



RAPPORT

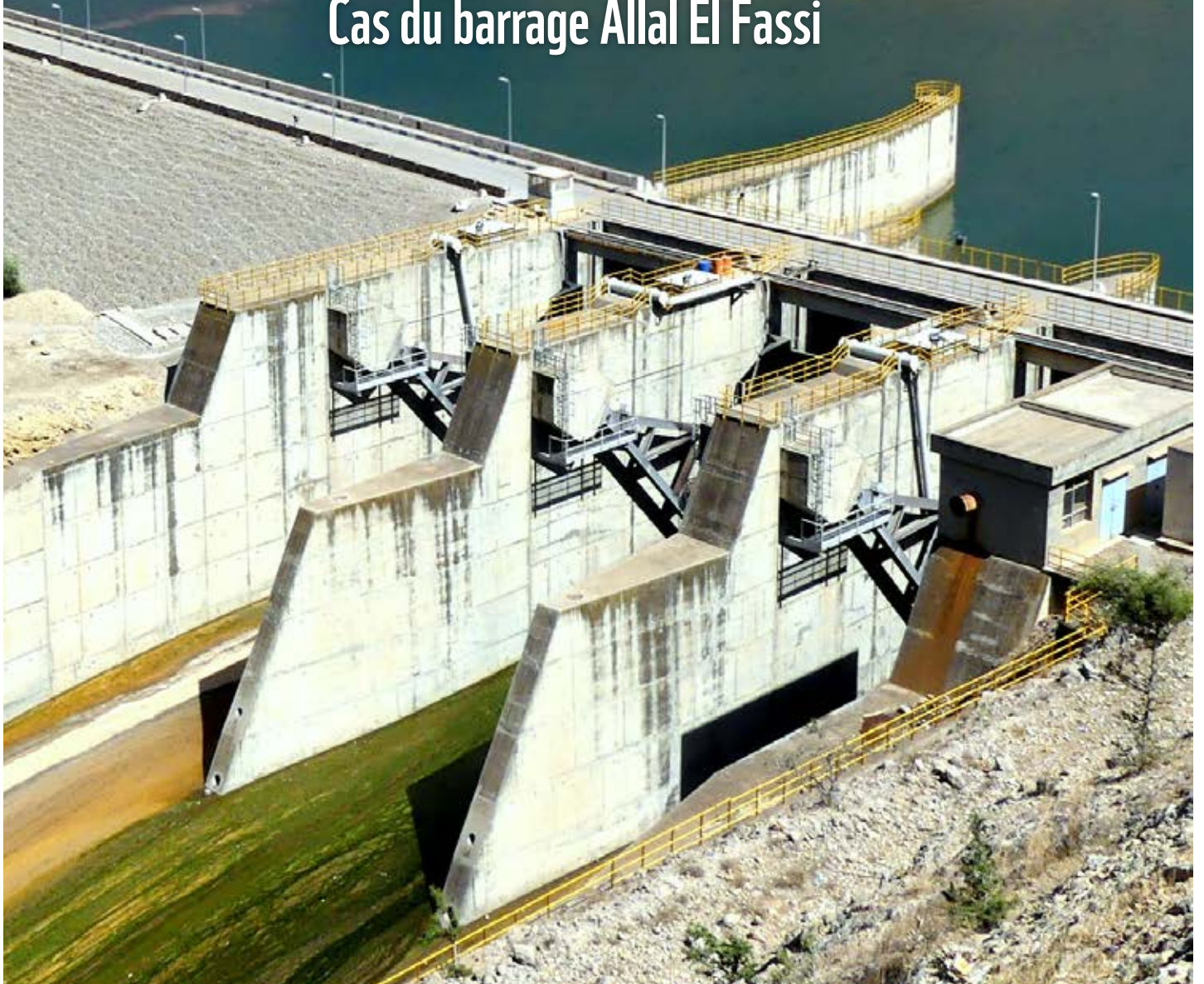
RÉÉDITION
JANVIER
2019

ENSEMBLE
POUR PRÉSERVER
LES RESSOURCES
EN EAU



DEBIT ECOLOGIQUE DANS LE SEBOU

Cas du barrage Allal El Fassi



Cet ouvrage a été réalisé par le WWF, en partenariat avec l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS), dans le cadre d'une étude pilote pour définir le débit écologique au niveau du Barrage Allal El Fassi, avec pour objectif d'assurer à long terme la qualité écologique des eaux de surface et de sauvegarder la biodiversité dans les cours d'eau.

Les études d'évaluation pluridisciplinaires qui ont permis de définir le débit écologique ont été réalisées par des experts de l'Institut Scientifique de Rabat (ISR), de la Faculté des Sciences de Rabat (FSR) et de la Faculté des Sciences de Meknès (FSM) :

- Pr. Mohammed FEKHAOUI (ISR) : Etude hydrologique.
- Pr. Ahmed YAHYAOUI (FSR) : Etude des poissons.
- Pr. Oumnia HIMMI (ISR) : Etude des macroinvertébrés.
- Pr. Mohamed IBN TATTOU (ISR) : Etude de la végétation.
- Pr. Abdelkader CHAHLAOUI (FSM) : Etude de la qualité de l'eau.

La compilation des études précitées, le choix de la méthodologie de calcul du débit écologique et la supervision des résultats ont été réalisés par Dr. Rafael Sánchez Navarro, Expert en hydrologie et écologie des écosystèmes aquatiques.

La présente étude a bénéficié du soutien total et de l'expertise de l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou.

Publication réalisée par :



Contact:

281, Bd Moulay Youssef.
Résidence Azur 3 – 3^{ème} étage.
Casablanca, Maroc.
Tél.: +212 522 48 57 55
Mail: ymadani@wwfna.org



SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
• Contexte	6
• Objectifs	7
MÉTHODOLOGIE	8
• Approche holistique	8
• Application de la BBM dans le Sebou.....	9
AIRE D'ÉTUDE ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE	11
• Bassin du Sebou	11
• Aire d'étude	14
• Stations d'échantillonnage.....	15
ETUDE HYDROLOGIQUE	19
• Données hydrologiques.....	20
• Conditions hydrologiques naturelles.....	20
ETUDE DES POISSONS.....	25
• Peuplement de poissons dans le bassin du Sebou	26
• Situation actuelle du peuplement de poissons dans la zone d'étude.....	28
ETUDE DES MACROINVERTÉBRÉS	33
• Peuplement de macroinvertébrés dans le bassin du Sebou	34
• Situation actuelle du peuplement de macroinvertébrés dans la zone d'étude	37
ETUDE DE LA VÉGÉTATION	43
• Végétation de la zone d'étude	44
• Espèces de flore de haute valeur de conservation	46
• Richesse floristique	47
• Commentaires finaux sur les peuplements végétaux.....	53
ETUDE DE LA QUALITÉ DE L'EAU	55
• Evaluation générale de la qualité de l'eau au niveau de la zone d'étude	56
• Analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau	57
MISE EN PLACE D'UN DÉBIT ÉCOLOGIQUE.....	66
• Objectifs	66
• Recommandations sur le débit	66
• Recommandations pour le débit dans l'oued Sebou à Azzaba	67
• Recommandations pour le débit en aval du barrage à Zawyat Sidi Salem et Masdoura	71
VOIE À SUIVRE	74
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	76
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	79

CONTEXTE

Il a été relevé que le suivi de la qualité des eaux de surface en général, et dans le bassin du Sebou en particulier, se basait sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux sans prendre en considération le critère écologique. De ce constat émergera l'idée de ce projet pour évaluer l'état écologique des eaux de surface du Sebou en mettant en place un système de suivi tenant compte des écosystèmes et de la biodiversité aquatique.

L'usage des ressources hydriques de par le monde, a induit des aménagements massifs et d'infrastructures au niveau des cours d'eau, ayant pour conséquence un dysfonctionnement des écosystèmes aquatiques.

Au-delà des préoccupations environnementales, il peut également compromettre certains services actuels tels que la production d'eau potable ou des services futurs en altérant la dynamique de fonctionnement écologique du milieu.

En termes strictement environnementaux, les flux écologiques sont considérés dans le contexte de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE) comme « un régime hydrologique compatible avec la réalisation des objectifs environnementaux de la DCE dans les masses d'eau naturelles » (WFD CIS, 2015). Néanmoins, les flux environnementaux couvrent d'autres dimensions culturelles, écologiques, économiques, politiques ou sociales.

Dans un contexte plus large, la déclaration de Brisbane définit les flux environnementaux comme « la quantité, le timing et la qualité des flux d'eau requis pour maintenir les eaux douces et les écosystèmes estuariens ainsi que les moyens de subsistance et de bien-être des humains qui dépendent de ces écosystèmes » (Déclaration de Brisbane, 2007).

Le présent document synthétise l'ensemble des activités réalisées pour appliquer l'approche holistique dans l'oued Sebou en accordant une attention particulière au barrage Allal El Fassi.

Les cinq études pluridisciplinaires réalisées dans le cadre du projet sur le débit écologique à appliquer au niveau du bassin du Sebou représentent une étape préliminaire de collecte de données de base pour les gestionnaires des bassins hydrographiques aux niveaux national, régional et local, et ce pour pouvoir appliquer des approches similaires pour des résultats meilleurs et plus équitables de répartition des eaux.

OBJECTIFS

Les objectifs du projet peuvent être divisés en objectifs directs (*à court terme*) et objectifs indirects (*à long terme*), et ce comme suit :

- Collecter des données relatives à l'approche holistique pour évaluer le débit écologique du Sebou en aval du barrage Allal El Fassi ;
- Présenter le principe de débit écologique ;
- Appliquer la méthode holistique considérée fiable pour évaluer les débits écologiques au Maroc ;
- Produire des recommandations sur le débit écologique et les travaux futurs.



Barrage Allal El Fassi entravant la libre circulation des poissons

APPROCHE HOLISTIQUE

Cette section présente principalement l'approche de l'étude des flux environnementaux dans l'oued Sebou. Les sections suivantes présentent les résultats de l'étude sur le terrain et les approches dans lesquelles ces résultats ont été utilisés.

L'équipe de spécialistes et les gestionnaires des ressources en eau du bassin du Sebou se sont réunis lors d'un premier atelier organisé en 2014 pour discuter la méthodologie proposée « Approche holistique » pour l'évaluation du débit écologique dans le Sebou.

Le choix de l'approche holistique BBM (Building Block Methodology ou Méthode des blocs de construction) est dû au fait que c'est une méthode largement utilisée en Afrique, et qui fournit des recommandations fiables sur les débits écologiques avec des exigences minimales en matière de données.

L'approche BBM (King et al., 2008) a été développée en tant que méthode basée sur l'évaluation des flux environnementaux en amont et en aval, en incluant les besoins d'écoulement d'eau pour différentes espèces ou les exigences des fonctions écologiques tout en tenant compte de la dynamique du système aquatique. La BBM est essentiellement une approche prescriptive, conçue pour construire un régime d'écoulement permettant de maintenir une rivière ou un fleuve dans une condition prédéterminée.

Toutes ces méthodologies d'étude de flux environnementaux appartiennent à un groupe d'approches qui sont fondées sur le «paradigme du flux naturel». Celui-ci indique que la variabilité des débits, telle qu'elle se trouve dans les cours d'eau naturels, est essentielle au maintien et à la conservation de la biodiversité et de l'intégrité écologique. Cette variabilité de débit favorise la diversité biologique, influence les modèles de vie, aide la connectivité latérale et longitudinale et est moins favorable pour les espèces exotiques envahissantes.

Le cadre générique proposé pour l'évaluation des flux environnementaux s'appuie sur cinq hypothèses de base :

- Dans la plupart des cours d'eau, le débit minimal naturel maintient la santé des écosystèmes à un niveau acceptable ou garde les valeurs des écosystèmes à un risque acceptable. Généralement, il y a assez d'eau dans les fleuves et les rivières pour qu'elles soient raisonnablement utilisées à des fins non-environnementales.
- La variabilité du débit et le régime de perturbation naturelle d'un cours d'eau sont importants pour le maintien de son état naturel.

- Le régime d'écoulement peut être caractérisé par un ensemble de composantes écologiquement importantes.
- Il est possible de décrire, de manière indépendante, les conséquences probables pour la santé des cours d'eau, de ne pas fournir chaque élément d'écoulement nécessaire ou de ne pas fournir les composants d'écoulement sous leur forme complète.
- Les attentes de l'état de santé de l'oued à atteindre par le régime de débit écologique ne sont pas limitées par des facteurs non liés au flux, comme l'habitat physique (*abri et substrat*), l'approvisionnement alimentaire, la température et la qualité de l'eau, l'exploitation directe du biote (*comme la pêche*), les obstacles au mouvement ou une perturbation directe du biote (*extraction du gravier*).

APPLICATION DE LA BBM DANS LE SEBOU

L'atelier de concertation sur la méthode BBM a réuni une équipe de spécialistes pluridisciplinaires composée d'un hydrologue, d'un hydraulicien, d'un géomorphologue fluvial, d'un spécialiste de la qualité de l'eau, d'un spécialiste de la végétation riveraine, d'un ichtyologiste et d'un spécialiste en macrosinvertébrés.

L'équipe a sélectionné des sites représentatifs dans des zones distinctes de l'oued Sebou, a interrogé les caractéristiques physiques et biologiques de ce cours d'eau en fonction des niveaux d'écoulement, puis a évalué leur dynamique lors des événements de débit faible et élevé. Les scientifiques se sont appuyés sur des indicateurs pertinents pour suggérer des niveaux d'écoulements minimaux durables pour chaque composante de l'écosystème fluvial durant les conditions de débit de base pendant les mois secs, les conditions d'écoulement de maintenance pendant les mois humides, ainsi que les inondations pouvant se produire plusieurs fois par an.

Des recommandations sur le débit ont été faites pour deux années de sécheresse lorsqu'il est nécessaire d'assurer une durabilité des fonctions de l'oued à un niveau de base, et également pour les années d'entretien lorsque les processus normaux devraient se produire.

L'équipe a ensuite collaboré pour parvenir à un consensus sur les niveaux d'écoulement, qui peuvent maintenir l'écosystème de l'oued dans la catégorie de gestion écologique souhaitée.

MÉTHODOLOGIE

Les recommandations de débit peuvent être faites soit pour maintenir un fleuve ou une rivière à son état écologique actuel, soit pour l'améliorer à un état moins endommagé.

Elles ont été ensuite extrapolées sur toute une année hydrologique, suivant la forme de l'hydrogramme naturel de l'oued.

La prescription finale du débit écologique est un régime d'écoulement mensuel modifié qui peut être présenté comme un ensemble de cibles de flux pour les gestionnaires des ressources en eau.

Dans le projet actuel, les besoins en matière de débit se concentrent sur les préoccupations environnementales, car les besoins des autres parties prenantes sont pris en compte dans le processus



AIRE D'ÉTUDE ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

BASSIN DU SEBOU

Les caractéristiques physiques

Le bassin du Sebou, d'une superficie de 40 000 km², est situé au nord-ouest du Maroc et considéré comme l'un des bassins les plus importants du Royaume. Il comprend le tiers des ressources en eau de surface du pays. Il est drainé par l'oued Sebou qui prend naissance dans le Moyen Atlas et parcourt environ 500 km avant de rejoindre l'océan Atlantique, près de Kénitra.



Figure 1 : Stations hydroclimatologiques du bassin du Sebou
(Source : ABHS)

Le Cycle hydrologique et les ressources en eau de ce bassin sont marqués par des apports en eau, connus pour leur irrégularité dans le temps et dans l'espace. En effet, du point de vue morphométrique, le bassin versant du Sebou, forme une cuvette entre le Rif au Nord, le Moyen Atlas, la Meseta au Sud, le couloir Fès-Taza à l'Est et l'Océan Atlantique à l'Ouest. Il est caractérisé par des reliefs qui diffèrent du nord au sud. Ce contraste morphologique influence fortement la répartition des pluies et le régime d'écoulement des Oueds. Ainsi, le Rif, au nord, avec ses versants abrupts et son important réseau hydrographique, fournit les plus grands volumes d'eau de type torrentiel.

En revanche, le Moyen Atlas, par ses étendues de formations karstiques et ses précipitations régulières, permet la constitution d'un important réservoir souterrain et joue un rôle de rétention d'eau. Par ailleurs, les fluctuations hydroclimatiques déterminées, à partir des débits liquides annuels, pour la saison 1940-1979 (Haida et al., 1999) révèlent une alternance de saisons humides (d'une durée de 3 à 9 ans) et sèches (de courte durée).

A partir de 1980, un long épisode de sécheresse s'est installé au cours duquel les écarts entre besoins et ressources en eau ont été très importants. Ainsi, de nombreux points de prises d'eau ont été installés le long des cours d'eau ce qui a contribué à une surexploitation des eaux de surface lors des années de sécheresse et à la construction des grands barrages sur le Sebou et ses affluents.

AIRE D'ÉTUDE ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type méditerranéen à influence océanique. A l'intérieur du bassin, le climat devient plus continental. La pluviométrie moyenne annuelle du bassin est de 600 mm, avec un maximum de 1 000 mm/an sur les hauteurs du Rif et un minimum de 300 mm sur le haut Sebou et les vallées de l'oued Beht.

Les aspects socio-économiques

Le bassin du Sebou abrite une population de 6,2 millions d'habitants, dont 30% vit dans la zone de la plaine du Saïss, qui regroupe les villes impériales de Fès, Meknès et une dizaine de centres urbains. La population urbaine, qui est localisée dans 73 villes et centres du bassin, est estimée à 3,7 millions d'habitants tandis que la population rurale est localisée au niveau de plus de 6 000 douars.

Le bassin du Sebou dispose d'une économie agricole et industrielle, qui contribue considérablement à l'économie nationale. Cependant, l'irrégularité des précipitations constitue un facteur limitant du développement socio-économique de ce bassin.

L'activité économique du bassin est marquée par la prédominance du secteur agricole, avec environ 21,4% de la surface agricole utile totale du pays, et aussi du secteur industriel.

En effet, le bassin connaît une activité industrielle très développée. Les unités les plus importantes à l'échelle du bassin sont : les sucreries, les papeteries, les huileries, les tanneries, les cimenteries, l'industrie du textile et la raffinerie de pétrole.

Le Sebou étant le bassin hydraulique le plus important du Maroc, dont les apports en eau s'élèvent à plus de 5 Milliards de m³/an. Il fournit 30 % des ressources en eaux de surface et 20 % des ressources en eaux souterraines du pays. Concentrant 20 % des ressources en eau sur 6 % du territoire, le bassin du Sebou constitue l'une des régions à potentiel en terres irrigables (375 000 Ha) et irriguées (269 000 Ha). Les terres cultivées s'élèvent à 1 750 000 Ha.

Le bassin du Sebou est également très riche en potentialités touristiques. On y trouve des villes impériales à civilisation millénaire constituant un patrimoine universel comme les villes de Fès et Meknès, les sites romains de Volubilis et les grottes de Friouatou dans la région de Taza.

Le cadre environnemental du bassin

Le bassin du Sebou, dans sa totalité, est un espace d'exception par la coexistence d'une diversité extraordinaire de milieux naturels et de paysages. On y rencontre aussi bien des cours d'eaux, des lacs caractéristiques, des prairies humides, des habitats bocagers, des vastes roselières et des milieux dunaires.

Cette richesse patrimoniale a justifié le classement de certaines zones en tant que site Ramsar, réserve biologique ou Site d'Intérêt Biologique et Ecologique.

AIRE D'ÉTUDE ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

Cependant, tous ces espaces constituent des écosystèmes fragiles soumis à des pressions multiples : dysfonctionnement hydraulique, dégradation de la qualité des eaux, surfréquentation du littoral, déprise et modification des pratiques agricoles, utilisation abusive des pesticides et d'engrais, etc.

Ces pressions, se manifestent par des dégradations des milieux et des valeurs écologiques et socio-économiques du territoire, dont les conséquences sont :

- La dégradation de la qualité des eaux superficielles et profondes ;
- Les dysfonctionnements hydrauliques des zones humides ;
- La régression des habitats et des espèces associées ;
- La réduction de l'activité de pêche ;
- La recrudescence des risques sanitaires.

Parmi ces principaux enjeux qualitatifs, les sources de pressions et charges polluantes brutes constituent les plus importantes. En effet, avec ses 71 centres urbains, le bassin du Sebou est l'un des bassins hydrographiques les plus peuplés du Maroc. En général, les flux bruts de matières organiques arrivant aux cours d'eau restent élevés.

Les charges polluantes importantes modifient la qualité de l'eau et constituent un impact majeur pour les populations aquatiques qui y vivent. En plus de la charge domestique importante, le Sebou est caractérisé par une activité industrielle dynamique et localisée, principalement au niveau des centres urbains majeurs.

Les émissions industrielles sont concentrées majoritairement sur les sous-bassins du Moyen et Bas Sebou ainsi que sur l'affluent Beht. Le Moyen Sebou présente une spécialisation industrielle tournée vers les huileries et les abattoirs, tandis que l'aval du bassin, Beht et Bas Sebou, possède un profil industriel plus diversifié (distilleries, papeteries, sucreries, etc.).

Une autre forme de pollution dominée par des éléments traces métalliques notamment les métaux lourds s'ajoute à la pollution organique. L'analyse de cette dernière montre que le chrome reste l'élément dominant de cette forme de pollution (28 t/an).

En général, la pollution agricole est difficile à estimer. En effet, les taux de lessivage par hectare dépendent de nombreux facteurs tels que les conditions pédologiques, la dose appliquée, la technique d'irrigation, le système de drainage, etc.

En plus de la pollution chimique, la pollution bactériologique montre une qualité moyenne (40%), voire mauvaise (35%) à l'échelle du bassin.

Dans le but de minimiser l'impact des rejets des tanneries installées dans la ville de Fès sur la qualité des eaux du bassin, le Ministère de l'Environnement a réalisé une station de déchromatage dans le quartier Doukkarat à Fès, où les principales activités artisanales sont réunies, dans le cadre du projet « Pérennité des Ressources en Eaux Marocaines (PREM) ».

AIRE D'ÉTUDE ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

AIRE D'ÉTUDE

L'aire de l'étude concerne des sites (tronçons de cours d'eau) en amont et en aval du barrage Allal El Fassi.

Le barrage Allal El Fassi est situé sur l'oued Sebou, à une vingtaine de kilomètres de la ville de Sefrou. Il a été mis en service en 1990 et couvre une superficie de 5 400 km².

Il est caractérisé par :

- des pentes fortes, qui dépassent 15 % dans la moitié de la superficie ;
- des faciès lithologiques tendres, qui couvrent 404 117 ha soit 20,4 % ;
- une occupation du sol, dont les parcours, les forêts dégradées et les terrains de culture représentent 70 % ;
- une très forte érosion des sols avec une dégradation spécifique, qui varie de 7 à 35 t/ha/an (moyenne de 21 t/ha/an).

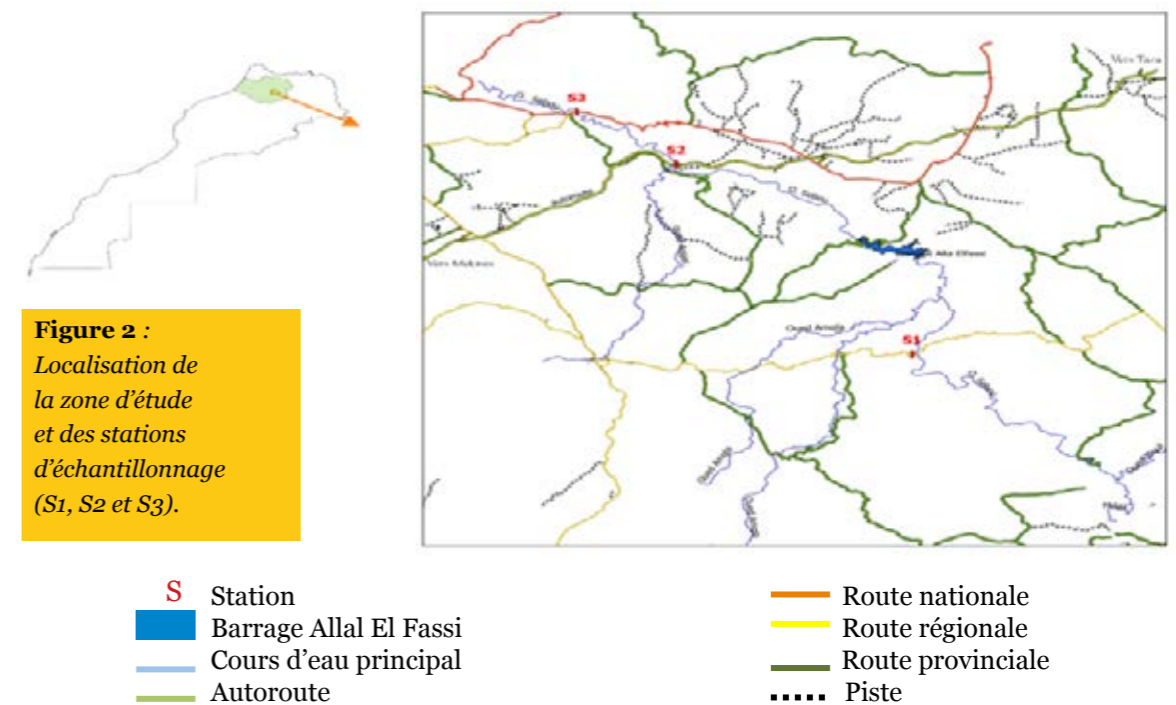
Les apports moyens sont de 750 hm³. L'utilisation optimale de la dénivelée entre les retenues d'Allal El Fassi et d'Idriss 1er passe par la production d'énergie des heures pleines et de pointe. L'eau régularisée lors de la production de l'énergie hydro-électrique permet d'accroître de 25 000 ha la superficie irriguée dans la plaine du Gharb.

AIRE D'ÉTUDE ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

Choix des stations

Les stations ont été choisies en concertation avec tous les experts afin de permettre de cerner la problématique de l'étude. Deux stations ont été choisies en aval de la retenue du barrage et une troisième a été fixée en amont du barrage pour avoir une idée sur les composantes hydrologiques et biologiques et surtout le débit hydrologique à l'entrée du barrage Allal El Fassi. En effet, suite à la réunion de lancement du projet, tenue à l'Institut Scientifique de Rabat le 5 octobre 2015, deux missions de prospection sur le terrain ont été programmées, les 8 et 21 octobre 2015.



La réalisation de ces deux campagnes de prospection a permis de porter le choix de la zone d'étude sur un tronçon de l'oued Sebou situé en amont et en aval de la retenue de barrage Allal El Fassi. Ce tronçon s'étend sur une longueur d'une trentaine de kilomètres.

Les prospections préliminaires avec les experts, le consultant et le coordonnateur du projet ont permis de constituer une vue de l'ensemble du tronçon de l'étude et abouti après discussions avec les responsables de l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS), au choix de 3 stations d'échantillonnage.

AIRE D'ÉTUDE ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

Description des stations

Station 1. : Azzaba. N 33°49'53", O 4°41'32"

Elle est située en amont du barrage Allal El Fassi et a été sélectionnée pour fournir des données à l'entrée du sous bassin. Cette station se situe à proximité de la station hydrologique d'Azzaba. La largeur moyenne de son lit est de l'ordre de 10 m.

Le substrat est formé essentiellement de roches, de galets, et de vase près des bords. La vitesse d'écoulement est forte au centre du cours d'eau qui se caractérise par une profondeur très importante et s'atténue en quelques zones sur les bords, où peu de végétation aquatique se développe.

Station 2. : Zawyat Sidi Salem. N 34°2'33", O 4°51'08"

Cette station se situe sous le pont sur Sebou de l'autoroute Fès-Taza du côté de la station hydrologique d'oued Lihoudi après la confluence avec celui-ci. L'eau s'écoule à une vitesse faible dans les tronçons à pente faible et acquiert une vitesse plus rapide dans les zones pentues.

La largeur du lit aquatique fait 20 à 30 mètres et elle peut atteindre 100 mètres en saison de crues. La profondeur de l'eau la plus importante se trouve sous le pont, et la végétation aquatique est formée essentiellement de mousses, d'algues et de Potamogetons.



Figure 3 :
Oued Sebou au niveau de la station de Azzaba.



Figure 4 :
Oued Sebou au niveau de la station de Zawyat sidi Salem.

AIRE D'ÉTUDE ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

Station 3. : Masdoura N 33°59'40", O 4°47'23"

Cette station se situe en aval du pont sur oued Sebou au niveau de la route nationale n°6 Fès-Taza à proximité du douar Masdoura.

L'eau de cette station s'écoule à une vitesse assez faible dans les tronçons à pente faible et acquiert une vitesse plus rapide dans les zones pentues. La largeur moyenne du lit est de 5 à 6 mètres. Cependant celle des bras morts ne dépasse pas 2 mètres, et les zones non couvertes peuvent atteindre 100 mètres de largeur.

Le substrat se compose principalement de galets et de cailloux sur lesquels se développent des algues filamenteuses et le substrat vaseux tapisse les bordures de l'oued.

Les prélèvements d'eau par pompage pour l'irrigation des champs de culture, le pâturage et l'élevage des troupeaux sont les activités les plus répandues au niveau de cette station.



Figure 5 :
Oued Sebou au niveau de la station de Masdoura.





ETUDE HYDROLOGIQUE

Par Pr. Mohammed FEKHAOUI

Objectifs

L'analyse hydrologique des données enregistrées par les stations d'étude fournit des informations sur le régime de flux passé et actuel de l'oued Sebou. Le régime de flux d'un cours d'eau inclut non seulement la quantité d'eau qui s'écoule dans ses canaux pendant les différents mois de l'année, mais aussi le timing des petites inondations annuelles et des inondations de plus grande envergure.

Cette analyse représente une contribution importante à l'ensemble du processus, car elle détermine l'aire naturelle des conditions de flux dans laquelle les recommandations de flux de réserve doivent être appliquées.

Les objectifs primaires de l'étude hydrologique étaient les suivants :

- Utiliser l'historique des enregistrements de stations de jaugeage installées dans l'aire de l'étude pour déterminer les saisons de débits faibles et élevés ;
- Guider les spécialistes à prescrire des recommandations de flux de réserve dans la zone naturelle du régime hydrologique de l'oued ;
- Extrapoler les recommandations de flux de réserve sur la forme naturelle de l'hydrogramme de l'oued.



DONNÉES HYDROLOGIQUES

L'analyse des ressources en eau dans la région d'étude a fait l'objet plusieurs travaux, qui ont souvent segmenté la problématique des ressources en eau pour la traiter ; soit en termes de facteurs géomorphologiques (Heusch, 1970), soit en termes de facteur de risque (Obda, 2004). Notre approche dans cette étude repose sur l'utilisation des données hydrométriques relatives à une longue série de mesures des paramètres journaliers, mensuels et annuels, aux deux stations hydrométriques (Azzaba en amont du barrage Allal El Fassi et Dar Al Arsa en aval de la ville de Fès). Ces données ont été obtenues principalement à partir des annuaires hydrologiques et dossiers hydrométriques établis par l'ABHS.

CONDITIONS HYDROLOGIQUES NATURELLES

Données enregistrées par la station de jaugeage Azzaba

Les enregistrements de l'année hydrologique 1958 à l'année 1967 ont été choisis pour montrer le flux naturel de l'oued Sebou en amont du barrage Allal El Fassi. Cette saison contient différentes conditions hydrologiques dans le bassin versant (très sec, au-dessous de la normale, au-dessus de la normale ou très humide), ainsi que les impacts négligeables du développement de l'eau dans le bassin supérieur. Les flux quotidiens pendant la saison non perturbée sont présentés dans la figure 6, qui montre l'enregistrement quotidien continu. La variabilité du débit pendant cette saison hydrologique reflète la nature saisonnière du flux au niveau du Sebou. La variabilité du débit est caractérisée par des événements de cours d'eau de saison humide peu fréquents et à volume élevé par rapport aux flux de base, qui se produisent normalement. Il existe un large éventail de variations de débit dans l'oued tout au long de l'année, ainsi qu'une variabilité d'une année à l'autre.

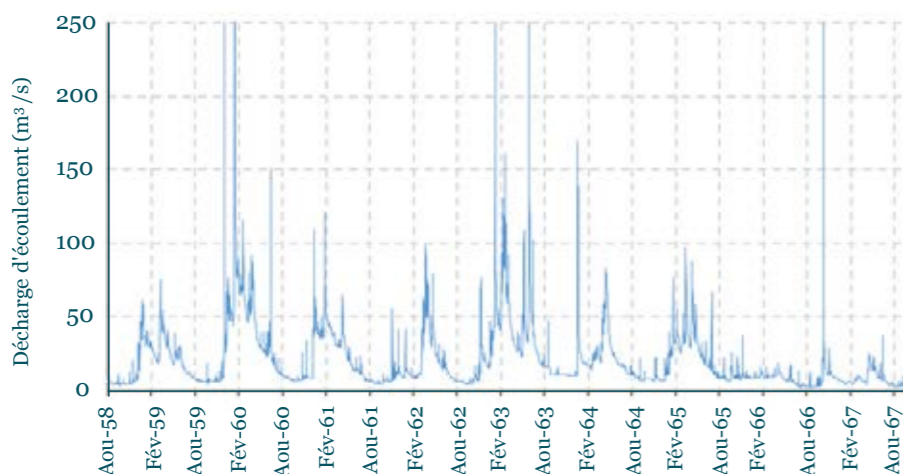


Figure 6 :
Enregistrement
quotidien continu du
débit de l'oued par la
station de jaugeage
d'Azzaba.

Durant la saison entière (1957-2011) analysée, les valeurs mensuelles minimales enregistrées par la station de jaugeage d'Azzaba n'ont jamais été inférieures à 2 m³/s en été ou supérieures à 4 m³/s pendant les années sèches ou supérieures à 5 m³/s pendant les années normales.

Le schéma saisonnier est très marqué, avec des débits hivernaux maximums en février et mars et des débits minimums en été pendant les mois de juillet, août et septembre. Il met également en évidence la grande dynamique de l'oued en termes d'impulsions de débit élevé.

Chaque année, il y a des événements de flux élevé avec plus de 50 m³/s et tous les 5 ans des événements d'inondation supérieurs à 250 m³/s.

Données en aval du barrage Allal El Fassi

Les seuls apports possibles en aval immédiat du barrage alimentant le site 2, sont ceux des quatre sources situées de part et d'autre de ce dernier, ainsi que celui de l'oued Lihoudi. Les données issues de ces points d'eaux, seront considérées dans l'analyse des données des débits enregistrés durant les saisons 1984-2013 pour Ain Al Ouali, 1992-2014 pour Ain Skhounate, 1984-2014 pour Ain Laatrous et 1984-2014 pour Ain Laksoub.

Pour les sources Ain Laatrous et Ain Laksoub, les irrégularités sont très importantes durant les dix dernières années, contrairement à Ain Skhounate où les irrégularités sont enregistrées durant les dix premières années de la saison d'observation.

A l'inverse des précédentes, la source d'Ain Al Ouali montre une certaine régularité durant la saison considérée. Les débits enregistrés au niveau de ces trois sources sont de l'ordre de 225, 1 710, 157 et 120 l/s pour Ain Al Ouali, Ain Skhounate, Ain Laatrous et Ain Laksoub, respectivement. Ain Skhounate semble la source la plus importante de point de vue apports en eaux dans l'oued Sebou.

Ces apports moyens des sources additionnés à ceux de l'oued lihoudi (550 l/s) donnent un volume de l'ordre de 2 762 l/s. Ceci confirme le rôle des apports en eau des sources dans le maintien d'un écoulement d'étiage, en aval du barrage, favorable à la vie des écosystèmes, particulièrement la source Ain skhounate et oued lihoudi.

Données enregistrées par la station de jaugeage Dar Al Arsa

La figure 7 représente les débits quotidiens continus d’oued Sebou à la station de jaugeage Dar Al Arsa pour la saison 1970-1980 pendant les conditions hydrologiques naturelles.

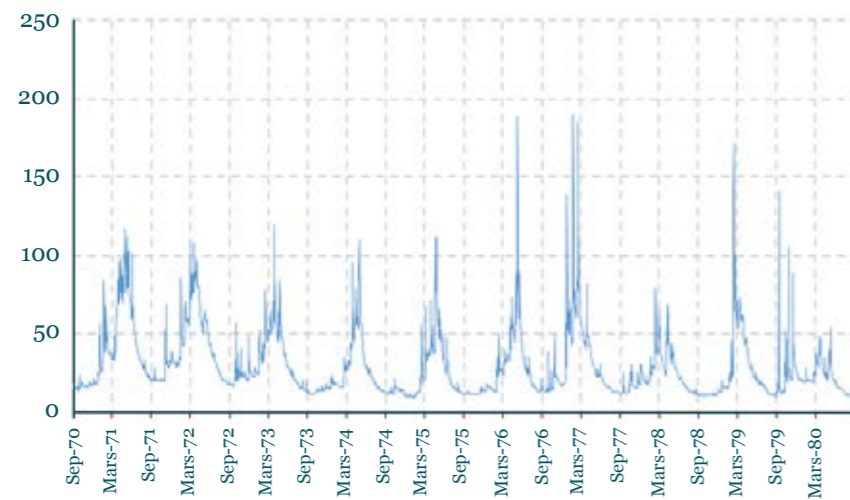


Figure 7 :
Enregistrement quotidien continu du débit de l’oued par la station de jaugeage Dar Al Arsa.

Cette saison est antérieure à la construction du barrage Allal El Fassi. Les débits mensuels minimums en été étaient toujours supérieurs à 6,5 m3/s et supérieurs à 10 m3/s en années normales. Comme à Azzaba, le schéma saisonnier de l’oued Sebou a été très marqué par des débits hivernaux maximaux en février et mars et des débits minimaux en été pendant les mois de juillet, août et septembre. Il y avait aussi une importante dynamique fluviale liée aux inondations.

Modification des débits

Actuellement, les débits des cours d’eau en amont du barrage Allal El Fassi se situent dans des conditions hydrologiques naturelles (interventions humaines négligeables).

L’aval du barrage ne présente pas les mêmes caractéristiques suscitées. L’utilisation optimale de la dénivellation entre Allal El Fassi et d’Idriss 1er passe par la production d’énergie des heures pleines et de pointe. L’eau récupérée de la production de l’énergie hydro-électrique permet d’accroître de 25 000 ha la superficie irriguée dans la plaine du Gharb. Par conséquent, l’oued Sebou en aval du barrage connaît une forte modification du débit.

La figure 8 montre qu’il y a eu une réduction des débits minimaux depuis les années 1990, qui a induit des assèchements de l’oued dans les années 2000.

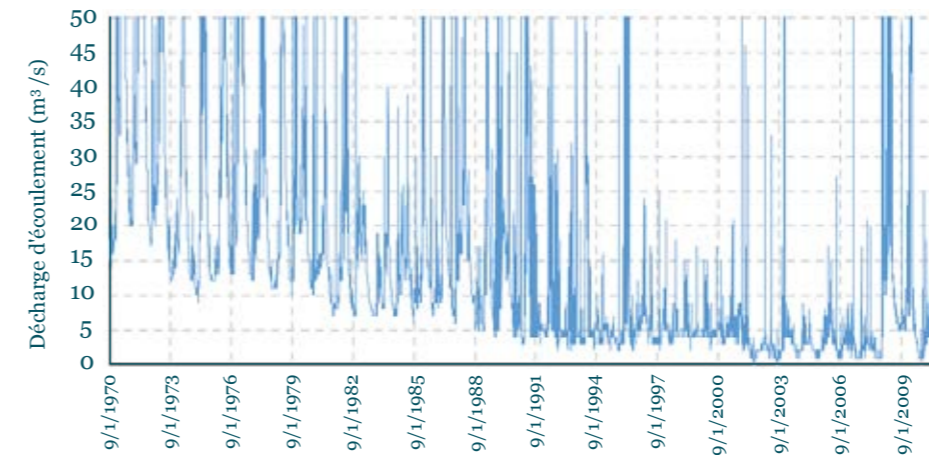


Figure 8 :
Evolution des débits minimaux enregistrés par la station de jaugeage Dar Al Arsa.

Le débit de l’oued Sebou en aval du barrage Allal El Fassi dépend en grande partie de la quantité d’eau déviée par le tunnel jusqu’au barrage Idriss 1er. Par ailleurs, la nature karstique des terrains et les caractéristiques climatologiques des sous-bassins du Haut Sebou, ainsi que les résurgences des eaux au niveau des nombreuses sources situées en aval du barrage, permettent de régulariser les débits pendant les années excédentaires et d’atténuer les effets de la sécheresse en années déficitaires et permettent un écoulement suffisant pour maintenir la vie en aval malgré les nombreux prélèvements d’eau à usages domestique et agricole.

La figure 9 montre conjointement les deux conditions hydrologiques (dépréciée vs. modifiée). La variabilité du débit des cours d’eau pendant les conditions modifiées reflète les changements pertinents concernant la nature saisonnière du Sebou, la diminution des débits minimaux et les événements peu fréquents des débits élevés.

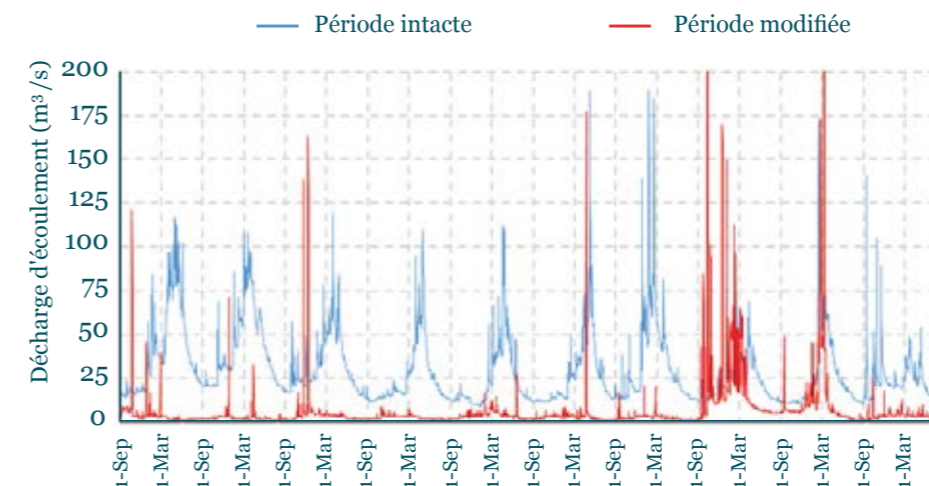
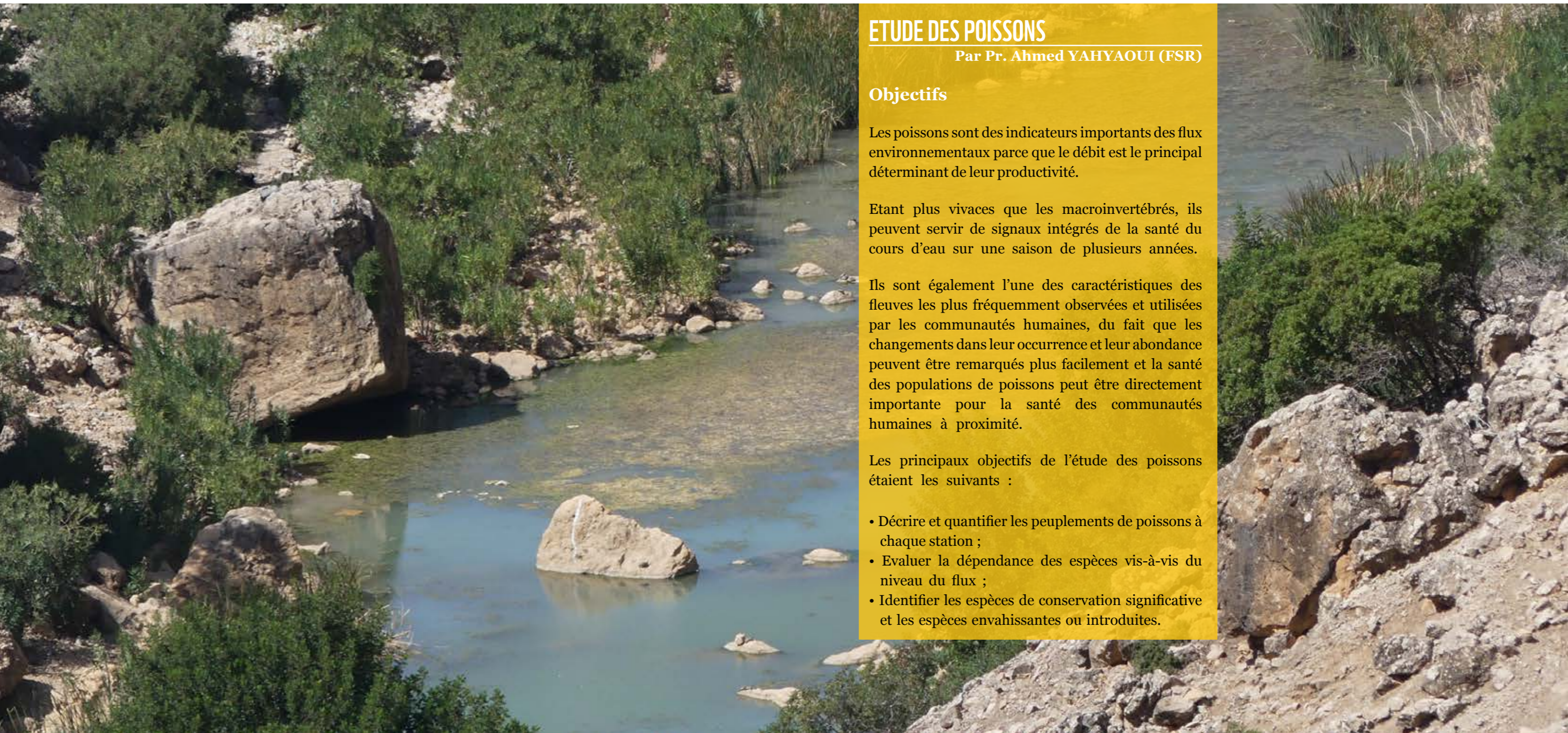


Figure 9 :
Enregistrement quotidien continu du débit de l’eau pour différentes conditions hydrologiques au Sebou au niveau de la station Dar Al Arsa.



ETUDE DES POISSONS

Par Pr. Ahmed YAHYAOU (FSR)

Objectifs

Les poissons sont des indicateurs importants des flux environnementaux parce que le débit est le principal déterminant de leur productivité.

Etant plus vivaces que les macroinvertébrés, ils peuvent servir de signaux intégrés de la santé du cours d'eau sur une saison de plusieurs années.

Ils sont également l'une des caractéristiques des fleuves les plus fréquemment observées et utilisées par les communautés humaines, du fait que les changements dans leur occurrence et leur abondance peuvent être remarqués plus facilement et la santé des populations de poissons peut être directement importante pour la santé des communautés humaines à proximité.

Les principaux objectifs de l'étude des poissons étaient les suivants :

- Décrire et quantifier les peuplements de poissons à chaque station ;
- Evaluer la dépendance des espèces vis-à-vis du niveau du flux ;
- Identifier les espèces de conservation significative et les espèces envahissantes ou introduites.

PEUPELEMENT DE POISSONS DANS LE BASSIN DU SEBOU

Informations sources

Ce travail se base essentiellement sur la collecte des données issues des sources écrites et du retour d'expérience. C'est une synthèse des premières études sur l'ichtyofaune des eaux continentales du Maroc, des travaux de recherche et des rapports d'activité du HCEFLCD.

Les études entreprises dès le début des années 1874 par Gunther, Boulenger en 1909, 1911, 1915, 1916, Pellegrini en 1921 et suivies par celles des années 1960 les plus nombreuses sur la faune ichtyologique et complétées par les études écologiques, ont été consacrées en majorité à la systématique.

Plus récemment, d'autres études approfondies ont traité des aspects liés à la bioécologie de l'ichtyofaune marocaine et de sa caractérisation génétique (Mouslih 1987, 1989 ; Doadrio, 1990 ; Doadrio et al., 1994 ; Azeroual et al., 2000, 2003 ; Doadrio et al., 2011 ; Casal-Lopez et al., 2015 ; Doadrio et al., 2015).

La consultation des documents précités et les connaissances de l'expert ont permis de faire un état des lieux sur la situation de référence du tronçon de l'oued Sebou, objet de la présente étude.

Distribution et composition des peuplements de poissons du bassin du Sebou

Suivant la répartition des peuplements de poissons, l'oued Sebou est décomposé en deux zones piscicoles, comme schématisé dans la figure 10, ci- après.

Une zone à truite caractérisée par un courant torrentueux alternant avec des zones de calme, une eau froide et saturée en oxygène, des pentes fortes, un fond constitué de bloc de pierres, de graviers et/ou de cailloux et une végétation rare, voire absente, et une zone à barbeau caractérisée par un courant moins rapide, une oxygénation moins bonne, une pente douce et un fond mou constitué de substrat fin et/ou de vase.

La température de l'eau en saison estivale peut atteindre des valeurs élevées dépassant les 20°C.

Figure 10 :
Zones piscicoles de l'Oued Sebou



Historiquement, l'ichtyofaune de l'oued Sebou a été représentée par 8 familles regroupant 10 genres et 12 espèces, qui sont : *Salmo macrostigma* (Truite) de la famille des Salmonidés, *Alosa alosa* et *Alosa fallax* (Aloses) de la famille des Clupeidés, *Luciobarbus maghrebensis*, *Labeobarbus fritschii* (Barbeaux) et *Varicorhinus maroccanus* (Barbeau bleu) de la famille des Cyprinidés, *Anguilla anguilla* (Anguille) de la famille des Anguillidés, *Mugil cephalus* et *Liza ramada* (Mulets) de la famille des Mugilidés, *Cobitis maroccana* (Loche marocaine) de la famille des Cobitidés, *Salaria atlantica* (Blennie marocaine) de la famille des Blenniidés et l'espèce *Atherina boyeri* (Athérine) de la famille des Atherinidés. Cette faune ichtyologique est constituée en majorité de Cyprinidés.

A côté de ce peuplement piscicole autochtone, il y'a eu de nombreuses introductions de poissons et d'Ecrevisses depuis 1924. Ces introductions avaient pour objectif essentiel le développement de la pêche sportive, la lutte contre le paludisme, la promotion de l'aquaculture et la lutte contre le phénomène d'eutrophisation dans les barrages et le développement de la végétation aquatique dans les canaux d'irrigation.

Peuplement de poissons dans la zone d'étude

Le tronçon de l'oued Sebou, objet de la présente étude, est situé dans la deuxième zone (Zone à Barbeau). Ce secteur a réellement ou potentiellement accueilli les espèces de poissons caractéristiques de la zone à barbeau.

Il s'agit de :

- **La Grande Alose** (*Alosa alosa*) certainement disparue du site
- **Les Barbeaux** (*Barbus labiosa*, *Barbus fritschii* et *Varicorhinus maroccana*). Espèces connues actuellement sous les nouveaux noms : *Luciobarbus maghrebensis*, *Carasobarbus fritschii* et *Pterocapoeta maroccana*, et qui sont des espèces endémiques du Maroc.

- **L'Anguille commune** (*Anguilla anguilla*), espèce en danger critique d'extinction
- **Les Muges** (*Mugil cephalus* et *Liza ramada*), espèces euryhalines, pouvant pénétrer dans les eaux douces continentales jusqu'au secteur étudié
- **La Loche marocaine** (*Cobitis maroccana*), potentiellement présente dans la partie amont de l'Oued Sebou
- **La Blennie marocaine** (*Salaria atlantica*), nouvelle espèce décrite dans l'Oued Ouerrha et qui serait connue dans le tronçon de l'Oued Sebou étudié sous le nom de *Salaria fluviatilis*.



Photo. Doadrio I.

Loche marocaine (*Cobitis maroccana* Pellegrin, 1929)

SITUATION ACTUELLE DU PEUPLEMENT DE POISSONS DANS LA ZONE D'ÉTUDE

Évaluation saisonnière du terrain

Lors de notre campagne d'échantillonnage de la saison humide, qui s'est déroulée du 25 au 26 avril 2016, seules les espèces, ci-dessous, ont pu être récoltées.

Au niveau de la station 1, en amont du barrage Allal El Fassi, à Azzaba, seules 2 espèces ont été pêchées, il s'agit des barbeaux du Maghreb (*Luciobarbus maghrebensis*) et de Fritsch (*Carasobarbus fritschii*). Selon les pêcheurs locaux, les autres espèces allochtones déversées dans le barrage ne pouvaient pas remonter en amont à cause de la cascade située en aval, entre le barrage et notre station d'échantillonnage (S1).

Au niveau de la station 2, en aval du barrage Allal El Fassi, à Zawyat Sidi Salem, nous avons pu récolter, au niveau de la source les deux mêmes espèces de barbeaux pêchées dans la station 1 (*Luciobarbus maghrebensis* et *Carasobarbus fritschii*), en plus de deux autres espèces (*Cobitis maroccana* et *Anguilla anguilla*) capturées dans un substrat vaseux et couvert de potamogetons.

Au niveau de la station 3, en plus des espèces capturées dans les stations 1 et 2, en amont (*Luciobarbus maghrebensis*, *Carasobarbus fritschii*, *Cobitis maroccana* et *Anguilla anguilla*), nous avons noté la présence de l'espèce allochtone *Gambusia holbrooki*.

Lors de la campagne d'échantillonnage de la saison sèche, le 4 juillet 2016, nous avons pêché pratiquement les mêmes espèces de poissons que celles récoltées lors de la campagne d'échantillonnage de la saison humide sauf l'Anguille. Cette absence serait consécutive à l'augmentation de la température des eaux pendant la saison estivale. En effet, pendant la saison sèche la température des eaux est relativement plus élevée et l'Anguille migre alors, vers les habitats les plus profonds et donc, les plus frais.

Comparaison spatiale et saisonnière du peuplement ichthyologique

Le Tableau 1 récapitule l'inventaire des espèces piscicoles capturées dans chacune des stations prospectées pendant les deux saisons humide et sèche.

Espèces	Station 1		Station 2		Station 3	
	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche
<i>Anguilla anguilla</i>	-	-	+	-	+	-
<i>Luciobarbus maghrebensis</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Carasobarbus fritschii</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Cobitis maroccana</i>	-	-	+	+	+	+
<i>Gambusia holbrooki</i>	-	-	-	-	+	+

S : saison ; + : présence de l'espèce ; - : absence de l'espèce

Tableau 1 :

Espèces de poissons selon l'échantillonnage spatial et saisonnier.

A noter que dans une même station, l'Anguille (*A. anguilla*) et la loche marocaine (*Cobitis maroccana*) caractérisent les micro-habitats vaseux à herbier de potamogetons et à courant relativement calme. Alors que les barbeaux du Maghreb (*Luciobarbus maghrebensis*) et de Fritsch (*Carasobarbus fritschii*) sont des espèces rhéophiles, qui occupent de préférence les habitats graveleux à courant fort.

Espèces	État de référence	Saison humide	Saison sèche
<i>Alosa alosa</i>	+	-	-
<i>Anguilla anguilla</i>	+	+	-
<i>Luciobarbus maghrebensis</i>	+	+	+
<i>Carasobarbus fritschii</i>	+	+	+
<i>Pterocapoeta maroccana</i>	+	-	-
<i>Mugil cephalus</i>	+	-	-
<i>Liza ramada</i>	+	-	-
<i>Cobitis maroccana</i>	+	+	+
<i>Salaria atlantica</i>	+	-	-
<i>Gambusia holbrooki</i>	-	+	+

+ : présence de l'espèce ; - : absence de l'espèce

Tableau 2 :
Espèces de poissons selon les conditions de référence et l'échantillonnage saisonnier.



Barbeau du Maghreb (*Luciobarbus maghrebensis* Doadrio, Perea & Yahyaoui, 2015)

A partir du tableau 2, qui retrace l'évolution du peuplement piscicole entre un état de référence et les deux saisons humide et sèche, nous pourrions subdiviser ces espèces en 3 catégories :

- Une espèce disparue de l'ensemble des eaux continentales du Maroc (*Alosa alosa*).
- Des espèces encore présentes dans les eaux continentales du Maroc, mais qui sont absentes dans les trois stations prospectées telles que : *Pterocapoeta maroccana*, *Mugil cephalus*, *Liza ramada* et *Salaria atlantica*.
- Une espèce présente uniquement pendant la saison humide, à savoir *Anguilla anguilla*.

L'analyse de ces résultats montre bien que les espèces migratrices sont les plus concernées par cette modification de la composition ichtyologique de la zone d'étude, particulièrement l'alose et le mulot qui ont complètement disparu au niveau des trois stations étudiées. Cette situation est intimement liée à la mise en place des retenues de barrage depuis l'embouchure de l'oued Sebou, notamment le barrage de garde de Sebou et la retenue Idriss 1er. L'installation de ces barrages a entravé la remontée du mulot vers l'amont et a rompu le cycle biologique de l'alose, qui n'arrivait plus à se reproduire.

Les mulots, qui fréquentent la partie basse de l'oued Sebou, effectuaient généralement une migration vers le large en automne pour se reproduire, et pendant le printemps, ils remontaient l'oued Sebou pour des fins trophiques. Avec l'installation des barrages, cette espèce ne franchissait plus les stations étudiées. Cette situation n'a pas été résolue malheureusement par les échelles de poissons, qui ont été mises en place mais qui ne sont pas fonctionnelles.

Pour le cas de l'alose, la remontée de l'espèce de l'embouchure jusqu'à la zone de l'étude s'effectuait à partir de l'automne jusqu'au printemps pour la reproduction de l'espèce. De même, et avec l'installation des retenues de barrage, le cycle biologique de l'espèce a été rompu, ce qui a causé la disparition de l'alose. Les pollutions de l'eau de l'oued Sebou générées par les tanneries, les huileries et les autres activités agricoles et industrielles en amont auraient amplifié également cette disparition par la dégradation des frayères.

La présence de l'anguille au niveau du site étudié, qui est également une espèce migratrice, peut être expliquée par les opérations de repeuplement opérées par la société Nouna Maroc en amont du barrage de garde de l'oued Sebou depuis 2006. Cette société est amodiataire du droit de pêche de l'anguille au niveau de l'oued Sebou. Elle est engagée au niveau de son contrat avec le HCEFLCD à réaliser annuellement des opérations de repeuplement, à raison de 10% de sa production.



ETUDE DES MACROINVERTÉBRÉS

Par Pr. Oumnia HIMMI

Objectifs

Les macroinvertébrés aquatiques sont d'excellents indicateurs biologiques des niveaux de flux durables, parce que de nombreuses familles réagissent de façon prévisible à des changements dans la qualité de l'eau. Leur occurrence et leur abondance peuvent constituer une mesure intégrée de la santé écologique d'un cours d'eau durant les semaines ou mois précédant l'assèchement.

Les espèces utilisées dans cette étude sont les insectes, les vers, les mollusques et les crustacés qui se trouvent sur le lit de l'oued ou le long des berges.

Les principaux objectifs du diagnostic effectué sur les macroinvertébrés étaient les suivants :

- Décrire et quantifier les peuplements importants de macroinvertébrés dans chaque station pendant les débits faibles et élevés ;
- Evaluer la dépendance de cette faune par rapport au débit du cours d'eau ;
- Identifier les espèces de conservation significative et les espèces envahissantes ou introduites.

PEUPELEMENT DE MACROINVERTÉBRÉS DANS LE BASSIN DU SEBOU

Valeur bio-indicatrice des macroinvertébrés

Depuis longtemps, l'observation de divers macroinvertébrés aquatiques a donné lieu à l'évaluation de la qualité des eaux de surface. Ainsi certains groupes sont polluo-résistants (Chironomus, Lymnaea,...) ou polluo-sensibles (larves de Plécoptères...).

En résumé, les principales caractéristiques de la bio-indication végétale comme de la bio-indication animale sont de disposer d'espèces :

- ayant des sensibilités spécifiques très fortes vis-à-vis de certains polluants (c'est la disparition de ces espèces qui est bio-indicatrice) ;
- ayant au contraire une forte résistance et une capacité d'accumulation élevée.

L'emploi de telles espèces permet d'obtenir une valeur approximative d'une pollution moyenne sur des pas de temps élevés. La limite de ces usages est liée à la présence ou à l'absence des espèces d'intérêt dans les sites à étudier.

Les agressions des milieux aquatiques peuvent prendre des aspects très variés : déversements de toutes natures, localisés ou diffus (domestiques, agricoles, industriels), pompage d'eau, échauffement de l'eau, etc.

En effet, la présence des Plécoptères, Trichoptères et Ephéméroptères dans certaines stations prouve a priori une bonne qualité des eaux de ce site et des habitats adéquats à ces Insectes. Les Plécoptères sont des bio-indicateurs de premier ordre, qui sont polluo-sensibles et donc constituent avec les Trichoptères et les Ephéméroptères les groupes les plus sensibles aux polluants. Ils ont besoin d'une eau bien oxygénée et peu polluée à une température assez fraîche.

De plus, les Ephéméroptères sont des insectes aquatiques idéaux, qui passent l'ensemble de leur vie larvaire dans l'eau. Le stade adulte dure entre quelques heures et deux à trois jours, le temps nécessaire pour que ces insectes trouvent leurs partenaires, s'accouplent, pondent et meurent. Leur valeur écologique réside dans le fait qu'ils indiquent, par leur présence, un milieu aquatique non perturbé par une importante activité humaine.

La valeur économique et/ou écologique des Ephéméroptères réside dans le fait qu'ils indiquent, par leur présence, un milieu aquatique non perturbé par une importante activité humaine ; c'est un gage de qualité des eaux.

Conditions de référence

Les travaux antérieurs (Giudicelli & Dakki 1984, Dakki 1987, Naya 1988, Dakki & Himmi 2008) ont permis de dresser un inventaire exhaustif de la faune aquatique de tout le bassin du Sebou (597 taxons) incluant l'aire de l'étude. Cet inventaire confirme la prédominance classique des Insectes, avec 457 espèces et sous-espèces au moins, représentant presque 60 % de la faune du Sebou (Diptères (91 taxa), Coléoptères (143 taxa), Crustacés (94 taxa) Mollusques (39 taxa) et Annélides (38 taxa)). Selon Dakki & Himmi (2008), les espèces patrimoniales au niveau du bassin du Sebou s'élèvent à 90 taxa endémiques appartenant à la classe des Insectes (51 endémiques marocaines, 21 nord-africaines et 18 ouest-méditerranéens) et 19 sont des crustacés (13 taxa marocains, un seul nord-africain et 5 ouest méditerranéens).

Dans l'aire de l'étude, les données faunistiques historiques existantes ont permis de dresser un inventaire systématique exhaustif de la faune de macroinvertébrés rencontrés dans la région de l'étude avant la construction du barrage, notamment au niveau de la station 1 du côté du pont sur la Route Nationale N6 à côté de Douar Masdoura et au niveau de la station 3 du côté de Azzaba. Ces données faunistiques sur les macroinvertébrés constituent l'état de référence et permettront de faire des comparaisons afin de proposer le débit écologique approprié.

En effet, avant la mise en place du barrage Allal El Fassi, une quarantaine d'espèces et sous-espèces d'Insectes (Trichoptères, Ephéméroptères, Coléoptères et Plécoptères) a été recensée par Dakki (1986, 1987) à laquelle s'ajoute les Oligochètes et quelques Mollusques cités par Fekhaoui et al. (1993). De ce fait, l'état de référence permet d'affirmer que la liste exhaustive des macroinvertébrés de 2 des 3 stations concernées par la recherche du débit écologique, comprend 87 espèces et sous-espèces au moins, appartenant à 3 phyla (Mollusca, Annelida et Arthropoda) réparties entre 6 classes (Gastropodi, Bivalvia, Oligochaeta, Hirudinina, Crustacea et Insecta), 16 ordres et 34 familles.

Espèces de haute valeur de conservation

Il est à noter que l'étude de Dakki & Himmi (2008) a signalé que parmi les 30 types d'habitats et d'écosystèmes proposés comme cible de conservation dans le Sebou, figurent les cours d'eau chauds, généralement du moyen cours, qui abritent la richesse spécifique maximale, d'où l'intérêt de cette étude qui cible un tronçon de cette partie du bassin du Sebou et de la nécessité de maintenir la biodiversité aquatique en saison d'étiage.

ETUDE DES MACROINVERTÉBRÉS

Il est à signaler que la région d'Azzaba (Station 1) a été indiquée comme cible potentielle de protection dans l'étude précédemment citée.

Enfin, notons que lors de la mission de prospection pour le choix des stations en octobre 2015, le consultant (R. Sanchez) a récolté un crabe d'eau douce (*Potamon fluviatilis*) sur les berges de l'oued Sebou dans la station 2, espèce déjà signalée dans les études antérieures mais sans précision de localité.



Figure 11 :
Espèce à haute valeur de conservation : crabe d'eau douce.

Famille	Espèces
RHYACOPHILIDAE	1- <i>Rhyacophila munda</i> (McLachlan, 1862)
HYDROPSYCHIDAE	2- <i>Hydropsyche resmineda</i> (Malicky, 1977)
	3- <i>Cheumatopsyche atlantis</i> (Navas, 1930)
POLYCENTROPODIDAE	4- <i>Pseudoneureclipsis maroccanus</i> (Dakki & Malichy, 1980)
LEPTOCERIDAE	5- <i>Setodes acutus</i> (Navas, 1935) 3 espèces endémiques à l'échelle du Nord de l'Afrique
PLANORBIDAE	6- <i>Bulinus truncatus</i> (Audouin, 1827)
OLIGONEURIIDAE	7- <i>Oligoneuriell askoura</i> (Dakki & Giudi, 1979) avec catégorie "Rare"
HYDROPSYCHIDAE	8- <i>Hydropsyche maroccana</i> (Navas, 1936) avec catégorie "Menacé" et 2 espèces à répartition ouest méditerranéenne
BAETIDAE	9- <i>Pseudocloeon neglectus</i> (Navas, 1913) avec catégorie "Vulnérable"
OLIGONEURIIDAE	10- <i>Oligoneuriopsis skhounate</i> (Dakki & Giudi, 1979)

Tableau 3 :
Espèces des macroinvertébrés de haute valeur de conservation dans la zone d'étude.

ETUDE DES MACROINVERTÉBRÉS

Dans l'inventaire historique, nous retenons, 10 espèces patrimoniales avec 5 espèces endémiques à l'échelle du Maroc (EM) appartenant à l'ordre des Trichoptères (Tab. 3).

SITUATION ACTUELLE DU PEUPEMENT DE MACROINVERTÉBRÉS DANS LA ZONE D'ÉTUDE

Espèces récoltées lors de la présente étude

Une analyse du Tableau 4 permet de conclure que les résultats obtenus pour les campagnes de 2016 montrent une régression de plus de 50% de la richesse spécifique globale de la région d'étude et la présence de genres monospécifiques en général.

	Phyla	Classes	Ordres	Familles	Genres	Espèces
Bassin du Sebou	4	7	25	109	315	634
Données historiques	3	6	16	34	50	87
Campagnes 2016	2	3	10	29	32	32
Maroc	5	9	25	187	622	1531

Tableau 4 :
Tableau comparatif des macroinvertébrés recensés en 2016 avec les données historiques.

Les échantillonnages ont été effectués lors de 2 campagnes : la première le 22 avril 2016 (saison humide) et la seconde en saison sèche le 4 juillet 2016 (saison estivale).

Une analyse de l'inventaire systématique révèle que la richesse spécifique globale de la région de l'étude est de 32 espèces réparties au moins entre 2 phyla, 3 classes, 29 familles systématiques et 32 genres (Tab. 5).

ETUDE DES MACROINVERTÉBRÉS

PHYLUM MOLLUSCA	CL. GASTROPODI	O. PROSOBRANCHIA	Fam. MELANOPSIDAE	<i>Melanopsis praemorsa</i> (Linné, 1758)
		O. PULMONATA	Fam. PHYSIDAE	<i>Physa acuta</i> (Draparnaud, 1805)
			Fam. PLANORBIDAE	<i>Bulinus truncatus</i> (Audouin, 1827)
			Fam. ANCYLIDAE	<i>Ancylus fluviatilis</i> (Müller)
			Fam. SPHAERIIDAE	<i>Pisidium casertanum</i> (Poli, 1791)
PHYLUM ARTHROPODA	CL. CRUSTACEA	O. DECAPODA	Fam. ATYIDAE	<i>Atyaephyra desmarestii</i> (Millet)
	CL. INSECTA	O. EPHEMEROPTERA	Fam. BAETIDAE	<i>Baetis pavidus</i> (Grandi, 1949)
				<i>Nigrobaetis gr. Gracilis</i>
				<i>Pseudocloeon neglectus</i> (Navas, 1913)
		Fam. OLIGONEURIIDAE	<i>Oligoneuriopsis skhounate</i>	
		Fam. HEPTAGENIIDAE	<i>Ecdyonurus rothschildi</i> (Navas, 1929)	
		Fam. CAENIDAE	<i>Caenis luctuosa</i> (Burmeister, 1839)	
		Fam. LEPTOPHLEBIIDAE	<i>Choroterpes atlas</i> (Soldan & Thomas, 1983)	
		Fam. POLYMITARCIDAE	<i>Ephoron virgo</i> (Olivier, 1791)	

Tableau 5 :
Richesse spécifique globale de la région de l'étude

ETUDE DES MACROINVERTÉBRÉS

PHYLUM ARTHROPODA	CL. INSECTA	O. ODONATA	Fam. CALOPTERYGIDAE	<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i> (Linden, 1825)
			Fam. COENAGRIONIDAE	<i>Ischnura graellsii</i> (Rambur, 1842)
			Fam. GOMPHIDAE	<i>Onychogomphus costae</i> (Selys, 1885)
		O. PLECOPTERA	Fam. NEMOURIDAE	<i>Nemoura</i> sp.
		O. HETEROPTERA	Fam. APHELOCHERIDAE	<i>Aphelocherius</i> sp.
			Fam. CORIXIDAE	<i>Micronecta</i> sp.
			Fam. NAUCORIDAE	<i>Naucoris</i> sp.
			Fam. GERRIDAE	<i>Gerris</i> sp.
			Fam. VELIIDAE	<i>Mesovelia</i> sp.
		O. TRICHOPTERA	Fam. HYDROPSYCHIDAE	<i>Hydropsyche maroccana</i> (Navas, 1936)
		O. DIPTERA	Fam. CHIRONOMIDAE	
			Fam. SIMULIIDAE	
			Fam. DIXIDAE	
			Fam. EMPIDIDAE	
		O. COLEOPTERA	Fam. GYRINIDAE	<i>Aulonogyrus striatus</i> (Fabricius, 1792)
			Fam. HYDROPHILIDAE	* <i>Coelostoma hispanicum</i> (Küster, 1848)

Notons la grande dominance des Arthropodes (26 espèces) par rapport aux Mollusques (6 espèces) ainsi que la prédominance classique des Insectes avec 25 espèces alors que les crustacés sont représentés par une seule espèce. La présence de Plécoptères et Ephéméroptères témoigne d'une bonne qualité des eaux. De plus, l'ordre des Ephéméroptères est représenté par 6 familles dont la plus importante est celle des Baetide.

Par ailleurs, les 2 campagnes de recensement de 2016 ont indiqué l'existence de certaines espèces qui n'étaient pas signalées dans cette région. Citons le Mollusque *Ancylus fluviatilis* (Müller), l'Ephéméroptère *Choroterpes atlas* (Soldan & Thomas, 1983), le Plécoptère (*Nemoura sp.*) et les Coléoptères *Aulonogyrus striatus* (Fabricius, 1792) et *Coelostoma hispanicum* (Küster, 1848).

Richesse spécifique stationnelle

L'analyse de la richesse spécifique par station permet de faire ressortir que la station la plus riche est la station de Zawyat Ben Salem, suivie par celle de Masdoura et enfin Azzaba (Fig. 12). Notons même l'importante richesse de la station de Zawyat Ben Salem en juillet 2016. La faible richesse au niveau d'Azzaba est certainement due aux légères crues que nous avons rencontrées lors des campagnes d'échantillonnage. Notons l'absence totale de Mollusques et de Coléoptères.

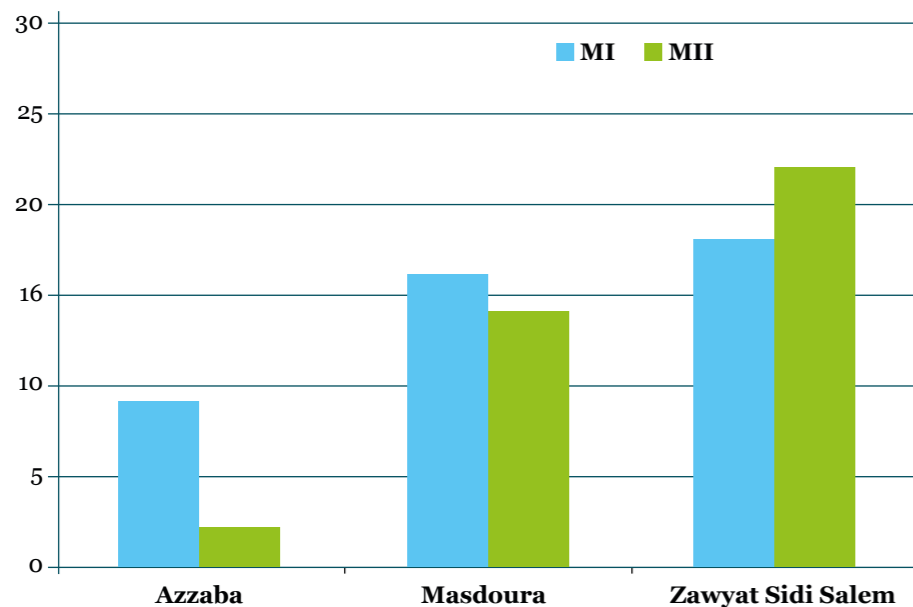


Figure 12 :
Richesse spécifique au niveau des 3 stations d'études lors des deux campagnes (M1 : saison humide, M2 : saison sèche).

Une comparaison des peuplements des stations montre que pour Azzaba, il y a une dominance d'Ephéméroptères suivie par les Odonates et les Diptères.

Au niveau de Zawyat Sidi Salem, ce sont également les Ephéméroptères qui dominent le peuplement de macroinvertébrés aquatiques, suivis par les Diptères, Mollusques et Hétéroptères. Notons l'absence de Plécoptères.

Au niveau de Masdoura, les Ephéméroptères sont toujours les plus importants en espèces suivis des Mollusques. Les Plécoptères sont absents.

Commentaires sur les changements constatés dans les peuplements de Macroinvertébrés

L'étude du débit écologique entreprise dans ce travail nous a permis dans un premier temps d'établir un inventaire de référence à partir des données bibliographiques.

Les campagnes d'échantillonnage effectuées en avril et en juillet 2016, ont démontré que la richesse spécifique a diminué de plus de la moitié par rapport aux données historiques avec une réduction importante des espèces patrimoniales.

Cette régression de la biodiversité est certainement due à la mise en place du barrage Allal El Fassi, qui a réduit énormément le débit de l'oued, mais également aux perturbations naturelles dues aux irrégularités pluviométriques, inondations et aux sécheresses récurrentes en relation avec les changements climatiques. De même, les perturbations anthropiques de ce tronçon, favorisent une pollution organique importante dérivant des rejets domestiques et industriels, de l'agriculture, du pâturage, de la dérivation des eaux et du captage, de l'altération des ripisylves, etc.

Malgré ce constat général, les conditions hydrauliques de la station de Zawyat Sidi Salem permettent le maintien d'une importante communauté de macroinvertébrés et l'état écologique est de très bonne qualité. En effet, le renouvellement continu des eaux et le maintien d'un débit écologique adéquat ont permis le maintien d'un bon état écologique de ces cours d'eau grâce à l'apport constant de l'oued Lihoudi, qui permet de maintenir un débit d'étiage important.

Le déclin de la Biodiversité au niveau de la station de Masdoura est dû à la disparition des espèces les plus exigeantes en hauteur d'eau, en vitesse du courant et en eau non altérée et à leur remplacement par des espèces polluo-résistantes, dont le développement ne nécessite pas des débits élevés. Ce sont généralement des espèces ubiquistes sans aucune valeur écologique et patrimoniale.



ETUDE DE LA VÉGÉTATION

Par Pr. Mohamed IBN TATTOU

Objectifs

La végétation riveraine est importante pour maintenir la stabilité des berges des cours d'eau, réduire l'érosion, conserver et traiter le ruissellement à l'extérieur avant son entrée dans le cours d'eau, en soutenant des débits faibles grâce à un effet de stockage et en fournissant des ressources pour la faune en aval par l'apport de débris végétatifs et une couverture de canopée qui sert de régulateur de la température de l'eau. Beaucoup de gens vivant près des cours d'eau peuvent obtenir de la nourriture, des médicaments et des matériaux de construction en utilisant la végétation riveraine.

La perte de celle-ci peut menacer bon nombre des services environnementaux qu'elle fournit. La végétation riveraine est un bon indicateur des besoins à faible débit et à débit élevé, car les espèces individuelles ont des besoins d'inondation et d'humidité du sol différents et souvent très spécifiques pour leur régénération. Des modifications importantes du régime d'écoulement naturel d'une rivière ou d'un fleuve peuvent éliminer les inondations excessives ou affecter les nappes phréatiques. Ce qui pourrait conduire à la perte de certaines espèces importantes pour l'usage humain. Les principaux objectifs de l'évaluation de la végétation riveraine étaient les suivants :

- Décrire les peuplements végétaux riverains importants dans chaque site d'étude ;
- Evaluer la dépendance de ces peuplements à l'écoulement ;
- Identifier les espèces qui peuvent être sensibles au débit et peuvent servir d'indicateurs d'un régime d'écoulement approprié.



VÉGÉTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Selon les facteurs écologiques, les espèces végétales ne sont pas indifféremment placées dans les cours d'eau, mais elles sont disposées dans des zones distinctes, bien que souvent superposées selon des facteurs écologiques.

Le concept de zonage des macrophytes repose sur une compréhension approfondie des régimes hydriques des différentes espèces végétales. Par exemple, la profondeur de l'eau est cruciale et l'hydropériode (durée et fréquence de l'inondation) a un impact significatif sur la survie de la végétation des zones humides. Il s'agit pour les trois stations d'une mosaïque de micro-habitats, rarement d'habitats, dont les plus étendus peuvent coloniser une surface de 100 m². Nous trouvons différents habitats de végétation, qui peuvent être classés selon le lieu qu'ils occupent dans le système fluvial.

Ainsi, dans le Sebou, nous avons identifié ce qui suit :

- **Végétation aquatique :** Habitat à *Potamogeton nodosus*. Cet habitat se rencontre dans les deux stations en aval du barrage Allal El Fassi : Zawyat Sidi Salem et Douar Masdoura. Cette plante est indicatrice de l'eutrophisation du milieu. La dernière station montre les surfaces les plus étendues, atteignant environ 100 m². Souvent l'habitat est constitué par la seule espèce *Potamogeton nodosus*, rarement, accompagnée à Douar Masdoura de *Nasturtium africanum*. Le cours du Sebou à Azzaba ne montre pas de végétation.
- **Végétation rivulaire :** Nous pouvons trouver différentes formations végétales, dont les plus importantes sont les suivantes :
 - Formation à Saules et Peupliers (Habitat à Saules et Peupliers) : qui caractérise la station d'Azzaba dont il est constitué de *Populus alba*, *Populus nigra*, *Salix pedicellata*, *Salix purpurea*, *Tamarix africana*, etc.
 - Formation à *Tamarix* et *Arundo* (Habitat à *Tamarix* et Roseaux) : qui caractérise le haut fond situé près du coude de l'oued Sebou à Azzaba. Il est constitué de *Tamarix africana*, *Arundo donax* et de beaucoup d'espèces accidentelles amenées par les crues.
 - Rideau de *Typha* (Habitat à *Typha sp.*) : il se montre souvent en rideau, à surface occupée au sol plus ou moins large (*Typha latifolia*), rarement en individus isolés (*Typha cf. dominguensis*). Cet habitat se rencontre dans les deux stations en aval du barrage Allal El Fassi. Les plantes de *Typha* sont soumises aux coupes dans la station de Zawyat Sidi Salem.

- Pelouses (1) (Habitat à Graminées) : il s'agit de pelouses plus ou moins étendues, à base de *Paspalum distichum* et de *Cynodon dactylon*, *Apium nodiflorum*, etc. Cet habitat est bien individualisé à Douar Masdoura. (2) (Habitats à plantes herbacées) : c'est une pelouse légèrement dominée par les graminées, mais la présence des espèces suivantes est notoire: *Nasturtium africanum*, *Apium nodiflorum*, *Paspalum distichum*. Cet habitat se rencontre à Zawyat Sidi Salem.

• **Habitats des rives :** Nous pouvons trouver les types d'habitats suivants :

- Habitats linéaires à plantes herbacées. Il est constitué d'une végétation clairsemée, rarement continue. A Douar Masdoura, cet habitat est constitué d'*Isolepis pseudosetacea*, *Trifolium tomentosum*, *Plantago coronopus*, *Plantago cupanii*, *Ochlopoa sp.*, *Juncus acutus subsp. acutus*, *Ranunculus sp.*, etc.

- Autres habitats riverains (1) (Habitat à *Nerium oleander*) : même si l'espèce est présente dans les trois stations, la plante ne couvre des surfaces appréciables que dans les deux stations en aval du barrage Allal El Fassi. Cette espèce s'associe à *Dittrichia viscosa* à Zaouiet Sidi Salem ou à *Tamarix africana* à Douar Masdoura. (2) (Habitat à *Dittrichia viscosa*) : comme pour l'habitat précédent, l'espèce est présente dans les trois stations. Mais, elle ne constitue de véritables habitats que dans les deux stations en aval du barrage Allal El Fassi. A Zaouiet Sidi Salem, il est constitué de *Nasturtium officinale*, *Polygonum sp.*, *Persicaria sp.*, *Ochlopoa sp.*, *Veronica Anagallis-aquatica subsp. aquatica*, etc.

- Lit d'oued sec : (1) (Habitat du lit d'oued sec d'Azzaba) : il est constitué d'une végétation clairsemée, constituée de *Cyperus fuscus*, *Juncus subulatus*, *Juncus fontanesii*, etc. Les berges sont couvertes par des espèces terrestres comme *Euphorbia terracina*, *Centaurea seridis*, *Erigeron canadensis*, *Erigeron bonariensis*, etc. (2) (Habitat à *Carthame* et *Ammi visnaga*) : dans la station de Douar Masdoura, le lit d'oued sec est colonisé par une formation dominée par *Carthamus lanatus* et *Ammi visnaga*.

ESPÈCES DE FLORE DE HAUTE VALEUR DE CONSERVATION

Les espèces Endémiques

Un taxon endémique est un taxon dont l'aire de répartition est limitée à l'échelle nationale ou à l'échelle commune avec l'un ou plusieurs pays directement voisins (Algérie, Espagne, Portugal).

Le site abrite :

- 3 taxons endémiques du Maroc : *Convolvulus gharbensis*, *Nasturtium africanum*, *Silene secundiflora subsp. macrotheca*,
- 2 taxons endémiques communs à l'Algérie et au Maroc : *Carlina brachylepis*, *Fraxinus dimorpha*,
- 1 taxon endémique commun à la Péninsule Ibérique et au Maroc : *Lonicera periclymeum subsp. hispanica*,
- 1 taxon endémique commun à l'Espagne et au Maroc : *Avena murphyi*,
- 1 taxon endémique commun à l'Algérie, l'Espagne et au Maroc : *Thymelaea salsa*.

La station d'Azzaba héberge le plus d'espèces endémiques : *Avena murphyi*, *Fraxinus dimorpha*, *Lonicera periclymeum subsp. hispanica*, *Silene secundiflora subsp. macrotheca* et *Thymelaea salsa*, alors que *Carlina brachylepis* a été rencontrée dans les deux stations d'Azzaba et de Douar Masdoura. *Nasturtium africanum* pousse dans les deux stations Zaywat Sidi Salem et Douar Masdoura.

Les espèces rares ou menacées

Sur la base des critères établis par Fennane & Ibn Tattou (1998) pour définir la fraction rare ou menacée de la flore marocaine à l'échelle nationale, les taxons rencontrés dans les trois stations peuvent être listés comme suit :

- À l'échelle locale, les trois stations abritent 7 taxons considérés comme très rares : *Avena murphyi*, *Hordeum murinum subsp. glaucum*, *Isolepis pseudosetacea*, *Plantago major subsp. intermedia*, *Poa compressa*, *Rumex bucephalophorus subsp. bucephalophorus*, *Soliva stolonifera*. Il est à signaler que la dernière espèce, originaire de l'Amérique du Sud et actuellement naturalisée au Maroc, est citée pour la première fois dans cette région. Les 3 stations de l'étude comptent également 3 taxons rares: *Silene secundiflora subsp. macrotheca*, *Nasturtium africanum* et *Carex acuta*. *Juncus hybridus* est le seul taxon présumé rare présent dans les 3 stations.

- A l'échelle régionale (Méditerranée), l'espèce *Nasturtium africanum* est signalée dans les listes IUCN en état de danger [EN]. 29 autres sont listées dans la catégorie «à préoccupation mineure» [LC] : *Apium nodiflorum*, *Arundo donax*, *Cyperus fuscus*, *C. laevigatus*, *C. longus*, *Ficus carica*, *Juncus bufonius*, *J. fontanesii*, *J. subulatus*, *Lythrum junceum*, *Mentha suaveolens*, *Nasturtium officinale*, *Ochlopoa annua*, *Panicum repens*, *Persicaria decipiens*, *Persicaria lapathifolia*, *Polypogon monspeliensis*, *Populus nigra*, *Potamogeton nodosus*, *Pulicaria arabica*, *Salix pedicellata subsp. pedicellata*, *Scirpoides holoschoenus*, *Spergularia bocconeii*, *Trifolium scabrum*, *Typha dominguenis*, *Typha latifolia*, *Veronica anagallis-aquatica subsp. aquatica*.

RICHESSSE FLORISTIQUE

La richesse floristique totale des trois sites dénombrée lors des deux missions s'élève à 180 taxons réparties entre 38 familles de plantes vasculaires (Fig. 13). Les familles sont considérées ici au sens de l'APG III.

Les 2 familles les plus riches sont les Asteraceae et les Poaceae avec 35 et 31 taxons respectivement. Elles sont suivies par les familles des Leguminosae et des Brassicaceae avec 15 et 9 taxons respectivement. Les trois familles des Caryophyllaceae, Plantaginaceae et des Polygonaceae comptent 8 taxons chacune, et enfin les familles des Apiaceae, Cyperaceae et Juncaceae avec 7, 6 et 5 taxons respectivement.

Les 2 familles des Amaranthaceae et des Salicaceae comptent 4 taxons chacune. Les 3 familles des Convolvulaceae, Geraniaceae et des Typhaceae ont 3 taxons chacune. 6 familles (Boraginaceae, Euphorbiaceae, Gentianaceae, Oleaceae, Primulaceae et Ranunculaceae) sont représentées par 2 taxons chacune.

Et 19 familles (Apocynaceae, Caprifoliaceae, Equisetaceae, Labiatae, Lythraceae, Malvaceae, Moraceae, Papaveraceae, Plumbaginaceae, Portulacaceae, Potamogetonaceae, Rhamnaceae, Rubiaceae, Scrophulariaceae, Solanaceae, Tamaricaceae, Thymelaeaceae, Verbenaceae et Vitaceae) n'ont qu'une espèce chacune.

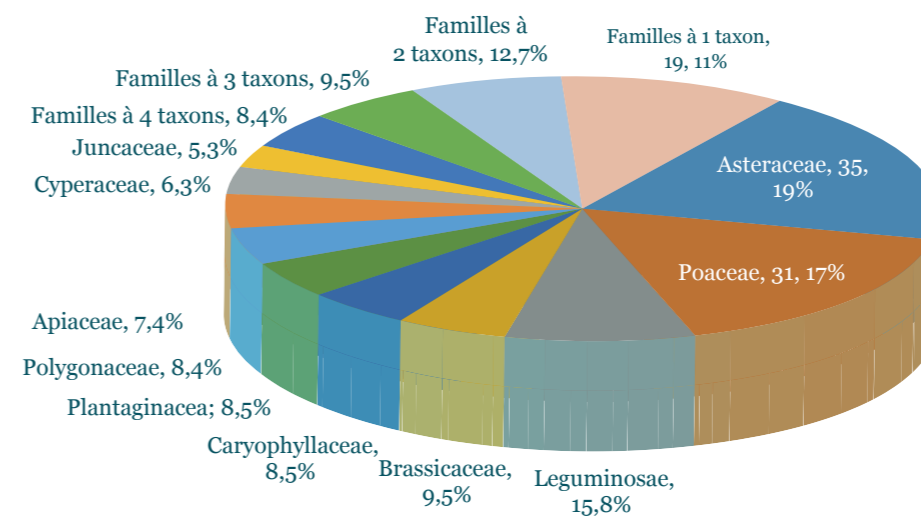


Figure 13 : Richesse végétale des familles en espèces et/ou sous-espèces

RÉSULTATS SELON LES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

Types biologiques

La distribution des types biologiques par station montre que les thérophytes sont largement dominants, suivis par les hémicryptophytes (Fig. 14). Les géophytes occupent la troisième position à Douar Masdoura et Zawyat Sidi Salem. Les phanérophytes tiennent cette même position à Azzaba.

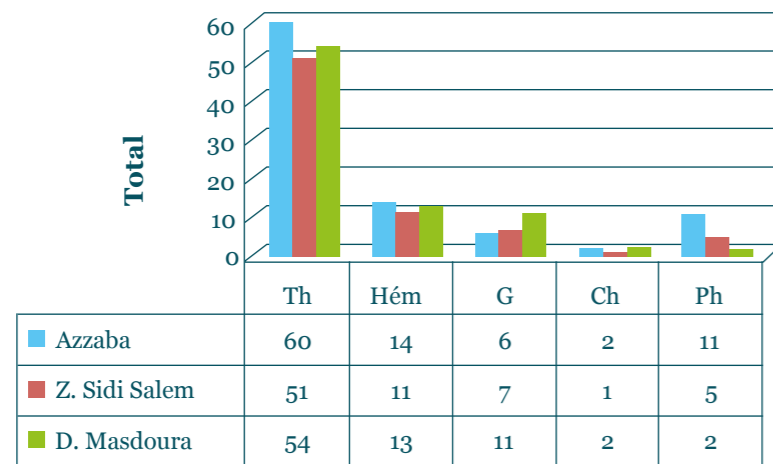


Figure 14 :
Types biologiques par station d'étude.

La dominance des thérophytes dans chacune des trois stations indique qu'il s'agit de milieux ouverts, où l'impact humain est évident. Même si Azzaba montre le nombre le plus élevé de thérophytes, cette station conserve malgré tout le nombre le plus élevé de phanérophytes.

Le calcul du pourcentage de chacun des types biologiques par station permet d'établir le spectre biologique brut de chacune des stations (Fig. 15). Le spectre biologique permet une lecture plus objective de l'état écologique de chaque station.

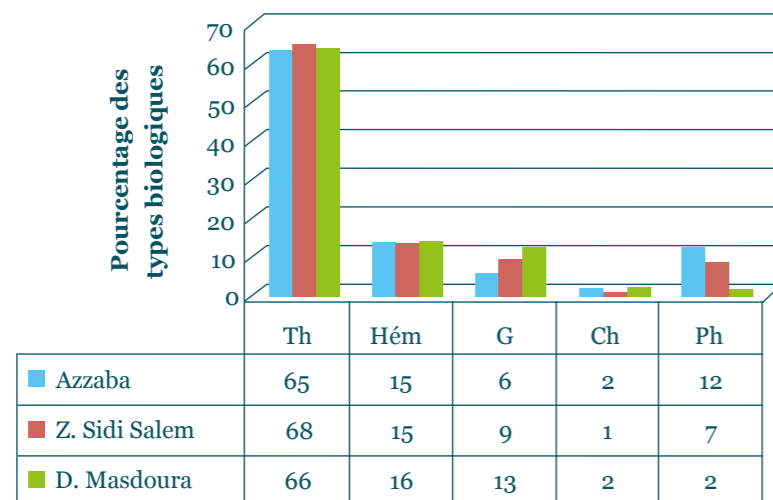


Figure 15 :
Spectres biologiques bruts au niveau des stations d'étude.

Pour les thérophytes, indice d'ouverture du milieu, la station de Zawyat Sidi Salem montre le pourcentage le plus élevé, suivie par celle de Douar Masdoura. Le pourcentage des géophytes augmente en s'éloignant d'Azzaba, alors qu'il diminue pour les phanérophytes au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la même station. De l'ensemble de ces observations sur les types biologiques, Azzaba semble être la moins touchée par l'action humaine.

Zawyat Sidi Salem montre en même temps le plus grand pourcentage de thérophytes mais un pourcentage de phanérophytes plus élevé que celui de Douar Masdoura. Il semble que les travaux d'aménagement annexes à la construction du pont de l'autoroute Fès-Taza ont perturbé les conditions écologiques de la station située juste au dessous du pont. Cette station était avant la construction de l'autoroute un champ de culture parsemé d'oliviers. Le retour à l'état d'origine, si les conditions de milieu ne subissent pas de perturbation majeure, est à prévoir dans les prochaines décennies. Douar Masdoura semble être la station la plus ouverte et la plus touchée par l'action humaine, surtout sur la rive droite.

Nombre total de taxons dans les stations d'échantillonnage

Les hydrophytes sont des plantes développant tout l'appareil végétatif à l'intérieur d'un plan d'eau ou à sa surface (nageant ou enraciné). L'espèce unique trouvée dans les sites est *Potamogeton nodosus*. Cette plante hydrophyte fixée à feuilles flottantes constitue des tapis plus ou moins étendus sur la surface des eaux des deux Stations Zawyat Sidi Salem et Douar Masdoura.



Rideau de *Typha latifolia* et nappes de *Potamogeton nodosus* à Douar Masdoura

Les plantes amphibies sont des plantes capables de se développer aussi bien sur terre que dans l'eau. Les trois sites abritent 53 taxons de ce type, soit environ 30 % du total. Douar Masdoura contient le plus de taxons amphibies avec 35 taxons, suivi par Zawyat Sidi Salem et Azzaba avec 31 et 23 taxons respectivement. (Tab. 6).

Le barrage Allal El Fassi, en assurant un débit plus régulier toute l'année, semble favoriser plus de richesse en amphibiens à son aval.

Taxon	Azzaba	Zawyat Sidi Salem	Douar Masdoura	Taxon	Azzaba	Zawyat Sidi Salem	Douar Masdoura
<i>Apium nodiflorum</i>	*	*	*	<i>Arundo donax</i>	*		*
<i>Nerium oleander</i>	*	*	*	<i>Cynodon dactylon</i>	*	*	*
<i>Dittrichia viscosa</i>	*	*	*	<i>Ochlopoa annua</i>			*
<i>Pulicaria arabica</i>		*		<i>Ochlopoa maroccana</i>		*	
<i>Symphytotrichum squamatum</i>			*	<i>Panicum repens</i>			*
<i>Nasturtium africanum</i>		*	*	<i>Paspalum distichum</i>	*	*	*
<i>Nasturtium officinale</i>		*		<i>Polypogon monspeliensis</i>	*	*	*
<i>Spergularia bocconeii</i>		*	*	<i>Persicaria decipiens</i>	*		
<i>Carex acuta</i>	*			<i>Persicaria lapathifolia</i>		*	
<i>Cyperus fuscus</i>	*	*		<i>Rumex conglomeratus</i>		*	*
<i>Cyperus laevigatus</i>			*	<i>Rumex crispus</i>			*
<i>Cyperus longus</i>			*	<i>Rumex pulcher</i>	*		*
<i>Isolepis pseudosetacea</i>			*	<i>Potamogeton nodosus</i>		*	*
<i>Scirpoides holoschoenus</i>	*			<i>Samolus valerandi</i>		*	*
<i>Juncus acutus</i> subsp. <i>acutus</i>			*	<i>Ranunculus parviflorus</i>		*	*
<i>Juncus bufonius</i>	*	*		<i>Ranunculus trilobus</i>			*
<i>Juncus fontanesii</i>	*	*		<i>Populus alba</i>	*	*	
<i>Juncus hybridus</i>		*		<i>Populus nigra</i>	*		
<i>Juncus subulatus</i>	*			<i>Salix pedicellata</i> subsp. <i>pedicellata</i>	*		
<i>Mentha suaveolens</i>	*	*	*	<i>Salix purpurea</i>	*	*	
<i>Trifolium fragiferum</i>			*	<i>Scrophularia sp</i>	*	*	
<i>Trifolium isthmocarpum</i>			*	<i>Tamarix africana</i>	*	*	*
<i>Trifolium tomentosum</i>		*	*	<i>Typha cf. dominguensis</i>			*
<i>Lythrum junceum</i>	*	*	*	<i>Typha latifolia</i>			*
<i>Plantago coronopus</i>			*	<i>Typha sp</i>		*	*
<i>Plantago cupanii</i>			*	<i>Verbena officinalis</i>			*
<i>Veronica anagallis-aquatica</i> subsp. <i>aquatica</i>		*					

Tableau 6 :
Taxons de végétation riveraine par station d'étude.

Richesse floristique par station

D'une manière générale, le nombre de taxons diminue dans les trois stations au mois de juillet. La station de Douar Masdoura montre la plus grande diminution (environ 47 %), suivie par la station d'Azzaba avec une réduction de 39 %.

La station de Zawyat Sidi Salem montre une perte d'environ 24 % seulement (Tab. 7). La sécheresse climatique serait la cause de la diminution de la diversité floristique. Il en est de même pour les taxons exclusifs de chaque station sauf pour la station de Zawyat Sidi Salem qui enregistre une légère augmentation.

	Station 1	Station 2	Station 3
Mai	74 (49)	54 (18)	64 (28)
Juillet	45 (26)	41 (20)	36 (15)

Tableau 7 :
Richesse floristique par station. Entre parenthèses, les taxons exclusifs pour chaque station.

Le pourcentage des taxons le plus élevé a été noté dans la station d'Azzaba ; il est de 66 % au mois de mai et de 58 % en juillet. Pour la station de Douar Masdoura, il diminue de 44 % en mai à 42 % en juillet. Seule la station de Zawyat Sidi Salem augmente de 33 % en mai à 49 % en juillet.

Le nombre de taxons communs entre 2 des 3 stations reste faible (entre 5 et 16 taxons). Il est le plus élevé, entre les stations de Zawyat Sidi Salem et celle de Douar Masdoura, avec 16 et 8 taxons communs aux mois de mai et de juillet, respectivement. La station d'Azzaba compte le même nombre de taxons communs avec les deux autres stations, avec 5 et 6 taxons communs, aux mois de mai et de juillet respectivement (Tab. 8). Le nombre de taxons communs entre les 3 stations à la fois est de 15 et 7 aux mois de mai et de juillet, respectivement.

	Mois	Zawyat Sidi Salem	Douar Masdoura
Azzaba	Mai	5	5
	Juillet	6	6
Zawyat Sidi Salem	Mai		16
	Juillet		8

Tableau 8 :
Taxons végétaux communs entre les stations.

Indices de similarité entre les trois stations

Le choix s'est porté sur l'indice de Jaccard, qui permet de tester la similarité entre deux habitats. Les résultats sont analysés aux deux échelles: spatiale et temporelle (Tab. 9). A l'exception des valeurs de l'indice de similarité enregistrées entre les stations Zawyat Sidi Salem et Douar Masdoura, relativement élevées, aussi bien en mai qu'en juillet, toutes les autres valeurs restent basses. Les observations que l'on peut tirer restent donc relatives.

Concernant la similarité spatiale entre les stations, au mois de mai, les stations 2 et 3 montrent l'indice de similitude le plus élevé (0,258). Les deux stations restent les plus proches au mois de juillet avec un indice de 0,186. Au mois de mai, la station d'Azzaba semble plus éloignée de la station de Douar Masdoura avec un indice de 0,058, que de la station de Zawyat Sidi Salem avec un indice de 0,069.

Au mois de juillet, le même ordre est respecté entre la station d'Azzaba et les deux autres stations, mais les indices sont relativement plus élevés (indice de 0,128 avec la station Douar Masdoura et de 0,115 avec la station de Zawyat Sidi Salem).

En ce qui concerne la similarité temporelle (entre saisons), si nous la comparons entre chacune des stations aux mois de mai et de juillet, celle d'Azzaba a enregistré l'indice le plus élevé avec 0,175, donc à effet moindre de la saisonnalité, suivie par la station de Douar Masdoura avec un indice de 0,121. La station Zawyat Sidi Salem semble montrer la flore la moins identique aux deux dates, donc des conditions de milieu relativement différentes entre mai et juillet.

		Azzaba	Zawyat Sidi Salem	Douar Masdoura	T1	T2
Azzaba	R1	0,175				
	R2					
Zawyat Sidi Salem	R1	0,069	0,033			
	R2	0,115				
Douar Masdoura	R1	0,058	0,258	0,121		
	R2	0,128	0,186			
T2					0,105	
T3					0,149	0,182

Tableau 9 :
Indices de similitudes aux échelles spatiale et temporelle. (Légende: R1 = taxons du mois de mai ; R2 = taxons du mois de juillet ; T1 = ensemble des taxons de la station 1; T2 = ensemble des taxons de la station 2; T3 = ensemble des taxons de la station 3).

La comparaison de la totalité de la richesse floristique en fonction des taxons montre que, comme on peut s'y attendre, les stations Zawyat Sidi Salem et Douar Masdoura ont relativement les conditions de milieu les plus proches avec un indice de 0,182.

Mais paradoxalement, les conditions de milieu de la station d'Azzaba avec un indice de 0,149 semblent relativement plus proches de celles de la station Douar Masdoura que de celles de la station Zawyat Sidi Salem, pourtant plus proche spatialement (avec un indice de 0,105).

COMMENTAIRES FINAUX SUR LES PEUPELEMENTS VEGETAUX

Il reste évident qu'un avis relativement objectif reste largement tributaire de la confrontation de l'ensemble des résultats obtenus par l'ensemble des contributeurs (Tab. 10).

Paramètres			Azzaba	Zawyat Sidi Salem	Masdoura
Richesse floristique	Mai		74	54	64
	Juillet		45	41	36
	Total		97	78	84
Similarité temporelle			0,175	0,033	0,121
Similarité spatiale	Azzaba	Mai		0,069	0,058
		Juillet		0,115	0,128
	Zawyat Sidi Salem	Mai			0,258
		Juillet			0,186
Nombre de taxons aquatiques				1	1
Nombre de taxons riverains			23	30	34
Habitat aquatique				1	1
Habitats riverains			3	5	6

Tableau 10 :
Comparaison des données sur la végétation.

L'effet barrage est dans notre cas bien évident. A son aval, il se traduit par une réduction notable de la richesse floristique, une augmentation ou une diminution de l'indice de similarité spatiale en fonction des saisons humide et sèche. Le phénomène d'eutrophisation du milieu aquatique apparaît également pertinent par l'apparition de nappes de Potamogeton nodosus de plus en plus étendues, une augmentation du nombre d'espèces riveraines et une diversification des habitats.

Il ressort de l'ensemble des résultats obtenus que pour la station d'Azzaba, les conditions de milieu restent relativement comparables par rapport à celles des deux autres stations en aval du barrage. Les indices d'eutrophisation sont absents (absence de nappes de Potamogeton nodosus), dont 3 types d'habitats ont pu être distingués. Pour les stations de Zawyat Sidi Salem et de Douar Masdoura, les valeurs de l'indice de similarité enregistrées sont les plus élevées. Une diversité des habitats relativement importante a pu être reconnue. De même, il y a présence d'indices d'eutrophisation par le développement de nappes de Potamogeton nodosus. Une utilisation humaine des eaux du Sebou, sous des formes multiples, est évidente.

En conclusion, seule la station d'Azzaba semble montrer un débit écologique meilleur. La station de Zawyat Sidi Salem semble occuper une position intermédiaire. Celle de Douar Masdoura semble montrer les valeurs les plus faibles.



ETUDE DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Par Pr. Abdelkader CHAHLAOUI

Objectifs

La qualité de l'eau est définie comme les qualités physiques, chimiques, biologiques et esthétiques de l'eau, qui déterminent son aptitude à l'utilisation humaine ainsi que pour la maintenance d'un écosystème sain.

L'évaluation de la qualité de l'eau fournit des informations sur l'état actuel de l'oued et considère les influences des niveaux d'écoulement altérés sur la présence et la concentration de composés pouvant nuire aux humains et à la vie aquatique.

Les principaux objectifs de l'étude sur la qualité de l'eau étaient les suivants :

- Effectuer des mesures, in situ et au laboratoire, des paramètres de la qualité de l'eau dans les stations d'échantillonnage de l'étude pendant les débits faible et élevé ;
- Déterminer la variation spatio-temporelle de la qualité de l'eau dans tout le bassin ;
- Faire des recommandations sur les niveaux d'écoulement nécessaires pour maintenir la qualité de l'eau appropriée.

ÉVALUATION GÉNÉRALE DE LA QUALITÉ DE L'EAU AU NIVEAU DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'évaluation du site d'échantillonnage a révélé que la qualité de l'eau était généralement bonne car aucun paramètre n'a été mesuré à des concentrations supérieures aux normes nationales ou internationales de qualité de l'eau. La température, la conductivité, les solides dissous totaux (TDS) et la salinité ont tous augmenté de la source vers l'aval. Cependant, les niveaux sur les trois sites d'échantillonnage sont restés cohérents.

En général, la qualité des eaux de surface du tronçon étudié de l'oued Sebou n'est pas affectée directement par l'intensité des influences des activités anthropiques, grâce :

- Au positionnement du barrage Allal El Fassi, qui joue un rôle important dans l'autoépuration par décantation au niveau du réservoir en ce qui concerne les stations localisées à son aval (stations 2 et 3).
- Au développement timide des activités anthropiques, qui demeurent rudimentaires à l'amont du barrage Allal El Fassi, malgré la pullulation des huileries traditionnelles dont les rejets sont épandés à l'air libre. Ce qui favorise leur épuration avant l'arrivée de l'effluent par drainage vers l'oued.

Ainsi, les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées, durant les deux campagnes pour apprécier la qualité des eaux de l'oued Sebou au niveau de l'aire de l'étude, ont conclu globalement que la qualité des eaux est relativement bonne au niveau des trois stations voire excellente durant la saison hivernale, notamment au niveau de la station 2.

Néanmoins, les averses, ayant sévi dans la zone, ont engendré des crues juste avant la période de prélèvements, notamment la saison sèche, ce qui a perturbé légèrement l'interprétation des résultats de certains paramètres.



ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES DE L'EAU

pH, température, conductivité, salinité et matière dissoute

Les résultats de ces paramètres sont présentés dans le tableau 11.

Paramètres	Station 1		Station 2		Station 3	
	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche
pH	8,02	8,07	8,22	8,27	8,15	8,31
T°C (air)	21,2	26,8	26,8	31	26,7	31,1
T°C (eau)	17	20,2	24,3	26,3	22,6	25,5
Conductivité (µS/cm 25 °C)	595	651	970	946	1110	1120
Salinité (mg/l)	319	0,3	510	8,82	601	0,5
Turbidité	142	451	114	57	90	92
Matière en suspension (mg/l)	98	517	98	102	99	138
Dureté totale (°F)	22,75	22,1	25	25,6	26,5	27,5
Sulfates (mg/l)	53,78	88,47	47,75	80,93	40,59	65,85
Chlorures (mg/l)	53,25	63,9	124,25	149,1	134,9	134,9

Tableau 11 : pH, température, conductivité, salinité et matière dissoute au niveau des stations d'étude pour les 2 campagnes saison d'échantillonnage.

La fluctuation du paramètre pH est étroitement liée aux précipitations, au couvert végétal aux abords de l'oued et au substrat du lit. Le pH est basique durant les deux saisons de prélèvements, tandis que l'alcalinité est relativement moins importante durant la saison humide par rapport à la sèche au niveau des trois stations d'étude.

Etant donné que l'emplacement des stations suit le gradient descendant de l'altitude, il paraît clairement que la température de l'air mesurée au niveau des trois stations suit le gradient inverse durant les deux campagnes de prélèvements avec une cadence moyenne de 4,7 °C différée dans le temps. Quant à la température de l'eau, elle a subi l'influence de deux paramètres à savoir l'effet inverse de l'altitude et l'effet de l'apport et le débit de l'eau. En effet, la température de l'eau augmente avec la baisse de l'altitude durant les deux campagnes de prélèvement. Néanmoins, il a été remarqué qu'il y a une légère baisse en Celsius (moins d'un degré) au niveau de la station 3 par rapport à la station 2 et qui pourrait être expliquée par le microclimat du site.

La variabilité spatiale de la conductivité de l'eau augmente de l'amont vers l'aval suivant le gradient de la variabilité du pH, la température de l'eau et de l'air des 3 stations étudiées. Étant donné, que la conductivité de l'eau dépend de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques, sa variabilité temporelle n'est pas significative dans ce cas, du fait que la région étudiée a connu des averses estivales ayant engendré des crues. Ainsi, les valeurs de la conductivité de l'eau varient entre un minimum de 595 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C à la station 1 durant la saison humide et un maximum de 1 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C à la station 3 durant la saison sèche, ce qui prouve que l'eau contient des quantités importantes d'ions en solution.

La salinité de l'eau exprime la concentration des sels dissous dans l'eau. En effet, elle est en relation étroite avec la lithologie de la zone, le débit et la profondeur des endroits de prélèvement. Pendant la saison humide, la salinité augmente de l'amont vers l'aval en suivant le gradient du pH et de la conductivité ainsi mesurés au niveau des stations de prélèvements. Quant à la saison sèche, la salinité de l'eau au niveau des trois stations est nettement non significative par rapport à la première saison. Ce phénomène pourrait être expliqué par les averses temporelles ayant précédé le prélèvement et engendrant un débit maximal d'écoulement provoquant une turbidité importante diluant la salinité de l'eau et minimisant son évaporation.

La turbidité désigne l'opacité de l'eau, entre autres, sa capacité d'absorber ou de diffuser la lumière. C'est un indicateur de présence de particules organiques ou inorganiques, vivantes ou détritiques en suspension. Ainsi, la turbidité de l'eau affecte sa température, sa teneur en oxygène et sa salinité. La turbidité de l'eau spatiale suit le gradient altitudinal des stations de prélèvements soit inversement proportionnelle au gradient du pH et de la température de l'eau. Néanmoins, l'impact des averses estivales ayant sévi dans la zone a augmenté la turbidité de l'eau au niveau de la station 1 en amont du bassin versant du Haut Sebou.

L'analyse spatio-temporelle de la matière en suspension dans l'eau révèle que les valeurs enregistrées durant la saison sèche sont plus importantes que celles de la saison humide au niveau des trois stations. Ce phénomène pourrait être expliqué par les averses ayant sévi dans la zone durant la saison estivale juste avant le prélèvement des échantillons. Quant à la fluctuation spatiale de la matière en suspension dans l'eau, il paraît clairement que la valeur minimale est enregistrée au niveau de la station 2 grâce à l'effet de l'autoépuration et de la décantation au niveau du lac du barrage Allal El Fassi à l'amont de la dite station.

La dureté de l'eau au niveau du bassin versant du Haut Sebou varie entre 22,1 et 27,5 mg/l, ce qui démontre que cette eau est plutôt dure selon la classification universelle. En effet, le gradient de la dureté de l'eau augmente de l'amont vers l'aval durant les deux saisons de prélèvement. Ceci ne pourrait être expliqué que par la lithologie calcaire-dolométique, qui libère les ions carbonatés le long du cours d'eau.

L'analyse de l'évolution spatio-temporelle de la concentration des ions du sulfate dans les eaux de surface des trois stations montre une nette influence saisonnière due probablement à l'augmentation de la température. Son maximum (88,47 mg/l) a été enregistré à la station 1 durant la saison sèche. Les fluctuations spatiales suivent généralement un ordre croissant. En effet la concentration de l'ion sulfate diminue durant les deux saisons suivant le gradient altitudinal (de l'amont à l'aval). En effet, la valeur minimale (40,59 mg/l) est enregistrée à la station 3 durant la saison humide.

L'analyse de l'évolution spatio-temporelle de la concentration des chlorures dans les eaux de surface des trois stations montre une nette influence saisonnière, soit des valeurs plus importantes lors de la saison sèche par rapport à la saison humide. En ce qui concerne la répartition spatiale, la concentration des chlorures durant la saison humide suit inversement le gradient altitudinal de l'amont vers l'aval avec un minimum de 53,25 mg/l au niveau de la station 1. Durant la saison sèche, la station 2 enregistre un maximum de concentration des chlorures d'une valeur de 149,1 mg/l suivie de la station 2, puis la station 1.

Conditions d'oxygène

Les résultats des conditions d'oxygène sont présentés dans le tableau 12. Les concentrations d'oxygène dissous dans les eaux des stations étudiées sont marquées par l'effet de la saisonnalité. En effet, l'évolution saisonnière de l'oxygène dissous montre des concentrations maximales en saison humide par rapport à la saison sèche. Concernant la répartition spatiale, il est à noter que la station 1 (en amont) présente des taux relativement faibles comparativement à ceux des stations 2 et 3 en aval.

En comparant la teneur en oxygène dissous des trois stations avec la norme adoptée par le ministère de l'environnement (Rapport I), il paraît que l'oxygénation de l'eau des trois stations durant la saison humide est plus importante (>7 mg/l), tandis que celle durant la saison sèche est plus faible au niveau

de la station 1 (< 3 mg/l) et moyenne au niveau des stations 2 et 3 (<5 mg/l). En effet, la teneur en oxygène est corrélée avec l'augmentation de la température de l'eau, ce qui ne peut être expliqué que par d'autres facteurs exogènes à savoir l'action anthropique en amont et l'apport en eaux à partir des affluents de l'oued Sebou au niveau des stations 2 et 3 en aval.

Paramètres	Station 1		Station 2		Station 3	
	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche
Oxygène dissout (mg/l)	7,56	2,43	8,22	4,67	8	4,29
DBO5 (mg/l)	11	22	10	5	10	9
DCo (mg/l)	28	67	23	18	25	29
DCO/DBO5	2,55	3,05	2,3	3,6	2,5	3,22

Tableau 12 :
Conditions d'Oxygène dans les stations d'étude lors des 2 saisons d'échantillonnage.

La teneur en DBO5 suit le gradient altitudinal des stations étudiées durant les deux saisons de prélèvement. En effet, selon la répartition spatiale, il a été constaté que la teneur en DBO5 est plus importante lors de la saison sèche par rapport à celle humide pour la station 1 à l'inverse des stations 2 et 3. De ce fait, le pouvoir de décomposition de la matière organique par les bactéries est plus important au niveau de la station 1 comparativement avec celui des stations 2 et 3. De point de vue DBO5, la qualité de l'eau des stations 2 et 3 est considérée moyenne ($5 < X < 10$) selon les normes adoptées par le ministère de l'environnement par contre celle de l'eau à la station 1 est considérée mauvaise ($10 < X < 25$).

D'après les résultats d'analyse spatio-temporelle de la DCO, il a été constaté que la qualité de l'eau est considérée excellente (<30 mg/l) au niveau de tous les prélèvements, exception faite pour la station 1 pendant la saison sèche où la qualité est classée mauvaise selon les normes du Ministère de l'Environnement. Par ailleurs, il a été remarqué que les valeurs de la DCO les plus basses sont enregistrées au niveau de la station 2 durant les deux saisons de prélèvement suivies de celles de la station 3, puis la station 1.

Le rapport DCO/DBO5 donne une estimation de la biodégradabilité de la matière organique des eaux. En effet, l'analyse spatio-temporelle de ce rapport démontre qu'il est plus important durant la saison sèche comparativement à celui de la saison humide. Concernant la répartition spatiale, le tableau 12 illustre que la station 2 marque les extrêmes du rapport DCO/DBO5 avec un maximum durant la saison sèche de l'ordre de 3,6 et un minimum de l'ordre de 2,3 durant la saison humide. Par rapport aux normes conventionnelles, le rapport DCO/DBO5 indique que la matière organique existante dans l'effluent est partiellement biodégradable durant la saison humide au niveau des trois stations ($2 < X < 3$) et n'est pas biodégradable durant la période sèche (> 3). Nutriments : Phosphore et azote.

Les valeurs nutritives sont présentées dans le tableau 13. La teneur en Orthophosphates augmente dans le sens inverse du gradient altitudinal de l'amont vers l'aval durant les deux saisons de prélèvement. Néanmoins, la teneur en Orthophosphates est plus importante durant la saison humide par rapport à la sèche au niveau des stations 1 et 2, et inversement au niveau de la station 3. Par rapport aux normes de qualité fixées par le Ministère de l'Environnement, la qualité des eaux des trois stations est classée de excellente à bonne (<0,3 mg/l) durant les deux saisons de prélèvement.

Paramètres	Station 1		Station 2		Station 3	
	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche
Orthophosphates (mg/l)	0,16	0	0,17	0,1	0,18	0,27
Ammonium (mg/l)	0,12	0	0,08	0	0,03	0
Nitrates (mg/l)	5,97	2,87	6,1	1,7	6,08	1,31
Nitrites (mg/l)	0,032	0,06	0,081	0,12	0,073	0,29

Tableau 13 :
Eléments nutritifs dans les stations d'études lors des 2 saisons d'échantillonnage.

Les valeurs relevées en ions ammonium dans les eaux des trois stations permettent de classer ces eaux dans la trame de excellente à bonne qualité, selon les normes de qualité des eaux de surface adoptées par le ministère de l'environnement (<0,3 mg/l). Par ailleurs, l'analyse de l'évolution spatio-temporelle de la concentration en ion ammonium montre une nette influence saisonnière. Par rapport à la fluctuation spatiale, la teneur en ion ammonium est plus importante en amont qu'en aval suivant le gradient altitudinal.

La variation de la teneur en nitrates en eau de surface des trois stations est influencée par la saisonnalité. En effet, elle est plus importante durant la saison humide par rapport à la saison sèche. En effet, la concentration des nitrates enregistrée durant la saison humide pour les trois stations dépasse de loin la valeur normale (2 à 3 mg/l). En ce qui concerne la fluctuation spatiale de l'amont vers l'aval, la concentration des nitrates augmente durant la saison humide et décroît durant la saison sèche.

L'évolution spatio-temporelle de la concentration des nitrites est influencée par l'effet de la saisonnalité. En effet, la concentration des nitrites est plus importante durant la saison sèche par rapport à l'humide avec un minimum enregistré au niveau de la station 1 (0,032 mg/l). Quant à l'évolution spatiale, la teneur des nitrites augmente avec le gradient altitudinal inversé de l'amont à l'aval durant la saison sèche avec un maximum enregistré au niveau de la station 3 (0,29 mg/l).

Pathogènes dans l'eau

Les résultats des pathogènes dans l'eau sont présentés dans le tableau 14. Les résultats d'analyses bactériologiques de l'eau de surface des trois stations stipulent que le nombre des germes totaux à 22 °C dépasse les normes conventionnelles (<1000 UFC/100ml) durant les deux saisons de prélèvements. Par contre, seul le nombre des germes totaux à 37 °C au niveau de la station 1 durant la saison sèche dépasse les normes conventionnelles.

Concernant la fluctuation spatio-temporelle, il est à noter que le nombre des germes totaux à 22 °C au niveau des stations 1 et 2 est plus importante durant la saison humide que durant la saison sèche et inversement au niveau de la station 3. Pour les germes totaux à 37 °C, la concentration au niveau des stations 1 et 3 est plus importante durant la saison sèche et inversement au niveau de la station 2. De point de vue répartition spatiale, le nombre des germes totaux à 22 °C est plus important en amont qu'en aval durant la saison humide et inversement durant la saison sèche dont la quantité la plus importante est enregistrée au niveau de la station 3.

Pour les germes totaux à 37 °C, il a été constaté que la concentration la plus élevée est enregistrée au niveau de la station 2, suivie des stations 3 et 1 durant la saison humide. Par contre, durant la saison sèche, le nombre le plus élevé est enregistré au niveau de la station 1 (5 504 UFC/100ml).

Paramètres	Station 1		Station 2		Station 3	
	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche	S. humide	S. sèche
<i>Germes totaux (UFC/100 ml 22°C)</i>	1 680	1 220	1 652	1 432	1 368	1 450
<i>Germes totaux (UFC/100 ml 37°C)</i>	478	5 504	665	507	633	880
<i>Coliformes totaux (UFC/100 ml)</i>	12 635	12 065	1 450	13 205	12 635	21 160
<i>Coliformes fécaux (UFC/100 ml)</i>	214	167	2044	92	125	132
<i>Entérocoques intestinaux (UFC/100 ml)</i>	430	290	180	60	310	730
<i>Réducteurs de Clostridium sulphit (UFC/100 ml)</i>	0	400	0	80	0	200
<i>Staphylococcus aureus (UFC/100 ml)</i>	260	280	420	380	170	153
<i>Pseudomonas aeruginosa (UFC/100 ml)</i>	1 430	1 560	1 075	993	280	260

Tableau 14 :
Concentration des pathogènes relevées lors des 2 saisons d'échantillonnage

Les résultats d'analyses bactériologiques des eaux de surface stipulent que la teneur en coliformes totaux dépasse de loin les normes conventionnelles au niveau des 3 stations durant les deux saisons de prélèvement. La variation spatiale de concentration des coliformes totaux est croissante de l'amont vers l'aval en atteignant une valeur maximale à la station 3 (21 160 UFC/100 ml) durant la saison sèche.

Par contre, durant la saison humide, la station 2 enregistre la teneur la plus basse de l'ordre de 1 450 UFC/100 ml, tandis que les stations 1 et 2 enregistrent la même concentration (12 635 UFC/100ml).

En ce qui concerne la fluctuation spatio-temporelle, les valeurs de la concentration des coliformes totaux enregistrées durant la saison sèche sont plus élevées par rapport à la saison humide.

Les valeurs relevées de la numération des coliformes fécaux permettent de classer les eaux de surfaces des trois stations d'étude dans la bonne qualité (<2 000 UFC/100 ml) durant les deux saisons de prélèvement à l'exception de la station 2 où l'effectif des coliformes fécaux durant la saison humide dépasse les 2 000 UFC/100 ml.

En ce qui concerne la variabilité spatio-temporelle, la concentration des coliformes fécaux est plus importante durant la saison humide par rapport à la saison sèche à l'exception de celle de la station 3 où la concentration recensée durant la saison humide est relativement inférieure à celle de la saison sèche.

Pour la variation spatiale, il est à noter que la concentration des coliformes fécaux de la station 1 est plus importante que celle recensée au niveau de la station 3 durant les deux saisons de prélèvement. Néanmoins, la concentration des coliformes fécaux au niveau de la station 2 atteint le maximum des valeurs avec 2 044 UFC/100 ml durant la saison humide et le minimum avec 92 UFC/100 ml durant la saison sèche.

La variation spatio-temporelle des entérocoques intestinaux est plus importante durant la saison humide au niveau des stations 1 et 2 par rapport à la saison sèche, alors qu'elle a atteint son maximum durant la saison sèche au niveau de la station 3.

Selon la répartition spatiale, il a été constaté que la valeur minimale de l'effectif des entérocoques intestinaux a été enregistrée au niveau de la station 2 durant les deux saisons de prélèvements et les valeurs maximales ont été atteintes au niveau de la station 1 durant la saison humide (430 UFC/100 ml) et au niveau de la station 3 durant la saison sèche (730 UFC/100 ml).

Les valeurs minimales ainsi enregistrées au niveau de la station 2 sont la résultante de l'autoépuration et de la décantation des eaux au niveau du lac du barrage Allal El Fassi, qui se localise en amont de la dite station.

Les résultats d'analyse bactérienne stipulent qu'il n'y a aucune existence remarquable des *Clostridium sulfito*-réducteurs durant la saison humide au niveau des 3 stations.

Par contre, durant la saison sèche, la concentration des *Clostridium sulfito* réducteurs atteint son maximum (400 UFC/100 ml) au niveau de la station 1 et son minimum au niveau de la station 2 (80 UFC/100 ml). Les valeurs minimales ainsi enregistrées au niveau de la station 2 sont la résultante de l'autoépuration et décantation au niveau du lac du barrage Allal El Fassi, qui se localise en amont de la dite station.

Par rapport aux normes conventionnelles, qui indiquent la quasi-absence des *Staphylocoques aureus*, les résultats d'analyse bactérienne stipulent que leur concentration au niveau des trois stations durant les deux saisons de prélèvement est plus élevée (>153 UFC/100ml). En effet, la fluctuation spatio-temporelle de cette bactérie est plus importante durant la saison humide au niveau des stations 2 et 3 et relativement moindre durant la saison humide au niveau de la station 1.

Par rapport à la variation spatiale, il est à noter que la concentration des *staphylocoques aureus* la plus élevée est enregistrée au niveau de la station 2 durant les deux saisons de prélèvement, suivie de celle recensée au niveau de la station 1 et puis la station 3.

La variation spatiale des concentrations des *Pseudomonas aeruginosa* dans les eaux de surfaces deviennent moins importantes suivant le gradient altitudinal de l'amont vers l'aval durant les deux saisons de prélèvements. Par rapport à la fluctuation spatio-temporelle, il est à noter que la concentration des *Pseudomonas aeruginosa* des stations 2 et 3 durant la saison humide est plus importante que celle recensée durant la saison sèche. Cependant, la concentration des *Pseudomonas aeruginosa* recensée au niveau de la station 1 durant la saison sèche est plus importante que celle de la saison humide.



OBJECTIFS

L'objectif environnemental recommandé, pour l'oued Sebou à Azzaba a été jugé élevé. L'état écologique actuel du site est bon et présente des mérites suffisants pour être déclaré zone naturelle protégée en raison de la présence de certaines espèces de faune et de flore retrouvées sur le site. La tendance du changement a été considérée comme négative, car des activités comme le déboisement modifient les zones en amont et influencent ce site. Par conséquent, les recommandations relatives au débit écologique devraient être fixées dans le but d'arrêter les tendances négatives actuelles causant la dégradation et de permettre le maintien du site dans son état actuel ou de l'améliorer.

Ceci n'est pas le cas des deux stations de l'étude en aval du barrage Allal El Fassi. Dans certains cas, les masses d'eau sont tellement affectées par l'activité humaine que la réalisation des objectifs environnementaux pour les cours d'eau naturels serait techniquement impossible ou disproportionnellement coûteuse.

Dans le Sebou, en aval du barrage Allal El Fassi, la disponibilité de l'eau est une limitation majeure à la fourniture des débits écologiques, ce qui nécessite une application très soignée et prudente pour maximiser les rendements écologiques.

Ainsi, les recommandations pour les débits écologiques dans le Sebou en aval du barrage Allal El Fassi sont basées sur le principe que l'état futur de l'oued ne ressemblera pas à celui qui existait avant la mise en place du barrage. Au contraire, le défi posé par l'évaluation des débits écologiques en aval du barrage Allal El Fassi était d'améliorer la condition actuelle en développant une «déclaration ou énoncé de vision» et des objectifs écologiques explicites fondés sur des critères biologiques.

RECOMMANDATIONS SUR LE DÉBIT

Les résultats présentés ici sont le produit de journées de délibération de l'équipe d'experts scientifiques. Ils sont soutenus par des années d'expérience professionnelle et d'études scientifiques au Maroc.

Les catégories de gestion écologique ont été définies selon les conditions à partir de 2014, et les recommandations de débit ne sont pas sans un certain degré d'incertitude. Les résultats et les recommandations sur les débits spécifiques devraient être revus périodiquement et surtout après tout changement majeur dans les conditions du bassin du Sebou qui affecterait les objectifs environnementaux proposés dans l'une des stations de la présente étude.

Comme c'est le cas pour d'autres études sur les débits écologiques, une approche de gestion adaptative est également suggérée dans le bassin du Sebou, par laquelle l'ABHS et les scientifiques surveilleraient l'efficacité du débit écologique recommandé pour soutenir les espèces et les processus fonctionnels des écosystèmes et par conséquent procèderaient à des ajustements de gestion.

RECOMMANDATIONS POUR LE DÉBIT DANS L'OUED SEBOU À AZZABA (STATION 1)

Selon les objectifs environnementaux de cette station, l'équipe a choisi d'utiliser les conditions hydrologiques naturelles comme référence pour les recommandations de débit écologique. L'utilisation de variables hydrologiques quantitatives pour appuyer l'élaboration de stratégies de débit réservé écologiquement rationnelles est bien acceptée dans la littérature scientifique.

Les données hydrologiques présentent plusieurs avantages pour la caractérisation des systèmes fluviaux sur de nombreuses autres formes de données environnementales, en ce sens qu'elles sont mesurées de façon relativement constante et continue à de nombreux endroits, en tant que station de jaugeage d'Azzaba. Ces caractéristiques, ainsi que la nature relativement simple des données elles-mêmes, signifient que l'ensemble des données hydrologiques peut être évalué à l'aide d'approches et d'outils statistiques assez génériques. Ainsi, les données hydrologiques fournissent généralement la meilleure compréhension initiale et pratique des systèmes fluviaux.

Bien que le débit dans un cours d'eau varie de façon continue en fluctuant de l'absence d'eau ou d'un faible débit jusqu'à des inondations majeures, la plupart des modèles conceptuels explorant les influences de la variation du débit sur les écosystèmes fluviaux identifient les principales composantes d'écoulement (parties du régime d'écoulement), qui assurent des fonctions physiques et biologiques importantes (Ex. Maintien de la morphologie des lits, habitat minimal suffisant pendant les périodes de faible débit ou écoulement pour stimuler la ponte des poissons).

Les recommandations sur le débit présentées ici reproduisent la grandeur naturelle, la fréquence, la durée et le timing des types de ces écoulements ayant une importance écologique, appelés composants de débits environnementaux : des débits extrêmement bas, des débits faibles, des impulsions à fort débit, de petites et de grandes inondations. Ils ont été largement distingués entre les flux de base et le régime d'inondation (flux élevés et inondations).

Débit de base

Les débits de base représentent l'intervalle des conditions d'écoulement «moyennes» ou «normales» en l'absence d'événements importants de précipitation ou de ruissellement. Pendant une longue période (1958-2011), le tableau 16 montre l'ampleur, la durée et le timing des débits de base naturels du Sebou à la station de jaugeage d'Azzaba dans différentes conditions hydrologiques. La variabilité naturelle et les modèles hydrologiques de l'oued y sont fidèlement représentés.

m ³ /s	Recommandations débit écologique		Flux naturels mensuels moyens
	Sec	Normal	
Jan	4,5	11	21,84
Fév	7,2	17,59	27,81
Mar	9,19	22,45	31,51
Avr	9,76	23,84	29,31
Mai	7	17,1	23,51
Jui	4,54	11,11	14,68
Juil	2,72	6,66	8,63
Aou	2,01	4,92	6,61
Sept	2,2	5,38	7,21
Oct	2,28	5,57	8,86
Nov	2,69	6,58	9,71
Déc	3,92	9,59	15,46

Tableau 15 :
Recommandations de débit à Azzaba par rapport aux conditions naturelles.

Pendant les périodes estivales, le faible débit peut être un écoulement critique soutenant les habitats dans le stress dû à un manque général d'eau. Les débits faibles relient les habitats des cours d'eau en période de débit limité. Ils mettent à disposition également la ressource hydrique, qui joue un rôle important dans la maintenance du sol et l'entretien des berges ainsi que la végétation aquatique et riparienne.

De même, les faibles débits peuvent agir comme alternative contre les débits élevés car certains êtres vivants ont besoin de périodes d'étiage où l'eau coule lentement pour assurer diverses fonctions.

Des débits faibles ont été suggérés comme importants pour le recrutement de certains poissons autochtones dans les rivières de plaines. Les débits élevés inondent souvent les seuils ou autres habitats peu profonds et les débits faibles sont essentiels au maintien de ces habitats et à la biodiversité qui y vit.

Régime d'inondation

Le régime d'inondation joue un rôle crucial dans la structure et le fonctionnement de l'écosystème aquatique. Les crues sont une composante clé de la variabilité des régimes d'écoulement fournissant de courtes impulsions dans le flux et une courte variabilité de l'échelle temporelle qui est identifiée comme une composante clé des régimes d'écoulements naturels pour une gamme de facteurs écosystémiques.

Les crues d'été sont habituellement le résultat de courts épisodes pluviométriques estivaux et parviennent souvent comme des écoulements brefs en période de très faible débit ou quand il n'y a aucun écoulement pendant l'été.

Ces crues d'été sont particulièrement importantes dans les cours d'eau pour le maintien ou l'amélioration de la qualité de l'eau, car les courtes périodes de haut débit permettent le mélange des masses d'eau et un apport d'eau douce.

Intervalle de récurrence	01:01	01:01,5	01:05
Type d'inondation	Type I	Type II	Type III
Magnitude (m ³ /s)	50	100	220
Durée (heures)	60	36	36

Tableau 16 :
Caractéristiques des débits d'inondation de la rivière du Sebou à Azzaba pour des intervalles de récurrences différentes.

Mois	Type d'inondation 1	Type d'inondation 2	Type d'inondation 3
Jan	12,4	20,7	22,4
Fév	20,3	22,8	19,6
Mar	25,5	18,1	15
Avr	17,9	5,2	2,8
Mai	8,9	7,3	7,5
Jui	8	2,1	0,9
Juil	0,2	0	0
Aou	0,5	0	0
Sept	1,6	2,6	2,8
Oct	2,2	7,3	10,3
Nov	2,2	3,1	3,7
Déc	6,4	10,9	15

Tableau 17 :
Temps et nombre de jours d'inondation du Sebou pour différents types d'inondations.

MISE EN PLACE D'UN DÉBIT ÉCOLOGIQUE

La fréquence d'occurrence pour une période de dix ans est présentée dans le tableau 18.

Type d'inondation 1	Type d'inondation 2	Type d'inondation 3
10	6	2

Tableau 18 :
Fréquence d'occurrence de différents types d'inondations selon les catégories écologiques.

En évaluant les flux environnementaux requis pour la géomorphologie de ces zones, les débits faibles sont importants pour le dépôt de sédiments et pour maintenir les processus biologiques. Cependant, ils sont les moins actifs dans les processus de formation des canaux.

Les recommandations concernant les écoulements primaires sont faites en ce qui concerne les débits élevés (petites et grandes inondations d'ampleur, de durée et de fréquence variables) qui pourraient être moins susceptibles de se produire dans les réseaux fluviaux fortement utilisés. Les débits élevés peuvent être soit des crues d'entretien des canaux, qui débordent les berges du canal actif, soit des crues formant des canaux, qui maintiennent la géométrie du canal principal et l'approvisionnement en sédiments des plaines inondables.

Les débits d'entretien des canaux sont le facteur le plus critique des processus fluviaux à l'intérieur du canal actif et devraient se produire au moins une fois par an pour maintenir les canaux actifs, remplacer l'approvisionnement en sédiments des barres latérales et éliminer les sédiments plus fins. En raison de la nature fortement retranchée de l'oued dans les stations de la présente étude, seuls les grands événements d'inondations sont susceptibles de remodeler le canal principal ou de reconstituer les dépôts de sédiments sur les terrasses élevées, et en raison de l'absence d'une plaine d'inondation bien définie, cela peut se produire plus rarement.

Les inondations annuelles pendant les années humides sont nécessaires pour maintenir les barres de milieu de canaux et raffermir les berges bien végétalisées. De grands événements d'inondation fréquents, à peu près tous les cinq ans, sont nécessaires pour maintenir les fonctionnalités des principaux canaux, comme les terrasses et les berges plus larges. Des petites inondations pendant les saisons sèches sont nécessaires pour éliminer les dépôts de limons et de sédiments accumulés dans le lit de l'oued.

MISE EN PLACE D'UN DÉBIT ÉCOLOGIQUE

RECOMMANDATIONS POUR LE DÉBIT EN AVAL DU BARRAGE A ZAWYAT SIDI SALEM ET MASDOURA

En ce qui concerne les recommandations relatives au débit écologique, l'équipe a choisi d'utiliser les besoins du poisson comme la composante la plus forte de l'influence dans le processus décisionnel par consensus. Le débit de poisson est nécessaire pour permettre la survie pendant les débits faibles ainsi que la mobilité et la reproduction pendant les débits élevés. Les débits de base ont été prescrits pour maintenir des niveaux suffisants d'oxygène dissous et une profondeur d'eau pour la survie. Des débits élevés ont été prescrits pour inonder les berges et les plaines d'inondation, promouvoir le transfert de nutriments vers l'oued et permettre la ponte et la migration en amont. Les recommandations pour toutes les stations ont été faites pour les espèces les plus sensibles au débit, car ces recommandations seraient adaptées à toutes les autres espèces présentes.

Pour déterminer le débit biologique ou écologique minimal garantissant la vie, la libre circulation et la reproduction des espèces de poissons encore présentes dans le Sebou, nous avons adopté le modèle ESTIMHAB (Estimation des Habitats) développé par le CEMAGREF (Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts), qui depuis 2011 a pris le nom de IRSTEA (Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture). Dans le cas de l'utilisation de ce modèle, il est nécessaire de faire 2 campagnes de mesures à des débits différents pour observer la variation des hauteurs et largeurs du cours d'eau. Dans notre cas, la campagne de la saison sèche a coïncidé avec une crue. Le débit était relativement important par rapport à celui de la saison humide. Il est donc, plus fiable d'utiliser les données hydrauliques qui nous ont été fournies par l'ABHS.

	Écoulement du débit (m ³ /s)	Largeur moyenne (m)	Profondeur moyenne (m)	Taille du substrat (mm)
Saison sèche (Août)	3,9	18	0,134	
Saison humide (Avril)	8,6	25	1,05	
Débit médian (Q50)	14,89			
Taille médiane du substrat (D50)				0,25

Tableau 19 :
Données utilisées dans le modèle ESTIMHAB.

MISE EN PLACE D'UN DÉBIT ECOLOGIQUE

En prenant comme espèces cibles la loche marocaine (*Cobitis maroccana*) et le barbeau du Maghreb (*Luciobarbus maghrebensis*), dont on connaît les exigences ou les préférences écologiques, le débit réservé estimé serait de 2,85 m³/s. Notons que dans la littérature, pour la loche fluviatile le débit optimal est de 1,8 m³/s, alors que pour le barbeau, espèce très rhéophile, la qualité de l'habitat augmente de façon continue avec le débit. Dans ce cas, il vaut mieux utiliser une approche pour rechercher le meilleur compromis pour la satisfaction des besoins.

Nous préconisons un débit écologique moyen de 3 m³/s, à partir duquel la qualité des habitats des poissons serait maintenue.

Dans la zone prospectée, en aval du barrage Allal EL Fassi ce débit écologique de 3 m³/s est maintenue par l'oued Lihoudi et les sources sans apports directs du barrage. En effet, le tronçon situé entre le pied du barrage et l'oued Lihoudi, juste en amont du pont de l'autoroute (Sidi Salem), reste souvent à sec. Pour maintenir la connectivité en aval du barrage, il est donc recommandé de laisser un débit écologique minimal de 1 m³/s. Par ailleurs, ce débit écologique minimal devrait respecter le cycle hydraulique naturel tout en tenant compte du cycle biologique des espèces phares du site. Pour cela et afin d'assurer la migration catadrome des anguilles argentées et des muges et pour stimuler la migration anadrome des civelles, il est nécessaire d'avoir, entre octobre et novembre, un débit écologique de 5 m³/s. Et pour faciliter la migration en amont aussi bien des cyprinidés pour se reproduire que celle des anguilles jaunes pour la croissance, il est recommandé d'assurer en mars, avril et mai, un débit écologique de 6 m³/s.

m ³ /s	Débites écologiques	Débites naturels
Jan	1	21,84
Fév	1	27,81
Mar	6	31,51
Avr	6	29,31
Mai	6	23,51
Jui	1	14,68
Juil	1	8,63
Aou	1	6,61
Sept	1	7,21
Oct	5	8,86
Nov	5	9,71
Déc	1	15,46

Tableau 20 :
Recommandations pour le débit écologique en aval du barrage Allal El Fassi.

MISE EN PLACE D'UN DÉBIT ECOLOGIQUE

L'équipe scientifique a confirmé que la végétation et les macroinvertébrés présents dans les deux stations en aval du barrage Allal El Fassi recevraient implicitement les débits environnementaux recommandés pour les poissons. En ce qui concerne les besoins en eau de la végétation, l'entretien des flux tout au long de l'année est nécessaire pour maintenir la densité et la structure par âge approprié aux espèces végétales et pour recharger la nappe phréatique pour soutenir les espèces ligneuses.

Le maintien de débit pendant la saison humide est nécessaire pour maintenir les carex et les graminées dans l'oued et favoriser la germination et la dispersion des graines. Les recommandations générales d'écoulement pour les macroinvertébrés aquatiques incluent des vitesses suffisantes à faible débit pour maintenir des niveaux adéquats d'oxygène dissous pour la survie et la reproduction.

Des inondations normales et plus fréquentes sont nécessaires pour réinitialiser la composition des espèces en déplaçant la dominance de certaines espèces par dérive en amont. Des inondations plus importantes qui se produisent chaque année sont nécessaires pour éliminer la matière organique accumulée, favoriser l'augmentation de la biomasse et encourager la recolonisation des habitats. De petites crues pendant la saison sèche sont nécessaires pour rajeunir les niveaux de matière organique et améliorer la qualité de l'eau stagnante. Des recommandations de débit spécifiques ont été faites en fonction de la présence d'espèces indicatrices et sensibles au courant.

La qualité de l'eau est fortement influencée par des variables, autres que les intrants chimiques, naturels et anthropiques des composés chimiques dans un site donné. Cependant, les recommandations faites pour le débit écologique axées sur les impacts directs du débit sur la qualité de l'eau, supposent que des mesures appropriées de contrôle de la pollution seront mises en place dans l'oued.

Les niveaux de débit ne devraient pas être prescrits pour permettre la pollution, mais un cours d'eau avec des débits plus faibles sera plus vulnérable à la pollution. Les principaux objectifs de débit recommandés sur les deux stations en aval du barrage devraient maintenir de faibles débits à des niveaux suffisamment élevés pour diluer les déchets naturellement, traiter les déchets anthropiques et maintenir des niveaux de turbulence suffisants pour favoriser l'aération de l'eau. La maintenance des écoulements à des niveaux suffisants pour rincer les canaux latéraux et les plans d'eau isolés qui pourraient autrement devenir stagnants et accumuler des déchets pourrait être une bonne action dans l'oued.

La mise en place d'un débit écologique dans le Sebou représente une première tentative pour établir des recommandations des flux environnementaux pour les sites Zawyat Sidi Salem et Douar Masdoura.

Cette étude sur le débit écologique du Sebou a impliqué une équipe interdisciplinaire d'experts scientifiques. Les trois sites examinés ont couvert une série de scénarios qui présentent des défis de gestion pour l'ABHS, dans le cas des sites Zawyat Sidi Salem et Masdoura, où un important effort de restauration est nécessaire pour rétablir l'oued à un état écologique acceptable.

Les recommandations formulées par cette étude sont destinées à être révisées périodiquement au fur et à mesure que de nouveaux défis de gestion se présentent. Les recommandations sur le débit écologique dans ce tronçon du Sebou devraient également être réexaminées à mesure que de nouvelles données scientifiques seront disponibles pour le bassin.

De même, seules les informations scientifiques limitées sur l'écologie, la géomorphologie ou la qualité de l'eau sont disponibles pour le Sebou dans la zone d'étude.

L'étude sur le débit écologique au niveau du Sebou a parrainé deux campagnes sur le terrain, l'une en saison sèche et l'autre en saison humide, qui représentent l'une des seules tentatives de lien réel entre l'écoulement et l'écologie ou l'écoulement et la géomorphologie. Outre ces brèves études sur le terrain, un nombre limité d'informations historiques est disponible sur les poissons et sur la richesse spécifique.

Par conséquent, les relations entre le débit et l'écologie, qui sont à la base des recommandations de flux de l'oued Sebou, ont été fortement basées sur l'expérience dans d'autres oueds et sur le jugement professionnel de scientifiques marocains expérimentés.

Dans cette étude sur le Sebou, il aurait été intéressant d'inclure la composante «Sciences sociales». Quelques études à vocation sociale ont été commandées dans ce cadre et ont permis de fournir des informations sur le contexte socio-économique et les tendances démographiques dans le bassin du Sebou.

Mais il y a une absence remarquable d'informations qui relient les usages de l'Homme au débit. Par exemple : Comment la disponibilité et la qualité des biens et des services écosystémiques d'eau douce au Maroc (telles que l'utilisation des cours d'eau pour le transport, l'assimilation des déchets et des matériaux de construction) sont influencées par les écoulements ?

Ces informations permettraient de renforcer les discussions autour des recommandations des débits écologiques, car elles permettraient des estimations plus quantitatives des besoins de flux pour la protection des principaux services écosystémiques d'eau douce.

Pour chacune des trois stations du Sebou, les recommandations relatives au débit écologique découlant de cet effort devraient être prises en considération lors de la prise de décision concernant les règles d'allocation et d'exploitation de l'eau du barrage Allal El Fassi.

Dans chacune des stations, lorsque de nouvelles concessions pour l'eau sont envisagées ou lorsque les concessions existantes sont réévaluées, il faut tenir compte des besoins en flux des écosystèmes.

L'implication constante de l'ABHS dans le processus de débit écologique signifie que le personnel de l'ABHS serait informé de la formulation des recommandations sur les flux environnementaux et qu'il serait conscient des raisons pour lesquelles certains écoulements sont importants à laisser dans les cours d'eau en faveur des écosystèmes.

L'ABHS a fourni des informations et un soutien précieux au cours du processus de sélection des stations de cette étude et fixé des objectifs de gestion pour chaque site, qu'il s'agisse de maintenir, de restaurer ou d'accepter certaines dégradations écologiques.

Cette implication intégrale de l'ABHS dans tous les aspects de l'étude sur le débit écologique dans le Sebou et sa compréhension approfondie du processus faciliteront la probabilité de mise en œuvre des recommandations sur les flux environnementaux découlant de cet effort.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le Sebou est aujourd'hui le principal bassin hydrographique au Maroc pour lequel il existe une étude approfondie sur le débit écologique. La réalisation de cette étude a permis de poursuivre le processus de renforcement des capacités autour de ce sujet au Maroc et a contribué à consolider les progrès réalisés par la région pour reconnaître l'importance des écoulements d'eau douce pour les écosystèmes et en répartissant l'eau en conséquence.

La mise en place future d'un débit écologique au Maroc dépend du soutien continu des autorités marocaines qui gèrent l'eau, et de l'engagement du gouvernement marocain à mettre en œuvre les programmes en relation avec l'eau. L'expertise des scientifiques marocains est une composante essentielle de ce processus fournissant des données précieuses et un aperçu scientifique de la compréhension des besoins en flux des écosystèmes au Maroc. Cette collaboration entre les gestionnaires de l'eau et les scientifiques est une première pierre du processus de mise en place d'un débit écologique au Maroc.

Les cours d'eau du monde entier subissent une transformation rapide due en partie au développement de l'énergie hydroélectrique, à l'expansion agricole, à l'exploitation minière et à l'urbanisation. Comme c'est le cas pour l'oued Sebou, il est rare que des données scientifiques soient disponibles sur les oueds soumis à ces changements.

L'avenir des oueds dépend de l'appréciation et de la connaissance accrue des écosystèmes remarquables qu'ils aritent et des ressources vitales qu'ils fournissent aux populations humaines. Il dépend également d'un soutien juridique et institutionnel solide pour les outils de gestion tels que les flux environnementaux, qui reconnaissent explicitement les besoins des écosystèmes pour l'eau et peuvent fournir une stratégie de protection des oueds dans le contexte de développement rapide.

Dans cette optique, nous espérons que la mise en place d'un débit écologique dans le Sebou servira d'exemple pour d'autres oueds au Maroc, en Afrique du Nord et au-delà.

Le régime des débits naturels est essentiel pour assurer la durabilité, la structure et la fonction des écosystèmes dont elles dépendent. Il est probable que les répercussions sur les écosystèmes fluviaux augmentent à mesure que le régime naturel des débits est modifié par les différents usages (eau potable, agriculture, etc.).

Le risque majeur, qui se pose sur le plan quantitatif, est celui des importants prélèvements qui peuvent se produire dans cette zone en amont pour satisfaire les besoins en eau des populations et des activités liées au développement local.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les projections démographiques territorialisées illustrent des variations certes, mais elles concordent à propos de l'augmentation de la charge humaine des différents secteurs du bassin.

L'analyse des mutations prévues dans d'autres secteurs, comme l'agriculture et l'industrie, met en exergue l'importance des besoins en eau prévus au cours des prochaines décennies.

Les programmes de gestion adaptative permettront également d'améliorer, à long terme, l'élaboration des politiques liées aux débits écologiques en matière de protection des ressources naturelles de ces milieux (pêche, aquaculture, etc.).

De même, il serait primordial de munir cette zone d'un piézomètre capable de renseigner l'ABHS sur les fluctuations possibles des eaux souterraines et les niveaux limites à partir desquels des interventions de régularisation des apports à partir du barrage sont nécessaires (lâchers de maintiens), ou l'application d'un contrôle strict des prélèvements dans cette zone.

Afin d'assurer la connectivité écologique au niveau de l'oued Sebou jusqu'à la zone d'étude et de permettre une éventuelle reconstitution de la biodiversité piscicole initiale, les recommandations suivantes sont proposées :

- Mettre en place un programme de réintroduction de l'alose. Plusieurs expériences et programmes similaires ont été réussies en Europe en se basant sur les opérations de repeuplement et la mise en place de passes de poisson assurant la libre circulation de l'espèce.
- Dans ce cadre, il est fortement recommandé de mettre en place un programme de réintroduction de l'alose dans les eaux continentales marocaines, en adoptant une approche intégrée de gestion des infrastructures hydrauliques ainsi que la gestion de l'espèce basée sur le repeuplement et le suivi hydrobiologique.
- Favoriser la libre circulation piscicole au niveau de l'oued Sebou. Afin d'assurer la connectivité écologique au niveau de l'oued de Sebou, il est primordial de mettre en place des passes de poissons ou des échelles à poissons fonctionnelles, adaptées aux fluctuations du débit.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

- Maintenir et renforcer les opérations de repeuplement en anguille. Dans ce cadre, il est recommandé que les anguillettes destinées à cette opération soient de qualité et indemnes de maladies et non pas des anguillettes du lot de queue « les boudeuses », qui seraient à l'origine de la dégradation de la diversité génétique des anguilles du Sebou. Ce programme de repeuplement doit être accompagné d'un suivi scientifique. Plusieurs techniques peuvent être utilisées notamment le marquage des poissons, qui permet de suivre d'une manière précise l'évolution et la dynamique des populations.
- Cadrer l'activité de la pêche et renforcer la lutte contre le braconnage. Il s'agit de renforcer les opérations de contrôle et d'interdire toute utilisation d'engins prohibés de pêche notamment lorsqu'il s'agit de mettre en place des filets fixes qui s'étalent sur toute la largeur du cours d'eau entraînant le ratissage de toutes les espèces existantes. De même, la limitation de l'utilisation de l'épervier est hautement recommandée.
- Mettre en place un programme de suivi et de monitoring. La mise en place des propositions de gestion nécessite des opérations de suivi et de contrôle afin d'évaluer leur fonctionnalité sur le milieu et les poissons. Différents types de protocoles de suivi peuvent être proposés se rapportant à l'état écologique et biologique du milieu, à la qualité des eaux et à la dynamique des populations piscicoles.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AZEROUALA., CRIVELLIA., YAHYAOUIA. & DAKKI M. 2000. L'ichtyofaune des eaux continentales du Maroc. *Cybiu* 2000, 24 (3) suppl. : 17 – 22.
- AZEROUAL A., YAHYAOUI A. & DAKKI M. 2003. La diversité de l'ichtyofaune continentale marocaine. *Riv. Idrobiol.*, 42, 1-3 : 33-43.
- BUNN S E. & ARTHINGTON A. H.. 2002. "Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity". *Environmental Management*, 30: 492-507.
- CASAL-LOPEZ M., PEREA S., YAHYAOUI A. & DOADRIO I. 2015. Taxonomic review of the genus *Luciobarbus Heckel*, 1843 (Actinopterygii, Cyprinidae) from northwestern Morocco with the description of three new species. *Graellsia*, 71(2): e027.
- DAKKI M. 1986. *Recherches hydrobiologiques sur le haut Sebou (Moyen Atlas) ; une contribution à la connaissance faunistique, écologique et historique des eaux courantes sud-méditerranéennes*. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci., Rabat, 181 p.
- DAKKI M. 1987. Ecosystème d'eau courante du haut Sebou (Moyen Atlas) ; Etudes typologiques et analyses écologiques et biogéographies des principaux peuplements entomologiques. *Trav. Inst. Sci., série Zoologie* : 42 - 99.
- DAKKI M. & HIMMI O. 2008. Inventaire de la biodiversité et des cibles écologiques de conservation. Projet Bases Stratégiques pour la Conservation de la Biodiversité des Eaux Douces du Bassin du Sebou (Maroc). *WWF/MedPo*, Rapport inédit. 85 p.
- DÉCLARATION DE BRISBANE, 2007. Available at: http://www.nature.org/initiatives/freshwater/files/brisbane_declaration_with_organizations_final.pdf
- DOADRIO, I. 1990. Phylogenetic relationships and classification of western palearctic species of the genus *Barbus* (Osteichthyes, Cyprinidae). *Aquatic Living Resources*, 3: 265-282.
- DOADRIO I., GUEGAN J-F. & ALBERT J-J. 1994. Freshwater fish fauna of north Africa and its biogeography in Tengels. *Ann. Mus. Afr. Centr. Zool.* 275 : 21-34.
- DOADRIO I., PEREA S. & YAHYAOUI A. 2011. Morphological and molecular analysis of freshwater blennids: A new species of the genus *Salaria* Forsskal, 1775 (Actinopterygii, Blennidae) in Morocco. *Graellsia*, Vol. 67 (2): 151-173.
- DOADRIO I., PEREA S. & YAHYAOUI A. 2015. Two new species of Atlantic trout (Actinopterygii, Salmonidae) from Morocco. *Graellsia*, 71(2): e031.
- FEKKHAOU M., DAKKI M. & EL AGBANI M. A. 1993. Faune benthique d'une rivière polluée : l'Oued Sebou à l'aval de la ville de Fès (Maroc). *Bull. Inst. Sci. Rabat*, 17 : 21-38.
- FENNAME M. & IBN TATTOU M. 1998. Catalogue des plantes vasculaires rares, menacées ou endémiques du Maroc. *Boccone* 8.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

GIUDICELLI J. & DAKKI M. 1984. Les sources du Moyen Atlas et du Rif (Maroc) : faunistique (description de deux espèces nouvelles de Trichoptères), écologie et intérêt biogéographique. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 54, 1 : 83- 100.

HAIDA S., AIT FORA A., PROBST J-L. & SNOUSSI M. 1999. Hydrologie et fluctuations hydroclimatiques dans le bassin versant du Sebou entre 1940 et 1994. *Cah Séch*, vol 10, n°3: 221-226.

HAMMADA S. 2007. *Etudes sur la végétation des zones humides du Maroc. Catalogue et Analyse de la Biodiversité Floristique et Identification des principaux Groupements Végétaux*. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences. Université Mohammed V – Agdal. Faculté des Sciences. Rabat.

HEUSCH B. 1970. L'érosion du pré-Rif, une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du pré-Rif Occidental. *Annales de la Recherche Forestière du Maroc* 12, 9–176.

HMAMOUCHE M. J. 2011. *Etude floristique et stationnelle préalable à l'utilisation de l'IBMR pour l'évaluation la qualité écologique des eaux des cours d'eau du bassin hydraulique de Sebou*. Master Sciences et Techniques «Gestion & Conservation de la Biodiversité». Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Faculté des Sciences et Techniques. Fès.

KING J. R. THARME & BROWN C. 1999. Definition and Implementation of Instream flows. Contributing Paper. *World Commission on Dams*.

KING J. M., THARME R. E. & de VILLIERS M. S, ed. 2008. “*Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology*”. WRC Report No TT 354/08. Updated Edition. Water Research Commission, Pretoria, South Africa.

LIBIAD M., KHABBACH A. & ENNABILI A. 2012. Végétation ripicole et gestion des eaux de surface, cas du bassin versant de l'Oued Inaouène (NO du Maroc). *Revue AFN Maroc*, 6-8: 35-63.

LIBIAD M., KHABBACH A. & ENNABILI A. 2015. Etat de la végétation riveraine des cours d'eau du bassin versant de l'Oued Inaouène (NO du Maroc) State of riparian vegetation of streams in the watershed of the Inaouène wadi (NW Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (1): 34-45.

MOUSLIH M. 1987. Les pêcheurs de salmonides sur les plans d'eau du Moyen Atlas. Actes. *Inst. Agron. Vet.*, Vol. 7 (1 & 2).

MOUSLIH M. 1989. Peuplements Ichtyologiques des lacs du Moyen-Atlas Marocain, Région d'Azrou. *Cybium*, 13 (1) : 13-24.

NAYA A. 1988. *Peuplements chironomidiens (Diptera) du bassin du Haut et Moyen Sebou: biotypologie et valeurs bio-indicatrices*. Thèse 3ème cycle, Fac. Sci., Rabat, 127p.

OBDA K. 2004. *Indigences extrêmes des écoulements des Oueds méditerranéens cas des Oueds Nekor et du haut Sebou*. Thèse d'Etat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

POFF N. L., ALLAN J. D., BAIN M. B., KARR J. R., RICHTER B., SPARKS R., & STROMBERG J.. 1997. “The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration”. *BioScience* 47:769-784.

RICHTER B. D., BAUMGARTNER J. V., WIGINGTON R. & BRAUN D. P. 1997. HOW much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37: 231-249. See more at:<https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/IHAPublicationsandOtherDocuments/Pages/iha-publications-and-oth.aspx#sthash.c4yH5f0H>. dpuf

RICHTER BD, MATHEWS R, HARRISON DL & WIGINGTON R. 2003. Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, 13: 206–224.

WFD CIS. 2015. Guidance Document No. 31. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Technical Report – 2015. ISBN 978-92-79-45758-6.



ETUDE ET PUBLICATION
RÉALISÉES AVEC LE
SOUTIEN FINANCIER DE LA
FONDATION MAV A

