du Nord	1904	Loisir-Pêche	Inconnu
Carassius auratus (Linné, 1758)[3]	Asie	18ème siècle	Loisir-Pêche	Inconnu
Cyprinus carpio Linné, 1758[1, 3]	Europe centrale	Ere Romaine	Aquaculture	Inconnu
Pseudorasbora parva (Schlegel, 1842)[3]	Asie	1978-1979	Accident	Inconnu
Silurus glanis Linné, 1758[3]	Europe centrale	1857	Curiosité scientifique	Ecologique (?)
Gambusia affinis (Baird et Girard, 1853)[3]	Amérique du Nord	1924	Lutte biologique	Ecologique
Sander lucioperca (Linné, 1758)[3]	Europe centrale	1888	Loisir-Pêche	Pathologique
Lepomis gibbosus (Linné, 1758)[3]	Amérique du Nord	1877	Curiosité scientifique	Ecologique
Pachychilon pictus (Heckel et Kner, 1858)[3]	Europe de l'Est	1987	Accident	Inconnu
Micropterus salmoides (Lacépède, 1882)[3]	Amérique du Nord	1890	Loisir-Pêche	Ecologique
Acclimatés et en régression (*n* = 2)				
Ameirus melas (Rafinesque, 1820)[3]	Amérique du Nord	1871	Curiosité scientifique	Ecologique (?)
Chondrostoma nasus (Linné, 1758)[1]	Europe centrale	1853	Accident	Ecologique
Non acclimatés (voir GLOSSAIRE) et en extension (*n* = 4)				
Oncorhynchus mykiss (Walbaum, 1792)[3]	Amérique du Nord	1884	Loisir-Pêche	Pathologique
Ctenopharyngodon idella (Valenciennes, 1844)	Asie	1957	Lutte biologique	Ecologique
Hypophthalmichthys molitrix (Valenciennes, 1844)	Asie	1975	Lutte biologique	Ecologique
Aristichthys nobilis (Richardson, 1845)	Asie	1975	Lutte biologique	Ecologique
Non acclimatés et en régression (*n* = 5)				
Hucho hucho (Linné, 1758)[2]	Europe centrale	1951-1957	Lutte biologique	Ecologique
Oncorhynchus tschawytscha Walbaum, 1792[2]	Amérique du Nord	1877	Loisir-Pêche	Inconnu
Oncorhynchus kisutch Walbaum, 1792[2]	Amérique du Nord	1884-1891	Aquaculture	Inconnu

Coregonus peled Gmelin, 1789[2]	Europe centrale	1983	Loisir-Pêche	Inconnu
Micropterus dolomieu (Lacépède, 1802)[2]	Amérique du Nord	1890	Loisir-Pêche	Inconnu
Sans information (*n* =6)				
Acipenser baeri Brandt, 1869	Europe de l'Est	1975-1987	Aquaculture	Inconnu
Salvelinus namaycush (Walbaum, 1794)[3]	Amérique du Nord	1886	Loisir-Pêche	Inconnu
Umbra pygmaea (De Kay, 1842)[3]	Amérique du Nord	1910-1911	Curiosité scientifique	Inconnu
Leuciscus idus (Linné, 1758)[1, 3]	Europe centrale	1930-1960	Accident	Inconnu
Ambloplites rupestris (Rafinesque, 1817)[3]	Amérique du Nord	1904-1910	Curiosité scientifique	Inconnu
Pimephales promelas Rafinesque, 1820	Amérique du Nord	1980	Loisir-Pêche	Pathologique
Ajout suite à la publication de la « la liste rouge des espèces menacées en France »* (*n* = 7)				
Aspius aspius (Linné, 1758)[3]				
Carassius carassius (Linné, 1758)[3]				
Carassius gibelio (Bloch, 1782)[3]				
Cobitis bilineata				
Coregonus lavaretus				
Proterorhinus semilunaris				
Vimba vimba (Linné, 1758)[3]				

*Des modifications ont été apportées à cette liste suite à la publication de la liste rouge des espèces menacées en France (publiée en 2009, voir ci-dessus). Dans cette nouvelle liste, 26 espèces ont été considérées comme exogènes. Ainsi:[1] indique les espèces qui ne sont pas considérées comme exogènes mais comme indigènes dans cette nouvelle liste et [2] pour les espèces qui ne sont plus prises en compte ; de plus, sept nouvelles espèces ont été ajoutées (indiquées à la fin du tableau).

Une autre étude de Pascal et al. (2006) s'est intéressée aux espèces exogènes. 21 espèces ont été considérés comme strictement exogènes, indiqués par [3]. Une autre espèce, inclue dans cette étude, *Coregonus albula* (Linné, 1758), n'est pas inclue dans ce tableau.

3. Objectifs de la présente étude

Le principal objectif du présent travail est de mener une étude sur l'élevage des carpes dites chinoises en France et plus spécifiquement sur les questions de leur **reproduction naturelle** dans les cours d'eau français. Plus précisément, cette étude comprend trois actions :

1. Mener une synthèse bibliographique sur trois espèces de carpes dites chinoises :
    - carpe herbivore ou amour blanc (*Ctenopharyngodon idella*),
    - carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*),
    - carpe à grosse tête (*Aristichthys nobilis*).

2. Etudier les intérêts de ces espèces (nettoyage et faucardage des étangs, valorisation de la chair à des fins de transformation)

3. Evaluer les risques réels d'une reproduction en milieu naturel et autres risques des carpes chinoises dans le milieu naturel

B. Présentation des trois carpes chinoises

1. *Ctenopharyngodon idella* (carpe herbivore, amour blanc)

a. Morphologie

La carpe herbivore *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844) possède un corps allongé et relativement cylindrique, recouvert de grandes écailles bordées de sombre (Figure 1). La ligne latérale est complète et légèrement incurvée. Le dos est vert noirâtre, avec des flancs plus clairs, souvent verdâtres et le ventre est blanchâtre. Les nageoires pectorales sont placées très bas sur l'animal et sont assez courtes. Les nageoires pelviennes sont implantées en position abdominales, à l'aplomb de la dorsale. Les nageoires dorsale et anale sont courtes. Le pédoncule caudal est épais et porte une large nageoire caudale échancrée. La tête est assez large et dépourvue d'écailles. L'œil est petit et la bouche est petite et terminale (Figure 2).

Figure 1. Vue latérale droite de la carpe herbivore (photo F. Teletchea).

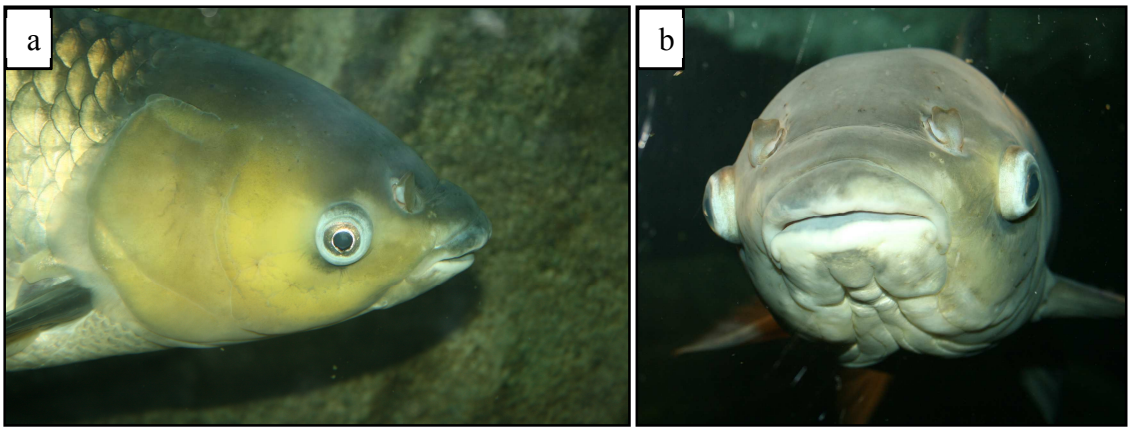


Figure 2. Gros plan de la tête de la carpe herbivore, (a) vue latérale et (b) vue de face (photos F. Teletchea).

b. Biologie

Habitat

La carpe herbivore est une espèce **euryèce**. Elle peut notamment vivre dans des eaux douces et saumâtres, jusqu'à 10 ‰ pendant de courtes périodes (Kilambi, 1980 ; Galveston Bay Foundation, 2002 ; Masser, 2002). De plus, elle peut supporter des concentrations en oxygène dissous très faibles, jusqu'à 0,2 mg/l (Shireman et Smith, 1983 ; Bruslé et Quignard, 2001). Cependant l'alimentation semble s'arrêter lorsque la concentration en oxygène dissous est inférieure à 3 mg/L et est meilleure lorsque la concentration est supérieure à 4 mg/L (Masser, 2002). De plus, elle est capable de tolérer des températures variant de 0 à 33°C, même si elle nécessite des conditions thermiques élevées pour son activité alimentaire et reproductrice (Bruslé et Quignard, 2001). En effet, elle apprécie les eaux chaudes tropicales et grossit très rapidement à 28-30°C ; en revanche la reproduction naturelle est inhibée à ces températures (Dabbadie, 1994). La température létale est autour de 38°C pour les adultes, autour de 33-41°C pour les larves et autour de 35-36°C pour les juvéniles (Cudmore et Mandrak, 2004). La survie des œufs est très faible en dessous de 18°C (Stott et Cross, 1973).

Dans son milieu naturel, cette espèce préfère fréquenter les eaux claires, chaudes, bien oxygénées et avec une végétation abondante des zones littorales de lacs, de réservoirs ou d'eaux calmes de fleuves durant la période de nourrissage (Kottelat et Freyhof, 2007 ; Cuda et al., 2008). Pendant la période de reproduction et l'hiver, elle fréquente la partie aval et moyenne de grands fleuves (Kottelat et Freyhof, 2007). Elle habite dans la couche mi-inférieure de la colonne d'eau (FAO, 2009-2011a).

En France, c'est un poisson qui est uniquement en élevage (**eaux closes**), mais peut exceptionnellement se retrouver dans certains canaux (Billard, 1997), voir ***chapitre 1.C***.

Régime alimentaire

Les larves de carpe herbivore se nourrissent de zooplancton (rotifères, larves de chironomes …), puis le régime alimentaire devient quasi-exclusivement herbivore au-delà de 2 à 5 cm (Shireman et Smith, 1983 ; Dabbadie, 1994 ; Billard, 1997 ; Bruslé et Quignard, 2001 ; Galveston Bay Foundation, 2002 ; Kottelat et Freyhof, 2007). Cependant le régime herbivore des juvéniles est peu strict, incluant des végétaux aquatiques (*Elodea*, *Potamogeton*, *Chara*, *Ceratophyllum* …) et des algues filamenteuses (*Spirogyra*, *Cladophora* …) (Bruslé et Quignard, 2001 ; Pípalová, 2006). Généralement les juvéniles préfèrent les sommets doux et tendres des jeunes plantes en croissance et la végétation submergée (Masser, 2002). De plus, les juvéniles peuvent ingérer en même temps divers organismes vivant parmi ces plantes (mollusques, larves d'insectes…) et même des petits poissons (Cudmore et Mandrak, 2004).

Les adultes sont sélectifs dans le choix des plantes qu'ils consomment, préférant les plantes immergées avec des feuilles douces et des tissus mous (Tableaux 2 et 3 ; voir aussi Shireman et Smith, 1983 ; Dibble et Kovalenko, 2009). D'une manière générale, cette sélectivité des carpes herbivores adultes décroit avec l'âge (Pípalová, 2006). Les poissons les plus jeunes ont tendance à éviter les plantes avec des feuilles dures ou rugueuses (comme *Stratoides aloides* L. et diverses monocotylédones), les grosses feuilles flottantes (e.g., *Nymphaea* et *Nuphar* spp), les plantes avec un goût très fort (comme *Polygonum hydropiper*) ou les plantes toxiques (*Ranunculus* sp.) (Pípalová, 2006). Les individus les plus âgés et plus

gros ne refusent pas ces plantes mais les consomment uniquement si les autres plantes ne sont pas disponibles (Pípalová, 2006). D'autres plantes appartenant aux genres *Potamogeton*, *Myriophyllum* et *Typha*, semblent aussi peu prisées par les carpes herbivores (Dibble et Kovalenko, 2009). De plus, les carpes herbivores consomment les espèces préférées en premier jusqu'à ce qu'elles deviennent rares (Cudmore et Mandrak, 2004 ; Pípalová, 2006). D'autres espèces de plantes sont aussi consommées si les espèces préférées sont absentes, comme des algues filamenteuses ou des macrophytes avec des feuilles plus dures (Cudmore et Mandrak, 2004). A noter que la préférence pour les algues filamenteuse semble décroître avec l'âge (Masser, 2002). Ainsi, la carpe herbivore peut consommer des centaines d'espèces de plantes différentes (Masser 2002 ; Dibble et Kovalenko, 2009). Cependant, l'ordre de préférence des plantes consommées varie en fonction des conditions environnementales et est difficilement prévisible (Dibble et Kovalenko, 2009). De plus, lorsque la quantité de macrophytes est trop faible, les carpes herbivores adultes peuvent ingérer du benthos, du zooplancton, ou des crustacés (Dibble et Kovalenko, 2009), mais il semblerait que dans ces conditions elles perdent du poids (Cudmore et Mandrak, 2004).

La carpe herbivore ne se nourrit pas pendant l'hiver et se nourrit peu en dessous de 7°C (Cudmore et Mandrak, 2004 ; Kottelat et Freyhof, 2007). Elle se nourrit régulièrement entre 10 et 16°C, avec un optimal de consommation entre 21 et 30°C (Masser, 2002). Dans les conditions optimales, les carpes herbivores adultes peuvent consommer plus de plantes aquatiques que leur propre poids par jour (Pípalová, 2006). Par exemple, à 20°C, une carpe herbivore consomme environ 50% de son poids en plantes (Galveston Bay Foundation, 2002). A 22°C, elle peut consommer entre 100 et 200% de son poids, voire jusqu'à 300% par jour (Galveston Bay Foundation, 2002). Cependant, la valeur nutritive des végétaux est faible et le taux de conversion est tel qu'il faut ingérer 50 kg de plantes aquatiques pour assurer une croissance de 1 kg (Bruslé et Quignard, 2001). En outre et de manière contre-intuitive, la carpe herbivore a un système digestif peu performant en ce qui concerne les plantes (Galveston Bay Foundation, 2002). Elle assimile moins de 50% de la matière végétale qu'elle consomme et excrète le reste partiellement digéré. Ces déchets organiques retournent dans l'environnement et *peuvent contribuer* à une eutrophisation et par la suite à un chute de l'oxygène dissous et à la mort de poissons (Galveston Bay Foundation, 2002).

Tableau 2. Liste des espèces préférentiellement consommées de la carpe herbivore en Europe, classées par ordre de préférence (d'après Pípalová, 2002). *Etude réalisée en République Tchèque*. Voir aussi Codhant et Dutartre (1992).

Préférence	Espèce	Nom commun*	Types
1	*Cladophora globulina* Kütz	Cladophores	Algue filamenteuse
2	*Eleocharis acicularis* (L.)	Scirpe aiguille	Macrophyte
3	*Potamogeton pectinatus* L.	Potamot pectiné	Macrophyte
3	*Potamogeton pusillus* L.	Potamot fluet	Macrophyte
4	Lemnaceae		Macrophyte
5	*Elatine hydropiper* L.	Elatine poivre d'eau	Macrophyte
5	*Ranunculus trichophyllus* Chaix	Renoncule lâche	Macrophyte
5	*Sparganium emersum* Rehm	Rubanier émergé	Macrophyte
6	*Ceratophyllum demersum* L.	Cornifle immergé	Macrophyte
6	*Myriophyllum spicatum* L.	Myriophylle en épi	Macrophyte
7	*Spirogyra sp.*	Spirogyre	Algue filamenteuse

**donné à titre indicatif car variable en fonction des auteurs.*

Tableau 3. Liste des espèces préférentiellement consommées de la carpe herbivore en Amérique du Nord, classées approximativement par ordre de préférence (d'après Cudmore et Mandrake, 2004). Voir aussi le Tableau 2 dans Masser (2002).

Préférence	Espèce	Nom commun*	Types
1	*Elodea canadensis*	Elodée du Canada	Macrophyte
2	*Ceratophyllum demersum*	Cornifle immergé	Macrophyte
3	*Chara spp*	Characée	Algues filamenteuse
4	*Lemna minor*	Petite lentille d'eau	Macrophyte
5	*Potamogeton natans*	Potamot nageant	Macrophyte
6	*Lemna trisulca*	Lentille d'eau à 3 lobes	Macrophyte
7	*Myriophyllum sp*	Myriophylle	Macrophyte
8	*Potamogeton pectinatus*	Potamot pectiné	Macrophyte
9	*Typha latifolia*	Massette à larges feuilles	Macrophyte
10	*Phragmites communis*	Roseau commun	Macrophyte
11	*Juncus effusus*	Jonc diffus	Macrophyte
12	*Carex nigra*	Laîche sombre	Macrophyte
13	*Hydrocharis morsus-ranae*	Hydrocharis morène	Macrophyte
14	*Nasturtium officinale*	Cresson de fontaine	Macrophyte
15	*Potamogeton lucens*	Potamot brillant	Macrophyte
16	*Carex pseudo-cyperus*	Laiche faux souchet	Macrophyte

**donné à titre indicatif car variable en fonction des auteurs.*

En captivité, la carpe herbivore accepte facilement l'aliment artificiel fabriqué à partir de graines traitées, de farines et d'huile végétale, ainsi que des aliments formulés (granulés), en plus des algues aquatiques et des herbes terrestres (Khan et al., 2004 ; Du et al., 2005 ; FAO, 2009-2011a). De nombreuses études utilisant des aliments formulés ont été publiés ces dernières années (Du et al., 2008 ; Gao et al., 2010 ; Tian et al., 2010 ; Yaqoob et al., 2010 ; Yang et al., 2010 ; Gao et al., 2011 ; Ji et al., 2011)

Croissance

La carpe herbivore peut atteindre les 80 à 90 cm à l'âge adulte, voire 120 cm (Kottelat et Freyhof, 2007) ; le record étant de 150 cm (www.fishbase.org). Le poids des adultes varient généralement entre 5 et 10 kg (Teletchea et al., 2007), mais peut atteindre les 32 kg (Kottelat et Freyhof, 2007), voire 35-40 kg (Billard, 1997 ; FAO, 2009-2011a) ou plus (Cudmore et Mandrak, 2004). La plupart des carpes herbivores sauvages vivent entre 5 et 11 ans dans le fleuve Amour, mais peuvent atteindre plus de 30 ans (Cudmore et Mandrak, 2004).

La croissance est rapide puisqu'elle atteint un poids de 10 à 12 kg à 4 ans (Bruslé et Quignard, 2001). En outre, les carpes herbivores peuvent atteindre 1 kg après 1 année en élevage et grandissent environ de 2-3 kg / an dans les zones tempérées et de 4,5 kg/an dans les zones tropicales (Shireman et Smith, 1983). De nombreuses croissances (taille ou poids) obtenues dans divers environnements (Bassin Amour, Alabama, Arkansas, Floride, Inde, Malaisie) sont décrites dans Shireman et Smith (1983).

Reproduction

La carpe herbivore est typiquement un poisson gonochorique (Shireman et Smith, 1983). Les adultes présentent un dimorphisme sexuel pendant la saison de reproduction : des tubercules apparaissent sur les surfaces dorsales et médianes des nageoires pectorales chez les mâles ; ils sont aussi présents mais moins développés chez les femelles (Shireman et Smith, 1983 ; Naca, 1989). La maturité sexuelle est acquise à des âges compris entre 1 et 11 ans et à des tailles standards allant de 58 à 67 cm pour les femelles (Shireman et Smith, 1983). Les mâles sont matures en général 1 an avant les femelles à une longueur de 51 à 61 cm (Shireman et Smith, 1983). Les carpes herbivores introduites en zone tempérée aux Etats-Unis sont matures vers 4-5 ans (Cudmore et Mandrak, 2004), ainsi que les individus introduits dans la région du Terek (Abdusamadov, 1986). La fécondité absolue est très élevée puisque des femelles de 5 à 7 kg peuvent donner 500 000 œufs (Shireman et Smith, 1983 ; Cudmore et Mandrak, 2004). La fécondité absolue de carpes herbivores dans le bassin Amour est en moyenne de 820 000 œufs et varie de 237 000 à 1 687 000 œufs (Gorbach, 1972). Elle est en moyenne de 756 000 œufs pour les individus introduits dans la région de Terek (Abdusamadov, 1986). La fécondité relative est d'environ 110 000 œufs par kilogramme de femelle (Gorbach, 1972 ; Shireman et Smith, 1983).

La saison de reproduction est marquée et limitée en zone tempérée, principalement de Mai à Août et devient plus étendue en zone tropicale (Shireman et Smith, 1983). Lorsque la température de l'eau atteint 15-17°C, les adultes commencent leurs migrations vers l'amont (Shireman et Smith, 1983). Il a été aussi montré que si la température de l'eau descend en dessous de 17°C, la ponte s'arrête et les œufs déjà pondus commencent à mourir (Krykhtin et Gorbach, 1982). Dans l'aire de répartition d'origine, la reproduction a lieu durant la mousson (Shireman et Smith, 1983). Le niveau d'eau augmente rapidement, la température varie entre 20 et 30°C (Shireman et Smith, 1983 ; Dabbadie, 1994) et la force du courant est comprise entre 0,7 et 1,4 m/sec (Krykhtin et Gorbach, 1982). Ainsi, une augmentation du niveau d'eau de plus d'un mètre en moins de 12 heures semble nécessaire pour activer la ponte (Krykhtin et Gorbach, 1982 ; Cudmore et Mandrak, 2004). Les zones de turbulences situées immédiatement après des îles, à la confluence d'affluents, des bancs de sables ou des lits de graviers servent de zone reproduction (Krykhtin et Gorbach, 1982 ; Shireman et Smith, 1983 ; Cudmore et Mandrak, 2004). A noter que l'augmentation de la turbidité pourrait ne pas être un facteur initiant la ponte (Krykhtin et Gorbach, 1982 ; Shireman et Smith, 1983). De plus, la longueur du fleuve est très importante, car elle conditionne fortement le succès de la reproduction, à la fois pour la préparation physiologique des adultes et le développement des œufs et des larves (Shireman et Smith, 1983). D'une manière générale, il faut près d'une centaine de km de fleuves (Shireman et Smith, 1983). En effet, les œufs peuvent dériver entre 50 et 180 km avant que les larves n'éclosent (Masser, 2002). Cependant, il a été montré que le développement des œufs pouvait se faire à de plus faibles vitesses de courant, ce qui autoriserait une distance minimale de cours d'eau de 16 km pour une température d'incubation de 27°C (Codhant et Dutartre, 1992). Une fois écloses, les larves doivent pouvoir trouver des zones de nurserie avec de la végétation à une bonne distance en aval de la zone de reproduction (Shireman et Smith, 1983).

En conclusion, la réussite de la reproduction de cette espèce nécessite de larges fleuves ayant un courant excédant 0,8 m/s, un débit d'environ 400 m^3/s et de fortes variations de niveau de l'eau (Shireman et Smith, 1983 ; Masser, 2002 ; Mandrak et Cudmore, 2004). Les principales caractéristiques de la biologie de la reproduction de la carpe herbivore sont résumées dans le Tableau 8.

Prédateurs

Les premiers stades de vie peuvent être consommés par divers invertébrés, comme des copépodes, hémiptères ou coléoptères (Shireman et Smith 1983 ; Cudmore et Mandrak, 2004). Les individus de plus grandes tailles peuvent être consommés par divers poissons piscivores, comme le black-bass (*Micropterus salmoides*), le brochet (*Esox lucius*), le sandre (*Sander lucioperca*) (Shireman et Smith 1983). Les grenouilles (*Rana* spp.), les serpents aquatiques (*Sinonatrix* (= *Natrix*) *piscator* ; *Enhydris chinensis*), les hérons (*Ardeola schistaceus*) ou les loutres peuvent aussi consommer des carpes herbivores à toutes les tailles (Shireman et Smith 1983 ; Cudmore et Mandrak, 2004).

Maladies et parasites

La carpe herbivore est susceptible d'être porteuse de nombreuses maladies et parasites, parmi lesquels des virus, des bactéries, des champignons, des protozoaires, des trématodes, des nématodes. Un grand nombre de maladies et parasites sont listés dans le Tableau 2 dans Cudmore et Mandrak (2004), dans le Tableau 32 dans Shireman et Smith (1983) et aussi dans la FAO (2009-2011a). Une synthèse des principales maladies et parasites est indiquée pour les trois espèces au Tableau 4.

Tableau 4. Synthèse des principales maladies et parasites pouvant potentiellement affectées les trois carpes chinoises (résumé réalisé à partir de Shireman et Smith, 1983 ; Kolar et al ; 2005).

	Carpe herbivore	Carpe argentée	Carpe à grosse tête
Virus	*Reovirus (*GCRV*), Rhabdovirus carpio*	*Rhabdovirus carpio*	*Rhabdovirus carpio*
Mycoses	*Saprolegnia spp.*	6, dont *Saprolegnia parasitica*	*Saprolegnia spp., Achlya spp.*
Protozoaires	Plus de 40, dont *Ichthyophthirius multifiliis*	47, dont *Ichthyophthirius multifiliis, Myxobolus spp. Trichodina spp.*	26, dont *Myxobolus drigini, Trichodina sp.*
Trématodes	26, dont *Dactylogyrus, Gyrodactylus*	17, dont *Dactylogyrus, Gyrodactylus*	5 dont, *Dactylogyrus*
Cestodes	*Bothriocephalus sp.*	*Bothriocephalus sp.*	*Bothriocephalus sp.*
Copépodes	*Lernea, Argulus*	6, dont *Lernea*	*Lernea*

Comme cette espèce est assez susceptible aux maladies, il y a eu, aussi, plusieurs études sur le contrôle de maladies dans les conditions de culture. La maladie la plus étudiée de la carpe herbivore est la maladie hémorragique, causée par un agent viral. Des mesures préventives efficaces, spécialement un vaccin, ont été développées et appliquées avec succès (FAO, 2009-2011a).

c. Aire de répartition

Dans le monde

La carpe herbivore est originaire d'Asie orientale, du bassin de l'Amour à la Chine (Figure 3). Son aire de répartition naturelle s'étend des latitudes 20° à 50° nord et des longitudes de 100° à 140° est et comprend des zones de drainage de la rivière Pearl au sud de la Chine jusqu'à la rivière Heilongjiang au nord de la Chine (Shireman et Smith, 1983 ; Dabbadie 1994 ; Pípalová, 2006 ; FAO, 2009-2011a) et de la côte jusque dans les terres. Elle fréquente les parties avales et moyennes de grands fleuves, comme l'Amour (frontière entre la Chine et la Russie), Yang Tze et le fleuve jaune (centre de la Chine) et le fleuve Min (traverse la frontière entre le Vietnam et la Chine). Les conditions climatiques varient fortement au sein de l'aire de répartition naturelle de la carpe herbivore. Les températures annuelles de l'air varient en 25°C pour la partie sud, jusqu'à – 6°C dans la partie nord (Cudmore et Mandrak, 2004).

Figure 3. Aire de répartition d'origine de la carpe herbivore (Cudmore et Mandrak, 2004).

La carpe herbivore a été introduite à de multiples reprises dans le monde, principalement pour le contrôle de la végétation aquatique et l'aquaculture (Shireman et Smith, 1983 ; Bruslé et Quignard, 2001 ; Cudmore et Mandrake, 2004 ; Cuda et al., 2008). Les informations concernant son introduction et son éventuellement établissement sont contradictoires entre les auteurs. Ainsi, elle aurait été introduite *a minima* dans plus de 50 pays (Shireman et Smith, 1983 ; Masser, 2002). D'après la FAO (2009-2011a), elle aurait été introduite dans environ 40 pays où il y avait peu d'informations disponibles sur les populations naturelles. Quant à l'Europe, la carpe herbivore aurait été introduite dans 49 pays, parmi lesquels 17 ont des populations qui se sont établies (Cudmore et Mandrak, 2004). Cependant, Kottelat et Freyhoff (2007) considère que cette espèce ne se maintient que grâce au repeuplement ; en d'autres termes elle ne se reproduit pas en milieu naturel en Europe. Enfin d'après le site www.fishbase.org, cette espèce aurait été introduite dans 115 pays (Figure 4), 58 (50%) semble avoir des populations qui se maintiennent sans intervention humaine, 38 (33%) ont des populations qui ne se sont pas implantées et le devenir des

introductions dans les autres pays n'est pas connu. Un bilan plus précis des introductions est réalisé au ***Chapitre 4.b***.

Figure 4. Carte de répartition de la carpe herbivore dans le monde (réalisée d'après Cudmore et Mandrak, 2004 ; www.fishbase.org).

En France

La carpe herbivore a été introduite en France en 1957, puis en 1964, dans les canaux du Languedoc (Le Louarn, 2001). Elle est vendue par les pisciculteurs, depuis une dizaine d'années, pour le repeuplement en **eaux closes** (Le Louarn, 2001). Son introduction en eaux libres est interdite (Le Louarn, 2001). Elle est actuellement présente dans les régions du nord-est et du sud-est (Bruslé et Quignard, 2001). Plus précisément, cette espèce a été signalée dans la Loire, la Basse Durance, la Sélune, le Rhin et quelques rivières de l'Est (Le Louarn, 2001). Cependant, la répartition de cette espèce est sous-estimée. En effet, ***Mr. N. Poulet*** (Onema) signale des retours réguliers de présence, notamment d'amour blanc, dans les gravières, les étangs, par les agents, avec parfois des difficultés d'identification. De plus, en étangs, ***Mr. P. Relot*** (AFPPE) indique que l'amour blanc est présent quasiment sur l'ensemble du territoire métropolitain.

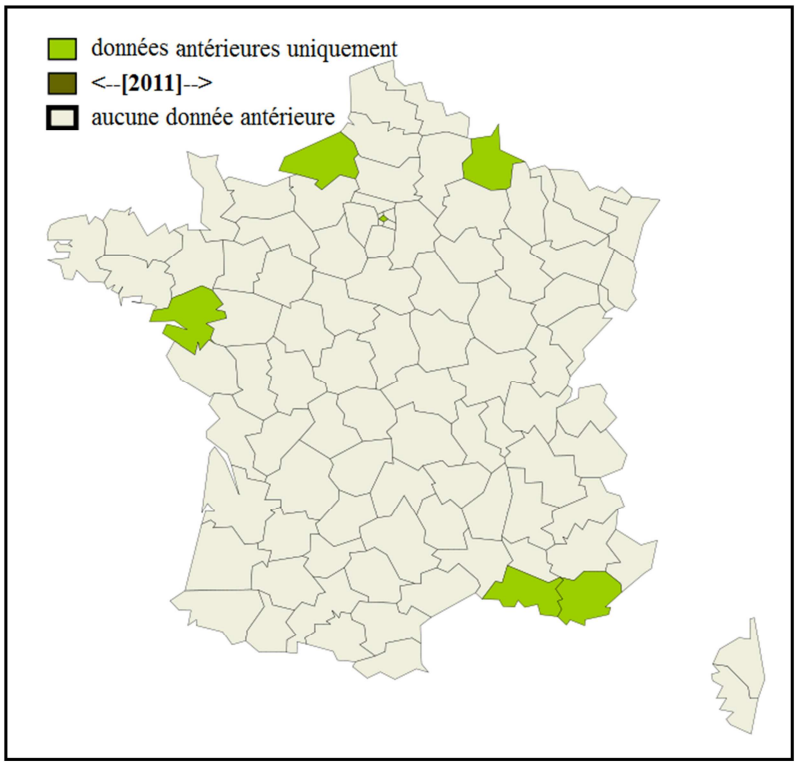


Figure 5. Carte de répartition de la carpe herbivore en France (http://inpn.mnhn.fr). Cette carte sous-estime très fortement la présence de carte herbivore en France (voir texte ci-dessous).

Afin d'avoir une meilleure estimation de la présence de cette espèce en France en eaux libres, une enquête a été réalisée auprès de divers acteurs de la filière sur l'ensemble du territoire, notamment des pêcheurs professionnels (Tableau 5).

D'après cette enquête, **la présence de la carpe herbivore est rare dans les cours d'eau en France métropolitaine**. Sur l'ensemble du territoire, seule **une vingtaine de carpes amours sont capturées par an**. De plus seuls des **spécimens de grande taille** sont capturés ; aucun individu de petites tailles n'a été observé à ce jour en milieu naturel (voir notamment les remarques de Mr. Philippe Gautier). D'après quatre pêcheurs professionnels (Mrs. Adrien Vonarb, Martin Thalgott, Philippe Boisneau et Bernard Feydieu), sa chair est très bonne, voire excellente. Enfin, trois pêcheurs notent la présence importante de deux autres espèces non-indigènes, que sont l'aspe (*Aspius aspius*) dans le Rhin (Mr. Adrien Vonard) et dans la Loire (Mr. Philippe Boisneau) et du silure (*Silurus glanis*) dans la Dordogne et la Garonne (Mr. Robert Bajolle). Une étude récente confirme que ces deux espèces, l'aspe et le silure, ainsi qu'une troisième espèce non-indigène, le pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*), sont les trois espèces qui ont connu la plus grande augmentation de leurs aires de répartition en France métropolitaine au cours des 20 dernières années (Poulet et al., 2011).

Tableau 5. Synthèse de l'enquête réalisée au cours de cette étude concernant la présence de carpe herbivore en eaux libres en France métropolitaine. 20 personnes ou organismes ont été interrogés sur l'ensemble du territoire métropolitain. De plus, un site internet a été consulté pour compléter cette enquête : http://www.logrami.fr [consulté le 13/10/2011].

Secteur	Personne ou organisme	Contacts	Description	Remarques
Rhin (de Bâle jusqu'à la limite Haut Rhin/Bas Rhin)	Adrien Vonarb	03 89 48 62 71	Pêcheur professionnel depuis 20 ans	1 seule carpe herbivore capturée de 19 kg en 1999, après une grosse crue (chair excellente) Aspe en forte augmentation
Rhin (de Strasbourg à Rhinau)	Martin Thalgott	03 88 98 77 01	Pêcheur professionnel depuis 40 ans	Aucune carpe herbivore mais très appréciée pour sa chair
Rhin (en aval de Strasbourg)	Passe à poissons de Gambsheim et Iffezheim			Gambsheim (2006-2010) : 17 carpes herbivores sur 230 532 individus. Iffezheim (2000-2010) : 15 carpes herbivores sur 201 792 individus (Voir http://www.saumon-rhin.com/resultats.htm).
Rhône	AAIPPLA (Association Agrée Interdépartementale des Pêcheurs Professionnels des Lacs Alpins	13 Quai de Rives 74200 Thonon Les Bains Tel/Fax 04 50 26 36 79 aaippla@orange.fr		Aucune capture de carpes herbivores dans les lacs alpins
Rhône (de Valence jusqu'à l'estuaire)	Jean-Luc Fontaine	06 16 50 18 12	Président de l'Association des pêcheurs de Rhône aval-Méditerranée et pêcheur de 1985 à 2007	A pêché 1 ou 2 carpes herbivores, il y a 7/8 ans Semble mal connaître ce poisson.
Rhône et Saône	Cédric Giroux	06 63 71 85 10	Pêcheur et pêche d'échantillonnage sur le Rhône	Sur le Rhône : 2 ou 3 carpes herbivores/an Sur la Saône : captures très faibles de carpe herbivore
Haut Rhône et Saône	Didier Bretin	06 80 05 32 41	Représentant des pêcheurs	1 carpe herbivore de 1 m capturée il y a 6-7 ans.

			professionnels sur la Saône et haut Rhône et pêcheur depuis 20 ans	
Saône	Jonas Merklin	09 64 24 21 39	Pêcheur professionnel depuis 2006	Rien sur Macon Sur Chalons 2 carpes herbivores de 11 et 19 kg cet hiver.
Saône	Joël Boibin	03 85 47 35 10	Représentant des pêcheurs professionnels sur la Saône et pêcheurs depuis 25 ans	Sur un secteur Saône de Lyon à la Côte d'or : capture de 4-5 carpes herbivores (5 à 10 kg) maximum sur l'ensemble des pêcheurs pro (seulement depuis 4-5 ans).
Saône	Frédéric Jasseron	06 20 83 71 33	Pêcheur professionnel de 2001 à 2009	2 carpes herbivores maximum / an (de 10 à 15 kg).
Loire	Philippe Boisneau	06 13 29 11 64 / 02 47 23 86 09	Directeur de publication du Comité National des Pêcheurs Professionnels en Eau Douce et président de l'Association Agrée Interdépartementale des Pêcheurs Professionnels du bassin Loire Bretagne	Quelques dizaine de carpes herbivores de grosse taille par an capturées sur l'ensemble des pêcheurs professionnels sur la Loire. Jamais de juvéniles Poisson à chair digne d'un restaurant gastronomique. Aspe représente depuis 2 ans 10% des captures de friture
	LOGRAMI		http://www.logrami.fr/node/22 http://www.logrami.fr/node/23 http://www.logrami.fr/node/25 http://www.logrami.fr/node/27	13 depuis 2004 (soit sur une période de 8 ans) 19 depuis 2007 (soit sur une période de 5 ans) 1 depuis 1998 (soit sur une période de 14 ans) 6 depuis 1997 (soit sur une période de 15 ans)
Allier	Passe à poisson à Vichy.			Aucune observation de 1996 à 1998 (http://www.cs3i.fr/ecole/ecole_curie/passeta.htm)
Garonne, Dordogne	Romain Fageot	05 56 01 16 13	Chargé de mission pour l'Association Agrée des Pêcheurs Professionnels en eau douce de la Gironde	Quelques prises dans la Dordogne et la Garonne
Garonne	Philippe Gautier	05 53 93 79 37	Pêcheur	Espèce non ciblée 2 ou 3 carpes herbivores/an de grosse taille Rien dans les filets à petite maille.
Dordogne (de Libourne	Mr Delmas	05 57 64 22 54	Pêcheur professionnel depuis	Aucune capture

à l'estuaire)			1987	
Dordogne (amont de Libourne)	Bernard Feydieu	06 87 59 59 37	Pêcheur professionnel depuis 1983	Depuis 4-5 ans capture des carpes herbivores (4-5 par an) de minimum 4/5 kg. Observation de bancs en surface en été il y a 2 ans (peut-être composé d'une vingtaine d'individus) Des lâchés auraient été fait à Lamothe Montravel ? Très bonne chair.
Dordogne et Garonne	Ludovic Zecchi	06 62 36 58 25	Pêcheur professionnel depuis 2003	Rien sur la Garonne. 1 carpe herbivore de10kg cette année dans Dordogne
Dordogne et Garonne	Robert Bajolle	06 16 81 47 75	Pêcheur professionnel depuis 1987	Prises très accidentelles de carpe herbivore de 5/6 kg Prises quotidiennes de silures
Dordogne et Garonne	Mr Beaucaillou	06 73 97 02 49	Pêcheur professionnel	1 carpe herbivore de 10 kg, il y a 10 ans.
Seine	Passe à poisson au barrage de Poses			8 carpes herbivores observées en 2008 (http://www.poses.fr/articles-culturels/bilan-du-passage-des-poissons-au-barrage-en-2008.html)

d. Importance économique

La production aquacole mondiale de cette espèce a augmenté de façon exponentielle au cours des 60 dernières années (x 395), passant de 10 527 tonnes en 1950 à 4 159 919 tonnes, pour un chiffre d'affaire de près de 5,3 milliards de dollars en 2009 (Figure 6). Plus de 98 % de cette production sont assurés par la Chine uniquement (4 081 520 tonnes), suivi du Bengladesh (22 439 tonnes), de l'Iran (15 064 tonnes) et de la Birmanie (13 944 tonnes) (http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector). La production dans les autres grandes régions du monde définies par la FAO, sont, par ordre décroissant de production : l'Europe (14 798 tonnes), l'Afrique (480 tonnes), les Amériques (3 tonnes) et l'Océanie (aucune production).

En Europe, à l'exclusion de la Fédération de Russie (12 270 tonnes), les trois principaux pays producteurs sont : la Hongrie (480 tonnes), la République Thèque (409 tonnes) et la Roumanie (283 tonnes).

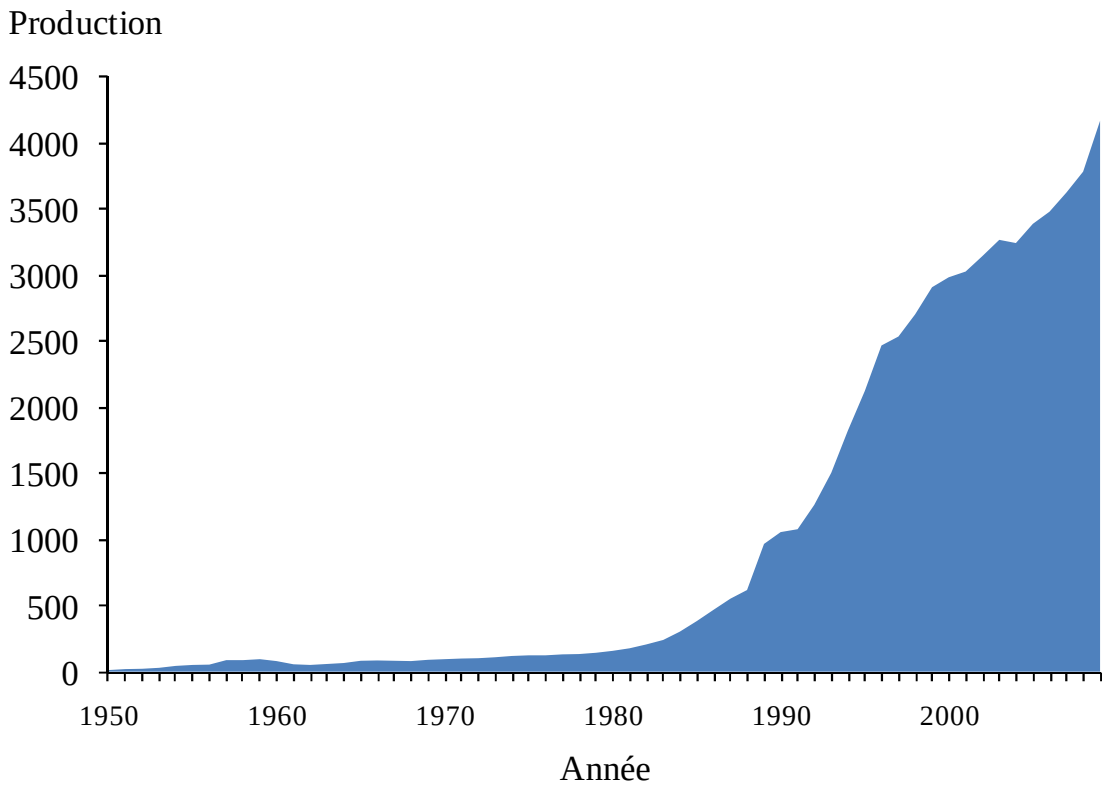


Figure 6. Evolution de la production de la carpe herbivore dans le monde au cours des 60 dernières années (réalisée d'après http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector). La production est donnée en milliers de tonnes.

e. Méthodes d'élevage

Plusieurs systèmes de production sont à l'heure actuelle utilisés pour élever la carpe herbivore, parmi lesquels les plus importants sont les cultures semi-intensives et intensives en étangs et cages en eau ouverte (Figure 7).

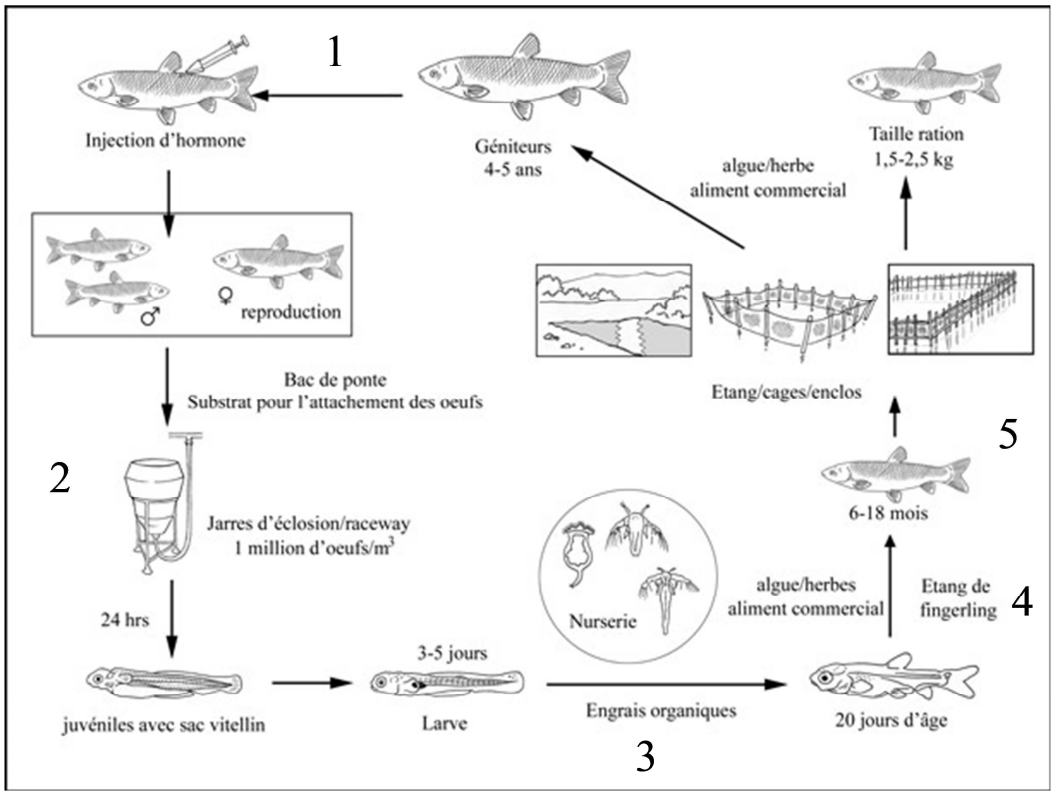


Figure 7. Cycle de production de la carpe herbivore (FAO, 2009-2011a).

L'ensemble du cycle de production est décrit dans FAO (2009-2011a) et synthétisé ci-dessous suivant les numéros indiqué à la figure 7 :

[1] Des reproducteurs sont mis dans des bacs de ponte (bacs ronds en ciment avec un diamètre de 6-10 m et une profondeur d'environ 2 m), dans lesquels la circulation de l'eau est maintenue. Les géniteurs reçoivent une injection d'hormone (normalement LRH-A).

[2] Les œufs, qui sont flottants, sont transférés dans des raceways (structures rondes ou elliptiques, d'une largeur de 0,8 m et d'une profondeur de 0,8-1,0m) ou des jarres d'éclosion. Les œufs resteront dans ces structures, jusqu'à l'éclosion des larves.

[3] Les larves sont ensuite transférées dans des étangs en terre, de 0,1-0,2 ha avec une profondeur généralement inférieure à 2 m. La densité d'empoissonnement varie entre 1,2-1,5 millions /ha. Selon la température de l'eau, différents types de fertilisants sont souvent ajoutés 5-10 jours avant l'empoissonnement et régulièrement pendant les 2 ou 3 semaines que dure normalement la nurserie: engrais organiques, fumier animal et/ou déchets de plantes (« fumier vert »). Les taux de survie habituel sont de 70-80%, voire plus de 90% avec une bonne gestion.

[4] Une fois que les poissons ont atteints une taille de 3 cm, ils sont transférés dans des étangs en terre plus grands (0,2-0,3 ha) et plus profonds, pendant une durée de 4 à 6 mois. Contrairement à l'étape précédente, la polyculture est très souvent pratiquée, ainsi la densité d'élevage est de 120 000-150 000 individus / ha quand la carpe herbivore est l'espèce majeure ou 3 fois moins si elle est l'espèce secondaire. La nourriture est principalement constituée de : *Wolffia arrhiza* jusqu'à une taille de 3-7 cm, puis d'algues *Lemna minor* pour une taille de 7-10 cm, puis mélange d'algues aquatiques tendres, d'herbes terrestres et d'aliments commerciaux. Le taux de survie doit être > 95%.

[5] Les poissons sont ensuite transférés dans des étangs de polyculture ou des enclos et cages dans lacs et réservoirs pour réaliser la dernière étape de grossissement. L'alimentation est souvent assurée par des aliments commerciaux comme des granulés, pour remplacer l'utilisation des algues aquatiques et des herbes. La durée de grossissement est d'environ 8-10 mois, fonction de l'endroit où sont élevées les carpes.

Remarques

L'approvisionnement en juvéniles est le plus souvent assuré par reproduction artificielle mais des prélèvements dans le milieu naturel sont aussi réalisés, notamment pour maintenir la diversité génétique des stocks (FAO, 2009-2011a).

Des poissons stériles sont actuellement produits en routine en traitant les œufs fertilisés avec de l'eau chaude ou froide ou avec de la pression (Masser, 2002 ; Cuda et al., 2008). Les œufs ainsi modifiés gardent un jeu supplémentaire de chromosomes (triploïdes, 3N) qui entraîne la stérilité (Allen et Wattendorf, 1987 ; Cuda et al., 2008). Pour s'assurer que tous les poissons élevés sont incapables de se reproduire, chaque individu ayant une taille de 10 à 28 cm peut être analysé en mesurant le diamètre des noyaux des cellules sanguines avec un « Coulter Counter^{TM} » qui est plus large chez les triploïdes (Cuda et al., 2008). Ce surplus de manipulations et d'analyses explique pourquoi les triploïdes sont deux à trois fois plus chères que les diploïdes (Masser, 2002). Il ne semble pas y avoir de différence concernant la préférence pour la végétation entre les diploïdes (2N) et les triploïdes (3N), mais les dernières consommeraient environ 10% de moins que les diploïdes (Masser, 2002). Les triploïdes semblent vivre moins longtemps, entre 10-12 ans contre 20 et plus pour les diploïdes (Masser, 2002).

2. *Hypophthalmichthys molitrix* (carpe argentée)

a. Morphologie

La carpe argentée *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844) possède un corps allongé et comprimé latéralement, recouvert de très nombreuses petites écailles (Figure 8). La ligne latérale est complète et nettement infléchie dans sa partie antérieure. Le dos est sombre, avec des flancs et un ventre argenté. Les nageoires pectorales sont placées très bas sur l'animal et sont longues. Les nageoires pelviennes sont implantées en position abdominales, juste en avant de la dorsale. La nageoire dorsale est très courte et haute, alors que la nageoire anale est longue avec un bord libre concave. Le pédoncule caudal est étroit et porte une large nageoire caudale fourchue. La tête est très large et dépourvue d'écailles. La bouche est petite et supère. L'œil est assez petit et situé sous la ligne médiane du corps.

Figure 8. Vue latérale droite de la carpe argentée (www.fishbase.org).

b. Biologie

Habitat

La carpe argentée fréquente naturellement les eaux calmes et tièdes (Bruslé et Quignard, 2001), des rivières, lacs, étangs et réservoirs (Kolar et al., 2005). Elle a aussi été très souvent introduite dans des étangs, lacs, ou canaux où elle se développe bien (Kolar et al., 2005). Elle est peu exigeante en oxygène dissous (Bruslé et Quignard, 2001), ainsi elle peut supporter des taux d'oxygène voisins de zéro pendant de courtes périodes, bien que l'oxygénation permettant d'assurer de bonnes conditions de croissance se situe au-dessus de 4 mg/L (Domaizon et Devaux, 1999). Elle peut vivre dans des eaux saumâtres, 5-12‰ selon le stade développement (Kolar et al., 2005). Dans son aire de répartition d'origine, elle fréquente, pendant la période de nourrissage, les eaux peu profondes (0,5 – 1,0 m de profondeur) et chaudes (> 21°C) des eaux calmes des fleuves, des lacs et les zones inondées avec des courants faibles (Kolar et al., 2005 ; MPO, 2005 ; Kottelat et Freyhof, 2007). Elle préfère les

zones ouvertes et bien eutrophisées et occupe les zones supérieures et moyennes dans la colonne d'eau (Kolar et al., 2005), nageant le plus souvent juste en dessous de la surface (FAO 2009-2011b). Lorsqu'elle est stressée, elle peut faire des bonds très impressionnants hors de l'eau et parfois sérieusement blesser les plaisanciers (MPO, 2005 ; FAO 2009-2011b ; www.youtube.com/watch_popup?v=x3Bf0WhvsNk&vq=medium#t=6).

La carpe argentée est capable de vivre dans des températures allant de 16 à 40°C, avec un optimum situé aux alentours de 26-30°C (Kolar et al., 2005). La limite de température létale supérieure pour des larves âgées de 3 à 28 jours est de 43,5-46,5°C (Kolar et al., 2005). Elle est aussi capable de résister à des températures proches de 0°C (Kolar et al., 2005). Des données préliminaires obtenues dans le fleuve Missouri indiquent que la carpe argentée est active en hiver, avec une activité diminuant lorsque l'eau est <4°C et peu de mouvement à 2°C (Kolar et al., 2005).

Régime alimentaire

La carpe argentée se nourrit uniquement de phytoplancton jusqu'à une taille de 1,5 mm environ (Kottelat et Freyhof, 2007). Ensuite, elle filtre l'eau et se nourrit de phytoplancton (diatomées, dinoflagellés), de cyanobactéries (*Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*…) et de zooplancton (rotifères, petits crustacés, cladocères) (Billard, 1997 ; Bruslé et Quignard, 2001 ; MPO, 2005 ; FAO 2009-2011b). Les algues semblent très peu digérées par ce poisson, même si plusieurs espèces de cyanobactéries seraient bien assimilées (Domaizon et Devaux, 1999). Divers éléments de détritus sont aussi ingérés (Bruslé et Quignard, 2001 ; Kolar et al., 2005 ; FAO 2009-2011b). La taille des particules pouvant être ingérée par la carpe argentée peuvent dans certains cas être aussi petite que 3-10 μm, même si la taille de **10 μm** semble le plus souvent la taille limite (Kolar et al., 2005). Cette sélectivité semble relativement constante au cours de la croissance, car la taille des pores du filtre ne change pas (Domaizon et Devaux, 1999). La carpe argentée est un filtreur par pompage, i.e., les proies sont capturées par succions buccales (Domaizon et Devaux, 1999). Ainsi, la carpe argentée est un prédateur passif de zooplancton et un brouteur passif de phytoplancton (Domaizon et Devaux, 1999). Une comparaison du régime alimentaire de la carpe argentée et de la carpe à grosse tête est présentée au tableau 6.

La carpe argentée peut consommer jusqu'à 140% de son poids par jour au stade larvaire, 30% lorsqu'elle fait 63 mg et remonter jusqu'à 63% pour des individus de 70-166 mg (Kolar et al., 2005). Les carpes argentées de plus grandes tailles consomment en général environ 20% de leur poids par jour (Kolar et al., 2005). En élevage, il n'est en général pas nécessaire de fournir de l'aliment formulé (FAO, 2009-2011b).

L'alimentation de la carpe argentée diminue fortement lorsque la température de l'eau est <15°C et cesse presque complètement lorsqu'elle est < 8-10°C (Kolar et al., 2005). A 20°C, la carpe argentée filtre l'eau et les particules en suspension à une cadence maximale de 18 à 25 litres (Domaizon et Devaux, 1999).

Tableau 6. Comparaison du régime alimentaire de la carpe argentée et de la carpe à grosse tête (d'après Kolar et al., 2005).

	Carpe argentée	Carpe à grosse tête
Type d'alimentation	Principalement un **phytoplanctonophage**, mais très opportuniste	Principalement un **zooplanctonophage**, mais très opportuniste
Type de nourriture consommée	Phytoplancton ; zooplancton ; bactéries (planctoniques et en agrégats) ; détritus. Peut filtrer des particules plus petites que la carpe à grosse tête	Zooplancton ; phytoplancton ; détritus
Particularités morphologiques liés à l'alimentation	Organe de filtration particulier sur les arcs branchiaux qui permettent de filtrer des petites particules. Un organe supra-branchial consolide les particules ingérées en produisant de grande quantité de mucus.	Longune branchiospines en forme de peigne couvert de mucus qui aident à piéger des petites particules. De nombreuses papilles digestives aident à la détection du zooplancton
Taux de consommation	Elevé, mais très variable	Elevé, très vorace
Température d'alimentation	Active principalement à 15-30°C. Continue de se nourrir à 4°C. Plus résistant au froid que la carpe à grosse tête.	Active principalement à 20-22°C. Continue de se nourrir à 10°C, voire à 2,5°C.
Niche écologique alimentaire	Se nourrit peu à la surface	Souvent à la surface, mais aussi à travers la colonne d'eau et sur le fond

Croissance

La carpe argentée mesure de 40 à 60 cm et peut dépasser 1 m (Billard, 1997 ; Bruslé et Quignard, 2001 ; Kottelat et Freyhof, 2007). La carpe argentée peut atteindre 40 kg (Billard, 1997 ; MPO, 2005), voire 50 kg (Kottelat et Freyhof, 2007), mais atteint plus généralement 10 kg en Europe (Barbier, 2001a). Elle semble vivre une dizaine d'année, voire 20 ans (Kolar et al., 2005). Les températures optimales pour la croissance des carpes argentées sont comprises entre 20-28°C (Bruslé et Quignard, 2001) et 24-31°C, voire 30-34°C selon les auteurs (Kolar et al., 2005). La croissance peut-être très rapide, par exemple, la carpe argentée peut atteindre 1 kg après seulement 55 jours ou 5 mois d'élevage (Kolar et al., 2005).

Reproduction

Il semble possible de distinguer les mâles des femelles en se basant sur des petites structures qui se développent uniquement sur les premiers rayons des nageoires pectorales des mâles et qui sont présents tout au long de la vie (Naca, 1989 ; Teletchea et al., 2007). La maturité sexuelle est acquise à des âges compris entre 2 et 6 ans, le plus souvent entre 4 et 5 ans

(Abdusamadov, 1986 ; Kolar et al., 2005). D'une manière générale, les mâles sont matures une année avant les femelles (Abdusamadov, 1986 ; Kolar et al., 2005). **La maturation de la carpe argentée est fonction de la température**, nécessitant 1,000 degrés-jours à 15°C et 500 degrés-jours à 30°C (Kolar et al., 2005). La fécondité absolue de la carpe argentée est élevée et peut atteindre plus de 5 millions d'œufs pour certaines femelles (Kolar et al., 2005). La fécondité absolue varie fortement en fonction des zones géographiques et surtout en fonction de la taille des poissons, par exemple 597 000-4 329 600 œufs par femelles pour des poissons de 6,4-12,1 kg (Kolar et al., 2005). Les femelles introduites dans la région du Terek ont en moyenne 812,000 œufs (Abdusamadov, 1986).

La période de migration vers les zones de ponte est relativement constante entre les diverses zone géographiques : de fin mai à début juillet pour la région du Terek dans le bassin de la mer Caspienne, de mi-mai à mi-juin en Arkansas, de juin à début d'août dans le fleuve Amour (Kolar et al., 2005). La saison de reproduction a lieu à la fin du printemps ou au début de l'été lorsque la température de l'eau est comprise entre 18-19°C et 22-26°C (Kolar et al., 2005). Lorsque la température de l'eau diminue en dessous de 17°C, la ponte cesse et les œufs déjà pondus commencent à mourir (Krykhtin et Gorbach, 1982). La carpe argentée se reproduit souvent après une augmentation brutale du niveau de l'eau (Krykhtin et Gorbach, 1982 ; Kolar et al., 2005). La ponte a lieu dans des zones où le courant est suffisamment fort (0,3 à 3,0 m/s) pour maintenir les œufs dans la colonne d'eau (Krykhtin et Gorbach, 1982 ; Kolar et al., 2005). Les œufs et les larves sont semi-pélagiques et dérivent avec le courant, parfois jusqu'à 500 km en amont des zones de ponte (Kolar et al., 2005). Il semblerait qu'une longueur minimale de 100 km soit nécessaire pour le développement des œufs et des larves. Des grands lacs connectés à des fleuves servent de zones de nurseries (Kolar et al., 2005). La reproduction de carpe argentée dans un réservoir a été décrite **une seule fois** en Inde (Kolar et al., 2005). Les principales caractéristiques de la biologie de la reproduction de la carpe argentée sont résumées dans le Tableau 8.

Prédateurs

Les carpes argentées adultes sont trop grosses pour être consommées par les poissons piscivores ou les oiseaux ; il n'existe donc pas de prédateurs naturels dans nos eaux. Par contre, il est très probable que les petits individus soient consommés, mais l'intensité de cette prédation n'est pas connue (Kolar et al., 2005).

Maladies et parasites

Une liste des principales maladies qui affectent la carpe argentée est fournie dans Kolar et al. (2005) et FAO (2009-2011b). Une synthèse des principales maladies et parasites est indiquée pour les trois espèces au Tableau 4.

c. Aire de répartition

Dans le monde

La carpe argentée est originaire des grands fleuves du sud de l'Asie, de l'est de la Chine et de l'extrême est de la Russie qui se jette dans l'océan Pacifique (Figure 9). Certaines populations sont aussi actuellement présentes dans le nord du Vietnam, mais elles auraient été introduites (Kolar et al., 2005). Ainsi, l'aire de répartition d'origine de la carpe argentée s'étend de 22°N à 54°N dans l'est de l'Asie. D'après le site www.fishbase.org, cette espèce aurait été introduite dans 95 pays (Figure 10). Le devenir de ces introductions est peu connu. Un bilan plus précis des introductions est réalisé au ***Chapitre 4.b***.

Figure 9. Aire de répartition d'origine de la carpe argentée (Aitkin et al. 2008).

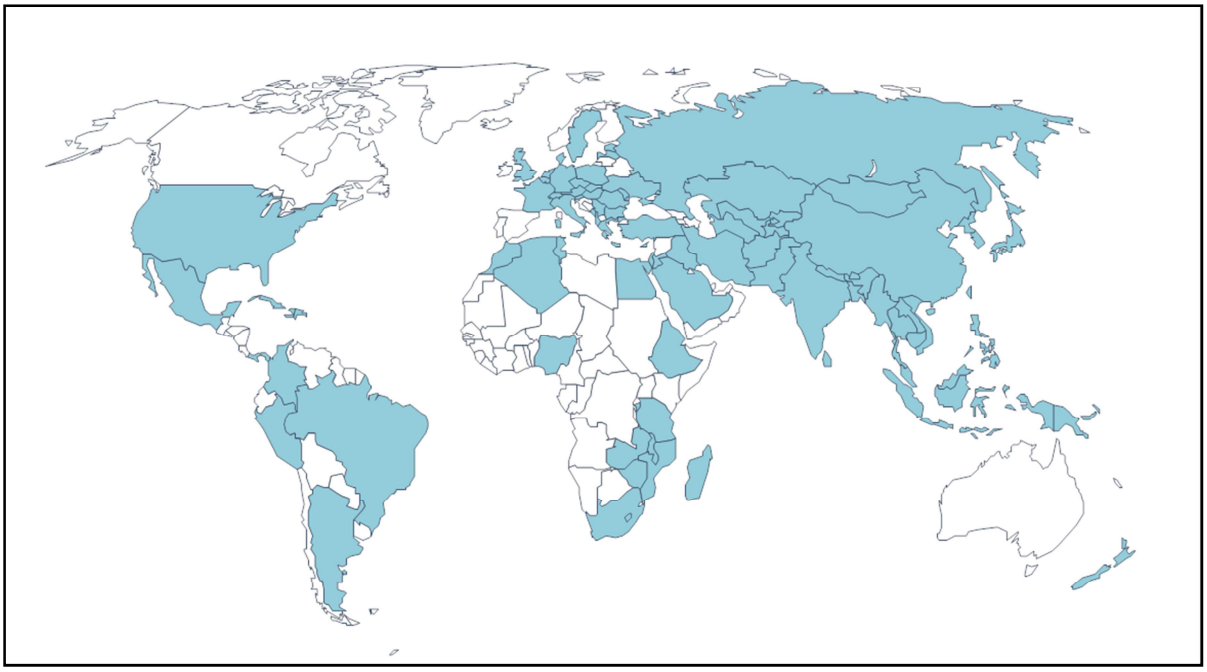


Figure 10. Carte de répartition de la carpe argentée dans le monde (réalisée d'après Kolar et al., 2005 ; www.fishbase.org).

En France

En France, elle a été introduite dans les années 1950 pour des raisons zootechniques, du fait de sa capacité à exploiter la biomasse phytoplanctonique des étangs de pisciculture (Barbier, 2001a). Elle se retrouve sporadiquement dans les eaux libres (Figure 11) où elle ne se maintient pas naturellement (Barbier, 2001a). Le développement de l'aquaculture a favorisé la dissémination dans tous les grands bassins hydrographiques français (Barbier, 2001a). En France, on la trouve surtout dans des plans d'eau aménagés et des pisciculture (Bruslé et Quignard, 2001). Cependant, elle est parfois signalée dans le Rhin, le Rhône, la Loire, la Seine et la Garonne (Bruslé et Quignard, 2001).

Afin d'avoir une meilleure estimation de la présence de cette espèce en France en eaux libres, une enquête a été réalisée auprès de divers acteurs de la filière sur l'ensemble du territoire, notamment des pêcheurs professionnels (voir le détail dans le Tableau 7).

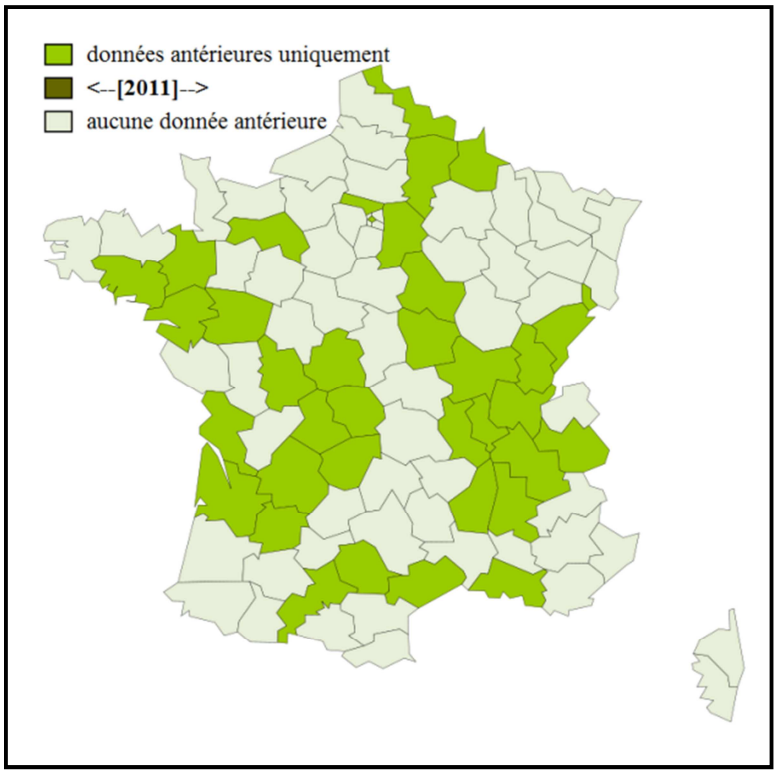


Figure 11. Carte de répartition de la carpe argentée en France (http://inpn.mnhn.fr). D'après Mr. Nicolas Poulet (ONEMA), cette carte de répartition est **fausse**.

Tableau 7. Synthèse de l'enquête concernant la présence de carpe argentée en eau libre en France métropolitaine (seuls les personnes ou organismes mentionnant la présence de carpes argentées ont été conservés par rapport au tableau 4).

Secteur	Personne ou organisme	Contact	Description	Remarques
Rhin (de Strasbourg à Rhinau)	Martin Thalgott	03 88 98 77 01	Pêcheur depuis 40 ans	2 carpes argentées de 10 et 15 kg, il y a 5/6 ans Poisson pas apprécié pour sa chair
Rhône et Saône	Cédric Giroux	06 63 71 85 10	Pêcheur et pêche d'échantillonnage sur le Rhône	Sur le Rhône : 2 carpes argentées en 10 ans
Dordogne et Garonne	Robert Bajolle	06 16 81 47 75	Pêcheur depuis 1987	1 carpe argentée dans toute sa carrière Prises quotidiennes de silures

D'après cette enquête, **la présence de la carpe herbivore est rarissime dans les cours d'eau en France métropolitaine (Tableau 7)**. Sur l'ensemble du territoire, **moins d'une dizaine de spécimens** a été capturée au cours des trente dernières années.

d. Importance économique

La production aquacole mondiale de cette espèce a augmenté de façon exponentielle au cours des 60 dernières années (x 136), passant de 30 028 tonnes en 1950 à 4 075 115 tonnes, pour un chiffre d'affaire de près de 5,2 milliards de dollars en 2009 (Figure 12). Plus de 85 % de cette production sont assurés par la Chine uniquement (3 484 442 tonnes), suivi de l'Inde (285 602 tonnes), du Bengladesh (172 497 tonnes) et de l'Iran (55 236 tonnes) (http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector). La production dans les autres grandes régions du monde définies par la FAO, sont, par ordre décroissant de production : l'Europe (27 754 tonnes), les Amériques (17 437 tonnes), l'Afrique (400 tonnes) et l'Océanie (aucune production).

En Europe, à l'exclusion de la Fédération de Russie (16 320 tonnes), les trois principaux pays producteurs sont : la Roumanie (2 971 tonnes), la Moldavie (2 920 tonnes) et l'Ukraine (2 180 tonnes).

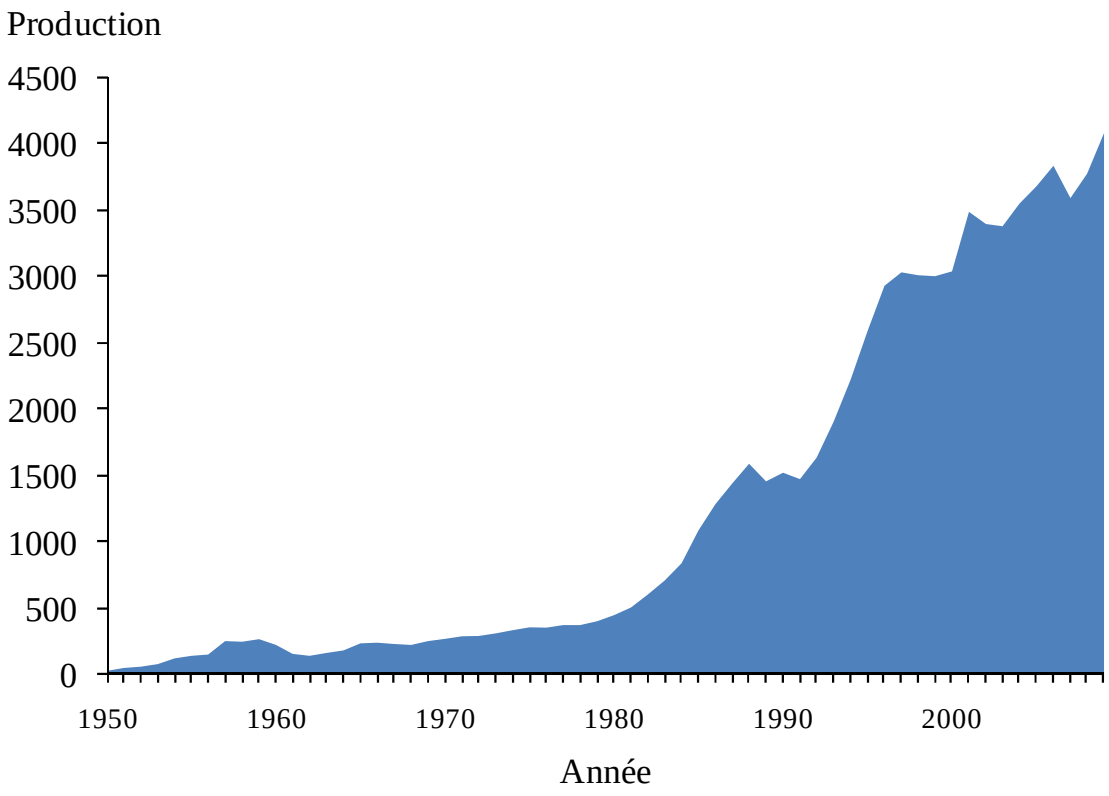


Figure 12. Evolution de la production de la carpe argentée dans le monde au cours des 60 dernières années (réalisée d'après http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector). La production est donnée en milliers de tonnes.

e. Méthodes d'élevage

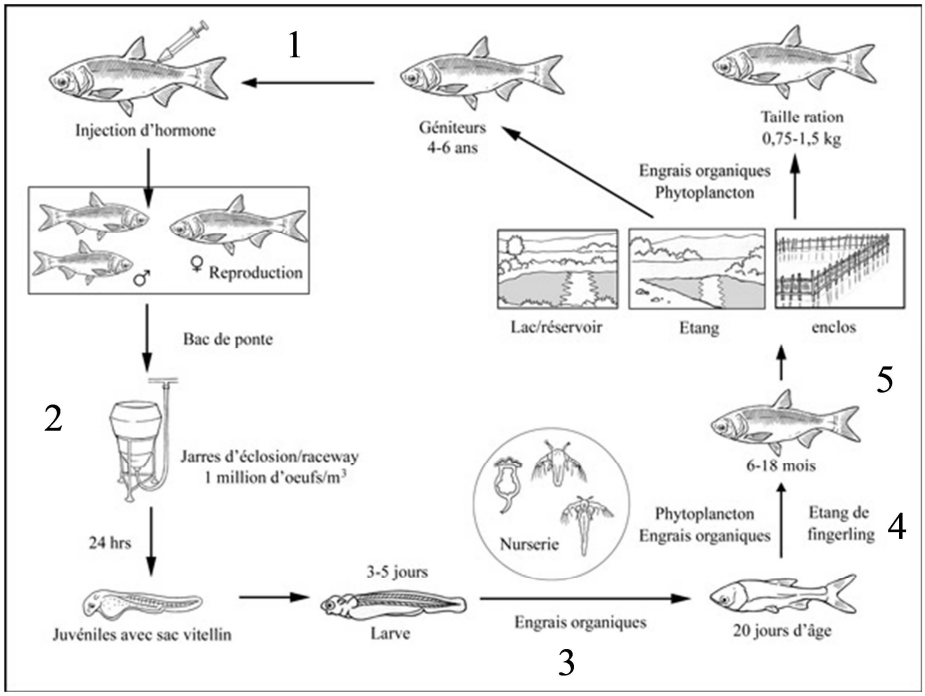


Figure 13. Cycle de production de la carpe argentée (FAO, 2009-2011b).

L'ensemble du cycle de production est décrit dans FAO (2009-2011b) et synthétisé ci-dessous suivant les numéros indiqué à la figure 13 :

[1] Les adultes retenus pour participer à la reproduction sont le plus souvent âgés de 4 à 6 ans et ont un poids > 2,5 kg. De plus, ils sont indemnes de maladies et de lésions graves. Dans des conditions artificielles, **il est indispensable d'injecter les poissons pour obtenir la ponte**. Les principales hormones utilisées sont la LRH (Luteinizing Release Hormone) ou LRH-A (analogue de la Luteinizing Release Hormone) ou HCG (Human Gonadotropin Chorionic). Une période où les températures de l'eau moyennes restent autour de 18 ºC pendant deux semaines environ est considérée comme propice pour l'induction de la ponte.

[2] Les œufs, qui sont flottants, sont transférés dans des dispositifs d'éclosion en flux ouvert : jarres d'éclosion, cuves ou bacs d'éclosion circulaires.

[3] Les larves sont ensuite élevées jusqu'à 15-20 jours après l'éclosion ; elles atteignent alors une taille 2,5-3 cm.

[4] Les poissons sont placés dans des étangs de nurserie jusqu'à atteindre une taille de 8-12 cm, soit après 3 à 5 mois d'élevage.

[5] Les poissons sont ensuite transférés dans des étangs de culture, comprenant le plus souvent plusieurs espèces (**polyculture**). Ceci permet de maximiser l'efficacité des unités de production en utilisant les caractéristiques des différentes espèces pour utiliser, efficacement, la totalité de l'eau. Généralement, il n'est pas obligatoire de fournir de l'aliment formulé dans une culture de carpe argentée.

3. *Aristichthys nobilis* (carpe à grosse tête)

a. Morphologie

La carpe à grosse tête *Aristichthys nobilis* (Richardson, 1845) possède un corps allongé et comprimé latéralement, recouvert de très nombreuses petites écailles (Figure 14). La ligne latérale est complète et nettement infléchie dans sa partie antérieure. Le dos est foncé, les flancs sont argentés marqués de nombreuses taches sombres diffuses, le ventre est jaunâtre. Les nageoires pectorales sont placées très bas sur l'animal et sont très larges et longues. Les nageoires pelviennes sont implantées en position abdominale, juste en avant de la dorsale. La nageoire dorsale est courte, alors que la nageoire anale est nettement plus longue que la dorsale. Le pédoncule caudal est assez étroit et porte une large nageoire caudale fourchue. La tête est large et pointue. La bouche est assez grande et supère. L'œil est petit et positionné assez bas.

Figure 14. Vue latérale droite de la carpe à grosse tête (www.fishbase.org).

b. Biologie

Habitat

La carpe à grosse tête fréquente principalement les grands fleuves et les lacs associés de leurs bassins versants (Kolar et al., 2005). Elle a aussi été introduite à de nombreuses reprises dans des étangs, lacs, réservoirs et grands canaux où elle se développe bien (Kolar et al., 2005). Pendant la période de nourrissage, la carpe à grosse tête fréquente les eaux peu profondes (0,5-1,5 m) et chaudes (> 24°C) des eaux calmes des fleuves, lacs et de régions inondées avec des courants faibles (Kottelat et Freyhof, 2007). Elle fréquente la couche supérieure de la colonne d'eau et préfère une eau à grande productivité avec une abondance de nourriture naturelle (FAO 2008-2011).

La carpe à grosse tête est capable de tolérer des variations importantes de température, de 0,5 à 38°C (Kolar et al., 2005 ; FAO 2008-2011). L'activité alimentaire semble être

maximale à 20-22°C pour les adultes. Les très jeunes juvéniles sont capables de supporter des températures très basses (10°C) et survivent à des températures proche de 5°C, même s'ils ne s'alimentent plus (Kolar et al., 2005). Bien qu'il n'existe pas de données sur les températures minimales, la présence de carpe à grosse tête dans la Plaine de Manchourie qui reste gelée pendant 4 à 6 mois de l'année indique que cette espèce est particulièrement tolérante aux températures basses (Kolar et al., 2005). De plus, des études dans le fleuve Missouri ont montré que la carpe à grosse tête est active en hiver, avec une activité ralentissant à <4°C et peu de mouvements en-dessous de 2°C (Kolar et al., 2005).

La carpe à grosse tête semble capable de supporter une certaine salinité, jusqu'à 15-20‰ (Kolar et al., 2005). Cependant les larves semblent bien moins résistantes à des salinités importantes et le maximum de salinité semble être autour de 6‰ (Kolar et al., 2005).

Remarques
Il existe peu d'études réalisées dans l'écosystème d'origine pour la carpe à grosse tête (Schrank et Guy, 2002). Une synthèse de l'ensemble de la biologie de cette espèce a été réalisée par Jennings (1988).

Régime alimentaire

La carpe à grosse tête est un prédateur vorace qui se nourrit d'un éventail d'espèces de zooplancton et de petits invertébrés (MPO, 2005). Elle se nourrit principalement de zooplancton et aussi d'algues (Kottelat et Freyhof, 2007), mais peut aussi ingérer des grandes quantités de détritus, incluant des substances organiques et particules minérales (Kolar et al., 2005).

Les larves les plus jeunes (7-9 mm) se nourrissent principalement de zooplancton, incluant les rotifères, des cladocères et des nauplii de copépodes (Kolar et al., 2005). Entre 1,8 et 2,3 cm les larves commencent à ingérer du phytoplancton (principalement des diatomées) et entre 2,4 et 3,0 cm, elles consomment du phytoplancton et du zooplancton (Kolar et al., 2005). Par conséquent, le régime alimentaire est à **dominance zooplanctonophage**, mais il peut devenir omnivore (vers, insectes, mollusques, alevins) lorsque la température est inférieure à 19°C et végétarien (phytoplancton, cyanophycées) lors des périodes de réchauffement marqué (Barbier, 2001b).

En élevage intensif et en forte densité, lorsque la nourriture naturelle est insuffisante, la carpe à grosse tête peut consommer en complément de la nourriture artificielle (Barbier, 2001b) ; notamment les granulés destinées aux truites (Kolar et al., 2005). La carpe à grosse tête est capable de se nourrir à des températures très différentes, mais elle se nourrit le plus entre 20-22°C et s'alimentent très peu à 10°C (Kolar et al., 2005).

C'est un poisson vorace et des estimations réalisées en Floride font état d'une consommation quotidienne équivalente à 7-11% de leur poids (Kolar et al., 2005). Le taux de filtration varie entre 185 et 256 mL/h/g pour des poissons de 34 à 2 242 g (Kolar et al., 2005). Une comparaison du régime alimentaire de la carpe à grosse tête et de la carpe argentée est présentée au tableau 6.

Croissance

La carpe à grosse tête peut atteindre près de 1,5 m et 40 kg (MPO, 2005 ; Kolar et al., 2005 ; Kottelat et Freyhof, 2007) ; mais sa taille demeure toutefois plus modeste en Europe (Barbier, 2001b). Elle peut vivre jusqu'à 20 ans (Kottelat et Freyhof, 2007). Dans des eaux très riches avec une température annuelle supérieure à 13,9°C, la carpe à grosse tête peut atteindre 2,7 kg en moins d'un an (Kolar et al., 2005).

Reproduction

Il semble possible de distinguer les mâles des femelles en se basant sur des petites structures qui se développent uniquement sur les premiers rayons des nageoires pectorales des mâles (Naca, 1989, Teletchea et al., 2007). Ces structures se développent au moment de la maturité sexuelle et persiste tout au long de la vie par la suite (Teletchea et al., 2007). La maturité sexuelle est atteinte vers 3 ou 4 ans, mais peut aussi être atteinte vers 2 ou 6 ans en fonction des conditions climatiques et environnementales (Kolar et al., 2005). Dans la zone du Terek où des individus ont été introduits, les mâles sont matures vers 5 ans et les femelles vers 6 ans (Abdusamadov, 1986). Dans les milieux tempérés, la maturité sexuelle est atteinte vers 6 à 8 ans lorsque les individus ont un poids compris entre 5 et 10 kg et une taille de 70 à 80 cm, alors qu'elle est atteinte vers 3 ou 4 ans dans les milieux tropicaux pour un poids compris entre 3 et 7 kg (Kolar et al., 2005). Aux Etats-Unis, les mâles et les femelles étaient matures dès l'âge de 3 ans dans le fleuve Missouri (Schrank et Guy, 2002). La fécondité absolue est élevée et augmente en fonction de l'âge et du poids des femelles (Kolar et al., 2005). Elle peut varier entre 280 000 et 1 000 000 œufs (Kolar et al., 2005). Dans la zone du Terek, la fécondité absolue moyenne des femelles introduites est de 930 000 œufs (Abdusamadov, 1986). Aux Etats-Unis, dans le fleuve Missouri, la fécondité absolue moyenne était de 226 213 œufs (variant de 11 588 à 769 964) pour des femelles âgées de 3 à 7 ans (Schrank et Guy, 2002).

En Asie, la carpe à grosse tête pond généralement d'avril à juin et principalement à la fin de mai. La ponte est initiée par une **augmentation du niveau de l'eau** suivant des pluies intenses qui ont lieu au printemps ou en Chine, pendant la période la mousson (Kolar et al., 2005). Les carpes à grosse tête peuvent migrer plus de 80 km en amont pour se reproduire. Les sites de ponte se caractérisent par des courants importants (0,6 à 2,3 m/s), des eaux turbides (matières en suspension avec une visibilité de 10 à 15 cm) et une température de 18-30°C (Kolar et al., 2005). Ces sites se trouvent généralement à la confluence de différentes eaux, parmi les rochers de rapides ou à l'arrière de bancs de sable ou de graviers, ou d'îles (Kolar et al., 2005). Aux Etats-Unis, il a été montré qu'une augmentation de flux d'eau associée à une température de 22°C initie la ponte de cette espèce dans la partie aval du fleuve Missouri (Kolar et al., 2005). Les œufs sont semi-pélagiques et doivent rester suspendu dans la colonne d'eau par les turbulences pour que les larves puissent éclore (Kolar et al, 2005). De plus, une dureté de l'eau de 300-500 mg/L de carbonate de calcium semble optimale pour le gonflement des œufs (Kolar et al., 2005). Les larves sont ensuite emportées vers l'amont dans des zones nurseries qui peuvent être des lacs, des canaux, des réservoirs ou des zones inondées (Kolar et al., 2005). Les principales caractéristiques de la biologie de la reproduction de la carpe à grosse tête sont résumées dans le Tableau 8.

Prédateurs

Les carpes à grosses têtes adultes sont trop grosses pour être consommés par les poissons piscivores ou les oiseaux ; il n'existe donc pas de prédateurs naturels dans nos eaux. Par contre, il est très probable que les petits individus soient consommés, mais l'intensité de cette prédation n'est pas connue (Kolar et al., 2005). Cependant, il a été montré que certaines espèces comme le brochet (*Esox lucius*) ou la perche (*Perca fluviatilis*) peuvent consommer des quantités importantes de jeunes de l'année dans des réservoirs en Russie, entraînant des pertes économiques conséquentes (Kolar et al., 2005).

Maladies et parasites

Une liste des principales maladies qui affectent la carpe à grosse tête est fournie dans (Kolar et al., 2005 ; FAO, 2008-2011). Une synthèse des principales maladies et parasites est indiquée pour les trois espèces au Tableau 4.

c. Aire de distribution

Dans le monde

La carpe à grosse tête est originaire de l'est de la Chine, de la Sibérie orientale et de l'extrême de la Corée du Nord (Figure 15). Elle vit dans les fleuves de l'est de la Sibérie (embouchures des fleuves Tumannaya et Razdolnaya du district de Primorsky, Russie, au sud du fleuve Amour [Heilongjiang], le long des frontières de Chine, de la Russie et de Nord Corée), jusqu'aux fleuves situés dans la plaine de Chine du Nord, incluant le fleuve Jaune (Huanghe) et le fleuve Yangtze (Changjiang) et le sud de la Chine, incluant le fleuve Pearl (Zhujiang) (Kolar et al., 2005). Cette espèce a été introduite à de nombreuses reprises dans l'est de l'Asie (Kolar et al., 2005). La température annuelle moyenne de l'air dans son aire de répartition d'origine varie de -4°C jusqu'à 24°C (Kolar et al., 2005). Cette espèce aurait été introduite dans 76 pays (Figure 16), mais le devenir des populations est peu connu (Jennings, 1988 ; www.fishbase.org).

Figure 15. Aire de répartition d'origine de la carpe à grosse tête (Aitkin et al. 2008).

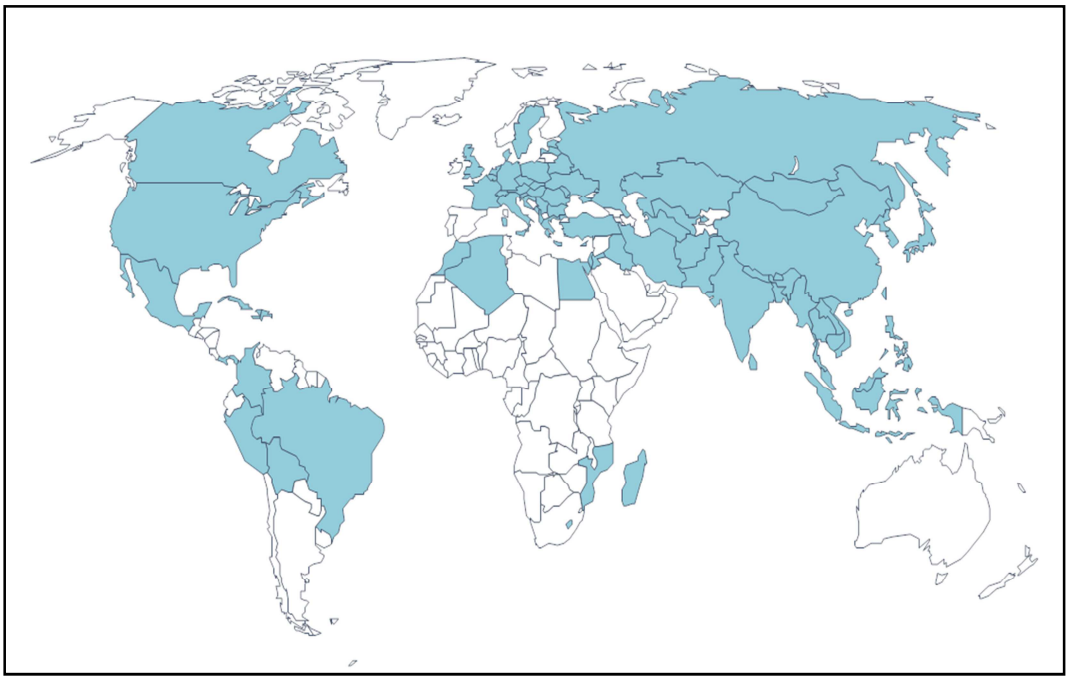


Figure 16. Carte de répartition de la carpe à grosse tête dans le monde (réalisée à partir de Kolar et al. 2005 ; www.fishbase.org).

En France

En France, **quelques individus** probablement « échappés » de pisciculture ont été signalés dans les eaux libres (Barbier, 2001b). Afin d'avoir une meilleure estimation de la présence de cette espèce en France en eaux libres (Figure 17), une enquête a été réalisée auprès de divers acteurs de la filière sur l'ensemble du territoire métropolitain, notamment des pêcheurs professionnels (le détail de l'enquête est fourni au Tableau 5).

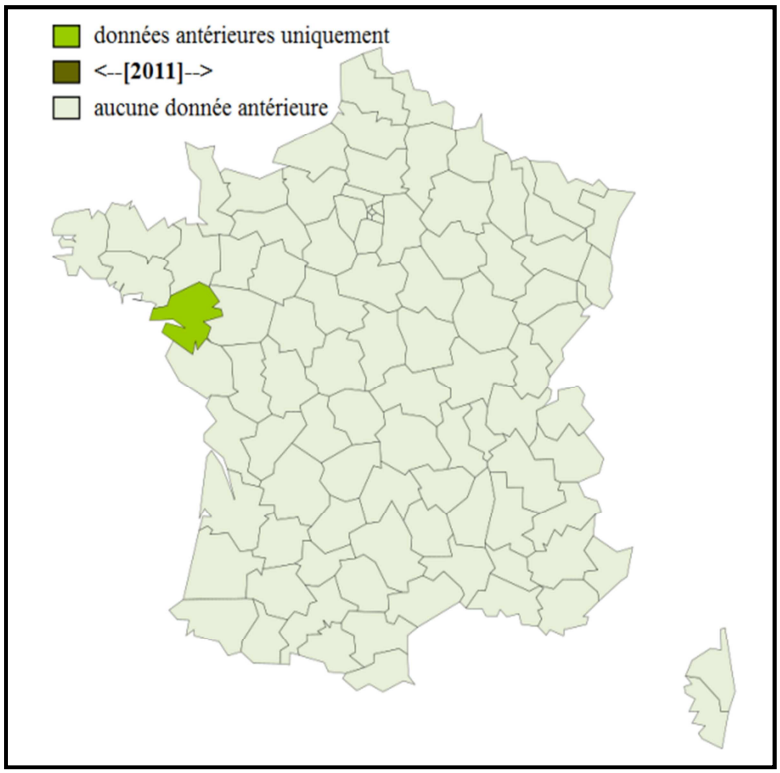


Figure 17. Carte de répartition de la carpe à grosse tête en France (http://inpn.mnhn.fr).

D'après cette enquête, **aucune carpe à grosse tête n'a été pêchée dans les cours d'eau en France métropolitaine** au cours des trois dernières décennies. Cependant, il faut préciser que cette espèce est peu ou pas connue des pêcheurs professionnels.

d. Importance économique

La production aquacole mondiale de cette espèce a augmenté de façon exponentielle au cours des 60 dernières années (x 161), passant de 15 306 tonnes en 1950 à 2 466 578 tonnes, pour un chiffre d'affaire de près de 3,2 milliards de dollars en 2009 (Figure 18). Presque que 99% de cette production sont assurés par la Chine uniquement (2 434 555tonnes), suivi de la Birmanie (9 761 tonnes), du Laos (6 269 tonnes) et de l'Iran (5 022 tonnes) (http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector). En dehors de l'Asie, cette espèce n'est produite qu'en Europe (4 189 tonnes).

En Europe, les trois principaux pays producteurs sont : la Roumanie (2 352 tonnes), la Bulgarie (2 920 tonnes) et la République Tchèque (461 tonnes).

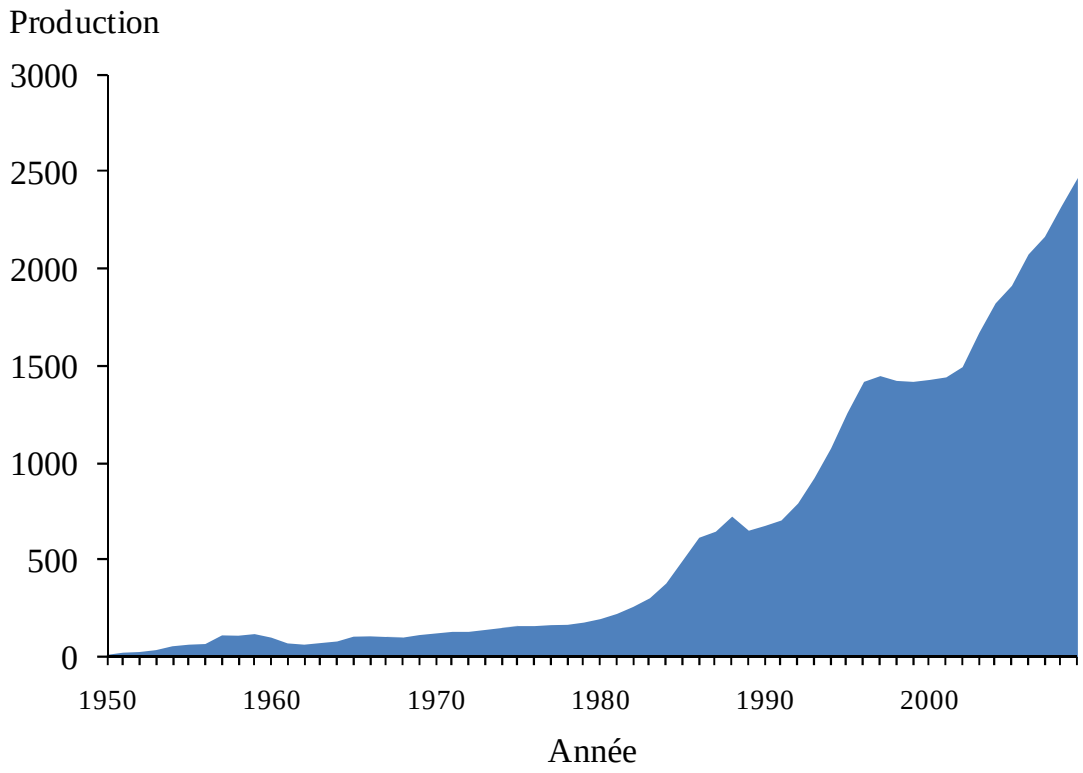


Figure 18. Evolution de la production de la carpe à grosse tête dans le monde au cours des 60 dernières années (réalisée d'après http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector). La production est donnée en milliers de tonnes.

e. Méthodes d'élevage

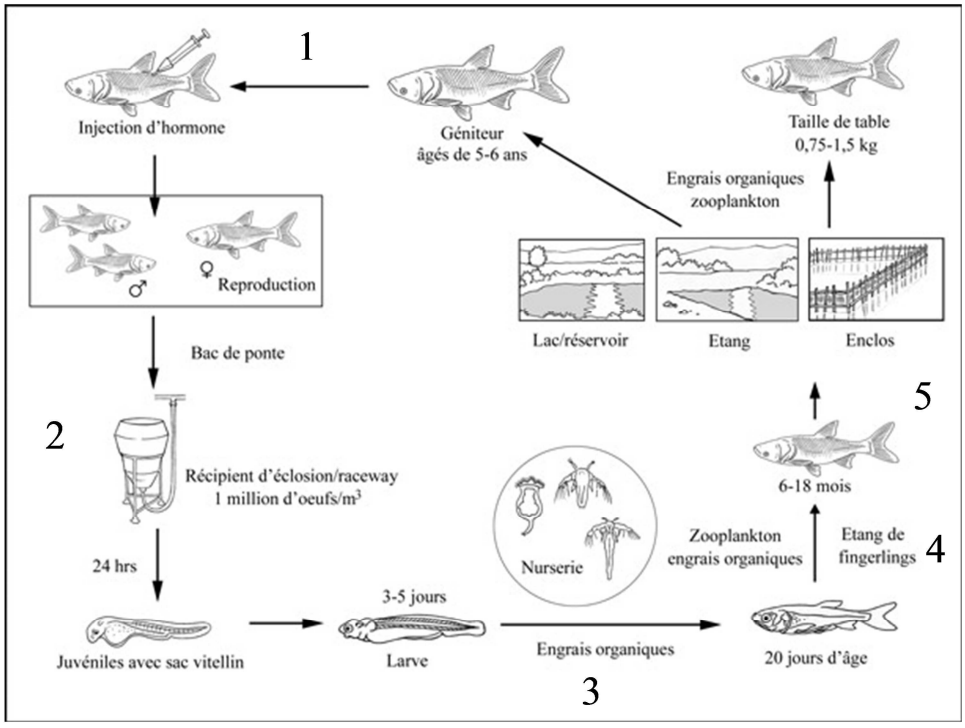


Figure 19. Cycle de production de la carpe argentée (FAO, 2008-2011).

L'ensemble du cycle de production est décrit dans FAO (2008-2011) et synthétisé ci-dessous suivant les numéros indiqué à la figure 19 :

[1] Des géniteurs âgés de 5 à 6 ans sont placés dans des bacs de ponte (bacs ronds en ciment avec un diamètre de 6-10 m et une profondeur d'environ 2 m), dans lesquels la circulation de l'eau est maintenue. Les géniteurs reçoivent une injection d'hormone (normalement HCG et HG).

[2] Les œufs sont transférés dans des raceways (0,8 m largeur et profondeur de 0,8-1,0 m) ou des jarres d'éclosion. Un courant d'eau est maintenu pour garder les œufs et les larves en suspension dans la colonne d'eau.

[3] Les larves sont ensuite transférées dans des étangs en terre de 0,1-0,2 ha avec une profondeur généralement inférieure à 2 m. Les engrais organiques – fumier animal et/ou déchets de plantes (« fumier vert ») sont communément utilisés pour augmenter la biomasse naturelle du zooplancton. En Chine, l'élevage en nurserie dure environ 2-3 semaines jusqu'à ce que les poissons atteignent 3 cm.

[4] Les poissons sont transférés dans étangs plus grands (0,2-0,3 ha) et plus profonds que pour l'étape précédente. La polyculture est souvent pratiquée à cette étape, qui dure normalement entre 4 -6 mois.

[5] Les poissons sont ensuite cultivés en **polyculture** (avec la carpe herbivore, la carpe argentée, la carpe commune, …) en étangs et en enclos ou comme espèce principale dans des petits lacs et réservoirs. La production de la carpe à grosse tête peut atteindre 150-400 kg/ha, soit près de la moitié de la production totale.

4. Reproduction des trois espèces en milieu naturel

a. Particularités de la biologie de la reproduction

Les trois carpes chinoises ont une **biologie de la reproduction très particulière**, notamment en ce qui concerne les **conditions de ponte** et le **développement des œufs et des larves** (Tableau 8). En effet, pour se reproduire en milieu naturel, les trois espèces de carpes nécessitent en priorité de **grands fleuves avec un fort courant** (ca. 1 m/s) qui présentent des **variations importantes et rapides** du niveau de l'eau (1 à 2 m) et des températures optimales comprise entre **20 et 25°C** en été (Krykhtin et Gorbach, 1982 ; Billard, 1997 ; Masser, 2002 ; Kottelat et Freyhoff, 2007). Ainsi, pour les trois espèces de carpe, si le courant du fleuve est bloqué ou si les parties de fleuves disponibles sont trop courtes, les œufs ne peuvent dériver pendant suffisamment de temps et leur développement est arrêté (Kottelat et Freyhoff, 2007).

Plus précisément, pour la carpe herbivore, les températures nécessaires à la stimulation de la maturation sexuelle, l'incubation des œufs et la survie des jeunes individus varient entre 19 et 30°C, avec un optimum vers 23°C (Pípalová, 2006). De plus, des changements rapides du niveau de l'eau, d'au moins 1 m, des eaux courantes avec une vélocité minimale de 0,8 m/s et un débit moyen d'environ 400 m^3/s sont des stimuli environnementaux essentiels pour la reproduction naturelle, incluant le comportement reproducteur, la ponte et le développement des œufs (Pípalová, 2006). Ainsi, même si le poisson peut atteindre la maturité sexuelle sous certaines conditions de culture, il ne peut pas pondre naturellement si tous ces paramètres ne sont pas réunis (FAO, 2009-2011a). La reproduction de la carpe argentée nécessite une température comprise entre 17 et 25°C, voire de 21 à 26°C, des eaux profondes de fleuves à débit important et une vitesse de 0,7 à 1,4 m/sec (Billard, 1997 ; Barbier, 2001a). De cette façon, les œufs, semi-pélagiques, entrainés dans le courant se trouvent oxygénés durant l'incubation. La longueur du fleuve doit être supérieure à 200 km (Billard, 1997). La ponte est arrêtée si les conditions changent, notamment si le niveau de l'eau diminue, si la turbidité est réduite ou la force du courant est trop forte (Kottelat et Freyhof, 2007). De même, la carpe à grosse tête arrête de se reproduire si les conditions changent, notamment si le niveau de l'eau est trop bas (Kottelat et Freyhof, 2007). Dans les plans d'eau où le courant est faible, il est probable que les poissons ne puissent pas devenir matures (Stott et Cross, 1973) et même s'ils peuvent atteindre la maturité sexuelle en captivité ils ne pourront pas pondre naturellement (FAO, 2008-2011).

Cependant, il a été observé e*xceptionnellement* que ces trois carpes chinoises peuvent parfois se reproduire même si toutes les conditions *a priori* nécessaires ne sont pas réunies (Kolar et al., 2005). Ainsi, il a été observé la reproduction de ces trois espèces dans le canal du Kara Kum (Turkmenistan) sans augmentation du niveau de l'eau. Cependant, ce canal possède un courant rapide (0,9-1,2 m/s) et des eaux turbides (Kolar et al., 2005). Le canal Kara Kum est probablement **le seul exemple connu** de reproduction naturelle de ces carpes dans un canal construit par l'homme (Kolar et al., 2005).

Tableau 8. Synthèse des connaissances sur la biologie de la reproduction de trois carpes chinoises (données issues de Teletchea et al., 2007, 2009). Les valeurs sont issues d'une analyse de la bibliographie et représentes des valeurs « moyennes » ou caractéristiques pour chaque trait biologique. En gras les caractéristiques biologiques les plus différentes des autres espèces de France voire d'Europe de ces trois espèces.

Traits biologiques	Amour blanc	Carpe argentée	Carpe à grosse tête
Œufs			
Diamètre ovocytaire (mm)	1,35	1,25	1,30
Taille de l'œuf après gonflement (mm)	**4,75**	**4,85**	**4,75**
Flottabilité		**Pélagique**	
Adhésivité		Non	
Temps d'incubation (jours)	1,5	1,3	1,3
Température d'incubation (°C)	**22,5**	**22,5**	**23,5**
Degré-jours d'incubation (°D)	36,5	32,5	32,5
Larves			
Taille à l'éclosion (mm)	5,25	5,10	5,25
Comportement larvaire		Pélagique	
Température (°C)	**24,5**	**25,5**	**24,5**
Géniteurs			
Âge à maturité (années) ♀	5,5	5,5	6,5
Taille à maturité (cm) ♀	65,0	67,5	72,5
Fécondité relative (1000 œufs/kg)	115	90	55
Fécondité absolue (1000 œufs)	950	850	750
Valeurs maximale d'IGS ♀	20,5	19,0	17,5
Âge à maturité (années) ♂	4,5	4,5	6,5
Taille à maturité (cm) ♂	55,0	57,5	65,0
Dimorphisme sexuel ♂	Tubercules nuptiaux	Nageoires pectorales	
Valeur maximale d'IGS ♂	2,3	1,1	1,0
Conditions de ponte			
Saison de ponte		**Juin-Juillet**	
Durée de la saison de ponte (semaines)	8,5	9,0	9,0
Température lors de la ponte (°C)	**22,5**	**23,5**	**22,5**
Type d'eau		**Eau courante**	
Type de substrat		**Pélagophile**	
Préparation d'un site particulier		Non	
Comportement de reproduction		Ponte en groupe	
Type d'oviposition		Pondeur multiple	
Parité		Itéropare	
Soins parentaux		Aucun	

En conclusion, la reproduction naturelle de ces trois espèces nécessite qu'un <u>grand nombre de facteurs</u> abiotiques soient réunis (*même si tous ne semblent pas indispensables*), notamment* :

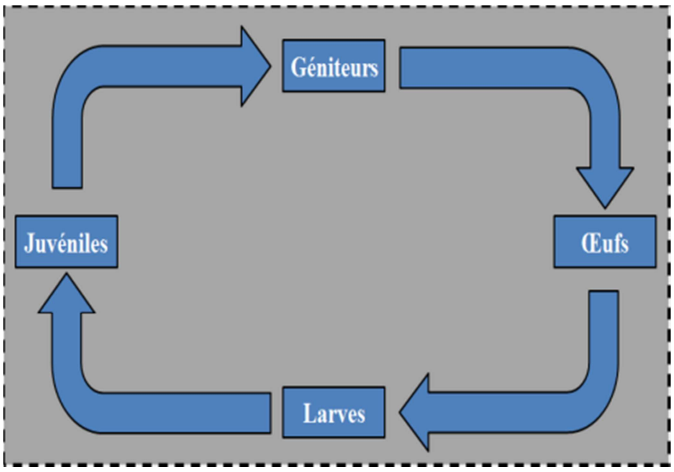
- Un large fleuve avec un débit important
- Des fortes variations du niveau de l'eau à la fin du printemps
- Une température élevée pendant plusieurs semaines en été (> 20°C)
- Des zones de turbulence (turbide) : confluence de plusieurs rivières
- Dureté de l'eau particulière (300-500 mg/L) pour le gonflement des œufs
- Un courant assez fort pour le développement embryonnaire et larvaire
- Des zones de nurseries en aval (lacs, réservoirs)

*<u>*Remarque</u>*
Wang et al. (2010) ont récemment étudié les relations possibles entre 80 événements de ponte des années 1950 à 2003 dans le fleuve Yangtze et six facteurs météorologiques : le vent, les précipitations, la température, la pression de l'air, les heures d'ensoleillement et l'humidité. Parmi ces six facteurs, celui qui est **le plus important est les précipitations** car de très fortes pluies vont contribuer aux fortes crues (inondations) du fleuve, qui initie la ponte. Des changements drastiques du temps (ensoleillement, température, pression de l'air) peuvent aussi stimuler la ponte en modifiant la qualité physico-chimique et biologique de l'eau. Notamment, une augmentation de la température de l'eau et une diminution de la pression de l'air peuvent stimuler l'activité de reproduction.

Tan et al. (2010) ont mis en évidence **une diminution drastique** de l'abondance larvaire de ces trois espèces dans le Fleuve Pearl (Chine) suite à la **construction de barrages** qui limitent fortement les **épisodes de crues** et par conséquent la reproduction de ces carpes.

b. Reproduction en milieu naturel suite à des introductions

Pour qu'une espèce puisse s'établir dans milieu où elle est introduite, il faut que **l'ensemble de son cycle de vie** se réalise dans ce nouvel environnement **sans intervention humaine** (Figure 20). Ainsi, il faut que les géniteurs (adultes) survivent tout au long de l'année et puissent trouver les conditions nécessaires à leur reproduction (température, turbidité, substrat, …), que les embryons puissent se développer correctement, que les larves trouvent des zones optimales pour leur développement (nourriture, zone de nurserie), que les juvéniles trouvent des conditions compatibles avec leurs survies (notamment pendant l'hiver) et leurs maturations sexuelles et la production des gamètes.



Une fois un premier cycle bouclé, la pérennité de cette espèce dans ce nouvel environnement nécessitera que les **nouvelles générations puissent aussi se reproduire** et ainsi de suite.

Figure 20. Cycle de vie simplifié d'un poisson.

Globalement, ces trois espèces ont été introduites dans de très nombreux pays (Figures 4, 10 et 16). Le devenir de ces diverses introductions est parfois contradictoire en fonction des auteurs, principalement dû à un problème de terminologie (voir glossaire). Ainsi, une synthèse des localités où une reproduction naturelle de ces trois espèces a été signalée a été réalisée en distinguant clairement la nature des observations (Tableau 9). **Il apparaît que malgré de très nombreuses introductions dans le monde, la reproduction naturelle des carpes chinoises n'a été décrite que dans peu de localités dans le monde confirmant des observations précédentes** (Tableau 9). En effet, Stott et Cross (1973) avaient déjà noté que la reproduction naturelle de ces trois espèces était limitée à seulement quatre sites : le fleuve Tone au Japon, un fleuve lié au réservoir Ah Kung Tian à Taiwan, le fleuve Amu-Darya au Turkménistan et le bassin Kuban dans le Caucase. Dans ces quatre localités, la reproduction naturelle a eu lieu au printemps ou au début de l'été, dans des eaux avec un courant variant de 0,5 à 2,4 m/s et une température de l'eau d'un minimum de 19°C, voire plus généralement de 4 ou 5°C supérieur (Stott et Cross, 1973). Plus récemment, des reproductions naturelles ont aussi été signalées dans le canal Kara Kum, dans le fleuve Murghab au Turkménistan et le fleuve Syr-Darya en Ouzbékistan (Krykhtin et Gorbach, 1982 ; Shireman et Smith, 1983 ;Verigin et al., 1999). D'après Dabbadie (1994) **aucune reproduction de la carpe herbivore n'est possible en climat tropical** car elle a des exigences très strictes pour sa reproduction (notamment la reproduction serait inhibée à 28-30°C). A l'inverse, aucune attestation de reproduction naturelle au nord de l'isotherme de température annuelle moyenne de 5°C n'existe pour la carpe herbivore (MPO, 2005).

De plus, dans **tous** les travaux analysés pour cette étude, **les œufs sont toujours obtenus après une stimulation des femelles par injection hormonale** (et parfois des mâles) pour les trois espèces : la carpe herbivore (Shireman et Smith, 1983 ; Dabrowski, 1984 ; Makeeva et al., 1988 ; Rottmann et al., 1991 ; Verigin et al., 1999 ; Khan et al., 2004), la carpe argenté (Dabrowski, 1984; Makeeva et al., 1988 ; Verigin et al., 1990 ; Verigin et al., 1999 ; Burlakov et al., 2006) et la carpe à grosse tête (Dabrowski, 1984; Makeeva et al., 1988 ; Jennings, 1988 ; Verigin et al., 1990 ; Rottmann et al., 1991 ; Makeyeva et al., 1996 ; Verigin et al., 1999 ; Santiago et al., 2004).

Par conséquent ces trois espèces se reproduisent <u>extrêmement difficilement</u> en dehors de leur aire de répartition naturelle et uniquement dans des écosystèmes très proches de leur milieu d'origine (Stott et Cross, 1973 ; Dabbadie 1994 ; Domaizon et Devaux, 1999 ; Verigin et al., 1999 ; Pípalová, 2006).

Tableau 9. Liste des localités où des reproductions naturelles de carpes introduites ont été signalées. Observation directe de la ponte (1), d'œufs ou de larves (2), de juvéniles (3), de géniteurs matures ou ayant pondu (4) ; populations reproductrices pérennes (5) ou populations pérennes simplement indiquées sans informations supplémentaires (6).

Localités	Carpe herbivore	Carpe argentée	Carpe à grosse tête	Références
Amérique				
Etats-Unis (en général)	5	5	5	Kottelat et Freyhof (2007)
Mississippi	2			Shireman et Smith (1983)
			5	Schrank et Guy (2002)
	5			Masser et al. (2002)
	6	6	6	Herborg et al. (2007)
Missouri	2			Brown et Coon (1991)
			2	Schrank et al. (2001)[1]
		4	5	Schrank et Guy (2002)
		4	4	Papoulias et al. (2006)
	5			Masser et al. (2002)
Trinity	2,3			Webb et al. (1994)
	5			Masser et al. (2002)
Mexico	6			Shireman et Smith (1983)
Europe				
Europe (ouest de l'Oural)			6	Kottelat et Freyhof (2007)[2]
Danube (partie Yougoslave)	3	3, 4	4	Jankovic (1998)[3]
Danube inférieur		1, 4		Kottelat et Freyhof (2007)
Volga (Nizhnyaya)	6			Krykhtin et Gorbach (1982)
Serbie		3,5	5	Lenhardt et al. (2011)
Asie centrale				
Sud-est de la Russie	1	1, 4		Kottelat et Freyhof (2007)
Asie Centrale		5	5	Kottelat et Freyhof (2007)
Amu-Darya (Russie)			6	Stott et Cross (1973)
Kuban (Russie)	6			Stott et Cross (1973)
Terek (Caucasse)	2,4,5	2,4,5	2,4,5	Abdusamadov (1986)[4]
	6			Shireman et Smith (1983)
		6		Barbier (2001a)[5]
Syr –Daria	1,2	1, 2	1, 2	Verigin et al. (1979)[6]
Canal Karakum	6			Shireman et Smith (1983)
Ili	6			Shireman et Smith (1983)
Asie				
Fleuve Tone (Japon)	6			Stott et Cross (1973)
Fleuve Cho-shui (Taiwan)			6	Stott et Cross (1973)

[1] La ponte, lors des deux années, a eu lieu en lien avec une augmentation importante de l'écoulement (une augmentation de 2 764 m^3/s en 1997 et 3 511 m^3/s en 1998) après que la température se soit stabilisée au-dessus de 22°C.

[2] Même s'il existe des données fiables de reproduction en milieu naturel dans des fleuves de Russie et du Danube inférieur, il n'est pas connu si les embryons et les larves ont été capables de compléter leur développement (Kottelat et Freyhof, 2007).

[3] Depuis cette publication, aucun autre signalement de reproduction naturelle de carpes herbivores n'a été publié en Serbie, par conséquent il est supposé que ces populations ne se maintiennent dans cette région que grâce à l'empoissonnement (Lendhart et al., 2011).

[4] Le pic de la migration pour rejoindre les zones de ponte de la carpe herbivore et argentée a lieu au début du mois de mai et pour la carpe à grosse tête le mois de juin, à des températures de 18-22°C pendant les périodes de fortes crues. La reproduction a lieu principalement à la fin de mai et au début de juin.

[5] Dans le Caucase, le fleuve Terek a été colonisé à partir des élevages développés dans des étangs et des réservoirs de son delta (Barbier, 2001a).

[6] La ponte a eu lieu quelques jours après une augmentation brutale du niveau de l'eau et pendant une période où la température de l'eau était supérieure à 22°C. Une légère diminution de la température a entrainé un court arrêt de la ponte qui a repris après la remontée de la température.

c. Etudes de cas

Etats-Unis : le scénario du pire ?

Carpe herbivore

La carpe herbivore a été introduite pour la première fois en 1963 dans des structures d'élevage de recherche en Alabama et dans l'Arkansas par le « U.S. Fish and Wildlife Service », au départ pour évaluer leur intérêt dans le contrôle de la végétation aquatique, car aucune espèce indigène n'est aussi strictement herbivore que cette espèce (Webb et al., 1994 ; Galveston Bay Foundation, 2002 ; Masser, 2002). Peu après, des individus se sont échappés dans les eaux libres de l'Arkansas (Cudmore et Mandrak, 2004). Dès le début des années 1970, de nombreuses carpes herbivores ont été capturées dans les fleuves Missouri et Mississippi. Par la suite, l'aire de répartition de la carpe herbivore s'est fortement agrandie suite à des projets d'empoissonnements à grande échelle par des agences gouvernementales, des relâchés illégaux, des échappements d'étangs d'élevage ou de dispersion naturelle à partir des sites d'introduction (Cudmore et Mandrak, 2004). Par exemple, en 1981, 270 000 carpes herbivores ont été **légalement** introduites dans le Lac Conroe (Texas) pour diminuer les herbes aquatiques indésirables (Galveston Bay Foundation, 2002). Après un an, plus de 3 600 hectares de végétation aquatique immergée ont été éliminés, notamment l'espèce exogène l'hydrille verticillé (Galveston Bay Foundation, 2002 ; Cudmore et Mandrake, 2004).

Actuellement, la carpe herbivore a été signalée dans 45 états et dans 8 (Arkansas, Illinois, Louisiane, Minnesota, Missouri, Mississippi, Tennessee et Texas) des populations sont établies (Cudmore et Mandrak, 2004). On trouve aussi cette espèce à Hawaii (Galveston Bay Foundation, 2002). Une carte de répartition actualisée de cette espèce est disponible à l'adresse suivante http://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=514.

Bien que les carpes herbivores établies ne semblent pas avoir développé de larges populations destructives, c'est un **sujet controversé** parmi les gestionnaires des ressources naturelles (Masser, 2002). Depuis 1992, seuls les individus triploïdes (stériles) peuvent être empoissonnés dans des eaux closes lorsque la nuisance liée aux plantes aquatiques persiste (Galveston Bay Foundation, 2002). Dans certains états, diploïdes et triploïdes sont acceptés, alors que dans d'autres états seule la possession de carpes triploïdes est autorisée (Masser, 2002). Cependant, la carpe herbivore **est toujours un des moyens utilisés** à l'heure actuelle pour lutter contre la prolifération des plantes dans les étangs et les lacs (http://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=514.). Ces plantes aquatiques immergées comme l' hydrille verticillé (*Hydrilla verticillata* (L.)), le myriophylle en épi européen (*Myriophyllum spicatum* L.) et l'élodée brésilienne (*Egeria densa* L.) sont considérées comme les **trois pires espèces d'herbes invasives** aux Etats-Unis et des **millions de dollars** sont dépensés chaque année pour contrôler l'infestation de très nombreux plans d'eau (Cuda et al., 2008). En outre, de nombreux hydrilles ont développé des résistances aux herbicides fluridone (Cuda et al., 2008). Il existe aussi d'autres moyens qui sont utilisés, comme divers insectes et pathogènes (champignons et bactéries) pour lutter contre le développement excessif d'herbes indésirables (Cuda et al., 2008).

Remarque
Au Canada, il n'y pas de signe de reproduction naturelle de la carpe herbivore (Cudmore et Mandrak, 2004).

Carpe argentée

La carpe argenté a été introduite aux Etats-Unis au début des années 1970 dans le but d'améliorer la qualité d'eau en aquaculture et pour le traitement des eaux usées des étangs (Sass et al., 2010). Suite à leur introduction, il est supposé que l'inondation d'étangs piscicoles a permis à cette espèce de s'échapper dans les affluents du fleuve Mississipi dès 1980 (Sass et al., 2010). Les populations établies de carpe argentée ont atteint de fortes densités dans certaines parties du bassin hydrographique du cours supérieur du Mississippi (MPO, 2005). Par exemple, Sass et al. (2010) ont estimé que le nombre de carpes argentées était compris entre 231 226 et 484 474 (soit une biomasse estimée de 496-1 040 tonnes) dans une portion longue de 129 km du fleuve Illinois (La Grange Reach), ce qui en fait la zone où la densité de carpes argentés est la plus forte au monde.

La carpe argentée est actuellement présente dans 12 états (Alabama, Arizona, Arkansas, Colorado, Floride, Indiana, Kansas, Kentucky, Missouri et Tennessee). Elle est apparemment **établie** en Louisiane et **possiblement** en Illinois.

Une carte de répartition actualisée de cette espèce est disponible à l'adresse suivante http://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=549.

Carpe à grosse tête

La carpe à grosse tête a été introduite par un aquaculteur en 1973 dans l'Arkansas dans le but d'améliorer la qualité de l'eau dans ses étangs de production (Schrank, 1999 ; Schrank et Guy, 2002). Malgré l'instauration de lois dès 1974 dans le but de réduire l'empoissonnement de carpes à grosse tête dans les bassins publics de l'Arkansas et pour éviter la probabilité d'introductions accidentelles, dès 1981 des adultes ont été pêchés dans le fleuve Mississippi (Schrank et Guy, 2002). Les premiers individus âgés de moins d'un an ont été signalés près de 20 ans plus tard, soit en 1992 dans le fleuve Mississippi et en 1989 dans le fleuve Missouri (Schrank, 1999 ; Schrank et Guy, 2002).

Actuellement, la carpe à grosse tête est présente dans 19 états et son aire de répartition continue de s'étendre (Schrank, 1999 ; Schrank et Guy, 2002). Il existe des preuves de populations qui se reproduisent naturellement dans les parties moyennes et basses des fleuves Mississippi et Missouri. Une carte de répartition actualisée de cette espèce est disponible à l'adresse suivante http://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=551. Aux Etats-Unis, cette espèce est souvent introduite dans des étangs de pisciculture de poisson-chat.

Conclusions

La gestion des carpes chinoises aux Etats-Unis est un processus changeant et dynamique (Aitkin et al., 2008). Au niveau national, le « U.S. Fish and Wildlife Service » a milité pour lister la carpe à grosse tête et la carpe argentée comme des espèces nuisibles pour la faune sauvage. Une décision finale pour lister la **carpe argentée** comme espèces nuisibles a été publiée le 10 Juillet 2007 et est entrée en vigueur à partir du 9 Août 2007. L'inclusion de la carpe à grosse tête sur la liste des espèces nuisibles est encore à l'étude.

Une fois sur la liste des espèces nuisibles, le ministre de l'intérieur est autorisé à interdire l'importation et le transport entre-états de ces espèces, sauf si des permis sont délivrés par le « U.S. Fish and Wildlife Service ». Cependant, cela n'interdit pas le transport ou la possession de ces espèces **au sein des états**.

Au niveau des états, Washington a listé la carpe à grosse tête, la carpe herbivore (diploïde) et la carpe argentée comme des animaux interdits. L'Idaho a listé la carpe à grosse tête, la carpe herbivore (diploïde) et la carpe argentée comme des animaux nuisibles. L'Oregon a classé la carpe à grosse tête, la carpe herbivore (diploïde) et la carpe argentée comme interdites. **Cependant, dans ces trois états (Washington, Idaho et Oregon) les carpes herbivores triploïdes peuvent être relâchées pour le contrôle des herbes indésirables, mais les poissons doivent être certifiés triploïdes par « U.S. Fish and Wildlife Service »** (Aitkin et al., 2008).

Au niveau national, un plan de gestion a été adopté avec sept principaux objectifs (Aitkin et al., 2008):

[1] éviter les introductions accidentelles ou illégales des trois carpes,
[2] contenir et contrôler l'établissement de populations en milieu naturel,
[3] éliminer ou réduire à des niveaux d'effets non significatifs les populations établies en milieu naturel,
[4] minimiser les effets négatifs potentiels des populations établies,
[5] fournir des informations au public, industries commerciales et agences gouvernementales pour améliorer l'efficacité de la gestion des populations,
[6] développer des recherches pour fournir des données précises et scientifiquement valides, nécessaires à la gestion efficace des populations,
[7] Planifier et gérer efficacement la gestion et le contrôle de ces populations.

Remarque

Herborg et al. (2007) ont utilisé la **modélisation écologique des niches** pour prédire les milieux les plus adéquats à l'établissement des 14 espèces exogènes en Amérique du Nord (Etats-Unis et Canada), dont les trois carpes chinoises. Neuf paramètres répartis en trois catégories (climatique, topographique et abondance du fleuve) ont été étudiés dans le modèle. **Parmi ces neuf paramètres, les précipitations sont le paramètre le plus important dans la probabilité d'établissement de ces trois espèces**. Le second paramètre le plus important pour la carpe argentée est le nombre de jours de pluies : 58-185 jours de pluies par an sont idéaux. Pour la carpe herbivore et la carpe à grosse tête, le second paramètre est la température minimale de l'air. D'autres paramètres, non pris en compte dans cette étude, pourraient améliorer les prédictions du modèle mais n'étaient pas disponibles, comme la température, la physico-chimie de l'eau et le débit du fleuve (Herborg et al., 2007).

Europe : combien de populations réellement établies ?

A l'heure actuelle il n'existe **aucune donnée fiable** sur une quelconque reproduction en milieu naturel en Europe occidentale, bien que ces espèces aient été introduites à de très nombreuses reprises dans la plupart des pays Européens depuis la seconde moitié du XXème siècle (Tableau 9). Notre étude confirme donc les résultats obtenus indépendamment par un large groupe d'experts internationaux (www.europe-aliens.org/). A noter aussi qu'aucune de ces espèces ne se reproduit naturellement en Israël (Goren et Galil, 2005).

La principale raison expliquant l'absence de reproduction naturelle est que les conditions strictes nécessaires à celle-ci ne sont pas réunies dans les fleuves médio-européens (Barbier, 2001a ; Kottelat et Freyhof, 2007). Ainsi, la reproduction naturelle a été décrite comme très peu probable d'une manière générale en Europe (Codhant et Dutartre, 1992 ; Kottelat et Freyhof, 2007) et plus précisément dans de nombreux pays, notamment : en Allemagne (Wolter et Röhr, 2010), en Angleterre (Britton et Davies, 2007 ; Britton et al., 2010), en Pologne (Grabowska et al., 2010), en République Tchèque (Lusk et al., 2010 ; Musil et al., 2010), en Slovaquie (Koščo et al., 2010). L'exception notable est en Serbie où la carpe à grosse tête et la carpe argentée se reproduisent naturellement (Lenhardt et al., 2011).

En conclusion, les populations des trois carpes chinoises ne se maintiennent uniquement en Europe que grâce au repeuplement et à l'utilisation de la reproduction artificielle.

d. La reproduction des carpes chinoises en France sera-t-elle possible ?

D'après **toutes les références analysées, aucune des trois carpes chinoises ne s'est reproduite naturellement en France jusqu'à aujourd'hui** (Billard, 1997 ; Barbier, 2001b ; Bruslé et Quignard, 2001 ; Kottelat et freyhof, 2007). De plus, d'après notre enquête, la carpe herbivore et la carpe argentée ne sont présentes que de façon très anecdotique dans les eaux libres et la carpe à grosse tête est complètement absente (Tableaux 5 et 7). Ceci démontre que les carpes chinoises sont **clairement confinées aux eaux closes en France et ceci malgré une présence sur notre territoire depuis les années 1960.** Ainsi, si ces carpes avaient été en mesure de se reproduire, elles auraient déjà dû le faire, car dans les autres localités où la reproduction naturelle a lieu, cela n'a pris que quelques années (cf. ***paragraphe 4c***).

En outre, il est quasi certain qu'aucune reproduction naturelle n'aura lieu dans les fleuves métropolitains dans le futur car aucun des sept plus grands fleuves français ne présente l'ensemble des caractéristiques nécessaires à leur reproduction naturelle (Tableau 10 ; Annexe 2). Même si **les eaux** se réchauffaient de quelques degrés dans les prochaines décennies, il faudrait un changement radical du régime hydrologique de ces fleuves pour avoir des conditions comparables au milieu d'origine (cf ***paragraphe 4a,b***), ce qui est très peu probable. A titre de comparaison, une étude récente ayant pour objectif d'évaluer la probabilité de réponses des espèces exogènes à un réchauffement climatique au Royaume-Uni (Angleterre et Pays de Galles) **a clairement exclue** la possibilité de reproduction en milieu naturelle des trois espèces de carpes du fait de l'absence de longs fleuves dont le cours est ininterrompu (Britton et al., 2010). D'après cette étude, la carpe commune (*Cyprinus carpio*) et le silure (*Silurus glanis*) sont les deux espèces qui pourraient voir leur aire de répartition augmentée le plus dans les années à venir suite à un éventuel réchauffement climatique.

En outre, il faut noter que seuls quatre fleuves sont cantonnés au territoire français : la Loire, la Seine, la Garonne et la Dordogne, par conséquent seule une **gestion européenne** pourrait permettre de contrôler le développement de ces populations. **Des mesures franco-françaises n'auraient aucun impact sur le Rhin, la Meuse** et **le Rhône** quant au devenir de ces trois espèces.

Tableau 10. Principales caractéristiques des sept plus grands fleuves de France métropolitaine (classés par leur longueur totale en incluant les zones comprises en dehors de la France). Le débit moyen est donné à l'embouchure. Les fleuves suivis d'un astérisque indique qu'ils sont cantonnés au territoire national, en incluant la Garonne.

Fleuves	Longueur totale (km)	Longueur en France (km)	Température moyenne (°C)	Température estivale (°C)	Débit moyen estival (m^3 /s)	Crues estivales régulières
Rhin	1325	188	16	23-25	1375	Non
Loire*	1012	1012	14,5	21-26	931	Non
Meuse	950	486	15	20-24	56	Non
Rhône	812	545	15	16-24	1230	Non
Seine*	776	776	14	21	318	Non
Garonne*	645	532	16,5	20-26	245	Non
Dordogne*	483	483	15,5	20-26	99	Non

Sources (Moatar et Gailhard, 2006 ; Descy, 2009 ; Tabbagh et al., 2009)
http://fr.wikipedia.org
http://www.hydro.eaufrance.fr
http://www.documentation.eaufrance.fr/entrepotsOAI/AEAG/44/220991/220991_doc.pdfse2.pdf
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Etude_impacts_climatique_phase2.pdf
[sites consultés le 08 Septembre 2011].

Par conséquent l'évolution des populations de ces trois carpes en Europe et singulièrement en France, sera liée uniquement à des comportements humains, comme le résume le tableau 11.

Tableau 11. Evaluation de l'évolution possible des populations des trois carpes chinoises en France (adapté de MPO, 2005).

Etapes	Carpe herbivore	Carpe argentée	Carpe à grosse tête
1. Introduction	Liée à l'activité humaine		
2. Survie	Très probable		
3. Reproduction	Très peu probable		
4. Dissémination	Très limitée		

[1] Les causes d'introduction de ces trois espèces sont multiples et peuvent être volontaires ou accidentelles : 21 causes différentes (relâchés accidentel ou illégaux, inclusion accidentelle dans le transport d'autres poissons, animalerie/pêche de loisir,…) sont discutées par Aitkin et al., (2008). Il est donc fortement souhaitable que **toutes les personnes intervenants** déclarent précisément combien, quand et où des carpes ont été relâchées

dans les eaux closes. Ceci permettrait d'avoir une **carte de répartition précise et à jour** des carpes en France, ce qui n'est pas disponible à l'heure actuelle. Cependant, étant donné que les fleuves français ne sont pas cantonnés au seul territoire national (Tableau 9), **on ne peut exclure des arrivées en eau libre de ces poissons *via* les pays limitrophes** ; de telles conclusions sont souvent émises dans la littérature, comme pour la Serbie (Lenhardt et al., 2011).

[2] Les conditions climatiques en France sont en adéquation avec la survie des trois espèces de carpes, d'autant plus qu'elles sont euryèces. Par conséquent, les trois espèces peuvent vivre sur l'ensemble du territoire national et ceci tout au long de l'année.

[3] Compte tenu des exigences thermiques élevées (~ 20°C) et de la nécessité de grands fleuves avec des débits importants et des fortes variations du niveau d'eau pendant la fin du printemps, **il est très peu probable que ces trois carpes puissent se reproduire** dans le réseau hydrographique français en l'état actuel des connaissances.

[4] Etant donné que la reproduction en milieu naturel de ces trois espèces est très peu probable, ces espèces ne devraient pas connaître une expansion incontrôlée à partir de leurs zones d'introduction dans les années futures. **Il est intéressant de noter que, bien que présentes depuis plus de quatre décennies en France, la présence de ces trois espèces en eau libre reste rare ou très anecdotique**.

C. Intérêts des trois carpes chinoises

1. *Ctenopharyngodon idella* (carpe herbivore, amour blanc)

a. Consommation de la chair

En Chine, qui est de loin le plus gros producteur de carpes herbivores dans le monde (*cf.* ***paragraphe B.1.d***), l'essentiel de la production est commercialisé frais soit comme poisson entier ou en morceaux ; seule une très petite partie est transformée (FAO, 2009-2011a). En outre, la majeure partie de la production est consommée localement (FAO, 2009-2011a). De plus, dans certains pays (notamment dans la zone tropicale), la carpe herbivore fait partie intégrante de la culture, puisque la chair constitue une part important de protéines pour l'alimentation humaine (Pípalová, 2006). Cette carpe est aussi très appréciée dans de nombreuses régions aux Etats-Unis (Galveston Bay Foundation, 2002).

La carpe herbivore a une forte concentration en protéines (>16%), une faible concentration en lipides (<6%) et ne contient pas de carbohydrates (Galveston Bay Foundation, 2002) ; voir aussi Ashraf et al. (2011). Sa chair est blanche, ferme, non huileuse et ne contient pas d'os fins intermusculaires, mais des arêtes d'après Cudmore et Mandrak (2004) et des os « Y » d'après Masser (2002). Dabbadie (1994) note aussi que la présence d'arêtes intramusculaires s'avère un peu gênante pour la consommation du poisson. La chair de la carpe herbivore est considérée comme savoureuse par de nombreux amateurs de produits aquatiques (Dabbadie, 1994 ; Masser, 2002 ; Cudmore et Mandrak, 2004).

La carpe herbivore présente un certain nombre d'avantages pour l'élevage. Tout d'abord, elle présente un taux de croissance rapide et atteint une très grande taille. Elle peut être produite à un **faible coût** et nourrit à partir d'aliments naturels et des produits composés de graines traitées et des huiles extraites de végétaux ; la carpe herbivore a de faibles exigences protéiques (FAO, 2009-2011a). En outre, les juvéniles peuvent être obtenus par reproduction artificielle à grande échelle et à bas coût. La culture de cette espèce peut être associée à l'élevage d'autres animaux (aquaculture intégrée) et de cultures de végétaux pour maximiser l'utilisation des ressources naturelles (FAO, 2009-2011a). Dans le contexte actuel de diminution des captures par pêche, la production de cette espèce, contrairement à des espèces carnivores comme le saumon Atlantique *Salmo salar*, ne nécessite pas l'utilisation d'huile ou de farines animales, ce qui constitue évidemment un **avantage très important** pour le **développement durable** de l'aquaculture (Tacon et Métian, 2009 ; Tacon et al., 2010). **En conclusion, c'est un moyen très efficace et durable de transformer des plantes aquatiques en protéines de poissons**.

b. Impacts positifs pour le plan d'eau

Le **développement excessif** de macrophytes aquatiques dans divers plans d'eau et singulièrement des étangs de pisciculture, est un **problème majeur et récurrent entraînant de nombreuses nuisances** : au niveau **technique** (difficulté de pêcher les poissons), au niveau de la fertilisation (une grande partie des éléments nutritifs sont fixés dans les végétaux) et des usages du plan d'eau (pêche à la ligne, navigation, baignade) (Dabbadie, 1994 ; Masser, 2002 ; Quesada, 2004 ; Morris et Clayton, 2006). De plus, un développement excessif de la végétation peut avoir des **effets négatifs sur les poissons** (Morris et Clayton, 2006). Une synthèse des divers impacts négatifs sur le milieu physique (pénétration de la lumière, modification des écoulements), sur la qualité de l'eau (variations importantes du pH et de l'oxygène dissous pendant la journée), sur la biodiversité animale et végétale (faune piscicole, phytoplancton, compétition avec les plantes indigènes) et sur les usages (navigation, sports nautiques, pêche, irrigation, captages, baignade) sont décrits dans le document disponible à l'adresse suivante : http://centrederessources-loirenature.com/mediatheque/especes_inva/telechargements/docs_travail/synthese_gestion_plantes_envahissantes.pdf. **Ce développement excessif de plantes est en grande partie lié à l'activité humaine** (utilisation de fertilisants dans l'agriculture), qui va conduire à une **fertilisation des eaux** : phénomène d'eutrophisation (Morris et Clayton, 2006).

La carpe herbivore permet de contrôler efficacement ce développement trop important de la végétation aquatique et ainsi de remplacer la pratique (coûteuse) de fréquents faucardages et l'utilisation de méthodes chimiques (Stott et Cross, 1973 ; Dabbadie, 1994 ; Bruslé et Quignard, 2001 ; Kırkağaç et Demir 2006).

Le faucardage désigne l'opération qui consiste à couper la végétation des berges et du fond. Il peut se faire manuellement (de plus en plus rare) ou à l'aide de divers engins : pelles mécaniques, bateaux faucardeurs. Divers films sont disponibles sur Internet montrant l'utilisation de tels engins :

- http://www.dailymotion.com/video/xe4luy_faucardage-roybon_news
- http://www.dailymotion.com/video/xgpdt2_edivert-faucardage-et-entretien-d-etangs_lifestyle
- http://www.youtube.com/watch?v=jmbUzbKRMEg&feature=related

A la lumière de ces films, il est évident que le faucardage à l'aide d'engins entraîne de **très fortes perturbations du milieu**, même si celles-ci ne sont pas évaluées dans la littérature. On peut supposer que la turbidité va fortement augmenter (remise en suspension du substrat), que de nombreux habitats seront détruits mécaniquement dû au passage de l'engin et qu'étant donné qu'une partie des végétaux coupés ne sont pas ramassés, les boutures recoloniseront le milieu ou ils contribueront par leur dégradation à fertiliser le plan d'eau.

Une synthèse des deux principales méthodes de faucardage est fournie au tableau 12.

Tableau 12. Avantages et inconvénients du faucardage manuel et mécanique, d'après Devidal (2007) et communications personnelles avec deux pisciculteurs d'étangs (Mrs. L. Tamazouzt, A. Lhuillier) et un conseiller aquacole (Mr. Y. Jouan).*

	Avantages	Inconvénients
Faucardage manuel	• Facile à mettre en place • Équipements peu coûteux • Très peu de contraintes sur l'écosystème • Sélectif dans la récolte des plantes	• Non applicable aux grandes surfaces • Technique très lente • Problème de recolonisation souvent rapide car difficile d'arracher et ramasser tous les fragments de végétaux indésirables • Peu d'effet sur les végétaux possédant un système racinaire important
Faucardage mécanique	• Action directe pour effectuer des zones d'ouverture dans le plan d'eau • Permet le traitement de surfaces plus importantes que les méthodes manuelles	• Problème de recolonisation souvent rapide car il est difficile d'arracher et ramasser tous les fragments de végétaux indésirables • Certaines espèces de végétaux sont difficiles à couper • Impact plus important sur l'écosystème que les techniques manuelles • Engins pas toujours très maniables • Difficile de couper plus profond que 60 cm en dessous de la surface de l'eau • Tarifs élevés (prestation 1000-1500 euros la journée et faucardeur de 15 à 150000 euros) • Protection des roselières avec les conventions étangs

* Des exemples de coûts sont indiqués dans le document suivant :
http://centrederessources-loirenature.com/mediatheque/especes_inva/telechargements/docs_travail/synthese_gestion_plantes_envahissantes.pdf

Le coût d'un faucardage peut-être très élevé, par exemple: 90 000 euros pour 15 km de canal http://www.plaisance-fluviale-bretonne.fr/lutte_contre_jussie.htm. Pour Mr. A. Lhuillier (pisciculteur en Lorraine), le tarif d'un faucardage est de 60 euros HT/h + 1,20 euros HT/km pour le déplacement. Depuis 20 ans, il intervient seulement 1 à 2 fois/an sur des étangs de 5 à 10 Ha. Pour les roseaux (Typha, Phragmite), il fait attention de ne pas les couper pendant les périodes de nidification des oiseaux (juillet, août), surtout sur les étangs conventionnés.

Les **méthodes chimiques (herbicides, algicides)** tuent rapidement les macrophytes, mais entraînent le relargage de tous les nutriments dans l'eau pour un **développement futur de la végétation** et peuvent avoir des effets non-spécifiques et **toxiques à long terme** (Shireman et Smith, 1983 ; Morris et Clayton, 2006). De plus, les effets des herbicides varient en fonction des plantes et leur fréquence d'application dépend de la température et de la chimie de l'eau, rendant leur utilisation plutôt compliquée (Morris et Clayton, 2006). L'utilisation de certains produits chimiques peut conduire à des restrictions dans l'utilisation de l'eau, pêche, baignade ou irrigation et à la mise en place de signaux de danger à l'attention du public (Morris et Clayton, 2006). Enfin comparé au coût très faible des carpes herbivores, estimé à 4-6 euros chaque poisson, l'utilisation des produits chimiques peut être très chère, par exemple le coût du sulfate de cuivre est estimé à 10-20 euros/ha et celui de l'aquathol K à 2500 euros/ha (Morris et Clayton, 2006).

Il faut noter que d'une manière générale, **l'utilisation de méthodes chimiques est fortement déconseillée** par de nombreux auteurs, voir notamment : http://centrederessources-loirenature.com/mediatheque/especes_inva/telechargements/docs_travail/synthese_gestion_plantes_envahissantes.pdf.

Les bénéfices de l'utilisation de la carpe herbivore pour contrôler le développement de la végétation aquatique inclus (Shireman et Smith, 1983 ; Masser, 2002 ; Cudmore et Mandrak, 2004 ; Kırkağaç et Demir 2004 ; Pípalová, 2006):

- la longévité de la méthode,
- l'activité constante de consommation contre la croissance des herbes indésirables,
- des coûts très faibles à long terme,
- la possibilité de transformer des herbes indésirables en protéines de poissons.

De plus, ce poisson ne présente aucune agressivité envers les autres poissons (Dabbadie, 1994). Par ailleurs, très peu d'espèces de poissons sont capables de réaliser une même fonction (Shireman et Smith, 1983 ; Dabbadie, 1994) et **aucune en France**.

L'utilisation de la carpe herbivore permet une diminution ou une élimination sélective de la végétation aquatique, dont **l'efficacité varie en fonction de la densité d'empoissonnement, de l'âge des poissons, de la température, de la durée d'empoissonnement, des caractéristiques du plan d'eau (surface, profondeur) et de la quantité et qualité de la nourriture disponible** (Cudmore et Mandrake, 2004 ; Pípalová, 2006 ; Pípalová et al., 2009). Masser (2002) a proposé des densités d'empoissonnement

(Tableau 13). Il considère qu'il est préférable d'empoisonner les carpes herbivores pendant les périodes les moins chaudes, en évitant notamment d'empoisonner les poissons quand la température de l'eau est > 24°C (Masser, 2002). D'une façon générale, il considère que les gestionnaires n'empoissonnent pas suffisamment de poissons pour contrôler le développement des plantes indésirables (Masser, 2002). Il conseille aussi de ré-empoissonner les étangs tous les 5 à 7 ans ; ou alors de renouveler 20% du nombre original de carpes empoisonnées chaque année (Masser, 2002). **Dans les zones tempérées, les meilleurs résultats sont généralement obtenus dans la première année après l'introduction de 150-250 kg/ha de carpes herbivores âgées de 1 à 2 ans et ayant un poids moyen de 250-400g** (Pípalová, 2006). Enfin, il doit être souligné que même si la carpe herbivore va consommer une plante particulière, elle peut ne pas la contrôler si les poissons sont empoissonnés en nombre insuffisant et que d'autres plantes plus attractives sont présentes (Masser, 2002).

Tableau 13. Densités d'empoissonnement (nombre d'individus) suggérées (par hectare) dans des étangs privés (d'après Masser, 2002). Les carpes doivent absolument être suffisamment grandes pour éviter la prédation d'autres espèces. Ainsi, s'il y a des espèces piscivores dans l'étang, les carpes devraient être longues d'au moins 20 cm.

	Pourcentage de l'étang infesté par de la végétation nocive			
	0-10	10-30	30-50	> 50
Densité l'empoissonnement[1]	10	20-24	24-30	40 ou +

[1]*Si la végétation qui doit être contrôlée est peu appréciée par les carpes herbivores, la densité d'empoissonnement doit être augmentée par 40 à 50%.*

De plus, la sélection des plantes varie avec la taille des poissons, les poissons les plus grands vont consommer des plantes avec des tissus plus dures ou des plantes trop larges pour être consommées par les individus plus petits (Kırkağaç et Demir 2004). Pour le contrôle de plantes enracinées, comme les *Phragmites*, l'utilisation de grosses carpes doit être prise en considération (Kırkağaç et Demir 2004). D'autres études réalisées aux Etats-Unis conseillent d'empoisonner uniquement des carpes herbivores triploïdes (car stériles) et seulement lorsque la végétation à éliminer représente plus de 10 à 20% du plan d'eau (Galveston Bay Foundation, 2002). Enfin, certains auteurs ont suggéré d'abord d'arracher mécaniquement les plantes indésirables, puis d'introduire un peu de carpes herbivores pour contrôler la repousse (Shireman et Smith, 1983).

D'une manière générale, il apparait donc que la probabilité de prédictions très précises de changements suite à l'introduction de carpes herbivores est souvent très faible (Quesada, 2004 ; Pípalová, 2006 ; Dibble et Kovalenko, 2009). A titre d'illustration, des résultats de quelques études sont présentés au Tableau 14, voir aussi le ***chapitre D.1.***

Tableau 14. Exemple de travaux étudiants l'effet sur les plantes de différentes densités d'empoissonnement et principaux impacts directs et indirects décrits sur le reste de l'écosystème.

Densité testées	Caractéristiques des poissons	Diminution des plantes consommées	Augmentation de certaines plantes	Plantes non modifiées	Autres impacts	Références
29 kg / ha	2 ans 230 g	*Cladophora globulina* *Eleocharis acicularis* *Potamogeton pusillus* *Potamogeton pectinatus*	*Myriophyllum spicatum* *Ceratophyllum demersum* Lemnaceae	*Ranunculus Trichophyllus* *Sparganium emersum* *Elatine hydropiper*		Pípalová, 2002
200 poissons /ha	25,8 ± 1,8 cm 205,0 ± 20,1 g	*Cladophora* sp. éliminée *Zygnema* sp. éliminée *Chara* sp. éliminée Biomasse totale diminuée par 2,5	*Phragmites australis*		*Pour les 3 densités testées* : Augmentation du phytoplancton par 8 Augmentation du zooplancton Augmentation de la faune benthique par 2 ou 3	Kırkağaç et Demir 2004
400 poissons / ha	23,0 ± 0,5 cm 169,3 ± 13,6 g	*Cladophora* sp. éliminée *Zygnema* sp. éliminée *Chara* sp. éliminée Biomasse totale diminuée par 2,5	*Phragmites australis*			
600 poissons / ha	26,6 ± 1,5 cm 243,6 ± 25,0 g	*Cladophora* *Zygnema* *Chara* sp. éliminée Biomasse totale diminuée par 4	*Phragmites australis*			
29 kg / ha	2 ans 230 g	*Cladophora globulina* *Eleocharis acicularis* *Potamogeton pusillus*	*Spirogyra* sp *Myriophyllum spicatum* *Ceratophyllum demersum* Lemnaceae		Diminution du pH (de 8,43 à 7,57) Diminution des nitrates (de 0,99 à 0,56 mg/l)	Pípalová et al., 2009

De plus, **environ la moitié des nutriments ingérés** contenus dans les plantes aquatiques sont utilisés et digérés par les carpes, l'autre moitié **passe à travers le tube digestif partiellement digéré, partiellement fragmenté** (Pípalová, 2006 ; Pípalová et al., 2009 ; Ashraf et al., 2011). L'énergie assimilée représente environ 13% de l'énergie ingérée, ce qui est relativement faible pour un poisson et traduit la valeur fertilisante des déjections, que d'autres poissons sont en mesure de consommer (Dabbadie, 1994). Environ 50% du phosphore et de l'azote ingérés sont relâchés dans les nutriments (Pípalová et al., 2009). Ces **fèces très riches** en nutriments peuvent soit rester dans la masse d'eau ou s'accumuler dans les sédiments (Pípalová et al., 2009). Cette augmentation de l'abondance de nutriments peut aussi permettre une augmentation du phytoplancton et par conséquent de l'ensemble de la chaine alimentaire : zooplancton et zoobenthos favorables aux espèces planctonivores (Pípalová, 2006, Pípalová et al., 2009). L'introduction de carpes herbivores peut aussi favoriser indirectement l'augmentation de la croissance et de la survie de certaines espèces de poissons due à l'augmentation d'espèces planctonophages ou se nourrissant des fèces (Pípalová, 2006). En polyculture, on observe une augmentation de la production des poissons se nourrissant des fèces (Cudmore and Mandrak, 2004). L'introduction de carpes herbivores en étang (polyculture) peut ainsi avoir un effet bénéfique sur des populations de cyprinidés et de centrarchidés (Shireman et Smith, 1983). En outre, la diminution des macrophytes permet aussi une augmentation importante du phytoplancton car il y a moins de compétition pour la lumière et les nutriments (Kırkağaç et Demir 2004).

En conclusion, dans de très nombreuses situations, la carpe herbivore offre une alternative très attractive pour contrôler le développement trop important de plantes aquatiques en comparaison de l'arrachage mécanique, de l'utilisation de produits chimiques, de la manipulation du niveau de l'eau et d'autres agents biologiques (Shireman et Smith, 1983). Il est cependant crucial de bien évaluer la densité ou biomasse empoisonnées dans un nouvel environnement en se basant notamment sur la densité et la nature des plantes nuisibles à diminuer ou à éliminer et sur la température de l'eau (Codhant et Dutartre, 1992 ; Masser, 2002).

c. Autres

Ce poisson fait l'objet de captures par les pêcheurs amateurs. Aux Etats-Unis, les captures varient de 4 à 32 kg (Cudmore et Mandrak, 2004). C'est un poisson assez insaisissable, très bon sauteur et par conséquent un très bon combattant (Galveston Bay Foundation, 2002 ; Quesada, 2004).

Par ailleurs, ce poisson a dépassé plusieurs poissons populaires en pêche de loisir, comme le poisson-chat ou la truite lors de tests de goût conduit à Warm Springs, GA dans l'université d'Auburn (Galveston Bay Foundation, 2002).

Il peut aussi être utilisé comme poissons d'ornements dans les bassins privés. On peut aussi noter qu'on le trouve aussi parfois dans des aquariums publics en France, comme à l'aquarium de Lyon.

2. *Hypophthalmichthys molitrix* (carpe argentée)

a. Consommation de la chair

Tout comme la carpe herbivore, la carpe argentée a une importance considérable pour l'alimentation humaine, notamment en Chine, en Inde et au Bengladesh (*cf.* ***paragraphe B.2.d***). Elle est le plus souvent élevée et consommée localement vivante ou fraîche dans la plupart des pays producteurs (Kolar et al., 2005 ; FAO 2009-2011b). En Serbie, c'est avec la carpe à grosse tête, une des espèces les plus communément consommées (Lenhardt et al., 2011).

La carpe argentée a une forte concentration en protéines (16%) et une faible concentration en lipides (2-3%) Ashraf et al. (2011). Cependant, sa chair a peu de goût et contient de nombreuses petites arêtes réduisant l'intérêt de cette espèce pour de nombreux consommateurs (Kolar et al., 2005).

Cette espèce présente un certain nombre d'avantages pour l'élevage, elle est herbivore, elle peut être élevée en polyculture, les juvéniles sont facilement disponibles grâce à la reproduction artificielle (ou prélevés en milieu naturel dans certains pays). La gestion de la production est plus simple et la période d'élevage plus courte que chez les autres espèces de carpes (FAO 2009-2011b). Par contre, elle présente un danger pour le personnel à cause de leur comportement de sauts lorsque les étangs sont pêchés (Kolar et al., 2005).

b. Impacts positifs pour le plan d'eau

La carpe argentée est aussi utilisée pour sa capacité à nettoyer les réservoirs et autres plans d'eaux des algues nuisibles (FAO 2009-2011b). En plus de contrôler la biomasse phytoplanctonique, elle peut permettre de modifier les réseaux trophiques (effet bottom-up) et améliorer la qualité de l'eau (Bruslé et Quignard, 2001). De plus, les fèces de la carpe argentée (qui peuvent égaler le poids de l'animal en 10 jours) peuvent enrichir le fond du plan d'eau avec des matières organiques bénéfiques à divers organismes benthiques (Kolar et al., 2005). La présence de carpes argentées peut aussi avoir un effet bénéfique en polyculture sur la croissance de la carpe commune ou de tilapias car ces poissons benthiques entraînent la remise en suspension de matières organiques (Kolar et al., 2005). Enfin, les carpes argentées peuvent consommer les algues bleues-vertes toxiques (comme *Microcystis*) qui produisent des toxines pouvant affecter les animaux et les humains ; ces algues étant aussi responsables du mauvais goût des poissons ; même si les résultats sont contradictoires entre les études concernant ce point précis (Kolar et al., 2005).

En se basant sur une analyse de 15 études, Domaizon et Devaux (1999) ont mis en évidence que l'amélioration de la qualité de l'eau est liée à l'introduction d'une **biomasse modérée** de carpe argentée, soit < 1200 individus ha^{-1} ; ou < 70 g m^{-3} ; ou < 900 kg ha^{-1}. Domaizon et Devaux (1999) ont schématisé divers résultats obtenus suite à l'introduction d'une quantité croissante de carpes argentées, soit de 0 à 700 $kg.ha^{-1}$ (Figure 21). Il apparaît que l'activité de broutage engendre notamment une modification des populations de zooplancton et de la structure en taille du phytoplancton. En présence de biomasse > 350 kg ha^{-1}, le zooplancton évolue vers une dominance de copépodes et de rotifères avec une élimination des cladocères. Quant au phytoplancton, il évolue vers une **dominance des**

espèces de petite taille (< 20 µm). Le développement de ces espèces de petite taille conduit à une diminution de la transparence de l'eau. De plus, il a été montré que la carpe argentée peut réduire la biomasse du zooplancton soit en en consommant une partie ou alors à cause de la compétition pour le phytoplancton (Kolar et al., 2005). Par ailleurs, il a été montré qu'une action combinée de la carpe argentée et à de la carpe à grosse tête peut conduire à l'augmentation de la concentration de nanoplancton, à une diminution des populations de zooplancton et par conséquent à une augmentation de la turbidité de l'eau (Kolar et al., 2005).

La carpe argentée peut donc influencer l'abondance et la structure de la communauté phytoplanctonique, mais les résultats sont parfois contradictoires (Kolar et al., 2005). Au Canada, la carpe argentée avait été recommandée pour les programmes de contrôle du phytoplancton dans les réservoirs et les installations de traitement de l'eau, mais elle ne se serait pas révélée efficace et on aurait cessé de l'utiliser dans de nombreuses régions (MPO, 2005).

En conclusion, l'utilisation de la carpe argentée pour **contrôler la biomasse phytoplanctonique est intéressante mais complexe**, pour chaque écosystème il est nécessaire de connaître la structure en taille des communautés planctoniques et de définir les niveaux de biomasse ou de densité à introduire (Domaizon et Devaux, 1999 ; Kolar et al. 2005).

c. Autres

Bien que la carpe argentée soit considérée comme planctonophage, il est possible de la capturer avec un hameçon et une ligne (Kolar et al., 2005).

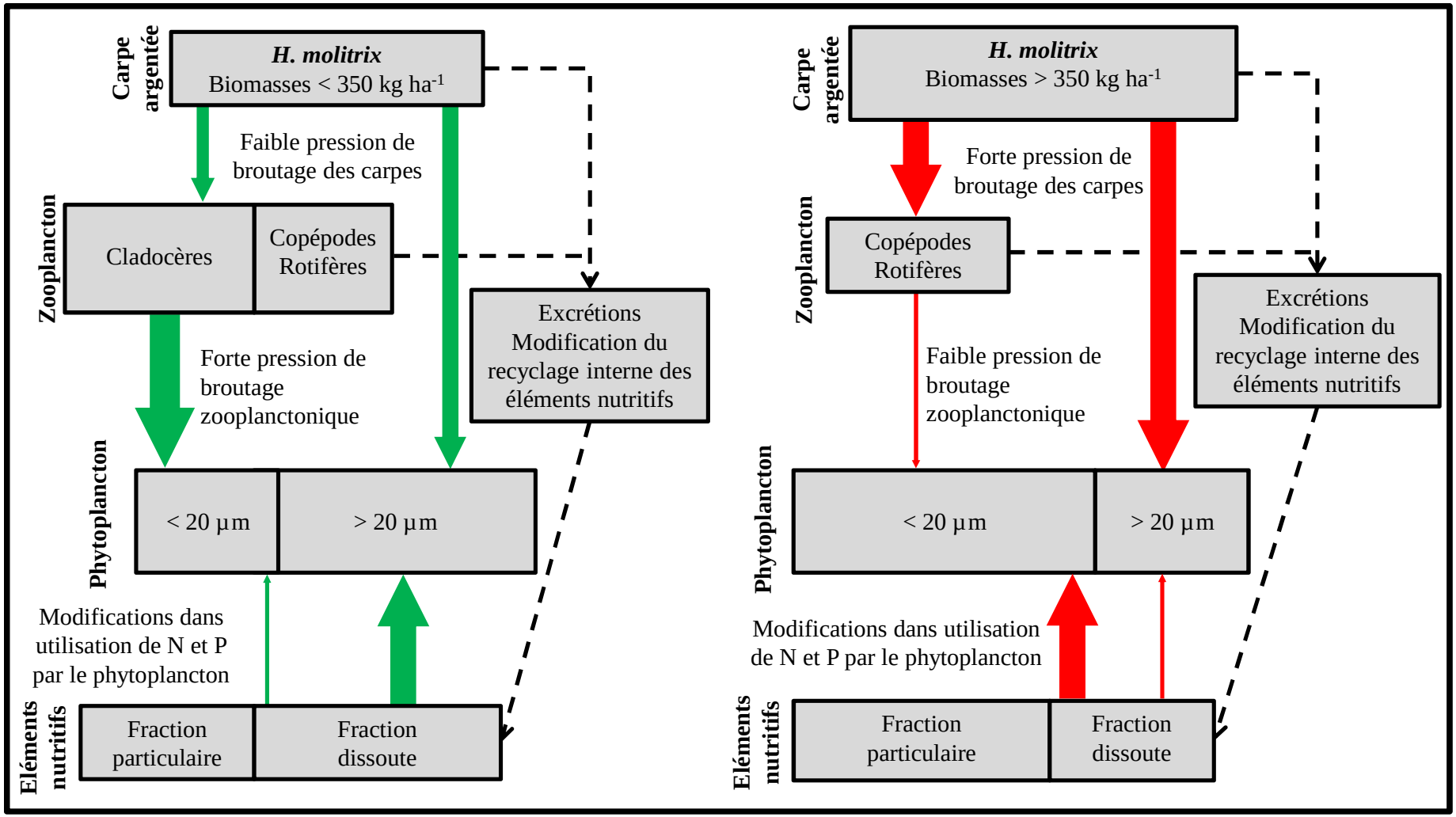


Figure 21. Impacts de biomasses faibles (350 kg ha^{-1}, soit < 12 $g.m^{-3}$) ou moyennes à fortes (350 kg ha^{-1}, soit >12 g m^{-3}) de carpes argentées sur la structure des communautés planctoniques d'une retenue eutrophe tempérée (d'après Domaizon et Devaux, 1999). La largeur des flèches est proportionnelle à l'importance des interactions.

3. *Aristichthys nobilis* (carpe à grosse tête)

a. Consommation de la chair

Tout comme les deux autres espèces, la carpe à grosse tête a une importance considérable pour l'alimentation humaine, notamment en Chine, en Birmanie et au Laos (*cf.* ***paragraphe B.3.d***). Au Canada, cette espèce n'est présente que dans les marchés du poisson de consommation vivant, où elle est disponible depuis 1981 (MPO, 2005). En Serbie, c'est avec la carpe argentée, une des espèces les plus communément consommées, pouvant représenter de 10 à 40% des captures totales de poissons dans le Danube et le fleuve Tisza (Lenhardt et al., 2011). Par contre, en France, l'élevage de la carpe à grosse tête, en raison d'une valeur marchande nulle à l'état frais, reste limité (Barbier, 2001b).

Le principal facteur limitant dans la culture de la carpe à grosse tête est le marché. Les individus de petite taille n'ont pas une très bonne qualité de viande et ont des os fins intermusculaires (FAO, 2008-2011), mais les coûts de production sont faibles (Jennings, 1988). De plus, en conditions d'élevage, la carpe à grosse tête accepte, en plus de la nourriture naturelle, l'aliment artificiel, tel que les produits provenant de la transformation de graines et les détritus organiques (FAO, 2008-2011).

b. Impacts positifs pour le plan d'eau

Cette espèce est utilisée pour limiter les populations de zooplancton et parfois de phytoplancton dans les installations aquacoles (Jennings, 1998 ; Schrank, 1999 ; Kolar et al., 2005 ; MPO, 2005). La carpe à grosse tête influence la composition et la structure de taille des communautés de plancton en réduisant les concentrations de zooplancton et les gros phytoplanctonophages (Kolar et al. 2005). Elle est notamment utilisée pour régler le problème de l'accélération de l'eutrophisation, mais des résultats variables ont été obtenus (Kolar et al., 2005 ; Lendhart et al., 2011). Elle semble avoir un effet positif sur la faune piscicole indigène et sur l'écosystème en général (Lendhart et al., 2011). Ainsi, sa culture n'aurait pas de grands impacts négatifs sur l'environnement (FAO, 2008-2011).

La polyculture avec d'autres espèces peut significativement améliorer le bénéfice écologique de la culture de cette espèce (FAO, 2008-2011), notamment avec la carpe argentée (Kolar et al., 2005). L'association des deux espèces permet d'améliorer la qualité de l'eau en éliminant continuellement le plancton, stabilisant ainsi le plancton et diminuant la probabilité de die-offs (mort soudaine de plancton) dans la culture de poisson (Kolar et al., 2005). Aux Etats-Unis, elle est élevée dans les étangs avec le poisson-chat, parfois en association avec les carpes herbivores qui contrôlent le développement des macrophytes (Kolar et al., 2005). Elle peut aussi être utilisée en eau libre pour augmenter la biomasse totale de poisson au détriment du plancton comme source de nourriture (Lendhart et al., 2011).

c. Autres

Bien que la carpe à grosse tête soit considérée comme un filtreur, elle peut être pêchée avec un hameçon et une ligne en utilisant soit des appâts pâteux et odorants, des morceaux de chair de poisson ou du pain, des patates, des mollusques… (Kolar et el., 2005).

4. Comparaison de l'intérêt des trois carpes chinoises.

En France, les carpes chinoises ont été, jusqu'à présent, introduites pour lutter contre la prolifération de la végétation aquatique due à l'eutrophisation de divers plans d'eau (Keith et Allardi, 1997). Une synthèse des intérêts de ces trois espèces est réalisée au Tableau 15.

Il est intéressant de noter que dans de nombreux endroits dans le monde, les trois espèces sont élevées ensemble en polyculture d'étangs (soit 2 ou 3 espèces de carpes chinoises) en association avec d'autres espèces comme la carpe commune, divers tilapias, le black-bass ou le poisson-chat. En effet, les trois carpes chinoises ont une activité alimentaire complémentaire : la carpe herbivore permet de contrôler les macrophytes, la carpe argentée et la carpe à grosse tête permettent de contrôler les blooms phytoplanctoniques pouvant résulter de la diminution des macrophytes (Jennings, 1988 ; Kestemont et al., 1995 ; Kolar et al., 2005).

De plus, une étude réalisée au Maroc associant la carpe argentée et la carpe herbivore a montré qu'il était possible d'améliorer significativement la qualité des eaux usées domestiques tout en produisant des farines animales (Berday et al., 2004).

Tableau 15. Synthèse des principaux intérêts avérés liés à l'introduction des trois carpes chinoises. Pour une analyse plus complète des intérêts liés à l'introduction de la carpe herbivore, voir Dibble et Kovalenko (2009). ***Il est entendu que « intérêt » est apprécié en fonction des besoins et/ou attente de l'Homme.***

Principaux intérêts	Carpe herbivore	Carpe argentée	Carpe à grosse tête	Références
INTERETS DIRECTS				
Production de poisson	X	X	X	1
	X			2, 3, 4, 5
		X		6, 7, 8, 9
			X	9, 10, 11, 12
Diminution ou élimination de groupes écologiques				
Macrophytes et algues	X			2, 4, 13, 14, 15, 16 17
Phytoplancton		X		1, 7
			X	6, 10, 11, 18
Zooplancton		X		6, 19
			X	6, 10, 11, 18
Action globale sur le plan d'eau				
Amélioration de la qualité d'eau		X		1
			X	6
Diminution d'algues toxiques		X		6
Modification du phytoplancton		X		1, 19
Modification du zooplancton		X		19
Diminution de l'eutrophisation			X	6, 9
Principales conséquences positives sur les usages du plan d'eau				
Production aquacole	X			2, 14, 20
Pêche de loisir	X			2, 14, 20
Baignade	X			2, 14, 20
Remplacement possible d'autres méthodes				
Faucardage	X			4, 13, 14,15, 21
Produits chimiques	X			13, 20
INTERÊTS INDIRECTS				
Intérêt pour la production				
Fertilisation des étangs (fèces)	X			2, 4, 8, 16
		X		6
Augmentation du phytoplancton	X			4, 16, 21
Augmentation du zooplancton	X			4, 16
Production de poisson	X			2, 4, 15, 16
		X		6
Pêche de loisir des carpes chinoises	X			3, 15
		X		6
			X	6

Références citées : 1 : Bruslé et Quignard (2001) ; 2 : Dabbadie (1994) ; 3 : Galveston Bay Foundation (2002) ; 4 : Pípalová (2006) ; 5 : FAO (2009-2011a) ; 6 : Kolar et al. (2005) ; 7 : FAO (2009-2011b) ; 8 : Ashraf et al. (2011) ; 9 : Lenhardt et al. (2011) ; 10 : Jennings (1998); 11 : MPO (2005); 12 : FAO (2008-2011) ; 13 : Shireman et Smith (1983) ; 14 : Masser (2002) ; 15 : Cudmore and Mandrak (2004); 16 : Pípalová et al. (2009); 17 : Dibble et Kovalenko (2009) ; 18 : Schrank (1999) ; 19 : Domaizon et Devaux (1999) ; 20 : ; Morris et Clayton (2006) ; 21 : Kırkağaç et Demir (2004)

D. Risques liés à l'introduction des carpes chinoises

1. *Ctenopharyngodon idella* (carpe herbivore, amour blanc)

Les impacts négatifs liés à l'introduction de carpes herbivores sur le milieu sont **complexes** et dépendent principalement de la **densité** de carpes introduites, de l'**abondance des macrophytes** et de la **structure de la communauté** de l'écosystème (Shireman et Smith, 1983 ; Kırkağaç et Demir, 2004). Etant donné que de nombreux facteurs sont impliqués, les résultats publiés dans la littérature sont souvent contradictoires (Shireman et Smith 1983 ; Pípalová, 2006 ; Dibble et Kovalenko, 2009). Une synthèse avait été réalisée par Shireman et Smith (1983) reproduite à la Figure 22.

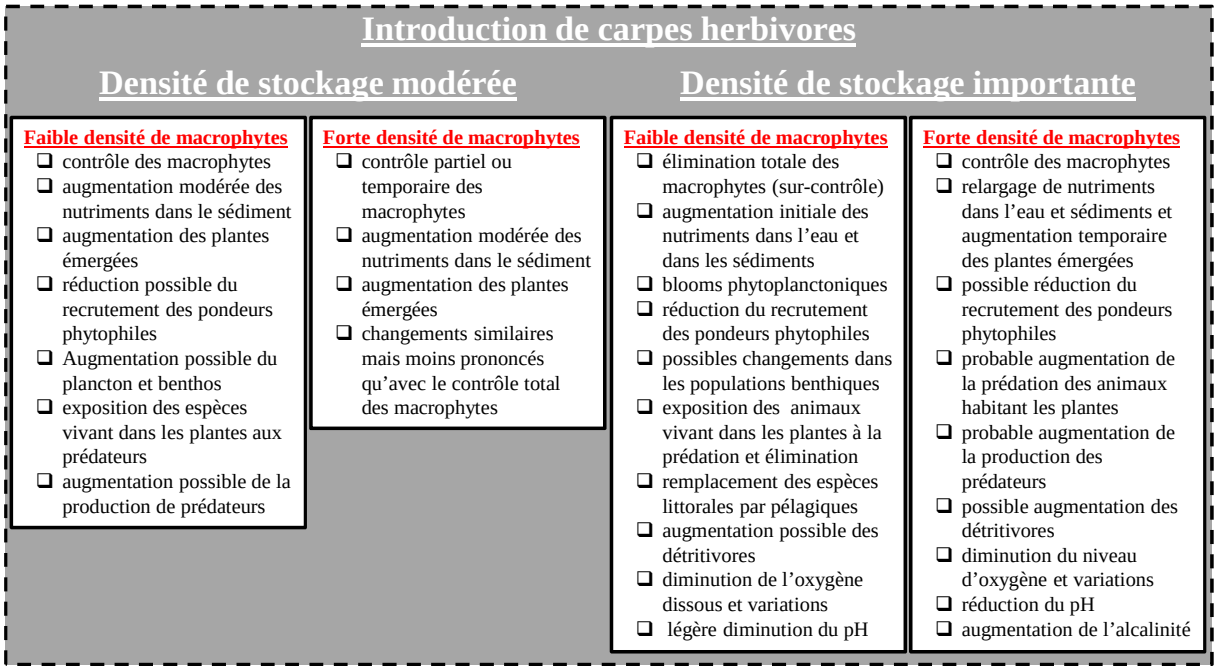


Figure 22. Effets **potentiels** d'introduction de carpes dans un plan d'eau (d'après Shireman et Smith, 1983).

Les principaux effets **potentiels** d'une introduction de carpes herbivores sont résumés dans le tableau 16. Ainsi, l'introduction de carpes herbivores dans un système aquatique peu impacter **directement** les macrophytes aquatiques, certains macroinvertébrés, les poissons et **indirectement** la qualité de l'eau et divers êtres vivants, incluant le plancton, les macroinvertébrés benthiques, les poissons et certains vertébrés (Shireman et Smith, 1983 ; Bruslé et Quignard, 2001 ; Cudmore et Mandrak 2004 ; Quesada, 2004 ; Kırkağaç et Demir 2004 ; Pípalová, 2006 ; Dibble et Kovalenko, 2009).

Les macrophytes servent de refuges et de supports de pontes pour de très nombreuses espèces (Bruslé et Quignard, 2001 ; Le Louarn, 2001 ; Pípalová, 2006 ; Dibble et Kovalenko, 2009). Ainsi, il a été montré qu'une très forte diminution de ceux-ci peut impacter la reproduction du brochet (*Esox lucius*) ou de la perche (*Perca fluvatilis*) (Shireman et Smith, 1983). L'explication la plus probable, est que les carpes herbivores consomment toute la végétation utilisée par certaines espèces de poissons pour déposer leurs œufs (Pípalová,

2006). De plus, les macrophytes immergées sont importantes pour la qualité de l'eau, la dynamique des nutriments et les interactions entre invertébrés et poissons (Dibble et Kovalenko, 2009). Les végétaux aquatiques fournissent aussi d'importantes réserves de nourriture pour certains mammifères, oiseaux d'eau, amphibiens, reptiles et divers invertébrés (Dibble et Kovalenko, 2009).

Etant donné que **l'assimilation des plantes par les carpes herbivores est faible** et qu'une forte proportion des nutriments originellement inclus dans les plantes aquatiques sont relâchés dans le milieu par les **fèces**, cela peut entraîner une augmentation non désirée de la production de biomasse de phytoplancton et des changements des paramètres physico-chimiques de l'eau (Shireman et Smith, 1983 ; Pípalová, 2002).

Enfin, il a été mentionné que l'introduction de la carpe herbivore en République Tchèque s'est accompagnée de l'introduction du ténia *Bothriocephalus gowkonensis* (Lusk et al., 2010). Ce parasite a infecté la carpe commune et causé, dans les années 1970-1980, des pertes considérables dans les étangs de pisciculture (Lusk et al., 2010).

Dibble et Kovalenko (2009) ont récemment publié **la plus large analyse bibliographique jamais réalisée (166 références analysées)** sur les impacts écologiques directs et indirects liés à l'introduction de la carpe chinoise. Les principales conclusions sont :

- les impacts directs sur l'hétérogénéité du milieu (lié à la diminution ou l'élimination des plantes) n'ont jamais été correctement étudiés,
- dans les zones où **l'espèce se reproduit**, les larves peuvent entrer en compétition avec les autres larves des poissons indigènes,
- modification (augmentation ou diminution) des invertébrés benthiques,
- modifications des abondances d'espèces de poissons en fonction de leurs dépendances aux plantes aquatiques,
- compétition pour la nourriture avec certains oiseaux d'eau,
- divers changements physico-chimiques dans la qualité de l'eau, notamment une augmentation de la concentration en nitrates, nitrites et phosphates.

Cependant, ces auteurs concluent que les connaissances actuelles ne permettent pas de prédire de façon précise les effets à long-terme de l'introduction de carpes herbivores sur les écosystèmes (Dibble et Kovalenko, 2009).

En ce qui concerne plus précisément la qualité physico-chimique de l'eau, les changements les plus souvent observés lorsque la **densité est forte**, autour de 70 kg/ha (Shireman et Smith, 1983) inclus :

- une augmentation des nitrates et nitrites due au surplus de fèces,
- une diminution de l'oxygène dissous et une augmentation du CO_2 principalement dû à la diminution de végétation (incluant les algues filamenteuses),
- une augmentation de la turbidité due à des matières en suspension.

Cependant, les effets de l'introduction de la carpe herbivore sur la qualité physico-chimique de l'eau sont **contradictoires** (Cudmore et Mandrak, 2004). D'une manière générale, la turbidité, l'alcalinité, la chlorophylle a, les concentrations en azote et phosphore peuvent augmenter après la disparition de la végétation dues aux carpes herbivores, alors que l'oxygène dissous peut augmenter (Cudmore et Mandrak, 2004).

La densité d'empoissonnement recommandée pour des individus de 2 ans pour le contrôle de la végétation aquatique est entre 150 et 250 kg par ha dans les zones tempérées (Pípalová, 2002 ; Pípalová et al., 2009). Cependant, même avec une densité plus faible d'empoissonnement (29 kg/ha), une diminution globale de la biomasse en macrophytes (algues et plantes aquatiques supérieures) a été observé, ainsi qu'une modification de la composition de celles-ci, notamment une diminution des algues filamenteuses *Cladophora globina*, au profit d'une augmentation de plantes aquatiques supérieures moins prisées par les carpes, comme *Myriophyllum spicatum* L. et *Ceratophyllym demersum* L. (Pípalová, 2002 ; voir aussi Tableau 14). P**armi une dizaine de paramètres mesurés**, dont : la demande biologique en oxygène à 5 jours (DBO_5), la concentration en ammonium, nitrite et phosphate, avec cette même densité d'empoissonnement (29 kg/ha), **seul deux paramètres** (pH et concentration en nitrates) **ont varié suite à l'introduction de carpes herbivores** (Pípalová et al., 2009).

En conclusion il existe de **très nombreux travaux** sur l'impact de l'introduction de carpe herbivore, mais les résultats sont **contradictoires** (Cudmore et Mandrak, 2004 ; Pípalová, 2006 ; Dibble et Kovalenko, 2009). **Les effets dépendent principalement de la densité d'empoissonnement, de l'âge des poissons, de la température, de la durée d'empoissonnement, des caractéristiques du plan d'eau (surface, profondeur) et de la quantité et qualité de la nourriture disponible** (Cudmore et Mandrake, 2004 ; Pípalová, 2006 ; Pípalová et al., 2009). La majorité des études suggèrent que des densités d'empoissonnement inférieures ou égales à 30 kg/ha entraînent seulement des **changements négligeables** dans la chimie de l'eau et dans les communautés phytoplanctoniques avec une réduction visible des plantes aquatiques préférées, surtout lorsqu'elles sont utilisées pour une seule saison et singulièrement dans des petits étangs (Pípalová, 2006). Des densités d'empoissonnement plus importantes de carpes herbivores ou des utilisations plus longues peuvent augmenter la concentration de nutriments (particulièrement l'azote et le phosphore) dans l'eau, mais ces augmentations dépendent principalement des caractéristiques de la masse d'eau (Pípalová, 2006).

2. *Hypophthalmichthys molitrix* (carpe argentée)

L'utilisation de la carpe argentée comme **outil de bio-manipulation** pour réduire la biomasse phytoplanctonique dans divers plans d'eau reste **controversée** (Radke et Kahl, 2002). Quatre principaux facteurs semblent expliquer les différences observées dans la littérature : (i) la densité d'empoissonnement des carpes argentées, (ii) la communauté initiale de zooplancton, (iii) la communauté initiale de phytoplancton et (iv) la température de l'eau (Radke et Kahl, 2002). Toutes les expériences concluantes avaient en commun qu'elles ont été réalisées dans des conditions eutrophiques ou hypertrophiques où la nuisance des blooms d'algues devaient être éliminée et que de larges colonies d'algues (principalement cyanobactéries) étaient dominantes dans le phytoplancton (Radke et Kahl, 2002). Cependant, les grands cladocères herbivores, comme les *Daphnia* spp., sont communément utilisés plutôt que les poissons phytoplanctonophages pour diminuer la biomasse en phytoplancton dans les lacs eutrophiques, car les *Daphnia* ont un taux global de filtration élevé (Radke et Kahl, 2002). Ainsi, d'après leurs expériences, Radke et Kahl (2002) concluent que les carpes argentées devraient être utilisées uniquement dans les **lacs tropicaux** qui sont très productifs et naturellement dépourvu de larges cladocères dans le zooplancton.

Kolar et al. (2005) ont réalisé une synthèse des principaux impacts liés à l'introduction de carpes argentées. Leurs principales conclusions sont décrites ci-dessous et sont résumées dans le tableau 16 incluant les travaux d'autres auteurs.

L'introduction de cette espèce peut parfois conduire à une modification (augmentation ou diminution) de la concentration en nutriments, une diminution de l'oxygène dissous, une augmentation de l'azote dans les sédiments dû aux fèces qui altèrent la communauté des invertébrés de grande taille et une augmentation de la turbidité dû au développement important du phytoplancton de petite taille (Kolar et al., 2005). De plus, une modification importante du phytoplancton est observée au profit des espèces de plus petites tailles (voir figure 21).

Il peut y avoir une compétition alimentaire directe entre les carpes argentées introduites et les espèces natives qui dépendent du plancton aux jeunes stades ou au stade adulte (Radke and Kahl, 2002 ; FAO 2009-2011b). Par exemple, des réductions importantes de poissons phytoplanctonophages ont été observées suite à l'introduction de carpes argentées, comme le Catla (*Catla catla*) et le Rohu (*Labeo rohita*) en Inde, ou comme le barbeau de la mer d'Aral (*Luciobarbus brachycephalus*), des tilapias (*Oreochromis* spp) en Israël (Kolar et al., 2005), ou d'ablette (*Alburnus alburnus*), d'ables de Heckel (*Leucaspius delineatus*) et de sandres (*Sander lucioperca*) (qui est un poisson piscivore) en Allemagne (Costa-Pierce, 1992).

Enfin, les carpes argentées, qui peuvent atteindre jusqu'à 1 m et environ 27 kg, peuvent représenter **un danger dans les eaux publiques**. Il a été rapporté que des bateaux, des plaisanciers et des biologistes de pêche ont été heurtés par la carpe argentée dans la partie basse de l'amont de la rivière du Mississippi (FAO 2009-2011b).

3. *Aristichthys nobilis* (carpe à grosse tête)

L'utilisation de la carpe à grosse tête peut conduire à une augmentation de la turbidité due à la réduction de zooplancton qui provoque soit une augmentation des populations de nanoplancton (Bernstein et Olson, 2001) soit une augmentation de la production de phytoplancton (Radke et Kahl, 2002). De plus, l'introduction de la carpe à grosse tête aux Etats-Unis semble avoir un impact négatif sur les espèces planctonophages natives du fleuve Missouri et Illinois, comme le poisson-taureau (*Ictiobus cyprinellus*), le spatule d'Amérique (*Polyodon spathula*) (Schrank, 1999 ; Schrank et Guy, 2002) ou l'alose noyer *Dorosoma cepedianum* (Irons et al., 2007). Cependant, il faut préciser que les populations de spatule d'Amérique avaient déjà commencé à décliner depuis 1900 dû à la surexploitation, la détérioration ou la destruction des habitats (Schrank, 1999).

Un copépode parasite *Sinergasilus polycopus* a été identifié sur les branchies de la carpe à grosse tête dans la partie Serbe du Danube (Lenhardt et al., 2011).

D'une manière générale, les impacts de l'introduction de carpes à grosse tête **sont peu connus ou peu étudiés** (Kolar et al., 2005).

4. Comparaison des risques potentiels liés aux trois carpes chinoises.

Globalement, il n'est pas évident d'évaluer précisément l'impact de l'introduction d'une ou de ces trois espèce dans un nouvel environnement. En effet, de très nombreux facteurs peuvent influencer ces impacts, comme la communauté de poissons natifs présents, structure et le fonctionnement de l'écosystème. **Cependant, il est évident que la densité de poissons introduits dans un nouveau milieu conditionne fortement les impacts**. Une liste des divers impacts potentiels est réalisée au tableau 16.

Il est intéressant de noter que les risques de conséquences génétiques sur les espèces indigènes posés par ces trois espèces de carpes sont peu élevés, car elles ne sont pas reconnues pour leur capacité d'hybridation avec les espèces natives (Kolar et al., 2005 ; MPO, 2005).

Tableau 16. Synthèse des principaux risques **potentiels** liés à l'introduction des trois carpes.

Principaux risques potentiels	Carpe herbivore	Carpe argentée	Carpe à grosse tête	Références
RISQUES DIRECTS				
Réduction ou élimination de groupes spécifiques (voir tableau 15)				
Compétitions interspécifiques pour la nourriture				
Poissons herbivores[1]	X			1
Poissons benthophages[2]	X			1, 2
Ecrevisses (*Procambarus clarkii*)	X			1, 3
Poissons planctonophages			X	4, 5, 6
		X		7, 8, 9
Larves et juvéniles de poissons		X		9, 10
Oiseaux d'eau	X			2, 11
Larves	X			11
RISQUES INDIRECTS				
Pertes d'habitats				
Zones de ponte pour poissons	X			1, 2, 12, 13
Zones de nurserie	X			14
Zones de refuge pour proies	X			1, 3, 11
Zones d'alimentation	X			14
Zones d'abri pour piscivores	X			2
Zones de vie de certains amphibiens	X			2
Perturbations du réseau trophique et des communautés				
Augmentation des nutriments	X			1
		X		9
Perturbation de la chaîne trophique	X			11, 12
Augmentation du phytoplancton	X			1, 2, 3
			X	15
Modification du plancton		X		9
Modification du zooplancton	X			2, 3
Modification du benthos	X			1, 11
Modification de divers invertébrés	X			3
Modification de certains poissons	X			11
Modifications de la qualité physico-chimique de l'eau				
Accroissement de la turbidité	X			1, 3, 12
		X		9
			X	16
Diminution de l'oxygène	X			1, 3, 17
		X		9
Augmentation des nitrates	X			1, 11
Augmentation des nitrites	X			1, 11
Augmentation des phosphates	X			3, 11
Introductions de parasites et de maladies				
Bothriocephalus gowkonensis	X			18
Sinergasilus polycolpus			X	19
Autres conséquences				
Augmentation de certaines plantes	X			1, 20, 21
Danger pour les plaisanciers		X		22

[1]Dans la majorité des cas, on peut considérer que cette carpe, principalement herbivore, n'entre pas en compétition alimentaire directe avec les autres espèces (Dabbadie, 1994).

[2]Seulement si plus de plantes disponibles

Références citées 1 : Shireman et Smith (1983) ; 2 : Pípalová (2006) ; 3 : Cudmore et Mandrak (2004) ; 4 : Schrank (1999) , 5 : Schrank et Guy (2002) ; 6 : Irons et al. (2007) ; 7 : Costa-Pierce (1992) ; 8 : Goren et Galil (2005) ; 9 : Kolar et al. (2005) ; 10 : FAO (2009-2011b) ; 11 : Dibble et Kovalenko (2009) ; 12 : Bruslé et Quignard (2001); 13 : Cudmore et Mandrak (2004) ; 14 : Galveston Bay Foundation (2002) ; 15 : Radke et Kahl (2002) ; 16 : Bernstein et Olson (2001) ; 17 : Pípalová (2006) ; 18 : Lusk et al. (2010) ; 19 : Lenhardt et al. (2011) : 20 : Pípalová (2002) ; 21 : Pípalová et al. (2009) ; 22 : FAO (2009-2011b)

E. Conclusions

Il est indispensable de rappeler qu'au niveau mondial l'introduction d'espèces exogènes constituent l'une des plus **grandes menaces** qui pèsent sur la biodiversité (Lodge, 1993 ; Hall et Mills, 2000 ; Olden, 2006 ; Olden et al., 2007 ; Strayer, 2010). **Ainsi, introduire une nouvelle espèce dans un milieu n'est pas neutre (**même si les conséquences sont difficiles à mettre en évidence) et ceci d'autant plus qu'il est le plus souvent difficile voire impossible d'éliminer une espèce introduite qui deviendrait invasive (Strayer, 2010). **Par conséquent, le choix d'introduire volontairement une espèce devrait, *dans l'idéal,* reposer sur une évaluation raisonnée des bénéfices attendus et des impacts ou risques potentiels pour l'environnement et les espèces natives ; ce genre d'analyse n'ayant été que très rarement réalisé dans le passé** (Copp et al., 2005 ; Strayer, 2010).

En ce qui concerne **précisément** les trois espèces de carpes chinoises en France métropolitaine, cette étude a permis de mettre en évidence les faits suivants :

- **Les trois espèces de carpes chinoises sont presque exclusivement cantonnées aux eaux closes en France** et ceci malgré une présence sur notre territoire depuis **plus de 50 ans**. Seuls quelques spécimens de grande taille sont capturés par an en eaux libres pour la carpe herbivore ou la carpe argentée et aucun pour la carpe à grosse tête. Par conséquent, les impacts (*qui restent à démontrer*) de ces espèces en France ont été limités strictement aux eaux closes et singulièrement aux étangs de pisciculture.

- **En l'état actuel des connaissances, la reproduction de ces carpes est très peu probable en France** car elles ont une biologie de la reproduction très particulière. En effet, la reproduction nécessite notamment des grands fleuves avec des variations très importantes du niveau d'eau pendant le printemps et l'été. Une température élevée et un fort débit sont aussi importants. **Ces conditions n'existent pas en France**, voire dans la grande partie de l'Europe.

- Etant donné que la reproduction est très peu probable en France et que ces trois espèces sont cantonnées aux eaux closes, **leur expansion en France dépendra quasi-exclusivement de comportements humains** (incluant les relâchés illégaux par des particuliers par exemple). De plus, dans l'éventualité où ces poissons poseraient des problèmes, il serait relativement facile d'y remédier étant donné la taille des animaux, mais ceci n'est valable que pour les plans d'eau vidangeables (pêche des poissons ou captures lors de la mise à sec des étangs).

- **Les bénéfices et les risques associés aux trois espèces sont différents**. Il est clair que la carpe herbivore permet de **contrôler efficacement et durablement** le développent trop important de la végétation aquatique et permet ainsi de remplacer le faucardage et l'utilisation de produits chimiques. Les conséquences sur l'écosystème et les espèces natives sont négligeables voire peu importantes, surtout si les densités utilisées sont basses (autour de 30 kg/ha). L'intérêt des deux autres espèces est moins évident, notamment pour la carpe à grosse tête. De plus, les impacts (ou risques) sur les écosystèmes de ces deux espèces, carpe argentée et carpe à grosse tête, sont complexes à mettre en évidence et sont très souvent contradictoires.

Enfin il convient, nous semble-t-il, pour conclure ce rapport de souligner au moins trois incohérences dans la situation actuelle :

- Sur les sept principaux fleuves français, seuls quatre fleuves sont cantonnés au territoire national : la Loire, la Seine, la Garonne et la Dordogne, par conséquent seule une **gestion européenne** pourrait permettre de contrôler le développement de ces populations dans les trois autres fleuves. **Des mesures franco-françaises n'auraient aucun effet sur le Rhin, la Meuse et le Rhône** quant au devenir de ces trois espèces dans les eaux libres en France.

- Une enquête réalisée *sous couvert d'anonymats* auprès d'une douzaine de grossistes a révélé qu'environ 50 000 individus, (principalement des carpes amours (80%) et des carpes argentés (20%), aucune carpe à grosse tête), sont vendus annuellement en France par ces grossistes pour le commerce du poisson d'ornement. Rappelons qu'au moins un pisciculteur (Mr Cadeau Yves) a dû arrêter son activité suite à l'interdiction de posséder ces carpes en France. **Donc il existe bien un marché pour ces espèces en France**.

- Il est assez facile d'obtenir **légalement** des carpes herbivores dans de très nombreuses animaleries en France.

Pour toutes ces raisons, il semble possible et judicieux d'autoriser de nouveau l'utilisation de la carpe herbivore et de la carpe argentée dans les plans d'eau.

F. Références

Abdusamadov AS (1986) Biology of white amur, Ctenopharyngodon idella, silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, and bighead, *Aristichthys nobilis*, acclimatized in the Terek region of the Caspian basin. Journal of Ichthyology 3 : 425-433.

Aitkin JK, Lohr S, Heimowitz P, Hill M (2008) Columbia river basin asian carps risk evulation. United States Fish and Wildlife Service. 62 p. Disponible à l'adresse suivante : http://www.asiancarp.org/Documents/AsianCarp_PNWRiskEvaluation_022208.pdf

Allen SK, Wattendorf RJ (1987) Triploid grass carp: status and management implications. Fisheries 12 : 20-24.

Arismendi I, Soto D, Penaluna B, Jara C, Leal C, Léon-Muňoz J (2009) Aquaculture, non-native salmonid invasions and associated declines of native fishes in Northern Patagonian lakes. Freshwater Biology 54 : 1135-1147.

Ashraf M, Zafar A, Rauf A, Mehboob S, Qureshi NA (2011) Nutritional values of wild and cultivated silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) International Journal of Agriculture and Biology 13 : 210-214.

Barbier B (2001a). Carpe argentée. L'atlas des poissons d'eau douce de France. P. Keith et J. Allardi (coordinateurs). Patrimoines Naturels, 47, Paris, SPN / IEGB / MNHN. pp. 178-179.

Barbier B (2001b). Carpe à grosse tête. L'atlas des poissons d'eau douce de France. P. Keith et J. Allardi (coordinateurs). Patrimoines Naturels, 47, Paris, SPN / IEGB / MNHN. pp. 176-177.

Berday N, El Hamouri B, Zamane Y, Zaoui D (2004) Élevage de la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) et de la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella* Val.) dans des eaux usées domestiques épurées. Actes Institut Agronomique Vétérinaire (Maroc) 24 : 99-106.

Bernstein NP, Olson JR (2001) Ecological problems with Iowa's invasive and introduced fishes. Journal of the Iowa Academy of Science 108 : 185-209.

Billard, R. (1997) Les poisons d'eau douce des rivières de France. Identification, inventaire et répartition des 83 espèces. Delachaux et Niestlé, Paris, 192 p.

Britton JR, Cucherousset J, Davies GD, Godard MJ, Copp GH (2010) Non-native fishes and climate change: Predicting species responses to warming temperatures in a temperate region. Freshwater Biology 55 : 1130-1141.

Britton JR, Davies GD (2007) First UK recording in the wild of the bighead carp *Hypophthalmichthys nobilis*. Journal of Fish Biology 70 : 1280-1282.

Brown DJ, Coon TG (1991) Grass carp larvae in the lower Missouri river and its tributaries. North American Journal of Fisheries Management 11 : 62-66.

Burlakov AB, Dobrynina MT, Medvedeva AA, Poluektova OG (2006) Development of hypophysis and differentiation of its secretory cells at the early postembryonic development of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* (Cyprinidae). Journal of Ichthyology 46: 97-107.

Bruslé J, Quignard J-P (2001) Biologie des poissons d'eau douce européens. Editions Tec & Doc, Paris. 625 p.

Casal CM (2006) Global documentation of fish introduction: the growing crisis and recommendations for action. Biological Invasions 8 : 3-11.

Copp GH, Bianco PG, Bogutskaya NG, Eros T, Falka I, Ferreira MT, Fox MG, Freyhof J, Gozlan RE, Grabowska J, Kovac V, Moreno-Amich R, Naseka AM, Penaz M, Povz M, Przybylski M, Robillard M, Russell IC, Stakenas S, Sumer S, Vila-Gispert A, Wiesner C (2005) To be, or not to be, a non-native freshwater fish? Journal of Applied Ichthyology 21 : 242-262.

Costa-Pierce BA (1992) Review of the spawning requirements and feeding ecology of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and reevaluation of its use in the fisheries and aquaculture. Reviews in Aquatic Sciences 6 : 257-273.

Crivelli AJ (1995) Are fish introductions a threat to endemic freshwater fishes in the northern Mediterranean region? Biological Conservation 72 : 311-319.

Cuda JP, Charudattan R, Grodowitz MJ, Newman RM, Shearer JF, Tamayo ML, Villegas B (2008) Recent advances in biological control of submersed aquatic weeds. Journal of Aquatic Plant Management 46 : 15-32.

Cudmore B, Mandrak NE (2004) Biological synopsis of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2705: v + 44p.

Codhant H, Dutartre A (1992) Utilisation de la carpe chinoise comme moyen de contrôle biologique des macrophytes aquatiques, revue bibliographique. Anpp - Quinzième conférence columa journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, pp. 1099-1107.

Dabbadie L (1994) La carpe Amour, *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844). Quelques données bibliographiques sur sa biologie, sa culture et son introduction en dehors de sa zone d'origine. 15 pages

Dabrowski K (1984) Influence of initial weight during the change from live to compound feed on the survival and growth of four cyprinids. Aquaculture 40: 27-40.

Descy J-P (2008). Continental Atlantic Rivers. Dans : « Rivers of Europe », eds. Klement Tockner, Urs Uehlinger, Christopher T. Robinson, Department of Limnology, EAWAG/ETH, Switzerland, Publisher: Elsevier, London (UK)

Devidal S (2007) Solutions curatives pour la restauration de lacs présentant des signes d'eutrophisation. Master environnement de l'université de Rouen. 50 pages. Disponible à l'adresse suivante : http://www.rappel.qc.ca/IMG/pdf/OEDD_solutions_miracles.pdf.

Dibble ED, Kovalenko K (2009) Ecological impact of grass carp: A review of the available data. Journal of Aquatic Plant Management 47 : 1-15.

Domaizon I, Devaux J (1999) Nouvelle approche des biomanipulations des réseaux trophiques aquatiques. Introduction d'un poisson phytoplanctonophage, la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*). Année Biologique 38 : 91-106.

Du Z-Y, Clouet P, Huang LM, Degrace P, Zheng WH, He JG, Tian LX, Liu YJ (2008) Utilization of different dietary lipid sources at high level in herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): mechanism related to hepatic fatty acid oxidation. Aquaculture Nutrition 14: 77-92.

Du Z-Y, Liu Y-J, Tian L-X, Wang J-T, Wang Y, Liang G-Y (2005) Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Aquaculture Nutrition 11: 139-146.

Eby LA, Roach WJ, Crowder LB, Stanford JA (2006) Effects of stocking-up freshwater food webs. Trends in Ecology and Evolution 21 : 576-584.

Facon B, Genton BJ, Shykoff J, Jarne P, Estoup A, David P (2006) A general eco-evolutionary framework for understanding bioinvasions. Trends in Ecology and Evolution 21 : 130-135.

FAO (2008-2011) Cultured Aquatic Species Information Programme *Hypophthalmichthys nobilis*. Cultured Aquatic Species Fact Sheets. Texte par Weimin, M. In: *Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO* [en ligne]. Rome. Mis à jour 1 Janvier 2004. [Consulté le 11 Avril 2011]. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Aristichthys_nobilis/fr

FAO (2009-2011a) Cultured Aquatic Species Information Programme Ctenopharyngodon idellus. Cultured Aquatic Species Fact Sheets. Texte par Weimin, M. In: Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO [en ligne]. Rome. Mis à jour le 1 Janvier 2004. [Consulté le 11 Avril 2011]. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Ctenopharyngodon_idella/fr

FAO (2009-2011b) Cultured Aquatic Species Information Programme *Hypophthalmichthys molitrix*. Cultured Aquatic Species Fact Sheets. Texte par Yang, N. In: *Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO* [en ligne]. Rome. Mis à jour le 26 Juillet 2005. [Consulté le 11 Avril 2011]. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Hypophthalmichthys_molitrix/fr

Galveston Bay Foundation (2002) Grass carp in Galveston bay. What you need to know about this exotic and invasive species. 4 p.

Gao W, Liu Y-J, Tian L-X, Mai K-S, Liang G-Y, Yang H-J, Huai M-Y, Luo W-J (2010) Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance, body composition, nutrient utilization and hepatic enzymes activities of herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Aquaculture Nutrition 16 : 327-333?

Gao W, Liu Y-J, Tian L-X, Mai K-S, Liang G-Y, Yang H-J, Huai M-Y, Luo W-J (2011) Protein-sparing capability of dietary lipid in herbivorous and omnivorous freshwater finfish: a comparative case study on grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) and tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). Aquaculture Nutrition 17: 2-12.

García-Berthou E, Alcaraz C, Pou-Rovira Q, Zamora L, Coenders G, Feo C (2005) Introduction pathways and establishment rates of invasive aquatic species in Europe. Canadian Journal of Aquatic Sciences and Fisheries 62: 453-463.

Gorbach EI (1972) Fecundity of the grass carp [*Ctenopharyngodon idella* (Val.)] in the Amur basin. Journal of Ichthyology 12: 616-625.

Goren M, Galil BS (2005) A review of changes in the fish assemblages of Levantine inland and marine ecosystems following the introduction of non-native fishes. Journal of Applied Ichthyology 21 : 364-370.

Grabowska J, Kotusz J, Witkowski A (2010) Alien invasive fish species in Polish waters: an overview. Folia Zoologica 59 : 73-85.

Guedes KT, Sánchez-Jerez P, González-Lorenzo G, Brito Hernández A (2009) Detecting the degree of establishment of a non-indigenous species in coastal ecosystems: sea bass *Dicentrarchus labrax* escapes from sea cages in Canary Islands (Northeastern Central Atlantic). Hydrobiologia 623 : 203-212.

Hall SR, Mills EL (2000) Exotic species in large lakes of the world. Aquatic Ecosystem Health and Management 3 : 105-135.

Herborg L-M, Mandrak NE, Cudmore BC, MacIsaac HJ (2007) Comparative distribution and invasion risk of snakehead (Channidae) and Asian carp (Cyprinidae) species in North America. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 29 : 1723-1735

Hulme PE, Roy DB, Cunha T, Larsson T-B (2009) Chapter 1. A pan-European inventory of alien species, implementation and implications for managing biological invasions. In DAISIE, Handbook of Alien Species in Europe. Springer, Dordrecht, p. 1-14.

Innal D, Erk'akan F (2006) Effects of exotic and translocated fish species in the inland waters of Turkey. Reviews in Fish Biology and Fisheries 16 : 39-50.

Irons KS, Sass GG, McClelland MA, Stafford JD (2007) Reduced condition factor of two native fish species coincident with invasion of non-native Asian carps in the Illinois River, U.S.A. Is this evidence for competition and reduced fitness? Journal of Fish Biology 71 : 258-273.

Jankovic D (1998) Natural reproduction by Asiatic herbivorous fishes in the Yugoslav section of the River Danube. Italian Journal of Zoology 65 : 227-228.

Ji H, Li J, Liu P (2011) Regulation of growth performance and lipid metabolism by dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B 159 : 49-56.

Johnson PTJ, Olden JD, Vander Zanden MJ (2008) Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions into freshwaters. Frontiers in Ecology and Environment 6 : 357-363.

Keith P, Allardi J (1997) Bilan des introductions de poissons d'eau douce en France. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 344-345 : 181-191.

Keith P, Allardi J (2001) Atlas des poissons d'eau douce de France. Patrimoines Naturels, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, n 47, 387 p.

Kestemont P (1995) Different systems of carp production and their impacts on their environment. Aquaculture 129 : 347-373.

Khan MA, Jafri AK, Ghadha NK (2004) Growth, reproductive performance, muscle and egg composition in grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes), fed hydrilla or formulated diets with varying protein levels. Aquaculture Research 35: 1277-1285.

Kilambi RV (1980) Food consumption, growth and survival of grass carp *Ctenopharyngodon idella* Val at four salinities. Journal of Fish Biology 17: 613-618.

Kırkağaç M, Demir N (2004) The effects of grass carp on aquatic plants, plankton and benthos in ponds. Journal of Aquatic Plant Management 42 : 32-39.

Kırkağaç M, Demir N (2006) The effects of grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val., 1844) on water quality, plankton and benthic macroinvertebrates in a spring pond. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 6: 7-15.

Kolar CS, Chapman DC, Courtenay WR, Housel CM, Williams JD, Jennings DP (2005) Asian carps of the genus *Hypophthalmichthys* (Pisces, Cyprinidae) – A biological synopsis and environmental risk assessment. US Geological survey, La Crosse, Wis. Report to US Fish and Wildlife Service per Interagency Agreement 94400-3-0128.

Kolar CS, Lodge DM (2001) Progress in invasion biology: predicting invaders. Trends in Ecology and Evolution 16 : 199-204.

Koščo, J., Košuthová, L., Košuth, P., Pekárik, L. (2010) Non-native fish species in Slovak waters: Origins and present status. Biologia 65 : 1057-1063.

Kottelat M, Freyhof J. (2007) Handbook of European freshwater fishes. Kottelat, Cornol, Suisse et Freyhof, Berlin, Allemange. 646 p.

Krykhtin ML, Gorbach EI (1982) Reproductive ecology of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*, and the silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, in the Amur basin. Journal of Ichthyology 21: 109-123.

Le Louarn H (2001). Amour blanc. L'atlas des poissons d'eau douce de France. P. Keith et J. Allardi (coordinateurs). Patrimoines Naturels, 47, Paris, SPN / IEGB / MNHN. pp. 158-159.

Lenhardt M, Markovic G, Hegedis A, Maletin S, Cirkovic M, Markovic Z (2011) Non-native and translocated fish species in Serbia and their impact on the native ichthyofauna. Reviews in Fish Biology and Fisheries 21: 407-421.

Leprieur F, Beauchard O, Blanchet S, Oberdorff T, Brosse S (2008) Fish invasions in the world's river systems: when natural processes are blurred by human activities. PLoS Biology 6: 0404-0410.

Lévêque C, Oberdorff T, Paugy D, Stiassny MLJ, Tedesco PA (2008) Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. Hydrobiologia 595: 545-567.

Lodge, DM (1993) Biological invasions: lessons for ecology. Trends in Ecology and Evolution 8 : 133-137.

Lusk S, Luskova V, Hanel L (2010) Alien fish species in the Czech Republic and their impact on the native fish fauna. Folia Zoologica 59 : 57-72.

Manchester SJ, Bullock JM (2000) The impacts of non-native species in UK biodiversity and the effectiveness of control. Journal of Applied Ecology 37 : 845-864.

Makeeva AP, Emel'yanova NG, Verigin VB (1988) Quality of eggs produced by *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, and *Ctenopharyngodon idella* under artificial culture. Journal of Ichthyology 28: 48-61

Makeyeva AP, Belova NV, Emel'yanova NG, Verigin BV, Ryabov IN (1996) Materials on the state of reproductive system of bighead *Aristichthys nobilis* from the cooling pond of Chernobyl nuclear power station in the post-disaster period. Journal of Ichthyology 36: 239-247.

Masser MP (2002) Using grass carp in aquaculture and private impoundments. Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 3600.

Mavruk S, Avsar D (2008) Non-native fishes in the Mediterranean from the Red Sea by way of the Suez Canal. Reviews in Fish Biology and Fisheries 18 : 251-262.

Moatar F, Gailhard J (2006) Water temperature behaviour in the River Loire since 1976 and 1881. Comptes Rendus Geoscience 338 : 319–328.

Morris JE, Clayton RD (2006) Best management practices of aquatic vegetation management in lakes. Proceedings, 11th triennial national wildlife & fisheries extension specialists conference, October 14-18, 2006, Big Sky, MT.

MPO (2005) Rapport sur la situation de la carpe asiatique. Secrétariat Canadien de Consultation Scientifique du MPO, Avis Scientifique 2005/001.

Musil J, Jurajda, Adámek Z, Horky P, Slavík (2010) Non-native fish introductions in the Czech Republic – species inventory, facts and future perspectives. Journal of Applied Ichthyology 26: 38-45.

Moyle PB, Light T (1996) Biological invasions of freshwater: empirical rules and assembly theory. Biological Conservation 78 : 149-161.

Naca (1989) Integrated fish farming in China. NACA Technical manual 7. A world food day publication of the network of aquaculture centres in Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand. 278 pp.

Olden FD (2006) Biotic homogenization: a new research agenda for conservation biogeography. Journal of Biogeography 33 : 2027-2039.

Olden JD, Hogan ZS, Vander Zanden MJ (2007) Small fish, big fish, red fish, blue fish: size-biased extinction risk of the world's freshwater and marine fishes. Global Ecology and Biogeography 16 : 694-701.

Opuszynski K, Shireman JV, Aldridge FJ, Rottman R (1985) Intensive culture of grass carp and hybrid grass carp larvae. Journal of Fish Biology 26: 563-573.

Papoulias DM, Chapman D, Tillitt DE (2006) Reproductive condition and occurrence of intersex in bighead carp and silver carp in the Missouri River. Hydrobiologia 571 : 355-360.

Pascal M, Lorvelec O (2005) Holocene turnover of the French vertebrate fauna. Biological Invasions 7 : 99-106.

Pascal M, Lorvelec O, Vigne J-D (2006) Invasions biologiques et extinctions. 11 000 ans d'histoire des vertébrés de France. Editions Belin et Quae, Paris. 350 p.

Pípalová I (2002) Initial impact of low stocking density of grass carp on aquatic macrophytes. Aquatic Botany 73: 9-18.

Pípalová I (2006) A review of grass carp use for aquatic weed control and its impact on water bodies. Journal of Aquatic Plant Management 44 : 1-12.

Pípalová I, Květ J, Adámek Z (2009) Limnological changes in a pond ecosystem caused by grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.) low stocking density. Czech Journal of Animal Science 54 : 31-45.

Persat H, Keith P (1997) La répartition géographique des poissons d'eau douce en France : qui est autochtone et qui ne l'est pas ? Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 344-345 : 15-32.

Poulet N, Beaulaton L, Dembski S (2011) Time trends in fish populations in metropolitan France: insights from national monitoring data. Journal of Fish Biology DOI: 10.1111/j.1095-8649.2011.03084.x

Quesada R (2004) Les dessous noirs de l'Amour blanc. Le Courrier de l'environnement de l'INRA 51 : 61-63.

Radke RJ, Kahl U (2002) Effects of a filter-feeding fish [silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Val.)] on phyto-and zooplankton in a mestrophic reservoir: results from an enclosure experiment. Freshwater Biology 47: 2337-2344.

Ricciardi A, Rasmussen JB (1998) Predicting the identity and impact of future biological invaders: a priority for aquatic resource management. Canadian Journal of Aquatic Sciences and Fisheries 55: 1759-1765.

Rottmann RW, Shireman JV, Lincoln EP (1991) Comparison of three live foods and two dry diets for intensive culture of grass carp and bighead carp larvae. Aquaculture 96 : 269-280.

Santiago CB, Gonzal AC, Aralar EV, Arcilla RP (2004) Effect of stunting of juvenile bighead carp *Aristichthys nobilis* (Richardson) on compensatory growth and reproduction. Aquaculture Research 35 : 836-841.

Sass GG, Cook TR, Irons KS, McClelland MA, Michaels NN, O'Hara TM, Stroub MR (2010) A mark-recapture population estimate for invasive silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the La Grange Reach, Illinois River. Biological Invasions 12 : 433-436.

Savini, D., Occhipinti-Ambrogi, A., Marchini, A., Tricarico, E., Gherardi, F., Olenin, S., Gollasch, S. (2010) The top 27 animal alien species introduced into Europe for aquaculture and related activities. Journal of Applied Ichthyology 26 : 1-7.

Sax DF, Brown JH (2000) The paradox of invasion. Global Ecology & Biogeography 9 : 363-371.

Schrank SJ (1999) Bighead carp threatens Missouri river fisheries. Aquatic Nuisance Digest 3 : 26-28.

Schrank SJ, Braaten PJ, Guy CS (2001) Spatiotemporal variation in density of larval bighead carp in the lower Missouri river. Transactions of the American Fisheries Society 130: 809-814.

Schrank SJ, Guy CS (2002) Age, growth, and gonadal characteristics of adult bighead carp, *Hypophthalmichthys nobilis*, in the lower Missouri river. Environmental Biology of Fishes 64: 443-450.

Shea K, Chesson P (2002) Community ecology theory as a framework for biological invasions. Trends in Ecology and Evolution 17 : 170-176.

Shireman JV, Smith CR (1983) Synopsis of biological data on the grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Cuvier et Valenciennes, 1844). Food and Aquaculture Organization Sypnosis. No. 135. 86 pp.

Spillmann CJ (1961) Faune de France. 65 poissons d'eau douce. Lechevalier, Paris. 303 p.

Stott B, Cross DG (1973) A note on the effect of lowered temperatures on the survival of eggs and fry of the grass carp *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes). Journal of Fish Biology 5 : 649-658.

Strayer DL (2010) Alien species in fresh waters: Ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. Freshwater Biology 55 : 152-174

Tabbagh A, Guérin R, Bendjoudi B, Bechkit MA (2009) Pluri-annual recharge assessment using vertical soil temperature profiles: example of the Seine river. Comptes Rendus Geoscience 341:10-11.

Tacon AGJ, Metian M (2009) Fishing for feed or fishing for food: increasing global competition for small pelagic forage fish. Ambio 38 : 294-302.

Tacon AGJ, Metian M, Turchini GM, De Silva SS (2010) Responsible aquaculture and trophic level implications to global fish supply. Reviews in Fisheries Science 18 : 94–105.

Tan X, Li X, Lek S, Li Y, Wang C, Li J, Luo J (2010) Annual dynamics of the abundance of fish larvae and its relationships with hydrological variation in the Pearl River. Environmental Biology of Fish 88 : 217-225.

Teletchea F, Fostier A, Kamler E, Gardeur JN, Le Bail PY, Jalabert B, Fontaine P (2009) Comparative analysis of reproductive traits in 65 freshwater fish species: application to the domestication of new fish species. Reviews in Fish Biology and Fisheries 19 : 403-430.

Teletchea F, Fostier A, Le Bail PY, Jalabert B, Gardeur JN, Fontaine P (2007) STOREFISH: a new database dedicated to the reproduction of temperate freshwater teleost fishes. *Cybium* 31 : 227-235.

Tian LX, Liu YJ, Hung SSO, Deng D.F, Yang HJ, Niu J, Liang GY (2010) Effect of feeding strategy and carbohydrate source on carbohydrate utilization by grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). American Journal of Agricultural and Biological Sciences 5 : 135-142.

Turchini GM, De Silva SS (2008) Bio-economical and ethical impacts of alien finfish culture in European inland waters. Aquaculture International 16 : 243-272.

Verigin BV, Belova NV, Makeeva AP, Emel'yanova NG (1999) Spawning features of far east herbivorous fish species in circular tanks. Journal of Ichthyology 39: 657-664.

Verigin BV, Makeyeva AP, Mokhamed MI (1979) Natural spawning of the silver carp, *Hypoththalmichthys molitrix*, the bighead carp, *Aristichthys nobilis* and the grass carp, *Ctenopharyngodon idella*, in the Syr-Dar'ya river. Journal of Ichthyology 18: 143-146.

Verigin BV, Shakha DN, Kamilov BG (1990). Correlation among reproductive indicators of the silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, and the bighead, *Aristichthys nobilis*. Journal of Ichthyology 30: 80-92.

Wang K, Liao W, Li C, Chen D, Liu S, Duan X (2010) Relationship between meteorological conditions and natural reproduction behavior of the four famous Chinese carps. Environmental Biology of Fishes 89 : 135-142.

Webb MA, Elder HS, Howells RG (1994) Grass carp reproduction in the lower Trinity River, Texas. Grass Carp Symp., U.S. Army C of Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. pp. 29-32.

Wolter C, Röhr F (2010) Distribution history of non-native freshwater fish species in Germany: how invasive are they? Journal of Applied Ichthyology 26: 19-27.

Yang HJ, Liu YJ, Tian LX, Liang GY, Lin HR (2010) Effects of supplemental lysine and methionine on growth performance and body composition for grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). American Journal of Agricultural and Biological Sciences 5 : 222-227.

Yaqoob M, Ali MR, Mehmood (2010) Comparison of growth performance of major and chinese carps fed on floating and sinking pelleted supplementary feeds in ponds. Pakistan Journal of Zoology 42 : 765-769.

F. Annexes

1. Glossaire

Eau close : constitue une eau close le fossé, canal, étang, réservoir ou autre plan d'eau dont la configuration, qu'elle résulte de la disposition des lieux ou d'un aménagement permanent de ceux-ci, fait obstacle au passage naturel du poisson, hors événement hydrologique exceptionnel. Cependant, un dispositif d'interception du poisson ne peut, à lui seul, être regardé comme un élément de la configuration des lieux. En d'autres termes, les eaux closes sont des plans d'eau dépourvus de passage naturel avec les eaux libres.

Euryèce : capable de tolérer de grandes variations de facteurs écologiques (températures, oxygène dissous…).

Espèce indigène[1] (*indigenous species*) : espèce se trouvant dans son aire de répartition naturelle. Au sens strict, espèce présente de façon naturelle dans un bassin donné, que cette présence soit très ancienne (préglaciaire, voir Pliocène, voire Miocène dans certains cas) ou relativement récente (recolonisation naturelle postglaciaire)[4].

Espèce transférée[2] : une espèce qui a été déplacé à travers une barrière nationale dans un autre pays où elle est déjà présente naturellement.

Espèce non-indigène[1] (*nonindigenous species*) : une espèce introduite en dehors de son aire de répartition naturelle suite à l'activité humaine.

Espèce acclimatée[2] (*acclimatized or acclimatized*) : espèce (ou taxon) qui est capable de compléter une partie ou l'ensemble de son cycle de vie dans le milieu sauvage dans un environnement ou un climat étranger, mais qui est incapable de se reproduire et de maintenir une population sans l'intervention de l'homme. Cependant ce terme indique, pour certains auteurs, que les populations se maintiennent naturellement[3].

Etablie[1] (*established*) ou **naturalisée**[2] (*naturalized or naturalised*): espèce qui a une population auto-maintenue au-delà de son aire de répartition naturelle. (Pour réussir sa naturalisation, un taxon doit réussir or dépasser trois barrières : déplacement géographique, barrière environnementale locale (résistance) pour le nouveau taxon et reproduction régulière)[2].

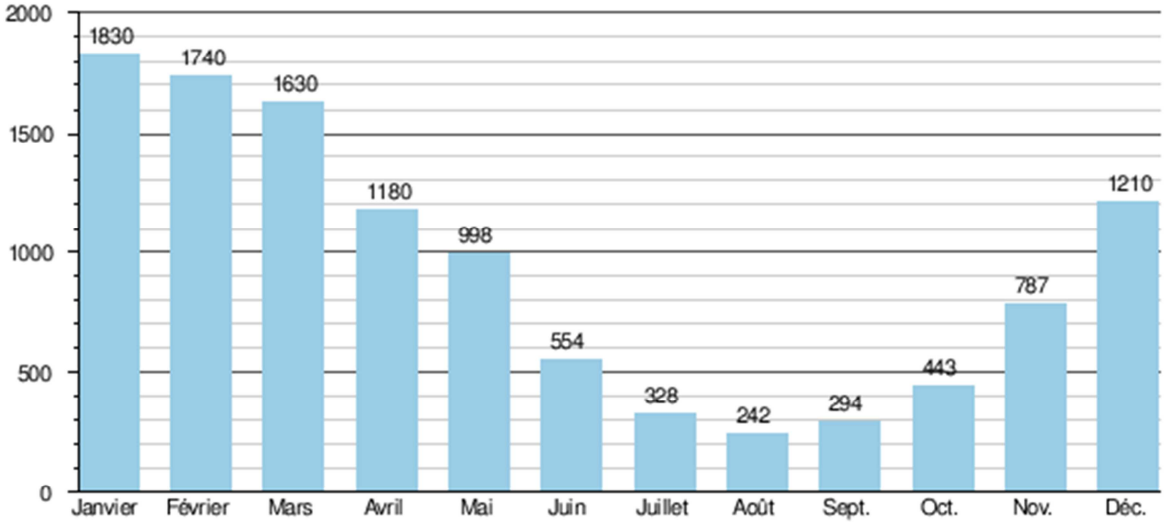
Espèce non invasive[1] (*noninvasive species*) : une espèce non-indigène qui reste localisée dans son nouvel environnement.

Espèce invasive[1] (*invasive species*) : une espèce non native (*ou native*[2]) qui s'étend à partir de son point d'introduction et qui devient abondante.

[1]D'après Kolar et Lodge (2001)
[2]Copp et al. 2005
[3]Keith et Allardi, 1997
[4](Persat et Keith, 1997)

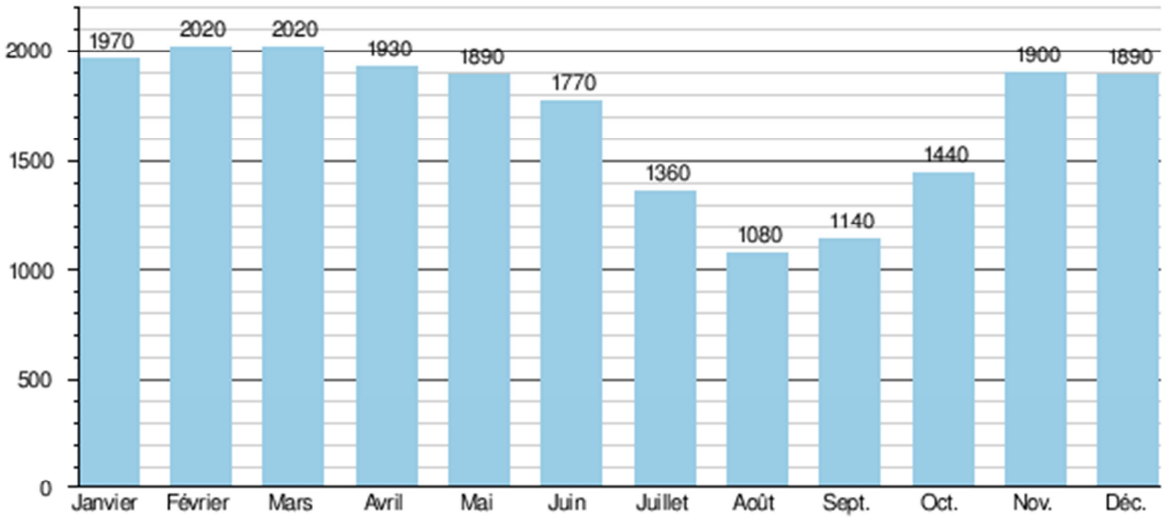
2. Régime hydrologique des principaux fleuves français, du Danube et du Mississippi.

Loire



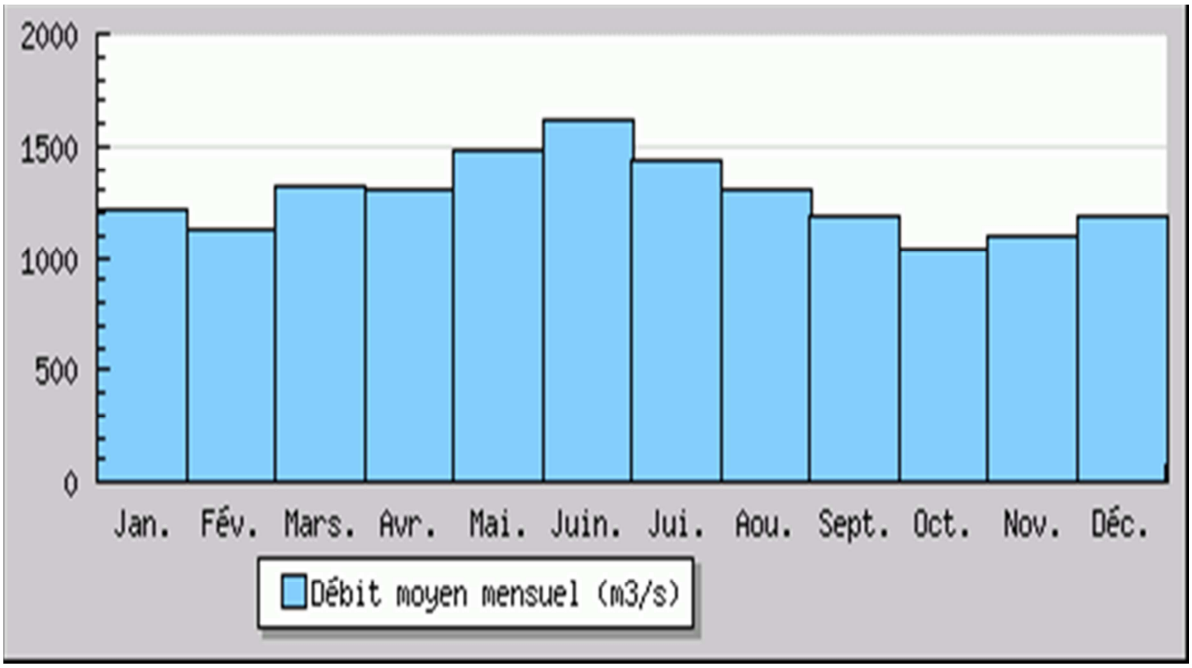
Débit moyen mensuel (en m³/s)
Station hydrologique : Saint-Nazaire (calculé sur 14 ans) (www.hydro.eaufrance.fr)

Rhône

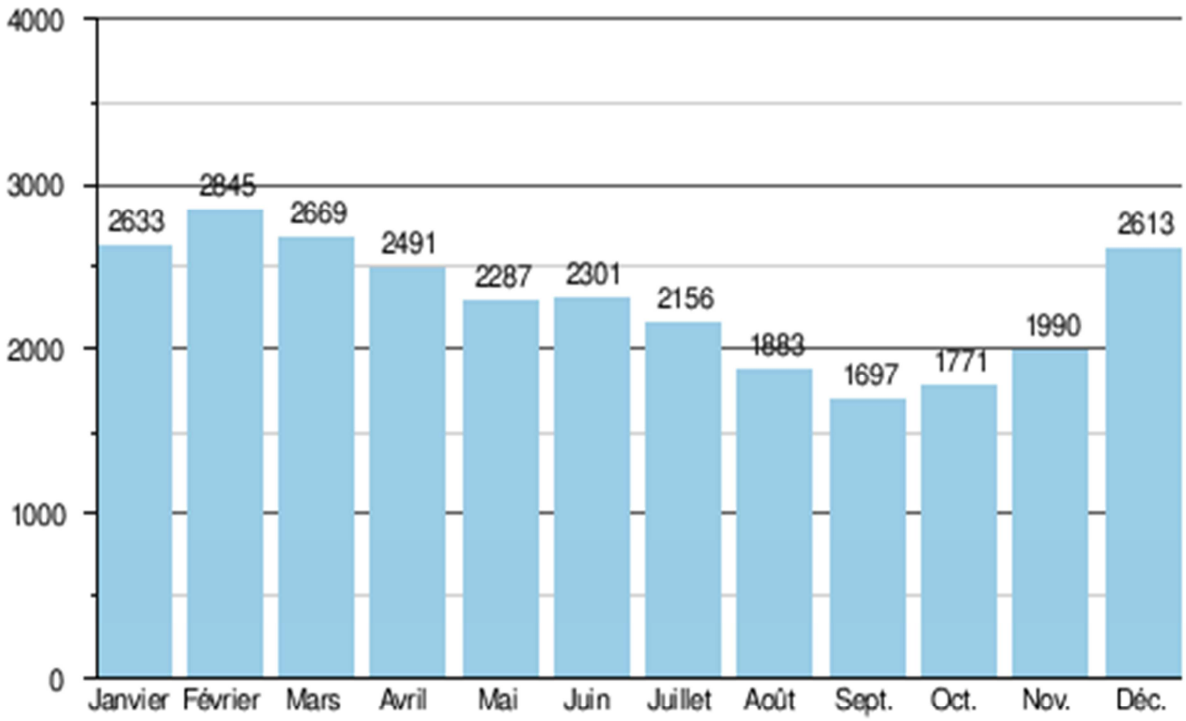


Débit moyen mensuel (en m^3/s)
Station hydrologique : Beaucaire (proche embouchure) (calculé sur 85 ans)
(www.hydro.eaufrance.fr)

Rhin

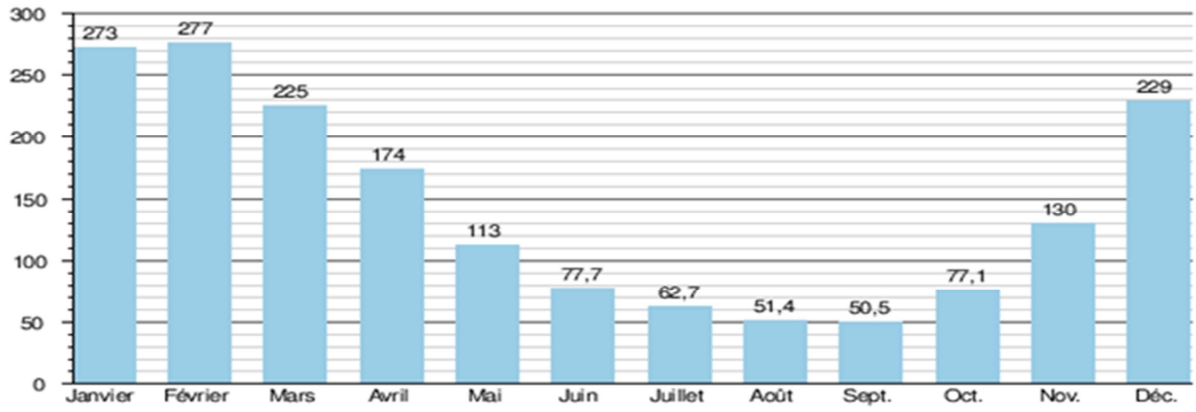


Station hydrologique de Lauterbourg (frontière France/Allemagne)
(calculé sur 18 ans) (www.hydro.eaufrance.fr)



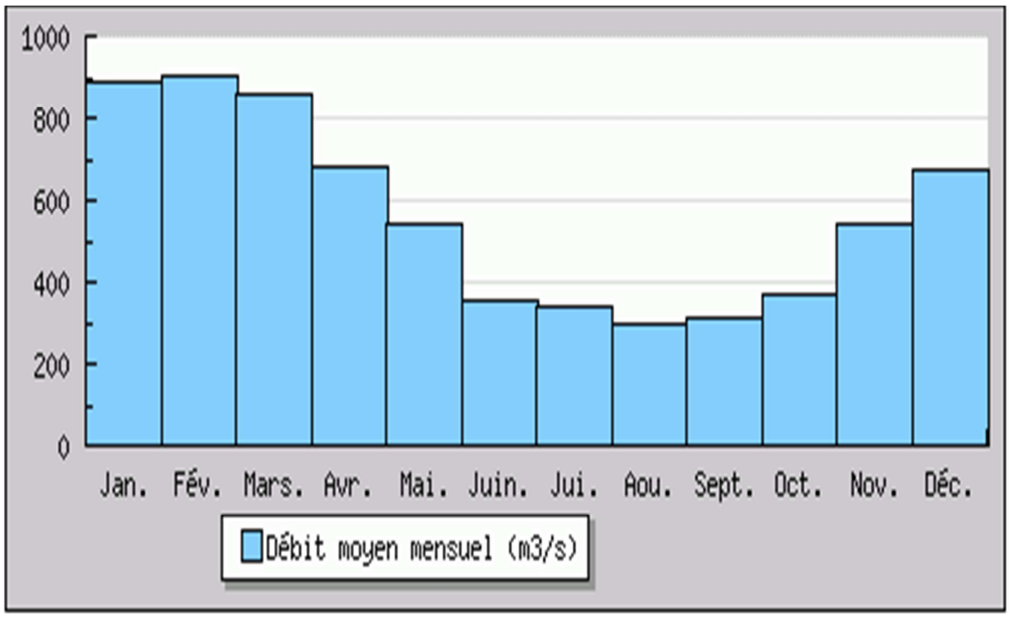
Débit moyen mensuel (en m^3/s)
Station hydrologique de Rees (frontière Allemagne/Pays Bas)
(calculé sur 67 ans) (http://fr.wikipedia.org)

Meuse



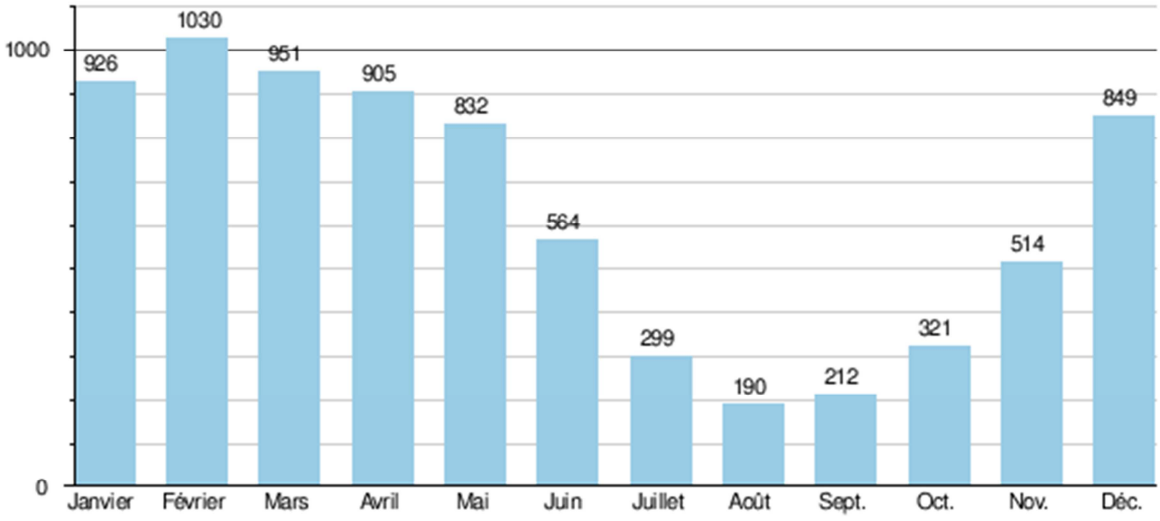
Station hydrologique de Chooz (frontière France/Belgique)
(calculé sur 56 ans) (www.hydro.eaufrance.fr)

Seine



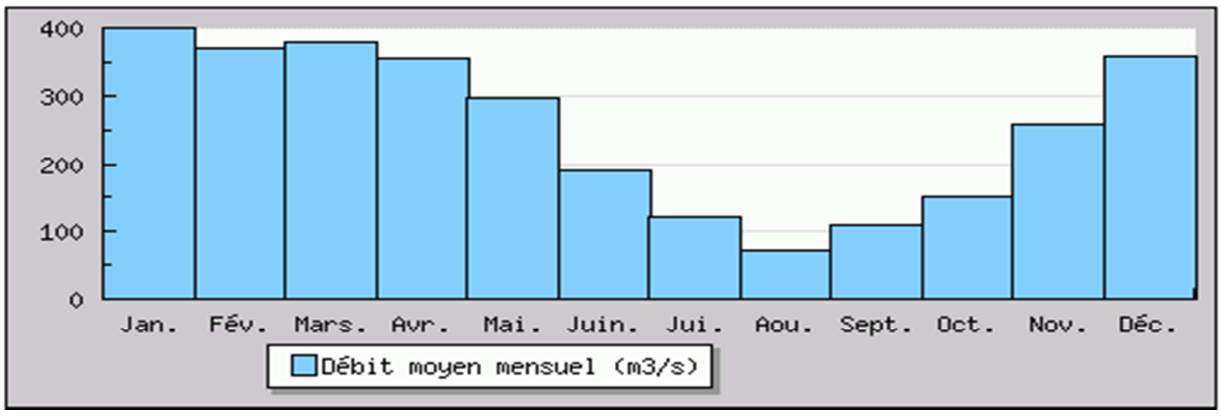
Station hydrologique : Le Havre (calculé sur 18 ans)
(www.hydro.eaufrance.fr)

Garonne



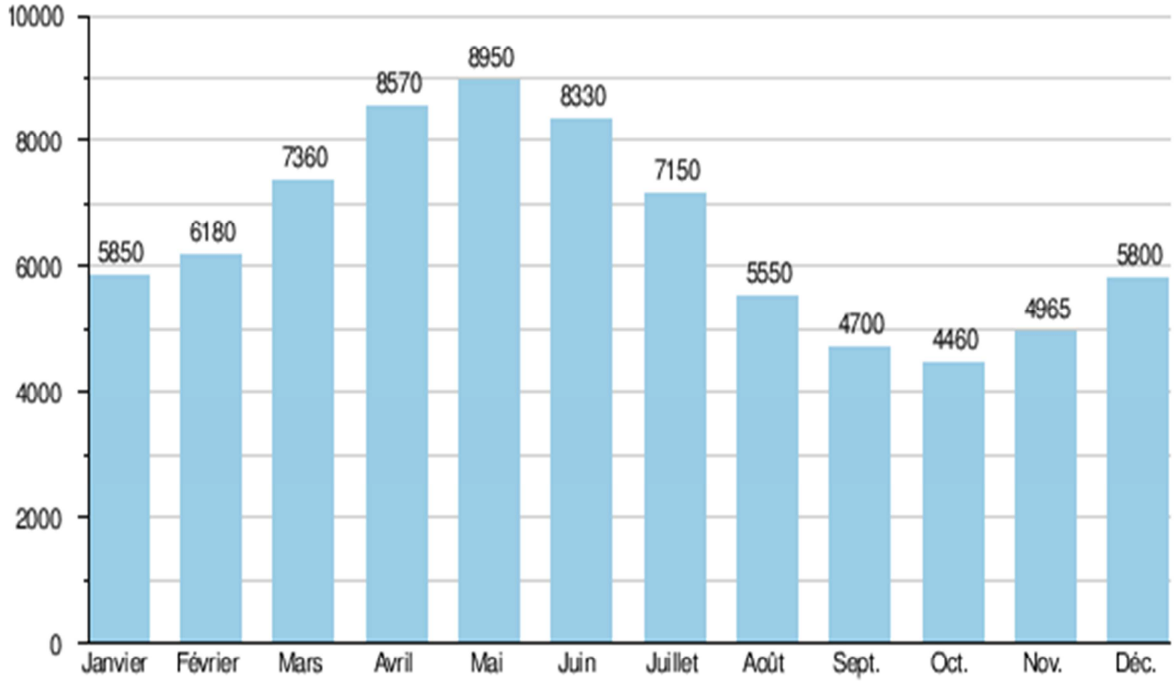
Débit moyen mensuel (en m^3/s)
Station hydrologique : Mas-d'Agenais (proche de l'embouchure)
(www.hydro.eaufrance.fr)

Dordogne



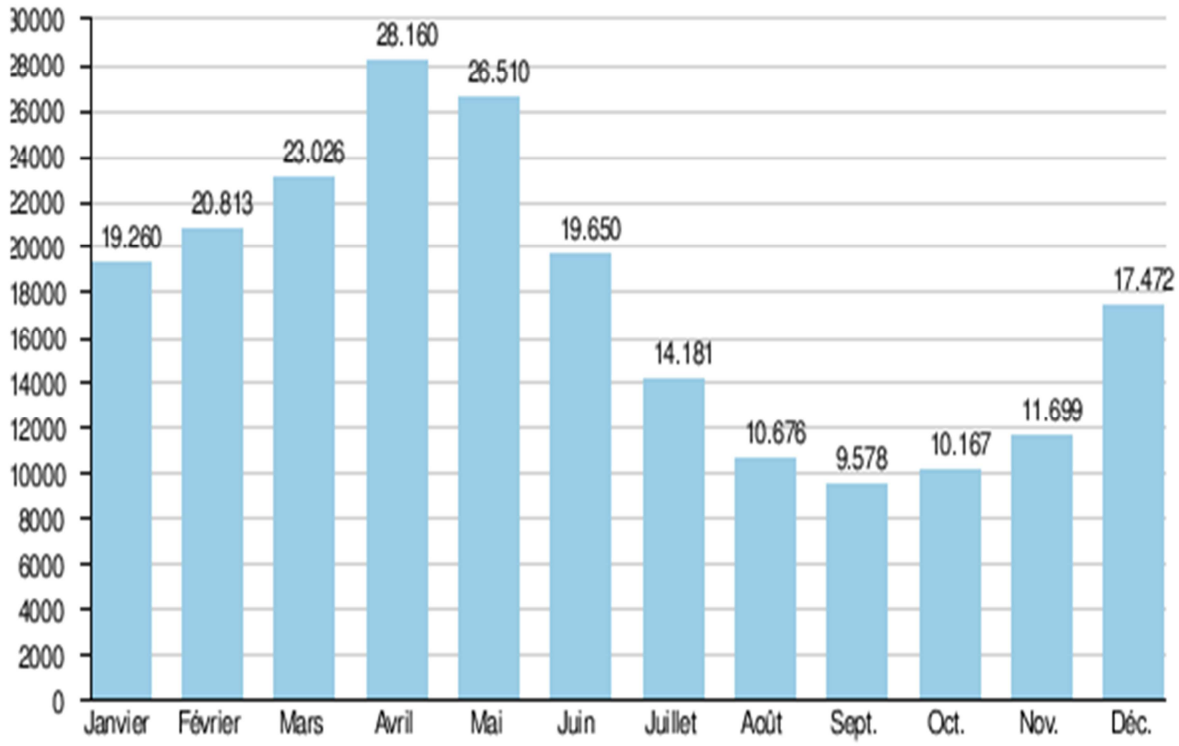
Station hydrologique : Pessac sur Dordogne
(calculé sur 18 ans) (www.hydro.eaufrance.fr)

Danube

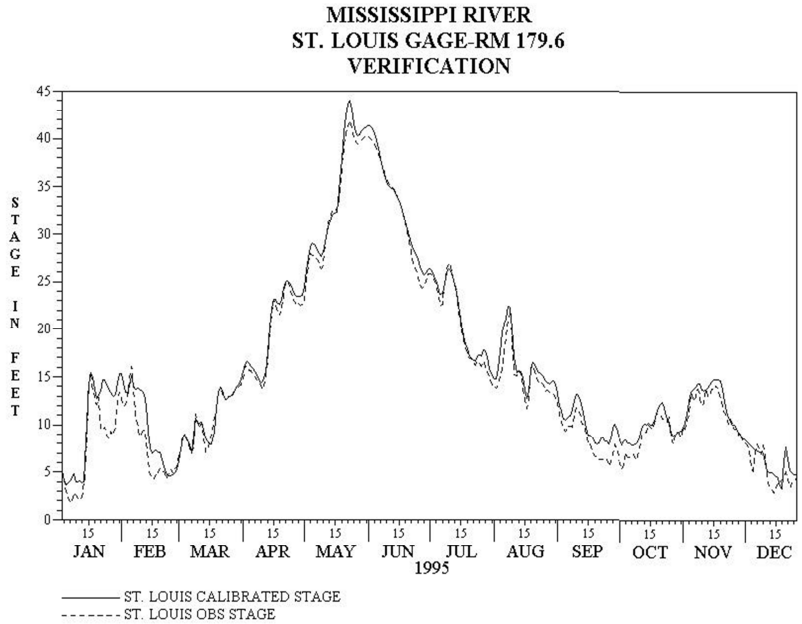


Débit moyen mensuel du Danube (en m³/s) mesuré à l'embouchure (calculé sur 15 ans) (http://fr.wikipedia.org/wiki/Danube)

Mississipi



Débit moyen mensuel (en m³/s). Station hydrométrique de Vicksburg
(300 km de l'embouchure) (calculé sur 18 ans)
(http://fr.wikipedia.org)



Hauteur d'eau en pieds (1 pieds = 0.3 m) du Mississipi à Saint Louis (Etat du Missouri)
(proche de la confluence avec le Missouri)
(Final report. Upper Mississipi river system flow frequency Study. Appendix D. 2004.)