

UTILISATION DES OISEAUX AQUATIQUES COMME BIOINDICATEURS DE
L'INTÉGRITÉ DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

par

Josée Hamel

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement (CUFE) et au
Département de biologie en vue de l'obtention des grades de maître en
environnement (M.Env.) et de maître en écologie internationale (M.E.I)

SCI 760

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT ET
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE – FACULTÉ DES SCIENCES

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, janvier 2011

IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE

UTILISATION DES OISEAUX AQUATIQUES COMME BIOINDICATEURS DE L'INTÉGRITÉ DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

Josée Hamel

Essai présenté en vue de l'obtention des grades de maître en environnement (M.Env.) et de maître en écologie internationale (M.E.I.)

Sous la codirection de Réjean De Ladurantaye et Fanie Pelletier

Université de Sherbrooke

Janvier 2011

Mots clés : Intégrité écologique, programme de suivi, indicateurs, bioindicateurs, oiseaux aquatiques, zones humides, lacs de montagne, Atlas, Maroc.

Les lacs de montagne marocains abritent une importante biodiversité et sont soumis à des facteurs de perturbation naturels et anthropiques. Afin d'évaluer si la pérennité des services écosystémiques remplis par ces lacs est menacée, un programme de suivi devrait être mis en œuvre. Or, les ressources disponibles à cet effet sont limitées. L'objectif général de cet essai est donc d'élaborer un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, réaliste et applicable dans le cadre socio-économique de la région, en se basant principalement sur des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. Une revue des corrélations entre les réponses des oiseaux aquatiques et divers changements environnementaux a permis de constater que la majorité des impacts découlant des facteurs de perturbation présents dans la région à l'étude pourraient être indiqués par des variations dans certains paramètres liés aux oiseaux aquatiques. Toutefois, de tels bioindicateurs ne permettent pas d'identifier avec certitude la nature des perturbations détectées. Des indicateurs complémentaires ont donc été proposés et une analyse de la pertinence de récolter différents types de données a été réalisée. Cette démarche a permis d'émettre des recommandations quant à l'élaboration d'un programme de suivi complet et réaliste, plus particulièrement en ce qui concerne la formulation d'objectifs, la récolte des données ainsi que l'analyse et l'interprétation des indicateurs.

SOMMAIRE

Les lacs de montagne marocains abritent plusieurs espèces endémiques ou à statut particulier et leur importance pour les communautés d'oiseaux aquatiques est largement reconnue. En plus de leur rôle de support pour la biodiversité, ces zones humides sont utilisées par les populations locales et nationales afin d'y accomplir diverses activités domestiques, économiques, récréatives ou éducatives. Or, ces milieux naturels uniques seraient menacés par les conditions climatiques extrêmes et l'exploitation anthropique des ressources naturelles.

En cette année internationale de la biodiversité, il s'avère particulièrement pertinent de promouvoir la préservation de l'intégrité de cet écosystème unique. En ce sens, l'établissement d'un programme de suivi est nécessaire, d'une part pour évaluer l'impact réel des facteurs de perturbation présumés et, d'autre part, pour orienter les actions de gestion à mettre en place. Les ressources humaines, matérielles et financières étant toutefois limitées, le programme de suivi proposé doit être basé sur des indicateurs simples et peu exigeants à mesurer. L'objectif général de cet essai est donc d'élaborer un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, réaliste et applicable dans le cadre socio-économique de la région, en se basant principalement sur des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. La démarche utilisée pour y arriver a été traduite en quelques objectifs spécifiques :

1. définir l'expression « intégrité des lacs de montagne marocains »;
2. identifier les divers facteurs de perturbation qui constituent des menaces à l'intégrité des lacs de montagne marocains;
3. identifier des indicateurs potentiels liés aux oiseaux aquatiques (nombre d'œufs, de juvéniles ou d'adultes d'une espèce, indices multispécifiques, etc.) et évaluer leur utilité pour détecter et identifier les pertes d'intégrité des lacs de montagne marocains;
4. au besoin, identifier des indicateurs complémentaires (présence ou effectif d'autres taxons, paramètres physico-chimiques, etc.);
5. évaluer l'applicabilité des indicateurs potentiels dans le contexte socio-économique de la région;
6. intégrer les indicateurs les plus réalistes dans un programme de suivi applicable au contexte des lacs de montagne marocains.

Ainsi, l'intégrité des lacs de montagne marocains a été définie comme le maintien, à long terme, des services écosystémiques de support à la biodiversité et aux populations locales. En outre, une approche de durabilité, qui rejoint les objectifs de gestion des parcs nationaux de la région, a été adoptée. Les principales menaces à cette intégrité ont été identifiées comme étant d'origine naturelle (intensification des sécheresses et potentiel d'érosion élevée) et anthropique (usage croissant des eaux de surface et souterraines, surpastoralisme et autres activités d'exploitation, introduction d'espèces allochtones, activités récréotouristiques, etc.). Ces facteurs de perturbation pourraient entraîner, sur les écosystèmes, une chaîne d'impacts potentiels qui pourraient être détectés à l'aide d'indicateurs biologiques. Une revue de littérature concernant la réaction des populations d'oiseaux aquatiques à divers changements environnementaux a permis de constater que la majorité de ces impacts pourraient être détectés grâce à l'étude des variations de certains paramètres liés aux oiseaux aquatiques. Il existe toutefois certains impacts potentiels qui constitueraient une perte d'intégrité et qui ne semblent pas, selon les corrélations recensées, entraîner une réponse facilement perceptible chez les oiseaux aquatiques. De plus, bien que de nombreuses corrélations significatives entre des variables environnementales et divers paramètres populationnels des communautés d'oiseaux aquatiques aient été compilées, la plupart s'avèrent complexes et semblent découler d'une combinaison de facteurs. Des indicateurs complémentaires sont donc proposés pour couvrir les aspects socio-économiques de l'intégrité des lacs et pour aider à identifier la nature des perturbations détectées.

Des efforts démesurés seraient nécessaires pour recueillir l'ensemble des données nécessaire au suivi des divers indicateurs potentiels. Afin de déterminer quelles données seraient les plus pertinentes à récolter dans le cadre d'un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, une méthode d'analyse basée sur les caractéristiques essentielles des taxons indicateurs a été élaborée et appliquée. Cinq types de données liées aux oiseaux aquatiques et sept paramètres complémentaires se sont alors démarqués par leur utilité en termes d'interprétation et par leur simplicité de récolte. Il est donc recommandé qu'un programme de suivi incluant des indicateurs basés sur ces données soit mis en œuvre dans la région à l'étude. Les objectifs qui devraient être poursuivis par un tel programme ont été formulés, et des conseils ont été émis quant aux méthodes de collecte, d'analyse et d'interprétation des données.

Ce travail permet de conclure que l'utilisation des oiseaux aquatiques comme bioindicateurs de l'intégrité des lacs de montagne marocains constitue une excellente approche, étant donné que les ressources techniques sont limitées et que des recensements hivernaux d'oiseaux aquatiques sont déjà réalisés depuis plusieurs années. De tels bioindicateurs comportent toutefois des faiblesses auxquelles il faudra remédier à l'aide d'indicateurs complémentaires. Le survol de la théorie concernant l'utilisation de bioindicateurs et la revue des réponses des oiseaux aquatiques aux divers changements environnementaux ont également mené à la conclusion que la sélection et l'interprétation d'indicateurs de suivi sont des tâches délicates qui ne peuvent pas être considérées comme immuables. La concertation des acteurs locaux sera nécessaire afin de finaliser le choix des données à récolter et l'identification des changements environnementaux ayant causé les variations mesurées chez les indicateurs devra être faite avec prudence par des personnes compétentes. L'implication des populations locales à la surveillance de certains paramètres inclus dans le suivi est également recommandée, ce qui pourrait constituer un premier pas vers une gestion participative des zones humides marocaines.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui m'ont encadrée tout au long de la réalisation de ce travail. Merci tout d'abord à mes codirecteurs d'essai, Réjean De Ladurantaye, gestionnaire à Environnement Canada et chargé de cours au CUFÉ, et Fanie Pelletier, professeure adjointe au département de biologie de l'Université de Sherbrooke. Leurs judicieux conseils ont guidé ma réflexion et leurs commentaires pertinents m'ont permis d'améliorer mon travail de façon constante au cours de sa réalisation. L'appui administratif fourni par Caroline Cloutier, coordonnatrice de la maîtrise en écologie internationale et Judith Vien, conseillère pédagogique au CUFÉ, m'a également aidée à mener à bien ce travail.

J'ai aussi une pensée spéciale pour toutes les personnes que j'ai connues au cours de mon stage dans le parc national d'Ifrane, au Maroc. Le projet que j'y ai réalisé fut la source d'inspiration de cet essai et bon nombre des collaborateurs rencontrés là-bas ont donc participé indirectement à sa conception. En ce sens, j'en profite aussi pour remercier tous les professeurs et toutes les personnes qui ont contribué, au cours de ma formation universitaire, à enrichir mes connaissances et à forger mon esprit d'analyse.

Finalement, un grand merci à ma famille pour son soutien moral durant ces mois de rédaction, spécialement à mon Guillaume qui a toujours su m'encourager et me soutenir, et qui m'a souvent aidé à clarifier mes idées embrouillées.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION | 1 |
| 1. MISE EN CONTEXTE..... | 5 |
| 1.1 Description géographique de la zone à l'étude..... | 5 |
| 1.2 Rôles et fonctions des lacs de montagne marocains..... | 7 |
| 1.2.1 Support pour la biodiversité | 7 |
| 1.2.2 Support pour les populations humaines | 10 |
| 1.3 Définition de l'intégrité des lacs de montagne marocains..... | 11 |
| 1.4 Évaluation des ressources disponibles | 13 |
| 1.4.1 Participation des parcs nationaux | 14 |
| 1.4.2 Participation des services forestiers..... | 14 |
| 1.4.3 Participation des bailleurs de fonds et des ONG | 15 |
| 1.4.4 Participation de la communauté scientifique | 16 |
| 1.4.5 Participation des populations locales | 18 |
| 2. IDENTIFICATION DES FACTEURS DE PERTURBATION DE L'INTÉGRITÉ DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS | 20 |
| 2.1 Facteurs de perturbation naturels | 20 |
| 2.2 Facteurs de perturbation anthropiques..... | 22 |
| 2.2.1 Usage croissant des eaux de surface et souterraines | 23 |
| 2.2.2 Sédentarisation du pastoralisme et des activités domestiques..... | 23 |
| 2.2.3 Destruction du couvert végétal par l'exploitation forestière | 25 |
| 2.2.4 Autres prélèvements de végétation..... | 26 |
| 2.2.5 Pollution et destruction de milieux humides par l'agriculture | 27 |
| 2.2.6 Introductions d'espèces allochtones et pêche..... | 27 |
| 2.2.7 Exploitation des populations animales | 29 |
| 2.2.8 Expansion du tourisme | 30 |
| 3. ASPECTS THÉORIQUES DU SUIVI À L'AIDE D'INDICATEURS..... | 31 |
| 3.1 Utilisation d'indicateurs monospécifiques..... | 33 |
| 3.2 Utilisation d'assemblages d'espèces indicatrices ou parapluies..... | 34 |
| 3.3 Utilisation d'indices holistiques..... | 35 |
| 3.4 Utilisation des oiseaux aquatiques en tant que bioindicateurs..... | 38 |
| 3.5 Synthèse et discussion | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 4. RÉPONSES DES OISEAUX AQUATIQUES AUX FACTEURS DE PERTURBATIONS DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS | 42 |
| 4.1 Interdépendance des paramètres | 42 |
| 4.2 Influence des caractéristiques morphométriques du milieu humide..... | 43 |
| 4.3 Influence des macroinvertébrés et des macrophytes | 47 |
| 4.4 Influence du niveau trophique | 50 |
| 4.5 Influence de la salinité | 52 |
| 4.6 Influence des perturbations anthropiques | 53 |
| 4.7 Synthèse et discussion | 58 |
| 5. INDICATEURS POTENTIELS DE L'INTÉGRITÉ DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS..... | 60 |
| 5.1 Utilisations potentielles de différents types de bioindicateurs | 60 |
| 5.1.1 Tendances populationnelles | 60 |
| 5.1.2 Indices de richesse spécifique et de biodiversité..... | 63 |
| 5.1.3 IWCI de DeLuca | 64 |
| 5.1.4 Paramètres liés aux espèces à statut particulier | 64 |
| 5.1.5 Autres paramètres | 66 |
| 5.2 Identification d'indicateurs complémentaires potentiels..... | 67 |
| 6. SÉLECTION DES INDICATEURS RÉALISTES | 70 |
| 6.1 Identification des besoins humains, matériels et financiers | 70 |
| 6.1.1 Comparaison des méthodes de recensements | 71 |
| 6.1.2 Identification des besoins humains | 72 |
| 6.1.3 Identification des besoins matériels | 74 |
| 6.1.4 Identification des besoins financiers..... | 75 |
| 6.2 Identification des données les plus pertinentes à récolter | 75 |
| 6.2.1 Méthode d'analyse multicritère | 76 |
| 6.2.2 Résultats de l'analyse | 78 |
| 7. RECOMMANDATIONS POUR L'ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE SUIVI DE L'INTÉGRITÉ DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS | 88 |
| 7.1 Objectifs du programme..... | 88 |
| 7.2 Collecte de données | 89 |
| 7.2.1 Quoi?..... | 89 |
| 7.2.2 Quand?..... | 89 |

| | |
|--|------------|
| 7.2.3 Où?..... | 91 |
| 7.3 Analyses et interprétation..... | 93 |
| CONCLUSION..... | 99 |
| RÉFÉRENCES | 101 |
| ANNEXE 1 BILAN DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS..... | 116 |
| ANNEXE 2 PRINCIPALES ESPÈCES D'OISEAUX LIÉES AUX LACS DE MONTAGNE MAROCAINS..... | 120 |
| ANNEXE 3 IMPORTANCE NATIONALE OU INTERNATIONALE DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS..... | 122 |
| ANNEXE 4 INDICATEURS RECOMMANDÉS POUR LE SUIVI DES ZONES HUMIDES..... | 124 |
| ANNEXE 5 TABLEAU SYNTHÈSE DES CORRÉLATIONS PRÉSENTÉES AU CHAPITRE 4..... | 126 |

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

| | | |
|-------------|---|----|
| Figure 1.1 | Carte géographique du nord du Maroc..... | 5 |
| Figure 1.2 | Carte des sites de dénombrement d'oiseaux d'eau au Maroc, avec agrandissement sur la région des lacs de montagne..... | 6 |
| Figure 3.1 | Tendances populationnelles de huit espèces d'oiseaux présentes au lac Naivasha, au Kenya, entre 1981 et 2000 (a) et indice multispécifique calculé à partir de ces données brutes (b) | 36 |
| Figure 4.1 | Représentation non exhaustive des liens entre les éléments physiques et biologiques d'un milieu humide..... | 43 |
| Figure 4.2 | Description schématique du réseau trophique du lac Krankesjön, en Suède, durant la phase turbide (gauche), puis durant la phase claire (droite) | 52 |
| Figure 5.1 | Variations d'abondance des oiseaux barboteurs au Dayet 'Awa entre 1985 et 2000 | 61 |
| Figure 5.2 | Indices d'abondance relative des oiseaux aquatiques pour 12 lacs de montagne marocains (a) et indice régional d'abondance relative des oiseaux aquatiques (moyenne des indices des 12 lacs) (b). Centrés à 1 pour l'hiver de référence 1992-1993..... | 62 |
| Tableau 3.1 | Compilation des caractéristiques dites essentielles d'un taxon utilisé comme bioindicateur | 34 |
| Tableau 3.2 | Exemple d'échelle d'évaluation des traits des espèces pour la détermination de l'indice d'intégrité d'une communauté d'oiseaux d'eau (<i>Index of waterbird community integrity, IWCI</i>) | 37 |
| Tableau 6.1 | Description des critères d'analyse utilisés pour évaluer la pertinence de récolter certains types de données dans le cadre d'un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains | 77 |
| Tableau 6.2 | Tableau d'analyse de la pertinence de la collecte des données liées aux oiseaux aquatiques | 79 |
| Tableau 6.3 | Tableau d'analyse de la pertinence de la collecte des données complémentaires..... | 83 |
| Tableau 7.1 | Liste des lacs à prioriser pour le suivi, en raison de leur désignation sur la liste Ramsar, de la reconnaissance de leur importance | |

| | | |
|-------------|--|----|
| | nationale ou internationale, ou de leur statut de Site d'Intérêt Biologique et Écologique..... | 92 |
| Tableau 7.2 | Interprétation des indicateurs pouvant être créés à partir des données de recensements des oiseaux aquatiques | 95 |

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

| | |
|-----------|--|
| CMZH | Centre Marocain pour les Zones Humides |
| CNHP | Centre national d'hydrobiologie et de pisciculture |
| CSM | <i>Conserved soil moisture</i> (Indice de conservation de l'humidité des sols) |
| FEM (GEF) | Fonds pour l'environnement mondial (<i>Global Environment Facility</i>) |
| GOMAC | Groupe d'ornithologie du Maroc |
| GREPOM | Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc |
| HCEFLCD | Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification |
| IBG | Indice biologique global |
| IBGN | Indice biologique global normalisé |
| IFMT | Institut de la francophonie pour la médecine tropicale |
| IIB | Indice d'intégrité biotique |
| IUCN | <i>International Union for Conservation of Nature and Natural Resources</i> (Union mondiale pour la nature) |
| IWCI | <i>Index of waterbird community integrity</i> (Indice d'intégrité des communautés d'oiseaux d'eau) |
| MDDEP | Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs |
| MRNF | Ministère des Ressources naturelles et de la Faune |
| ONEM | Observatoire national de l'environnement du Maroc |
| ONG | Organisation non gouvernementale |
| SCBD | <i>Secretariat of the Convention on Biological Diversity</i> (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique) |
| SIBE | Site d'intérêt biologique et écologique |
| SPANNA | Société Protectrice des Animaux et de la Nature |

INTRODUCTION

Les Nations Unies ont proclamé 2010 l'Année internationale de la biodiversité (SCBD, 2010). La biodiversité est un concept large qui ne se limite pas aux diverses espèces de plantes, d'animaux et de microorganismes, mais qui englobe aussi la diversité génétique à l'intérieur d'une même espèce et l'assemblage de ces espèces en écosystèmes variés (*Id.*). En plus de leurs fonctions écologiques, les écosystèmes fournissent aux humains divers biens et services essentiels : production de carburant, de fibres et de matériaux de construction, purification de l'air et de l'eau, modération des inondations et des sécheresses, fertilité des sols, pollinisation des plantes, lutte contre les parasites et les maladies, avantages d'ordre culturel et esthétique, etc. (*Id.*). Les écosystèmes humides, en particulier, sont considérés comme étant le berceau de la diversité biologique (Secrétariat de la Convention de Ramsar, s.d.) et à la base de la survie et du développement humain dans toutes les régions du monde (Wetlands International, 2007b). Les services essentiels qu'ils fournissent les rendent toutefois vulnérables aux pressions anthropiques croissantes (drainage, construction de barrages, extraction des eaux souterraines, pollutions diverses, construction de routes, chasse, introduction d'espèces exotiques, etc.), ce qui en fait les écosystèmes les plus menacés de la planète (*Id.*).

L'importance de conserver et d'utiliser rationnellement les écosystèmes humides a été reconnue par la Convention de Ramsar sur les zones humides, à laquelle le Maroc a adhéré en 1980 (Secrétariat de la Convention de Ramsar, s.d.). Le Maroc a inscrit 24 sites sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale, dont des milieux humides côtiers, des réservoirs d'eau artificiels et des lacs de montagne (cinq lacs regroupés en trois sites Ramsar) (Wetlands International, 2007a). L'unicité et l'importance des lacs de montagne marocains ont été reconnues à maintes reprises par les scientifiques marocains et étrangers (par exemple Chillasse, 2004; Chillasse et Dakki, 2004; Green et al., 2002; Chillasse et al., 2001; Dakki and El Agbani, 1995). La région où ils se concentrent est d'ailleurs considérée comme le château d'eau du Maroc et la région de l'Afrique du Nord la plus importante du point de vue des zones humides continentales (Chillasse et Dakki, 2004). Plusieurs de ces lacs se sont également vu attribuer un statut de protection lors de l'étude nationale sur les aires protégées du pays (Mestour, 1999). Les lacs de montagne marocains subissent toutefois de nombreuses pressions naturelles et anthropiques soupçonnées de menacer leur intégrité écologique (Chillasse et Dakki,

2004; Chillasse et al., 2001; Dakki and El Agbani, 1995). En l'absence d'un programme de suivi régulier et structuré, il est toutefois difficile d'évaluer dans quelle mesure ces pressions menacent la pérennité de leurs rôles de support à la biodiversité et aux populations locales, et de mettre en œuvre une gestion appropriée.

L'importance d'assurer le suivi des zones protégées, dans le but de détecter des changements dans les caractéristiques écologiques des écosystèmes et d'identifier les actions de protection ou de restauration nécessaires, est largement reconnue (Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2007b; Bennun, 2001; Tomàs Vives et al., 1996). Puisqu'il est impossible de mesurer toutes les composantes et les fonctions d'un écosystème, il est courant de sélectionner certaines de ces composantes et de les utiliser comme indicateurs des changements de conditions à une échelle plus large (Kushlan, 1993). Plus particulièrement, l'approche par bioindicateurs consiste à utiliser des paramètres mesurés sur une espèce ou un groupe d'espèces de niveau taxonomique élevé, qui reflète la condition de l'écosystème (Hilty and Merenlender, 2000).

Dans les pays en développement, les ressources humaines, matérielles et financières sont souvent limitées, ce qui rend difficile l'établissement de programmes de suivi réguliers (Bennun, 2001). Or, les oiseaux aquatiques sont généralement reconnus comme étant de bons indicateurs de la qualité de leur milieu et sont relativement faciles à surveiller (Everard, 2008; Green y Figuerola, 2003; Kushlan, 1993). Au Maroc, un recensement hivernal des oiseaux d'eau est d'ailleurs réalisé annuellement depuis plusieurs années (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986). De plus, les populations locales qui vivent à proximité des lacs de montagne marocains connaissent bien les caractéristiques écologiques et populationnelles des oiseaux aquatiques (Hamel, 2009). Ceux-ci pourraient donc constituer des espèces indicatrices intéressantes pour l'élaboration d'un programme de suivi peu coûteux et orienté vers des principes de gestion participative, tels que prônés par la Convention de Ramsar (Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2007a).

L'objectif général de cet essai est d'élaborer un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, réaliste et applicable dans le cadre socio-économique de la région, en se basant principalement sur des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. Pour

y arriver, une démarche logique et progressive est utilisée et peut être présentée sous la forme des objectifs spécifiques suivants :

1. définir l'expression « intégrité des lacs de montagne marocains »;
2. identifier les divers facteurs de perturbation qui constituent des menaces à l'intégrité des lacs de montagne marocains;
3. identifier des indicateurs potentiels liés aux oiseaux aquatiques (nombre d'œufs, de juvéniles ou d'adultes d'une espèce, indices multispécifiques, etc.) et évaluer leur utilité pour détecter et identifier les pertes d'intégrité des lacs de montagne marocains;
4. au besoin, identifier des indicateurs complémentaires (présence ou effectif d'autres taxons, paramètres physico-chimiques, etc.);
5. évaluer l'applicabilité des indicateurs potentiels dans le contexte socio-économique de la région;
6. intégrer les indicateurs les plus réalistes dans un programme de suivi applicable au contexte des lacs de montagne marocains.

Le premier chapitre présente une mise en contexte géographique, écologique et socio-économique de la zone d'étude, ce qui permet de définir « l'intégrité des lacs de montagne marocains » (objectif spécifique 1) et de justifier le recours aux oiseaux aquatiques comme indicateurs de base dans le programme de suivi proposé. Le deuxième chapitre identifie et décrit les facteurs de perturbation potentiels de l'intégrité des lacs de montagne marocains (objectif spécifique 2). Ceci permet au lecteur de mieux comprendre la dynamique écosystémique, tout en constituant la base pour la sélection des indicateurs, qui doivent être sensibles à ces perturbations.

Les chapitres 3, 4 et 5 permettent de répondre aux objectifs spécifiques 3 et 4. Le chapitre 3 consiste d'abord en un survol des aspects théoriques concernant le suivi à l'aide d'indicateurs. Ceci permet d'identifier différents types d'indicateurs (physiques, biologiques, monospécifiques, holistiques, etc.) et d'évaluer la pertinence des oiseaux aquatiques comme bioindicateurs dans le cas à l'étude. Au chapitre 4, une revue de la littérature scientifique concernant les réponses des oiseaux aquatiques aux facteurs de perturbation identifiés précédemment est réalisée. Deux buts sont ainsi poursuivis, soient 1) évaluer si tous les aspects de l'intégrité des lacs de montagne marocains peuvent être indiqués par les oiseaux aquatiques et 2) déterminer si la nature des éventuelles pertes

d'intégrité pourrait être identifiée grâce à de tels indicateurs. Le chapitre 5 vise à clarifier comment certains indicateurs potentiels pourraient être utilisés pour évaluer l'intégrité des lacs de montagne marocains. Dans un premier temps, des exemples d'application d'indicateurs biologiques liés aux oiseaux aquatiques sont présentés. Par la suite, des indicateurs complémentaires liés à d'autres éléments de l'écosystème sont suggérés pour compléter le suivi, de manière à couvrir les aspects pour lesquels les oiseaux aquatiques ne permettraient pas de détecter des modifications.

Le sixième chapitre permet d'évaluer les ressources nécessaires pour récolter les données de base qui constituent les indicateurs potentiels ou qui permettent de les calculer. Ceci permet ensuite de réaliser une analyse multicritère visant à prioriser la collecte de certains types de données, notamment en fonction de leur faisabilité (objectif spécifique 5). Finalement, dans le septième chapitre, des recommandations sont émises afin d'orienter l'élaboration d'un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains (objectif spécifique 6).

1. MISE EN CONTEXTE

Ce chapitre présente les caractéristiques géographiques et fonctionnelles des lacs de montagne du Maroc, dans le but de définir ce que l'on entend par « l'intégrité » de ces lacs. Le type de suivi envisagé est ensuite justifié par une évaluation des ressources potentiellement disponibles pour sa mise en œuvre.

1.1 Description géographique de la zone à l'étude

Le Maroc contient de nombreuses zones humides de typologie variée : eaux côtières, lagunes, lacs, *merjas* (étangs), *dayas* ou *aguelmams* (mares temporaires), tourbières, sources, cours d'eau, fleuves, eaux phréatiques, lacs de barrage, salines, etc. (ONEM, 2001). Bien que l'attention et les efforts de conservation se concentrent généralement près de la côte Atlantique (Green et al., 2002), l'Atlas (figure 1.1) est reconnu comme étant la région de l'Afrique du Nord la plus importante du point de vue des zones humides continentales (Chillasse et Dakki, 2004). C'est en effet dans ces montagnes que prend naissance la majorité des grandes rivières marocaines (*Id.*). Par ailleurs, il n'existe pas de lacs d'eau douce tels que ceux de l'Atlas marocain dans les autres pays d'Afrique du Nord (Morgan and Boy, 1982; Dumont et al., 1973).

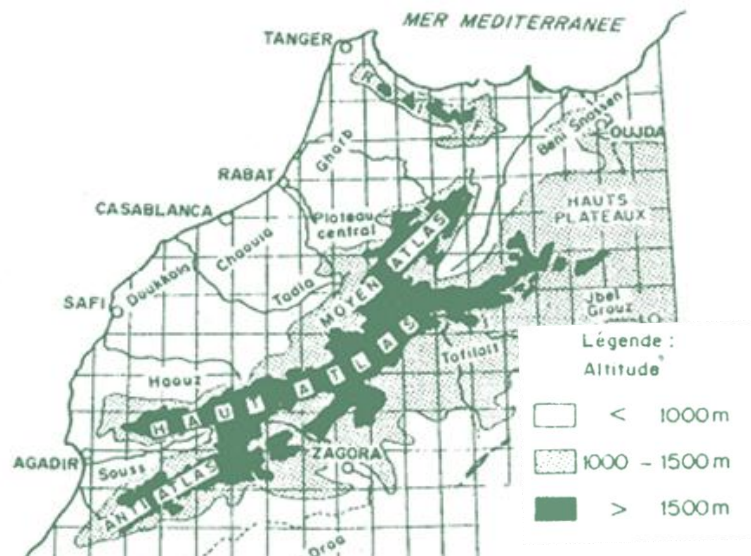


Figure 1.1 Carte géographique du nord du Maroc. Modifiée de ONEM (2001, p. 12).

La région du Moyen Atlas et du nord du Haut Atlas présente une grande densité de plans d'eau de différents types (figure 1.2). Les lacs naturels, permanents ou semi-permanents, sont généralement considérés comme étant d'origine karstique, à l'exception du lac Sidi

Ali qui serait d'origine volcanique (Chillasse et al., 2001). De nombreuses mares temporaires émergent également de cuvettes karstiques liées à des nappes phréatiques superficielles (Chillasse et Dakki, 2004). En outre, les lacs de barrage et les petits plans d'eau piscicoles, dont la création a débuté dans les années 1930, représentent une part importante des zones humides de l'Atlas (*Id.*). La compilation des différentes études réalisées dans cette zone a permis de recenser 48 plans d'eau, soit 19 naturels, 10 artificiels (dont 3 complexes) et 19 de type incertain pour lesquels il n'existe qu'une seule mention (annexe 1). Ceux-ci sont presque tous localisés sur la carte de la figure 1.2.

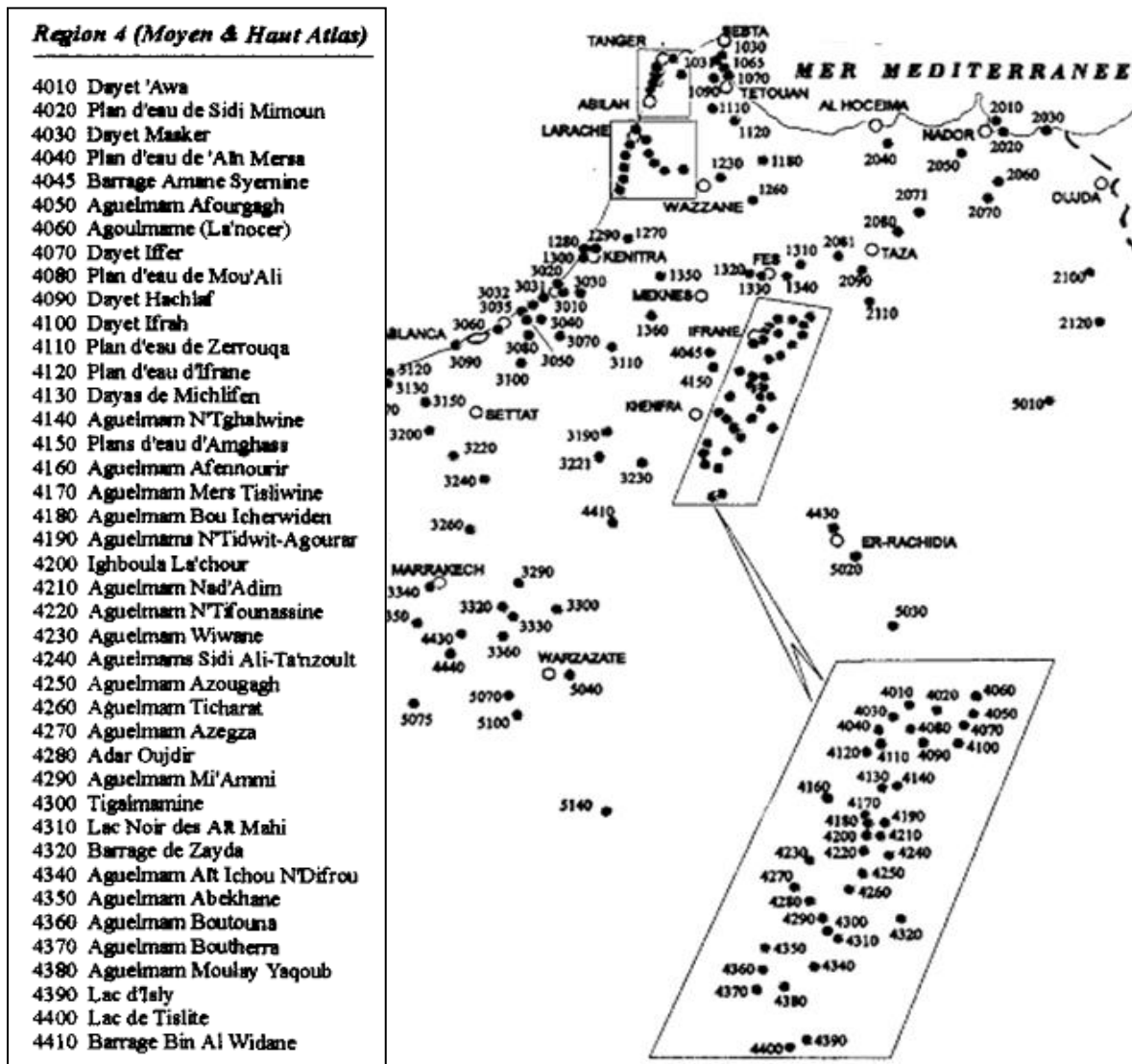


Figure 1.2 Carte des sites de dénombrement d'oiseaux d'eau au Maroc, avec agrandissement sur la région des lacs de montagne. Modifiée de Dakki et al. (1995, p. 4).

L'annexe 1 permet de constater que les lacs naturels présentent des superficies très variables, allant de 0,06 à 3 km² (6 à 300 ha), et des profondeurs moyennes de moins de cinq mètres. Les lacs artificiels sont généralement plus petits avec des superficies variant entre 0,005 et 0,14 km² (0,5 à 14 ha) et des profondeurs moyennes de deux mètres ou moins. Certains sont toutefois regroupés en complexes hydrographiques. C'est le cas des plans d'eau d'Amghass (I à VI), de Ras El Ma (I et II) et de Zerrouka (I et II). Les plus grands lacs de barrage marocains, pour leur part, se retrouvent plutôt dans les plaines et les plateaux des domaines atlantiques et arides (ONEM, 2001).

1.2 Rôles et fonctions des lacs de montagne marocains

L'importance écologique, culturelle et économique des lacs de montagne marocains découle des nombreux services écosystémiques que ceux-ci offrent, tant comme support pour la biodiversité que comme support à la vie humaine.

1.2.1 Support pour la biodiversité

Les zones humides de l'Atlas constituent des habitats pour une flore et une faune comprenant plusieurs espèces endémiques ou à statut particulier. Quelques statistiques sont présentées à ce sujet, puis les caractéristiques biologiques des lacs naturels, de barrage et temporaires sont exposées, avant de conclure avec l'évaluation de l'importance nationale et internationale de ces lacs.

Les zones humides de montagne, incluant les eaux courantes, abritent 53 des 140 taxons de faune aquatique endémiques du Maroc, principalement des insectes, des crustacés et des poissons (Chillasse et Dakki, 2004). Parmi celles-ci, 13 espèces sont caractéristiques des lacs naturels (Chillasse et al., 2001). La faune aquatique de l'Atlas compte également près de 70 espèces considérées comme rares ou menacées de disparition (Chillasse et Dakki, 2004), dont 18 se retrouvent dans les lacs naturels (Chillasse et al., 2001). Cette richesse peut s'expliquer par la diversité des habitats aquatiques, par la présence de relictés afro-tropicales provenant d'une ère tertiaire chaude et humide, ainsi que par l'influence plus ou moins marquée de l'Atlantique et du Sahara sur le climat et l'hydrologie de type méditerranéen (ONEM, 2001).

Les lacs naturels des montagnes du Maroc sont généralement caractérisés de lacs eutrophes et très riches en biodiversité (Chillasse et al., 2001; ONEM, 2001). Cette

importante biodiversité repose, à la base de la pyramide trophique, sur une forte productivité primaire qui s'explique par des eaux généralement très minéralisées, un fort rayonnement solaire et des températures relativement élevées (ONEM, 2001). La végétation submergée y est généralement abondante, avec des taxons comme *Potamogeton pectinatus*, *Ranunculus* sp. ainsi que *Chara* sp. (Morgan, 1982). Les roseaux peuvent également atteindre des pourcentages de recouvrement allant jusqu'à 80 % (*Id.*).

Du côté faunique, on retrouve un zooplancton composé essentiellement de crustacés (ONEM, 2001). Les insectes aquatiques sont notamment représentés par des hétéroptères, des coléoptères et des stades larvaires de diptères (*Id.*). Plusieurs autres invertébrés, dont des annélides, des crustacés et des mollusques (gastéropodes et lamellibranches), sont également présents (*Id.*). Plusieurs espèces d'amphibiens et de reptiles peuplent aussi les zones humides de la région (*Id.*). Du point de vue piscicole, toutefois, les espèces autochtones sont rares (*Id.*). Le lac d'Isly renfermerait une forme de truite naturelle particulière, semblable à une tanche (*Tinca tinca*), tandis que le lac d'Ifni abrite une abondante population autochtone de truite fario (*Salmo trutta fario*) (*Id.*). Une espèce endémique de l'aguelmam Sidi Ali, la truite de Pallary (*Salmo pallaryi*) est aujourd'hui éteinte (*Id.*). Les lacs de l'Atlas ont cependant subi, et subissent toujours, d'importants ensemencements de poissons à des fins de pêche sportive ou commerciale, de lutte contre les vecteurs du paludisme, ou de lutte contre l'eutrophisation (*Id.*). Les zones humides de montagne sont aussi des lieux d'abreuvement essentiels à plusieurs espèces de mammifères (*Id.*). Deux espèces vulnérables, soient le singe magot (*Maccaca sylvanus*) et le chacal doré (*Canis aureus*) habitent également la région des lacs de montagne (Cuzin et al., 2006). Le lion de l'Atlas (*Panthera leo leo*), pour sa part, est disparu depuis 1930 et a été observé pour la dernière fois près de l'aguelmam Wiwane (ONEM, 2001). C'est toutefois leur rôle comme point de repos et de reproduction pour de nombreuses espèces d'oiseaux aquatiques qui a le plus contribué à établir la réputation des lacs de montagne marocains.

Grâce à leur position stratégique (situés à la croisée de plusieurs voies de migration aviaire), à la nourriture abondante qu'ils contiennent et à leur eau de bonne qualité, les lacs naturels de l'Atlas reçoivent annuellement plus de 6 000 oiseaux hivernants d'une quarantaine d'espèces différentes (Chillasse, 2004; Chillasse et al., 2001). De vingt à trente espèces, plus ou moins dépendantes des zones humides, nidifient également sur

ou aux alentours de ces plans d'eau (*Id.*). Ce chiffre s'élevait même autrefois à une cinquantaine, selon Chillasse et Dakki (2004). Parmi les espèces les plus remarquables se reproduisant dans la région, citons le tadorne casarca (*Tadorna ferruginea*), la foulque à crête (*Fulica cristata*), le grèbe à cou noir (*Podiceps nigricollis*), le pic vert de Levillant (*Picus vaillantii*) et la rubiette de Moussier (*Phoenicurus moussieri*) (*Id.*). De plus, une petite population relictuelle de milan royal (*Milvus milvus*), une espèce quasi menacée à l'échelle mondiale (IUCN, 2010), survit encore dans le Rif et le Moyen Atlas (ONEM, 2001). Parmi les espèces éteintes, la grue demoiselle (*Anthropoides virgo*) est la dernière disparue. Cette espèce a nidifié sur les hauts plateaux du Moyen Atlas jusqu'en 1984 et serait disparue en raison de la forte pression de récolte de ses œufs (*Id.*). Les principales espèces d'oiseaux liés aux lacs de montagne, ainsi que leur statut de nicheurs, migrateurs ou hivernants au Maroc, sont listées à l'annexe 2.

Les lacs de barrage de montagne supportent une diversité moindre d'espèces autochtones que les lacs naturels (*Id.*). Les plus eutrophes abritent tout de même régulièrement des effectifs importants d'oiseaux migrateurs ou même nicheurs (Dakki, s.d.). Ces lacs artificiels peuvent également constituer des refuges intéressants pour la faune en temps de sécheresse (El Agbani, 1997). Les mares temporaires, pour leur part, supportent des espèces adaptées aux assèchements prolongés. Les oiseaux qui fréquentent ces zones ou y nidifient seraient surtout des palmipèdes, des échassiers, des rapaces et des passereaux (ONEM, 2001).

L'importance des lacs de montagne en tant que support à la biodiversité a été reconnue de différentes façons par la communauté scientifique marocaine. Au cours de l'étude nationale sur les aires protégées, 12 lacs naturels et deux lacs de barrage se sont vu attribuer le statut de « site d'intérêt biologique et écologique » (SIBE) (Mestour, 1999) (annexe 1). De plus, l'importance nationale et internationale des lacs de montagne pour l'avifaune aquatique a été évaluée par plusieurs auteurs, et ce, pour des périodes de recensement légèrement différentes (Chillasse, 2004; Chillasse et al., 2001; El Agbani, 1997). Sur le modèle du critère 6 de la Convention de Ramsar, un lac est considéré d'importance nationale si au moins une espèce y hiverne régulièrement avec un effectif moyen dans ce site qui est supérieur ou égal à 1 % de l'effectif moyen national (*Id.*). Un site sera considéré d'importance internationale si l'effectif d'une espèce est régulièrement supérieur à 1 % de l'effectif de la population hivernante régionale (*Id.*). Douze lacs, dont dix naturels, s'avèrent être d'intérêt national ou international pour l'avifaune aquatique

selon au moins un des trois auteurs (annexe 3). Selon Chillasse (2004), les seuls lacs naturels ne présentant aucun intérêt ornithologique seraient Iffer et Tiguelmamine. Leur faible attrait pour les oiseaux pourrait découler de leurs rives abruptes et densément végétalisées, donc sans zone ripicole ouverte (*Id.*). L'aguelmam Iffer possède tout de même le statut de SIBE de priorité 3 (Mestour, 1999).

1.2.2 Support pour les populations humaines

En plus de leur rôle de support pour la biodiversité, les zones humides de montagne sont utilisées par les populations locales et nationales afin d'y accomplir diverses activités domestiques, économiques, récréatives ou éducatives.

Les lacs de l'Atlas sont d'abord une source d'eau douce de première utilité pour les populations rurales qui vivent de façon semi-nomade dans les montagnes afin d'y faire l'élevage d'ovins et de caprins, activité ancestrale qui reste encore aujourd'hui la seule source de revenus pour bons nombres de foyers (Chillasse et Dakki, 2004). L'eau peut être pompée, puis transportée dans les campements, ou utilisée sur place pour l'abreuvement des animaux et la lessive (Hamel, 2009).

Reconnue comme étant le château d'eau du Maroc, la région des lacs de l'Atlas est également la source des principales rivières du pays (Chillasse et Dakki, 2004). En emmagasinant les eaux de ruissellement et de fonte des neiges, les lacs permettent de recharger les nappes phréatiques et de relâcher ces eaux graduellement dans le réseau hydrologique (Chillasse et al., 2001). Ils jouent ainsi un rôle de régulateurs des crues, réduisant les inondations et permettant une utilisation plus régulière des eaux de pluie, notamment pour l'agriculture, la production d'énergie et la consommation humaine (Chillasse et al., 2001; Dakki, s.d.).

La pêche, pratiquée essentiellement de façon sportive dans les lacs de l'Atlas, apporte plaisir, détente et nourriture au pêcheur, en plus de générer des revenus pour l'État par les cotisations des permis de pêche, ainsi que pour la population et les communes par le commerce et le tourisme qui en découlent (Chillasse et al., 2001). Cette pêche sportive mobilise environ 40 000 pêcheurs, pour un total annuel de 20 millions de dirhams en redevances (ONEM, 2001). Dans les lacs naturels et les petits lacs de barrage de l'Atlas, la pêche est pratiquée à la ligne, dans les plans d'eau autorisés où des poissons de diverses espèces exotiques sontensemencés régulièrement par le Centre national

d'hydrobiologie et de pisciculture d'Azrou (CNHP) (Chillasse et Dakki, 2004; ONEM, 2001). Les cours d'eau à salmonidés bénéficient également de la régulation des crues et de la filtration des eaux réalisées par les lacs naturels (ONEM, 2001).

La chasse constitue une autre activité reliée aux lacs de montagne. Au Maroc, elle est pratiquée par toutes les classes sociales et peut représenter une tradition, un loisir peu coûteux ou une source de nourriture (Alaoui Abdelmalek et Haffane, 1999). Dans l'Atlas, elle est pratiquée principalement de façon sportive, mais il peut également s'agir d'une source de revenus pour les tribus ayant un droit d'usage. De plus en plus de touristes étrangers sont également attirés par cette activité (Chillasse et al., 2001).

Outre les pêcheurs et les chasseurs, les lacs de montagne attirent aussi les familles locales et les touristes nationaux, qui profitent des paysages et du climat plus tempéré des montagnes pour faire des randonnées et des pique-niques ou simplement pour se détendre (Chillasse et Dakki, 2004). Finalement, plusieurs zones humides de montagne servent de support éducatif dans le cadre d'actions de sensibilisation réalisées par des organismes gouvernementaux ou non, des scientifiques et des enseignants (*Id.*).

1.3 Définition de l'intégrité des lacs de montagne marocains

Puisque ce travail vise le suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, il est essentiel de définir cette expression, en regard des caractéristiques décrites précédemment. Le Petit Larousse (Anonyme, 2004, p. 588) définit l'intégrité comme « l'état d'une chose qui a toutes ses parties, qui n'a pas subi d'altération ». Plus particulièrement, le concept d'intégrité écologique réfère à l'état d'un écosystème. En ce sens, Stapanian et al. (2004) suggèrent que l'intégrité écologique d'un milieu serait inversement proportionnelle à son niveau de perturbation anthropique et directement proportionnelle à sa qualité. Bien que le concept de « santé » d'un écosystème soit parfois utilisé pour simplifier celui d'intégrité écologique, ceci suppose que l'écosystème soit considéré comme un organisme individuel, clairement délimité, qui se développe de manière à atteindre un état fixe et stable définissable par des normes (De Leo and Levin, 1997). Cette notion ne permet pas de prendre en compte toute la complexité spatiale, temporelle et organisationnelle des écosystèmes (*Id.*). Dans ce travail, la notion d'intégrité, plus complète, est donc préférée.

Il existe de nombreuses définitions de l'intégrité écologique, par exemple :

« [...] *the maintenance of the community structure and function characteristic of a particular locale or deemed satisfactory to society.* » (Traduction libre : le maintien de la structure d'une communauté ainsi que des fonctions caractéristiques à une région particulière ou utiles à une société) (Cairns, 1977, p. 171);

« [...] *a state of ecosystem development that is optimized for its geographic location, including energy input, available water, nutrients and colonization history. [...] It implies that ecosystem structures and functions are unimpaired by human-caused stresses and that native species are present at viable population levels.* » (Traduction libre : état de développement pour un écosystème qui est optimal pour son emplacement géographique, compte tenu de l'apport d'énergie, de la disponibilité de ressources hydriques, de la présence d'éléments nutritifs et de l'histoire de la colonisation de la région. Cela implique que les structures et fonctions de l'écosystème n'ont pas été détériorées par des stress anthropiques et que les populations d'espèces autochtones sont viables.) (Woodley, 1993, p. 157-158);

« [...] état d'un écosystème jugé caractéristique de la région naturelle dont il fait partie, plus précisément par la composition et l'abondance des espèces indigènes et des communautés biologiques ainsi que par le rythme des changements et le maintien des processus écologiques. Bref, les écosystèmes sont intègres lorsque leurs composantes indigènes (plantes, animaux et autres organismes) et leurs processus (tels que la croissance et la reproduction) sont intacts. » (Commission sur l'intégrité écologique des parcs nationaux du Canada, 2000, p. 15).

Ces trois définitions mettent toutes l'emphase sur le maintien d'une communauté biologique viable et caractéristique de la région. Elles dénotent aussi plus ou moins clairement que les humains peuvent faire partie de l'écosystème, l'influencer et bénéficier de ses fonctions. Cairns (1977) inclut le maintien des fonctions sociales d'un écosystème dans sa définition d'intégrité écologique, tandis que Woodley (1993) légitime l'influence de l'humain sur son milieu en incluant l'histoire de la colonisation de la région dans les facteurs déterminant l'état optimal du milieu. Dans ce travail, la notion d'intégrité des lacs de montagne marocains est considérée, de façon globale, comme le maintien à long terme des divers rôles et fonctions de l'écosystème, tels que décrits dans les sections précédentes. Les services écosystémiques rendus à l'humain, particulièrement importants dans la région à l'étude où des populations rurales vivent en étroite relation avec le milieu naturel depuis des millénaires, sont inclus dans la notion d'intégrité.

En outre, l'approche retenue ne se veut ni réductionniste, ni holistique, mais plutôt durable. Une approche réductionniste, qui met l'emphase sur les aspects structuraux des écosystèmes (composition spécifique et dynamique des populations), mène à une vision

de l'intégrité écologique dans laquelle la perte d'une seule espèce ou le bris d'un lien entre deux composantes du système constitue une perte d'intégrité (De Leo and Levin, 1997). L'approche holistique, pour sa part, met l'accent sur un niveau macrofonctionnel (flux d'énergie, cycles des nutriments, productivité), ce qui rend la composition biologique moins décisive, puisque plusieurs taxons peuvent faire partie d'un même groupe fonctionnel. La perte d'une espèce ne serait donc pas considérée comme la perte d'une partie fonctionnelle de l'écosystème et ne constituerait qu'une minime perte d'intégrité (*Id.*). Ces deux approches constituent les deux extrêmes d'un continuum et ne semblent ni l'une ni l'autre tout à fait appropriées. En effet, aucun écosystème ne pourrait être considéré comme intègre selon une approche purement réductionniste, tandis que l'approche holistique ne considère pas la potentielle perte de résilience d'un écosystème dont la diversité a été réduite sans que ses macrofonctions soient affectées à court terme (*Id.*). En se fixant pour but de maintenir les fonctions biologiques et sociales de l'écosystème de façon durable, il est possible de considérer certains éléments, tels que les espèces à statut particulier, comme des unités de base nécessaires à l'intégrité du milieu, tandis que d'autres éléments seront étudiés uniquement au niveau macrofonctionnel.

D'ailleurs, la gestion durable des écosystèmes, incluant la conservation de la biodiversité ainsi que la valorisation des fonctions éducatives, socioculturelles et productives du territoire, constitue la finalité du parc national d'Ifrane, qui englobe une bonne partie de la région à l'étude (BRL ingénierie, 2007b). Le maintien de l'intégrité des lacs de montagne marocains passera donc par la conservation des composantes biologiques propres à la région, notamment les espèces endémiques et la reproduction des oiseaux aquatiques, ainsi que par la capacité de continuer à fournir, de façon traditionnelle, des ressources naturelles aux populations locales.

1.4 Évaluation des ressources disponibles

Le suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains est d'intérêt général et pourrait donc être assumé conjointement par diverses instances. Les ressources matérielles, humaines et financières pourraient ainsi provenir des parcs nationaux, des services forestiers, des bailleurs de fonds et autres organisations non gouvernementales (ONG), de la communauté scientifique, et même des populations locales. Malgré tout, le programme de suivi devra être relativement simple et peu exigeant sur le plan technique, d'où l'intérêt d'utiliser les oiseaux aquatiques comme taxons indicateurs de base.

1.4.1 Participation des parcs nationaux

Il existe, au Maroc, une dizaine de parcs nationaux dont trois sont situés dans la région des lacs de montagne (Département de l'Environnement du Maroc, 2010). Il s'agit des parcs nationaux d'Ifrane, de Khénifra et du Haut Atlas Oriental (*Id.*). Le dynamisme et l'efficacité des parcs dépendent de l'équipe en place, mais également du bon vouloir des administrateurs du HCEFLCD, qui gère les aires protégées du Maroc (Département de l'Environnement du Maroc, 2010; Milian, 2007).

L'exemple du parc d'Ifrane permet d'évaluer les ressources financières qui pourraient être mobilisées au sein des parcs nationaux. Le plan d'aménagement et de gestion de ce parc prévoit un budget de 5 190 000 dirhams (634 375 dollars canadiens) pour les suivis écologiques et études durant la période 2007-2017 (BRL ingénierie, 2007a). De ce budget, plus de 66 % sont réservés pour des études visant spécifiquement le singe magot et l'écosystème de la cédraie (*Id.*). Il resterait donc à peine 1 740 000 dirhams (216 690 dollars canadiens) sur dix ans pour d'autres types de suivis et d'études. Grâce à ses budgets, les parcs nationaux de la région pourraient éventuellement assurer la coordination des récoltes de données de façon continue. Du matériel de base (télescopes, jumelles, GPS) pourrait également être fourni aux volontaires qui ne possèdent pas leur propre équipement.

1.4.2 Participation des services forestiers

Au Maroc, les forestiers sont des employés de l'État dont les missions, en ordre de priorité, s'articulent ainsi :

1. protection des sols et régulation des eaux;
2. contribution au développement socio-économique des populations rurales;
3. protection de la biodiversité et de l'environnement;
4. production de bois pour l'industrie et l'artisanat;
5. production de services (paysages, détente et loisirs) pour les populations urbaines (Milian, 2007).

La mission de protection de la biodiversité et de l'environnement pourrait justifier l'implication des gardes forestiers dans le suivi de l'intégrité des lacs. Il s'agirait effectivement de ressources humaines importantes, puisqu'ils possèdent une excellente

connaissance du milieu et une bonne compréhension des enjeux biologiques et socio-économiques. Ils sont également présents quotidiennement sur le terrain, ce qui limiterait les coûts associés aux déplacements pour la prise de certaines données.

Il faut toutefois reconnaître que les tâches des gardes forestiers sont déjà nombreuses. Dans les régions rurales et éloignées, celui-ci est souvent le seul représentant local de l'administration des Eaux et Forêts (Goeury, 2007). Le HCEFLCD reconnaît d'ailleurs l'insuffisance des moyens humains, surtout en montagne où la superficie des triages (l'étendue de forêt sous la surveillance d'un garde forestier) peut atteindre 8 000 hectares (Milian, 2007). Les forestiers pourraient donc être récalcitrants à l'idée de voir leur charge de travail augmenter et diverger quelque peu de la foresterie elle-même (Goeury, 2007).

1.4.3 Participation des bailleurs de fonds et des ONG

Le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) (*Global Environment Facility*, GEF) finance de nombreux projets au Maroc, principalement dans les domaines de la biodiversité et des changements climatiques (GEF, 2010). Il constitue d'ailleurs le principal organisme financeur des parcs nationaux marocains (Milian, 2007). L'aménagement et l'équipement de certaines zones humides incluses dans des parcs nationaux ont notamment été réalisés dans le cadre d'un projet FEM (Chbaatou, 1999). L'organisme a également financé, entre 1999 et 2002, un projet en Équateur qui visait à établir un système de suivi pour évaluer l'état des écosystèmes des Îles Galápagos (GEF, 2010). Étant donné le caractère unique et le grand potentiel en termes de biodiversité des lacs de montagne du Maroc, un projet semblable pour cette région pourrait être soumis au financement du FEM.

Les agences de coopération européennes telles que l'Agence Française de Développement et l'Agence Allemande de Coopération Technique agissent également comme bailleurs de fonds dans le domaine de l'environnement au Maroc. De plus, ceux-ci interviennent dans les parcs en tant que soutiens techniques depuis une quinzaine d'années (Milian, 2007).

Les intervenants locaux sont moins présents dans la gestion des zones humides marocaines (*Id.*). Plusieurs ONG nationales s'intéressent aux ressources naturelles, mais peu d'entre elles œuvrent dans le domaine des milieux humides (Chbaatou, 1999). Une convention a tout de même été conclue avec un groupe d'ONG nationales et internationales pour la gestion du site Ramsar de Sidi Boughaba (*Id.*). Une entente

similaire pourrait éventuellement être établie pour le suivi des lacs de montagne. Parmi les ONG potentielles, la Société Protectrice des Animaux et de la Nature (SPANA) agit à travers le pays et possède notamment un bureau à Khénifra (SPANA, s.d.). Un de ses objectifs concerne la conservation de la nature et inclut des activités de recherche et de suivi sur des espèces protégées ou menacées, ainsi que la participation à l'établissement de plans de gestion et d'aménagement de certaines aires protégées (*Id.*). Il existe également l'Association Marocaine pour la Protection de l'Environnement (Chbaatou, 1999), mais les informations sur celle-ci sont peu abondantes. D'autres associations nationales, de type scientifique, sont présentées à la section suivante.

Certaines ONG régionales possèdent également des programmes à caractère environnemental. Celles-ci sont généralement actives dans les activités de sensibilisation du grand public, dans les opérations de nettoyage et dans la célébration de journées thématiques (*Id.*). Chantiers de Jeunesse Marocaine est une association créée en 1998, avec l'objectif de promouvoir la culture démocratique, de contribuer à un développement durable et participatif, de favoriser les échanges interculturels et civiques, de promouvoir les valeurs du volontariat et de préserver l'environnement (Haddou, s.d.). Une partie des membres pratique également la profession de guide de montagne et possède une formation de naturaliste (Pourreau, 2005). Ces personnes pourraient éventuellement s'impliquer dans les collectes de données.

1.4.4 Participation de la communauté scientifique

Depuis de nombreuses années, des recensements hivernaux d'oiseaux d'eau du Maroc sont organisés par le Centre d'Étude des Migrations d'Oiseaux de l'Institut Scientifique de Rabat (Dakki et al., 2002). Ce centre possède toutefois un budget limité qui ne suffisait plus, dans les dernières années, à soutenir les recensements qui ont lieu dans plus de soixante sites à travers le pays (*Id.*). Le Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc (GREPOM) a donc commencé à contribuer à ces recensements en fournissant des ressources humaines et en prenant en charge une partie des frais de carburant (*Id.*). En outre, la compilation des données de la période 1996-2000 a été rendue possible grâce à une contribution de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (France) (*Id.*).

Le Maroc est doté de nombreux ornithologues, comme en témoigne la liste des 42 observateurs ayant participé au moins une fois aux recensements hivernaux d'oiseaux

d'eau entre 1996 et 2000 (*Id.*). Toutefois, 24 de ceux-ci n'ont participé qu'à un seul recensement au cours de ces années (pour une moyenne annuelle de 16 observateurs) et certains sont actifs dans d'autres régions que l'Atlas (*Id.*). Entre 1991 et 1994, une quinzaine d'ornithologues ont participé aux recensements des lacs de montagne, dont environ la moitié de façon régulière (El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991). De nouveaux participants pourraient également être recrutés grâce à diverses organisations scientifiques, comme le groupe d'ornithologie du Maroc (GOMAC). Cette association organise régulièrement des excursions ornithologiques dans le pays, en plus d'effectuer certains travaux de recherche et de publier la revue spécialisée *Porphyrio* (GOMAC, s.d.; Green, 2000). D'autres organismes de recherche gouvernementaux pourraient éventuellement contribuer au suivi de l'intégrité des lacs. Par exemple, Mustapha El Hamzaoui, du Centre National de la Recherche Forestière, a déjà collaboré avec l'ornithologue espagnol Green (2000) en coordonnant, à différentes époques de l'année, des recensements de milieux humides d'importance pour la sarcelle marbrée.

Les étudiants peuvent également contribuer au suivi, soit comme bénévoles, soit en l'intégrant à leur thèse ou à leurs travaux scolaires (Chillasse, 2004; El Agbani, 1997). Bien que de telles contributions soient généralement ponctuelles, les implications étudiantes pourraient être l'occasion de réaliser des analyses plus exhaustives des bases de données, en plus de former des personnes-ressources qui pourront par la suite continuer de s'impliquer bénévolement dans le suivi. Les futurs ingénieurs forestiers sont d'ailleurs de plus en plus nombreux à aborder le domaine de la conservation des ressources naturelles, particulièrement la problématique de protection versus développement, dans leur mémoire de fin d'études (Milian, 2007). L'École nationale forestière d'ingénieurs de Salé a même ouvert, en 2005, une option consacrée à la gestion des aires protégées (*Id.*).

Malgré les nombreuses contributions scientifiques à l'étude des lacs de montagne marocains, les moyens techniques restent limités. Par exemple, les appareils portatifs de mesure des paramètres physico-chimiques sont rares et manquent souvent de fiabilité, faute de solutions tampons pour calibrer l'appareil (observation personnelle). Afin d'éviter que des données aberrantes soient incluses dans le suivi, les appareils et les méthodes d'échantillonnage utilisés devraient être bien encadrés. La formation des participants est également essentielle. Le Centre Marocain pour les Zones Humides (CMZH) constitue

une autre ressource potentielle qui pourrait s'impliquer en ce sens dans la mise en œuvre d'un suivi régulier des lacs de montagne. Le CMZH a comme objectifs la mise en place d'une entité de coordination et de gestion des zones humides, le renforcement des capacités en matière de gestion et d'utilisation rationnelle de ces milieux, l'information et la sensibilisation du public, ainsi que la formation du personnel technique (SEO/BirdLife et HCEFLCD, 2005). Le programme d'action du centre devrait toucher une cinquantaine de zones humides à travers le pays (MedWetCoast, 2003). Un projet pourrait être créé afin d'y intégrer la supervision technique du suivi de l'intégrité des lacs de montagne.

1.4.5 Participation des populations locales

Dans les pays en développement, le support des populations locales est un des critères déterminants de l'efficacité de la conservation de la biodiversité, donc du maintien de l'intégrité des écosystèmes (Poisson, 2009). Depuis que l'utilisation des zones humides par les communautés locales a été présentée comme une des raisons de protéger ces milieux fragiles, il y a plus de dix ans, la Convention de Ramsar demande à ses Parties d'encourager la participation active et informée des populations locales à la gestion des sites inscrits sur la Liste Ramsar et des autres zones humides de leur pays (Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2007a). Une gestion participative est d'autant plus souhaitable « lorsque l'accès aux ressources naturelles de la zone humide est essentiel pour la subsistance, la sécurité et le patrimoine culturel au niveau local » (*Id.*, p. 7). Les gestionnaires des parcs nationaux du Maroc et les bailleurs de fonds souhaitent également associer les communautés à la gestion de la biodiversité et des enjeux environnementaux (Milian, 2007).

La gestion participative des zones humides marocaines pourrait être une finalité intéressante. La mise en œuvre d'une « gestion rationnelle, participative et intégrée des ressources naturelles » serait d'ailleurs envisagée dans le récent parc national de Khénifra (Milian, 2007, p. 180). Ce type de gestion requiert cependant énormément d'efforts et de temps, puisqu'il n'existe aucune recette universelle pour son instauration (Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2007a). La discussion de ce type de gestion dépasse largement les objectifs de cet essai. Reste que la participation des populations locales au suivi de l'intégrité des écosystèmes lacustres de montagne comporterait des avantages évidents : utilisation des connaissances et compétences locales, renforcement de la sensibilisation à l'environnement et aux impacts des activités humaines dans la communauté, engagement

communautaire, et réduction des frais de mise en œuvre (*Id.*). Il fut d'ailleurs constaté, lors de la réalisation d'entrevues dans le cadre du projet d'implantation d'une gestion durable et concertée pour la conservation des oiseaux aquatiques au site Ramsar du lac Afennourir, que les bergers possèdent une bonne connaissance des comportements et des variations de populations des oiseaux aquatiques, bien qu'ils ne soient pas toujours en mesure de nommer les espèces (Hamel, 2009). En attribuant des tâches simples à des locaux, par exemple aux gardiens présents sur certains sites (*Id.*), il pourrait être possible de récolter des données de façon additionnelle ou plus fréquente, ce qui autrement aurait engendré des coûts importants.

L'implication des populations locales dans le suivi nécessiterait le renforcement de leurs capacités techniques et de leur compréhension générale du processus de suivi écologique (Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2007a). De plus, des mesures incitatives plus puissantes que la sensibilisation et l'éducation sont souvent nécessaires pour obtenir le support local (Poisson, 2009; Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2007a). L'instauration d'un processus de gestion participative inclut généralement un programme de partage des bénéfices, qui vise la redistribution des revenus générés par la zone protégée, sous forme de dividendes ou de bénéfices (implantation de projets de développement communautaire, mise en place d'alternatives au mode de subsistance, construction d'infrastructures, embauche locale, etc.) (*Id.*). Le Secrétariat de la Convention de Ramsar (2007a) a recensé des cas où des indemnités sont offertes à ceux qui se déplacent pour assister aux réunions ou aux ateliers, de manière à compenser les coûts entraînés. Le fait de réserver certains postes rémunérés aux populations locales dans les activités de recherche entreprises sur leur territoire est également une façon intéressante de s'assurer la collaboration de la communauté (*Id.*). Ces nouvelles activités génératrices de revenus peuvent, par la même occasion, diminuer la traditionnelle dépendance envers les ressources naturelles.

2. IDENTIFICATION DES FACTEURS DE PERTURBATION DE L'INTÉGRITÉ DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

Les facteurs de perturbation naturels et anthropiques qui risquent d'affecter l'intégrité des lacs de montagne marocains sont présentés ici de la manière la plus exhaustive possible. Ceci permettra d'orienter le choix des indicateurs de suivi, puisque ces derniers devront être sensibles à ces types de perturbation.

2.1 Facteurs de perturbation naturels

Les facteurs de perturbation naturels sont essentiellement liés aux conditions climatiques de la zone d'étude. Celle-ci se caractérise par un climat méditerranéen de montagne, c'est-à-dire humide à subhumide et à hiver froid (Chillasse, 2004). Les températures annuelles moyennes se situent entre 3 et 16 °C (Martin, 1981), avec des maximums pouvant dépasser les 30 °C en juillet-août et des minimums souvent inférieurs à 0 °C de décembre à février (Chillasse, 2004). Au-dessus de 1 400 mètres d'altitude, les précipitations hivernales peuvent avoir lieu sous forme de neige (*Id.*). Les précipitations estivales, pour leur part, se présentent sous forme d'orages et d'averses brutales, suffisamment fréquentes pour influencer le total annuel des précipitations (Benbrahim et al., 2004; Chillase, 2004; El Jihad, 2003). En raison de leur caractère souvent brusque et violent, les pluies présentent, dans cette région, un potentiel d'érosion très élevé (Benbrahim et al., 2004). De plus, les écarts et les extrêmes thermiques causent la dessiccation des sols, ce qui peut entraîner la compaction des sols argileux ou la pulvérisation des sols limoneux et favoriser le ruissellement ou l'érosion (*Id.*).

Puisque les principales perturbations atmosphériques proviennent de l'océan Atlantique, on observe un gradient d'aridité croissant du nord-ouest vers le sud-est (Chillasse, 2004). En outre, sur le versant ouest, les précipitations augmentent selon un gradient altitudinal (*Id.*). Les mois de juin à septembre sont généralement secs dans l'ensemble de la région, tandis que les mois de mai et octobre le sont plus d'une année sur deux dans les zones de faible altitude uniquement (El Jihad, 2003). De plus, des sécheresses de courte durée, généralement d'un seul mois, surviennent occasionnellement en saison froide (novembre à avril) (*Id.*). La région de l'Atlas est également reconnue pour la variabilité interannuelle de ses précipitations (El Jihad, 2003; Flower and Foster, 1992). Globalement, de faibles précipitations ont été enregistrées dans les années 1944-1953, tandis que les années 1956 à 1980 ont été plus humides (Karrouk, 2007; Flower and Foster, 1992). Depuis, le

pays est affecté par une longue période de sécheresse, interrompue en 1996 et 1997 par des précipitations abondantes (*Id.*). Les périodes 1980-1985 et 1991-1995 ont été particulièrement arides et les sécheresses les plus intenses ont été observées en 1981, 1983, 1993, 1995, 1998, 2002, 2005 et 2008 (Karrouk, 2007; El Jihad, 2003; Chillasse, communication personnelle). Ces années ont été caractérisées par une atmosphère stable et sèche, même en saison normalement considérée comme humide, et correspondent à la présence du phénomène El Niño (Karrouk, 2007).

La région n'échappe pas à la tendance mondiale de réchauffement climatique, puisqu'on y prévoit un réchauffement de l'ordre de 0,7 à 1 °C entre 2000 et 2020 (Benbrahim et al., 2004). Dans le futur, les sécheresses risquent également de s'intensifier et de se prolonger. En effet, les tendances indiquent une réduction du volume annuel des précipitations de 4 % en 2020 par rapport à l'an 2000 (*Id.*). El Jihad (2003) a d'ailleurs constaté une tendance à l'augmentation du nombre de mois secs à partir de 1980, surtout dans les stations de plus haute altitude où la sécheresse était normalement moins intense. En outre, des études dendrochronologiques (étude des cernes de croissance d'un arbre) sur les cèdres de l'Atlas ont permis d'analyser les épisodes de sécheresse depuis les années 1000 et de constater qu'elles atteignent maintenant des durées de 8 ans, ce qui n'avait jamais été vu avant les 20 dernières années (Benbrahim et al., 2004).

Cette intensification des sécheresses, couplée à l'augmentation des pompages, expliquerait la diminution des volumes d'eau stockés dans la région (Chillasse et Dakki, 2004). Effectivement, les lacs de montagne du Maroc auraient subi une perte de superficie de 41 % entre 1978 et 1999 (Green et al., 2002) et des études réalisées sur le lac Azegza ont clairement démontré le lien entre le niveau d'eau du lac et les variations dans les précipitations annuelles (Flower and Foster, 1992). D'ailleurs, le drainage des eaux dans le bassin versant est reconnu comme étant l'un des principaux facteurs de contrôle du niveau de l'eau des lacs dans les régions karstiques (*Id.*). Plusieurs lacs ont donc vu leur niveau s'abaisser de façon importante au cours des années arides, certains s'étant même asséchés complètement à quelques reprises (Chillasse et Dakki, 2004). Ceci entraîne inévitablement des modifications importantes aux habitats et aux conditions physico-chimiques des eaux (température, taux d'oxygène, minéralisation, conductivité, etc.) (Chillasse et Dakki, 2004; Green et al., 2002). Les lacs de montagne marocains semblent notamment avoir subi une légère augmentation de leur salinité au cours des dernières décennies. Alors que Morgan (1982) rapportait des conductivités de 0,37 à 0,79 mS/cm en

septembre 1979, Green et al. (2002) ont obtenu des mesures allant de 0,42 à 1,6 mS/cm en octobre 1997 et mai 1999. Ceci représente une augmentation moyenne minimale de 0,33 mS/cm pour les cinq lacs où la comparaison est possible. Plusieurs valeurs dépasseraient maintenant le seuil de salinité pour l'eau douce, établi à 0,5 g/L (Farinha et al., 1996) ou environ 0,8 mS/cm (Green et al., 2002). La baisse du niveau d'eau peut aussi mener à une eutrophisation accélérée des lacs et à la disparition de certaines espèces autochtones au profit d'espèces plus tolérantes aux nouvelles conditions (Dakki, s.d.).

Conséquence de la sécheresse, les incendies de forêt font également de plus en plus de ravages au Maroc, même si la superficie brûlée annuellement reste relativement faible en comparaison avec les pays nord-méditerranéens (Hanan et Mhirit, 1999). Alors que la superficie moyenne détruite par le feu était de 1 883 hectares par année entre 1960 et 1969, elle est passée à 4 503 hectares par année dans les années 1990 (*Id.*). Ceci peut avoir un impact sur les habitats forestiers et sur la sédimentation dans les lacs, puisque les sols découverts à la suite d'un feu sont plus propices à l'érosion (*Id.*).

La sécheresse globale que connaît le Maroc depuis les années 1980 a également motivé de nombreuses procédures de recherche et d'exploitation massive des ressources en eau potable, que ce soit au moyen de captage des résurgences, de pompage de la nappe phréatique ou de construction de barrages collinaires, ce qui amplifie le phénomène naturel (Dakki, s.d.; Chillasse et Dakki, 2004). En outre, la sécheresse a certainement motivé l'installation en altitude de nouvelles formes d'agriculture et encouragé la sédentarisation des bergers autrefois transhumants (Chillasse et Dakki, 2004). Les impacts de ces activités anthropiques sont décrits dans les sections suivantes.

2.2 Facteurs de perturbation anthropiques

La population marocaine est passée d'à peine 8 millions d'habitants en 1940 à 26,2 millions en 1994 (ONEM, 2001). Cette croissance démographique n'a pas épargné la région de l'Atlas, qui a subi d'importantes transformations du mode d'occupation de l'espace rural et de l'utilisation des ressources naturelles (Chillasse et Dakki, 2004; Benbrahim et al., 2004). Selon Chillasse et Dakki (2004), l'expansion humaine et la diversification des activités socio-économiques se font principalement aux dépens des zones humides. Dakki (s.d.) estime même que les impacts humains seraient responsables de la dégradation totale ou partielle de plus de 50 % des écosystèmes d'eau continentale du pays. L'intégrité des lacs de montagne pourrait être perturbée par l'usage croissant des

eaux de surface et souterraines, la sédentarisation du pastoralisme et des activités domestiques, la destruction du couvert végétal par l'exploitation forestière, les autres prélèvements de végétation, la pollution et la destruction des milieux humides par l'agriculture, l'introduction d'espèces aquatiques allochtones et la pêche, l'exploitation des populations animales ainsi que l'expansion du tourisme.

2.2.1 Usage croissant des eaux de surface et souterraines

Conséquence de la croissance démographique et du développement industriel et agricole, les pompages et dérivations des eaux destinés à l'irrigation ou à l'approvisionnement des populations se sont multipliés, même dans les zones montagneuses (Dakki, s.d.). La biodiversité des eaux courantes, en particulier, est affectée par les baisses de débit que connaissent plusieurs rivières et sources, ce qui diminue également leur capacité d'autoépuration (*Id.*).

En région continentale, la proximité de l'eau constitue l'un des principaux critères de choix des sites d'habitation (*Id.*). La pression ainsi engendrée sur les lacs peut être très significative. Par exemple, au lac Afennourir, un des principaux sites utilisés par les bergers en saison sèche, les besoins en eau pour le bétail et pour la consommation humaine furent estimés par Aaouine et al. (2008) à près de 180 000 litres (180 m³) d'eau par jour. De ce nombre, 125 000 litres sont utilisés pour l'abreuvement du bétail sur place, tandis que 52 000 litres sont prélevés pour l'abreuvement hors site et 1 600 litres pour l'utilisation domestique (*Id.*). Le développement anarchique des pompages dans les lacs ou dans des puits directement reliés à la nappe phréatique affecte les régimes hydrologique et thermique des zones humides de montagne et conduit à un épuisement inquiétant des ressources en eau souterraine (Benbrahim et al., 2004; Chillasse et Dakki, 2004; Dakki, s.d.). La baisse de niveau de plusieurs marécages et lacs a non seulement un impact sur la biodiversité, mais réduit également les potentialités de pêche sportive ou d'écotourisme dans la région (Chillasse et Dakki, 2004). Les prélèvements d'eau dans les puits creusés près de certains lacs pourraient tout de même contribuer à diminuer le dérangement des oiseaux aquatiques sur les berges (Dakki et al., 2003).

2.2.2 Sédentarisation du pastoralisme et des activités domestiques

Le pastoralisme est une activité ancestrale très répandue dans les montagnes de l'Atlas et constitue la seule activité économique de bon nombre de foyers (Chillasse et Dakki,

2004). Comme constaté par l'auteure au cours de son stage dans le parc national d'Ifrane, les troupeaux sont, pour la plupart, composés en majorité d'ovins et en minorité de caprins. Des bovins sont également présents sur le site, mais en quantité moindre. Le broutage est réalisé sur les terrains collectifs non boisés ainsi que sous couvert forestier, dans les parcelles forestières domaniales, tandis que l'abreuvement des animaux se fait dans les lacs, les marécages, les ruisseaux ou les sources (Hamel, 2009).

Le pastoralisme se pratiquait traditionnellement à travers un système de transhumance dans lequel les troupeaux séjournent en montagne pendant les 4 ou 5 mois les plus secs (Chillasse et Dakki, 2004). Dans les dernières décennies, la réduction des superficies de parcours dans les plaines, l'intensification des sécheresses et la courte période d'enneigement ont poussé certains bergers à rester de plus en plus longtemps à proximité des points d'eau de montagne (Benbrahim et al., 2004; Chillasse et Dakki, 2004). Aujourd'hui, plusieurs campements sont installés de façon presque sédentaire dans la région, les bergers ne descendant dans la plaine avec leur troupeau que lors des hivers particulièrement rigoureux, comme en 2008-2009 (Sogreah et Ttoba, 2004; Hamel, 2009). Autrefois, l'agdal était également une pratique traditionnelle couramment réalisée sur les terrains collectifs, mais qui tend à se raréfier (Sogreah et Ttoba, 2004). Il s'agit d'une mise en défens, réalisée au printemps, lorsque les plantes sont les plus sensibles, sur une partie du parcours collectif, dans la zone où les pelouses sont les plus productives. Cette pratique permettait à la végétation de prendre de la vigueur et d'allonger la saison de parcours. Toutefois, les contestations à son sujet sont de plus en plus importantes et cette période de jachère n'existe pratiquement plus (*Id.*).

Les conséquences de ce pastoralisme prolongé sont diverses. Le bétail constitue une source d'eutrophisation pour les lacs en raison des excréments et de l'érosion des berges créée par les animaux (Dakki, s.d.). En saison sèche, le piétinement accentue effectivement la désagrégation et la pulvérisation des sols, préparant le matériel pour l'érosion (Benbrahim et al., 2004). En saison humide, au contraire, le passage des troupeaux sur les sols entourant les lacs provoque leur tassement superficiel, ce qui diminue l'infiltration et favorise le ruissellement de surface, limitant la filtration de l'eau avant qu'elle n'arrive dans les plans d'eau (*Id.*). La perturbation physique causée par le piétinement du fond des lacs, en période sèche, est également importante (Dakki, s.d.). Une étude réalisée dans les mares temporaires de la région de Benslimane a démontré qu'en plus de contribuer à la diminution du recouvrement végétal, un des impacts majeurs

des herbivores concernerait le remaniement des couches de sol, ce qui aurait un effet sur la structuration verticale du stock de semences. Des graines âgées à faible pouvoir germinatif pourraient alors être ramenées en surface, tandis que des graines jeunes seraient enfouies plus en profondeur (Sahib et al., 2008). La consommation des plantes pourrait aussi être une menace pour certaines espèces d'intérêt (Dakki, s.d.). Le pâturage contribue effectivement à la disparition des espèces appréciées et à la sélection artificielle des plantes toxiques ou de faible qualité nutritive, telles que *Thymelea* sp., *Euphorbia* sp. ou *Daphne gnidium* (Benbrahim et al., 2004; Meziane, communication personnelle).

La sédentarisation des bergers à proximité des points d'eau de montagne implique également un dérangement accru de la faune, particulièrement des oiseaux aquatiques, durant toute l'année. Par exemple, le lavage se fait souvent directement dans les lacs, puis les vêtements et couvertures sont étendus sur les berges pour sécher au soleil (Hamel, 2009). Les déplacements à dos d'âne ou de chevaux sont également fréquents et causent souvent l'envol des oiseaux, surtout des tadornes casarca (*Id.*). Les bergers possèdent également des chiens qui peuvent effrayer la faune sauvage en aboyant ou en courant (*Id.*). La présence du bétail, pour sa part, cause parfois des états d'alerte ou des déplacements chez certains oiseaux, surtout ceux postés sur les berges, mais aucun envol provoqué uniquement par des animaux ne fut observé (*Id.*).

2.2.3 Destruction du couvert végétal par l'exploitation forestière

Au Maroc, environ 8 % du territoire est recouvert de forêts, tandis que 4,7 % des terres constituent des steppes d'alfa incluses dans le territoire forestier domaniale, qui couvre plus de 9 millions d'hectares (Ahlafi, 1999). L'estimation de la valeur économique de la forêt est difficile et complexe en raison de l'existence de deux types d'économie forestière (El Idrissi, 1999). La première, légale, officielle et ouverte sur les marchés, est gérée par le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD). La deuxième, informelle, concerne l'exploitation illicite des ressources forestières pour la satisfaction des besoins de subsistance des populations locales (*Id.*). Quoique seule la récolte du bois mort soit permise par le régime forestier, les populations riveraines des forêts pratiquent aussi la coupe de bois vif (Sogreah et Ttoba, 2004). Une partie de cette coupe, essentiellement de chêne vert, serait destinée à la vente dans les centres urbains, puisque la totalité de la population de la province d'Ifrane dépend largement des combustibles ligneux pour satisfaire ses besoins énergétiques (*Id.*). Le bois de cèdre, pour

sa part, est vendu pour la menuiserie (*Id.*). L'ébranchage des cèdres est également une pratique interdite, mais réalisée afin de fournir de la nourriture au bétail lorsque l'alimentation au sol est impossible à cause de la neige ou de la sécheresse. Les bergers peuvent alors monter très haut dans les cèdres afin de couper des branches qu'ils dispersent ensuite au sol (Amhaouch, communication personnelle). On estime qu'au Maroc, le couvert végétal forestier perdrait plus de 30 000 hectares par an en raison du défrichage, des prélèvements pour le bois d'énergie, de l'ébranchage pour l'alimentation du bétail, de l'arrachage pour l'usage artisanal et des incendies (Benbrahim et al., 2004). Le surpâturage contribue également à limiter les possibilités de régénération (*Id.*).

Cette diminution du couvert végétal provoque l'appauvrissement du sol et son exposition à l'érosion (*Id.*). Dans les montagnes, c'est essentiellement l'érosion hydrique qui est responsable de la dégradation des terres, qui atteint de 500 à 1 000 tonnes par kilomètre carré par année (Askarn et El Haddad, 1999). Les sédiments ainsi entraînés vers les plans d'eau contribuent à leur eutrophisation accélérée et le cumul de l'érosion à l'échelle du pays provoque la réduction des capacités de stockage des barrages de 50 à 60 millions de mètres cubes par année, réduisant la disponibilité en eau potable et la production hydroélectrique (Benbrahim et al., 2004).

La faune aquatique peut également être dérangée par l'exploitation forestière. En effet, la coupe des arbres peut avoir un impact important sur les espèces d'oiseaux ou de mammifères qui s'abritent ou se reproduisent en forêt (Lemelin et al., 2007; Newton 1994). Le tadorne casarca, par exemple, construit son nid assez loin de l'eau, dans des crevasses de rocher, des terriers ou des trous d'arbre qui pourraient être détruits par les activités sylvicoles (Collin et Le-Dantec, 2002; Cramp et al., 1977).

2.2.4 Autres prélèvements de végétation

L'extraction des plantes médicinales est un autre facteur de dégradation des parcours de la région des lacs (BRL ingénierie, 2007b). En effet, certaines plantes comme le pyrèthre d'Afrique (*Anacyclus pyrethrum*) sont l'objet d'un commerce lucratif, réalisé en grande proportion par des bergers qui les récoltent lorsqu'ils les croisent (Francoeur, 2008).

En outre, Chahlaoui et al. (1994) considéraient que, durant la décennie de 1983 à 1993, la principale menace anthropique touchant l'intégrité des lacs de montagne était la coupe sauvage de la végétation aquatique, notamment des roseaux et des joncs, par les

transhumants. La végétation aquatique en bordure des lacs aurait ainsi été pratiquement éliminée de la plupart des lacs, ce qui peut avoir un impact important pour plusieurs espèces de canards et d'oiseaux aquatiques qui nichent dans cette bande de végétation (Green et al., 2002). Ceci pourrait même expliquer pourquoi l'érismaire à tête blanche (*Oxyura leucocephala*), une espèce qui fut probablement bien répandue dans la région à une certaine époque, s'est rétablie en Espagne mais pas au Maroc (*Id.*).

Dans certains lacs, du faucardage est aussi effectué de manière préventive, sur les ordres du ministère de la Santé, afin de détruire les habitats propices à la reproduction des vecteurs du paludisme (Amalou, technicien en santé et environnement de l'hôpital d'Aïn Leuh, communication personnelle). Ceci serait toutefois réalisé de façon peu régulière et principalement dans les milieux humides de faible altitude.

2.2.5 Pollution et destruction de milieux humides par l'agriculture

La diminution des précipitations dans les montagnes, surtout sous forme de neige, a permis l'installation en altitude de certaines formes d'agriculture (Chillasse et Dakki, 2004). En s'installant de façon plus permanente à proximité des lacs, les bergers et leur famille commencent par exemple à cultiver des potagers (observation personnelle). Cependant, le fait que l'agriculture soit interdite sur les terrains collectifs limite pour l'instant l'expansion de cette activité (Sogreah et Ttoba, 2004). En outre, les lacs de montagne étant globalement situés en amont des zones agricoles, l'impact des fertilisants et des pesticides ne devrait pas être significatif sur la qualité de l'eau. Pour sa part, le drainage de grandes surfaces marécageuses au profit de champs cultivables n'a pas encore atteint les montagnes de l'Atlas (Dakki, s.d.).

2.2.6 Introductions d'espèces allochtones et pêche

Des ensemencements de poissons ont lieu annuellement dans plusieurs lacs de montagne. Par exemple, en 2008, le CNHP a relâché 11 000 truites arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*) dans les plans d'eau d'Amghass et entre 2 000 et 60 000 brochetons (*Esox lucius*) dans ces mêmes plans d'eau ainsi que dans les lacs suivants : Afourgagh, Iffer, Tifounassine, Sidi Ali, Wiwane, Azegza, Ichou, Aberkhane (CNHP, 2009). La truite fario, la perche noire à grande bouche (*Micropterus salmoides*), les carpes chinoises argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*), amour blanc (*Ctenopharyngodon idella*) et grosse tête (*Aristichthys nobilis*), le gardon (*Rutilus rutilus*), le rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), la

perche-soleil (*Lepomis gibbosus*) ainsi que le sandre (*Stizostzedion lucioperca*) ont également été introduits dans les cours d'eau ou plans d'eau de la région (Chillasse et Dakki, 2004). Ces espèces sont, pour la plupart, destinées à la pêche sportive. Des gambusies (*Gambusia affinis*) sont également ensemencées plus ou moins régulièrement dans certaines zones humides pour lutter contre le développement des larves de moustiques (CNHP, 2009). La carpe commune (*Cyprinus carpio*), quant à elle, serait introduite tant pour la pêche que pour la lutte contre les larves de moustique (IFMT, 2006; Chillasse et al., 2001).

Deux espèces allochtones d'écrevisses constituent la faune astacicole de la région. L'écrevisse américaine (*Orconectes limosus*) a été introduite avec succès dans neuf lacs naturels, tandis qu'il existe maintenant des populations d'écrevisse à pattes rouges (*Astacus astacus*), une espèce vulnérable selon la Liste Rouge de l'Union mondiale pour la nature (IUCN, 2010), dans la rivière Tizquit et dans les deux plans d'eau de Zerrouqa (Chillasse et al., 2001).

Le principal avantage de toutes ces introductions est le bénéfice pour la pêche sportive, qui est relativement lucrative pour l'état et les communes (Dakki, s.d.). Cette amélioration du stock piscicole n'aurait toutefois pas d'impact positif sur la conservation des espèces autochtones, puisqu'il semble que la pression de pêche sur celles-ci n'en soit guère allégée (*Id.*). Par ailleurs, les impacts écologiques négatifs des introductions de poissons sont bien documentés. Par exemple, Chapleau et al. (1997) ont déterminé que les communautés piscicoles des lacs du parc de la Gatineau ont été modifiées à la suite de l'introduction de poissons piscivores, les espèces de petite taille disparaissant des lacs ayant subi des introductions. Ortubay et al. (2006) ont conclu que l'introduction de quatre espèces de perches et de truites a entraîné des effets complexes dans toute la chaîne trophique, ce qui a mené au déclin de certaines espèces d'amphibiens et d'oiseaux. Au Maroc, les introductions de cyprinidés sont considérées comme étant à l'origine de la disparition des populations autochtones de la truite de Pallary, jadis très abondante dans les lacs Sidi Ali et Tiguelmamine (Chillasse et al., 2001). En outre, les importantes populations de brochet, poisson prédateur, pourraient gêner la nidification de plusieurs espèces d'oiseaux en compétitionnant pour la nourriture et en s'attaquant aux poussins à l'occasion (Dakki et al., 2003; Chillasse, communication personnelle). À ce sujet, la littérature ne semble pas alarmante, citant la prédation d'oiseaux par le brochet comme étant plutôt exceptionnelle, moins de 2 % des brochets étudiés contenant des restes

d'oiseaux (Alp et al., 2008; Solman, 1945). Des attaques auraient tout de même été observées par les pêcheurs, notamment sur les lacs Afennourir, Tifounassine et Sidi Ali (Président de l'association des pêcheurs d'Azrou, communication personnelle). La pêche elle-même peut également constituer un dérangement pour les oiseaux, dans la mesure où des centaines de pêcheurs peuvent se retrouver autour d'un même lac pour jeter la ligne dès l'ouverture officielle de la saison.

2.2.7 Exploitation des populations animales

La chasse est pratiquée de façon sportive autour des lacs de montagne. Le lièvre (*Lepus capensis*), le sanglier (*Sus scrofa*), les canards et les limicoles, surtout la bécassine des marais (*Gallinago gallinago*), constituent les principales espèces de gibier de la région (Alaoui Abdelmalek et Hafftane, 1999). Le gibier d'eau est particulièrement apprécié, car il est facile à chasser en raison de ces habitudes migratoires et de la faible taille des plans d'eau (Chillasse et al., 2001). Il est toutefois interdit de chasser ou de récolter les œufs de toutes les espèces de grèbes, de cormorans, de tadornes, de rapaces, d'outardes, de gangas, de courlis, de pigeons, de cigognes, d'ibis, de grues, de sternes et de pics, ainsi que de certaines espèces comme la sarcelle marbrée (*Marmaronetta angustirostris*), la nette rousse (*Netta rufina*) et la spatule blanche (*Platalea leucorodia*) (Alaoui Abdelmalek et Hafftane, 1999). Plusieurs espèces de mammifères dont le singe magot, l'écureuil de barbarie (*Atlantoxerus getulus*), le porc-épic (*Hystrix cristata*) et la genette (*Genette genetta*) bénéficient aussi de cette protection (*Id.*). Cependant, les connaissances limitées de certains chasseurs ne leur permettent pas toujours de distinguer les espèces protégées des autres espèces pour lesquelles la chasse est autorisée (Chillasse et al., 2001). Les seuls sites protégés par un statut de réserve de chasse permanente sont les lacs Afennourir, Dayet Awa et les plans d'eau de Zerrouqa (Chillasse et Dakki, 2004). Sur les sites où la chasse est interdite, le braconnage reste tout de même répandu, spécialement envers le gibier d'eau (BRL ingénierie, 2007b; Green et al., 2002).

Le ramassage des œufs d'oiseaux, particulièrement ceux de foulques, ainsi que certains actes de vandalisme, tels que des tirs de pierres sur les oiseaux, sont aussi rapportés (BRL ingénierie, 2007b; Cuzin et al., 2006; Green et al., 2002). Les enfants et les bergers ramasseraient les œufs pour les manger ou simplement pour s'amuser (Hamel, 2009). Il semble cependant qu'une certaine sensibilisation s'installe parmi les bergers et que ce genre de destruction soit de moins en moins courant (*Id.*). Lorsque le lac s'assèche,

toutefois, les foulques peuvent très facilement être attrapées à la main. En 2008, une grande quantité d'oiseaux auraient ainsi été attrapés et mangés à Afennourir (*Id.*).

2.2.8 Expansion du tourisme

Les milieux aquatiques représentent une composante essentielle des lieux de repos pour les Méditerranéens et subissent une grande pression touristique du printemps au milieu de l'automne (Cuzin et al., 2006; Dakki, s.d.). Selon Chillasse et Dakki (2004), trois phénomènes sont responsables de l'ampleur incontrôlée qu'a prise ce type de tourisme dans les cinquante dernières années : la facilité d'accès aux sites grâce au réseau routier bien développé, l'installation d'infrastructures d'accueil et de petits commerces par les populations locales, ainsi que « l'amélioration » de l'attractivité des sites par leur artificialisation. Certains lacs de montagne sont également visités pour leur attrait ornithologique (BRL ingénierie, 2007b). Le tadorne casarca et la foulque à crête, notamment, sont des espèces qui attirent l'écotourisme ornithologique (ONEM, 2001).

Le flux important de visiteurs et de campeurs autour des lacs a comme conséquences la production de déchets solides et organiques, la dégradation des habitats naturels ainsi que le dérangement de la faune (Chillasse et Dakki, 2004). L'impact des dérangements humains sur l'avifaune aquatique a été observé entre 1983 et 1993, une décennie caractérisée par une forte sécheresse sévissant à l'échelle du pays entier. Selon Chahlaoui et al. (1994), l'avifaune aquatique des lacs Afennourir et Tifounassine aurait alors démontré moins de signes de perturbation que celle des autres lacs de la région. L'isolement et la tranquillité relativement préservée de ces sites, à cette époque, auraient été en partie responsables du maintien de leur attrait pour les espèces aquatiques (*Id.*).

Étant donné l'actuelle tendance au tourisme écologique et la popularité de la montagne en tant que milieu naturel, il est raisonnable de croire que cette région pourrait connaître une forte croissance touristique dans les prochaines années (Sogreah et Ttoba, 2004). La fréquentation de certains lacs, notamment le lac Afennourir, a d'ailleurs été particulièrement élevée au printemps 2009, des autobus d'étudiants et de touristes se rendant même à quelques mètres du lac (Hamel, 2009).

3. ASPECTS THÉORIQUES DU SUIVI À L'AIDE D'INDICATEURS

Le terme « suivi » est souvent utilisé pour exprimer différentes réalités, qui peuvent être divisées en trois niveaux : une collecte de données constitue une série d'observations standardisées, une surveillance consiste en une série temporelle de collectes de données, tandis qu'un suivi (*monitoring*) est une surveillance réalisée en fonction d'objectifs précis, afin de vérifier le niveau de conformité avec une norme ou un état de référence (Bennun, 2001; Tomàs Vives et al., 1996). Puisqu'il est impossible de faire le suivi de toutes les composantes de l'intégrité d'un milieu, des indicateurs sont utilisés, soit pour agir comme signal d'alarme précoce d'un problème environnemental ou pour diagnostiquer un changement survenu dans le milieu (Niemi and McDonald, 2004). Il peut s'agir d'indicateurs d'état, c'est-à-dire de variables réponses qui mesurent la réaction de l'écosystème face à certaines perturbations (ex. : fluctuations des populations animales), ou d'indicateurs de pression, qui expriment les stress subis par le milieu (ex. : concentrations en phosphore ou en contaminants, fluctuation du niveau d'eau, etc.) (*Id.*). L'annexe 4 dresse une liste de variables physiques et biologiques suggérées par Bennun (2001) pour le suivi des zones humides.

Les paramètres physiques de qualité de l'eau (profondeur de l'eau, pH, oxygène dissous, transparence) sont souvent mesurables de façon directe et non ambiguë, mais leur valeur varie au cours de l'année, du mois, de la journée, ou encore d'une partie à l'autre de la zone humide (Bennun, 2001). Les variables physiques sont tout de même adaptées à une alerte rapide, puisqu'elles sont directement liées à certains processus tels que la pollution par des substances toxiques, le changement de régime hydrologique ou l'eutrophisation (Tomàs Vives et al., 1996). Cependant, leur utilisation est souvent coûteuse et leur impact sur les composantes biologiques peut être difficile à évaluer (Bennun, 2001; Tomàs Vives et al., 1996).

Parmi les variables biologiques, certaines, comme les espèces menacées, sont mesurées pour leur valeur intrinsèque, tandis que d'autres peuvent être indicatrices d'autres phénomènes écologiques (Bennun, 2001). Les variables biologiques ont donc comme avantage de pouvoir fournir des informations variées sur le statut écologique du milieu (*Id.*). Certaines sont également peu coûteuses à mesurer (*Id.*). Il faut toutefois s'assurer d'avoir une compréhension claire de ce que cette variable indique réellement (Kushlan, 1993). En effet, dans un système complexe où une composante biologique peut réagir à

des stress simultanés et parfois synergétiques, le lien ne peut pas toujours être clairement établi entre le changement biologique observé et sa cause (Bennun, 2001; Tomàs Vives et al., 1996; Kushlan, 1993). Cette intégration des effets de différents facteurs de perturbation peut représenter un obstacle, mais également un avantage à l'utilisation de bioindicateurs, puisque ceux-ci peuvent permettre de suivre plusieurs variables d'un écosystème à l'aide d'une seule mesure (Kushlan, 1993). Il faut toutefois prendre en considération que le délai peut parfois être important avant qu'une réaction biologique à un stress ne soit mesurable (Bennun, 2001). La mobilité du sujet et l'amortissement potentiel de la réponse peuvent constituer d'autres inconvénients (Tomàs Vives et al., 1996). Finalement, en fonction de leurs caractéristiques spécifiques, différentes espèces peuvent répondre de façon contradictoire à un même changement (Ficetola et al., 2007). La sélection des bioindicateurs doit donc être bien réfléchie.

Selon Bennun (2001), le suivi d'une zone humide devrait idéalement tenir compte de ces deux types de variables et être axé sur les menaces probables. Le choix des indicateurs à mesurer doit avoir un sens écologique, c'est-à-dire que la variable doit être intrinsèquement liée au maintien des processus écologiques essentiels, représenter l'ensemble du système et être sensible aux perturbations existantes ou émergentes du milieu (Everard, 2008; Niemi and McDonald, 2004). Les indicateurs choisis devraient également être simples, peu coûteux à mesurer, robustes, clairement liés aux objectifs de gestion et faciles à communiquer (Everard, 2008; Niemi and McDonald, 2004; Bennun, 2001). Puisque les lacs de montagne marocains sont reconnus pour leur importance dans le maintien des populations d'oiseaux aquatiques, l'utilisation de ces derniers comme bioindicateurs semble tout indiquer, d'autant plus que ceux-ci sont relativement simples à étudier et qu'ils attirent la sympathie du public.

Les bioindicateurs peuvent varier en fonction des taxons utilisés, mais également de la forme sous laquelle ils sont utilisés (approches mono- ou multispécifiques, assemblages d'indicateurs individuels ou indices holistiques). Les sections suivantes visent à déterminer de quelle façon la surveillance des populations d'oiseaux aquatiques pourrait permettre de réaliser le suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains. Diverses approches concernant l'utilisation de bioindicateurs sont d'abord présentées, puis des considérations particulières liées à l'utilisation d'oiseaux aquatiques comme bioindicateurs sont soulevées.

3.1 Utilisation d'indicateurs monospécifiques

Dans le but de simplifier les programmes de suivi au maximum, des approches monospécifiques par espèce indicatrice, parapluie, emblématique ou clé ont souvent été utilisées (Simberloff, 1998). Les espèces indicatrices sont utilisées pour refléter l'état de l'environnement, pour révéler les impacts des modifications du milieu, ou pour indiquer la diversité d'autres taxons dans un site (Niemi and McDonald, 2004; Simberloff, 1998). Une espèce parapluie est une espèce qui, en raison de la diversité et de la qualité d'habitats dont elle a besoin, chapeaute une kyrielle d'autres espèces moins exigeantes (Simberloff, 1998). Protéger une espèce parapluie permettrait donc de protéger une grande part de la biodiversité d'un site (*Id.*). Une espèce emblématique est souvent un grand vertébré dont le charisme peut être exploité pour soutenir une campagne de conservation en attirant la sympathie du public (*Id.*). Une telle espèce n'est pas nécessairement une bonne espèce indicatrice, ni une espèce parapluie (*Id.*). Finalement, le concept d'espèce clé s'applique aux espèces dont les activités influencent l'état de plusieurs autres espèces de l'écosystème (*Id.*). Leur suivi permettrait d'améliorer la compréhension du fonctionnement d'un écosystème et certaines espèces clés pourraient constituer de bonnes cibles de gestion (*Id.*). Il n'est toutefois pas certain que tous les écosystèmes possèdent de telles espèces clés, et leur identification peut s'avérer très difficile, certaines espèces pouvant être clés dans un écosystème, mais pas dans un autre (*Id.*).

Dans les dernières années, les limites de telles approches monospécifiques ont toutefois été reconnues (Mawdsley and O'Malley, 2009; Hilty and Merenlender, 2000; Lambeck, 1997). En effet, étant donné la complexité des écosystèmes, il est peu probable qu'une seule espèce puisse constituer un indicateur ou un parapluie efficace pour l'ensemble des organismes et des habitats qui s'y trouvent (Hilty and Merenlender, 2000; Lambeck, 1997). De plus, les listes d'espèces d'intérêt pour la conservation ne cessent de s'allonger, ce qui fait qu'il devient très peu efficace de communiquer les tendances populationnelles de toutes ces espèces séparément (Mawdsley and O'Malley, 2009). Un autre danger de ces approches monospécifiques réside dans le fait que toute action de gestion intensive de l'espèce choisie par des mesures la visant directement, telles que la construction d'abris ou la réintroduction d'individus, entraînera une perte de son caractère indicateur (Simberloff, 1998). En effet, le statut de l'espèce étant amélioré artificiellement et le reste de l'écosystème ne bénéficiant pas des mêmes traitements de faveur, cette espèce ne peut plus être considérée comme représentative de l'état du site (*Id.*).

Afin de remédier à ces problématiques, des approches multispécifiques ont été proposées. Il peut s'agir d'assemblages de plusieurs indicateurs liés à diverses espèces ou encore d'indices uniques, plus holistiques, calculés à l'aide de séries de données provenant de nombreuses espèces (Niemi and McDonald, 2004).

3.2 Utilisation d'assemblages d'espèces indicatrices ou parapluies

Hilty and Merenlender (2000) considèrent qu'un assemblage de différents indicateurs est absolument nécessaire pour réaliser le suivi d'un écosystème et que cet assemblage ne devrait pas être déterminé au hasard. Ces auteurs ont donc réalisé une compilation des caractéristiques proposées dans la littérature scientifique comme étant essentielles à un bon indicateur, puis les ont regroupées en quatre catégories (tableau 3.1).

Tableau 3.1 Compilation des caractéristiques dites essentielles d'un taxon utilisé comme bioindicateur

| Catégories | Caractéristiques essentielles des taxons indicateurs | Explication |
|--|--|--|
| Données de base | Taxonomie claire | Nécessaires pour permettre l'interprétation des variations observées |
| | Biologie et cycle biologique bien étudié | |
| | Niveaux de tolérance connus | |
| | Corrélations bien établies avec les changements écosystémiques | |
| Données géographiques | Distribution cosmopolite | Permet la comparaison avec d'autres sites |
| | Mobilité limitée | Empêche les individus étudiés de se déplacer pour éviter les dérangements |
| Caractéristiques du cycle biologique et de la niche écologique | Réponse précoce et efficacité sous différents stress | Pour assurer une alerte précoce |
| | Tendances populationnelles faciles à détecter | Pour assurer une alerte précoce |
| | Faible variabilité écologique et génétique | Pour éviter les interférences dues à des adaptations rapides ou à des variations aléatoires de la population |
| | Spécialiste/endémique | Pour assurer le lien avec les caractéristiques environnementales locales |
| | Facilité à observer et à mesurer les variables choisies | Pour limiter les coûts |
| Autres | Taxon qui répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques | Pour assurer un meilleur appui au projet |

Modifié de Hilty and Merenlender (2000, p. 186). (Traduction libre).

Tous les indicateurs inclus dans un programme de suivi n'ont pas besoin, individuellement, de respecter toutes ces caractéristiques. Toutefois, chacun devrait en respecter plusieurs, et ce, de façon complémentaire entre eux (*Id.*). Puisque certains des critères présentés au tableau 3.1 sont controversés (répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques et spécialiste/endémique) ou contradictoires (cosmopolite versus spécialiste, réponse précoce versus faible variabilité), une méthode progressive a été proposée par Hilty and Merenlender (2000) pour sélectionner un assemblage pertinent de taxons indicateurs. Cette méthode priorise les caractéristiques liées aux données de base et au cycle de vie. Parmi les caractéristiques géographiques, la mobilité réduite est priorisée, tandis que la distribution cosmopolite devient optionnelle, tout comme le fait de répondre à divers intérêts.

Dans la même optique d'utiliser un assemblage de plusieurs bioindicateurs pour représenter l'ensemble de l'écosystème, l'approche par espèces focales de Lambeck (1997) propose de déterminer, pour chaque paramètre d'importance à l'échelle du paysage, l'espèce la plus exigeante. En s'assurant que les paramètres du milieu permettent aux populations de ces espèces focales de se maintenir, on peut assumer que toutes les autres espèces sont également préservées puisque leurs besoins sont moindres. Le suivi pourrait donc se limiter à ces espèces focales. En théorie, l'approche de Lambeck (1997) est intéressante puisqu'elle permet d'utiliser le concept d'espèce parapluie en tenant compte qu'une seule espèce ne peut pas être parapluie pour toutes les autres espèces du même écosystème. Toutefois, il semble qu'en pratique, ce ne soit pas aussi simple. En Italie, dans un parc urbain boisé, Ficetola et al. (2007) n'ont pas réussi à sélectionner des espèces focales dont les besoins engloberaient ceux de toutes les autres, puisque les différentes espèces d'oiseaux, de reptiles, d'amphibiens et de mammifères du parc démontraient des réponses variées, parfois même opposées, aux dérangements étudiés.

3.3 Utilisation d'indices holistiques

Plutôt que d'utiliser plusieurs bioindicateurs de façon complémentaire, d'autres approches consistent à réunir en un seul indicateur, ou indice, des données multispécifiques trop complexes pour être utilisées telles quelles. Il peut s'agir d'un simple indice de richesse spécifique ou de biodiversité, comme celui de Shannon, ou encore d'un indice multiparamétrique plus complexe (Niemi and McDonald, 2004). Deux exemples sont

présentés ici. Il est à noter que ces indices se basent sur l'ensemble de la communauté étudiée et non sur des relations établies entre un élément de perturbation et une espèce particulière, comme c'est le cas pour les espèces indicatrices (DeLuca et al., 2008).

Le premier exemple concerne un indicateur proposé dans le cadre du projet sur les indicateurs de la biodiversité utilisés à des fins nationales (*Biodiversity Indicators for National Use*) (Bubb et al., 2005). Les chercheurs kényans, qui travaillaient sur les milieux humides, ont créé un indicateur de tendance multispécifique, basé sur la méthode de calcul de l'Indice Planète Vivante (Loh et al., 2005), pour huit espèces d'oiseaux présentes au lac Naivasha entre 1981 et 2000 (figure 3.1) (Bubb et al., 2005). L'Indice Planète Vivante fait partie d'un type d'indices qui permet de résumer les tendances de plusieurs séries de données populationnelles, de façon absolue ou relative (Mawdsley and O'Malley, 2009). Dans le plus simple des cas, chacune des séries est centrée autour de 1, de manière à ce qu'un indice supérieur à 1 indique une augmentation de la population, tandis qu'un indice inférieur à 1 indique un déclin (*Id.*). La moyenne géométrique de tous les indices peut ensuite être calculée pour représenter la tendance globale du groupe d'espèces étudié (*Id.*).

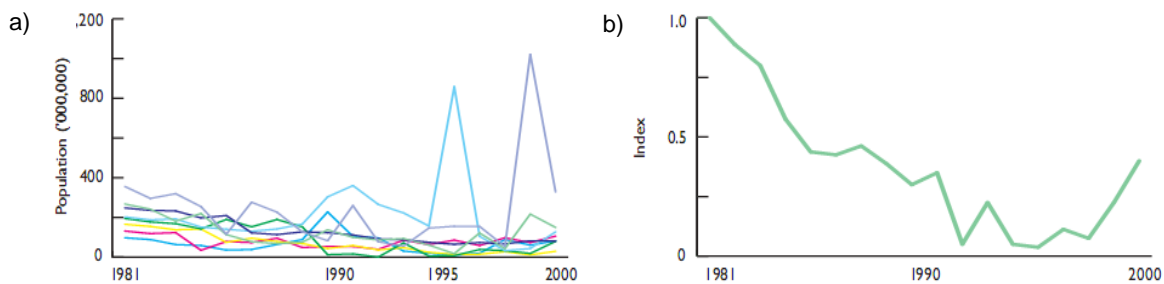


Figure 3.1 Tendances populationnelles de huit espèces d'oiseaux présentes au lac Naivasha, au Kenya, entre 1981 et 2000 (a) et indice multispécifique calculé à partir de ces données brutes (b). Tirée de Bubb et al. (2005, p. 12).

Le deuxième exemple concerne l'indice d'intégrité des communautés d'oiseaux d'eau (*Index of waterbird community integrity, IWCI*), créés par DeLuca et al. (2008). Il s'agit d'une approche par traits, fondée sur l'hypothèse qu'un milieu de grande intégrité devrait être composé d'espèces qui dépendent des composantes d'un système non perturbé, c'est-à-dire dotées de traits spécialisés et sensibles aux dérangements anthropiques (*Id.*). Au contraire, un milieu peu intègre pourra abriter des espèces dotées de traits généralistes, qui lui permettent d'utiliser une grande variété d'habitats et de s'adapter aux

changements environnementaux (*Id.*). Pour calculer l'indice, les auteurs ont d'abord évalué, sur une échelle de 1 à 4, le degré de spécialisation de certains traits de chacune des espèces recensées (DeLuca et al., 2008) (tableau 3.2). Le pointage individuel pour chaque espèce (S_{IWCi}) se calcule par la sommation des pointages de chacun des traits de l'espèce.

Tableau 3.2 Exemple d'échelle d'évaluation des traits des espèces pour la détermination de l'indice d'intégrité d'une communauté d'oiseaux d'eau (*Index of waterbird community integrity, IWCi*)

| Traits des espèces | POINTAGE | | | | |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| | Généraliste 1 | 2 | 2,5 | 3 | Spécialiste 4 |
| Niche d'alimentation | Généraliste | Généraliste aquatique | | Spécialiste modéré | Spécialiste |
| Sensibilité de nidification | Tolérant | | Modérément tolérant | | Sensible |
| Migration | Résident | Partielle | | Zone tempérée | Zone néotropicale |
| Aire de reproduction | Globale | | Amérique du Nord | | Côte est de l'Amérique du Nord |
| Statut particulier | Non listé | Préoccupation particulière | | Menacé | En danger |
| Origine | Exotique* | Indigène | | | |

*Un pointage de 0 est attribué aux espèces exotiques.

Tiré de DeLuca et al. (2008, p. 2671). (Traduction libre).

Une fois que les pointages individuels sont évalués pour chaque espèce recensée, les indices peuvent être calculés par milieu humide (MH_{IWCi}) selon la formule :

$$MH_{IWCi} = (\sum S_{IWCi} / S_N) + 2 A_i \quad (3.1)$$

Dans cette formule, S_N est le nombre total d'espèces recensées dans le milieu humide et A_i est une cote d'abondance attribuée en fonction de la proportion d'individus de chaque espèce (DeLuca et al., 2008). Pour chaque milieu humide, les abondances de toutes les espèces sont ordonnées puis divisées en quartiles (*Id.*). Les espèces considérées tolérantes aux perturbations (dont le S_{IWCi} est faible, donc généralistes) se voient attribuer une cote de 1 ou 2 si elles se trouvent dans les quartiles supérieurs et de 3 ou 4 si elles se trouvent dans les quartiles inférieurs (*Id.*). Au contraire, les espèces sensibles aux perturbations (dont le S_{IWCi} est élevé, donc spécialistes) se voient attribuer une cote de 3

ou 4 si elles se trouvent dans les quartiles supérieurs et de 1 ou 2 si elles se trouvent dans les quartiles inférieurs (*Id.*). En calculant la moyenne de cette cote d'abondance, on obtient un A_i élevé pour les milieux humides plus fréquentés par des oiseaux spécialistes et un A_i faible pour les milieux plus fréquentés par des oiseaux généralistes (*Id.*).

La moyenne des indices calculés pour chaque milieu humide peut ensuite être utilisée comme indice régional (R_{IWC}) (DeLuca et al., 2008). L'utilisation de ce type d'indices à la Baie Chesapeake, aux États-Unis, a permis d'identifier des seuils de développement urbain, à proximité des milieux humides étudiés, à partir desquels des impacts sur les communautés aviaires sont observés (DeLuca et al., 2004). Les auteurs considèrent que l'IWCI peut être utilisé pour indiquer l'intégrité de l'écosystème entier et qu'il est possible d'adapter ce type d'indice à divers types de communautés et de régions en déterminant les traits des espèces qui devraient refléter les composantes d'un écosystème intact, puis en leur attribuant une échelle de notation appropriée (DeLuca et al., 2008).

3.4 Utilisation des oiseaux aquatiques en tant que bioindicateurs

Traditionnellement, les plantes ont souvent été utilisées comme indicateurs des conditions physiques d'un site, en agriculture par exemple, et les animaux ont plutôt été utilisés pour indiquer des perturbations environnementales ou des contaminations (Morrison, 1986). Il est généralement accepté, dans plusieurs régions du monde, que les oiseaux, spécialement les oiseaux aquatiques, constituent de bons indicateurs de la qualité de leur milieu (Everard, 2008; DeLuca et al., 2004; Paillisson et al., 2002; Green y Figuerola, 2003; Kushlan, 1993). La capacité indicatrice des oiseaux aquatiques découlerait notamment de leur large distribution, de leur charisme, de leur mobilité, de leur réponse rapide aux changements environnementaux, de leurs besoins variés en habitats et de leur facilité d'observation (Everard, 2008; Owino et al., 2001). Leur position élevée dans la chaîne trophique les rend sensibles aux changements qui se produisent dans les niveaux trophiques inférieurs et qui sont souvent plus difficiles à observer (Everard, 2008; Kushlan, 1993). Par exemple, l'accumulation de métaux ou d'autres contaminants persistants dans les plumes ou dans le sang peut indiquer le niveau de contamination d'un milieu, tandis que la présence de DDE/DDT dans le milieu se mesure par l'amincissement de la coquille des œufs (Kushlan, 1993). Le taux de croissance des jeunes peut également être relié à la disponibilité des proies et le succès reproducteur dépend de la qualité générale du milieu (*Id.*). La distribution géographique cosmopolite de plusieurs espèces d'oiseaux est

également avantageuse, puisqu'elle permet la comparaison des tendances entre divers sites plus ou moins affectés par un même facteur de perturbation (*Id.*). Le fait qu'ils se regroupent habituellement pour se reposer et se reproduire rend l'échantillonnage des œufs, des jeunes et des adultes relativement simple (*Id.*). De plus, l'écologie des oiseaux aquatiques est assez bien connue, ce qui est essentiel pour comprendre la signification des changements mesurés (Green y Figuerola, 2003; DeLuca et al., 2004). Finalement, en utilisant les oiseaux aquatiques comme indicateurs, il est possible de récolter les données à l'échelle de l'écosystème complet, tandis que les échantillonnages de poissons, d'invertébrés ou d'eau se font inévitablement en des points précis dans le milieu humide, ce qui peut limiter leur représentativité (Kingsford, 1999).

À l'échelle nationale ou régionale, les tendances populationnelles des oiseaux peuvent indiquer de façon générale une augmentation ou une perte d'habitats propices (Green y Figuerola, 2003). À des échelles plus locales, les paramètres physico-chimiques des milieux humides, notamment la salinité, le pH, le niveau trophique ainsi que le ratio entre les superficies d'eau libre et de plantes émergentes, influencent le choix des sites d'alimentation, de repos et de reproduction pour de nombreuses espèces d'oiseaux aquatiques, ce qui pourrait en faire des indicateurs de ces caractéristiques du milieu (Green y Figuerola, 2003; Kushlan, 1993). Ainsi, la présence ou l'absence de certaines espèces, l'augmentation ou le déclin des populations, la richesse ou la diversité spécifique et d'autres indices plus complexes tels que ceux présentés à la section précédente sont souvent utilisés comme indicateurs de la qualité d'un écosystème (Mistry et al., 2008; Rodrigues et Michelin, 2005; Kushlan, 1993).

Toutefois, l'utilisation des oiseaux aquatiques comme bioindicateurs a aussi été sévèrement critiquée par plusieurs auteurs (Temple and Wiens, 1989; Morrison, 1986). Ceux-ci considèrent que les oiseaux sont souvent utilisés dans des situations inappropriées et que la fiabilité des interprétations effectuées est douteuse. Étant donné la complexité des systèmes naturels et les nombreuses interrelations entre leurs divers éléments, il peut effectivement s'avérer difficile de déterminer la cause exacte des changements observés chez les oiseaux aquatiques (Green y Figuerola, 2003). Ceci est particulièrement vrai pour les espèces migratrices ou nomades, qui peuvent être influencées par divers facteurs dans leur site de reproduction, d'hivernage, ou de repos (Russell et al., 2009; Zöckler, 2005). Certains paramètres biologiques liés à des espèces migratrices peuvent tout de même être très dépendants du site étudié, notamment le taux

de nidification (Hilty and Merenlender, 2000). D'un autre côté, des changements hydrologiques importants pourraient survenir sans que ceux-ci se reflètent chez les oiseaux aquatiques (Green y Figuerola, 2003). En outre, si certains prétendent que les oiseaux aquatiques constituent des espèces parapluies dont la protection entraîne inévitablement la protection de plusieurs autres groupes taxonomiques, les études à ce sujet sont insuffisantes pour le prouver (Green y Figuerola, 2003; Prendergast and Eversham, 1997). La capacité d'un taxon à indiquer la diversité d'un autre taxon pourrait d'ailleurs varier d'un continent à l'autre (Pearson and Carroll, 1998).

Pour justifier l'utilisation des oiseaux aquatiques comme bioindicateurs de l'état d'un milieu, il faut, comme mentionné précédemment, que ceux-ci soient intrinsèquement liés aux processus écologiques essentiels du milieu et qu'ils soient en lien avec les objectifs de gestion. De plus, si l'objectif poursuivi est non seulement de détecter l'occurrence de changements environnementaux, mais également d'en identifier la nature, il est essentiel de se baser sur des corrélations entre la réponse biologique mesurée et les autres paramètres environnementaux. Or, dans les articles analysés par Hilty and Merenlender (2000), moins de 3 % des utilisations de bioindicateurs étaient justifiées par des études scientifiques permettant d'établir une corrélation entre la réponse de l'indicateur et le changement environnemental considéré comme en étant la cause.

3.5 Synthèse et discussion

Ce chapitre a permis d'identifier les principaux avantages et inconvénients de l'utilisation d'indicateurs physiques et biologiques pour réaliser le suivi d'un milieu humide. L'importance de choisir des indicateurs liés aux principaux processus écologiques du milieu étudié et aux objectifs de gestion poursuivis a été soulignée. Les limites des approches monospécifiques ont été présentées, d'où l'intérêt d'utiliser des approches multispécifiques sous forme d'assemblages d'indicateurs ou d'indices holistiques. On constate ainsi que différents types d'indicateurs peuvent être créés en fonction du traitement appliqué aux données de base. Par exemple, à partir des données d'abondance de chaque espèce d'oiseaux recensée, il est possible de créer des indices de biodiversité, de tendance relative ou d'intégrité des communautés.

Il a été défini, dans le premier chapitre, que la notion d'intégrité des lacs de montagne marocains concernait le maintien à long terme des divers rôles et fonctions de l'écosystème, c'est-à-dire ceux de support à la biodiversité et aux communautés locales.

Ceci passe donc par le maintien de la quantité et de la qualité des eaux, des habitats naturels, de la végétation entourant les milieux humides et des populations animales. En ce sens, l'utilisation d'indicateurs liés aux oiseaux aquatiques permettrait d'atteindre deux niveaux de suivi. D'un côté, ceci permettra d'évaluer de façon directe le maintien des populations d'un des groupes taxonomiques les plus caractéristiques de la biodiversité de la région. D'un autre côté, certains paramètres liés aux oiseaux aquatiques pourraient permettre d'évaluer indirectement l'état des autres caractéristiques essentielles de l'intégrité du milieu, qui elles sont garantes du maintien des fonctions de support aux populations locales et aux autres groupes taxonomiques.

Afin de déterminer si les oiseaux aquatiques pourraient réagir à l'ensemble des perturbations menaçant l'intégrité des lacs de montagne marocains, le chapitre 4 présente une revue de leur réponse potentielle aux impacts environnementaux qui pourraient découler des facteurs de perturbation identifiés au chapitre 2. Ceci permettra également de déterminer si les bioindicateurs liés aux oiseaux aquatiques permettraient non seulement de détecter l'occurrence, mais également d'identifier la nature, des changements environnementaux constituant des pertes d'intégrité. En effet, il est ressorti de ce survol théorique que, lorsque des bioindicateurs sont utilisés pour identifier la nature de changements environnementaux, le point le plus délicat concerne l'établissement de relations de cause à effet entre la variation du paramètre mesuré et le changement environnemental sous-jacent.

4. RÉPONSES DES OISEAUX AQUATIQUES AUX FACTEURS DE PERTURBATIONS DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

Le chapitre précédent a permis de recenser diverses façons d'utiliser les organismes vivants, en particulier les oiseaux aquatiques, comme indicateurs de l'état d'un milieu. Il est notamment apparu que pour identifier les changements environnementaux responsables des variations biologiques détectées, il s'avère essentiel de se baser sur des corrélations claires entre les divers éléments de l'écosystème. Ce chapitre consiste donc en une revue des études scientifiques, publiées dans les dernières années, qui mettent en parallèle des changements environnementaux et des variations dans les populations d'oiseaux aquatiques. Ces études visaient généralement à accroître les connaissances dans le but de mieux gérer les écosystèmes fragiles que sont les milieux humides, mais les corrélations qui y sont présentées peuvent aussi être utilisées pour sélectionner des paramètres biologiques qui, en réagissant de façon relativement constante à certaines perturbations du milieu, pourraient servir à diagnostiquer les changements environnementaux survenant dans les lacs de montagne marocains.

4.1 Interdépendance des paramètres

Pour l'avifaune, le choix d'un habitat est lié au gain en survie et en reproduction associé à l'utilisation de ce dernier, ce qui dépend essentiellement de la profitabilité alimentaire du site, ainsi que de la probabilité de prédation qui lui est associée (Jacobsen, 1996). On peut donc supposer que l'augmentation ou le déclin des populations d'oiseaux aquatiques serait un signe de la modification de l'une de ces deux variables, et donc de la qualité globale du milieu. Il peut cependant s'avérer difficile d'établir clairement les liens de causalité entre les modifications du milieu et les réponses des oiseaux, puisque différents paramètres physiques et biologiques sont interreliés et peuvent avoir des effets complémentaires ou opposés sur d'autres paramètres. La figure 4.1 représente, de façon non exhaustive, les liens qui unissent les principaux éléments de l'écosystème dans un milieu humide. Les prochaines sections permettront de clarifier ces liens et de déterminer quelles perturbations pourraient être indiquées par les oiseaux aquatiques.

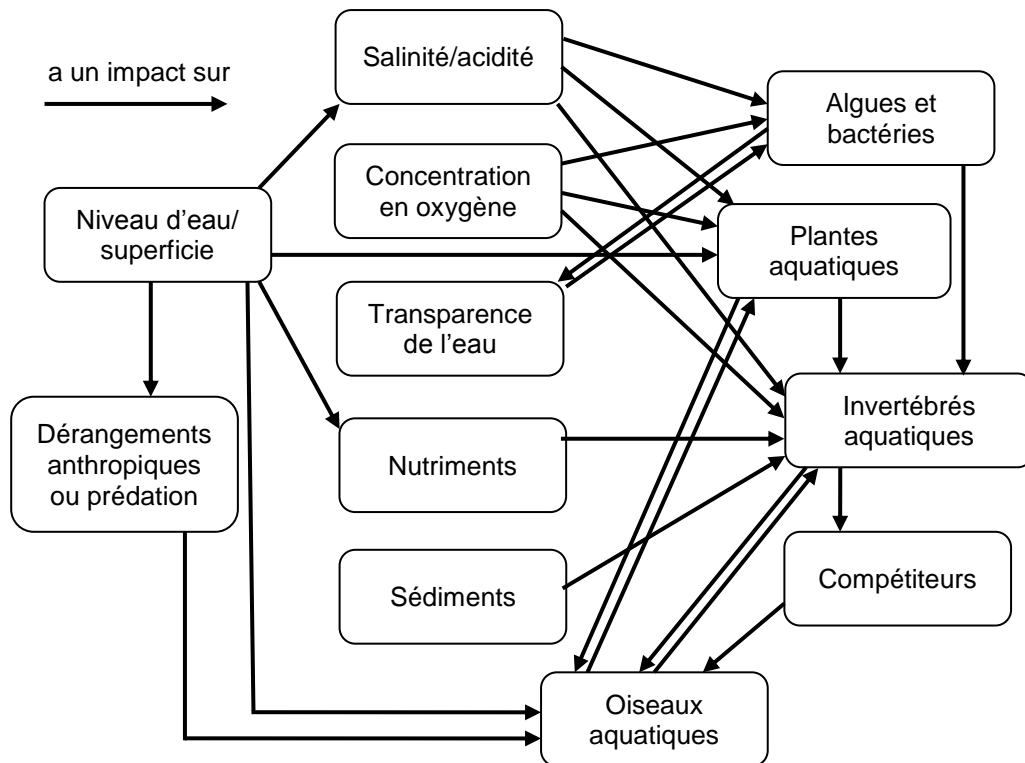


Figure 4.1 Représentation non exhaustive des liens entre les éléments physiques et biologiques d'un milieu humide

4.2 Influence des caractéristiques morphométriques du milieu humide

Les caractéristiques morphométriques d'un milieu humide, c'est-à-dire les données liées à sa superficie, sa profondeur et sa berge, peuvent avoir un impact direct ou indirect sur les oiseaux aquatiques. Les fluctuations de niveau d'eau sont étroitement liées à la profondeur et à la superficie d'un milieu humide et sont également discutées ici.

Les oiseaux aquatiques peuvent être divisés en grands groupes en fonction de leurs comportements alimentaires. Les oiseaux barboteurs s'alimentent principalement à la surface de l'eau, tandis que les plongeurs s'alimentent surtout en profondeur (Paracuellos, 2006). Chez les canards, on considère que les *Anatini* sont barboteurs et s'alimentent généralement dans les eaux peu profondes, tandis que les *Aythiini* sont plongeurs et s'alimentent en eaux plus profondes (Green and El Hamzaoui, 2000; Kantrud, 1986). Pour leur part, les échassiers sont essentiellement des oiseaux de rivage (voir annexe 2). En plus de ces catégories, on peut distinguer les espèces qui s'alimentent principalement près de la berge (notamment le canard colvert, *Anas platyrhynchos*, et la foulque macroule, *Fulica atra*) de ceux qui s'alimentent aussi régulièrement dans les zones plus

éloignées (par exemple le canard souchet, *Anas clypeata*, le grèbe à cou noir et l'érisimure à tête blanche) (Paracuellos, 2006). Une troisième division peut être faite en fonction de la capacité à utiliser un seul ou plusieurs milieux humides. La plupart des canards barboteurs déplacent fréquemment leurs jeunes d'un lac à l'autre à la recherche de nourriture, en marchant au sol (Elmberg et al., 1994). Les canards plongeurs, pour leur part, entreprendraient de tels voyages beaucoup moins souvent, tandis que les grèbes et les foulques ne se déplacent jamais au sol (*Id.*). Puisque les différentes espèces d'oiseaux aquatiques choisissent leurs microhabitats en fonction de leurs comportements alimentaires, la configuration spatiale d'un milieu humide peut influencer sa composition aviaire (Paracuellos, 2006). Le terme « microhabitat » est utilisé ici pour désigner la zone particulière d'un milieu humide qui est utilisée par une espèce. Il peut s'agir, par exemple, d'un îlot de végétation émergente, de la zone d'eau peu profonde à proximité de la berge ou de l'eau libre et au centre d'un lac. Chez les échassiers et les autres oiseaux qui ne plongent pas, la longueur du bec, du cou, des pattes et du corps permet à chaque espèce de se nourrir dans une amplitude restreinte de profondeurs d'eau (Pöysä, 1983; Bolduc and Afton, 2004). Les espèces plongeuses sont également limitées par des profondeurs minimums et maximums à laquelle leur alimentation est efficace (Bolduc and Afton, 2004). Ainsi, la profondeur de l'eau détermine de façon directe la disponibilité de la nourriture et, par le fait même, l'intérêt d'un milieu humide pour chaque espèce (*Id.*).

Au Kenya, les variations de niveau d'eau dans les lacs de la vallée du Rift seraient suffisantes pour expliquer les fluctuations observées dans les populations de plusieurs espèces d'oiseaux, notamment les foulques à crête (Owino et al., 2002). Dans le complexe de milieux humides Sitsao, dans le sud de Taïwan, les variations mensuelles de niveau d'eau influaient sur tous les groupes d'oiseaux (Liang et al., 2002). Les échassiers étaient cependant les plus touchés par les augmentations de niveau, qui causaient une diminution importante de leurs activités d'alimentation (ratio du nombre d'oiseaux en alimentation sur le nombre d'oiseaux présents) (*Id.*). En effet, les oiseaux de rivage de petite taille ne peuvent pas marcher, ni donc s'alimenter, dans les eaux profondes (*Id.*). Des résultats semblables ont été obtenus au lac de Grand-Lieu, un lac d'eau douce naturel, peu profond, turbide et eutrophe situé dans l'ouest de la France (Paillisson et al., 2002). Ce lac de 4 000 hectares en été et de 6 300 hectares en hiver a subi une baisse de niveau entre 1998 et 2000 (*Id.*). Les foulques macroules, certains anatidés (sarcelle d'hiver, *Anas crecca*, canard pilet, *Anas acuta*, canard siffleur, *Anas penelope* et fuligule

morillon, *Aythya fuligula*) et les charadriiformes migrateurs (courlis corlieu, *Numenius phaeopus*, chevalier aboyeur, *Tringa nebularia*, et chevalier guignette, *Actitis hypoleucos*) n'ont semblé que peu influencés par les variations de niveau d'eau interannuelles (*Id.*). Les charadriiformes nicheurs (chevalier gambette, *Tringa totanus*, et guifette noire, *Chlidonias niger*) ainsi que les ciconiiformes (héron garde-bœuf, *Bubulcus ibis*, aigrette garzette, *Egretta garzetta*, héron pourpré, *Ardea purpurea*, et ibis sacré, *Threskiornis aethiopicus*) ont réagi davantage aux fluctuations de niveau d'eau, étant négativement touchés par les inondations importantes du printemps 1998 (*Id.*).

Globalement, les espèces plongeuses qui s'alimentent principalement de poissons, comme le grèbe huppé (*Podiceps cristatus*) et le grand cormoran (*Phalacrocorax carbo*), bénéficient de niveaux d'eau plus élevés. Pour leur part, les espèces se nourrissant principalement d'invertébrés ou nécessitant des zones d'alimentation peu profondes, tout comme la majorité des limicoles, notamment l'aigrette garzette, la spatule blanche, l'échasse blanche (*Himantopus himantopus*), le vanneau huppé (*Vanellus vanellus*) et le chevalier gambette, sont désavantagées par les hauts niveaux (Liang et al., 2002; Crivelli et al., 1995). La foulque macroule, un oiseau plongeur ne s'alimentant pas de poissons, serait également avantagée par l'augmentation de la superficie des eaux profondes de plus de deux mètres et riches en macrophytes (Crivelli et al., 1995). Certains résultats contrastants ont toutefois été observés. Ainsi, Liang et al. (2002), ont constaté que les canards colverts et souchets, bien qu'étant des canards barboteurs, ont réagi négativement aux baisses de niveau d'eau, tandis que certains plongeurs comme le fuligule milouin (*Aythya ferina*) et la foulque macroule en ont bénéficié.

Certaines études ont considéré l'influence des paramètres autres que les niveaux d'eau, notamment la superficie des milieux humides ou la longueur de leurs berges (périmètre), sur les populations d'oiseaux aquatiques. Pour les lacs peu profonds et de taille limitée, l'abondance totale des oiseaux aquatiques serait proportionnelle à l'un ou l'autre de ces paramètres (Suter, 1994). La superficie déterminerait davantage l'abondance des espèces plongeuses et piscivores, dont les ressources alimentaires proviennent principalement de la zone pélagique, tandis que la longueur de la berge déterminerait l'abondance des espèces barboteuses, qui exploitent surtout la zone littorale (*Id.*). Paracuellos (2006) a étudié les comportements alimentaires en hiver et en été de onze espèces d'oiseaux aquatiques barboteurs ou plongeurs (podicipédiformes, ansériformes et rallidés) et a constaté que les espèces plus spécialistes, qui ont besoin de se nourrir non seulement

près des berges, mais également en zones éloignées, sont celles qui disparaissent en premier des milieux humides de taille restreinte. Ceci s'expliquerait par le fait que plus la superficie d'un milieu humide diminue, plus les habitats ouverts en eaux profondes disparaissent et plus les habitats côtiers deviennent dominants (Paracuellos, 2006). Dans le même ordre d'idée, Brochet et al. (2009) ont déterminé que la superficie des milieux humides était le principal critère influençant la distribution diurne des canards et des foulques. Ils expliquent ceci par l'augmentation de la diversité des niches alimentaires, ainsi que par la protection contre les dérangements humains qu'offre le centre d'un grand milieu humide (*Id.*). Brochet et al. (2009) ont constaté que le canard souchet était particulièrement sensible à la superficie des milieux humides, son abondance augmentant de 33 ± 13 oiseaux avec chaque changement de catégorie de taille (10-50 ha, 50-100 ha, 100-250 ha, 250-500 ha, 500-1000 ha). D'autres auteurs ont également identifié cette espèce comme étant particulièrement sensible aux changements de régime hydrologique (Duncan et al., 1999; Bethke and Nudds, 1995). Par exemple, selon Duncan et al. (1999), elle serait particulièrement attirée par les étangs artificiels dont l'assèchement saisonnier favorise la production de zooplancton. Il fut également constaté que la superficie du milieu humide serait plus déterminante dans le choix des sites pour les espèces se déplaçant peu ou pas du tout au sol, tandis que l'abondance des espèces pouvant se déplacer d'un milieu à un autre serait principalement déterminée par la diversité des proies et des habitats (Elmberg et al., 1994). De façon plus globale, la richesse spécifique serait généralement liée à la superficie du milieu humide davantage qu'aux autres paramètres morphométriques (périmètre, indice de développement des berges, profondeur moyenne, etc.) (Hoyer and Candfield, 1994; Elmberg et al., 1994).

En outre, les variations de niveaux d'eau ont souvent des effets indirects sur les oiseaux aquatiques. Celles-ci vont effectivement influencer d'autres paramètres tels que le taux de photosynthèse, les caractéristiques des sédiments, la transparence de l'eau ou l'exposition au vent et aux vagues, ce qui influence ensuite la distribution des zones de végétation immergée ou émergente, zones d'alimentation, de repos ou de nidification essentielles pour plusieurs espèces d'oiseaux (Paillisson and Marion, 2006; Paillisson et al., 2002). En fonction de la période et de l'intensité des variations de niveau, l'impact sur le développement de la végétation aquatique peut être positif ou négatif (Paillisson and Marion, 2006; Duncan et al., 1999; Catsadorakis et al., 1996; Crivelli et al., 1995). Il peut donc s'avérer très difficile d'expliquer les variations dans les populations d'oiseaux

directement par les variations de niveau d'eau sans tenir compte de l'influence de paramètres intermédiaires, soit la structure et la distribution de la végétation aquatique.

4.3 Influence des macroinvertébrés et des macrophytes

La disponibilité et l'accessibilité des ressources alimentaires sont parmi les principaux facteurs déterminant la distribution des oiseaux aquatiques (Jacobsen, 1996). L'abondance de ces derniers pourrait donc, en fonction de leur régime alimentaire, être corrélée à l'abondance, la densité ou la diversité des plantes aquatiques, des invertébrés, ou des poissons, et ainsi constituer un bon indicateur de l'état de ces taxons. Les macrophytes jouent également un rôle structurel dans le milieu et influencent donc plusieurs espèces dans la sélection de leurs microhabitats.

Plusieurs espèces d'anatidés répondent effectivement aux fluctuations d'abondance de leur principale source de nourriture, les invertébrés (Liang et al., 2002; Gardarsson and Einarsson, 1994). Par exemple, sur le lac Myvatn, en Islande, le nombre de canards plongeurs mâles observés en juillet-août (en mue) était lié à la quantité totale de chironomes dans le lac (Gardarsson and Einarsson, 1994). Au Kenya, dans de petits réservoirs artificiels, les populations d'oiseaux aquatiques étaient également corrélées avec la quantité de macroinvertébrés, essentiellement des lombrics et des chironomes (Mwaura et al., 2002). De façon générale, on dénote une augmentation de la consommation d'invertébrés par les oiseaux aquatiques au courant de l'hiver (Bolduc and Afton, 2004). Ceci pourrait expliquer que la corrélation entre la densité d'invertébrés et l'abondance des canards soit plus forte au printemps qu'à l'automne (Murkin and Kadlec, 1986). Tout comme les anatidés, les oiseaux de rivage s'alimentent principalement d'invertébrés (Bolduc and Afton, 2004). Liang et al. (2002) n'ont cependant pas remarqué le même type de corrélation entre le nombre d'échassiers en alimentation et la densité de proie. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les petits échassiers n'ont pas la même liberté que les oiseaux barboteurs pour choisir leur site d'alimentation. Ils sont effectivement plus limités morphologiquement par la profondeur de l'eau. Les canards colverts, très généralistes, sont également exclus de ces corrélations (Lillie and Evrard, 1994; Murkin and Kadlec, 1986; Mulhern et al., 1985).

Si les populations d'oiseaux se nourrissant principalement d'invertébrés réagissent aux fluctuations de densité de leurs proies, l'abondance des oiseaux herbivores pourrait également être corrélée avec la quantité de plantes aquatiques. Dans plusieurs plans

d'eau, la biomasse de plantes aquatiques influencerait même l'abondance ou la biomasse totale de l'ensemble des oiseaux aquatiques (Russell et al., 2009; Idestam-Almquist, 1998; Lillie and Evrard, 1994). Cette affirmation pourrait s'expliquer par la forte corrélation entre la biomasse de plantes aquatiques et celle d'invertébrés, qui découle du fait que la majorité du zoobenthos se retrouve fixé aux plantes aquatiques submergées (Russell et al., 2009). Les paramètres hydrologiques et physico-chimiques du milieu influencent également la présence, l'abondance et la taille des taxons d'invertébrés (Bolduc and Afton, 2004; Liang et al., 2002). En effet, le contenu organique des sédiments et la transparence de l'eau influencent la production de bactéries et d'algues, qui constituent l'alimentation de base de plusieurs invertébrés (*Id.*). De plus, la salinité, l'acidité et la concentration en oxygène de l'eau influencent fortement le développement des plantes aquatiques support, ainsi que la présence de divers taxons d'invertébrés (*Id.*). La disparition des macrophytes submergés entraînerait donc un déclin important de la biomasse d'invertébrés et pourrait limiter considérablement la disponibilité des ressources alimentaires des oiseaux aquatiques (Idestam-Almquist, 1998).

En plus de servir de source de nourriture directe pour les oiseaux herbivores et indirecte pour les oiseaux se nourrissant d'invertébrés, la couverture végétale joue un rôle dans la protection des oiseaux et la disponibilité des sites de nidification. Par exemple, au lac Naivasha, au Kenya, la foulque à crête aurait subi un déclin général sur dix ans avant de regagner légèrement en abondance à la suite du rétablissement des lits de macrophytes submergés, qui lui servent de support pour la construction de son nid (Owino et al., 2002). Les foulques et les autres rallidés seraient d'ailleurs les espèces d'oiseaux aquatiques les plus touchés par la destruction des sites de nidification potentiels (*Id.*). Hoyer and Canfield (1994) ont constaté, dans 46 lacs de Floride, que la composition spécifique des communautés variait en fonction de la superficie couverte par des macrophytes aquatiques. Ainsi, la fréquence de détection de certaines espèces comme le fuligule à collier (*Aythya collaris*) et la foulque d'Amérique (*Fulica americana*), qui utilisent la végétation aquatique comme source directe de nourriture, augmentait avec le recouvrement par les plantes aquatiques, tandis que la fréquence de détection d'autres espèces comme le cormoran à aigrettes (*Phalacrocorax auritus*) et l'anhinga (*Anhinga anhinga*), qui peuvent avoir de la difficulté à capturer leurs proies dans des eaux envahies par les macrophytes, diminuait avec la couverture végétale (*Id.*). Globalement, il semble qu'au printemps et en été, les canards plongeurs et les grèbes préfèrent les habitats d'eau

profonde avec peu de végétation émergente, tandis que les canards barboteurs choisissent les sites présentant un équilibre entre les zones végétalisées et les zones d'eau libre (Murkin et al., 1997; Pöysä, 1983). Les fuligules milouins et morillons, pour leur part, ne présentent pas de préférences claires en termes d'habitat (Pöysä, 1983).

Puisque les préférences des oiseaux diffèrent d'une espèce à l'autre et, pour certaines espèces, d'une saison à l'autre (Gibbons and Withers, 2006), l'hétérogénéité des habitats serait avantageuse si l'on cherche à maximiser la richesse spécifique d'un milieu. Selon Kantrud (1986), qui étudie les marais des prairies nord-américaines, une perte de processus écologiques peut se traduire par une perte d'hétérogénéité d'habitats et se manifester par la domination de grandes hydrophytes émergentes des genres *Scirpus*, *Carex*, *Typha*, *Salix* ou *Pragmites*, ce qui est souvent considéré comme étant la cause de la diminution de l'utilisation des milieux humides par les oiseaux aquatiques. La création de tels monotypes entraîne diverses modifications du milieu telles que l'accumulation de litière, la diminution de la profondeur d'eau, la diminution de l'insolation, et donc de la température de l'eau, ainsi qu'une diminution de la variation des organismes décomposeurs (*Id.*). Cet intérêt pour la diversité végétale fut partiellement vérifié dans les lacs de montagne du Maroc par Green et al. (2002), qui ont trouvé que le nombre d'espèces d'oiseaux aquatiques menacés était positivement corrélé avec le nombre de taxons de plantes aquatiques (*Id.*).

Les macrophytes ne se développent généralement pas dans les eaux de plus de trois mètres de profondeur (Russell et al., 2009). Puisque le niveau d'eau influence la croissance des plantes aquatiques, plusieurs espèces d'oiseaux sont indirectement influencées par les fluctuations de niveau. De plus, les diminutions de niveaux d'eau peuvent nuire au canard pilet en limitant les superficies de prairies inondées où il passe généralement l'hiver (Duncan et al., 1999). La sélection de l'habitat par les oiseaux aquatiques pourrait donc finalement relever d'une combinaison de facteurs tels que la protection contre les prédateurs, la protection thermique, l'accessibilité des ressources alimentaires et la disponibilité des sites de nidification, plutôt que d'un seul de ces critères (Murkin et al., 1997). C'est pourquoi les corrélations entre l'abondance des oiseaux aquatiques et les paramètres liés aux plantes et aux macrophytes ne sont pas toujours constantes (*Id.*). Il faut donc interpréter avec prudence les fluctuations détectées dans les indicateurs choisis et garder en tête que les fluctuations populationnelles peuvent découler d'une combinaison de facteurs.

4.4 Influence du niveau trophique

L'eutrophisation peut avoir un impact positif sur les populations d'oiseaux aquatiques en augmentant la productivité primaire et secondaire, donc en augmentant les sources de nourriture pour les oiseaux (Rönkä et al., 2005). En Floride, Hoyer and Candfield (1994) ont constaté que les statuts trophiques de 46 lacs étaient positivement corrélés avec l'abondance et la richesse spécifique d'oiseaux aquatiques pour les trois paramètres mesurés, soient les concentrations en phosphore total, en azote total et en chlorophylle α . La concentration en phosphore total était le paramètre fournissant les plus fortes corrélations (*Id.*). L'eutrophisation peut cependant avoir l'effet contraire sur les oiseaux aquatiques établis si la composition spécifique des communautés de plantes et de macroinvertébrés est modifiée (Rönkä et al., 2005). En effet, les impacts négatifs tels que l'envahissement par les plantes aquatiques, qui limite les déplacements, la diminution de la transparence de l'eau, qui rend la recherche de nourriture plus difficile, ainsi que la création de zones anoxiques, qui diminue la diversité de la faune benthique et littorale, viendraient vite contrecarrer le surplus de nourriture causé par l'eutrophisation du milieu. Rönkä et al. (2005) ont ainsi constaté une corrélation négative entre l'eutrophisation et le nombre de couples de quelques espèces d'oiseaux aquatiques, notamment les foulques.

Les relations entre le niveau d'eutrophisation et les populations d'oiseaux aquatiques pourraient s'avérer complexes et non-linéaires (Rönkä et al., 2005). Il semble effectivement que l'intérêt d'un lac pour plusieurs espèces d'oiseaux aquatiques soit corrélé positivement avec son degré d'eutrophisation jusqu'au stade eutrophe. Par la suite, la corrélation deviendrait négative pour plusieurs espèces, dont les canards barboteurs et les fuligules milouins (Suter, 1994). Pour les oiseaux piscivores, en particulier les grèbes huppés, la corrélation resterait toutefois positive sur l'ensemble du gradient trophique (*Id.*). Ceci concorde d'ailleurs avec les conclusions de Lillie and Evrard (1994), selon lesquelles la corrélation entre la biomasse de macroinvertébrés et la biomasse de macrophytes aquatiques existerait surtout dans les lacs hypertrophiques, où la densité de plantes submergées est relativement faible et peut constituer une limite à la quantité d'invertébrés pouvant s'y abriter. Dans les lacs mésotrophes à eutrophes, les plantes aquatiques seraient généralement plus abondantes et ne limiteraient pas la quantité d'invertébrés présents (Lillie and Evrard, 1994; Woolhead, 1994). Ainsi, dans les lacs hypertrophiques, l'abondance de certaines espèces d'oiseaux aquatiques serait limitée par la quantité d'invertébrés disponibles, tandis que dans les lacs de plus faible

niveau trophique, c'est plutôt la biomasse de macrophytes qui déterminerait l'intérêt du plan d'eau pour certains oiseaux (Lillie and Evrard, 1994). Les fuligules milouins et morillons, deux espèces présentes dans la région des lacs de montagne marocains, pourraient servir d'indicateur du passage d'un niveau eutrophe à hypertrophique. En effet, ces espèces ont démontré une grande sélectivité alimentaire pour les mollusques (*Potamopyrgus jenkinsi*, *Dreissena polymorpha*, *Lithoglyphus naticoides*) (Ponyi, 1994) et pourraient donc être affectées négativement par un enrichissement important du niveau trophique du lac, qui causerait une diminution de ces invertébrés.

D'autres études ont identifié le grèbe huppé comme étant l'espèce la plus sensible aux variations trophiques (Fernández et al., 2005). Dans l'écosystème marin de la lagune Mar Menor, l'abondance de cette espèce au mois de janvier était très corrélée avec l'apport annuel en azote en provenance du bassin versant (de 1 000 à 2 500 tonnes par année) (*Id.*). L'abondance du grèbe à cou noir était également très corrélée avec la charge d'azote, mais ses réponses opportunistes aux changements de disponibilité des ressources alimentaires (*Id.*), ainsi que sa grande sensibilité aux perturbations environnementales pouvant causer d'importantes vagues de mortalité (Jehl et al., 2002), en font un indicateur moins précis. Certains compétiteurs, dans ce cas les méduses, pourraient toutefois réduire la valeur indicatrice des grèbes face à l'eutrophisation (Fernández et al., 2005). En effet, dans la lagune Mar Menor, les oiseaux étaient influencés par les accroissements de la charge en nutriments, jusqu'à ce que les méduses prolifèrent et limitent la disponibilité des nutriments pour les autres invertébrés dont se nourrissent les oiseaux (*Id.*). Une troisième phase commençait lorsque l'effet tampon des méduses était dépassé et que les nutriments redevenaient disponibles, favorisant de nouveau l'abondance des grèbes ainsi que d'autres oiseaux comme les foulques macroules (*Id.*). L'augmentation des populations de grèbes pourrait donc constituer un signal d'alarme d'un apport soudain en nutriment, mais ne peut pas être considérée comme un indicateur représentatif de l'évolution trophique d'un lac à long terme (*Id.*).

Il est d'autant plus difficile d'établir des relations claires entre l'abondance ou la diversité d'oiseaux aquatiques et l'état trophique d'un milieu que les lacs eutrophes peu profonds sont connus pour pouvoir alterner, à long terme, entre deux états de productivité primaire, soit un état où la végétation submergée est abondante et l'eau est claire, et un autre où le phytoplancton domine et l'eau est turbide (Hargeby et al., 1994). Ce phénomène a été documenté au lac Krankesjön, situé au sud de la Suède, dans les années 1980 (*Id.*)

(figure 4.2). En concordance avec les résultats présentés dans la section précédente, Hargeby et al. (1994) ont constaté que la biomasse d'invertébré était plus élevée dans les zones de végétation que dans les zones de sédiments et que le nombre d'oiseaux aquatiques a augmenté avec l'expansion de la végétation. Le nombre d'oiseaux herbivores (foulques et cygnes) et de canards barboteurs était également corrélé avec la biomasse de plantes, surtout de *Chara tomentosa* (Id.). Ces résultats indiquent que la disponibilité de la nourriture était probablement limitante durant la phase turbide du lac (Id.).

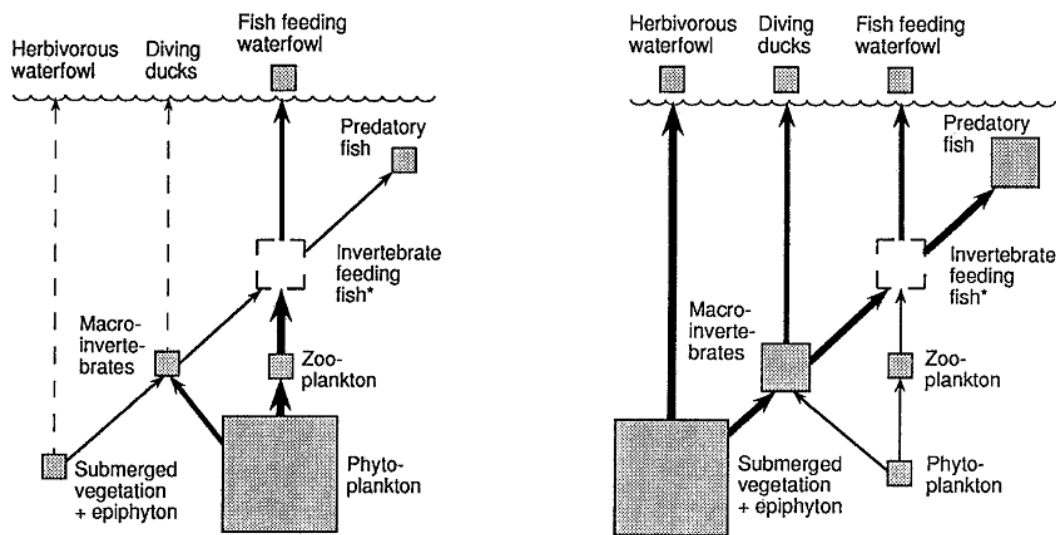


Figure 4.2 Description schématique du réseau trophique du lac Krankesjön, en Suède, durant la phase turbide (gauche), puis durant la phase claire (droite). Tirée de Hargeby et al. (1994, p. 88). * L'estimation des poissons s'alimentant d'invertébrés est incertaine.

4.5 Influence de la salinité

Les lacs de montagne marocains semblent avoir subi une légère augmentation de leur salinité au cours des dernières décennies, ce qui pourrait être dû à une modification de la balance hydrologique, soit par une diminution des apports ou par une augmentation des extractions. La végétation et la faune aquatique pourraient réagir à cette modification et devenir des indicateurs potentiels de cette variable chimique.

Les milieux de faible salinité présentent une productivité et une diversité végétales plus importantes que les milieux de plus grande salinité (Brochet et al., 2009; Veraart et al., 2004), ce qui les rendrait aussi plus intéressants d'un point de vue alimentaire pour les

oiseaux aquatiques (Brochet et al., 2009). Dans le parc naturel s'Albufera de Mallorca, en Espagne, Veraart et al. (2004) ont observé que la diversité des plantes diminuait avec l'augmentation de la salinité du milieu, et ce, jusqu'à une concentration de 20,9 g/L (conductivité \approx 30 mS/cm). Au-delà de cette valeur, la diversité recommençait à augmenter légèrement (*Id.*). Ces auteurs concluent aussi que la catégorisation de la salinité des milieux humides méditerranéens proposée par Farinha et al. (1996), soit eau douce (< 0,5 g/L), oligosaline (0,5 à 5 g/L), mésosaline (5 à 18 g/L), polysaline (18 à 30 g/L), eusaline (30 à 40 g/L) et hypersaline (> 40 g/L), n'est pas assez sensible pour mesurer l'impact de la salinisation sur la distribution de la végétation submergée dans un milieu oligosalin. En effet, la diversité spécifique des plantes dans un milieu de 0,5 g/L est clairement différente de celle d'un milieu de 5 g/L (Veraart et al., 2004).

Le même type de corrélation a été observé entre la faune aquatique et la salinité du milieu. Dans le complexe de milieux humides Sitsao, dans le sud de Taïwan, où la salinité varie de 5 à 70 g/L, les milieux de faible salinité abritent davantage de petits invertébrés, ce qui attire les oiseaux s'alimentant en surface (Liang et al., 2002). Dans la Camargue, en France, la salinité est le deuxième facteur influençant le choix des sites de jour par les canards et les foulques, après la taille des milieux humides. Au Maroc, les milieux humides d'eau douce sont considérés de la plus grande importance pour les plantes et les invertébrés (Dakki, s.d.) ainsi que pour les oiseaux aquatiques menacés tels que la foulque à crête (Green et al., 2002). Dans les études conduites par Green et al. (2002) au Maroc, les milieux de faible conductivité supportaient une plus grande diversité de zooplancton. Les nombres maximums de foulques à crête observées sur un même lac étaient aussi fortement corrélés de façon négative avec la conductivité moyenne du lac (*Id.*). De telles corrélations n'ont pas été observées pour la sarcelle marbrée, le tadorne casarca ou le fuligule nyroca (*Aythya nyroca*) (*Id.*). Ceci pourrait s'expliquer par l'incapacité de la foulque à crête à utiliser les lacs de barrage, qui constituent des habitats alternatifs pour d'autres espèces d'oiseaux aquatiques (*Id.*).

4.6 Influence des perturbations anthropiques

La chasse et les autres activités anthropiques peuvent avoir un effet significatif sur les populations d'oiseaux aquatiques. Les effets des dérangements anthropiques, notamment ceux observés sur le succès reproducteur des oiseaux, diminuent généralement lorsque les dérangements sont réduits ou éliminés (Korschgen and Dahlgren, 1992). Les

paramètres populationnels des communautés d'oiseaux aquatiques pourraient donc servir d'indicateurs de la pression exercée par les dérangements humains.

Les principales catégories de dérangement des oiseaux aquatiques sont, en ordre décroissant d'intensité, 1) les mouvements rapides sur l'eau avec bruits forts (bateaux à moteur, ski nautique, avions), 2) les mouvements sur l'eau produisant peu de bruits (voiliers, planches à voile, avirons, canots), 3) les mouvements ou bruits discrets sur l'eau (nage, pêche à gué) et 4) les activités sur les berges (pêche, ornithologie, randonnée, circulation motorisée) (Korschgen and Dahlgren, 1992). De tels dérangements entraînent souvent des modifications du budget de temps des oiseaux, notamment une augmentation du temps passé en déplacement au détriment de celui passé à se reposer et à s'alimenter (Gagliardi et al., 2006; Korschgen and Dahlgren, 1992). Par exemple, dans les lacs préalpins du nord de l'Italie, où les grèbes huppés hivernants sont considérés comme une nuisance parce qu'ils entraînent une diminution des stocks de poissons, des événements dissuasifs (canon à gaz, fusée explosive, tir de balles de farine de maïs) produits à moins de 100 mètres de la berge ont entraîné une modification du budget de temps des individus ainsi qu'une diminution de 43 à 60 % du nombre de grèbes présents sur les lacs (Gagliardi et al., 2006). De plus, certains comportements tels que la course à la surface de l'eau n'étaient observés qu'immédiatement après un événement dissuasif (*Id.*).

Des dérangements intenses et prolongés peuvent même induire des changements dans les patrons de migration, certains milieux trop perturbés étant évités parce qu'ils ne permettent pas aux oiseaux d'acquérir l'énergie dont ils ont besoin (Ma et al., 2004; Korschgen and Dahlgren, 1992). Au marais Poitevin, par exemple, on suppose que le canard colvert, victime de la chasse, aurait appris à éviter la zone la plus perturbée par cette activité (Duncan et al., 1999). Au lac Grand-Lieu, l'effet de l'interdiction de la chasse à partir du mois de janvier, plutôt que de la fin de février, a entraîné l'augmentation de la richesse spécifique moyenne dans le site pour l'année en cours (Paillisson et al., 2002). Dans la Camargue, en France, les oiseaux évitent les zones de chasse en journée, même si elles sont les plus riches en nourriture, préférant s'installer sur les lacs de plus grande salinité où la nourriture manque, mais où la tranquillité leur est assurée (Brochet et al., 2009). Ils retournent en revanche dans les zones de chasse à la tombée de la nuit pour profiter des réserves alimentaires (*Id.*). De plus, la création de deux nouvelles zones protégées a causé une modification de la distribution des oiseaux, l'abondance augmentant dans les sites protégés et plus sécuritaires, et diminuant ailleurs (*Id.*).

En fonction de la taille des milieux humides, il est aussi possible d'assister à un changement dans la sélection des microhabitats, même si à l'échelle du milieu humide, les populations d'oiseaux restent stables. En effet, si le milieu humide est suffisamment grand, les perturbations anthropiques peuvent être minimales au centre et les oiseaux pourraient s'y regrouper (Ma et al., 2004). Au lac Lashihai, en Chine, la distribution des oiseaux aquatiques migrateurs dans différentes sections du lac s'explique par les perturbations humaines (présence de canots et de touristes, utilisation des terres inondables autour du lac, présence de bétail dans les eaux peu profondes et les prairies environnantes et construction d'un complexe touristique) et non par la qualité des habitats (Quan et al., 2002). Plus du tiers des espèces identifiées et plus de la moitié des individus recensés se regroupaient dans le secteur le moins perturbé (*Id.*).

Au niveau du succès reproducteur, les dérangements peuvent aussi causer un déclin du nombre de couples nicheurs, une augmentation de la désertion des nids, une diminution du taux d'éclosion ou une diminution de la survie des jeunes (Korschgen and Dahlgren, 1992). Les différentes espèces d'oiseaux aquatiques ne présentent cependant pas toutes la même sensibilité aux dérangements anthropiques et certaines pourraient s'y habituer (*Id.*). Les canards plongeurs et les oies seraient particulièrement sensibles à ces types de perturbation (*Id.*). Les plongeurs (*Gavia* sp.) et les hérons réagiraient en sélectionnant les lacs dont les berges sont les moins anthropisées et seraient plus susceptibles de se reproduire sur les lacs entourés de forêt (Found et al., 2008). Au contraire, le grèbe à cou noir préférerait les lacs dont les berges sont relativement perturbées par l'humain et l'érismaire à tête blanche choisirait les milieux dont les berges sont moyennement développées, les deux espèces préférant les berges moins forestières (*Id.*). Dans un parc national de Floride, la réaction de plusieurs espèces d'oiseaux aquatiques aux flux de visiteurs a été étudiée par Klein et al. (1995). La moitié des espèces étudiées s'éloignaient de la passerelle avec l'augmentation du nombre de visiteurs, surtout lorsque plus de 450 voitures s'accumulaient dans la zone d'observation de 8 km de long, tandis que d'autres, notamment la sarcelle d'hiver, s'éloignaient peu importe le nombre de visiteurs présents (*Id.*). La plupart des espèces résidentes étaient moins dérangées que les espèces migratrices, qui, elles, étaient plus sensibles au cours des deux premiers mois suivant leur arrivée (*Id.*). Elles restaient alors à plus de 80 mètres de la passerelle même lorsque le niveau de visiteurs était bas (150 voitures) (*Id.*). Certaines espèces ont gardé cette sensibilité accrue durant tout l'hiver, notamment les canards pilets (*Id.*). Au Maroc, des

états d'alerte et des envols provoqués par l'arrivée de voitures ou de visiteurs bruyants ont été observés près de la digue du lac Afennourir (Hamel, 2009). Les foulques, pour leur part, ont poursuivi leurs activités de nidification malgré la présence d'une cinquantaine d'étudiants chantant et jouant de la musique à quelques dizaines de mètres d'eux (*Id.*).

Outre la chasse et la présence de visiteurs, d'autres perturbations directes des oiseaux aquatiques peuvent causer des déclin de populations. Dans de petits réservoirs du Kenya, la récolte des œufs et la destruction des habitats par les populations locales et les visiteurs ont été associées au déclin et à la mise en danger de certaines espèces de canards (Mwaura et al., 2002). Au Maroc, la disparition de la grue demoiselle a été attribuée à la forte pression de récolte de ses œufs (ONEM, 2001). Dans les lacs de montagne marocains, les foulques seraient actuellement les espèces les plus touchées par ce problème (BRL ingénierie, 2007b; Cuzin et al., 2006). Le nombre de jeunes foulques produites annuellement pourrait donc constituer un indicateur de l'effet du ramassage des œufs sur la population. Par contre, l'utilisation du succès reproducteur du grèbe huppé comme indicateur du vandalisme sur les nids et les œufs ne serait pas pertinente, puisque les femelles de cette espèce présentent une capacité de ponte rapide en réponse à la destruction de leur couvée (Konter, 2007).

L'exploitation forestière pourrait également limiter le nombre de sites de nidification potentiels et ainsi influencer les populations de certains oiseaux aquatiques qui utilisent des cavités creusées dans les arbres pour nidifier (Lemelin et al., 2007). Il a en effet été démontré que le nombre de couples nicheurs est corrélé avec le nombre de sites de nidification disponibles, jusqu'à ce que d'autres ressources deviennent limitantes (Newton, 1994). Un changement dans le nombre de sites potentiels, qu'il soit dû à des causes naturelles ou à l'action humaine, est donc généralement suivi d'un déclin du nombre de couples nicheurs (*Id.*). Au contraire, l'ajout de sites de nidification artificiels entraîne une augmentation du taux de reproduction (Newton, 1994; Haramis and Thompson, 1985). Les oiseaux aquatiques qui construisent leur nid au sol, pour leur part, ne seraient pas affectés par les coupes forestières, même sévères, car le nombre de sites de nidification potentiels demeure supérieur aux besoins (Lemelin et al., 2007).

Au Maroc, le tadorne casarca est connu pour nidifier principalement dans le haut des cèdres situés jusqu'à au moins trois kilomètres des lacs (Hamel, 2009). De plus, après l'éclosion, la femelle accompagne les petits jusqu'au lac le plus proche à la marche, ce qui

expose la famille aux dangers des routes, des activités d'exploitation forestière et de la prédation anthropique (*Id.*). Le nombre de jeunes tadorne observés sur les lacs serait donc un indicateur non seulement de la disponibilité des sites de nidification, mais également de la sécurité des terres entourant les lacs.

Le pâturage constitue également un dérangement non négligeable autour des lacs de montagne marocains. Kantrud (1986) rapporte qu'à des intensités de faibles à modérées, le pâturage augmente la diversité végétale et permet de favoriser l'utilisation des milieux humides par les oiseaux aquatiques en contrôlant l'établissement d'hydrophytes émergentes dominantes. Au contraire, le surpâturage pourrait créer des effets négatifs sur les plantes submergées essentielles pour les oiseaux aquatiques (Veraart et al., 2004). Au lac Afennourir, Hamel (2009) a constaté que la présence du bétail causait parfois des états d'alerte ou des déplacements chez certains oiseaux, surtout ceux postés sur les berges. Toutefois, aucun envol provoqué uniquement par des animaux ne fut observé (*Id.*). En revanche, l'arrivée d'humains, à pied ou à cheval, a souvent été la cause d'envols, surtout pour le tadorne casarca (*Id.*).

En Amérique du Nord, dans la région des cuvettes des prairies, Austin et al. (2001) ont déterminé que le pourcentage de terres cultivées par rapport à la superficie totale d'un secteur était la variable influençant le plus l'abondance des canards colverts, chipeaux (*Anas strepera*), souchets, pilets et sarcelles à ailes bleues (*Anas discors*) dans ce secteur, et ce, de façon négative. Depuis 1980, la perte de 50 % des superficies de prairies naturelles dans le marais Poitevin a également entraîné des impacts clairs sur les populations locales de canards colverts, souchets, chipeaux, pilets et de sarcelles d'hiver (Duncan et al., 1999). Une grande part des baisses d'effectifs observées ont été attribuées à la perte de superficies de prairies pour l'alimentation des canards (*Id.*). La sarcelle d'hiver est d'ailleurs reconnue pour réagir à la superficie d'habitat disponible (*Id.*). Cependant, les canards colverts, pilets et souchets ont décliné de façon beaucoup plus importante que le 50 % de perte de prairies (*Id.*). D'autres facteurs auraient donc également une influence négative sur ces espèces (*Id.*). La diminution du niveau d'eau et l'augmentation du nombre d'oiseaux tués par balle pourraient expliquer la différence (*Id.*).

Finalement, l'introduction de poissons allochtones au profit de la pêche sportive pourrait avoir des conséquences sur les populations d'oiseaux aquatiques. Tandis que certaines espèces compétitionneraient avec les oiseaux pour la nourriture, le brochet irait même

jusqu'à s'attaquer aux oisillons (Dakki et al., 2003; Chillasse, communication personnelle). La compétition alimentaire devrait entraîner des réponses semblables à celles occasionnées par les variations dans la disponibilité de nourriture, décrites à la section 4.3. Quant à la prédation par le brochet, son effet sur la taille des populations ne semble pas avoir été étudié. Plusieurs études ont permis de confirmer que des canards, des foulques et des grèbes étaient retrouvés dans l'estomac de près de 2 % des brochets étudiés (Solman, 1945). On peut penser que les espèces les plus touchées choisiront préférentiellement les sites où les densités de prédateurs sont plus faibles. Le taux de survie des jeunes pourrait également être un bon indicateur de l'impact de cette prédation.

4.7 Synthèse et discussion

Les sections précédentes ont permis de mieux comprendre les interrelations entre les différents éléments physiques et biologiques des lacs eutrophes de faible profondeur et de faire le point sur les connaissances actuelles concernant les réponses des oiseaux aquatiques, en particulier des espèces présentes dans la région à l'étude, aux facteurs de perturbation naturels et anthropiques. Le tableau présenté à l'annexe 5 synthétise la chaîne d'impacts potentiels découlant des facteurs de perturbation menaçant l'intégrité des lacs de montagne marocains, puis résume les corrélations les plus claires entre ces variations environnementales et des paramètres biologiques liés aux oiseaux aquatiques.

À l'exception du nombre de jeunes foulques et de jeunes tadornes observés sur les lacs, qui ont été proposés spécialement pour évaluer le vandalisme sur les nids et les perturbations dans les forêts entourant les lacs de montagne marocains, il est difficile d'affirmer que les paramètres listés à l'annexe 5 constituent les meilleurs indicateurs pour évaluer l'intégrité des lacs marocains. En effet, même si les sources utilisées ont été sélectionnées de façon à ce que le milieu étudié s'apparente le plus possible aux caractéristiques environnementales de l'Atlas marocain, les corrélations présentées dans ce chapitre ont été obtenues dans des régions du monde et des écosystèmes variés. De plus, les variables corrélées ne semblent pas toujours liées par des relations de cause à effet directes. Il n'est donc pas certain que ces corrélations soient applicables de façon généralisée à d'autres milieux. Celles qui ont été compilées dans le tableau de l'annexe 5 sont tout de même les plus pertinentes, car elles ont été expliquées de façon logique et bon nombre d'entre elles ont été obtenues par plusieurs auteurs.

Ce tableau synthèse permet de constater que l'abondance des oiseaux aquatiques est corrélée avec divers éléments tels que le niveau d'eau, la salinité, la densité de plantes aquatiques, la densité de macroinvertébrés, la superficie du milieu humide ainsi que l'intensité de chasse, de ramassage des œufs ou d'autres perturbations. Il existe toutefois des impacts potentiels qui constitueraient une perte d'intégrité et qui ne semblent pas, selon les corrélations recensées, entraîner une réponse facilement perceptible chez les oiseaux aquatiques. Ces impacts sont notamment la perte d'espèces autochtones au profit d'espèces plus thermophiles, l'insuffisance des volumes d'eau pour répondre aux besoins des populations locales, l'assèchement des puits reliés à la nappe phréatique, la diminution de la qualité de l'eau de consommation, l'amélioration de la qualité de vie des populations locales, la diminution de la qualité des paysages et de l'intérêt écotouristique du milieu, ainsi que la disparition de poissons autochtones ou endémiques. Les bioindicateurs liés aux oiseaux aquatiques ne seraient donc pas entièrement suffisants pour réaliser le suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains. Des indicateurs complémentaires devraient être ajoutés au programme de suivi afin de pallier ces faiblesses du taxon indicateur principal.

La revue de littérature présentée dans ce chapitre a également été réalisée dans l'optique de déterminer si les indicateurs liés aux oiseaux aquatiques pourraient permettre, lorsqu'une perte d'intégrité est détectée, d'en identifier la nature. Or, bien que la littérature scientifique témoigne de nombreuses corrélations significatives entre des variables environnementales et divers paramètres populationnels des communautés d'oiseaux aquatiques, la plupart s'avèrent complexes et semblent découler d'une combinaison de facteurs. Il faut donc être conscient des limites d'interprétation qu'ils pourront fournir. Ainsi, les oiseaux aquatiques pourraient constituer de bons indicateurs de la qualité globale de leur milieu et constituer des signaux d'alarme de perturbations environnementales. D'ailleurs, des indicateurs qui visent à statuer sur l'état d'un écosystème sans permettre de distinguer les causes d'une éventuelle perte d'intégrité sont traditionnellement utilisés pour évaluer l'intégrité biotique des cours d'eau (indice biologique global, IBG, indice biologique global normalisé, IBGN, indice d'intégrité biotique, IIB) (Larsen et al., 2010; MDDEP, 2002). Toutefois, des indicateurs supplémentaires seraient nécessaires pour identifier la nature des perturbations détectées et planifier les activités de gestion nécessaire pour les contrôler.

5. INDICATEURS POTENTIELS DE L'INTÉGRITÉ DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

À la lumière des connaissances acquises précédemment, ce chapitre précise l'utilisation potentielle de différents types d'indicateurs liés aux oiseaux aquatiques dans le cadre d'un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains. Par la suite, des indicateurs complémentaires sont identifiés dans le but de pallier les limites des premiers. En effet, il a été déterminé que la modification de certains aspects de l'intégrité de ces milieux n'entraînerait pas de réponse perceptible chez les oiseaux aquatiques et que les causes exactes des modifications environnementales détectées pourraient difficilement être identifiées grâce à ces bioindicateurs uniquement.

5.1 Utilisations potentielles de différents types de bioindicateurs

Les bioindicateurs liés aux oiseaux aquatiques peuvent prendre différentes formes, allant d'une simple constatation de présence d'une espèce au calcul d'un indice d'intégrité globale basé sur l'étude des traits écologiques de chacune des espèces. Les sections suivantes décrivent comment les tendances populationnelles, les indices de richesse spécifique et de biodiversité, l'IWCI de DeLuca, les paramètres liés aux espèces à statut particulier et d'autres paramètres spécifiques pourraient être utilisés pour évaluer l'intégrité des lacs de montagne marocains.

5.1.1 Tendances populationnelles

Même si les paramètres populationnels primaires (taux de natalité, de mortalité et de dispersion) sont les paramètres les plus directement liés aux perturbations du milieu (Temple and Wiens, 1989), leur suivi implique des études à long terme sur des individus identifiables et reconnaissables, ce qui s'avère souvent compliqué à mettre en œuvre et difficile à maintenir (Clutton-Brock and Sheldon, 2010). Les études résumées dans le chapitre précédent s'attardent plutôt à des paramètres secondaires tels que la taille des populations et l'abondance des oiseaux en fonction du microhabitat (voir annexe 5). Ces paramètres secondaires présentent l'inconvénient d'intégrer les effets de différents facteurs de perturbation, ce qui limite l'interprétation que l'on peut en faire. Ceci peut toutefois être vu comme un avantage, dans la mesure où ils permettent de suivre plusieurs variables d'un écosystème à l'aide d'une seule mesure (Kushlan, 1993). Par exemple, en analysant les tendances d'abondance des oiseaux des divers groupes fonctionnels

(barboteurs, plongeurs, échassiers) sur chacun des lacs, on peut en déduire des informations générales sur les types d'habitats présents.

L'utilisation de l'abondance totale des oiseaux aquatiques ou des espèces d'un même groupe fonctionnel permettrait d'ailleurs de détecter des variations masquées par les variations naturelles de chacune des espèces considérées individuellement (Austin et al., 2001). Pour démontrer ceci, la figure 5.1 illustre les variations d'abondance observées à Dayet 'Awa pour les oiseaux barboteurs, par espèce ainsi que pour l'ensemble du groupe. On peut constater que la courbe représentant l'ensemble du groupe (pointillée) présente des variations beaucoup plus claires et marquées que les autres courbes. Même si les tendances populationnelles ne fournissent qu'un portrait global de l'état de l'écosystème et ne permettent pas nécessairement d'identifier les facteurs en cause, il peut s'agir d'un signal d'alarme indiquant que le milieu a été modifié.

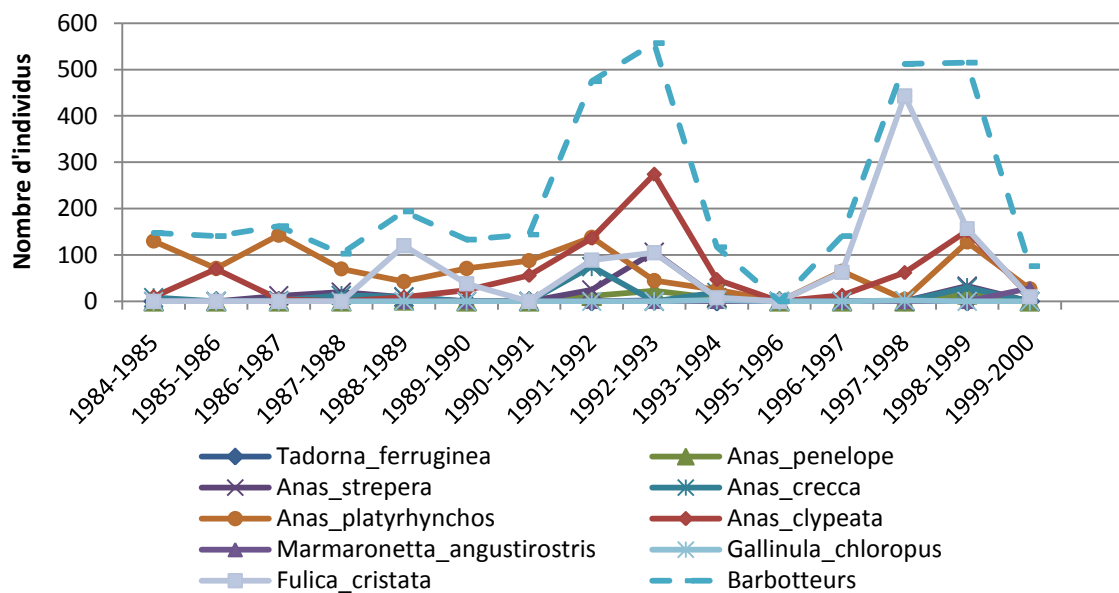


Figure 5.1 Variations d'abondance des oiseaux barboteurs au Dayet 'Awa entre 1985 et 2000. Selon les données des recensements hivernaux d'oiseaux d'eau du Maroc (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986). Les données de l'hiver 1994-1995 sont manquantes.

Des indices de tendance relative, inspirés de la méthode de calcul de l'Indice Planète Vivante, peuvent également permettre de résumer des données complexes afin de les rendre plus compréhensibles. Par exemple, à l'aide de la base de données des recensements hivernaux d'oiseaux d'eau du Maroc, il a été possible de calculer le nombre

total d'oiseaux aquatiques recensés sur chacun des lacs chaque année, puis de centrer les séries autour de 1. La figure 5.2 (a) présente le résultat de ce calcul pour douze lacs où les recensements ont été réalisés de manière assez régulière. Ce graphique permet d'analyser les tendances pour chacun des lacs, mais reste toutefois difficile à interpréter au niveau régional. En calculant, pour chaque année, la moyenne géométrique des indices déjà obtenus, on en arrive à un indice régional illustrant les variations dans l'abondance totale des oiseaux aquatiques pour l'ensemble des lacs étudiés (figure 5.2 b).

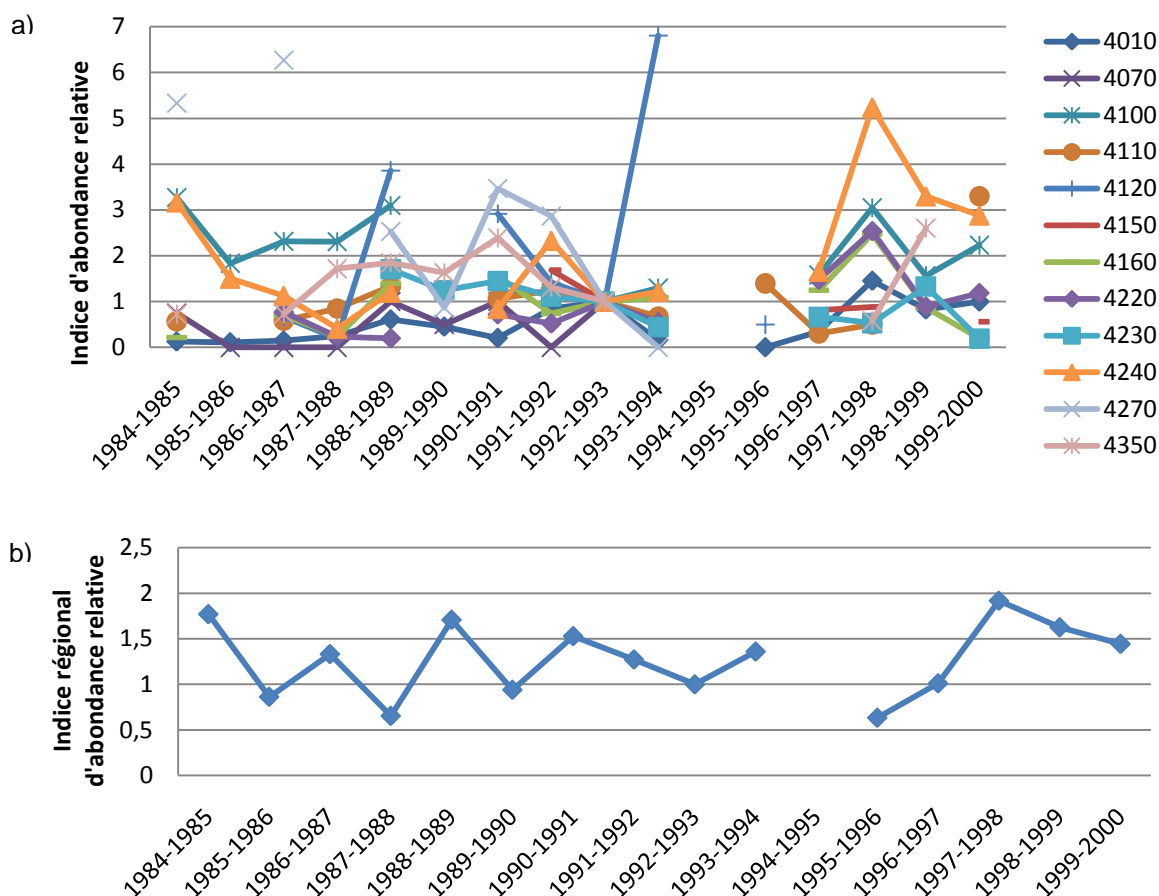


Figure 5.2 Indices d'abondance relative des oiseaux aquatiques pour 12 lacs de montagne marocains (a) et indice régional d'abondance relative des oiseaux aquatiques (moyenne des indices des 12 lacs) (b). Centrés à 1 pour l'hiver de référence 1992-1993. Calculés à partir des données des recensements hivernaux d'oiseaux d'eau du Maroc de 1985 à 2000 (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986). Les données de 1994-1995 sont manquantes. Se référer à l'annexe 1 pour la correspondance des numéros de lac.

Ce deuxième graphique permet de constater qu'il existe des variations interannuelles dans le nombre total d'oiseaux recensés, mais qu'à long terme, les effectifs semblent stables. Toutefois, avant de conclure que les lacs de montagne marocains n'ont pas subi de perte d'intégrité entre 1984 et 2000, le même type d'analyse devrait être réalisé pour chacun des groupes fonctionnels, voire pour certaines espèces en particulier. Ceci permettrait de détecter des tendances opposées qui s'annuleraient à l'échelle globale et d'évaluer le maintien des caractéristiques environnementales dont dépendent ces divers groupes.

Les indices de tendance relative sont faciles à interpréter et à diffuser, et pourraient par exemple être utilisés dans des campagnes de sensibilisation à la protection des milieux humides. L'irrégularité de la base de données utilisée constitue toutefois une grande faiblesse pour le calcul de tels indices. En effet, les lacs n'ont pas tous été recensés chaque année. Les moyennes peuvent donc être faussées s'il s'avère que seuls les lacs les plus peuplés ont été visités ou vice-versa. Ce manque de constance rend également les indices de richesse ou de diversité spécifiques inapplicables à l'échelle régionale. Il est effectivement impossible de comparer le nombre d'individus recensés dans dix lacs avec ceux recensés dans trois lacs différents l'année suivante. L'utilisation de ce type d'indices à l'échelle régionale requiert donc que les mêmes lacs soient recensés simultanément et de façon régulière, sur une base annuelle ou bisannuelle (Owino et al., 2002).

Une base de données plus solide permettrait d'analyser les données selon différentes échelles spatiales, de manière à réaliser le suivi de l'intégrité à divers niveaux (chacun des lacs individuellement, ensemble des lacs naturels, ensemble des lacs naturels et de barrage, etc.). Ceci s'avère particulièrement important lors de l'utilisation d'indicateurs liés aux oiseaux aquatiques, puisque les courts déplacements intrasaisonniers sont courants chez ces espèces et peuvent découler de variations environnementales rapides telles que les variations de niveau d'eau (Haig et al., 1998). Individuellement et temporairement, un certain plan d'eau pourrait être de faible intérêt pour les oiseaux, alors que sa présence au sein d'une mosaïque de plans d'eau à l'échelle régionale peut s'avérer importante pour la qualité globale du milieu (*Id.*). Les tendances observées à l'échelle d'un certain lac ou groupe de lacs pourraient donc différer des tendances régionales.

5.1.2 Indices de richesse spécifique et de biodiversité

À l'échelle d'un seul lac, il est difficile de déterminer si une variation environnementale donnée, par exemple une variation dans la densité de plantes aquatiques, constitue une

perte ou un gain d'intégrité. Sur le plan de la biodiversité, certaines espèces en seront avantagées et d'autres, désavantagées. Les études ne sont pas suffisantes, pour l'instant, pour affirmer que la diversité des oiseaux aquatiques constitue un indicateur fiable de la biodiversité globale de l'écosystème (Pearson and Carroll, 1998). La richesse spécifique des communautés d'oiseaux aquatiques a tout de même été reconnue pour être corrélée avec la superficie des milieux humides et donc avec la diversité d'habitats disponibles (González-Gajardo et al., 2009; Hoyer and Candfield, 1994; Elmberg et al., 1994). De plus, il semble logique de croire qu'en conservant une diversité d'habitats maximale à l'échelle régionale, la biodiversité globale sera favorisée. En ce sens, la richesse spécifique et la biodiversité des communautés d'oiseaux seraient des indicateurs pertinents de l'intégrité biotique des lacs.

5.1.3 IWCI de DeLuca

Tout comme l'IBG, l'IBGN et l'IIB sont utilisés pour évaluer l'intégrité biotique des cours d'eau (MDDEP, 2002), l'IWCI de DeLuca et al. (2008) pourrait être utilisé pour indiquer l'intégrité des lacs de montagne marocains. Il serait d'ailleurs très intéressant de tester l'application de cet indice en utilisant les bases de données des recensements hivernaux d'oiseaux d'eau du Maroc (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986). Il serait ainsi possible d'obtenir un portrait général de l'utilisation des lacs par les espèces généralistes et spécialistes sur une période d'une quinzaine d'années. Le calcul d'un tel indice nécessiterait un travail initial important afin de définir les traits des espèces qui devraient refléter les composantes d'un écosystème intact et, surtout, d'évaluer le degré de spécialisation, en regard de ces traits, pour toutes les espèces d'oiseaux aquatiques recensées dans la région à l'étude. Ceci pourrait probablement faire l'objet d'un essai à part entière et ne sera donc pas entrepris ici. Cet indice d'intégrité globale constitue tout de même une approche intégrative très intéressante qui méritera d'être considérée davantage.

5.1.4 Paramètres liés aux espèces à statut particulier

Même si les indicateurs liés aux espèces menacées sont souvent utilisés uniquement pour leur valeur intrinsèque (Bennun, 2001), Green et al. (2002) ont suggéré que dans les lacs de montagne marocains, la présence d'oiseaux aquatiques menacés ou vulnérables serait garante d'une grande diversité végétale. Paillisson et al. (2002) considèrent également

que la valeur écologique et l'intégrité biologique d'un milieu humide peuvent être déterminées par la présence et l'abondance d'espèces d'oiseaux dont la valeur de conservation est jugée élevée. Parmi les oiseaux aquatiques fréquentant les lacs de montagne du Maroc, quatre principales espèces sont considérées comme ayant un statut préoccupant : la sarcelle marbrée, le fuligule nyroca, la foulque à crête et le tadorne casarca. Ces espèces menacées sont d'autant plus influencées par l'état de l'environnement dans la région visée qu'elles ne sont pas migratrices (annexe 2).

La sarcelle marbrée et le fuligule nyroca possèdent respectivement les statuts de vulnérable et quasi menacé selon l'IUCN (2010). Ces deux espèces sont d'ailleurs très rarement observées lors des recensements hivernaux d'oiseaux d'eau du Maroc (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986). Leur faible densité limite la capacité de détection des variations dans la taille de leurs populations, rendant ce paramètre inutilisable comme bioindicateur. Pour la même raison, il semble également peu utile d'inclure ces espèces dans le calcul d'indices multispécifiques. Toutefois, leur seule présence ou absence sur un lac pourrait constituer une indication de la qualité générale et de la biodiversité du milieu.

Le tadorne casarca et la foulque à crête, bien que considérés comme étant de préoccupation mineure à l'échelle mondiale (IUCN, 2010), possèdent des populations régionales, petites, isolées et en déclin, avec moins de 10 000 individus dans l'ouest de la Méditerranée (Green et al., 2002). Ceci leur vaut respectivement les statuts de « rare au Maroc » et « remarquable au niveau du paléarctique occidental » (Cuzin et al., 2006; Dakki et al., 2003). La foulque à crête est considérée comme la meilleure espèce indicatrice de la qualité des milieux humides d'eau douce et de grande diversité végétale du Maroc (Green y Figuerola, 2003). Très sensible à la dégradation de son environnement, elle n'est d'ailleurs pas en mesure d'exploiter les habitats alternatifs que pourraient constituer les lacs de barrage (*Id.*). De plus, il s'agit de la seule espèce dont l'effectif maximum observé sur un lac est fortement corrélé (de façon négative) avec la conductivité moyenne de ce dernier (Green, 2000). Les foulques sont également visées par de nombreux actes de vandalisme et de déprédation (BRL ingénierie, 2007b; Hamel, 2009) et répondent, de façon indirecte, à toutes les perturbations ayant un impact sur l'abondance des macrophytes aquatiques. Il s'agirait donc d'une espèce parapluie particulièrement intéressante pour les programmes de conservation des lacs de montagne

naturels (Green et al., 2002; Green y Figuerola, 2003). Si cette espèce n'est pas l'objet d'une gestion intensive la favorisant de façon particulière, ses variations de population au niveau régional pourraient être un indicateur de la qualité globale des lacs naturels d'eau douce. De plus, la foulque à crête présente des différences marquées, d'une année à l'autre, dans son taux de reproduction à un même site (Green, 2000). Des paramètres tels que le nombre de couples en nidification et le nombre de jeunes produits permettraient donc de suivre plus particulièrement l'état de la végétation aquatique (dont dépend la disponibilité des sites de nidification) ainsi que l'intensité des actes de vandalisme à chacun des lacs. Toutefois, la cause exacte des variations observées ne pourra pas être clairement établie sans la prise de données additionnelles. Le tadorne casarca, pour sa part, est une espèce plus flexible que la foulque à crête en ce qui concerne l'état du milieu et constitue donc un indicateur moins utile pour mesurer la qualité d'un milieu humide (Green, 2000). Cependant, cette espèce est très dépendante des terres inondables, en périphérie des milieux humides, pour son alimentation, ce qui le rend plus vulnérable aux dérangements anthropiques et à la compétition avec le bétail (*Id.*). En outre, le nombre de jeunes tadornes observés sur les lacs au printemps pourrait s'avérer un bon indicateur des pressions exercées dans les terres et les forêts entourant les lacs.

5.1.5 Autres paramètres

Le tableau synthèse de l'annexe 5 permet de faire ressortir d'autres paramètres liés aux oiseaux aquatiques qui pourraient servir de bioindicateurs potentiels. Certains de ces paramètres concernent une espèce ou un groupe d'espèces en particulier : le taux d'alimentation des échassiers, le nombre de canards plongeurs mâles en été, le nombre de couples de foulques, le taux de reproduction des plongeurs et des hérons, le nombre de couples nicheurs chez les espèces qui nidifient dans des cavités d'arbres, le nombre de jeunes tadornes casarca et de jeunes foulques observés sur les lacs, les occurrences de comportements de course à la surface de l'eau chez les grèbes huppés ainsi que la proportion d'individus d'espèces migratrices se tenant à proximité des berges dans les deux premiers mois suivant l'arrivée de ces espèces. D'autres ne sont liés à aucune espèce en particulier : le taux de croissance des jeunes, la proportion de temps passé en déplacement, le nombre de couples nicheurs, le taux de désertion des nids, le taux d'éclosion des œufs et le taux de survie des jeunes.

Ces paramètres pourraient être utilisés de la même façon que les indicateurs de tendances populationnelles et aideraient à préciser les interprétations et à étoffer les hypothèses quant aux causes des variations mesurées. Toutefois, la collecte à long terme de toutes ces données est impossible, car cela demanderait des ressources humaines très importantes, ainsi que des techniques spécialisées dans certains cas, ce qui entraînerait des coûts démesurés. La pertinence de récolter chacun des types de données nécessaires à l'élaboration de ces indicateurs est analysée dans le chapitre suivant.

5.2 Identification d'indicateurs complémentaires potentiels

Les bioindicateurs discutés précédemment constituent essentiellement des indicateurs d'état et mesurent donc la réaction de l'écosystème face aux perturbations (Niemi and McDonald, 2004). Les oiseaux aquatiques étant situés à un niveau trophique élevé, ils subissent l'influence de divers changements environnementaux à la fois, ce qui complique l'interprétation des variations observées. Green y Figuerola (2003) suggèrent qu'un suivi des plantes aquatiques submergées, qui sont relativement simples et peu coûteuses à identifier et quantifier, permettrait d'indiquer plus directement les changements locaux tels que les fluctuations de niveau d'eau, salinité et de nutriments.

Certains indicateurs de pression, exprimant directement le stress subi par le milieu (Niemi and McDonald, 2004), permettraient également de mieux comprendre les changements environnementaux survenus. Par exemple, pour évaluer la qualité de l'eau pour la consommation, certains paramètres physico-chimiques devraient être évalués, notamment la concentration en bactéries fécales et la salinité (ou conductivité) (Green et al., 2002). L'eutrophisation de l'eau peut être évaluée grâce à des mesures de la concentration du phosphore total, d'azote total et de la chlorophylle α , ainsi que de la transparence de l'eau à l'aide d'un disque de Secchi (Rönkä et al., 2005; Hoyer and Canfield, 1994). Toutefois, la mesure de chlorophylle α , qui dépend de la présence de cellules phytoplanctoniques dans l'eau, peut sous-estimer le niveau trophique du milieu si une grande part des nutriments est stockée dans les macrophytes et les algues épiphytes associées (Hoyer and Canfield, 1994). Hoyer and Canfield (1994) ont donc utilisé une mesure de la concentration totale en phosphore dans la colonne d'eau, qui s'obtient en additionnant le phosphore contenu dans les plantes aquatiques au phosphore mesuré dans l'eau.

Bien que le développement de cyanobactéries ne soit pas mentionné comme menace potentielle dans les lacs de montagne marocains, ceci pourrait causer des problèmes pour

l'utilisation de l'eau à des fins domestiques et d'abreuvement du bétail (Mwaura et al., 2002). La présence de fleurs d'eau de cyanobactéries dans les petits lacs ou réservoirs artificiels, qui présentent généralement des symptômes précoces (*Id.*), pourrait donc constituer un indicateur de la perte de qualité des eaux dans l'ensemble du bassin versant.

Les volumes d'eau disponibles, pour leur part, peuvent être indiqués partiellement par l'abondance des oiseaux plongeurs. Toutefois, ceci ne permet pas de savoir si une baisse de niveau des lacs est attribuable à une diminution des apports ou à une augmentation des extractions. Un indicateur supplémentaire serait donc nécessaire pour évaluer l'une de ces deux variables, de manière à extrapoler l'autre. Par exemple, dans le cas où les apports resteraient stables, mais que les bioindicateurs indiqueraient une diminution des profondeurs et des superficies des lacs, il faudrait conclure à une perte d'intégrité due à l'augmentation des extractions au-delà des volumes traditionnels. Au niveau régional, l'abondance et la diversité des milieux humides sont reconnues comme étant liées aux précipitations dans l'année précédant le printemps, et peuvent être indiquées par l'indice de conservation de l'humidité des sols (*conserved soil moisture*, CSM) (Bethke and Nudds, 1995). Le CSM au mois de mai de l'année t (CSM) se calcule ainsi :

$$\begin{aligned} \text{CSM} &= 0,36 A + [0,37 B - 0,2 (0,36 A)] + 0,13 C + \{0,30 D \\ &\quad - 0,2 [0,36 A + (0,37 B - 0,2 (0,36 A)) + 0,13 C]\} \quad (5.1) \\ &= 0,2304 A + 0,296 B + 0,104 C + 0,30 D \end{aligned}$$

où A = précipitations totales durant les mois d'août, septembre et octobre de l'année $t-2$, B = précipitations totales pour les mois de novembre de l'année $t-2$ à avril de l'année $t-1$, C = précipitations totales pour les mois de mai à octobre de l'année $t-1$, D = précipitations totales pour les mois de novembre de l'année $t-1$ à avril de l'année t (*Id.*). Ceci constituerait un indice du niveau d'eau des lacs et des puits si aucune extraction n'avait lieu. Des mesures de profondeur des lacs pourraient également être prises à l'aide de poteaux gradués installés de façon permanente aux points les plus profonds des lacs (Bennun, 2001).

Les impacts socio-économiques sont également difficiles à détecter à l'aide de bioindicateurs liés aux oiseaux aquatiques. Des indicateurs plus adaptés devraient donc être utilisés. Par exemple, l'amélioration de la qualité de vie des populations locales pourrait être indiquée par la distance à parcourir pour s'approvisionner en eau potable, les

salaires moyens des familles ou la proportion de temps accordée aux loisirs. La diminution de la qualité des paysages et de l'intérêt écotouristique du milieu, pour sa part, pourrait être indiquée par les statistiques sur la fréquentation d'un milieu par les touristes étrangers et les organisations d'écotourisme.

Pour évaluer de façon plus directe l'impact des ensemencements de poissons sur les oiseaux aquatiques, le contenu gastrique des brochets pêchés dans les lacs de montagne pourrait être analysé. Le nombre de brochets pêchés dont l'estomac contient des oiseaux aquatiques deviendrait ainsi un indicateur de l'intensité de la prédation réalisée par ces poissons.

Finalement, la biodiversité endémique et menacée mériterait d'être suivie de façon directe, puisque les études sont insuffisantes pour prouver que les oiseaux aquatiques peuvent indiquer la diversité des autres taxons (Pearson and Carroll, 1998).

6. SÉLECTION DES INDICATEURS RÉALISTES

Au Maroc, les ressources limitées constituent souvent un obstacle à la mise en œuvre d'actions de restauration, de protection ou de suivi des écosystèmes (Chbaatou, 1999). Pour assurer la pérennité d'un programme de suivi, il apparaît donc préférable, comme le suggère Bennun (2001), de s'en tenir à des variables simples et peu coûteuses à évaluer, même si elles ne sont pas nécessairement les meilleures d'un point de vue scientifique.

Le chapitre précédent a permis d'identifier des indicateurs potentiels qui permettraient de faire le suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains. Pour qu'un indicateur puisse être retenu et intégré au programme de suivi, il est essentiel que les données nécessaires à son évaluation puissent être récoltées de façon constante à long terme. Certaines de ces données constituent l'indicateur en soi (nombre de couples nicheurs, transparence de l'eau, etc.), tandis que d'autres servent à calculer des indices (indice de biodiversité de Shannon calculé à partir du nombre d'individus de chaque espèce, taux de croissance des jeunes calculé à partir de la taille et du poids mesurés à des âges déterminés, CSM calculé à partir des précipitations mensuelles, etc.). Certaines données, comme le nombre d'individus de chaque espèce dénombré sur chacun des lacs, peuvent même permettre d'élaborer de nombreux indicateurs différents.

Ce chapitre décrit d'abord les méthodes et les ressources nécessaires à la collecte des données de base qui constituent ou permettent de calculer les indicateurs potentiels identifiés au chapitre précédent. Par la suite, une méthode d'analyse multicritère est proposée et appliquée afin d'identifier les données les plus pertinentes à récolter dans le cadre d'un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains.

6.1 Identification des besoins humains, matériels et financiers

Puisqu'une grande part des données nécessaires à l'élaboration des indicateurs potentiels concerne l'abondance et la distribution des oiseaux aquatiques, il convient de se questionner sur la méthode de recensement qui devrait être utilisée pour récolter de telles données. Les besoins matériels, humains et financiers varient en fonction de la méthode de recensement choisie, qui peut être terrestre, aérienne ou nautique.

6.1.1 Comparaison des méthodes de recensements

Les recensements aériens d'oiseaux aquatiques produiraient des évaluations plus justes de la taille des populations, en raison de l'implication d'observateurs professionnels et de la couverture rapide d'un grand espace, ce qui limite les erreurs dues aux déplacements des oiseaux (Pehlak et al., 2006). Des équipements spécialisés (caméras, magnétoscopes, etc.) et du personnel très expérimenté (pilotes et observateurs) sont toutefois nécessaires pour réussir un recensement aérien (Delany, 2005b). Ceci entraîne des coûts importants, en plus de ceux liés à l'utilisation d'avions ou d'hélicoptères qui sont de l'ordre de milliers de dollars par heure (*Id.*).

Les recensements nautiques, c'est-à-dire réalisés à partir d'un bateau, sont beaucoup moins coûteux que les recensements aériens et pourraient s'avérer utiles lorsque le site est grand ou que les berges sont inaccessibles à pied (*Id.*). Toutefois, dans un petit bateau, l'observateur est situé au niveau de l'eau, ce qui limite la vision d'ensemble du site (*Id.*). L'usage du télescope s'avère également difficile en raison de l'instabilité de la plupart des embarcations (*Id.*).

Les recensements terrestres, qui consistent à parcourir une route fixe, à pied, en s'arrêtant aux quelques centaines de mètres pour compter les oiseaux, sont moins exigeants sur les plans techniques, financiers et climatiques, en plus de permettre la participation d'observateurs amateurs (Pehlak et al., 2006). Cette méthode ne permettrait toutefois pas d'obtenir une évaluation juste de la taille des populations d'oiseaux aquatiques, car seul un échantillon des populations d'oiseaux est ainsi détecté (*Id.*). Les canards barboteurs et les cygnes, qui se regroupent près de la berge et sont relativement faciles à détecter, identifier et compter, seraient les espèces pour lesquelles les recensements terrestres seraient les moins erronés (*Id.*). Au contraire, pour les espèces très dispersées, comme le canard colvert, et pour les oiseaux qui se cachent dans la végétation, comme les bécassines et les rallidés, les populations seraient grandement sous-estimées (Delany et al., 2005a). Néanmoins, si le recensement est réalisé de la même manière d'une année à l'autre, la proportion d'individus de chaque espèce qui est dénombrée devrait rester stable (Delany, 2005b). Ainsi, les tendances populationnelles pourraient tout de même être étudiées.

Puisque le Maroc réalise déjà un recensement hivernal des oiseaux d'eau selon la méthode terrestre depuis plusieurs années (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994;

Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986) et que celle-ci semble la plus soutenable à long terme, c'est la méthode qui sera considérée ici pour l'évaluation de l'abondance des oiseaux aquatiques. Les recensements terrestres ont également l'avantage de permettre à l'observateur de s'attarder plus ou moins longtemps aux individus de certaines espèces, de manière à noter des données additionnelles telles que le nombre de mâles, de femelles et d'immatures, leur répartition spatiale, le temps accordé à certains comportements, etc. L'usage d'un bateau pourrait toutefois s'avérer nécessaire pour évaluer d'autres types d'indicateurs, notamment ceux qui impliquent des prélèvements d'eau ou des observations à proximité des nids. Des méthodes particulières sont également liées à l'évaluation des indicateurs qui ne sont pas basés sur les communautés d'oiseaux, par exemple les indicateurs physico-chimiques. Les besoins humains, matériels et financiers inhérents au suivi de ces indicateurs seront discutés dans les sections suivantes sans que les méthodologies soient détaillées.

6.1.2 Identification des besoins humains

Tout comme les recensements internationaux d'oiseaux d'eau coordonnés par Wetlands International (Delany, 2005b), les recensements menés dans la région des lacs de montagne marocains devraient être basés sur une structure organisationnelle hiérarchique composée d'un coordonnateur principal, d'organisateur locaux et d'un certain nombre de compteurs responsables d'un site ou d'un sous-site. Selon Delany (2005b), ce système hiérarchique est très efficace et peu coûteux puisque, souvent, seul le coordonnateur principal est un professionnel, les autres étant des ornithologues bénévoles. Un amateur devrait effectivement être en mesure de réaliser le comptage d'un site abritant entre 2 000 et 3 000 oiseaux de dix à vingt espèces différentes (*Id.*). Le recensement de très grands sites comptant plusieurs milliers d'oiseaux d'espèces variées requiert toutefois plus de pratique, d'expérience et d'organisation (*Id.*). Selon les résultats des recensements de 1985 à 2000 (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986), les lacs de montagne marocains entrent presque tous dans la première catégorie. Seul le lac Afennourir présente souvent des effectifs supérieurs à 2 000 oiseaux et une richesse de plus de quinze espèces. Dayet 'Awa abrite aussi régulièrement plus de quinze espèces, mais avec des effectifs plus modérés. Plusieurs observateurs préféreront tout de même être accompagnés d'un

assistant qui prend les notes durant qu'ils font les observations (Delany, 2005a). Ceci devient même essentiel dans certains cas, par exemple si des études comportementales sont réalisées à l'aide d'observations focales. En jumelant un ornithologue en herbe avec un observateur plus expérimenté, on peut en profiter pour former de nouveaux bénévoles. En effet, il faut du temps et de la pratique pour maîtriser l'identification des oiseaux, et l'expérience sur le terrain avec un ornithologue d'expérience reste le meilleur moyen d'apprendre (Delany, 2005b).

Pour un simple recensement du nombre d'individus de chaque espèce par lac, la structure organisationnelle pourrait être limitée à deux niveaux, soit un coordonnateur et un observateur par lac. Si d'autres paramètres doivent être relevés, la structure pourrait être ajustée de manière à diviser le suivi en quelques sections regroupant différents types d'indicateurs (recensements aviaires, relevés de végétation et de macroinvertébrés, paramètres physico-chimiques, données socio-économiques), avec un responsable par section et un coordonnateur général. Les mêmes observateurs pourraient tout de même être chargés de récolter des données de différents types lors d'une même visite.

Certains paramètres nécessiteraient l'implication de spécialistes, par exemple pour l'identification des plantes et des macroinvertébrés ou pour l'analyse d'échantillons d'eau en laboratoire. De plus, certaines données peuvent être récoltées lors de quelques visites ponctuelles, tandis que d'autres nécessitent une présence prolongée sur le terrain ou encore une surveillance quasi quotidienne durant une période critique. Il serait donc utile que des acteurs locaux soient impliqués dans le suivi afin de limiter les déplacements inutiles et l'utilisation de personnes surqualifiées pour la prise de certaines données. En outre, une formation devrait être fournie à tous les participants afin d'assurer la standardisation des méthodes de prélèvement et de gestion des données (Delany, 2005b).

L'informatisation, l'analyse et la publication des données sont également des étapes cruciales (Delany, 2005a) pour lesquelles une ou des personnes qualifiées devront consacrer du temps chaque année. Ceci nécessite donc de prévoir des fonds pour payer un consultant, ou d'inclure ces activités dans la description de tâches d'un poste permanent. Si les rapports annuels sont très simples, des rapports plus exhaustifs devraient être réalisés au trois à cinq ans (*Id.*). La diffusion des résultats sous forme d'infolettre peut également aider à maintenir l'enthousiasme des bénévoles (*Id.*).

6.1.3 Identification des besoins matériels

Le matériel nécessaire aux recensements terrestres d'oiseaux aquatiques est relativement simple. Des aides optiques, idéalement un télescope en plus de jumelles, sont essentielles pour bien identifier et dénombrer les oiseaux (Delany, 2005b). Si l'argent est disponible, l'investissement dans un équipement de qualité, qui procurera une robustesse et une qualité optique accrues, est fortement recommandé (*Id.*). Lors des comptages de grands nombres d'oiseaux, un compteur-enregistreur peut s'avérer utile. Certains compteurs expérimentés en utiliseront même plusieurs pour augmenter leur rapidité et leur précision lors du recensement de plusieurs espèces à la fois (*Id.*). Ce matériel est toutefois facultatif et son utilisation devrait rester à la discrétion de chaque observateur. Un guide d'identification devrait toutefois être à la disposition de tous les participants durant le recensement (*Id.*).

L'utilisation de matériel particulier s'avère essentielle pour la prise de certaines données plus complexes liées aux oiseaux aquatiques. Par exemple, la détection des nids et le décompte des œufs ou des éclosions peuvent nécessiter une embarcation ou de l'équipement pour grimper aux arbres. L'évaluation du taux de croissance des jeunes implique également de peser et mesurer les oisillons à la naissance puis à des âges connus. Une balance et un vernier à coulisse seront alors utilisés, mais il faudra d'abord arriver à capturer et à marquer les petits de façon sécuritaire, ce qui est complexe et requiert généralement un permis (MRNF, 2010). L'évaluation des indicateurs complémentaires proposés nécessiterait également du matériel d'échantillonnage particulier, par exemple des bouteilles stériles pour la prise d'échantillon d'eau, des disques de Secchi pour évaluer la transparence, des cordes ou des poteaux gradués pour les mesures de profondeur, etc. Du matériel technique spécialisé serait également requis pour l'échantillonnage des plantes, macroinvertébrés, insectes et poissons.

Il est généralement considéré que les observateurs sauront s'orienter sur le terrain et identifier les limites du site. Néanmoins, un GPS pourrait s'avérer nécessaire pour atteindre les sites éloignés ou identifier clairement la zone d'échantillonnage, qui doit être identique à chaque visite (Delany, 2005b). À cette fin, l'établissement d'une carte détaillée à une échelle de 1 : 50 000 ou moins, où la route à suivre, les sites d'échantillonnage ainsi que toutes autres informations utiles seront indiqués, est essentiel pour chacun des sites (*Id.*). Des copies mises à jour de cette carte devront être disponibles lors de chacune des

visites (*Id.*). Ceci est particulièrement important pour assurer la continuité du suivi lorsque des observateurs prennent leur retraite et que des nouveaux les remplacent (Delany, 2005a). Pour les zones humides très variables que sont les lacs de montagne marocains, l'utilisation de cartes permettra aussi de compiler des données morphométriques qui pourront éventuellement être utilisées dans les analyses.

Finalement, il est essentiel d'avoir un moyen d'enregistrer les observations réalisées. Si certains utilisent un magnétophone ou un dictaphone pour enregistrer leurs observations, les risques de problèmes techniques et la difficulté d'obtenir une vue d'ensemble des informations recueillies constituent des inconvénients majeurs à l'utilisation de ce type d'appareils (Delany, 2005b). Un carnet de terrain et un crayon à mine de plomb restent les incontournables (*Id.*). Afin d'assurer l'uniformité des données récoltées, des formulaires standards devraient être distribués à tous les observateurs afin de compiler leurs résultats (Delany, 2005a). Ceux-ci doivent permettre d'indiquer clairement si l'absence de donnée provient du fait que la valeur était nulle ou que le paramètre n'a pas été évalué (*Id.*).

6.1.4 Identification des besoins financiers

La majorité des besoins financiers découlent de l'utilisation de ressources humaines professionnelles et de l'achat de matériel. D'autres coûts sont liés aux frais d'analyse pour les paramètres qui doivent être mesurés en laboratoire. L'impression des formulaires de compilation des données devrait également être prévue dans le budget du programme, puisque les participants ne seront probablement pas tous en mesure de les remplir de façon électronique. Finalement, les coûts de transport pour se rendre sur les lieux de suivi doivent être pris en compte. Ces coûts varieront en fonction du nombre de visites nécessaires et dans le cas de certaines mesures isolées, de la personne chargée de les prendre. En effet, les coûts seront moindres si des bénévoles locaux peuvent se charger des relevés et ainsi éviter le déplacement de personnes basées dans les villes éloignées. L'utilisation d'embarcations à moteur entraîne également un coût additionnel en carburant.

6.2 Identification des données les plus pertinentes à récolter

Pour qu'un indicateur puisse être intégré au programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, il est essentiel que les données nécessaires à son évaluation puissent être récoltées de façon constante à long terme. À partir des conclusions tirées dans les chapitres précédents, une liste des données nécessaires à l'élaboration des

indicateurs potentiels a été dressée, puis une analyse a été réalisée. Les statuts « Recommandé », « À considérer » et « Rejeté » ont été attribués respectivement aux données qui devraient être récoltées dans le cadre d'un programme de suivi, à celles qui nécessitent une évaluation plus approfondie de leur faisabilité et à celles qui semblent peu pertinentes en raison de leur complexité de collecte ou d'interprétation. La méthode d'analyse est d'abord détaillée, puis les résultats sont présentés.

6.2.1 Méthode d'analyse multicritère

Pour identifier les données environnementales les plus pertinentes à récolter dans le cadre d'un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, des tableaux d'analyse ont été utilisés. Ceux-ci incluent, pour chaque type de données, l'utilisation qu'on peut en faire, les principales ressources nécessaires à sa collecte ainsi que des commentaires sur la mise en œuvre de celle-ci. L'évaluation de la pertinence de récolter ces données est ensuite réalisée en fonction de six critères pondérés.

Le choix des critères et de leur pondération a été inspiré des caractéristiques essentielles et de la méthode progressive de sélection des taxons indicateurs, proposées par Hilty and Merenlender (2000). Dans leur contexte original, ces caractéristiques essentielles (tableau 3.1) visaient à établir des distinctions entre des taxons très éloignés tels que des insectes et des mammifères. Puisque tous les bioindicateurs considérés ici sont liés aux oiseaux aquatiques, plusieurs caractéristiques ont été considérées comme équivalentes pour tous les types de données analysées et n'ont donc pas été incluses dans les critères. C'est le cas de la majorité des caractéristiques liées aux données de base et au cycle biologique. Puisque tous les indicateurs proposés ont été sélectionnés à partir de la revue des corrélations entre ces paramètres et les changements écosystémiques, la caractéristique « Corrélations bien établies avec les changements écosystémiques » n'a pas été retenue non plus. Cinq caractéristiques essentielles (distribution cosmopolite, mobilité limitée, spécialiste/endémique, facilité à observer et à mesurer les variables choisies, taxon qui répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques) ont été transformées en critères d'évaluation et pondérées en fonction de leur importance. Un critère global nommé « Importance des données » a également été créé afin de tenir compte du type et de la fiabilité de l'interprétation qui pourrait être faite de ces données. Le tableau 6.1 résume les critères retenus, leur notation, leur pondération et leur pointage maximal.

Tableau 6.1 Description des critères d'analyse utilisés pour évaluer la pertinence de récolter certains types de données dans le cadre d'un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains

| Critères | Notation | Pondération | Pointage maximal |
|---|---|-------------|--------------------|
| Importance des données (en fonction de l'interprétation qui pourra en être faite) | 3 = Données fournissant une grande variété d'informations essentielles 2 = Données fournissant des informations essentielles 1 = Données fournissant des informations utiles 0 = Données fournissant peu d'informations utiles ou dont l'interprétation est douteuse | 2 | 6 (25 à 30 %) |
| Faisabilité de la collecte de données (en fonction des ressources nécessaires et potentiellement disponibles) | 3 = Déjà réalisée de façon régulière 2 = Demande des visites relativement peu nombreuses et courtes, technique simple 1 = Demande des visites nombreuses ou longues et/ou des techniques complexes 0 = Demande des observations continues pendant plusieurs jours et/ou des techniques très spécialisées | 4 | 12 (50 à 60 %) |
| Mobilité limitée (afin de limiter l'influence de facteurs de perturbation externes) | 1 = Concerne une espèce résidente ou un paramètre intrinsèquement lié au milieu étudié 0 = Concerne un paramètre pouvant être influencé par des caractéristiques externes au milieu étudié (espèce migratrice). NA = Non applicable (ex. : plusieurs espèces considérées) | 2 | 2 (8,3 à 9,1 %) |
| Espèce spécialiste/ endémique (caractérise le niveau de lien entre l'espèce et le facteur environnemental) | 1 = Espèce endémique ou spécialiste pour le trait étudié 0 = Espèce non endémique et non spécialiste pour le trait étudié NA = Non applicable (ex. : plusieurs espèces considérées) | 1 | 1 (4,2 à 4,8 %) |
| Distribution cosmopolite (pour pouvoir comparer les tendances à d'autres échelles) | 2 = distribution mondiale 1 = distribution nord-africaine/méditerranéenne 0 = endémique NA = Non applicable (ex. : plusieurs espèces considérées) | 0,5 | 1 (4,2 à 4,8 %) |
| Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques (motivation supplémentaire) | 2 = Fortement 1 = Moyennement 0 = Pas du tout | 1 | 2 (8,3 à 10 %) |

Le pourcentage indiqué dans la colonne du pointage maximal indique la proportion du résultat final qui découle de ce critère. Le pourcentage le plus faible représente les cas où les six critères sont évalués, pour un pointage maximal total de 24, tandis que le pourcentage le plus élevé représente les cas où seulement trois ou quatre critères sont évalués. En effet, les critères se rapportant à des caractéristiques purement liées à l'utilisation de bioindicateurs (mobilité limitée, espèce spécialiste/endémique, distribution cosmopolite) n'ont pas été considérés dans l'analyse des données liées aux indicateurs complémentaires et se sont vu attribuer la mention NA pour certains types de données liées aux oiseaux aquatiques.

La pertinence de récolter chaque type de données est évaluée en multipliant la note attribuée à chaque critère par la pondération de ce critère, puis en divisant la somme de ces résultats par la somme des pointages maximaux. La collecte des données ayant obtenu un résultat supérieur ou égal à 0,6 est recommandée, tandis que celle des données obtenant un résultat inférieur à 0,4 est rejetée. La collecte des données obtenant un résultat intermédiaire pourrait s'avérer intéressante dans le cadre du programme de suivi envisagé, mais une analyse plus poussée serait nécessaire afin de vérifier si elle pourrait être réalisée de manière constante et si le rapport coûts/bénéfices est réellement avantageux.

6.2.2 Résultats de l'analyse

Les résultats de l'analyse ayant permis d'évaluer la pertinence de récolter certaines données liées aux oiseaux aquatiques ou à des paramètres environnementaux complémentaires sont présentés aux tableaux 6.2 et 6.3. Parmi les données liées aux oiseaux aquatiques (tableau 6.2), cinq types de données sont recommandées pour faire partie d'une collecte dans le cadre d'un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains et quatre autres types devraient être considérés plus en détail. La collecte des onze autres types de données a été rejetée, soit parce qu'il semble peu probable que celle-ci puisse être réalisée de façon régulière, soit parce que l'intérêt de ces données ne justifie pas l'effort nécessaire pour les obtenir. Parmi les données complémentaires (tableau 6.3), qui pourraient aider à identifier la nature des perturbations détectées et à planifier les activités de gestion, sept catégories ont obtenu le statut « Recommandé » et sept autres, le statut « À considérer ». Les sept autres types de données analysées ont été rejetés.

Tableau 6.2 Tableau d'analyse de la pertinence de la collecte des données liées aux oiseaux aquatiques (1/4)

| DONNÉES LIÉES AUX OISEAUX AQUATIQUES | ESPÈCES VISÉES | UTILISATION DES DONNÉES | PRINCIPALES RESSOURCES NÉCESSAIRES * | COMMENTAIRES | CRITÈRES D'ÉVALUATION ET PONDÉRATION | | | | | | PERTINENCE (/1) | STATUT |
|--------------------------------------|----------------|--|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|-------------------------------|---|---|---|------------------|----------------|
| | | | | | Importance des données ² | Faisabilité de la récolte de données ⁴ | Mobilité limitée ² | Espèce spécialiste/endémique ¹ | Distribution cosmopolite ^{0,5} | Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques ¹ | | |
| Nombre d'individus en janvier | Toutes | Divers indices pour la période de l'année où les déplacements sont moindres | Jumelles; Télescope | Recensements déjà réalisés pour plusieurs lacs, mais besoin de plus de régularité dans les lacs suivis et éventuellement de répliquats. | 3 | 3 | NA | NA | NA | 1 | 0,95 | Recommandé ✓ |
| Nombre d'individus en juillet | Toutes | Divers indices pour la période de sécheresse | Jumelles; Télescope | Recensement additionnel recommandé par Wetlands International (obligatoire en Afrique subsaharienne). | 3 | 2 | NA | NA | NA | 1 | 0,75 | Recommandé ✓ |
| Nombre de couples nicheurs | Foulques sp. | Indicateur de l'abondance des macrophytes submergés, donc de la disponibilité en nourriture et en sites de nidifications potentiels; une diminution du nombre de couples peut indiquer une eutrophisation importante du milieu | Jumelles; Télescope | Nécessite des visites en mai-juin au moment de la ponte pour identifier les couples. | 2 | 1 | 1 | 1 | NA | 1 | 0,52 | À considérer ! |
| | Tadome casarca | Indicateur de la qualité générale de l'écosystème, des conditions météorologiques et du niveau de dérangements | | Les couples peuvent être identifiés sur les lacs en dehors de la période de nidification, mais cela ne confirme pas qu'ils ont niché. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,69 | Recommandé ✓ |
| | Autres espèces | | | Pour la majorité des espèces, l'identification des couples n'est pas possible lors des recensements réguliers. | 2 | 0 | NA | NA | NA | 1 | 0,25 | Rejeté ✗ |

Tableau 6.2 Suite... (2/4)

| DONNÉES LIÉES AUX OISEAUX AQUATIQUES | ESPÈCES VISÉES | UTILISATION DES DONNÉES | PRINCIPALES RESSOURCES NÉCESSAIRES * | COMMENTAIRES | CRITÈRES D'ÉVALUATION ET PONDÉRATION | | | | | | PERTINENCE (/1) | STATUT |
|--------------------------------------|---------------------------|---|--|---|--------------------------------------|---|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|-----------------|----------------|
| | | | | | Importance des données 2 | Faisabilité de la récolte de données 4 | Mobilité limitée 2 | Espèce spécialiste/ endémique 1 | Distribution cosmopolite 0,5 | Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques 1 | | |
| Nombre de nids | Tadome casarca | Indicateur de la disponibilité des sites de nidification en forêt | Jumelles; Équipement pour grimper aux arbres | Les nids de tadome peuvent être repérés par de nombreuses heures d'observation du va-et-vient des adultes ou en grim pant aux arbres. | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,31 | Rejeté ✘ |
| | Autres espèces | Indicateur de la qualité générale du milieu (voir nombre de couples nicheurs) | Jumelles; Télescope; Embarcation | Nécessite des visites en fonction de chacune des périodes de ponte. Seule une petite proportion des nids peut être détectée. | 1 | 1 | 1 | NA | NA | 1 | 0,38 | Rejeté ✘ |
| Nombre de nids abandonnés | Toutes | Indicateur de dérangements | Jumelles; Télescope; Embarcation; Équipement pour grimper aux arbres | Implique une recherche exhaustive et des observations assidues pour confirmer son abandon. | 2 | 0 | 1 | NA | NA | 0 | 0,24 | Rejeté ✘ |
| Nombre d'œufs pondus par nid | Foulque à crête | Seul : Indicateur de la disponibilité de nourriture et de la qualité générale du milieu Avec les éclosions : Indicateur de la prédation des œufs | Embarcation | Espèce reconnue comme étant la plus exigeante. | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0,52 | À considérer ! |
| | Tadome casarca | | Équipement pour grimper aux arbres | Nids difficiles à localiser et atteindre. | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0,27 | Rejeté ✘ |
| | Toutes | | Embarcation | Exige énormément de temps et d'efforts pour visiter chaque nid peu de temps après la ponte. | 1 | 1 | NA | NA | NA | 0 | 0,30 | Rejeté ✘ |
| Nombre d'éclosions par nid | Foulques sp. | Indicateur de la prédation des œufs ou de dérangements durant la couvaison | Embarcation | Espèces les plus visées par les actes de vandalisme. | 2 | 0 | 1 | 1 | NA | 1 | 0,35 | Rejeté ✘ |
| | Toutes (sauf grèbe huppé) | | Embarcation; Équipement pour grimper aux arbres | Exige énormément de temps et d'efforts pour visiter chaque nid au moment de l'éclosion. Le grèbe huppé est exclu, car la femelle peut pondre une nouvelle couvée en réponse à la destruction de ses œufs. | 1 | 0 | 1 | NA | NA | 0 | 0,14 | Rejeté ✘ |

Tableau 6.2 Suite... (3/4)

| DONNÉES LIÉES AUX OISEAUX AQUATIQUES | ESPÈCES VISÉES | UTILISATION DES DONNÉES | PRINCIPALES RESSOURCES NÉCESSAIRES * | COMMENTAIRES | CRITÈRES D'ÉVALUATION ET PONDÉRATION | | | | | | PERTINENCE (/1) | STATUT |
|---|------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|---|-------------------------------|---|---|---|------------------|----------------|
| | | | | | Importance des données ² | Faisabilité de la récolte de données ⁴ | Mobilité limitée ² | Espèce spécialiste/endémique ¹ | Distribution cosmopolite ^{0,5} | Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques ¹ | | |
| Nombre de jeunes ayant quitté le nid | Tadome casarca | Indicateur de la disponibilité des sites de nidification en forêt (impact de la foresterie) et de la sécurité des forêts avoisinantes | Jumelles; Télescope | Des visites supplémentaires seraient nécessaires pour dénombrer les jeunes de chacune des espèces au moment idéal, en fonction de sa période d'éclosion. | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0,81 | Recommandé ✓ |
| | Foulque sp | Indicateur du niveau de vandalisme des nids/œufs, de la disponibilité des sites de nidification et de la qualité générale du milieu | Jumelles; Télescope | | 3 | 2 | 1 | 1 | NA | 2 | 0,83 | Recommandé ✓ |
| | Toutes les espèces nicheuses | Indicateur de la qualité générale de l'écosystème, notamment de la disponibilité en nourriture, des dérangements anthropiques et de la prédation | Jumelles; Télescope | | 3 | 1 | 1 | NA | NA | 1 | 0,57 | À considérer ! |
| Taille/poids des jeunes à la naissance et à x semaines (taux de croissance) | Toutes | Indicateur de la disponibilité des proies, donc de la richesse des taxons inférieurs | Matériel de capture; Balance; Vernier à coulisse | Le calcul du taux de croissance exige de capturer les jeunes pour les peser et les mesurer à quelques reprises. | 2 | 0 | 1 | NA | NA | 0 | 0,24 | Rejeté ✗ |

Tableau 6.2 Suite... (4/4)

| DONNÉES LIÉES AUX OISEAUX AQUATIQUES | ESPÈCES VISÉES | UTILISATION DES DONNÉES | PRINCIPALES RESSOURCES NÉCESSAIRES * | COMMENTAIRES | CRITÈRES D'ÉVALUATION ET PONDÉRATION | | | | | | PERTINENCE (/1) | STATUT |
|---|-----------------------|---|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|-----------------|----------------|
| | | | | | Importance des données 2 | Faisabilité de la récolte de données 4 | Mobilité limitée 2 | Espèce spécialiste/endémique 1 | Distribution cosmopolite 0,5 | Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques 1 | | |
| Proportion de temps passé en déplacement, au repos, en alimentation et en état d'alerte | Grèbe huppé ou autres | Indicateur du niveau de perturbation des oiseaux | Jumelles; Télescope | Des périodes d'observation focales de quelques espèces pourraient être réalisées lors des recensements de janvier et de juillet. | 1 | 2 | NA | NA | NA | 0 | 0,24 | Rejeté ✘ |
| Nombre d'occurrences de comportements anormaux (ex. : course à la surface de l'eau) | | | | | | | | | | | | |
| Répartition des oiseaux aquatiques au sein d'un milieu humide | Anatidés hivernants | Indicateur du niveau de dérangements à proximité des berges | Jumelles; Télescope | Pourrait être noté lors du recensement hivernal. | 1 | 2 | NA | NA | NA | 0 | 0,50 | À considérer ! |
| Nombre d'individus en alimentation | Échassiers | Indicateur d'un niveau d'eau adéquat pour leur alimentation | Jumelles; Télescope | Si la pente est douce, une zone d'eau peu profonde sera disponible peu importe le niveau d'eau du lac. | 0 | 2 | 0 | 0 | NA | 0 | 0,35 | Rejeté ✘ |

* en plus des ressources humaines pour la campagne de terrain

Tableau 6.3 Tableau d'analyse de la pertinence de la collecte des données complémentaires (1/4)

| DONNÉES COMPLÉMENTAIRES | UTILISATION DES DONNÉES | PRINCIPALES RESSOURCES NÉCESSAIRES * | COMMENTAIRES | CRITÈRES D'ÉVALUATION ET PONDÉRATION | | | PERTINENCE (/1) | STATUT |
|--|---|--|--|--------------------------------------|---|---|------------------|--|
| | | | | Importance des données 2 | Faisabilité de la récolte de données 4 | Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques 1 | | |
| Diversité de plantes aquatiques | Indicateur de l'intégrité biotique | Embarcation; Matériel d'échantillonnage ou de plongée | Une diminution pourrait indiquer une augmentation de la salinité de l'eau. | 3 | 1 | 0 | 0,50 | À considérer  |
| Pourcentage de recouvrement des plantes aquatiques submergées | Indicateur de la disponibilité alimentaire pour les oiseaux | Embarcation; GPS | | 1 | 2 | 0 | 0,50 | À considérer  |
| Superficie couverte par de grandes hydrophytes émergentes (<i>Scirpus</i> , <i>Carex</i> , <i>Typha</i> , <i>Salix</i> , <i>Pragmites</i>) | Indicateur d'une perte de processus écologiques et de la diversité d'habitats | Embarcation; GPS | | 2 | 2 | 0 | 0,60 | Recommandé  |
| Abondance et diversité des macroinvertébrés | Indicateur de l'intégrité biotique; Mesure de la disponibilité en nourriture pour les oiseaux aquatiques | Matériel d'échantillonnage; Spécialiste pour l'identification | Corrélié avec la densité de macrophytes submergés; une diminution pourrait indiquer une augmentation de la salinité de l'eau ou une hypertrophisation du milieu. | 3 | 0 | 0 | 0,30 | Rejeté  |
| Concentration de bactéries fécales dans l'eau | Mesure de la qualité de l'eau pour la consommation et l'utilisation domestique | Bouteilles d'échantillonnage; Laboratoire d'analyse | Une augmentation pourrait indiquer une augmentation de la pression créée par le bétail. | 2 | 2 | 0 | 0,60 | Recommandé  |






Tableau 6.3 Suite... (2/4)

| DONNÉES COMPLÉMENTAIRES | UTILISATION DES DONNÉES | PRINCIPALES RESSOURCES NÉCESSAIRES * | COMMENTAIRES | CRITÈRES D'ÉVALUATION ET PONDÉRATION | | | PERTINENCE (/1) | STATUT |
|--|---|---|---|--------------------------------------|---|---|------------------|------------|
| | | | | Importance des données 2 | Faisabilité de la récolte de données 4 | Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques 1 | | |
| Salinité/conductivité de l'eau | Mesure de la qualité de l'eau pour la consommation et l'utilisation domestique; Indicateur de l'intégrité du cycle hydrologique | Conductivimètre | Une augmentation pourrait être la cause d'une diminution de la diversité animale et végétale. | 2 | 2 | 0 | 0,60 | Recommandé |
| Concentration du phosphore total dans l'eau | Indicateur du niveau d'eutrophisation | Bouteilles d'échantillonnage; Laboratoire d'analyse | Pourrait améliorer l'interprétation des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. | 1 | 1 | 0 | 0,30 | Rejeté |
| Concentration du phosphore dans les plantes aquatiques | Indicateur du niveau d'eutrophisation; Avec la concentration de phosphore dans l'eau, permet d'évaluer le phosphore total dans la colonne d'eau | Matériel d'échantillonnage des plantes; Laboratoire d'analyse | Pourrait améliorer l'interprétation des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. | 2 | 0 | 0 | 0,20 | Rejeté |
| Concentration d'azote total dans l'eau | Indicateur du niveau d'eutrophisation | Bouteilles d'échantillonnage; Laboratoire d'analyse | Pourrait améliorer l'interprétation des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. | 1 | 1 | 0 | 0,30 | Rejeté |
| Concentration de chlorophylle α dans l'eau | Indicateur du niveau d'eutrophisation | Bouteilles d'échantillonnage; Laboratoire d'analyse | Pourrait améliorer l'interprétation des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. | 1 | 1 | 0 | 0,30 | Rejeté |
| Transparence de l'eau | Indicateur de l'état d'eutrophisation | Disque de Secchi; Embarcation | Pourrait être mesuré lors des études de macrophytes aquatiques. | 1 | 1 | 0 | 0,30 | Rejeté |

Tableau 6.3 Suite... (3/4)

| DONNÉES COMPLÉMENTAIRES | UTILISATION DES DONNÉES | PRINCIPALES RESSOURCES NÉCESSAIRES * | COMMENTAIRES | CRITÈRES D'ÉVALUATION ET PONDÉRATION | | | PERTINENCE (/1) | STATUT |
|--|--|---|---|--------------------------------------|---|---|------------------|--------------|
| | | | | Importance des données 2 | Faisabilité de la récolte de données 4 | Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques 1 | | |
| Présence de fleurs d'eau de cyanobactéries | Indicateur du niveau d'eutrophisation et de la qualité de l'eau pour consommation et usage domestique | Jumelles; Télescope | À observer lors des visites estivales. Prioriser les petits lacs et réservoirs, qui devraient manifester les symptômes en premier. | 2 | 2 | 0 | 0,60 | Recommandé |
| Précipitations mensuelles | Permet de calculer le CSM (mesure des apports en eau dans les milieux humides), qui vise à déterminer si les variations de niveau d'eau sont dues à une variation des apports ou des extractions | Ententes pour l'utilisation de données récoltées par d'autres organisations | Des données météorologiques sont déjà récoltées à quelques stations dans la région des lacs. | 3 | 3 | 1 | 0,95 | Recommandé |
| Profondeur des lacs | Établir de meilleurs diagnostics en confirmant certaines hypothèses basées sur les indicateurs liés aux oiseaux aquatiques | Poteaux gradués installés de façon fixe à des endroits stratégiques | Pourrait causer des problèmes esthétiques à certains endroits. | 2 | 1 | 0 | 0,40 | À considérer |
| | | Cordes graduées lestées; Embarcations | Pourrait être mesuré lors des études de macrophytes aquatiques. | 2 | 1 | 0 | 0,40 | À considérer |
| Présence d'espèces endémiques ou menacées | Indicateur de l'intégrité biotique | Matériel d'échantillonnage d'insectes, crustacés et poissons | Environ 53 espèces endémiques et 70 espèces menacées se trouvent dans les milieux humides de la région. | 3 | 0 | 1 | 0,35 | Rejeté |

Tableau 6.3 Suite... (4/4)

| DONNÉES COMPLÉMENTAIRES | UTILISATION DES DONNÉES | PRINCIPALES RESSOURCES NÉCESSAIRES * | COMMENTAIRES | CRITÈRES D'ÉVALUATION ET PONDÉRATION | | | PERTINENCE (/1) | STATUT |
|---|--|---|---|--------------------------------------|---|---|-----------------|--|
| | | | | Importance des données 2 | Faisabilité de la récolte de données 4 | Répond aux intérêts sociaux, politiques ou économiques 1 | | |
| Distance à parcourir pour s'approvisionner en eau potable | Indicateur de la disponibilité de volumes d'eau suffisants pour les populations locales; Indicateur de la qualité de vie des populations locales | Aucun | Ces questions pourraient être intégrées à des recensements existants ou à des questionnaires spécialisés. | 3 | 2 | 1 | 0,75 | Recommandé  |
| Salaires moyens des familles locales | Indicateur de la qualité de vie des populations locales | Aucun | Ces questions pourraient être intégrées à des recensements existants ou à des questionnaires spécialisés. | 2 | 2 | 1 | 0,65 | Recommandé  |
| Proportion de temps accordé aux loisirs par les populations locales | Indicateur de la qualité de vie des populations locales | Aucun | Ces questions pourraient être intégrées à des recensements existants ou à des questionnaires spécialisés. | 1 | 2 | 0 | 0,50 | À considérer  |
| Fréquentations écotouristiques de la région des lacs | Indicateur de l'intérêt écotouristique et de la qualité des paysages | Aucun | Ces données pourraient être obtenues des délégations régionales du ministère du Tourisme. | 1 | 2 | 1 | 0,55 | À considérer  |
| Nombre de brochets pêchés ayant consommé des oisillons | Indicateur de l'impact des introductions de brochet sur les oiseaux aquatiques | Bouteilles et formol pour la conservation des estomacs; Spécialiste pour l'identification des contenus gastriques | La collecte des estomacs pourrait se faire en collaboration avec les associations de pêcheurs. | 2 | 1 | 1 | 0,45 | À considérer  |

* en plus des ressources humaines pour la campagne de terrain

La pertinence de récolter les différents types de données a ainsi été évaluée de façon individuelle. Or, la somme des efforts nécessaires pour récolter ces données doit aussi être considérée. Afin de déterminer si les données « à considérer » devraient être intégrées au programme de suivi, il serait d'abord essentiel de déterminer l'effort que les gestionnaires marocains souhaitent investir dans ce suivi. Il serait également nécessaire de valider les ressources humaines effectivement disponibles pour participer au suivi. La participation des populations locales et de gardes forestiers, par exemple, pourrait rendre possible la prise de certaines données qui, autrement, serait irréaliste. En outre, la collecte de certaines données concernant la biologie du tadorne casarca pourrait éventuellement être entreprise dans le cadre d'une étude de plus grande envergure sur la reproduction et les déplacements quotidiens de cette espèce considérée comme rare au Maroc.

7. RECOMMANDATIONS POUR L'ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE SUIVI DE L'INTÉGRITÉ DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

L'objectif général de cet essai était d'élaborer un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, réaliste et applicable dans le cadre socio-économique de la région, en se basant principalement sur des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. Grâce à la revue de littérature, à la réflexion et à l'analyse réalisées jusqu'à maintenant, il est ici possible d'émettre des recommandations quant à un tel programme de suivi. Celui-ci devra être articulé autour d'objectifs clairs et comprendre une collecte de données structurée et constante, afin de permettre l'analyse et l'interprétation la plus juste possible.

7.1 Objectifs du programme

Puisque les oiseaux aquatiques constituent le groupe taxonomique à la base du désir de conservation de l'intégrité des lacs de montagne marocain, le programme de suivi devrait permettre d'établir les tendances populationnelles de ces espèces. En outre, il a été démontré que les communautés d'oiseaux aquatiques étaient influencées par les modifications qui surviennent à des niveaux trophiques inférieurs (plantes aquatiques, invertébrés, poissons). Bien que la mesure de la réponse des oiseaux ne soit pas suffisante pour identifier sans équivoque le changement environnemental en cause, le programme de suivi devrait chercher à utiliser les oiseaux aquatiques comme signaux d'alarme que des modifications environnementales sont survenues. Il a été défini que l'intégrité des lacs de montagne marocains incluait, en plus du maintien de la fonction de support à la biodiversité, le maintien des services écosystémiques traditionnels, notamment celui d'approvisionnement en eau. Le programme devrait donc permettre d'évaluer la capacité de l'écosystème à fournir ces services aux populations locales. De plus, afin d'orienter la gestion des zones humides visées, le programme devrait permettre de distinguer la part des modifications attribuable aux perturbations naturelles (intensification des sécheresses) de celle attribuable aux perturbations anthropiques. Finalement, le programme de suivi devrait permettre d'informer la population et la communauté scientifique sur l'état des écosystèmes d'eau douce de montagne, donc comporter des résultats globaux facilement communicables.

De ces quelques constatations, il est possible de formuler les objectifs suivants pour le programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains :

1. établir les tendances populationnelles des différentes espèces d'oiseaux aquatiques;
2. utiliser les oiseaux aquatiques comme signal d'alarme afin de détecter les modifications environnementales survenues dans les niveaux trophiques inférieurs;
3. inclure des indicateurs qui permettent d'évaluer le maintien des services écosystémiques aux humains;
4. distinguer la part des modifications attribuable aux perturbations naturelles (intensification des sécheresses) de celle attribuable aux perturbations anthropiques;
5. fournir une évaluation globale et facile à communiquer de l'intégrité des lacs de montagne marocains.

7.2 Collecte de données

Concernant la collecte des données, trois grandes questions se posent, à savoir quelles données doivent être récoltées (*Quoi?*), à quel moment (*Quand?*) et à quel endroit (*Où?*).

7.2.1 Quoi?

La première question a été répondue dans le chapitre précédent. Les différents types de données nécessaires à l'élaboration des indicateurs potentiels identifiés ont alors été listés, puis leur pertinence a été évaluée en fonction de six critères pondérés, dont les deux principaux étaient l'utilité des données et la faisabilité de leur collecte. Cinq types de données liées aux oiseaux aquatiques et sept types de données complémentaires se sont alors démarqués par leur importance en termes d'interprétation et par leur relative simplicité de mesure. En fonction de la quantité d'efforts que les gestionnaires marocains souhaitent investir dans le suivi, la récolte de données supplémentaires pourrait aussi être considérée.

7.2.2 Quand?

La deuxième question est intrinsèquement liée à la première, du moins pour les données liées aux oiseaux aquatiques. En effet, la période de collecte s'avère parfois fixée dans le temps en fonction de la nature même des données. Par exemple, le dénombrement des jeunes doit se faire après l'éclosion et avant que les immatures ne perdent leurs caractéristiques distinctives, vers la fin de l'été. Les recensements visant à dénombrer les

individus de chaque espèce présents sur chacun des lacs devraient pour leur part être réalisés en janvier, comme c'est le cas depuis de nombreuses années, mais également en période estivale. Plus d'un recensement par année est en effet nécessaire pour obtenir un portrait de l'utilisation des milieux humides à travers les saisons. Le recensement de juillet est d'ailleurs considéré comme essentiel dans les pays subsahariens (Delany, 2005b). Puisque, dans l'Atlas marocain, le mois de juillet constitue le cœur de la saison sèche, les données recueillies à cette période pourraient permettre de détecter plus rapidement certaines perturbations environnementales accrues par les conditions arides. Idéalement, les recensements devraient aussi être réalisés plus d'une fois durant la même saison afin de limiter les erreurs d'estimation dues aux conditions particulières en vigueur au moment de la visite. Les moyennes des données récoltées seraient ainsi calculées et utilisées pour produire les indicateurs.

Parmi les données complémentaires, certaines pourraient être prélevées lors de chacun des recensements (salinité/conductivité, concentration de bactéries fécales). Une attention spéciale pourrait être portée à la présence de fleurs d'eau de cyanobactérie lors des recensements de juillet. Une surveillance régulière tout au long de l'été serait toutefois nécessaire pour détecter des épisodes de courte durée ou plus tardifs. L'évaluation de la superficie couverte par de grandes hydrophytes émergentes, pour sa part, devrait idéalement être réalisée de façon précise, en délimitant clairement les zones de végétation à l'aide d'une embarcation et d'un GPS. Ceci nécessiterait des sorties additionnelles au recensement, qui devraient être effectuées sur une courte période de temps pour que la mesure soit comparable entre les différents sites. Une alternative moins précise, mais demandant moins d'efforts, serait d'évaluer visuellement la superficie de plantes émergentes lors des recensements de juillet. Le choix de la méthode à retenir devrait dépendre essentiellement de la disponibilité de bénévoles et de la possibilité d'utiliser des embarcations. Les données pluviométriques étant déjà récoltées dans quelques stations météorologiques de la région des lacs, aucune sortie terrain ne serait nécessaire pour obtenir les mesures de précipitations mensuelles. Ces données pourraient simplement être fournies annuellement au coordonnateur du programme de suivi. Les données socio-économiques, pour leur part, pourraient être récoltées à n'importe quelle période de l'année. La distance à parcourir pour s'approvisionner en eau potable peut toutefois varier selon les saisons. Il est donc recommandé de réaliser les sondages en été, afin que les réponses reflètent la situation la plus critique.

Parmi les données dont la récolte est à considérer, certaines pourraient être évaluées de façon plus sporadique. Par exemple, la diversité des plantes aquatiques pourrait être étudiée aux trois ou cinq ans, ce qui permettrait de détecter la perte d'espèces autochtones ou l'apparition d'espèces invasives. L'étude du contenu gastrique des brochets, pour sa part, pourrait être réalisée de façon plus ponctuelle, sur un ou deux ans seulement. Ceci permettrait d'évaluer l'intensité de la prédation, puis de prendre une décision quant à l'ensemencement de cette espèce dans certains lacs plus sensibles.

7.2.3 Où?

La troisième question, c'est-à-dire où récolter les données, peut se diviser en deux volets, soient quels lacs devraient être inclus dans le suivi? et comment choisir les points d'échantillonnage ou d'observation?

Le nombre de lacs suivis doit être réaliste en fonction du nombre d'observateurs qu'il est possible de recruter (Delany, 2005b). Delany (2005a) précise que les sites à inclure dans les recensements hivernaux encadrés par Wetlands International sont, en ordre de priorité, les sites Ramsar, les autres sites reconnus comme étant d'importance nationale ou internationale pour les oiseaux aquatiques, puis autant de sites supplémentaires représentatifs des milieux humides du pays (dans ce cas de la région) qu'il est possible de recenser sur une base annuelle. De cette façon, Wetlands International cherche à dénombrer la plus grande proportion possible d'oiseaux aquatiques (*Id.*). Dans un contexte où plusieurs zones humides s'assèchent périodiquement, la représentativité des lacs intégrés au suivi devrait être particulièrement étudiée afin de ne pas favoriser les grands lacs permanents au détriment des petits lacs temporaires ou semi-permanents. En effet, ces petites zones humides pourraient accueillir un nombre significatif d'oiseaux dans les années humides, tandis que leur assèchement au cours des années plus arides forcerait les oiseaux à se regrouper sur les lacs permanents. Si ces sites temporaires ne sont pas pris en compte dans le suivi, les tendances populationnelles pourraient donc être faussées. De plus, il est fortement recommandé que tous les lacs inclus dans le programme de suivi soient recensés systématiquement chaque année. Les tendances populationnelles des oiseaux aquatiques pourront ainsi être analysées de façon beaucoup plus simple. Actuellement, les lacs de montagne inclus dans le recensement hivernal des oiseaux d'eau du Maroc varient énormément et ne semblent pas représentatifs de tous les types de lac. En effet, de 3 à 27 lacs ont été recensés annuellement entre 1985 et 2000,

avec une tendance à la baisse (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986). De plus, les lacs recensés le plus régulièrement sont ceux qui abritent les effectifs d'oiseaux les plus importants (*Id.*).

En appliquant les critères de sélection de Wetlands International à la liste des lacs identifiés à l'annexe 1, on obtient une sélection de 14 lacs qui sont inscrits sur la liste Ramsar ou reconnus comme étant d'importance nationale ou internationale, dont douze naturels et deux artificiels. Deux autres lacs naturels et un lac artificiel sont classés comme SIBE et devraient donc être ajoutés à cette liste, pour un total de 17 sites (tableau 7.1).

Tableau 7.1 Liste des lacs à prioriser pour le suivi, en raison de leur désignation sur la liste Ramsar, de la reconnaissance de leur importance nationale ou internationale, ou de leur statut de Site d'Intérêt Biologique et Écologique.

| N° | Nom | Type * | Ramsar ¹ | Importance reconnue ² | SIBE ³ | Effectif moyen ⁴ | Nb. recens. ⁴ |
|------|------------------------------|--------|---------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 4010 | Dayet 'Awa | N | | x | x | 707 | 15 |
| 4050 | Aguelmam Afourgagh | N | | x | | 133 | 10 |
| 4070 | Dayet Iffer | N | | | x | 2 | 9 |
| 4100 | Dayet Ifrah | N | | x | x | 705 | 13 |
| 4110 | Plans d'eau de Zerrouqa | A | | x | x | 210 | 12 |
| 4120 | Plan d'eau d'Ifrane | A | | x | | 78 | 8 |
| 4140 | Aguelmam N'Tghalwine | N | | x | | 12 | 4 |
| 4150 | Plans d'eau d'Amghass | A | | | x | 188 | 6 |
| 4160 | Aguelmam Afennourir | N | x | x | x | 2496 | 12 |
| 4220 | Aguelmam N'Tifounassine | N | x | x | x | 605 | 11 |
| 4230 | Lac de Wiwane | N | | x | x | 140 | 11 |
| 4240 | Aguelmams Sidi Ali-Ta'nzoult | N | x | x | x | 773 | 13 |
| 4270 | Aguelmam Azegza | N | | x | x | 84 | 8 |
| 4290 | Aguelmam Mi'Ammi | N | | | x | 7 | 2 |
| 4350 | Aguelmane Abekhane | N | | x | x | 573 | 10 |
| 4390 | Lac d'Isly | N | x | | x | 27 | 3 |
| 4400 | Lac Tislite | N | x | | x | 180 | 3 |

* Types : N = Naturel; A = Artificiel

¹ Wetlands International (2007a, <http://ramsar.wetlands.org/>).

² El Agbani (1997, p. 119-125); Chillasse et al. (2001, p. 143); Chillasse (2004, p. 181-194)

³ Mestour (1999, p. 153-155).

⁴ Recensements d'oiseaux d'eau du Maroc (Dakki et al., 2002; El Agbani et Dakki, 1994; Dakki et El Agbani, 1993; El Agbani et Dakki, 1992; Dakki et al., 1991; El Agbani et al., 1990; Dakki et al., 1989; Beaubrun et al., 1988; Beaubrun et al., 1986).

Cette liste devrait être complétée de manière à assurer la représentativité de tous les types de lacs. Parmi les autres lacs de montagne, plusieurs n'ont été l'objet d'aucun recensement entre 1985 et 2000, tandis que d'autres ont été délaissés à la suite d'une ou deux visites seulement. Ceux-ci mériteraient donc d'être recensés durant quelques années afin d'avoir un meilleur portrait de leur fréquentation par les oiseaux. Il serait ensuite possible d'éliminer du programme de suivi les lacs où les effectifs d'oiseaux aquatiques sont généralement nuls, tout en conservant ceux qui peuvent avoir un impact sur la répartition des individus. En outre, le suivi des lacs naturels devrait être priorisé par rapport aux lacs artificiels, puisque c'est avant tout l'intégrité de ces écosystèmes naturels que le programme vise à étudier.

Le deuxième volet du *Où?* concerne le choix des points d'échantillonnage ou d'observation. À ce sujet, l'essentiel est encore une fois la constance d'une année à l'autre. Ainsi, pour les recensements d'oiseaux aquatiques, une route à suivre et des points d'observation fixes devraient être déterminés à l'avance et indiqués sur une carte du site. Delany (2005b) recommande de tenir compte de la position du soleil pour établir le sens du trajet, puisque les oiseaux sont plus faciles à observer et à identifier lorsque la lumière provient de derrière l'observateur. Les paramètres physico-chimiques et les échantillons d'eau devront également être prélevés à des endroits identiques chaque année. Le point le plus profond du lac devrait être l'endroit privilégié pour ce type de mesures, puisque ce sera le dernier endroit à s'assécher dans les années très arides. Ceci implique toutefois d'y accéder avec une embarcation. L'exutoire du lac pourrait être une alternative intéressante. Le point d'échantillonnage exact pourra varier en fonction du niveau de l'eau, mais la mesure sera toujours représentative de l'ensemble de l'eau du lac, contrairement à une mesure qui serait prise à la jonction d'un tributaire, par exemple.

7.3 Analyses et interprétation

L'analyse et l'interprétation des données recommandées permettront de répondre aux objectifs proposés pour le programme de suivi. Les recensements hivernaux et estivaux permettront d'abord d'établir les tendances populationnelles des différentes espèces d'oiseaux aquatiques. Bien que les résultats des recensements soient analysés par Wetlands International dans le cadre des recensements internationaux d'oiseaux d'eau, il est important qu'une analyse soit effectuée de façon régulière à l'intérieur du pays, afin de détecter des tendances locales (au niveau de chaque lac) et régionales (pour l'ensemble

des lacs) particulières et d'établir les statuts nationaux des espèces. Les tendances détectées pourront ensuite devenir des indicateurs des modifications environnementales survenues. Des suivis à long terme sont nécessaires pour distinguer les tendances alarmantes des variations cycliques normales (Owino et al., 2002). De plus, pour faciliter l'interprétation des résultats de recensements, quelques règles de base doivent être respectées (inspirées de Delany, 2005 a et b) :

- Les routes de recensement et les points d'observation doivent être constants d'une année à l'autre.
- Le recensement d'un lac devrait être réalisé par le même observateur le plus longtemps possible. Lorsque celui-ci est remplacé, le nouvel observateur doit continuer selon la méthode établie.
- L'ensemble des lacs devrait être recensé chaque année. Advenant le cas où une partie d'un lac ne pourrait être recensée, la proportion du site sur laquelle le décompte a eu lieu doit être évaluée et prise en compte dans les analyses.
- Toutes les espèces présentes sur un site doivent être dénombrées lors de chacun des recensements. Le nombre d'individus doit être évalué le plus précisément possible et l'utilisation d'une plage de valeurs (ex. : 100-200) ou d'autres termes imprécis (ex. : plus de 200, quelques dizaines) doit être évitée.
- Lorsqu'aucun oiseau n'a été observé sur un site, en raison d'une sécheresse, d'un gel ou de toute autre perturbation, le résultat zéro doit tout de même être inclus dans la base de données des recensements.

Comme mentionné précédemment, les données seront beaucoup plus simples à analyser si tous les sites sont visités lors de chaque recensement. Dans le cas contraire, des statistiques complexes utilisant des modèles linéaires généralisés à effet aléatoire devront être utilisées. En plus de diminuer la puissance des analyses, ceci nécessite la consultation d'un statisticien d'expérience.

Bien que les liens complexes entre les divers éléments de l'écosystème rendent difficile la détermination des causes environnementales exactes des variations détectées chez les oiseaux aquatiques, certaines hypothèses peuvent être émises sur la base d'indicateurs spécifiques. Les tableaux d'analyse 6.2 et 6.3 résument l'utilisation potentielle de chaque type de données dont la pertinence a été analysée. Les indices pouvant être créés à partir du nombre d'individus recensés sur les lacs étaient toutefois trop nombreux pour y être

détaillés. Les principaux sont présentés dans le tableau 7.2, avec l'interprétation qui peut en être faite. Il est cependant difficile de présenter l'interprétation exhaustive des indices d'abondance, car celle-ci pourrait varier en fonction de la combinaison des tendances observées au niveau de plusieurs espèces ou groupes d'espèces (ex. : toutes les espèces sont en baisse d'effectifs versus les espèces plongeuses sont en baisse et les espèces barboteuses sont en hausse). Il est donc essentiel que l'analyse des données soit réalisée par une personne compétente qui pourra élaborer des hypothèses et tirer des conclusions de façon critique en se référant, au besoin, à la revue des corrélations.

Tableau 7.2 Interprétation des indicateurs pouvant être créés à partir des données de recensements des oiseaux aquatiques

| | Indicateurs | Interprétation |
|------------------------------|---|--|
| Indices holistiques | Richesse spécifique totale | Peut refléter la variation de la superficie d'un lac ou, à l'échelle régionale, la superficie totale de milieux humides disponibles. |
| | Indice de biodiversité de Shannon pour les oiseaux aquatiques | Un indice de biodiversité élevé pour les oiseaux aquatiques implique une grande diversité d'habitats et une bonne qualité générale du milieu, donc un potentiel élevé de biodiversité. |
| | Abondance* d'oiseaux aquatiques (toutes espèces confondues) | Une augmentation pourrait indiquer une augmentation de la superficie et/ou de la qualité générale du milieu. |
| | Densités moyennes d'adultes et d'immatures dans les sites avec ou sans ensemencements de poissons | Les différences de densité d'oiseaux peuvent constituer des mesures de l'impact de l'ensemencement de poissons. |
| | Indices d'intégrité des communautés d'oiseaux d'eau (IWCI) | L'IWCI pourrait être utilisé comme méthode d'évaluation semi-quantitative de l'intégrité globale des lacs de montagne. |
| Espèces à statut particulier | Richesse spécifique des espèces à statut particulier | L'utilisation d'un milieu par les espèces à statut particulier peut refléter la richesse spécifique des plantes aquatiques dans le milieu. |
| | Présence/ absence de la sarcelle marbrée ou du fuligule nyroca | L'apparition de ces espèces dans un milieu où elles étaient absentes peut indiquer la création de nouvelles niches écologiques. Leur disparition d'un milieu où elles étaient présentes peut indiquer une perte de diversité d'habitats et d'intégrité biotique. |
| | Abondance* de tadorne casarca | Une diminution pourrait indiquer une perte de disponibilité de plaines inondables ou une augmentation du niveau de dérangements (humains et bétail). |
| | Abondance* de foulque à crête | Meilleure espèce indicatrice de la qualité des lacs d'eau douce naturels et de grande diversité végétale. La diminution du nombre d'individus sur un lac pourrait indiquer une augmentation de la conductivité du lac. |

Tableau 7.2 Suite...

| | Indicateurs | Interprétation |
|------------------|---|---|
| Espèces communes | Abondance* des anatidés barboteurs | Une diminution pourrait indiquer un passage du stade eutrophe à hypertrophique. |
| | Abondance* des anatidés barboteurs excluant le canard colvert | Une augmentation pourrait indiquer l'expansion des milieux d'eau peu profonde et riches en macroinvertébrés. |
| | Abondance* des anatidés barboteurs excluant le canard souchet | Une diminution pourrait indiquer une augmentation du niveau de perturbations à proximité des berges. |
| | Abondance* des foulques et des canards barboteurs | Une augmentation pourrait indiquer l'augmentation de la biomasse de plantes aquatiques. |
| | Abondance* des espèces plongeuses (sauf fuligules) | Une augmentation pourrait indiquer l'expansion des zones d'eau profonde. |
| | Abondance* des espèces d'échassiers | Une augmentation pourrait indiquer l'expansion des zones d'eau peu profonde. |
| | Abondance* des espèces gibier | Une augmentation pourrait indiquer une diminution de la chasse et/ou du braconnage. |
| | Abondance* des canards colverts, chipeaux, souchets et pilets | Une augmentation pourrait indiquer une augmentation des superficies de prairies humides accessibles aux oiseaux. Une diminution pourrait indiquer une augmentation des zones cultivées ou trop perturbées. |
| | Abondance* des canards souchets et des grèbes à cou noir | Une augmentation de ces espèces, qui s'alimentent souvent loin des berges, pourrait indiquer l'augmentation de la superficie des milieux humides. |
| | Abondance* des fuligules milouins et morillons | Une diminution pourrait indiquer une diminution de l'abondance des mollusques causée par l'hypertrophisation du milieu. |
| | Abondance* des grèbes huppés | Une augmentation pourrait indiquer l'eutrophisation du milieu par un apport soudain en nutriments. |

* *abondance absolue ou relative, par lac ou pour la région*

Le suivi de certains indicateurs complémentaires pourra aider à valider ces hypothèses et à préciser les causes possibles des changements observés chez les oiseaux aquatiques. C'est le cas des mesures de salinité/conductivité de l'eau, des précipitations mensuelles et de la superficie envahie par les macrophytes émergents. D'autres indicateurs n'ont pas été recommandés lors de l'analyse de leur pertinence, au chapitre précédent, en raison des importantes ressources qu'ils requièrent. Certains pourraient toutefois être ajoutés au programme de suivi au fil des années. Une approche intéressante pourrait consister à récolter certains échantillons (d'eau, de sang ou de plumes) et à les conserver sans procéder aux analyses de façon systématique. Celles-ci pourraient être réalisées ultérieurement si le besoin s'en faisait sentir, par exemple si une problématique de

contamination chimique était mise en lumière et que l'on souhaitait déterminer à partir de quel moment les traces du contaminant sont apparues.

L'évaluation du maintien des services écosystémiques pour les humains passe avant tout par l'évaluation de la disponibilité en eau. Plusieurs indicateurs liés aux oiseaux aquatiques permettent d'évaluer les variations du niveau d'eau et des superficies de milieux humides. Des indicateurs socio-économiques plus spécifiques, soient la distance à parcourir pour s'approvisionner en eau potable et le salaire moyen des familles locales, ont également été retenus. Ces indicateurs demandent très peu d'analyse. Encore une fois, des moyennes pourront être réalisées à différentes échelles (ex. : par village ou pour l'ensemble de la région).

Puisque l'intensification des sécheresses constitue la principale perturbation naturelle qui menace l'intégrité des lacs de montagne marocains, l'analyse des tendances du CSM, un indicateur de l'apport en eau par les précipitations, est proposée pour distinguer la part des modifications attribuable aux perturbations naturelles de celle attribuable aux perturbations anthropiques. Des modèles linéaires généralisés pourraient être créés afin de déterminer quelle proportion des modifications environnementales détectées peut être expliquée par les variations dans les quantités de précipitations et quelle proportion est imputable à d'autres causes. Le CSM pourrait aussi traduire l'influence de la superficie totale des milieux humides (prairies humides, mares temporaires, lacs, etc.) sur l'abondance et la diversité des oiseaux aquatiques.

Finalement, pour qu'un tel programme de suivi puisse être poursuivi à long terme, il est important que les efforts et les investissements apparaissent justifiés aux yeux de la population. Il est donc essentiel de partager les résultats du suivi et de poursuivre la sensibilisation et l'éducation environnementale. En ce sens, les indices holistiques semblent les plus appropriés pour fournir une appréciation globale de l'état de l'écosystème qui saura capter l'attention dans le cadre de communications médiatiques. Les concepts de richesse spécifique, de biodiversité et les indices de tendance relative moyenne peuvent être présentés de façon concise, simple et imagée, de manière à souligner les améliorations obtenues grâce aux efforts déployés ou encore à démontrer que des interventions sont nécessaires pour protéger un milieu en déclin. Les tendances populationnelles des espèces à statut particulier pourraient également être utilisées afin de faire vibrer la corde de la fierté régionale. Dans l'optique où l'on cherche à évaluer

l'intégrité globale des lacs de façon quantitative, un des indices les plus prometteurs et sur lequel les prochains efforts devraient se concentrer est l'IWCI créé par DeLuca (2008). Une fois les étapes préliminaires réalisées, cet indice peut être calculé très rapidement (de façon automatique si les équations sont entrées dans un logiciel tableur) à partir du nombre d'individus de chaque espèce recensé sur chacun des lacs.

CONCLUSION

Le caractère unique ainsi que l'importance nationale et internationale des lacs de montagne marocains ne sont plus à démontrer. Les ressources disponibles pour la gestion de cette région naturelle restent tout de même limitées, d'où le besoin d'un programme de suivi basé sur des indicateurs simples et peu exigeants à mesurer.

Dans le cadre de cet essai, le concept d'intégrité des lacs de montagne marocains a été défini comme le maintien, à long terme, des services écosystémiques de support à la biodiversité et aux populations locales. Les divers facteurs naturels et anthropiques menaçant de perturber cette intégrité, ainsi que la chaîne d'impacts potentiels qui pourraient en découler et être détectés à l'aide d'indicateurs, ont été identifiés. Un survol théorique et une revue approfondie des corrélations entre les réponses des oiseaux aquatiques et divers changements environnementaux ont ensuite permis de confirmer qu'une surveillance basée sur des bioindicateurs liés aux oiseaux aquatiques pourrait constituer la base d'un programme de suivi de l'intégrité de chacun des lacs et de la mosaïque régionale de milieux humides. Le tout pourrait également s'inscrire dans une approche de durabilité et de gestion participative, rejoignant ainsi les objectifs des parcs nationaux de la région et des grandes conventions internationales.

En effet, la revue des corrélations entre les réponses des oiseaux aquatiques et divers changements environnementaux a permis de constater que la majorité des impacts découlant des facteurs de perturbation présents dans la région à l'étude pourraient être détectés par des variations dans certains paramètres liés aux oiseaux aquatiques. L'utilisation de tels bioindicateurs permettrait donc d'évaluer de façon directe le maintien des populations d'un des groupes taxonomiques les plus caractéristiques de la biodiversité de la région, tout en constituant un signal d'alarme d'autres modifications environnementales potentielles. Les données nécessaires à l'élaboration des bioindicateurs retenus sont relativement simples à récolter et l'expertise nécessaire est disponible dans le pays, puisque des recensements hivernaux des oiseaux aquatiques sont déjà réalisés depuis de nombreuses années.

Or, il existe certains impacts potentiels qui constitueraient une perte d'intégrité et qui ne semblent pas, selon les corrélations recensées, entraîner une réponse facilement perceptible chez les oiseaux aquatiques. Des données complémentaires liées aux conditions physico-chimiques des lacs et à la situation socio-économique des populations

locales permettraient donc de compléter le suivi, de manière à couvrir l'ensemble des aspects de l'intégrité du milieu. Puisque l'interprétation des bioindicateurs liés aux oiseaux aquatiques peut être limitée par la complexité des relations entre les divers éléments de l'écosystème, ces indicateurs complémentaires pourraient aussi aider à identifier la nature des pertes d'intégrité détectées, dans le but de planifier les activités de gestion pertinentes.

De nombreux indicateurs liés aux oiseaux aquatiques ou à d'autres éléments de l'écosystème pourraient ainsi être utilisés afin de réaliser le suivi l'intégrité des lacs de montagne marocains. Pour évaluer l'applicabilité de ces indicateurs potentiels dans le contexte socio-économique de la région, il a été nécessaire d'identifier les données de base qui les constituent ou qui permettent de les calculer, puis d'analyser la pertinence de récolter ces données en fonction de leur utilité et de la faisabilité de la collecte, compte tenu des ressources disponibles. Par la suite, des recommandations ont pu être émises quant à la formulation des objectifs du programme de suivi, quant aux lieux, aux périodes et aux méthodes de récolte des données, et quant à l'analyse et à l'interprétation de ces données.

La démarche poursuivie dans ce travail, qui avait été formulée sous la forme de six objectifs spécifiques, a donc permis d'atteindre l'objectif général de l'essai, soit d'élaborer un programme de suivi de l'intégrité des lacs de montagne marocains, réaliste et applicable dans le cadre socio-économique de la région, en se basant principalement sur des indicateurs liés aux oiseaux aquatiques. Il faut toutefois se rendre à l'évidence qu'un tel programme de suivi ne peut pas être défini de manière fixe et immuable sur la base d'une analyse théorique. En effet, l'interprétation des indicateurs est sujette à varier en fonction des résultats obtenus, ce qui nécessite une adaptation constante de la part des gestionnaires responsables. La concertation des acteurs locaux sera également nécessaire afin de finaliser le choix des données à récolter en fonction des ressources disponibles et du niveau d'efforts à investir. C'est pourquoi il est essentiel qu'un organisme local prenne en charge la coordination du suivi. L'élaboration d'un des indicateurs retenus nécessitera également un autre exercice théorique, qui consistera à adapter l'IWCI à la communauté d'oiseaux aquatiques de l'Atlas marocain. Cet indice permettrait d'obtenir une évaluation semi-quantitative de l'intégrité des lacs et constitue une approche holistique extrêmement intéressante à long terme pour le suivi de l'intégrité des milieux humides marocains.

RÉFÉRENCES

- Aaouine, M., Aoussar, H., El Mataouat, S., Loudiyi, M. et Sghir, A. (2008). *Aguelmam Afennourir*. Rapport de stage de l'École nationale forestière d'ingénieurs, Salé, Maroc, 43 p.
- Ahlafi, Z. (1999). La forêt au présent. In Mhirit, O. et Blerot, P. *Le grand livre de la forêt marocaine* (p. 38-52). Sprimont, Pierre Mardaga éditeur.
- Alaoui Abdelmalek, M. Y. et Hafftane, M. (1999). Loisirs de la chasse. In Mhirit, O. et Blerot, P. *Le grand livre de la forêt marocaine* (p. 145-157). Sprimont, Pierre Mardaga éditeur.
- Alp, A., Yegen V., Apaydin Yagci, M., Uysal, R., Biçen, E. and Yagci, A. (2008). Diet composition and prey selection of the pike, *Esox lucius*, in Çivril Lake, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 24, n° 6, p. 670–677.
- Anonyme. (2004). *Le Petit Larousse illustré 2005*. 100^e édition, Paris, Larousse, 1856 p.
- Askarn, O. et El Haddad, M. (1999). La forêt pour la maîtrise de l'érosion et de la désertification. In Mhirit, O. et Blerot, P. *Le grand livre de la forêt marocaine* (p. 170-179). Sprimont, Pierre Mardaga éditeur.
- Austin, J. E., Buhl, T. K., Guntenspergen, G. R., Norling, W. and Sklebar, H. T. (2001). Duck Populations as Indicators of Landscape Condition in the Prairie Pothole Region? *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 69, n° 1, p. 29-47.
- Beaubrun, P.-C., Thevenot, M. et Baouab, R. E. (1986). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1985*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 21 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 10).
- Beaubrun, P.-C., Thevenot, M., Dakki, M. et El Agbani, M. A. (1988). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1986, janvier 1987 et janvier 1988*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 61 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 11).
- Benbrahim, K. F., Ismaili, M., Benbrahim, S. F. et Tribak, A. (2004). Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc. *Sécheresse*, vol. 15, n° 4, p. 307-320.
- Bennun, L. A. (2001). Long-term monitoring and the conservation of tropical wetlands: high ideals and harsh realities. *Hydrobiologia*, vol. 458, n° 1-3, p. 9-19.
- Bethke, R. W. and Nudds, T. D. (1995). Effects of Climate Change and Land Use on Duck Abundance in Canadian Prairie-Parklands. *Ecological Applications*, vol. 5, n° 3, p. 588-600.

- Bolduc, F. and Afton, A. D. (2004). Relationships Between Wintering Waterbirds and Invertebrates, Sediments and Hydrology of Coastal Marsh Ponds. *Waterbirds*, vol. 27, n° 3, p. 333-341.
- BRL ingénierie. (2007a). *Projet d'aménagement et de protection des massifs forestiers de la Province d'Ifrane. Plan d'aménagement et de gestion du parc national d'Ifrane. Plan d'action. Version finale*. Ifrane, Direction Régionale des Eaux et Forêts du Moyen Atlas, Service Provincial des Eaux et Forêts d'Ifrane, 92 p.
- BRL ingénierie. (2007b). *Projet d'aménagement et de protection des massifs forestiers de la Province d'Ifrane. Plan d'aménagement et de gestion du parc national d'Ifrane. Stratégie de conservation et principes de zonage. Version définitive*. Ifrane, Direction Régionale des Eaux et Forêts du Moyen Atlas, Service Provincial des Eaux et Forêts d'Ifrane, 66 p.
- Brochet, A-L., Gauthier-Clerc, M., Mathevet, R., Béchet, A., Mondain-Monval, J-Y. and Tamisier, A. (2009). Marsh management, reserve creation, hunting periods and carrying capacity for wintering ducks and coots. *Biodiversity and Conservation*, vol. 18, n° 7, p. 1879-1894.
- Bubb, P., Jenkins, J. and Kapos, V. (2005). *Biodiversity Indicators for National Use: Experience and Guidance*. Cambridge, UNEP-WCMC, 20 p.
- Cairns, J. (1977). Quantification of biological integrity. In Ballentine, R. K. and Guarraia, L. J., *The integrity of water, Proceedings of a Symposium* (p. 171-187), Washington, D.C., 10-12 mars 1975. Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Hazardous Materials.
- Catsadorakis, G., Malakou, M. and Crivelli, A. J. (1996). The Effects of the 1989/1990 Drought on the Colonial Waterbirds Nesting at Lake Mikri Prespa, Greece, with Special Emphasis on Pelicans. *Colonial Waterbirds*, vol. 19, Special Publication n° 1, p. 207-218.
- Chahlaoui, A., Franchimont, J., Samih, M. et Sayad, A. (1994). Analyse de l'évolution des effectifs des oiseaux d'eau hivernants dans le Maroc central au cours de la décennie 1983-1993. *Porphyrio*, vol. 6, n° 1, p. 7-94.
- Chapleau, F., Findlay, S. and Szenasy, E. (1997). Impact of piscivorous fish introductions on fish species richness of small lakes in Gatineau Park, Québec. *Écoscience*, vol. 4, n° 3, p. 259-268.
- Chbaatou, S. (1999). Rapport national du Maroc pour la COP7 Ramsar. In Secrétariat de la Convention Ramsar. *The Ramsar Convention on Wetlands*, [En ligne]. http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-natl-rpts-cop7-rapport-national-du-18169/main/ramsar/1-31-121-280%5E18169_4000_0__ (Page consultée le 11 octobre 2010).

- Chillasse, L. (2004). *Les peuplements d'oiseaux d'eau des lacs du Moyen Atlas : organisation spatio-temporelle et applications à la typologie et à l'évaluation patrimoniale des sites*. Thèse de doctorat d'État ès-Sciences Biologiques, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 227 p.
- Chillasse, L. et Dakki, M. (2004). Potentialités et statuts de conservation des zones humides du Moyen-Atlas (Maroc), avec référence aux influences de la sécheresse. *Sécheresse*, vol. 15, n° 4, p. 337-345.
- Chillasse, L., Dakki, M. et Abbassi, M. (2001). Valeurs et fonctions écologiques des zones humides du Moyen Atlas (Maroc). *Sede para el Estudio de los Humedales Mediterráneos*, vol. 17, n° 1, p. 139-146.
- Clutton-Brock, T. and Sheldon, B. C. (2010). Individuals and populations: the role of long-term, individual-based studies of animals in ecology and evolutionary biology. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 25, n° 10, p. 562–573
- CNHP, Centre national d'hydrobiologie et de pisciculture. (2009). *Rapport d'activités du Centre national d'hydrobiologie et de pisciculture, Exercice 2008*. Azrou, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, 56 p.
- Collin, D. et Le-Dantec, D. (2002). *Oiseaux.net : Tadorne casarca, fiche*, [En ligne]. <http://www.oiseaux.net/oiseaux/tadorne.casarca.html> (Page consultée le 6 juillet 2010).
- Commission sur l'intégrité écologique des parcs nationaux du Canada. (2000). « Intacts pour les générations futures »? : Protection de l'intégrité écologique par les parcs nationaux du Canada. Volume II : Une nouvelle orientation pour les parcs nationaux du Canada. In Gouvernement du Canada. *Publications électroniques*, [En ligne]. <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection/R62-323-2000-2-1F.pdf> (Page consultée le 11 juin 2010).
- Cramp, S., Simmons, K. E. L., Ferguson-Lees, I. J., Gillmor, R., Hollom, P. A. D., Hudson, R., Nicholson, E. M., Ogilvie, M. A., Olney, P. J. S., Voous, K. H., and Wattel, J. (1977). *Handbook of the Birds of Europe the Middle East and North Africa, The Birds of the Western Palearctic, Volume I, Ostrich to Ducks*. New York, Oxford University Press, 722 p.
- Crivelli, A. J., Grillas, P., Jerrentrup, H. and Nazirides, T. (1995). Effects on Fisheries and Waterbirds of Raising Water Levels at Kerkini Reservoir, a Ramsar Site in Northern Greece. *Environmental Management*, vol. 19, n° 3, p. 431-443.
- Cuzin, F., Benabid, A., Tarrier, M., Fekhaoui, M. et Chillasse, L. (2006). Projet d'aménagement et de protection des massifs forestiers de la province d'Ifrane. Parc National d'Ifrane. Inventaire de la biodiversité. Rapport de synthèse. In Département de l'Environnement du Maroc. *Centre d'Échange d'Information sur la Biodiversité du*

MAROC, Convention sur la Diversité Biologique. Inventaire de la biodiversité dans le parc national d'Ifrane, [En ligne]. http://ma.chm-cbd.net/manag_cons/esp_prot/stat_nat/parc_nat/fo117596/synthese_invent_biodiv_pnifrane_2007.pdf (Page consultée le 4 juin 2010).

- Dakki, M. (s.d.). Étude nationale sur la biodiversité, faune aquatique. In Département de l'Environnement du Maroc. *Centre d'Échange d'Information sur la Biodiversité du MAROC, Convention sur la Diversité Biologique. L'étude nationale sur la faune aquatique*, [En ligne]. http://ma.chm-cbd.net/implementation/doc_product_cdb_ma/enb_ma/Faune_Aquatique.pdf (Page consultée le 4 juin 2010).
- Dakki, M. and El Agbani, M. A. (1995). The Moroccan Wetlands: Diversity and Human Impact. In Montes, C., Oliver, G., Molina, F. and Cobos, J. (éd.), *Bases ecológicas para la restauración de humedales en la cuenca mediterránea* (p. 299-307). Séville, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Dakki, M. et El Agbani, M. A. (1993). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1993*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 32 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 16).
- Dakki, M., Baouab, R. E. et El Agbani, M. A. (1991). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1991*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 30 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 14).
- Dakki, M., Baouab, R. E. et El Agbani, M. A. (1989). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1989*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 20 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 12).
- Dakki, M., Chillasse, L. et El Agbani, M.A. (2003). *Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR)*, [En ligne]. http://www.wetlands.org/reports/ris/1MA003_RISr05.pdf. (Page consultée le 6 juillet 2010).
- Dakki, M., El Agbani, M. A., Qninba, A. et Benhoussa A. (1995). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1995*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 32 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 18).
- Dakki, M., Qninba, A., El Agbani, M. A. et Benhoussa, A. (2002). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : 1996-2000*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 30 p. (Travaux de l'Institut Scientifique, Série Zoologie, N° 45).
- Delany, S. (2005a). Guidelines for National Coordinators of the International Waterbird Census (IWC). In Wetlands International. *Biodiversity & Waterbirds, International Waterbird Census (IWC)*, [En ligne]. <http://www.wetlands.org/LinkClick.aspx?fileticket=zNosriCQP3k%3d&tabid=773&mid=5895> (Page consultée le 11 octobre 2010).

- Delany, S. (2005b). Guidelines for participants in the International Waterbird Census (IWC). In Wetlands International. *Biodiversity & Waterbirds, International Waterbird Census (IWC)*, [En ligne]. <http://www.wetlands.org/LinkClick.aspx?fileticket=XwyVOhMIKu0%3d&tabid=773&mid=5895> (Page consultée le 11 octobre 2010).
- De Leo, G. A. and Levin, S. (1997). The multifaceted aspects of ecosystem integrity. *Conservation Ecology*, vol. 1, n° 1, article 3, [En ligne]. <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art3/> (Page consultée le 11 juin 2010).
- DeLuca, W. V., Studds, C. E., King, R. S. and Marra, P. P. (2008). Coastal urbanization and the integrity of estuarine waterbird communities: Threshold responses and the importance of scale, *Biological Conservation*, vol. 141, n° 11, p. 2669-2678.
- DeLuca, W. V., Studds, C. E., Rockwood, L. L. and Marra, P. P. (2004). Influence of land use on the integrity of marsh bird communities of Chesapeake Bay, USA, *Wetlands*, vol. 24, n° 4, p. 837-847.
- Département de l'Environnement du Maroc (2010). *Centre d'Échange d'Information sur la Biodiversité du Maroc, Convention sur la Diversité Biologique, Parcs Nationaux*, [En ligne]. http://ma.chm-cbd.net/manag_cons/esp_prot/stat_nat/parc_nat/ (Page consultée le 11 octobre 2010).
- Dumont, H. J., Miron, I., Dall'Asta, U., Decraemer, W., Claus, C. and Somers D. (1973). Limnological Aspects of Some Moroccan Atlas Lakes, with Reference to Some Physical and Chemical Variables, the Nature and Distribution of the Phyto- and Zooplankton, Including a Note on Possibilities for the Development of an Inland Fishery. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, vol. 58, n° 1, p. 33-60.
- Duncan, P., Hewison, A. J. M., Houte, S., Rosoux, R., Tournebize, T., Dubs, F., Burel, F. and Bretagnolle, V. (1999). Long-term changes in agricultural practices and wildfowling in an internationally important wetland, and their effects on the guild of wintering ducks. *Journal of Applied Ecology*, vol. 36, n° 1, p. 11-23.
- El Agbani, M. A. (1997). *L'hivernage des anatidés au Maroc : principales espèces, zones humides d'importance majeure et propositions de mesures de protection*. Thèse de doctorat d'État ès-Sciences, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 200 p.
- El Agbani, M. A. et Dakki, M. (1994). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1994*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 30 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 17).
- El Agbani, M. A. et Dakki, M. (1992). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1992*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 32 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 15).

- El Agbani, M. A., Baouab, R. E. et Dakki, M. (1990). *Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1990*. Rabat, Université Mohammed V, Institut Scientifique, 26 p. (Documents de l'Institut Scientifique, N° 13).
- El Idrissi, M. (1999). La forêt dans l'économie nationale. In Mhirit, O. et Blerot, P. *Le grand livre de la forêt marocaine* (p. 182-190). Sprimont, Pierre Mardaga éditeur.
- El Jihad, M. D. (2003). Les sécheresses saisonnières dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia (Maroc central) : aspects et fréquences. *Sécheresse*, vol. 14, n° 3, p. 157-167.
- Elmberg, J., Nummi, P., Pöysä, H. and Sjöberg, K. (1994). Relationships Between Species Number, Lake Size and Resource Diversity in Assemblages of Breeding Waterfowl. *Journal of Biogeography*, vol. 21, n° 1, p. 75-84.
- Everard, M. (2008). Selection of taxa as indicators of river and freshwater wetland quality in the UK. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 18, n° 6, p. 1052-1061.
- Farinha, J. C., Costa, L., Zalidis, G., Mantzavelas, A., Fitoka, E., Hecker, N. and Tomàs Vives, P. (1996). *MedWet Volume III: Mediterranean Wetland Inventory: Habitat Description System*. Lisboa, Instituto da Conservação da Natureza, Wetlands International, 87 p.
- Fernández, J. M., Selma, M. A. E., Aymerich, F. R., Sáez, M. T. R. and Fructuoso, M. F. C. (2005). Aquatic birds as bioindicators of trophic changes and ecosystem deterioration in the Mar Menor lagoon (SE Spain). *Hydrobiologia*, vol. 550, n° 1, p. 221-235.
- Ficetola, G. F., Sacchi, R., Scali, S., Gentili, A., De Bernardi, F. and Galeotti, P. (2007). Vertebrates respond differently to human disturbance: implications for the use of a focal species approach. *Acta Oecologica*, vol. 31, n° 1, p. 109-118.
- Flower, R. and Foster, I. D. L. (1992). Climatic implications of recent changes in lake level at Lac Azigza (Morocco). *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 163, n° 1, p. 91-96.
- Found, C., Webb, S. M. and Boyce, M. S. (2008). Selection of lake habitats by waterbirds in the boreal transition zone of northeastern Alberta. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 86, n° 4, p. 277-285.
- Francoeur, M. (2008). *Étude du pyrèthre d'Afrique (Anacyclus pyrethrum) en vue de sa conservation au sein du parc national d'Ifrane, Ifrane, Maroc*. Rapport de stage de maîtrise en écologie internationale, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 74 p.

- Gagliardi, A., Martinoli, A., Preatoni, D., Wauters, L. A. and Tosi, G. (2006). Behavioral Responses of Wintering Great Crested Grebes to Dissuasion Experiments: Implications for Management. *Waterbirds*, vol. 29, n° 1, p. 105-114.
- Gardarsson, A. and Einarsson, A. (1994). Responses of breeding duck populations to changes in food supply. *Hydrobiologia*, vol. 279-280, n° 1, p. 15-27.
- GEF, Global Environment Facility. (2010). *Global Environment Facility, Investing in our Planet*, [En ligne]. <http://www.thegef.org/gef/home> (Page consultée le 11 octobre 2010).
- Gibbons, R. E and Withers, K. (2006). Habitat Preferences of Surface-Diving Waterbirds and American White Pelicans Wintering in Redfish Bay, Texas. *The Southwestern Naturalist*, vol. 51, n° 1, p. 103-107.
- Goeury, D. (2007). Place et rôle des ONG dans l'acceptation des parcs nationaux : le cas du Haut-Atlas oriental marocain. *Géocarrefour*, vol. 82, n° 4, p. 231-241.
- GOMAC, Groupe d'ornithologie du Maroc. (s.d.). *Le GOMAC, groupe d'ornithologie du Maroc*, [En ligne]. [http://perso.menara.ma/gomac/pr%E9sentation%20du%20GOMAC%20\(groupe%20d'ornithologie%20du%20Maroc\).html](http://perso.menara.ma/gomac/pr%E9sentation%20du%20GOMAC%20(groupe%20d'ornithologie%20du%20Maroc).html). (Page consultée le 13 mai 2009).
- González-Gajardo, A., Sepúlveda, P. V. and Schlatter, R. (2009). Waterbird Assemblages and Habitat Characteristics in Wetlands: Influence of Temporal Variability on Species-Habitat Relationships. *Waterbirds*, vol. 32, n° 2, p. 225-233.
- Green, A. J. (2000). *Threatened Wetlands and Waterbirds in Morocco : A Final Report*. [En ligne]. <http://www.ebd.csic.es/andy/MarocReport.pdf>. (Page consultée le 16 février 2009).
- Green, A. J. (1998). Comparative feeding behaviour and niche organization in a Mediterranean duck community. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 76, n° 3, p. 500-507.
- Green, A. J. and El Hamzaoui, M. (2000). Diurnal behaviour and habitat use of nonbreeding Marbled Teal, *Marmaronetta angustirostris*. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 78, n° 12, p. 2112-2118.
- Green, A. J. y Figuerola, J. (2003). Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales. In Paracuellos, M. *Ecología, manejo y conservación de los humedales* (p. 47-60). Almería, Instituto de Estudios Almerienses.
- Green, A. J., El Hamzaoui, M., El Agbani, M. A. and Franchimont, J. (2002). The conservation status of Moroccan wetlands with particular reference to waterbirds and to changes since 1978. *Biological Conservation*, vol. 104, n° 1, p. 71-82.

- Haddou. (s.d.). Chantiers de Jeunesse Marocaine Ainleuh. In Tanmia. (s.d.). *Le portail Tanmia.ma*, [En ligne]. http://www.tanmia.ma/article.php3?id_article=3487 (Page consultée le 21 octobre 2010).
- Haig, S. M., Mehlman, D. W. and Oring, L. W. (1998). Avian Movements and Wetlands Connectivity in Landscape Conservation. *Conservation Biology*, vol. 12, n° 4, p. 749-758.
- Hamel, J. (2009). *Implantation d'une gestion durable et concertée pour la conservation des oiseaux aquatiques, Site Ramsar du lac d'Afennourir, parc national d'Ifrane, Maroc*. Rapport de stage de maîtrise en écologie internationale, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 184 p.
- Hanan, A. et Mhirit, O. (1999). La forêt est-elle menacée? In Mhirit, O. et Blerot, P. *Le grand livre de la forêt marocaine* (p. 260-266). Sprimont, Pierre Mardaga éditeur.
- Haramis, G. M. and Thompson, D.Q. (1985). Density-production characteristics of box-nesting Wood Ducks in a Northern Greentree impoundment. *Journal of Wildlife Management*, vol. 49, n° 2, p. 429-436.
- Hargeby, A., Andersson, G., Blindow, I. and Johansson, S. (1994). Trophic web structure in a shallow eutrophic lake during a dominance shift from phytoplankton to submerged macrophytes. *Hydrobiologia*, vol. 279/280, n° 1, p. 83-90.
- Hilty, J. and Merenlender, A. (2000). Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, vol. 92, n° 2, p. 185-197.
- Hoyer, M. V. and Canfield, D. E. Jr. (1994). Bird abundance and species richness on Florida lakes: influence of trophic status, lake morphology, and aquatic macrophytes. *Hydrobiologia*, vol. 279/280, n° 1, p. 107-119.
- Idestam-Almquist, J. (1998). Waterfowl Herbivory on *Potamogeton pectinatus* in the Baltic Sea. *Oikos*, vol. 81, n° 2, p. 323-328.
- IFMT, Institut de la francophonie pour la médecine tropicale. (2006). *Lutte antivectorielle (contre les moustiques vecteurs), Lutte biologique*, [En ligne]. http://www.ifmt.auf.org/IMG/pdf/Lutte_biologique.antivecteurs-MS-2006.pdf (Page consultée le 6 juillet 2010).
- IUCN, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2010). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.2*, [En ligne]. <http://www.iucnredlist.org/>. (Page consultée le 12 juillet 2010).
- Jacobsen, O. W. (1996). Habitat Selection by Breeding Eurasian Wigeon (*Anas Penelope* L.) in Western Norway. *Gibier Faune Sauvage*, vol. 13, n° 2, p. 667-679.

- Jehl, J. R. Jr., Boyd, W. S., Paul, D. S. and Anderson, D. W. (2002). Massive Collapse and Rapid Rebound: Population Dynamics of Eared Grebes (*Podiceps nigricollis*) During an ENSO Event. *The Auk*, vol. 119, n° 4, p. 1162-1166.
- Kantrud, H. A. (1986). *Effects of Vegetation Manipulation on Breeding Waterfowl in Prairie Wetlands – A Literature Review*. Washington, U.S. Fish and Wildlife Service, 15 p. (Fish and wildlife technical report, n° 3).
- Karrouk, M.-S. (2007). Climate Change and its Impacts in Morocco. In Mellouki A. and Ravishankara, A. R. *Regional Climate Variability and its Impacts in the Mediterranean Area*. (p. 253-267). Boulder, Springer Netherlands. (Series IV: Earth and Environmental Sciences – vol. 79).
- Kingsford, R. T. (1999). Aerial survey of waterbirds on wetlands as a measure of river and floodplain health. *Freshwater Biology*, vol. 41, n° 2, p. 425-438.
- Klein, M. L., Humphrey, S. R. and Percival, H. F. (1995). Effects of Ecotourism on Distribution of Waterbirds in a Wildlife Refuge. *Conservation Biology*, vol. 9, n° 6, p. 1454-1465.
- Konter, A. (2007). Response of Great Crested Grebes *Podiceps cristatus* to Storm Damage of Nests. *Waterbirds*, vol. 30, n° 1, p. 140-143.
- Korschgen, C. E. and Dahlgren, R. B. (1992). *Human Disturbances of Waterfowl: Causes, Effects, and Management*. Washington, U.S. Fish and Wildlife Service, 8 p. (Fish and Wildlife Leaflet 13.2.15.)
- Kushlan, J. A. (1993). Colonial Waterbirds as Bioindicators of Environmental Change. *Colonial Waterbirds*, vol. 16, n° 2, p. 223-251.
- Lambeck, R. J. (1997). Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation. *Conservation Biology*, vol. 11, n° 4, p. 849–856.
- Larsen, S., Sorace, A. and Mancini, L. (2010). Riparian Bird Communities as Indicators of Human Impacts Along Mediterranean Streams. *Environmental Management*, vol. 45, n° 2, p. 261-273.
- Lemelin, L. V., Imbeau, L., Darveau M. and Bordage, D. (2007). Local, short-term effects of forest harvesting on breeding waterfowl and Common Loon in forest-dominated landscapes of Quebec. *Avian Conservation and Ecology - Écologie et conservation des oiseaux*, vol. 2, n° 2, article 10, [En ligne]. <http://www.ace-eco.org/vol2/iss2/art10>.
- Liang, S.-H., Shieh, B.-S. and Fu, Y.-S. (2002). A Structural Equation Model for Physiochemical Variables of Water, Benthic Invertebrates, and Feeding Activity of

- Waterbirds in the Sitsao Wetlands of Southern Taiwan. *Zoological Studies*, vol. 41, n° 4, p. 441-451.
- Lillie, R. A. and Evrard, J. O. (1994). Influence of macroinvertebrates and macrophytes on waterfowl utilization of wetlands in the Prairie Pothole Region of northwestern Wisconsin. *Hydrobiologia*, vol. 279-280, n° 1, p. 235-246.
- Loh, J., Green, R. E., Ricketts, T., Lamoreux, J., Jenkins, M., Kapos, V. and Randers, J. (2005). The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 360, n° 1454, p. 289–295.
- Ma, Z., Li, B., Zhao, B., Jing, K., Tang, S. and Chen, J. (2004). Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? – A case study on Chongming Island, China. *Biodiversity and Conservation*, vol. 13, n° 2, p. 333–350.
- Martin, J. (1981). *Le Moyen Atlas central. Étude géomorphologique*. Rabat, Éditions du service géologique du Maroc, 447 p. (Notes et Mémoires du Service Géologique, n° 258 et 258 bis).
- Mawdsley, J. and O'Malley, R. (2009). Development of multi-species indicators for the Nevada Wildlife Action Plan. *Ecological Indicators*, vol. 9, n° 5, p. 1030-1036.
- MDDEP, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. (2002). Glossaire des indicateurs d'état. In MDDEP. *Site du MDDEP*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/sys-image/glossaire2.htm#ibg> (Page consultée le 23 septembre 2010).
- MedWetCoast. (2003). *Un centre de recherche pour la protection des zones humides au Maroc*, [En ligne]. http://vinc.s.free.fr/article.php3?id_article=199 (Page consultée le 11 octobre 2010).
- Mestour, A. (1999). L'aménagement pour la conservation et l'utilisation de la biodiversité. In Mhirit, O. et Blerot, P. *Le grand livre de la forêt marocaine* (p. 145-157). Sprimont, Pierre Mardaga éditeur.
- Milian, J. (2007). Le dilemme entre développement et protection dans les montagnes du Maroc - le cas des parcs du Moyen Atlas. *Géocarrefour*, vol. 82, n° 4, p. 177-186.
- Mistry, J., Berardi, A. and Simpson, M. (2008). Birds as indicators of wetland status and change in the North Rupununi, Guyana. *Biodiversity and Conservation*, vol. 17, n° 10, p. 2383-2409.
- Morgan, N. C. (1982). An Ecological Survey of Standing Waters in North West Africa: III. Site Description for Morocco. *Biological Conservation*, vol. 24, n° 3, p. 161-182.

- Morgan, N. C. and Boy, V. (1982). An Ecological Survey of Standing Waters in North West Africa : I. Rapid Survey and Classification. *Biological Conservation*, vol. 24, n° 1, p. 5-44.
- Morrison, M. L. (1986). Bird populations as indicators of environmental change. *Current Ornithology*, vol. 3, n° 1, p. 429-451.
- MRNF, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. (2010). Permis et autorisations. In Gouvernement du Québec. (2010). *Ressources naturelles et Faune*, [En ligne]. <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/guichet/permis/permis-information-faune.jsp?ID=5454> (Page consultée le 21 octobre 2010.)
- Mulhern, J. H., Nudds, T. D. and Neal, B. R. (1985). Wetland Selection by Mallards and Blue-Winged Teal. *The Wilson Bulletin*, vol. 97, n° 4, p. 473-485.
- Murkin, H. R and Kadlec, J. A. (1986). Relationships between Waterfowl and Macroinvertebrate Densities in a Northern Prairie Marsh. *The Journal of Wildlife Management*, vol. 50, n° 2, p. 212-217.
- Murkin, H. R., Murkin, E. J. and Ball, J. P. (1997). Avian Habitat Selection and Prairie Wetland Dynamics: A 10-Year Experiment. *Ecological Applications*, vol. 7, n° 4, p. 1144–1159.
- Mwaura, F., Mavuti, K. M. and Wamicha, W. N. (2002). Biodiversity characteristics of small high-altitude tropical man-made reservoirs in the Eastern Rift Valley, Kenya. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, vol. 7, n° 1, p. 1–12.
- Newton, I. (1994). The role of nest sites in limiting the numbers of hole-nesting birds: a review. *Biological Conservation*, vol. 70, n° 3, p. 265-276.
- Niemi, G. J. and McDonald, M. E. (2004). Application of Ecological Indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 35, n° 1, p. 89-111.
- ONEM, Observatoire national de l'environnement du Maroc. (2001). Étude nationale sur la biodiversité, Rapport de synthèse. In Département de l'Environnement du Maroc. *Centre d'Échange d'Information sur la Biodiversité du MAROC, Convention sur la Diversité Biologique. Étude Nationale sur la Biodiversité (Fr)*, [En ligne]. http://ma.chm-cbd.net/implementation/doc_product_cdb_ma/enb_ma/raosyntenb_ma (Page consultée le 4 juin 2010).
- Ortubay, S., Cussac, V., Battini, M., Barriga, J., Aigo, J., Alonso, M., Reissig, M., Yoshioka, J. and Fox, S. (2006). Is the decline of birds and amphibians in a steppe lake of northern Patagonia a consequence of limnological changes following fish introduction? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 16, n° 1, p. 93-105.

- Owino, A. O., Bennun, L. A., Nasirwa, O. O. and Oyugi, J. O. (2002). Trends in Waterbird Numbers in the Southern Rift Valley of Kenya, 1991-2000. *Waterbirds*, vol. 25, n° 2, p. 191-201.
- Owino, A. O., Oyugi, J. O., Nasirwa, O. O. and Bennun, L. A. (2001). Patterns of variation in waterbird numbers on four Rift Valley lakes in Kenya, 1991–1999. *Hydrobiologia*, vol. 458, n° 1-3, p. 45-53.
- Paillisson, J.-M. and Marion, L. (2006). Can small water level fluctuations affect the biomass of *Nymphaea alba* in large lakes? *Aquatic Botany*, vol. 84, n° 3, p. 259-266.
- Paillisson, J.-M., Reeber, S. and Marion, L. (2002). Bird assemblages as bio-indicators of water regime management and hunting disturbance in natural wet grasslands. *Biological Conservation*, vol. 106, n° 1, p. 115-127.
- Paracuellos, M. (2006). How can habitat selection affect the use of a wetland complex by waterbirds? *Biodiversity and Conservation*, vol. 15, n° 14, p. 4569-4582.
- Pearson, D. L. and Carroll, S. S. (1998). Global Patterns of Species Richness: Spatial Models for Conservation Planning Using Bioindicator and Precipitation Data. *Conservation Biology*, vol. 12, n° 4, p. 309-821.
- Pehlak, H., Lõhmus, A., Kuresoo, A. and Luigujõe, L. (2006). Land-based Census of Wintering Waterfowl: Reliability and Conservation Implications. *Waterbirds*, vol. 29, n° 1, p. 76-80.
- Poisson, J. (2009). *Impact de la gestion participative sur l'efficacité de conservation dans les parcs nationaux des pays sous-développés*. Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 121 p.
- Ponyi, J. E. (1994). Abundance and feeding of wintering and migrating aquatic birds in two sampling areas of Lake Balaton in 1983-1985. *Hydrobiologia*, vol. 279-280, n° 1, p. 63-69.
- Pourreau, Q. (2005). *Diagnostic socio-économique, institutionnel et écologique de l'aguelmam Afennourir (Maroc) : Contribution à la réalisation du plan de gestion d'un site Ramsar*. Rapport de stage de DESS Gestion des zones humides, Biodiversité et ingénierie, Université d'Angers, France, 47 p.
- Pöysä, H. (1983). Resource Utilization Pattern and Guild Structure in a Waterfowl Community. *Oikos*, vol. 40, n° 2, p. 295-307.
- Prendergast, J. R. and Eversham, B. C. (1997). Species richness covariance in higher taxa: empirical tests of the biodiversity indicator concept. *Ecography*, vol. 20, n° 2, p. 210-216.

- Quan, R-C., Wen, X. and Yang, X. (2002). Effects of human activities on migratory waterbirds at Lashihai Lake, China. *Biological Conservation*, vol. 108, n° 3, p. 273-279.
- Rodrigues, M. et Michelin, V. B. (2005). Riqueza e diversidade de aves aquáticas de uma lagoa natural no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, vol. 22, n° 4, p. 928-935.
- Rönkä, M. T. H., Saari, C. L. V., Lehtikoinen, E. A., Suomela, J. and Häkkinen, K. (2005). Environmental changes and population trends of breeding waterfowl in northern Baltic Sea. *Annales Zoologici Fennici*, vol. 42, n° 6, p. 587-602.
- Russell, I. A., Randall, R. M., Randall, B. M. and Hanekom, N. (2009). Relationships between the biomass of waterfowl and submerged macrophytes in a South African estuarine lake system. *Ostrich*, vol. 80, n° 1, p. 35–41.
- Sahib, N., Rhazi, L., Grillas, P. et Rhazi, M. (2008). Impact des perturbations physiques du sol sur les communautés de plantes dans les mares temporaires du Maroc occidental. *Au fil des mares... la lettre d'information du Pôle-relais Mares et Mouillères de France*, n° 6/7, p. 15-16.
- SCBD, Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2010). *2010 Année internationale de la biodiversité*, [En ligne]. <http://www.cbd.int/2010/biodiversity/> (Page consultée le 5 novembre 2010).
- Secrétariat de la Convention de Ramsar. (2007a). *Compétences participatives: Mise en œuvre et renforcement de la participation des communautés locales et des populations autochtones à la gestion des zones humides*. 3^e édition, Gland, Secrétariat de la Convention de Ramsar, 114 p. (Manuels Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides, vol. 5.).
- Secrétariat de la Convention de Ramsar. (2007b). *Gestion des zones humides: Cadres pour la gestion des zones humides d'importance internationale et autres zones humides*. 3^e édition, Gland, Secrétariat de la Convention de Ramsar, 102 p. (Manuels Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides, vol. 16.).
- Secrétariat de la Convention de Ramsar. (s.d.). *The Ramsar Convention on Wetlands*, [En ligne]. http://www.ramsar.org/cda/fr/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_1__ (Page consultée le 5 novembre 2010).
- SEO/BirdLife et HCEFLCD. (2005). *Résumé des principaux résultats du projet*, [En ligne]. <http://www.seo.org/media/docs/Resumen%20del%20proyecto%20franc%C3%A9s.pdf>. (Page consultée le 11 octobre 2010).
- Simberloff, D. (1998). Flagships, Umbrellas, and Keystones: Is Single-Species Management Passed in the Landscape Era? *Biological Conservation*, vol. 83, n° 3, p. 247-257.

- Sogreah et Ttoba. (2004). *Études d'aménagement concerté des forêts et des parcours collectifs de la province d'Ifrane, Composante I : Études générales, Études socio-économiques de base, Rapport n° 3-1, Version définitive*. Azrou, Service provincial des Eaux et Forêts d'Ifrane, 127 p.
- Solman, V. E. F. (1945). The Ecological Relations of Pike, *Esox Lucius*, L., and Waterfowl. *Ecology*, vol. 26, n° 2, p. 157-170.
- SPANNA, Société Protectrice des Animaux et de la Nature. (s.d.). Site de la Société Protectrice des Animaux et de la Nature, [En ligne].
<http://www.spana.org.ma/index.htm> (Page consultée le 11 octobre 2010).
- Stapanian, M. A., Waite, T. A., Krzys, G., Mack, J. J. and Micacchion, M. (2004). Rapid assessment indicator of wetland integrity as an unintended predictor of avian diversity. *Hydrobiologia*, vol. 520, n° 1-3, p. 119-126.
- Suter, W. (1994). Overwintering waterfowl on Swiss lakes: how are abundance and species richness influenced by trophic status and lake morphology? *Hydrobiologia*, vol. 279-280, n° 1, p. 1-14.
- Temple, S. A. and Wiens, J. A. (1989). Bird populations and environmental changes: can birds be bio-indicators? *American Birds*, vol. 43, n° 2, p. 260-270.
- Tomàs Vives, P., Riddiford, N., Grillas, P., Finlayson, M., Hecker, N., Rufino, R. et Goldsmith, B. (1996). *Suivi des zones humides méditerranéennes, Guide méthodologique*. Lisbonne, Publication MedWet, Wetlands International, 150 p.
- Veraart, J. A., de Groot, R. S., Perello, G., Riddiford, N. J., and Roijackers, R. (2004). Selection of (bio) indicators to assess effects of freshwater use in wetlands: a case study of s'Albufera de Mallorca, Spain. *Regional Environmental Change*, vol. 4, n° 2-3, p. 107-117.
- Wetlands International. (2007a). *Ramsar Sites Information Service*, [En ligne].
<http://ramsar.wetlands.org/> (Page consultée le 5 novembre 2010).
- Wetlands International. (2007b). *Wetlands for water and life*, [En ligne].
<http://www.wetlands.org/> (Page consultée le 14 décembre 2010).
- Woodley, S. (1993). Monitoring and measuring ecosystem integrity in Canadian National Parks. In Woodley, S., Francis, G. and Kay, J. *Ecosystem Integrity and the Management of Ecosystems* (p. 155-176). USA, St. Lucie Press.
- Woolhead, J. (1994). Birds in the trophic web of Lake Esrom, Denmark. *Hydrobiologia*, vol. 279-280, n° 1, p. 29-38.

Zöckler, C. (2005). Migratory bird species as indicators for the state of the environment.
Biodiversity, vol. 6, n° 3, p. 7-13.

ANNEXE 1

BILAN DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

Sources :

- Chillasse (2004, p. 28).
- Chillasse et Dakki (2004, p. 340).
- Dakki et al. (1995, p. 4).
- El Agbani et Dakki (1992, p. 31).
- Green et al. (2002, p. 73, 75 et 77).
- Hamel (2009, p. 16).
- Mestour (1999, p. 153-155).
- Morgan (1982, p. 163).

Plans d'eau naturels

| N° | Nom ^a (et variantes) | Altitude (m) ^{d,e} | Superficie en 1978 (ha) ^e | Superficie en 1999 (ha) ^d | Superficie "officielle" (ha) ^c | Profondeur max (m) ^{c,e} | Profondeur moy (m) ^c | SIBE (priorité) ^f |
|------|--|--------------------------------|--|--|---|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 4010 | Dayet 'Awa (Dayet Awa ^{b,c}) | 1 460 | 140 | 140 | 140 | 3 | 0,22 | 3 |
| 4050 | Aguelmam Afourgagh | 1 380 | 24 | 5 | 12 | 9 | 2,29 | |
| 4060 | Agoulmame (La'nocer) (Annoceur ^e) | 1 350 | 141 | 0 | | 2 | | |
| 4070 | Dayet Iffer | 1 440 | | 5 | 6 | 12 | 4,42 | 3 |
| 4100 | Dayet Ifrah | 1 650 | 191 | 100 | 250 | 8 | 0,44 | 3 |
| 4140 | Aguelmam N'Tghalwine (Netglouine ^b , Tghalouine ^d) | | | 5 | | | | |
| 4160 | Aguelmam Afennourir | 1 796 | | 60 | 300* | 1,5 | 0,07 | 1 |
| 4220 | Aguelmam N'Tifounassine (Tifounasine ^b , Tifounassine ^c) | 1 913 | 35 | 35 | 70 | 14 | 1,48 | 2 |
| 4230 | Aguelmam Wiwane | 1 630 | | | 40 | 14 | 1,95 | 3 |
| 4240 | Aguelmams Sidi Ali- Ta'nzoult (Sidi Ali ^{b,c}) | 2 050 | 250 | 150 | 300 | 37 | 1,9 | 2 |
| 4270 | Aguelmam Azegza | 1 470 | 60 | 60 | 50 | 26-36 | 3,2 | 3 |
| 4280 | Adar Oujdir (Aguelmam Oujdir ^b) | | | | | | | |
| 4290 | Aguelmame Mi'ammi (Miami ^b) | 1 460 | | | 60 | 2 | 1,2 | 3 |
| 4300 | Tigalmamine (Tiguelmamine ^{b,c}) | 1 650 | | | 13 | 20 | 4,9 | |
| 4340 | Aguelmam Aït Ichou N'Difrou (Aït Ichou ^b) | | | | | | | |
| 4350 | Aguelmam Abekhane | 1 670 | | 30 | 45 | 12 | 1,58 | 3 |
| 4390 | Lac d'Isly (Iseli ^e) | 2 270 | 221 | 221 | | 90 | | 2 |
| 4400 | Lac Tislite (Lac Tislie ^d) | 2 250 | 83 | 83 | | 20 | | 1 |
| 4440 | Lac d'Ifni | | | | | | | |

^a Dakki et al. (1995, p. 4).

^b Chillasse (2004, p. 28).

^c Selon le Centre national d'hydrobiologie et de pisciculture d'Azrou (Chillasse et Dakki, 2004, p. 340).

^d Green et al. (2002, p. 73, 75 et 77).

^e Morgan (1982, p. 163).

^f Mestour (1999, p. 153-155).

* Superficie corrigée à 125 ha par Hamel (2009, p. 16).

Plans d'eau artificiels

| N° | Nom ^a et variantes | Altitude (m) ^c | Superficie en 1978 (ha) ^e | Superficie en 1999 (ha) ^d | Superficie "officielle" (ha) ^c | Profondeur max (m) ^c | Profondeur moy (m) ^c | Observations ^c | SIBE (priorité) ^g |
|------|---|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 4020 | Plan d'eau de Sidi Mimoun | 1 530 | | 2 | 7,3 | 3,5 | 2 | Plan d'eau à permis spécial | |
| 4080 | Plan d'eau de Mou'Ali (Mouali 1 ^c) | 560 | | | 1,75 | 4,2 | 2 | Réserve permanente de pêche | |
| 4090 | Dayet Hachlaf * | 660 | 202 | 0 | 14 | 3,4 | 2 | Plan d'eau à permis spécial | |
| 4110 | Plan d'eau de Zerrouqa (Zerrouka I et II ^{c,b}) | 1 600 | | 5 | 3,5 | 3 | 1,5 | Plan d'eau à permis spécial | 3 |
| | | 1 600 | | | 4 | 2,5 | 1,5 | Réserve permanente de pêche | |
| 4120 | Plan d'eau d'Ifrane | | | | | | | | |
| 4150 | Plans d'eau d'Amghass (I à VI) ^c | 1 400 | | | 3 | 2 | 1,5 | Plan d'eau à permis spécial | 3 |
| | | 1 400 | | | 3,2 | 3 | 1,5 | Plan d'eau à permis spécial | |
| | | 1 400 | | | 7 | 3,2 | 1,5 | Élevage de perche noire | |
| | | 1 200 | | | 0,8 | 1,5 | 0,8 | Élevage de brochet | |
| | | 1 200 | | | 1,5 | 1,5 | 0,8 | Réserve permanente pour perche noire | |
| | | 1 200 | | | 3 | 3 | 1,5 | Élevage de brochet | |
| NA | Ras El Ma (I et II) ^c | 1 550 | | | 0,5 | 3 | 1,5 | Parc à géniteurs de truite fario | |
| | | 1 550 | | | 1 | 3,4 | 1,5 | Parc à géniteurs de truite fario | |
| NA | Agumghem ^c | 940 | | | 3,5 | 4,1 | 2 | Élevage de perche noire | |
| NA | Aïn Marqa ^c | 1 470 | | | 4,2 | 4,5 | 2 | Plan d'eau à permis spécial | |
| NA | Ribâa ^c | 950 | | | 2,5 | 2,8 | 1,5 | Élevage de perche noire | |

^a Dakki et al. (1995, p. 4).

^b Chillasse (2004, p. 28).

^c Selon le Centre national d'hydrobiologie et de pisciculture d'Azrou (Chillasse et Dakki, 2004, p. 340).

^d Green et al. (2002, p. 73, 75 et 77).

^e Morgan (1982, p. 163).

^f Mestour (1999, p. 153-155).

* Dayet Hachlaf était considéré comme un lac naturel par Green et al. (2002) et Chillasse (2004).

**Plans d'eau listés dans les sites de recensements d'oiseaux d'eau du Maroc mais
sans autres mentions**

| N° | Nom |
|------|----------------------------|
| 4030 | Dayet Masker |
| 4040 | Plan d'eau de 'Aïn Mersa |
| 4045 | Barrage Amane Syernine |
| 4130 | Dayas de Michlifen |
| 4170 | Aguelmam Mers Tisliwine |
| 4180 | Aguelmam Bou Icherwiden |
| 4190 | Aguelmams N'Tidwit-Agourar |
| 4200 | Ighboula La'chour |
| 4210 | Aguelmam Nad'Adim |
| 4250 | Aguelmam Azougagh |
| 4260 | Aguelmam Ticharat |
| 4310 | Lac Noir des Aït Mahi |
| 4320 | Barrage de Zayda |
| 4360 | Aguelmam Boutouna |
| 4370 | Aguelmam Boutherra |
| 4380 | Aguelmam Moulay Yaqoub |
| 4410 | Barrage Bin Al Widane |
| 4420 | Barrage Hassan Ad-Dakhil |
| 4430 | Plan d'eau l'Oukhameden |

Sources : Dakki et al. (1995, p. 4); El Agbani et Dakki (1992, p. 31).

ANNEXE 2

PRINCIPALES ESPÈCES D'OISEAUX LIÉES AUX LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

Sources :

Green (1998, p. 501).

Green (2000, p. 22).

Green and El Hamzaoui (2000, p. 2116).

Liang et al. (2002, p. 443-444).

ONEM (2001, p. 74-84).

Paracuellos (2006, p. 4573).

Recensements hivernaux d'oiseaux d'eau du Maroc :

Dakki et al. (2002), El Agbani et Dakki (1994), Dakki et El Agbani (1993), El Agbani et Dakki (1992), Dakki et al. (1991), El Agbani et al. (1990), Dakki et al. (1989), Beaubrun et al. (1988), Beaubrun et al. (1986).

Principales espèces d'oiseaux liées aux lacs de montagne marocains

| Ordre ¹ | Famille ¹ | Nom commun | Nom latin | Statut national ¹ | | | Alimentation ² | | |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|----|----|---------------------------|---|---|
| | | | | N | M | H | B | P | É |
| Anseriformes | Anatidae | Tadome casarca | <i>Tadorna ferruginea</i> | Nsr | | | x | | |
| | | Canard siffleur | <i>Anas penelope</i> | | | H | x | | |
| | | Canard chipeau | <i>Anas strepera</i> | No | | H | x | | |
| | | Sarcelle d'hiver | <i>Anas crecca</i> | | | H | x | | |
| | | Canard colvert | <i>Anas platyrhynchos</i> | Ns | | H | x | | |
| | | Canard pilet | <i>Anas acuta</i> | | M | H | x | | |
| | | Canard souchet | <i>Anas clypeata</i> | No | | H | x | | |
| | | Sarcelle d'été | <i>Anas querquedula</i> | | M | Hr | x | | |
| | | Sarcelle marbrée | <i>Marmaronetta angustirostris</i> | Nsr | | H | x* | | |
| | | Fuligule milouin | <i>Aythya ferina</i> | Nsr | | H | | x | |
| | | Fuligule morillon | <i>Aythya fuligula</i> | | | H | | x | |
| | | Fuligule nyroca | <i>Aythya nyroca</i> | Nsr | | H | | x | |
| | | Tadome de Belon | <i>Tadorna tadorna</i> | | | H | x | | |
| | | Nette rousse | <i>Netta rufina</i> | Nsr | | H | x | | |
| Colymbiformes | Podicipedidae | Grèbe castagneux | <i>Tachybaptus ruficollis</i> | Ns | | H | | x | |
| | | Grèbe huppé | <i>Podiceps cristatus</i> | Ns | | H | | x | |
| | | Grèbe à cou noir | <i>Podiceps nigricollis</i> | Ns | | H | | x | |
| Gruiformes | Rallidae | Poule d'eau | <i>Gallinula chloropus</i> | Ns | | H | x | | |
| | | Foulque macroule | <i>Fulica atra</i> | Ns | | H | | x | |
| | | Foulque à crête | <i>Fulica cristata</i> | Ns | | | x | | |
| | | Râle d'eau | <i>Rallus aquaticus</i> | Nsr | | H | | x | |
| Ciconiiformes | Ardeidae | Héron cendré | <i>Ardea cinerea</i> | Nr | M | H | | x | |
| | | Héron garde-bœuf | <i>Bubulcus ibis</i> | Ns | Mr | H | | x | |
| | | Aigrette garzette | <i>Egretta garzetta</i> | Ns | M | H | | x | |
| | Ciconiidae | Cigogne blanche | <i>Ciconia ciconia</i> | N | | H | | x | |
| Charadriiformes | Recurvirostridae | Échasse blanche | <i>Himantopus himantopus</i> | Ne/s | M | H | | x | |
| | Charadriidae | Petit gravelot | <i>Charadrius dubius</i> | Ns | M | H | | x | |
| | | Vanneau huppé | <i>Vanellus vanellus</i> | Nsr | | H | | x | |
| | Scolopacidae | Bécassine des marais | <i>Gallinago gallinago</i> | No? | M | H | | x | |
| | | Chevalier cul-blanc | <i>Tringa ochropus</i> | | M | H | | x | |
| | | Chevalier guignette | <i>Actitis hypoleucos</i> | | M | H | | x | |
| Laridae | Mouette rieuse | <i>Larus ridibundus</i> | | M | H | | x | | |
| Pélécaniiformes | Sulidae | Grand comoran | <i>Phalacrocorax carbo</i> | Ns | | H | | x | |
| Coraciiformes | Alcedinidae | Martin-pêcheur d'Europe | <i>Alcedo atthis</i> | Ns | | H | | | |
| Falconiformes | Accipitridae | Busard des roseaux | <i>Circus aeruginosus</i> | Ns | M | H | | | |
| | Pandionidae | Balbusard pêcheur | <i>Pandion haliaetus</i> | Nsr | M | H | | | |
| Passériiformes | Motacillidae | Pipit spioncelle | <i>Anthus spinoletta</i> | | | H | | | |
| | | Bergeronnette des ruisseaux | <i>Motacilla cinerea</i> | Ns | | H | | | |
| | | Bergeronnette grise | <i>Motacilla alba</i> | Ns | M | H | | | |

Statut national : N = espèce nicheuse, M = espèce migratrice, H = espèce hivernante, s = sédentaire, e = estivant, e/s = dont une partie de la population est estivante et l'autre sédentaire, r = rare, o = occasionnel, ? = statut incertain

Alimentation : B = barboteurs, P = plongeurs, É = échassiers

* Plongeur dans la classification (*Aythya*), mais barboteur dans son comportement (Green, 1998)

Références : ¹ ONEM (2001, p. 74-84),

² Green and El Hamzaoui (2000, p. 2116); Paracuellos (2006, p. 4573); Lianq et al. (2002, p. 443-444); Green (2000, p. 22).

ANNEXE 3

IMPORTANCE NATIONALE OU INTERNATIONALE DES LACS DE MONTAGNE MAROCAINS

Sources :

El Agbani (1997, p. 119-125).

Chillasse et al. (2001, p. 143).

Chillasse (2004, p. 181-194).

Importance nationale ou internationale des lacs de montagne marocains

| LACS | ÉTUDE 1 Recensements de 1990-94 (El Agbani, 1997) | | ÉTUDE 2 Recensements de 1990-1999 (Chillasse et al., 2001) | | ÉTUDE 3 Recensements de 1983-2000 (Chillasse, 2004) |
|--------------------------|--|---|--|--|--|
| | Espèces identificatrices de l'importance internationale | Espèces identificatrices de l'importance nationale (potentielle) | Espèces identificatrices de l'importance internationale | Espèces identificatrices de l'importance nationale (potentielle) | Espèces identificatrices de l'importance internationale |
| Ag. Afennourir | Tadorna ferruginea | Anas penelope Anas strepera Anas platyrhynchos Anas clypeata Aythya ferina (Anas acuta) (Aythya fuligula) | T. ferruginea Fulica cristata | A. penelope A. strepera A. platyrhynchos A. clypeata A. ferina Fulica atra (A. acuta) (A. fuligula) | T. ferruginea F. cristata |
| Ag. Sidi Ali | T. ferruginea | | T. Ferruginea F. cristata | A. penelope A. platyrhynchos F. atra (A. ferina) | T. Ferruginea F. cristata |
| Ag. Tifounassine | T. ferruginea | | T. Ferruginea F. cristata | A. platyrhynchos A. strepera A. penelope A. clypeata A. ferina F. atra | T. Ferruginea F. cristata |
| Dayet Ifrah | T. ferruginea | A. platyrhynchos (A. ferina) (A. fuligula) | T. Ferruginea F. cristata | A. platyrhynchos A. penelope F. atra (A. ferina) (A. fuligula) | T. Ferruginea F. cristata |
| Ag. Wiwane | T. ferruginea | A. platyrhynchos | T. ferruginea | A. platyrhynchos A. ferina F. atra | T. Ferruginea F. cristata |
| Dayet Awa | | A. strepera (A. crecca) (A. platyrhynchos) (A. nyroca) | F. cristata | A. crecca A. platyrhynchos A. clypeata A. Penelope A. strepera A. farina F. atra | F. cristata |
| Ag. Azegza | T. ferruginea | (A. platyrhynchos) | T. ferruginea | (A. platyrhynchos) | T. ferruginea F. cristata |
| Ag. Aberkhan | | F. atra (T. ferruginea) (A. platyrhynchos) | T. ferruginea | A. clypeata F. atra (A. ferina) | T. ferruginea |
| Afourgagh | | | | | T. ferruginea F. cristata |
| P.E. Zerrouka | | A. fuligula A. nyroca (A. ferina) | F. cristata | F. atra A. fuligula A. nyroca (A. ferina) | F. cristata |
| Aguelmam N'Tghalw ine | T. ferruginea | | | | |
| Plan d'eau d'Ifrane | | A. strepera A. platyrhynchos | | | |

ANNEXE 4

INDICATEURS RECOMMANDÉS POUR LE SUIVI DES ZONES HUMIDES

Source :

Modifié de Bennun (2001, p. 15).

Traduction libre

Indicateurs recommandés pour le suivi des zones humides

| THÉMATIQUES | VARIABLES À MESURER | RÉCOLTE DES DONNÉES |
|--|--|---|
| Perte de milieux humides | <ul style="list-style-type: none"> • Superficie de la zone humide • Superficie de certains types d'habitat | Images satellites, estimations lors des recensements |
| Régime de l'eau | <ul style="list-style-type: none"> • Profondeur de l'eau • Niveaux des eaux souterraines • Entrées d'eau • Sorties d'eau | Poteaux de profondeur permanents entretenus par les populations locales ou les gestionnaires |
| Eutrophisation/ Changements dans la qualité de l'eau | <ul style="list-style-type: none"> • Nitrates (eau et sédiments) • Phosphates (eau et sédiments) • Oxygène dissous • Potentiel Redox des sédiments • Transparence • Demande biologique en oxygène • pH • Densité bactériologique • Phytoplancton (densité, taille, biomasse, composition spécifique, diversité, etc.) • Macrophytes (composition spécifique, diversité, biomasse) • Macro-invertébrés (composition spécifique, diversité, biomasse) | Prise d'échantillons pour la qualité de l'eau et disque de Secchi lors des recensements |
| Pollution | <ul style="list-style-type: none"> • Taux de toxines dans l'eau, les sédiments, les végétaux et les animaux | |
| Surexploitation | <ul style="list-style-type: none"> • Poissons (nombre de prises, nombre de bateaux de pêche ou de pêcheurs, longueur des filets, abondance, composition spécifique, structure d'âges) • Végétation (superficie, qualité) • Oiseaux (bagues des oiseaux chassés, permis de chasse, abondance, composition spécifique, structure d'âges) • Tourisme/récréation (nombre de visiteurs, type de dérangements) | Données du département des Pêcheries, images satellites, estimations des superficies végétales lors des recensements d'oiseaux, groupes de chasseurs, autorité délivrant les permis de chasse, recensements annuels d'oiseaux par des volontaires, données de l'industrie du tourisme |
| Espèces exotiques | <ul style="list-style-type: none"> • Taille des populations • Structure d'âge • Superficie couverte • Densité ou abondance des organismes les contrôlant | Images satellites ou estimations des superficies lors des recensements d'oiseaux |
| Général | <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation des terres dans le bassin versant • Couverture végétale dans le bassin versant • Densité de population dans le bassin versant • Variables météorologiques • Décompte de certaines espèces importantes | Images satellites, données du département de l'Agriculture et du département de météorologie, recensements |

Les variables indiquées en gras sont celles qui pourraient facilement être intégrées à un programme de suivi simple, robuste et économique.

ANNEXE 5

TABLEAU SYNTHÈSE DES CORRÉLATIONS PRÉSENTÉES AU CHAPITRE 4

Sources variées (voir tableau).

(Voir fichier joint)