



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

Master spécialisé Gestion Intégrée des Ressources en Eau

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Thème :

**LA PROBLEMATIQUE DES DEBITS
ENVIRONNEMENTAUX : DETERMINATION ET
ENJEUX POUR L'AFRIQUE DE L'OUEST**

Préparée par :

Idrissa MAMADOU CHERIF

Encadreur : Harouna KARAMBIRI

Juin 2008

A mes parents

A Nahissa, Abdallah, Ahmad, et Hassane

A Abani et Hamadou

Remerciements

Toutes les louanges sont à Dieu le très miséricordieux, le tout miséricordieux !

Qu'il me soit ensuite permis de remercier M. Harouna KARAMBIRI mon encadreur dans le cadre de ce travail et à travers lui, tous les enseignants du programme de master spécialisé GIRE qui ont du souvent, venir de très loin comme M. Giles MAHE, M. Pierre HUBERT et Seyni NDOYE. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma très profonde gratitude pour la disponibilité consacrée à l'encadrement de ce master.

Je tiens à remercier également la direction générale et tout le personnel du 2iE pour les inestimables efforts qu'ils déploient quotidiennement dans le cadre de notre formation.

Ma profonde gratitude va à l'endroit de l'Union Européenne qui a financé le programme.

Ma pensée va également à l'endroit de tous les membres de notre oumma islamique au 2iE et à tous les compagnons et amis des masters spécialisés GIRE, GSE et HSI grâce à qui nous avons joui au sein d'une ambiance fraternelle et amicale pendant tout le cycle.

Que tous et toutes trouvent ici l'expression de ma sympathie et de ma profonde Reconnaissance.

Résumé

La gestion intégrée des ressources en eau implique la recherche d'un compromis entre d'une part, les besoins en eau de la production électrique, de l'irrigation, de l'alimentation en eau potable des populations ou encore de la navigation... et d'autre part la nécessité de sauvegarder la richesse des écosystèmes. Pour que ce compromis soit équitable il est nécessaire que soit connus les besoins en eau de ces différents usages.

Si pour les usages classiques comme l'irrigation ou l'hydroélectricité, l'estimation des besoins est plus ou moins aisée, il n'en est pas de même pour la demande environnementale. Les scientifiques se sont penchés sur cette question et ces dernières décennies, plus de deux cent méthodes d'estimation ont ainsi été développées à travers le monde. Le présent rapport a pour but de proposer une revue de ces différentes méthodes.

Dans un premier temps, il montre que le cycle de vie des composantes de l'écosystème étant étroitement synchronisé aux variations naturelles du régime hydrologique, c'est plus un régime hydrologique qu'il faut établir sur le cours d'eau, qu'un débit minimum à maintenir.

Il propose ensuite un regroupement des méthodes de détermination des débits en quatre catégories à savoir : les méthodes hydrologiques, hydrauliques, de type microhabitats et holistiques. Aucune des méthodes n'est a priori la meilleure, tout dépend des conditions comme la disponibilité des données, des compétences et des moyens financiers.

Il aborde ensuite la question de la mise en place de ces débits notamment dans la législation. Les difficultés résident non seulement dans les insuffisances des méthodes à répondre de façon complète et adéquate à la question, mais également dans le caractère difficilement conciliable des besoins des usages.

L'enjeu des débits réservés est important pour l'Afrique de l'Ouest qui ne s'est pas encore véritablement engagée sur cette voie. Il s'agit de la survie des écosystèmes associés aux différents cours d'eau qui sont par ailleurs confrontés à des menaces diverses. Ces écosystème très riche en biodiversité et procurant des bienfaits économiques et socioculturelle aux populations riveraines.

Mots clés : Régime hydrologique naturel, régime environnemental, débit réservé, écosystème, méthodes d'évaluation des débits environnementaux, législation, Afrique de l'Ouest.

Table des matières

Remerciements	III
Résumé	IV
Table des matières	V
Liste des photographies.....	VII
Liste des Figures	VII
Listes des tableaux.....	VII
Liste des sigles et abréviations.....	VII
Introduction générale	1
Chapitre : I. Régime hydrologique et écosystèmes aquatiques	3
I.1 Introduction	3
I.2 Définitions	3
I.3 Le régime hydrologique, constructeur des cours d'eau	5
I.3.1 La théorie du débit dominant	5
I.3.2 La théorie des variables de contrôle et des variables de réponse	5
I.3.3 La théorie de l'équilibre dynamique	6
I.4 Diversité biologique conséquence de la variabilité hydrologique	6
I.5 Forte réponse des écosystèmes aux altérations des régimes hydrologiques	8
I.6 Conclusion	10
Chapitre : II. Synthèse et typologie des méthodes de calcul du débit réservé ...	12
II.1 Introduction	12
II.2 Méthodes hydrologiques	12
II.3 Méthodes hydrauliques	14
II.4 Les méthodes de type microhabitats.....	14
II.5 Les méthodes holistiques.....	16
II.6 Conclusion	17

Chapitre : III. Application des débits environnementaux	18
III.1 Retour d'expériences	18
III.2 Difficultés de l'application des débits environnementaux	19
III.2.1 Difficultés liées aux méthodes	19
III.2.2 Difficultés liées aux usages de la ressource en eau	19
III.3 Disposition à prendre pour l'application des débits réservés	19
Chapitre : IV. Enjeux pour l'Afrique de l'Ouest	21
IV.1 Introduction	21
IV.2 Des richesses importantes à préserver.....	21
IV.3 Des menaces réelles	21
IV.4 Des raisons d'espérer	22
IV.5 Conclusion	23
Conclusion générale.....	24
Bibliographie.....	25
Annexes : Etude de cas de détermination et de mise en place de débits réservés	i
1. Cas de la France	ii
2. Cas de l'Espagne	v
3. Cas de l'Afrique du Sud.....	ix

Liste des photographies

Photographie : 1: Les milieux aquatiques ont un rôle de sanctuaires écologiques pour une multitude d'espèces végétales et animales.....	2
Photographie : 2 « ce ne sont pas les crues très rares qui façonnent le lit des cours d'eau... »	1
Photographie : 3 Une imperméabilisation du bassin versant de 10 % en plus entraîne le doublement du débit pointe de crues	1

Liste des Figures

Figure 1: Comparaison des caractéristiques de 3 régimes hydrologiques :.....	4
Figure 2 : Les éclusées : une gestion hydrologique très destructurante :.....	9
Figure 3 : Isohyètes interannuelles (mm) dans la partie sahélienne du bassin du Niger de 1950-1995	1
Figure 4 : Evolutions des débits annuels du fleuve Niger	1

Listes des tableaux

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes	17
Tableau 2 : Evaluation du débit écologique par confédération hydrographique.....	vi

Liste des sigles et abréviations

ABN : Autorité du Bassin du Niger

CEMAGREF : Centre de recherche français sur le Machinisme Agricole le Génie Rural et les Eaux et Forêts

DWAF: Department of Water Affairs and Forestry (Département des eaux et forêts de l'Afrique du Sud)

EVHA : (Evaluation de l'Habitat) Logiciel servant à évaluer l'habitat des poissons

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

USFWS: US Fish and Wildlife Service

Introduction générale

Les cours d'eau, et plus généralement les milieux aquatiques, ont depuis longtemps été d'un très grand intérêt pour l'homme. Ces milieux recèlent de ressources qui permettent la production d'énergie hydroélectrique, l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, la pêche, la navigation, les activités récréatives, le prélèvement de granulats, la dilution et l'évacuation de déchets organiques, chimiques ou thermiques etc.

Il faut se rappeler d'autre part, qu'outre tous les bienfaits ci-dessus cités, les écosystèmes aquatiques remplissent des multiples autres fonctions certes moins bien perçues, mais garantes des usages précédents et de leur pérennité comme la production mécanique d'oxygène, la recharge des nappes phréatiques, la rétention des eaux de crue et des sédiments (contribution au contrôle des inondations), le stockage, l'assimilation et le recyclages des matières minérales et organiques (autoépuration) (SOUCHON, 2002). Ces fonctions, ajoutées à leur rôle de sanctuaires écologiques pour une multitude d'espèces végétales et animales, donnent une illustration de toute leur importance (NIASSE et al. 2002).

La nouvelle approche de gestion des ressources en eau, en cours à travers le monde, à savoir la «Gestion Intégrée des Ressources en Eau» (GIRE) est définie par le Partenariat Mondial de l'Eau comme *« un processus qui favorise le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, en vue de maximiser de manière équitable le bien-être économique et social en résultant, sans pour autant compromettre la pérennité d'écosystèmes vitaux »*. Le premier principe de la GIRE est pour sa part, ainsi libellé : *« L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, indispensable au maintien de la vie, au développement et à l'environnement »*. C'est dire toute l'importance accordée à l'environnement dans cette nouvelle approche.

Mais bien que les définitions et principes de la GIRE, mentionnent invariablement la nature, les écosystèmes, force est de reconnaître que cette prise en compte, souvent de pure forme, est rarement opérationnalisée. NIASSE et al. (2002) estiment que s'il en est ainsi, c'est parce qu'il existe un important déficit de connaissance concernant les besoins spécifiques en eau de l'environnement naturel et des écosystèmes aquatiques en particulier. Les premières estimations de ces besoins (débits environnementaux) l'ont été d'après des calculs sur des séries hydrologiques naturelles. Mais de plus en plus le concept de débit réservé ou environnemental implique une approche pluridisciplinaire entre hydrologie, hydraulique et écologie. De ces réflexions sont nées plusieurs méthodologies qui suivent des approches différentes selon les pays et le degré de prise de conscience. On dénombre actuellement à travers le monde plus de 200 méthodes (ARTHINGTON, 2004).

Le présent travail a pour but, de faire le point des connaissances sur l'estimation des besoins en eau de l'environnement ainsi que l'analyse des questions que soulève leur mise en place. Il est cependant essentiel de commencer par une meilleure appréhension du rôle de l'hydrologie c'est-à-dire par une étude des impacts des modifications des régimes hydrologiques sur les communautés aquatiques. Le contexte africain est semblable-t-il à un regain d'intérêt pour les hydroaménagements vu les projets bien avancés sur le bassin du Niger, ceux annoncés concernant le fleuve Congo et le lac Tchad. Il est de ce fait utile d'examiner quel est l'enjeu de cette question pour l'Afrique.



Photographie : 1: Les milieux aquatiques ont un rôle de sanctuaires écologiques pour une multitude d'espèces végétales et animales...

Source : BARAN et al. (2007)

Chapitre : I. Régime hydrologique et écosystèmes aquatiques

I.1 Introduction

L'augmentation croissante des besoins humains liés à des usages de plus en plus intensifs (eau potable, irrigation, hydroélectricité,) pose un problème majeur pour la préservation et la restauration des cours d'eau et des écosystèmes qui leur sont rattachés. Si depuis longtemps les aspects qualitatifs ont été au centre des préoccupations il n'en est pas de même pour les aspects quantitatifs. Ces dernières années, les scientifiques tendent à s'accorder sur le fait que le débit – plus précisément sa variabilité - jouerait un rôle majeur, d'où cette notion de débit environnemental dont nous traitons la question dans le présent travail. Dans cette partie, nous tenterons de présenter en quoi le rôle de ce débit est-il primordial pour les écosystèmes aquatiques.

I.2 Définitions

“Débit réservé”, “régime réservé”, “débit de référence biologique”, “débit minimum acceptable”, “débit écologique” ou enfin “débit environnemental” (SOUCHON et al., 1998) ; la littérature ne tarit pas de substantifs pour désigner « le débit minimal à maintenir en permanence dans un cours d'eau au droit d'un ouvrage pour sauvegarder les équilibres biologiques et les usages de l'eau en aval » (SOULARD, 2001). Le débit environnemental n'est pas une notion hydrologique mais, plutôt une notion juridique. Il s'agit en effet d'une contrainte réglementaire, le rôle de la science étant de fournir le soutien technique pour l'estimation de ses valeurs.

Cette multitude de dénominations semble traduire la difficulté du consensus sur les niveaux de protection souhaitables pour les écosystèmes car, Il n'est pas possible de traduire par un simple chiffre les besoins environnementaux des cours d'eau et des zones humides associées. Ceux-ci dépendent du caractère que l'on souhaite donner à l'écosystème fluvial en question. Si l'on veut un écosystème totalement naturel, le régime devra être naturel.

Les premières applications de la fixation de débits environnementaux avaient d'ailleurs pour but, un problème ou une espèce unique : La demande d'établissement de débits environnementaux en Amérique du Nord et en Europe du Nord émanait essentiellement de pêcheurs amateurs préoccupés par la baisse des effectifs de truites et de saumons liée aux prélèvements et au fonctionnement des barrages (DYSON, 2005). C'est ainsi que ces pays ont fait recours à la fixation d'un débit minimum d'étiage (Instream Flow Requirement) en vertu duquel, le débit du fleuve dans son cours inférieur ne devrait pas baisser au dessous du minimum défini au préalable sur la base de ce que l'on estime être les besoins minimaux en eau des espèces en question. Des débits environnementaux ont donc été fixés pour maintenir

des niveaux d'habitat critiques pour ces espèces, y compris en termes d'évacuation de sédiments, de vitesse du débit et de profondeur d'eau.

Actuellement il est difficile de parler d'écosystème totalement naturel, tous les cours d'eau étant plus ou moins "anthropisés" : Dans un bilan effectué dans 48 états des USA, BENKE (1990) cité par BARAN et al. (2007) considère qu'il ne reste que 100 km de cours d'eau à régime hydrologique non perturbé pour plus de 5 millions de km de réseau hydrographique. Et il est évident qu'à l'heure actuelle, l'homme ne peut pas renoncer à l'exploitation des ressources des hydrosystèmes car il y en va de sa survie et de son développement. Vouloir restaurer ou préserver le régime naturel pur des cours d'eau n'est donc pas un objectif raisonnablement envisageable.

Le débit environnemental sera de ce fait, l'expression d'un compromis entre les différentes utilisations de l'eau, c'est donc une question de choix social. Il sera défini comme la quantité d'eau que l'on aura allouée à l'écosystème à la suite d'un processus d'évaluation écologique, social et économique. Dans les parties qui suivent nous verrons que les besoins environnementaux ne sont pas constants dans le temps et que la notion de variabilité est essentielle. C'est ce qui amène des chercheurs comme SOUCHON (2002) à préférer la notion de régime environnemental. Pour notre part nous utiliserons invariablement les substantifs "débit réservé" (préférés par les français) et "débit environnemental" (des anglosaxons) tout en gardant présent à l'esprit la variabilité du phénomène.

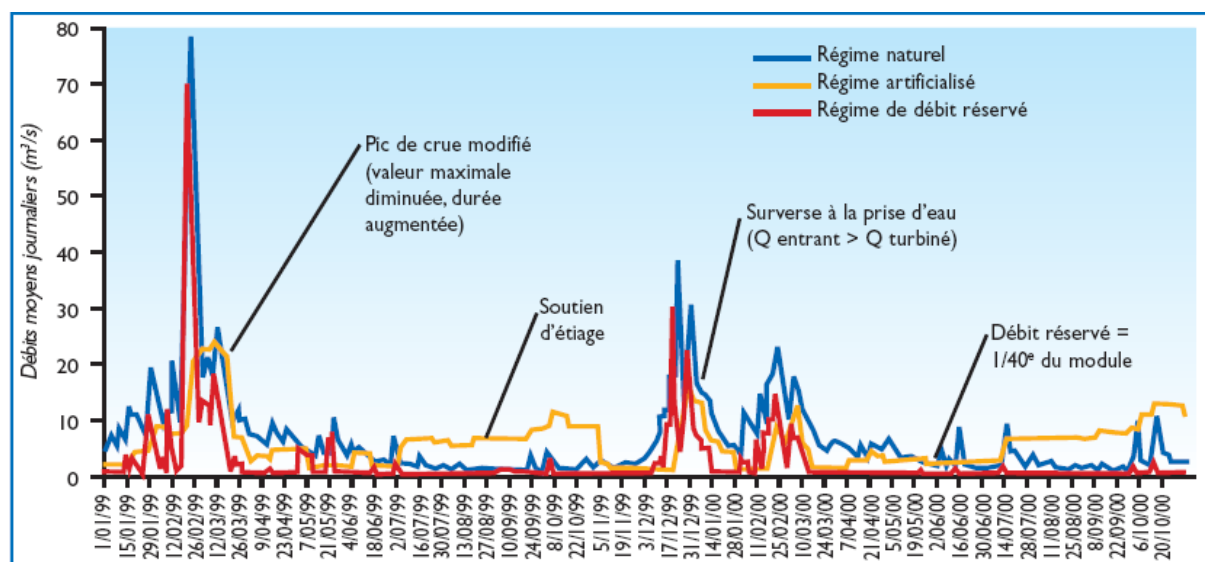


Figure 1: Comparaison des caractéristiques de 3 régimes hydrologiques : un régime naturel de type pluvial, un régime artificialisé en aval d'un grand barrage servant à l'écrtage des crues, un régime de débit réservé en aval d'une prise d'eau de centrale hydroélectrique. Le régime artificialisé se traduit par une modification des valeurs minimales et maximales, de la durée des évènements (crues), d'un changement dans la prévisibilité (décalage saisonnier des étiages). Le régime de débit réservé se traduit par d'assez longues périodes de faible débit (égal à 2,5 % du module) et le passage de forts débits lorsque les débits entrant à la prise d'eau sont supérieurs aux débits turbinés par la centrale ou lors d'arrêts de fonctionnement. Contrairement à ce que l'on pense, les régimes en débit réservé ne se traduisent que très rarement par une stabilité totale des débits. Toutefois toutes les caractéristiques du régime sont modifiées (valeurs brutes, fréquence, durée, prévisibilité). *Source* : BARAN et al. (2007)

I.3 Le régime hydrologique, constructeur des cours d'eau¹

Les dimensions adoptées par un cours d'eau – largeur, profondeur, pente, sinuosité, berges dissymétriques et profil en long irrégulier - ne sont pas des faits du hasard. La dynamique des fleuves a développé trois théories en réponse à cette question :

I.3.1 La théorie du débit dominant

Cette théorie énonce que le lit a été façonné au fil des ans par les débits liquides à faire transiter. Le débit morphogène - appelé débit dominant - est le débit liquide pour lequel le volume solide transporté est maximal compte tenu de la durée pendant laquelle ce débit est atteint en année hydrologique moyenne. Ce débit est compris entre le débit d'étiage - auquel il est supérieur - et le débit des plus fortes crues. L'étude d'un grand nombre de rivières a montré que la valeur du débit dominant est proche de celle du débit de plein bord² et que sa période de retour est de l'ordre d'une à deux années pour les rivières à sables ou à limon.

Il en résulte comme on le voit, que ce ne sont pas les crues très rares qui façonnent le lit des cours d'eau. Ces crues peuvent, quand elles surviennent, tout au plus agrandir le lit mineur, mais avec le temps, ce dernier fini par retrouver sa morphologie initiale.



Photographie : 2 « ce ne sont pas les crues très rares qui façonnent le lit des cours d'eau... »

Source : BARAN et al. (2007)

I.3.2 La théorie des variables de contrôle et des variables de réponse

Les variables de contrôle sont imposées au cours d'eau par la géologie et le climat, alors que les variables de réponse sont plutôt des degrés de liberté dont dispose le cours d'eau pour accomplir ses fonctions de base, c'est-à-dire transporter un débit liquide et une charge solide. Les variables de contrôle sont le débit liquide, le débit solide, la géométrie de la vallée, sa pente, la nature du boisement du bassin

¹ Les notions présentées dans cette partie ont été tirées sauf indication contraire de DEGOUTTE (2006)

² On appelle débit de plein bord le débit à partir duquel il y a débordement du lit mineur, ou du lit moyen s'il existe. Pour un débit supérieur le lit moyen commence à fonctionner.

versant, la couverture végétale des berges, les caractéristiques granulométriques et mécaniques des matériaux du lit et des berges.

Les variables de réponse ou d'ajustement sont :

- les paramètres géométriques, largeur, profondeur, pente du fond, amplitude et longueur d'onde des sinuosités ;
- la taille des sédiments transportés ;
- la vitesse du courant.

Pour évacuer un débit donné, la rivière dispose alors d'une infinité de solutions en jouant sur les variables de réponse. La solution adoptée est imposée par les variables de contrôle.

Ni les variables de réponse (pente et sinuosité par exemple) ni les variables de contrôle ne sont indépendantes entre elles. C'est ce que l'on observe en prenant le cas des deux principales variables de contrôle à savoir les débits liquide et solide. Si par exemple le débit liquide augmente comme au cours des crues, la rivière deviendra davantage érosive et accroîtra son débit solide ; si par contre c'est le débit solide qui est augmenté (suite à un glissement de versant, feu de brousse...), le débit ne pouvant évoluer pour s'adapter à ce surcroît de charge, des dépôts se produiront provoquant une augmentation de la pente.

I.3.3 La théorie de l'équilibre dynamique

Cette théorie démontre que les processus morphogènes qui résultent des activités d'évacuations des débits solide et liquide de la rivière n'aboutissent pas en fait à un équilibre. Au cours des crues, la force tractrice est en effet, à même de bouleverser tout équilibre en mobilisant la plupart des éléments constitutifs du lit. On peut tout au plus dire que la charge solide sortante est égale à la charge solide entrante. C'est donc d'un équilibre dynamique qu'il s'agit. Cet équilibre est un ajustement permanent autour d'une géométrie moyenne et il dépend des marges d'ajustement dont dispose la rivière :

- dépôts pour s'adapter aux fluctuations des débits solides
- modification de la profondeur d'eau ou érosion pour s'adapter aux variations annuelles de débit liquide.

Notons cependant que toutes les rivières ne sont pas en équilibre dynamique ; le déséquilibre est alors du, soit à des causes naturelles (climat et géologie), soit à des causes anthropiques.

En conclusion on retient que les régimes hydrologiques définissent la forme du fond, des berges et de la plaine alluviale des cours d'eau ; Ils sont en un mot, responsables de la morphologie du cours d'eau. Cette morphologie constitue par ailleurs le support des habitats de la faune ; autant dire que les régimes hydrologiques contrôlent la nature et la distribution des écosystèmes aquatiques.

I.4 Diversité biologique conséquence de la variabilité hydrologique

Le cycle de vie des plantes et des animaux aquatiques et riverains est étroitement synchronisé aux variations naturelles du régime hydrologique (Poff et al.,

1997). D'après ce même auteur, cinq composantes du régime hydrologique régulent les processus biologiques :

- 1) **les valeurs de débit à un instant donné** (volume d'eau écoulée par unité de temps avec une attention particulière pour les valeurs minimales et maximales),
- 2) **les fréquences** auxquelles certaines valeurs de débits particulières sont observées. (période de retour),
- 3) **les durées de certaines valeurs de débits** (périodes durant lesquelles le débit dépasse ou est inférieur à une valeur seuil donnée),
- 4) **la prévisibilité des évènements** (régularité avec laquelle certains épisodes hydrologiques reviennent),
- 5) **la stabilité** (taux de variation temporelle de débits).

De nombreux auteurs ont mis en évidence le rôle de l'hydrologie sur le fonctionnement biologique des cours d'eau :

Dans une étude sur 34 sites du Minnesota et du Wisconsin, Poff et Allan (1995) ont démontré que l'organisation fonctionnelle des peuplements piscicoles représentée par les traits biologiques des espèces (régime alimentaire, rhéophilie, forme du corps) était significativement reliée à la variabilité hydrologique des sites. Les espèces généralistes occupaient surtout les tronçons à hydrologie très variable tandis que les espèces spécialisées étaient plus fréquentes dans les sites à hydrologie stable (BARAN et al., 2007).

D'autre part de nombreux auteurs ont remarqué chez les salmonidés, lors de la reproduction ou de l'émergence des alevins que l'hydrologie conditionne une grande partie de la dynamique des populations, des alevins aux adultes (PATOINE, 1999).

On peut également citer dans ce registre, l'utilisation des zones inondées comme sites de ponte par des espèces de poissons comme la perchaude et le brochet, (Holland, 1986 cité par PATOINE (1999)). De même, certaines espèces d'oiseau utilisent ces zones comme aire de nidification et halte migratoire (exemple du lac Saint-François cité par Gillespie et al., 1991). L'alternance des périodes de crue et d'étiage est essentielle au maintien de la communauté des plantes riveraines. Par exemple, sur les berges de plusieurs rivières albertaines, les populations de peuplier ne peuvent se régénérer que sous des conditions bien spécifiques de crue et de récession des eaux (ROOD et MAHONEY, 1990 cités par PATOINE (1999)). Une grande diversité d'habitats dans le temps et dans l'espace font des rivières et de leur plaine inondable des régions extrêmement diverses et productives du point de vue biologique (POFF et al., 1997).

I.5 Forte réponse des écosystèmes aux altérations des régimes hydrologiques

L'altération des débits va générer d'importantes modifications au niveau des habitats, de leur dynamique et donc des communautés biologiques. Deux grandes catégories de perturbations vont modifier les régimes de débits :

- 🌈 ***Les altérations directes par prélèvement, transfert ou restitution*** qui modifient toutes les composantes du régime (valeur de débit, durée et fréquence des événements, prévisibilité). Ces modifications de régime hydrologique ont des impacts quantitatifs et qualitatifs importants sur les communautés biologiques et notamment les poissons (figure 2).

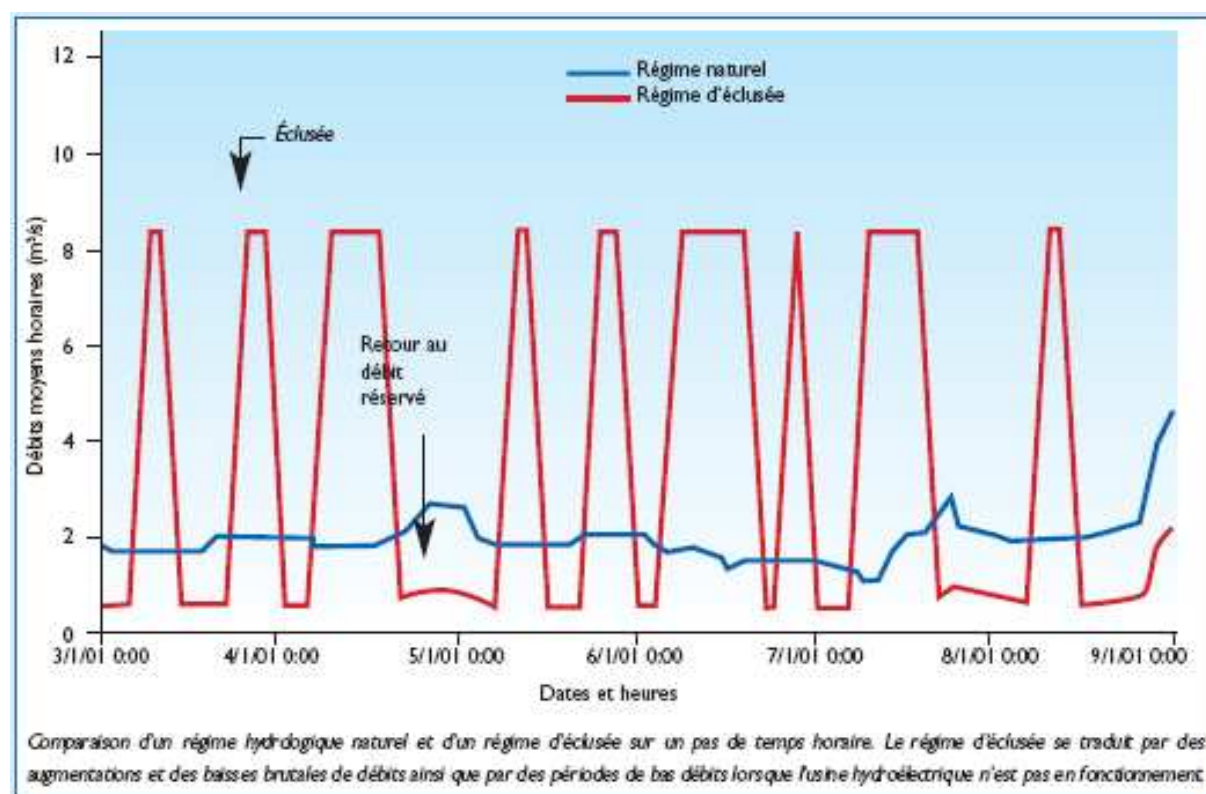


Figure 2 : Les éclusées : une gestion hydrologique très destructurante : Les observations réalisées sur différents sites des Pyrénées (Lauters 1995, Liebig 1998) ou du Massif Central (Valentin, 1995) montrent des réductions plus ou moins importantes des quantités de truites (de 50 à 86 %) dans les secteurs soumis aux éclusées. Une étude complète du Doubs à sa frontière Suisse (Degiorgi et al., 2000) a très bien quantifié les déficits en truites (plus de 70 %) dans les secteurs de rivières soumis à de fortes variations de débits liées aux éclusées. Les auteurs ont mis en évidence une relation entre le degré d'artificialisation des débits et les déficits en salmonidés. Contrairement aux réductions de débit, les éclusées affectent surtout la reproduction et les jeunes stades. Elles peuvent conduire à des mises en assec des frayères comme sur la Dordogne en aval d'Argentat ou sur son affluent la Maronne (Lagarrigue et Lascaux, 2003; Lascaux et al., 2002) avec plus de 30 % de la surface mouillée exondée au moment des bas débits. Bien que les œufs de salmonidés supportent assez bien des périodes hors d'eau (1 à 5 semaines de survie pour des œufs de salmonidés dans des graviers humides [Reiser et White, 1983]), la répétition des assècs induit malgré tout une mortalité d'œufs significative.

Les fluctuations de débits augmentent le colmatage des interstices du substrat par le sable. Des tests ont révélé une mortalité des œufs de 50 à 80 % en liaison avec des quantités fortes de sable (de 15 à 45 % du poids de granulats [Liebig, 1998]). Au moment de l'émergence, les fortes vitesses de courant peuvent conduire à un entraînement forcé des larves et à des mortalités importantes.

Dépourvus de capacité de nage, les alevins sont incapables de se déplacer pour suivre les mouvements d'eau et se retrouvent piégés ou échoués dans les bordures. Ils meurent en quelques minutes (Cushman, 1985). Sur la Nidelva en Norvège, Hvidsten (1985) a comptabilisé jusqu'à 26 alevins échoués pour 100 m² de bordure assec. Sur la Dordogne et son affluent la Maronne, les mêmes observations ont été réalisées (Chanseau et Lascaux com. pers.).

Les salmonidés ne sont pas les seules espèces affectées. Les chabots ou les loches présentent également de forts déficits dans des secteurs soumis aux éclusées comme cela a été démontré sur le Doubs frontière (Degiorgi et al., 2000, Richard, 2005). Les communautés piscicoles même dans les eaux chaudes peuvent également être profondément modifiées avec la disparition de certaines espèces (Bowen et al., 1998).

Source : BARAN et al. (2007)

📌 **les altérations indirectes liées aux modifications du bassin-versant**

L'imperméabilisation qui peut être due à une urbanisation accrue par exemple (figure 2), est l'une des principales cause des altérations du régime hydrologique sont. Une imperméabilisation du bassin versant de 10 % en plus entraine le doublement du débit pointe de crues (BARAN et al., 2007).



Photographie : 3 Une imperméabilisation du bassin versant de 10 % en plus entraine le doublement du débit pointe de crues

Source : BARAN et al., (2007).

Les changements dans le couvert forestier, la présence de plans d'eau sont également des facteurs de modifications des crues de la même façon que les drainages des terres agricoles agiront sur les "petits" évènements hydrologiques (crue annuelle). Ils seront par contre sans réels effets sur les grandes crues (BARAN et al., 2007).

Les altérations du régime hydrologique entraînent la disparition ou une réduction importante de certains habitats et de certaines espèces : Sur le Sénégal, par exemple, la régulation des débits a conduit à la disparition d'environ 50 000 ha de zones humides dans le delta (DYSON et al., 2005). La modification du régime hydrologique des rivières a des conséquences sur la biodiversité et la productivité biologique, notamment par la dégradation de la qualité de certains habitats. Par exemple, dans certaines rivières régulées l'accumulation de sédiments fins dans les graviers nuit à certains organismes, tels les alevins de saumon, qui ont besoin d'un habitat bien oxygéné pour se développer. La perte de crues isole la rivière de ses milieux humides riverains, entraînant la dégradation de ces derniers.

I.6 Conclusion

La variabilité spatiale et temporelle des apports en eau en sédiments mais aussi en solutés et matières organiques est le principal moteur de l'organisation biologique au sein du bassin versant. Cette variabilité est garantie par :

- a) Le maintien de la **connectivité hydraulique longitudinale et latérale**, c'est-à-dire les relations continues dans le sens du parcours d'eau et de sa largeur (SOUCHON, 2002);

- b) le maintien de **débits d'inondation** pour la plaine alluviale assurant différentes fonctions comme la dynamique de la matière organique et des sédiments fins, le maintien des ripisylves et des forêts alluviales, la recharge des nappes phréatiques, l'instauration de zones de reproduction saisonnières pour les poissons (SOUCHON et al., 2002 ; BARAN et al., 2007) ;
- c) le maintien de **débits de plein bord** responsables de la taille et de la forme des lits des cours d'eau. Dans la plupart des cas, la période de retour du débit de plein bord a été estimée entre 1 et 3 ans, la valeur modale s'établissant à 1,5 ans (Petts, 1993) ;
- d) le maintien de **débits de régénération**. Ils correspondent aux débits nécessaires au maintien de la qualité du substrat, au contrôle de la végétation et à l'élimination des accumulations de sédiments fins organiques et minéraux (Petts, 1993),
- e) le maintien de **débits « métronomes »** saisonnalisés sur lesquels sont calés les horloges biologiques (montaison, dévalaison des poissons et divers autres rythmes biologiques) (SOUCHON, 2002).

Chapitre : II. Synthèse et typologie des méthodes de calcul du débit réservé

II.1 Introduction

A l'heure actuelle, on recense dans la littérature scientifique, plus de deux cents méthodes pour déterminer un débit environnemental (ARTHINGTON et al., 2004). On les regroupe généralement en quatre grandes catégories à savoir, les méthodes hydrologiques, les méthodes hydrauliques et les méthodes d'habitat préférentiel (ou de type microhabitats) et les méthodes holistiques.

Les méthodes hydrologiques sont les plus simples d'application, mais donnent des résultats approximatifs et généralement conservateurs, c'est-à-dire protectionnistes de la ressource faunique (PATOINE et al., 1999). A l'opposé, les méthodes d'habitat préférentiel sont les plus précises mais demandent plus d'effort d'analyse et de relevés sur le terrain. Dans ce qui suit nous donnons une description de chacune de ces méthodes.

II.2 Méthodes hydrologiques

Les premières méthodes appliquées pour définir des débits environnementaux ont été l'œuvre des hydrologues confrontés à la définition de débits standards pour la dilution des eaux. Ces méthodes sont basées sur une analyse temporelle des données hydrologiques enregistrées sur une période d'observation suffisamment longue (généralement 20 ans ou plus). De fait, elles s'appuient sur un portrait historique du régime hydrologique d'une rivière pour établir un débit réservé écologique.

La prémisse de base commune à toutes les méthodes hydrologiques est que l'écosystème aquatique d'une rivière est fonction du régime hydrologique qu'a connu ce cours d'eau dans le passé (FAUNE ET PARCS QUÉBEC, 1999). La gestion des débits résultant de l'utilisation de méthodes hydrologiques est donc orientée vers le maintien des conditions d'eau observées antérieurement. Ces méthodes consistent essentiellement à fixer un débit environnemental équivalant à une fraction du débit moyen ou correspondant à une fréquence de dépassement d'après la courbe des débits classés. Ces méthodes peuvent être classées en trois catégories :

- 1)** celles qui expriment le débit environnemental en pourcentage du module interannuel du cours d'eau ou des modules saisonniers. La méthode la plus connue employant ce type d'approche a été proposée par TENNANT (1976), (cité par SOUCHON (1998) et REBILLARD (2006)). Elle a été mise au point en utilisant des données de calibrage de centaines de cours d'eau du Middle West (États-Unis) pour déterminer des débits minimums destinés à protéger un environnement fluvial. On détermine les pourcentages du débit moyen annuel assurant aux poissons différentes qualités d'habitat; Le 1/10ème du

module interannuel correspond à une qualité médiocre, 30% de ce même module correspond à une qualité moyenne et 60 % à une excellente qualité (DYSON, 2005). Les débits conseillés sont saisonnalisés et il est prévu de garantir un débit de "nettoyage" des substrats en produisant une crue artificielle une fois par an égale à 200 % du module (SOUCHON, 1998).

- 2) celles qui s'appuient sur les courbes des débits classés associant à chaque débit le pourcentage de temps au cours duquel il est dépassé. Elles sont utilisées pour fixer un débit réservé en fonction d'indices divers. C'est ainsi qu'ont été avancés le 7Q10 au USA (correspondant au débit le plus bas au bout de 7 jours consécutifs, à fréquence d'une fois seulement tous les dix ans), le Q347 en Grande Bretagne et au Pays de Galles, équivalent au percentile 95% de la courbe des débits classés ou le QMNA 5 en France en vigueur pour les objectifs de qualité (REBILLARD, 2006).
- 3) celles qui prennent en compte la variabilité hydrologique à partir de facteurs multiples. Dans ces méthodes, le régime naturel est pris comme référence et il est caractérisé par cinq catégories principales : la magnitude, la fréquence, la durée, le taux de variation et la saisonnalité. L'objectif de ces méthodes est de déterminer un régime réservé qui soit le plus proche possible du régime naturel étant donné les contraintes imposées par les différents usages de la ressource (REBILLARD, 2006)).

Le principal avantage de toutes les méthodes hydrologiques est le fait qu'une fois que la procédure générale a été développée, la mise en oeuvre demande relativement peu de ressources. Comme limite de ces méthodes on pourra citer :

- Le fait que les indices soient fondés uniquement sur les données hydrologiques car les facteurs biologiques et d'habitat ne sont pas considérés, ce qui s'accompagne souvent de qualités d'habitat médiocres et altère la dynamique naturelle des écosystèmes fluviaux.
- Le débit écologique est une valeur unique à mettre en place pendant toute l'année, sans prendre en compte les fluctuations hydrologiques intra et inter-annuelles.

Pour toutes ces raisons, et malgré leur utilisation encore répandue dans certaines régions, les valeurs obtenues comme un pourcentage du module ou du débit d'étiage sont considérées comme peu scientifiques et peu efficaces du point de vue écologique. En règle générale, ces méthodes sont donc particulièrement indiquées dans le cas de situations où la controverse est faible. Les débits environnementaux ainsi déterminés ont un rôle préventif (DYSON et al., 2005).

II.3 Méthodes hydrauliques

Les méthodes hydrauliques permettent d'établir, dans une certaine mesure, une relation entre la quantité d'habitats disponibles et le débit à un site donné sur une rivière. L'habitat est évalué sur la base d'une ou de plusieurs caractéristiques physiques du cours d'eau, tels le périmètre mouillé, la largeur au miroir du plan d'eau, la vitesse moyenne du courant ou la profondeur maximale ou moyenne.

La prémisse de base des méthodes hydrauliques est qu'il existe un lien direct entre la valeur des caractéristiques physiques du cours d'eau et la quantité d'habitats disponibles, généralement sans égard à la qualité. Le débit réservé retenu correspond le plus souvent au débit en dessous duquel la modification des caractéristiques physiques de l'écoulement occasionne une diminution importante de la quantité d'habitats disponibles et au-dessus duquel le gain est faible (FAUNE ET PARCS QUÉBEC, 1999).

La méthode hydraulique la plus utilisée actuellement reste la méthode du périmètre mouillé qui consiste à identifier un point d'inflexion sur le graphe d'évolution de ce périmètre avec le débit. On peut citer, dans ce même chapitre d'une part la méthode basque (BAUTISTA, 2002) qui préconise de maintenir au minimum 60% du périmètre mouillé, ainsi que d'autre part, la recommandation en vigueur en Suisse, avec le maintien d'au moins 20 cm de hauteur d'eau dans les cours d'eau (SOUCHON, 1998).

Cette méthode a beaucoup été utilisée aux États-Unis et en Australie. SOUCHON (1998) a souligné les difficultés d'identification des seuils au dessous desquels le périmètre mouillé se réduit rapidement. Du fait de cette limitation, la méthode convient mieux pour conforter un processus décisionnel basé sur des scénarios et les négociations d'allocation d'eau que pour déterminer un seuil écologique.

Ces méthodes ont été peu à peu abandonnées ou plutôt intégrées dans des modèles d'habitat plus complexes où la relation entre paramètres hydrauliques et écologiques est explicite.

II.4 Les méthodes de type microhabitats

Cette approche a été initiée aux États-Unis au début des années 1980 (STALKANER (1979), MILHOUS (1979), BOVEE (1982) cités par REBILLARD (2006)). On part du fait qu'il est difficile d'établir un lien direct entre changements du régime de débit et réactions des espèces. Il a donc fallu mettre au point des méthodes utilisant des données relatives à l'habitat d'espèces cibles pour déterminer les besoins en débit écologiques.

La méthode des microhabitats fournit une quantification des capacités d'accueil potentielles pour le poisson, en fonction du débit. Dans ses grands principes, elle consiste à déterminer sur une portion de cours d'eau, la surface d'habitat favorable à une espèce en couplant :

- ✚ D'une part, les composantes de la structure physique d'habitat. Les variables morphodynamiques retenues sont la Hauteur d'eau, la Vitesse du courant et la granulométrie du Substrat (HVS). Elles sont constituées, pour différents débits, au moyen d'un modèle hydraulique renseigné à partir d'une description hydraulique et topographique de la station étudiée.
- ✚ D'autre part, un modèle biologique traduisant la densité relative des différents stades de développement des espèces de poisson et les valeurs des variables prises en compte dans le modèle hydraulique. Les relations habitat-poissons sont traduites en courbes de préférence ;

La méthode pionnière dans ce domaine a été mise au point à la fin des années 1970 au sein du US Fish and Wildlife Service (USFWS) au Colorado. Elle est maintenant largement mise en œuvre en France, en Norvège, en Nouvelle Zélande, et dans bien de pays ayant mis au point des méthodes similaires de façon indépendante. En France un progiciel dénommé EVHA (pour Evaluation de l'HAbitat,) diffusé par le CEMAGREF, a été mis au point avec le concours du ministère de l'Environnement, pour permettre ce type d'application (SOUCHON, 1998).

Régulièrement remise à jour pour intégrer de nouveaux paramètres, cette méthode n'envisage plus seulement les simples courbes de débit et de durée d'habitat mais procède également à une analyse plus poussée des réductions d'habitat selon divers scénarios. Cela permet ainsi de comparer en termes quantitatifs divers scénarios par rapport à une situation de référence, généralement de débits naturels.

Elle a le principal avantage de séparer le rôle de l'hydraulique sur les peuplements du rôle des autres facteurs, ce qui permet de quantifier l'impact des modifications hydrauliques.

On peut également citer comme avantage des méthodes de modélisation de l'habitat le fait qu'il existe des manuels précis définissant les procédures étape par étape, ce qui permet la reproduction des résultats par différents chercheurs, à titre individuel ou en équipes. En revanche, une utilisation par des professionnels peu expérimentés peut aboutir à des applications médiocres (DYSON et al., 2005).

Quant aux inconvénients ce sont les suivants :

- L'insuffisance actuelle des connaissances sur le comportement des poissons migrateurs.
- La nécessité d'un long et coûteux travail de terrain pour la récolte des données.
- Le grand nombre de compétences disciplinaires à mobiliser.
- La carence de séries hydrologiques complètes rend souvent nécessaire la reconstitution des débits naturels, ce qui est assez correct pour des débits mensuels ou annuels, mais manque de précision par rapport aux variations journalières (BAUTISTA, 2002).

- Méthodes donnant des résultats largement biaisées dans le cas des cours d'eau torrentiels : la morphologie du lit est modelée par les crues morphogènes du lit, avec un débit souvent beaucoup plus élevé que celui qui correspond au module. Ceci amène parfois à des situations paradoxales, où le débit écologique obtenu est supérieur à celui d'étiage naturel.

II.5 Les méthodes holistiques

Les premières bases de l'approche holistique ont été proposées par ARTHINGTON et al. (1992). Par la suite, une large gamme de méthodes utilisant cette approche a été développée et appliquée, au départ en Australie et Afrique du Sud et plus récemment dans le Royaume-Uni. Ce type d'approche soutient que si certaines caractéristiques du régime hydrologique naturel peuvent être identifiées et incorporées adéquatement dans un régime d'écoulement modifié, toutes choses étant égales par ailleurs, alors le biotope et l'intégrité fonctionnelle de l'écosystème devraient être maintenus (ARTHINGTON, 2004). Plutôt que de chercher à optimiser les régimes des cours d'eau pour une ou un certain nombre d'espèces, une meilleure approche serait d'essayer d'approcher le régime d'écoulement naturel qui a maintenu la panoplie entière d'espèces SPARKS (1995), cité par ARTHINGTON (2004). L'approche holistique consiste également, à appréhender l'environnement dans sa globalité, avec les zones humides associées, les nappes phréatiques et les estuaires et en tenant compte de toutes les espèces sensibles au débit, telles que les invertébrés, les végétaux et les animaux. Les méthodes développées dans ce registre traitent également de tous les aspects du régime hydrologique, dont les crues, les sécheresses et la qualité de l'eau (DYSON, 2005). Elles nécessitent de ce fait, des connaissances pluridisciplinaires en termes d'hydrologie, de conditions hydrauliques d'habitat, de géomorphologie, de qualité de l'eau, et d'écosystèmes (végétation aquatique et rivulaire, macroinvertébrés, poissons et autres vertébrés...). Elles s'appuient sur des avis d'experts ou sur des modélisations quand les données nécessaires sont disponibles.

Les événements hydrologiques critiques pour l'ensemble de l'écosystème sont identifiés en tenant compte de différents indices de variabilité du régime. Le débit réservé ainsi déterminé est la résultante des différentes composantes correspondant chacune à un objectif écologique précis.

Principalement développé en Afrique du Sud et en Australie, les méthodes holistiques sont actuellement en plein essor tant dans les pays développés que dans les pays émergents. Cette approche est comme une chance pour cette dernière catégorie de pays, pour lesquels l'état des connaissances et le manque de données rendent trop coûteuse en temps et en argent l'application de méthodes de type microhabitat. L'avantage de l'approche holistique est sa souplesse et la nécessité d'établir un consensus entre les experts qui adoptent ainsi la meilleure solution sur la base des données et des résultats du modèle disponibles. L'inconvénient est qu'elle

n'est pas nécessairement reproductible et qu'un autre groupe d'experts pourrait aboutir à des conclusions différentes.

II.6 Conclusion

Les avantages et inconvénients des différentes méthodes sont résumés dans le tableau 1. Le choix va en effet dépendre des données disponibles et du type de question à examiner. Par exemple, pour les pays africains où les données ne sont pas toujours disponibles, la méthode holistique serait la mieux indiquée.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes

Type de méthode	Avantages	Inconvénients
Hydrologique	Peu onéreuse, rapide d'utilisation une fois calculée	Pas spécifique au site. Les indices hydrologiques n'ont pas de validité écologique.
Hydraulique	Spécifique au site Collecte de nouvelles données limitée	Nécessite des séries sur de longues périodes Pas d'utilisation explicite des données écologiques Temps nécessaire pour réunir les données écologiques
Microhabitats	Peut être reproduit, prédictive	Coût et complexité de la collecte des données hydrauliques et écologiques ; Recours à une grande variété d'experts
Holistiques	Souple, robuste, plus axée sur l'écosystème dans son ensemble	Coût de la collecte de toutes les données pertinentes et du recours à une grande variété d'experts. Difficulté d'obtention d'un consensus entre les experts.

Chapitre : III. Application des débits environnementaux

III.1 Retour d'expériences

La genèse de la réflexion sur les débits environnementaux ainsi que la prise en compte de ces derniers dans la législation est étroitement liée à l'évolution de la perception de la valeur de la nature dans les différents pays à travers le monde. En effet, au fur et à mesure que les préoccupations environnementales ont gagné du terrain, la nécessité s'est faite sentir de se doter de moyens juridiques adéquats pour éviter ou atténuer les impacts potentiels des options de gestion et d'exploitation des ressources en eau des bassins fluviaux.

A travers le monde les pays ont chacun leurs propres expériences de l'évaluation des débits environnementaux. Dans certains d'entre eux, comme l'Afrique du Sud, la France, l'Espagne (annexe I), les Etats Unies, et l'Australie, des méthodes spécifiques ont été mises au point et des experts sont disponibles dans les universités, les cabinets de consultants et les agences gouvernementales, et des programmes nationaux de surveillance continue sont en place. Ceci n'est pas le cas de la plupart des pays au monde en particulier sur le continent africain. Dans cette catégorie de pays les seules références réglementaires à la nécessité de prendre en compte les besoins environnementaux sont énoncées dans les lois et règlements relatifs à la protection en général, de l'environnement.

Pour les pays les plus avancés en ce domaine et selon le degré d'avancement des revendications écologiques mais surtout de la recherche scientifique hydroécologique, les réponses juridiques au problème des débits environnementaux sont en général de deux types :

- Dans un premier temps, les valeurs des débits environnementaux sont fixées à partir de méthodes hydrologiques : 1/10 du module interannuel, etc.
- Dans un second temps, la législation s'appuie sur un système d'autorisation, de concession ou de licences pour lesquelles des études d'impact environnemental sont réalisées afin d'adapter au cas par cas la valeur du débit environnemental.

D'une manière générale, la législation impose seulement le respect d'une valeur unique de débit réservé quelque que soit le mode de détermination de cette valeur. La prise en compte de l'importance de la variabilité hydrologique naturelle pour la préservation des écosystèmes aquatiques n'est pas encore explicite au niveau juridique.

III.2 Difficultés de l'application des débits environnementaux

III.2.1 Difficultés liées aux méthodes

La première difficulté à laquelle il faut faire face est liée aux méthodes : Il existe comme nous l'avons vu, une grande variété de méthodes pour déterminer les débits environnementaux. Les principales difficultés et insuffisances des différentes méthodes ont été présentées au tableau 1. On constate qu'aucune méthode ne s'impose de manière absolue, comme la meilleure ou la plus appropriée. Le choix va en effet dépendre des données disponibles et du type de question à examiner.

III.2.2 Difficultés liées aux usages de la ressource en eau

Une fois établi un régime réservé répondant aux objectifs écologiques fixés encore faudra-t-il qu'il soit compatible avec les autres usages :

- Pour l'irrigation, l'industrie ou l'alimentation en potable le passage au régime réservé est moins contraignant sauf en période d'étiage où la ressource est à son minimum. L'intégration d'un régime réservé dans les plans de gestion peut toutefois modifier le volume d'eau disponible dans les réservoirs au début de la saison sèche, en particulier si une partie du volume habituellement stocké en saison des pluies a été utilisé pour restaurer le régime naturel de crues.
- Les contraintes imposées à l'hydroélectricité sont plus importantes. La demande en électricité est variable en fonction non seulement des saisons mais également des moments de la journée. L'impératif économique d'ajuster le débit au travers de l'ouvrage en fonction de la demande énergétique est incompatible avec l'intégration dans les plans de gestion de régime environnemental, les hydrogrammes des deux flux n'étant pas en phase. De plus, le stockage de l'eau en fonction de la demande énergétique induit souvent une atténuation et un décalage temporel des événements hydrologiques extrêmes, ce qui s'oppose également au respect de la variabilité hydrologique nécessaire à l'environnement.

Pour toutes ces raisons, le passage de la notion au régime réservé place l'usage hydroélectrique au centre des négociations (REBILLARD, 2006).

III.3 Disposition à prendre pour l'application des débits réservés

Dans de nombreux pays, l'expérience et l'expertise pour estimer et appliquer un régime environnemental font défaut et les données disponibles sont limitées. En cas de volonté d'instaurer un régime environnemental sur un cours d'eau donné les actions suivantes nous semblent être nécessaires :

1^{ère} étape : Définir clairement les objectifs pour le cours d'eau et les scénarios de prélèvement et d'utilisation de l'eau. Ces objectifs doivent comporter des indicateurs mesurables qui pourront constituer le fondement des attributions d'eau. Les objectifs

sociaux et politiques sont en la matière, tout aussi importants que les objectifs environnementaux. Pour réussir, il est donc essentiel d'associer au processus des représentants des divers utilisateurs ainsi que des scientifiques et des experts.

2^{ème} étape : Envisager le système fluvial et de drainage dans son contexte général. Cela signifie qu'il faut étudier le bassin depuis sa source jusqu'à ses environnements estuarien et côtier, y compris ses zones humides, ses plaines d'inondation et les nappes phréatiques qui lui sont associées. (DYSON, 2005).

3^{ème} étape : Développer la collecte de données hydrométriques (débit des cours d'eau), hydrauliques (niveau d'eau et section du cours d'eau) et écologiques (espèces présentes, emplacement et liens avec le débit) dans un grand nombre de sites représentatifs de la situation nationale et créer une base de données ouverte au public.

4^{ème} étape : Identifier les compétences dans les domaines pertinents, et notamment hydrologie, hydraulique, chimie de l'eau, botanique, zoologie des invertébrés et des vertébrés aquatiques, géomorphologie et ingénierie. Leurs compétences doivent se traduire par des connaissances bien précises de l'hydroécologie des cours d'eau du pays. Ils doivent avoir appris à travailler en équipes multidisciplinaires et être à même de comprendre les domaines de leurs collègues (DYSON, 2005).

5^{ème} étape : Mettre en place un programme de recherche pour développer, caler et valider localement des méthodes appropriées.

Chapitre : IV. Enjeux pour l'Afrique de l'Ouest

IV.1 Introduction

L'intégration des débits réservés dans la gestion des hydrosystèmes n'est pas encore à l'ordre du jour dans cette partie du monde. Et pourtant l'enjeu est de taille car les écosystèmes à préserver y sont très riches en biodiversité et de bienfaits socioéconomiques et culturels. Les menaces sont importantes mais tout n'est pas encore perdu.

IV.2 Des richesses importantes à préserver

L'Afrique de l'Ouest se caractérise par un gradient pluviométrique Nord-sud très fort : D'une pluviométrie moyenne annuelle de plus de 2 000 mm au sud Nigeria on passe à moins de 50 mm à l'extrême nord du Niger. Cette inégale répartition de la pluviométrie est corrigée par le réseau hydrographique dont la configuration permet le transfert des volumes des zones humides du Sud aux zones moins humides du Nord. C'est ainsi que les principaux cours d'eau de la région (Niger, Sénégal, Gambie, réseau du lac Tchad) prennent leur source dans des régions soudaniennes bien arrosées avant de traverser les zones sahéliennes où les déficits pluviométriques sont chroniques (NIASSE et al., 2002). Ces cours d'eau inondent en période de crue, de vastes plaines où se sont établies et développées des civilisations humaines depuis des siècles ainsi qu'une riche biodiversité (végétale, ichtyologique et avicole notamment). Parmi les plaines d'inondation sahéliennes façonnées par la crue annuelle, les plus vastes sont le delta intérieur du Niger (3 millions d'ha), la moyenne vallée du Sénégal (500.000 ha) et la plaine du Hadejia Nguru au Nord Nigeria (400.000 ha) (NIASSE et al., 2002).

IV.3 Des menaces réelles

Ces cours d'eau qui constituent actuellement, la principale ressource en eau renouvelable sont menacés par une série de facteurs à savoir :

- 🌍 Le premier facteur a trait aux changements et à la variabilité climatique qui ont entraîné une migration des isohyètes vers le sud d'une distance d'environ 100 km à partir de 1970 (ABN, 2004).

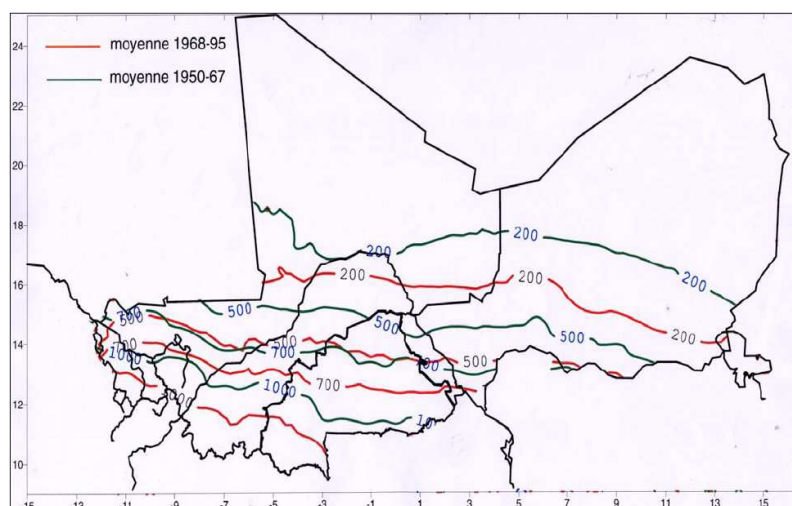


Figure 3 : Isohyètes interannuelles (mm) dans la partie sahélienne du bassin du Niger de 1950-1995

Source : archive CIP-HYDRONIGER-ABN

Cette baisse pluviométrique généralisée, notamment dans la partie sahélienne, s'est traduite par une réduction des écoulements de surface d'environ 20 à 50% comme l'indiquent les graphiques de la figure 2. Les étiages sont parfois sévères et vont jusqu'à l'arrêt des écoulements comme ce fut le cas par exemple du Bani à Douna (Mali) en 1983, 1984 et 1987 et du Niger à Niamey en 1985 (ZWARTS et al., 2005).

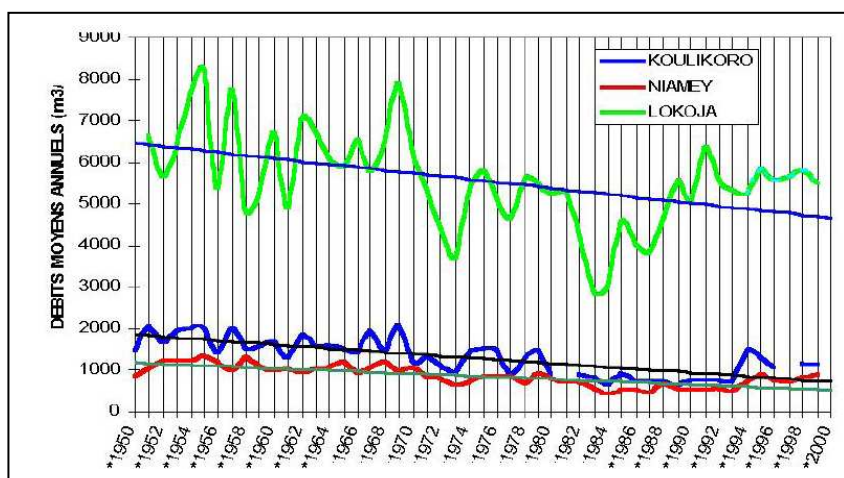


Figure 4 : Evolutions des débits annuels du fleuve Niger aux stations de Koulikoro (Mali), de Niamey (Niger) et de Lokoja (Nigeria) – tendance générale à la diminution de l'ordre 20 à 50%)

Source : archive CIP-HYDRONIGER-ABN

Le second péril qui guette les cours d'eau ouest-africains et les écosystèmes qui leur sont rattachés a trait à la relance des grands projets de barrages à laquelle on assiste actuellement. Le contexte économique international actuel est en effet, au renchérissement de l'énergie, des produits agricoles et de biens d'une manière générale. Cela rend compétitif des projets d'irrigation ou de production d'hydroélectricité même en zone sahélienne malgré la tare climatique incompressible (fortes pertes en eau par évaporation). L'Autorité du bassin du Niger vient d'adopter son plan d'aménagement où la construction de trois barrages est programmée...

IV.4 Des raisons d'espérer

Malgré toutes ces menaces et leur gravité, tout n'est pas encore perdu.

✚ La première raison d'espérer est due au fait que les hydrosystèmes ouest africains sont parmi ceux ayant subi le moins de transformation. En dehors du Burkina Faso qui comptabilise à lui seul plus de 1500 barrages les réalisations sont peu nombreuses sur les cours d'eau.

✚ La deuxième raison d'un espoir se justifie par le fait que le dispositif juridique et institutionnel prend progressivement en compte la dimension multi-sectorielle de la gestion de l'eau, et considère de plus l'environnement comme un secteur à part sinon prioritaire (NIASSE et al., 2002). La généralisation de l'approche GIRE comme méthode de gestion des ressources en eau en est une illustration.

IV.5 Conclusion

En Afrique de l'Ouest comme d'ailleurs partout dans le monde, l'adoption et la mise en œuvre concrète de politiques de l'eau garantissant la conservation et le développement durable des écosystèmes aquatiques, à travers des actions comme l'imposition des régimes réservés est une nécessité. Tant qu'il n'y a pas de réponse à la question des besoins en eau environnementaux, il sera difficile de légiférer en la matière et dame "nature" risque de continuer à être le parent pauvre des politiques de gestion des ressources en eau. Il faudra que l'Afrique s'investisse aussi, au même titre que les pays qui y sont avancés (Etats Unis, Australie...), dans la recherche pour l'appréhension et l'estimation des besoins en eau des écosystèmes. La première action à mener reste cependant la vulgarisation de la problématique auprès des populations notamment sa frange active - société civile et décideurs politiques.

Conclusion générale

La gestion intégrée des ressources en eau implique la recherche d'un compromis entre d'une part les besoins en eau de la production électrique, de l'irrigation, de l'alimentation en eau potable des populations ou encore de la navigation... et d'autre part la nécessité de sauvegarder la richesse des écosystèmes. Pour que ce compromis soit équitable il est nécessaire que soit connus les besoins de ces différents usages de la ressource. Plus de deux cent méthodes d'estimation des besoins en eau des écosystèmes (débit environnementaux) ont ainsi été développées à travers le monde, méthode que l'on a regroupé en quatre catégories à savoir : les méthodes hydrologiques, hydraulique, de type microhabitats et holistiques. Les difficultés de l'application des débits ainsi déterminés résident non seulement dans les insuffisances des méthodes à répondre de façon complète et adéquate à la question, mais également dans le caractère difficilement conciliable des besoins des usages.

Les cours d'eau africains sont certes les moins anthropisés du monde mais cela ne saurait tarder. Déjà pèsent sur elles les menaces liés aux changements et à la variabilité climatiques ; les crises énergétique et alimentaire auxquelles le monde fait face actuellement ne sont pas pour arranger la situation.

Il est donc urgent que nos pays se réveillent de ce laxisme vis-à-vis de la question environnementale et en particulier, des écosystèmes aquatiques. L'intégration des régimes environnementaux dans la gestion des ressources en eau est une nécessité pour tous les pays. Sans cela, la Gestion Intégrée de Ressources en Eau que l'on essaie de pratiquer dans tous nos pays ne serait pas effective.

Bibliographie

ABN, 2004, « Processus d'élaboration d'une vision partagée pour le développement du bassin du fleuve Niger : Feuille de route après Paris », 12 pages.

ARTHINGTON A.H. & ZALUCKI J.M., 1998. Comparative evolution of environmental flow assessment techniques: review of holistic methodologies. Land and Water Resources Research and Development Corporation Occasional Paper n° 27/98. Canberra, Australia. 149 pages.

ARTHINGTON A.H., THARME R.E., BRIZGA S.O., PUSEY B.J. & KENNARD M.J., 2004. Environmental flow assessment with emphasis on holistic methodologies. Centre for Riverine Landscapes, "Faculty" of Environmental Sciences, Griffith University, Nathan, Queensland, Australia, 31 pages.

BARAN P., & LEROYER-GRAVET F., 2007. Le débit élément-clé de la vie des cours d'eau : Bilan des altérations et des possibilités de restauration. ONEMA, CSP édition 2007. 13 pages.

BAUTISTA A. G., 2002. La problématique des débits réservés dans le contexte de l'Union Européenne : Le cas de l'Espagne, la France et le Royaume Uni. Rapport de stage au Laboratoire d'Hydroécologie Cemagref. Lyon. 78 pages.

BLANCHON D., 2003. La nouvelle politique de l'eau en Afrique du Sud : vers une gestion environnementale des ressources ? In L'Espace Géographique 2003-1, P21-30. Université de Lyon II/ Université Paris X

DE JALÓN D. G., 2003. The spanish experience in determining minimum flow regimes in regulated streams. Canadian Water Resources Journal Vol. 28, No. 2, 2003

DEGOUTE G., 2006. Diagnostic, aménagement et gestion des rivières : Hydraulique et morphologie fluviales appliquées. Edition TEC et DOC Lavoisier 75008, Paris. 396 pages.

DYSON M., BERGKAMP G. & SCANLON J., 2005. Débit – Les débits environnementaux: ce qu'il faut savoir. UICN, Gland (Suisse) et Cambridge (Royaume-Uni), 152 pages.

FAUNE ET PARCS QUÉBEC, 1999. Politique de débits réservés écologiques pour la protection du poisson et de ses habitats. Direction de la faune et des habitats. 23 p.

NAVRATIL O., 2005. Débit de plein bord et géométrie hydraulique : Une description synthétiques des cours d'eau pour relier les bassins versants et les habitats aquatiques. Thèse de doctorat de l'INPG. Grenoble. 50 pages.

NIASSE M. & LAMIZANA B., 2002. Prise en compte de l'environnement et du social dans les politiques de l'eau en Afrique de l'Ouest. Fondements juridiques et leçons de l'expérience. IUCN-BRAO, Ouagadougou. 15 pages.

PATOINE A., BLAIS A.M., FORGET M.H., LAMONTAGNE S., MARTY J., 1999. Respecter la variabilité naturelle pour une gestion durable des ressources aquatiques. Département de Sciences biologiques, Université de Montréal. Mémoire remis au Bureau des audiences publiques sur l'environnement dans le cadre des audiences publiques sur la Gestion de l'eau au Québec. 16pages.

POFF N. L., ALLAN. J. D., BAIN B., M., KARR J. R., PRESTEGAARD K. L. RICHTER B. D., SPARKS E. R. & STROMBERG J. C., 1997. The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration. Bio Science, vol.47, n°11, 769-784

POUILLY, M., VALENTIN, S., CAPRA, H., GINOT, V. & SOUCHON, Y., 1995. Note technique: méthode des microhabitats, principes et protocoles d'application . Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. 336: pages 41-54.

REBILLARD V. 2006. Détermination et mise en place de régimes réserves pour les cours d'eau . ENGREF (Centre de Montpellier) & CEMAGREF (Lyon). 26 pages.

SOUCHON Y., 2002 Hydrodynamique et écologie : Principes théoriques et modèles applicables a la gestion des cours d'eau à migrateurs. Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative Cemagref Lyon. 6 pages.

SOUCHON Y., ANDRIAMAHEFA H., BREIL P., ALBERT M.B., CAPRA H. & LAMOUREUX N., 2002. Vers des nouveaux systèmes pour la gestion des hydrosystèmes : couplage des recherches physiques et biologiques sur les cours d'eau. In Nature Sciences Société, 2002, vol. 10 suppl. 1 : pages 26 – 41.

SOUCHON Y., VALENTIN S., & CAPRA H., 1998. Peut-on rendre plus objective la détermination des débits réservés par une approche scientifique. In La Houille Blanche, n°8-1998 : pages 41-45.

SOULARD B., 2001. Dictionnaire français d'hydrologie. CNFSH (Comité français des sciences hydrologiques).

ZWARTS Leo, VAN BEUKERING Pieter, KONE Bakary, WYMENGA Eddy, 2005, « Le Niger, une artère vitale: Gestion efficace de l'eau dans le Bassin du Haut Niger », Riza-Rijkswaterstaat/Wetlands international/institute for Environmental studies /A&W conseillers ecologiques, 306 pages.

**Annexes : Etude de cas de détermination et de mise en
place de débits réservés**

1. Cas de la France

En France, avant 1984, le débit réservé faisait partie du cahier des charges de tout ouvrage hydraulique. Cette contrainte était négociée en fonction des conditions locales et des caractéristiques de l'ouvrage (SOULARD, 2001). *En 1984 la loi "Pêche"* applique le principe de priorité de la nature en imposant aux gestionnaires des ouvrages de rétention des cours d'eau certaines conditions :

- ✚ Un débit minimal libre, le *débit réservé*, garantissant la vie et la reproduction des poissons.
- ✚ La mise en place de dispositifs permettant le passage des poissons migrateurs.
- ✚ La demande d'autorisation avant toute vidange.

L'article L.232-5 du Code Rural, récemment remplacé par *l'article L.432-5* du code de l'environnement institue l'obligation de laisser couler dans le cours d'eau un débit minimal. Ainsi, il impose :

- ✚ Que tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces piscicoles.
- ✚ Que ce débit minimal ne peut être inférieur au 1/10 du module interannuel du cours d'eau ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur.
- ✚ Que pour les ouvrages existants, le débit "réservé" ne pourra être inférieur au 1/40 du module, sauf en cas de renouvellement d'autorisation ou de concession, auquel cas le dixième leur sera applicable.
- ✚ Par ailleurs, il prévoit la possibilité de dérogation pour les cours d'eau de module supérieur à 80 m³/s.
- ✚ Le Rhin et le Rhône échappent à ces contraintes en raison de leur caractère international.

Par ailleurs, la loi sur l'Eau de 1992 précise les régimes d'autorisation et de déclaration pour l'usage de l'eau par l'intermédiaire de quatre décrets: décrets 93-742 du 29 mars 1993, 94-894 du 13 octobre 1994, 95-1204 et 95-1205 du 6 novembre 1995. Pour les ouvrages hydroélectriques, le régime d'autorisation dépend de la puissance et s'appuie sur une enquête publique et une étude (ou notice) d'impact. Pour les autres prélèvements, le débit de référence est le QMNA5 (débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans). Une déclaration est nécessaire pour des prélèvements compris entre 2 et 5% du QMNA5. Au-delà de 5%, ils sont soumis à autorisation.

L'application de cette règle s'est avérée difficile dans de nombreux bassins où le débit d'étiage, du fait des conditions climatiques et de la géologie du bassin versant, s'abaisse déjà naturellement en dessous de ces valeurs. Dans de nombreux cas, l'application stricte de la loi n'est pas possible et obligerait alors les collectivités à recourir à de nouvelles ressources en eau, en pratique à créer de nouveaux

stockages (barrages) pour pallier le manque d'eau en étiage habituel (car en cas de situation exceptionnelle, la réglementation prévoit que soient prises des mesures particulières). L'application stricte de la règle des 10 % supprimerait souvent toute possibilité de salmoniculture, puisque ces établissements sont installés en dérivation et que le cycle de vie des poissons d'élevage ne doit pas être interrompu.

Plusieurs cas d'essai d'application de méthodes diverses développées sous d'autres cieux ou sur place ont été enregistrés en France comme par exemple les méthodes DGB (Débit de Garantie Biologique) ou celle de la DIREN de Lorraine, etc. La valeur de 1/10 du module interannuel s'applique en absence d'étude d'impact. Néanmoins, dans le cas de nouvelles autorisations la demande d'étude de débit réservé est systématique. Les méthodes actuellement validées scientifiquement et qui sont globalement acceptées et demandées par les organismes de gestion sont :

📊 **Méthodes hydrologiques :** Les valeurs retenues pour le débit réservé (dixième du module) ou pour le débit de référence (QMNA5) découlent des approches hydrauliques validées à la fin des années 1970. Plus précisément, le dixième du module est la valeur critique obtenue par la méthode du Montana (REBILLARD, 2006).

📊 **Méthodes de type microhabitats :** Bien qu'il n'y ait pas de prescription réglementaire explicite, c'est de façon implicite, la méthode de microhabitats qui est requise. Et la France a fait un effort considérable dans ce domaine, à travers les travaux du Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative du CEMAGREF de Lyon qui a développé le logiciel *EVHA* (*E*valuation de l'*H*abitat). Il s'agit d'un modèle conçu sur une démarche de type microhabitats qui s'appuie sur la méthodologie *IFIM* américaine et plus particulièrement sur son module *PHABSIM*. Le domaine d'application d'*EVHA* comprend les petits et moyens cours d'eau à moyenne énergie. Dans le guide méthodologique est spécifié que "la méthode doit être réservée préférentiellement aux cours d'eau à truites (hors torrents de montagne), et aux cours d'eau mixtes à dominant salmonicole" (Ginot et al., 1998).

La principale difficulté de cette méthode réside dans le fait qu'elle nécessite diverses importantes compétences disciplinaires et implique un long et coûteux travail de terrain pour la récolte des données.

📊 **Méthodes statistiques :** Le même Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative du Cemagref de Lyon a développé une autre méthode en réponse à la complexité d'application de la méthode des microhabitats. *Estimhab* est un outil de modélisation de l'habitat potentiel avec une approche stochastique. Comme les méthodes classiques de type microhabitats, il prédit quantitativement la variation de l'habitat disponible en fonction du débit. Le grand avantage d'*Estimhab* est de simplifier les variables d'entrée nécessaires pour l'estimation de l'habitat : il suffit de connaître le débit, la largeur mouillée

et la hauteur moyenne, ainsi que la taille moyenne du substrat sur le tronçon étudié.

Pour l'instant, le débit réservé préconisé par chaque étude d'impact a une valeur unique mais la notion de régime réservé devrait être introduite avec l'application de la Directive Cadre sur l'Eau. En ce qui concerne les données disponibles, il y a encore un manque d'observations sur les effets à moyen-long terme de la mise en place de débits réservés pour les cours d'eau.

2. Cas de l'Espagne

L'organisation de l'Espagne se caractérise en premier par une décentralisation des autorités : chacune des 17 Communautés Autonomes (CA) a des pouvoirs importants et partage des compétences avec le gouvernement central en matière d'environnement et de gestion des ressources.

La législation sur les ressources en eau a plusieurs sources : le texte constitutionnel, les statuts d'autonomie, la régulation sectorielle de l'état (Loi de l'Eau) et d'autres dispositions dictées par les CA.

Les étapes importantes de la réglementation en matière de fixation de débits environnementaux sont :

- 📌 **les législations de 1866 et de 1879**, où apparaît la notion d'exploitation économique de l'eau. Aucune limite n'est fixée à l'utilisation des cours d'eau.
- 📌 **loi du 20 février 1942** de régulation de la pêche fluviale. Première prescription de débit dont le minimum est fixé à 30 l/s en général et à 150 l/s pour les cours d'eau à salmonidés. Elle prévoyait des prescriptions sur le passage des poissons migrateurs.
- 📌 **Constitution Espagnole de 1978** impose comme principe à l'Administration le devoir de veiller "à l'usage rationnel des ressources naturelles, afin de défendre et de restaurer l'environnement".
- 📌 **Loi 29/1985 du 2 août sur l'Eau** ("Ley de Aguas"), comporte diverses références aux "débits écologiques" notamment comme contenu obligatoire des plans de bassin. Il contient les régulations par rapport aux usages communs et privatifs : tout usage privatif requiert une concession administrative.
- 📌 **L'Ordonnance du 24 septembre 1992**, complémentaire pour l'élaboration des plans hydrologiques des bassins intercommunautaires, impose de façon plus précise que des débits minimaux soient fixés dans chaque projet pour des raisons environnementales.

Les institutions et les organisations

Le Conseil National de l'Eau, créé par la loi de 1985 est l'organisme supérieur de consultation. Il est obligatoirement consulté pour le Plan Hydrologique National, les plans de Bassin, les projets d'aménagement du domaine public hydraulique, etc.

Les organismes de bassin ("Confederación Hidrográfica"), s'occupent notamment de l'élaboration du Plan Hydrologique de Bassin, ainsi que du suivi et de la révision des concessions existantes. L'étendue territoriale des organismes de bassin a été déterminée par décret en 1987.

En général, tous les organismes de bassin sont sujets à la Loi sur l'Eau de 1985, qui dicte les principes de base de la gestion de l'eau. En ce qui concerne

l'usage de l'eau, elle prévoit une assignation de ressources pour garantir les besoins en qualité et en quantité des milieux naturels, ce qui est désigné comme débit minimum ou écologique. Ce débit n'est pas un usage en soi, mais une restriction au reste des usages. Néanmoins elle ne spécifie aucune valeur seuil d'où une relative autonomie des organismes de bassin pour imposer les débits réservés. Il en résulte une importante hétérogénéité des valeurs choisies selon les confédérations hydrographiques.

Le tableau 2 résume les débits réservés retenus selon les bassins (BAUTISTA, 2002).

Tableau 2 : Evaluation du débit écologique par confédération hydrographique

Confédération Hydrographique	Evaluation du débit écologique
Nord	10% module. Minimum absolu de 50 l/s
Duero	Non spécifiée
Ebro	Individualisée ou 10% module
Tajo	Individualisée ou 50% du Qétiage
Guadiana	1% de l'apport aux réservoirs
Guadalquivir	Chiffrée ou 35% du Q19
Júcar	Individualisée ou 1% des ressources du bassin
Segura	Chiffrée ou 10% module
Sud	Individualisée ou 10% module

Dans les années 90, plusieurs groupes de recherche se sont intéressés à la problématique des débits réservés. Plusieurs méthodes ont été développées, reposant sur différentes approches hydrologique, hydraulique, physico-chimique, biologique... Souvent il s'agit d'une adaptation des principes des méthodes utilisées ailleurs (IFIM/PHABSIM, méthodes holistiques, etc.) aux cours d'eau espagnols.

Ci-dessous sont résumées les principales avancées de la recherche scientifique espagnole à ce sujet.

➤ **Méthodes hydrologiques** : Parmi ces méthodes on peut citer :

- **Les méthodes basées sur un pourcentage ou sur les débits naturels classés** comme le Q330 ou le Q347 (débits dépassés par 330 et 347 jours à l'année) employées dans plusieurs communautés autonomes : le Principado de Asturias (Résolution 1988), la Navarre (Décret de 1990), Castilla y Leon (Loi 6/1992)...
- **La méthode des moyennes mobiles de Palau (1994)** qui calcule les débits écologiques en appliquant des moyennes mobiles sur la chronique

des débits d'un tronçon. Les débits ainsi déterminés sont validés par comparaison avec une courbe de préférence d'habitats.

- **La "Basic Flow Method" (Palau & Alcázar, 1996)** élaborée en Catalogne. Il s'agit également d'un index basé sur les séries hydrologiques avec comme particularité de considérer la variabilité du débit comme responsable de l'organisation du système : largeur et profondeur du lit substrat, vitesses, etc. Tous ces facteurs conditionnent le type de communauté aquatique des cours d'eau. Les composants physiques et biologiques du système sont considérés comme variables dépendantes dans une équation où seule le courant est la variable indépendante. Les séries hydrologiques contiennent donc toute l'information pour expliquer la structure et les besoins en eau d'un cours d'eau ou tronçon.
- **Méthodes d'évaluation de l'habitat :** Elles s'inspirent de la méthode IFIM/PHABSIM. C'est le cas du groupe de D. G. de Jalón, qui utilise une démarche très proche de celle de IFIM/PHABSIM, mais où les simulations hydrauliques sont réalisées avec des modèles 1-D et 2-D adaptés du River 2D (BAUTISTA A. G., 2002). Les modèles 1-D et 2-D, de concert avec les courbes de préférence d'habitat d'espèces autochtones clés et des mesures de diversité des macro-invertébrés ont été utilisés pour établir la relation entre les débits réservés et les aires pondérées utiles d'habitat. Les débits minimums étudiés sont ceux qui produisent le plus de changements d'habitat. L'évaluation du potentiel d'habitat produit par les apports naturels est utilisé pour mieux comprendre les stratégies de survie de plusieurs espèces autochtones de poissons, ce qui permet ensuite d'établir leurs besoins en terme de débits. La variabilité du régime est le facteur prépondérant qui structure les différents types de cours d'eau (DE JALÓN, 2003).
- **La méthode basque :** Dans le Pays Basque, Docampo et de Bikuña (1995) ont développé une méthode basée sur l'hypothèse que les communautés de macro-invertébrés changent en fonction du continuum (amont-aval) des cours d'eau. Pour chaque bassin versant étudié, ils ont élaboré une relation empirique basée sur le nombre d'espèces benthiques présentes à l'intérieur du périmètre mouillé et le débit réservé. On cherche à définir ainsi un débit réservé considéré suffisant pour permettre de maintenir au moins 15 différentes espèces (DE JALÓN, 2003).
- 🌍 **Modèle RECE (Régime Saisonnier de Débits Ecologiques)** (Docampo, 1997) : Ce modèle introduit une variation du débit réservé au cours de l'année selon des périodes dépendant du régime hydrologique du cours d'eau. Toutefois, la variabilité du régime naturel est seulement intégrée de façon saisonnière ou mensuelle dans les préconisations (REBILLARD, 2006).

Malgré des intentions clairement affichées pour prescrire des débits écologiques par la réglementation et malgré, les efforts des chercheurs pour créer ou adapter des méthodes d'estimation des besoins en eau des écosystèmes aquatiques, l'application pratique de ses débits reste très déficiente en Espagne en général. Cela est du notamment à l'insuffisance des données environnementales ou biologiques disponibles car, il n'existe pas encore de réseau national cohérent en la matière.

3. Cas de l'Afrique du Sud

L'évolution de la politique de gestion de l'eau en Afrique du Sud s'inscrit dans deux phases :

La première phase se situe de 1950 à 1994, période avant l'arrivée de l'ANC au pouvoir. Cette période a été marquée par le water Act de 1956 dans le cadre duquel, l'Afrique du Sud a entrepris la construction d'un grand système de transfert d'eau, pour mettre en valeur les terres semi-arides du sud et de l'ouest du pays. Cette période se présente sous le jour de deux situations contradictoires : d'une part le gaspillage de l'eau agricole, distribuée à très bas prix aux fermiers blancs, protégés pour des raisons électorales mais aussi idéologiques, et d'autre part le sous-équipement des populations non-blanches, privées d'accès à l'eau et de systèmes d'assainissement.

La deuxième période se situe après l'arrivée au pouvoir de l'ANC. Le nouveau régime va tout de suite s'atteler suivant un long processus de consultation, à la rédaction d'un *Livre Blanc* sur la politique de l'eau (*White Paper on National Water Policy for South Africa*) qui va aboutir en avril 1997. Ce livre blanc adopte explicitement les "principes de Dublin" et va servir de base à l'ambitieuse loi sur l'eau de 1998 qui prévoit une réforme radicale de la gestion de l'eau.

Cette loi de 1998 a pour objectif d'améliorer et de rendre équitable, l'accès à l'eau aux millions de Sud-Africains (notamment noirs) qui en étaient privés, tout en protégeant un environnement fortement dégradé. Elle a institué pour ce faire, une "Réserve" à laquelle elle a conféré en ses articles 16, 17 et 18, un caractère inaliénable et prioritaire sur tous les autres usages. Cette réserve concerne autant la quantité que la qualité des eaux et est constituée de deux parties égales : d'une part, les besoins humains élémentaires pour la boisson, la préparation de la nourriture et l'hygiène personnelle, évalués à environ 25 litres par personne et par jour, qui devraient être, à terme, distribués gratuitement par le DWAF (Department of Water Affairs and Forestry) et, d'autre part, la réserve environnementale, qui représente « l'eau qui est nécessaire pour la protection des écosystèmes aquatiques ». Cette réserve qui fait partie du domaine réservé du ministère central non seulement ne peut être remise en cause par les décisions des Agences de bassin, mais mieux, prévaut sur les engagements internationaux.

Comme tous les usages de l'eau sont déterminés par la Réserve, le gouvernement a dû rapidement procéder à des estimations pour tous les cours d'eau. Ce processus s'est déroulé en quatre étapes :

- la détermination des besoins humains fondamentaux ;
- le classement des cours d'eau en quatre catégories, de A (rivières définies en état naturel) à D (rivières complètement artificialisées ou fortement polluées) ;
- l'établissement d'un objectif de qualité de l'écosystème concerné, qui détermine la qualité de l'eau souhaitable et les écosystèmes particuliers que l'on souhaite protéger ;

- enfin, le calcul définitif de la Réserve, prenant en compte les variations saisonnières et interannuelles.

Calculée pour chaque bassin versant de quatrième ordre, la Réserve se compose du débit de maintenance de basses eaux (maintenance low flows), du débit de maintenance de hautes eaux (maintenance high flows), censé reproduire les cycles de hautes eaux et du débit de basses eaux en période de sécheresse (drought low flows).

Ce processus a été mis en place avec l'aide de nombreux chercheurs et spécialistes en hydrologie sud-africains. L'établissement de la Réserve s'appuie sur une large concertation avec les acteurs concernés et dans le cadre d'une vision globale du bassin versant (Méthodes holistiques). Le problème est que ce processus coûte très cher et que le temps imparti a été très bref. Il était donc hors de question d'appliquer un processus complet pour les milliers de bassins versants de quatrième ordre sud-africains. Un document interne prévoit plusieurs procédures, qui peuvent prendre de 24 heures à 12 mois, pour établir la Réserve. Seuls quelques cours d'eau, comme la Sabie, ont été étudiés de façon approfondie. La plupart n'ont eu droit qu'à une approximation rapide, avec des résultats en conséquence, comme dans le cas de l'Orange.