

Fadel I., El Khaddari A., Belahbib N. & Dahmani J.

**Résumé :** Les bryophytes sont des cormophytes non vasculaires d'un grand intérêt écologique. Avant toute étude exploratrice de ce groupe de végétaux, une synthèse bibliographique s'impose. Cette synthèse met l'accent sur la systématique des bryophytes qui est assez controversée, leur description, leur importance écologique et biologique et finit par présenter l'état des lieux des bryophytes au Maroc.

**Mots clefs :** bryophytes, biologie, écologie, intérêts.

**Samenvatting :** Bryofyten zijn niet-vasculaire cormophyten van groot ecologisch belang. Alvorens deze plantengroep nader te bestuderen, is een bibliografische synthese noodzakelijk. Deze synthese benadrukt de systematiek van de bryofyten, die nogal controversieel is, hun beschrijving, hun ecologisch en biologisch belang en geeft uiteindelijk de stand van zaken van bryofyten in Marokko weer.

**Sleutelwoorden :** bryofyten, biologie, ecologie, belangen

**Summary :** Bryophytes are non-vascular cormophytes of great ecological interest. Before any exploratory study of this group of plants, a bibliographical synthesis is necessary. This synthesis focuses on the systematics of bryophytes which is rather controversial, their description, their ecological and biological importance, and ends up by presenting the situational analysis of bryophytes in Morocco.

**Keywords :** bryophytes, biology, ecology, interests.

### Introduction

La flore du Maroc compte près de 4500 taxons vasculaires appartenant à 940 genres et 135 familles, dont environ 1100 taxons endémiques qui se cantonnent surtout dans les régions montagneuses du Rif et des Atlas (Fennane, 1996). Les bryophytes n'ont pas encore été suffisamment répertoriées et leurs caractéristiques biogéographiques restent fragmentaires. En effet, Fennane rapportait en 1996 que le nombre de bryophytes inventoriés au Maroc est de près de 350 taxons et que le nombre estimé avoisine les 500 espèces. Les bryophytes marquent discrètement les paysages végétaux de leur tapis vert, elles se rencontrent sur des substrats très variés tels que les surfaces humides des rochers, les sols, les murs, les troncs d'arbres et d'arbustes...

Si ces organismes sont considérés par des études diversifiées en Europe, en Amérique et en Asie, elles demeurent donc très peu étudiées au Maroc. La liste des bryophytes contenant 350 espèces et une dizaine d'endémiques rapportée par (Fennane, 1996) est très ancienne puisqu'elle a été établie sur la base de l'herbier de l'institut scientifique qui remonte aux années 1930, et non pas à partir des collectes d'échantillons. D'après Ahayoun *et al.* (2007), 507 mousses, 107 hépatiques et 5 anthocérottes ont été signalés au Maroc entre 1913 et 2011. Ces statistiques ont été présentées suite à la compilation des données de l'herbier de l'Institut scientifique de Rabat et des observations et travaux de tous les auteurs qui ont cité les espèces de bryophytes depuis le début du 20<sup>eme</sup> siècle. La bryoflore du Maroc compte donc, d'après cette compilation, 619 espèces, variétés et formes réparties dans 72 familles et 182 genres avec 82% de mousses, 17% d'hépatiques et 1% d'anthocérottes.

Il est bien connu que la diversité bryologique est une composante importante des écosystèmes terrestres et aquatiques. En plus de leur rôle dans la séquestration du carbone, ces petits végétaux peuvent renseigner sur l'état de salubrité d'un milieu donné étant de très bons bio-accumulateurs de métaux lourds (Zaouadzki *et al.* 2014 ; Kempfer *et al.*, 2017) et de polluants organiques (Foan *et al.*, 2014). Par ailleurs, des études se sont intéressées, aussi, au côté phytochimique de ces végétaux ; Krzaczkowski, (2008) a illustré la variété et l'originalité des composés actifs extraits des bryophytes et qui seraient des substances actives en pharmacologie antitumorale.

Il est donc intéressant et tout à fait justifié, avant toute étude expérimentale, de faire une synthèse générale sur les bryophytes et d'établir l'état des lieux de ce groupe d'organismes au Maroc. C'est l'objectif du présent travail.

### I. Les Bryophytes

Les bryophytes sont parmi les premières plantes terrestres dont l'origine est estimée entre 480 et 360 millions d'années (Kenrick & Crane, 1997). Elles sont parfois qualifiées de "fossiles vivants", du fait qu'elles sont très similaires aux plus vieux fossiles connus de bryophytes retrouvées jusqu'ici (Gradstein *et al.*, 2001).

Elles présentent de nombreuses homologies avec les algues vertes du groupe des Charophytes (Nabors, 2009). Ce sont des plantes non vasculaires représentées dans tous les continents, y compris l'Antarctique. Elles ont de petites tailles et passent souvent une grande partie de l'année en vie ralentie. Pour cela, leur observation n'est pas toujours aisée. Toutefois, les bryophytes représentent entre 15 000 (Gradstein *et al.*, 2001) et 25 000 espèces (Crum, 2001) dans le monde et constituent ainsi le deuxième phylum végétal après les plantes à fleurs (Mishler, 2001). Quand les plantes terrestres ont évolué à partir d'algues vertes, les bryophytes ont été parmi les premières à coloniser les terres émergées se développant dans des environnements humides où l'eau douce était facilement disponible (Nabors, 2009). Ceci car la reproduction sexuée des bryophytes est restée dépendante de l'humidité ; la fécondation ne peut avoir lieu que si un pont aquatique s'établit entre l'anthéridie et l'archégone.

## I.1. Systématique et description des Bryophytes

### I.1.1. Systématique

Depuis que les bryophytes ont commencé à susciter l'intérêt des scientifiques, plusieurs essais de classifications se sont succédées avec parfois beaucoup de controverses. Chadefaud, (1960) considère les bryophytes comme un embranchement subdivisé en trois classes, celle des Muscinées, celle des Anthocérotes et celle des Hépatiques.

Augier (1966), a divisé classiquement le règne des Bryophytes en 3 classes (i) la Classe des mousses subdivisée en sous-classes : Eubrya, Endreaeobrya et Sphagnobrya, (ii) la classe des hépatiques redéfinie ultérieurement par ce même auteur en deux classes, celle des hépatiques sens strict et (iii) la classe des Anthocérotes. Smith, (2004) dit que la subdivision des Bryophyta en trois classes : Hepaticopsida ou Marchantiopsida (hépatiques), Anthocerotopsida (anthocérotes) et Musci (mousses) est aujourd'hui dépassée car selon Toby Pennington *et al.* (2002), les hépatiques ont divergé d'abord à partir d'autres plantes terrestres, suivies par les anthocérotes et finalement par les mousses. Ce serait donc trois groupes paraphylétiques. Ainsi, la division des Bryophyta est considérée par Smith, (2004) comme étant uniquement celle des mousses, le groupe des hépatiques et celui des anthocérotes correspondent à des divisions à part entières. Les classifications basées sur la morphologie et l'anatomie sont aujourd'hui confortées par des techniques nouvelles comme le séquençage de l'ADN qui fournit des informations sur les relations génétiques entre les taxons. D'après Nabors (2009), les trois classes des bryophytes sont élevées aujourd'hui au rang d'embranchements : les Marchantiophytes regroupant environ 9000 espèces d'hépatiques, les Anthocérophytes constitués d'environ 100 espèces d'anthocérotes et les Bryophytes comprenant plus de 10 000 espèces de mousses.

### I.1.2. Description des Bryophytes

Morphologiquement, les bryophytes sont généralement de petits organismes chlorophylliens dépourvus de fleurs et de racines. Ce sont des organismes généralement photo-autotrophes, qui se rencontrent sur toutes les surfaces terrestres et aquatiques à l'exception du milieu marin (Ah-Peng, 2003 ; Asakawa *et al.*, 2013). Il existe toutefois quelques espèces occupant des biotopes saumâtres à salinité réduite (*Riella helicophylla* Bory & Mont. et *Hennediella heimii* (Hedw.) R.H. Zander) ou soumis à des embruns tel que *Schistidium maritimum* (Turner ex Scott, Robert) Bruch & Schimp (Ah-peng, 2007).

Le cycle de développement des bryophytes est haplo-diplophasique avec dominance de la phase haploïde chez la majorité de ces organismes. Cette phase correspond à l'appareil végétatif. Il s'agit alors du gamétophyte qui se présente sous forme de thalle (Figure 1A, 1B et 1C) ou de tige feuillée (Figure 1D) et se fixe au substrat par des rhizoïdes dont le rôle principal reste celui de la fixation. L'absorption de l'eau et des nutriments se fait par toute la surface de la plante car ces végétaux ne possèdent pas de vaisseaux conducteurs. Le sporophyte qui est issu de la fécondation et dont la durée de vie est relativement courte, vit en parasite ou en héminparasite sur le gamétophyte (Figure 1A et 1B).



Figure 1 : A) Thalle fructifié de *Reboulia hemispherica*, B) *Fossombronia angulosa* avec sporophyte bien développé, C) Thalle de *Phaeoceros laevis*, D) Tiges feuillées et sporophytes de *Ptychostomum boreale*.

Les bryophytes s'organisent en peuplement de différentes formes. Sur les murs et les rochers, sont généralement observées des formes bombées, arrondies ou elliptiques ; ces peuplements sont en coussinets de 1 à 4 cm de diamètre comme c'est le cas pour *Grimmia orbicularis* Bruch., *G. pulvinata* (Hedw.) Sm., *G. alpestris* Schleich., *Crossidium squamiferum* (Viv.) Jur., *O-*

## *thotrichum anomalum* Hedw.

Les bryophytes peuvent aussi se présenter en gazons ou en touffes compactes comme chez *Grimmia campestris* Bruch., *G. elatior* Bruch., *G. trichophylla* Grev., *G. commutata* Hüb., *Dicranoweisia crispula* (Hedw.) Lindb., *Cynodontium bruntonii* (Sm.) B.e., *Seligeria tristicha* (Brid.) B.e., *Eucladium verticillatum* (Smith) B.e., *Gymnostomum rupestre* Schleich, *G. calcareum* Nees (Hebrard, 1970).

### I.2. Nutrition et rétention d'eau chez les bryophytes

Les bryophytes sont des cormophytes non vasculaires. Elles réagissent très rapidement à la variation des taux d'humidité. Elles rentrent ainsi dans une phase de vie ralenti quand le milieu est sec ; elles se déshydratent alors et prennent une couleur grisâtre. Quand les conditions redeviennent favorables, c'est-à-dire quand les taux d'humidité augmentent, ces petites plantes redeviennent vertes, respirent et synthétisent leur matière organique normalement. Les bryophytes ont la capacité d'absorber l'eau du sol et celle disponible dans l'air par toutes leurs surfaces. C'est une caractéristique que les plantes supérieures n'ont pas. Cette caractéristique leur permet de coloniser préférentiellement des zones où l'humidité atmosphérique est importante et les taux d'évaporation faibles.

Certaines bryophytes ont pu développer un système de conduction par capillarité en élaborant des cellules plus ou moins spécialisées (Ah-Peng, 2007). Il s'agit, d'une part, des leptoïdes qui sont des cellules vivantes allongées assurant le transport des produits de la photosynthèse et leur distribution et d'autre part, des hydroïdes qui sont des cellules mortes allongées responsables de la conduction de l'eau et des sels minéraux. Par ailleurs, étant de grands rétenteurs d'eau, les bryophytes peuvent contribuer à la conservation des microclimats et à la régulation du débit d'eau.

### I.3. Répartition des bryophytes

Les bryophytes se rencontrent partout sur le globe terrestre, depuis l'équateur jusqu'à l'arctique et l'antarctique, elles peuvent se retrouver aussi bien dans les milieux terrestres qu'aquatiques à l'exception du milieu marin (Ah-Peng, 2003 ; Asakawa *et al.*, 2013).

Elles colonisent des substrats très variés et sont considérées comme des plantes pionnières car elles sont capables de s'installer sur des substrats inorganiques. Leur faculté de reviviscence permet à certaines bryophytes de coloniser des milieux très exposés au soleil tels que les toits de maison et les murs. Ceci dit, la majorité des espèces de bryophytes vivent dans les endroits où règne une importante humidité, souvent à l'abri du soleil direct. L'observation montre que les mousses sont plus abondantes sur les faces nord des troncs et des branches des arbres, là où n'arrive pratiquement pas la lumière directe du soleil.

En milieu terrestre, les bryophytes initient les successions végétales car elles sont capables de coloniser des substrats inorganiques sur lesquels elles se fixent par des filaments très fins appelés rhizoïdes.

Ces petites plantes peuvent aussi croître dans les milieux aquatiques, aux bords des lacs et des ruisseaux et dans les marais et les tourbières. Elles n'ont cependant pas été observées dans l'eau salée, à l'exception de certains taxons rencontrés sur le littoral qui peuvent supporter des taux élevés de chlorure de sodium, c'est le cas de *Grimmia maritima* et *Pottia crinita* (Denayer, 2000).



*Funaria hygrometrica* Photo: M. Lüth

Les bryophytes participent à la formation de l'humus, et rendent le milieu favorable à la germination des graines d'autres végétaux (Leblond *et al.*, 2011). Les bryophytes initient ainsi les successions végétales. Certaines bryophytes telles que *Funaria hygrometrica* apparaissent après les incendies sur les cendres des forêts comme cela a été constaté en France en forêt de Senart après l'incendie 2006 (Leblond *et al.*, 2011).

Certains substrats ne sont presque jamais colonisés par les muscinées comme les glaciis de ciment, les dalles polies et vernies, les calcaires lithographiques, les bauxites et les schistes qu'il s'agisse de schistes ardoisiers ou de phyllades (Hebrard, 1970).

### I.4. Importance écologique des bryophytes

Ce sont de petites plantes qui ont des rôles très importants aussi bien dans les écosystèmes terrestres qu'aquatiques surtout quand leur biomasse relative est importante. Ainsi, les bryophytes assurent des services écosystémiques considérables. En colonisant le sol nu et les roches, elles initient les successions végétales. En effet, ce sont des plantes pionnières qui, par la matière organique qu'elles apportent et par l'initiation de la pédogénèse, facilitent la colonisation du milieu par des espèces végétales plus exigeantes. Elles stabilisant ainsi le sol le rendant plus hospitalier pour les herbacées et les arbustes qui vont s'y succéder. En plus, dans les écosystèmes forestiers tropicaux par exemple, les bryophytes jouent un rôle important dans la circulation de l'eau et des éléments nutritifs dissous surtout en ce qui concerne la capacité de rétention et de stockage (Pócs, 1982).

D'après Pócs (1980), toujours dans les forêts tropicales, la biomasse épiphytique (bryophytes, lichens et ptéridophytes) peut atteindre, à 2120 m de haut, 14 t.ha<sup>-1</sup> et absorber jusqu'à 50 000 l d'eau après la chute des pluies ; cette eau ainsi emmagasinée sera restituée progressivement dans l'environnement. C'est une propriété qui optimise la gestion de l'eau au niveau écosystémique, permet la régulation du climat local et prévient les changements climatiques brusques. Chang *et al.* (2002) ont

montré que dans des forêts de montagne à Taiwan, les bryophytes ont une excellente capacité à capturer les gouttelettes de brouillard.

Ces petites plantes constituent le plus grand puits de carbone, surtout là où leur biomasse est importante comme dans les forêts tropicales. Elles absorbent le gaz carbonique atmosphérique pour photo-synthétiser leur matière organique. Elles assurent ainsi la rétention de ce gaz à effet de serre dont les concentrations dans l'atmosphère sont préoccupantes.

Les bryophytes avec les autres plantes épiphytes comme les lichens et les ptéridophytes sont donc de véritables réservoirs d'eau qui préviennent les inondations, l'érosion du sol et les glissements de terrain que provoqueraient les fortes précipitations comme le signale Pócs en 1980. En effet, l'eau ainsi retenue sera restituée progressivement, ce qui va éviter les ruissellements en surface qui peuvent provoquer des crues destructrices. Les bryophytes terricoles, jouent le même rôle de régulation du débit de l'eau en favorisant son infiltration en profondeur au lieu de son ruissellement en surface. De même, ces organismes, jouent-ils un rôle actif dans la préservation et la lutte contre l'érosion des berges des rivières (Rehe & Nemmo, 2001).

Les mousses sont souvent les premières plantes à coloniser les nouveaux sols, roches nues et autres surfaces abiotiques. Elles sont donc importantes dans la stabilisation même de la croûte terrestre.

Un autre rôle écologique tout aussi important est le fait que les bryophytes sont une source de nourriture pour les animaux dans des environnements froids. En effet, les bryophytes aquatiques, par exemple, constituent un maillon important dans de nombreux écosystèmes aquatiques : elles sont une source d'oxygène et fournissent nourriture et habitat pour les poissons et macro-invertébrés (Glime & Clemons, 1972).

#### **1.4.1. Les tourbières**

Ce sont des écosystèmes humides dont les principaux végétaux sont des bryophytes de type sphagnes. Ces dernières se développent sur des milieux oligotrophes c'est-à-dire très pauvres en éléments nutritifs grâce à des cellules qui permettent d'attirer les rares minéraux du sol. Ces cellules, libèrent ensuite des ions hydrogène ( $H^+$ ) qui vont considérablement acidifier le milieu (Durfort, 2007). Il faut encore préciser que les propriétés de rétention d'eau des tourbières sont importantes en raison des propriétés d'absorption des Sphagnes. La surexploitation de ces marais peut perturber leur fonctionnement, ce qui induit la perturbation de l'hydrologie locale. Ces zones humides assurent ainsi de nombreux services écosystémiques dont les plus vitaux sont l'épuration de l'eau, la régulation de son écoulement et la régulation du climat environnant. Elles abritent aussi une biodiversité faunistique et floristique remarquable et intimement liée à ces biotopes. En fait, les tourbières sont des milieux relicuels (Jacquemart, 2014).

Ainsi, la tourbe est un sol acide et hydromorphe dont la composante organique est essentiellement d'origine végétale. La matière organique y est peu ou pas décomposée. Elle est extraite et utilisée comme amendement dans les terres agricoles car elle améliore la texture et la structure des sols (Simard, 1974). Elle est également employée comme litière à écuries, vacheries, et utilisée comme paillis pour protéger les cultures, leur fournir de la matière organique et empêcher le développement de plantes adventices. Par ailleurs, la tourbe est utilisée comme source de carburant étant donné qu'elle est constituée principalement de carbone, d'hydrogène, d'azote et d'oxygène.

Comme cela a été précisé auparavant pour les bryophytes en général, le rôle des tourbières est bien démontré dans la régulation des écoulements d'eau et le stockage du carbone. Les sphagnes, composante principale de ces écosystèmes, confèrent aux tourbières ce rôle d'éponge qui leur permet la rétention de l'eau et la régulation de son écoulement. Ces plantes chlorophylliennes permettent aussi le stockage du gaz carbonique contribuant ainsi à limiter l'effet de serre.

En Irlande, où les tourbières sont exploitées à grande échelle, leur superficie a été considérablement réduite. La surexploitation de tels milieux contribue à les déséquilibrer considérablement dans la mesure où les populations de flore et de faune qu'ils hébergent se trouvent sérieusement menacées. En plus de cela, la réduction des superficies des tourbières s'accompagne par une augmentation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Ce dernier étant moins utilisé dans les processus de photosynthèse. Des efforts sont fournis pour réduire l'exploitation de ces ressources naturelles car elles ont une grande valeur écologique et leur protection est bénéfique au niveau de l'environnement local et global (Joosten *et al.*, 2012 ; Kopec et Woziwoda, 2014).

Depuis les années septante, l'efficacité des sphagnes a été démontrée comme filtre et comme agent d'absorption pour le traitement des eaux usées et des effluents d'usines à rejets d'acides toxiques. En effet, Poots *et al.* (1976) précisent que ces bryophytes fixent les métaux lourds et les substances organiques telles que les huiles, les détergents et les colorants. Rozmaj et Kwiatkowski (1976) ont montré le rôle des sphagnes comme filtre des micro-organismes.

D'après D'Henneze & Coupal (1972), la tourbe peut également être utilisée comme agent absorbant lors de marées noires et comme agent filtrant des déchets huileux dans l'eau des usines (Ruel *et al.*, 1977).

La tourbe est utilisée en tant que matériel d'emballage lors de l'expédition de produits tels que les produits frais, les légumes et les fleurs. Elle est également employée dans les couches pour bébés et les serviettes hygiéniques en raison de son pouvoir absorbant (Rochefort, 2001).

Toutes ces utilisations engendrent beaucoup de pression sur les écosystèmes "tourbières" les rendant encore plus vulnérables.

#### **1.4.2. Rôle des bryophytes dans la surveillance de la qualité de l'eau**

Au cours du 20<sup>eme</sup> siècle, la pollution a atteint des niveaux préoccupants. Elle est générée par les activités humaines telles que l'industrialisation qui a commencé avec l'invention de la machine à vapeur au 18<sup>eme</sup> siècle. Cette pollution est aujourd'hui

d'hui à l'origine de nombreuses perturbations ressenties à l'échelle planétaire. Parmi les méthodes de surveillance, les plus actuelles, celles se basant sur l'utilisation des bryophytes, donnent de bons résultats (Garrec & Van Haluwyn, 2002). Ceci car ces organismes sont connus comme bioaccumulateurs de métaux lourds et de polluants organiques.

Les métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux et sont présents à de faibles teneurs (moins de 0,1%, c'est-à-dire à l'état de trace) dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants (Alloway & Ayres, 1997). Ces faibles concentrations en métaux lourds constituent le fond géochimique d'un environnement donné. L'impact d'un métal lourd dans l'environnement est d'autant plus grand que ses niveaux de concentrations sont élevés par rapport au fond géochimique (Alloway & Ayres, 1997). En effet, la seule présence du métal lourd ne veut pas dire qu'il est nuisible. Ainsi, il est très utile de bien connaître le fond géochimique pour déterminer la contamination en métaux lourds causée par l'activité minière (Runnels *et al.*, 1992) ou autre activité à savoir les déchets des industries. C'est là où les bryophytes peuvent jouer un rôle clef.

Les bryophytes aquatiques sont largement utilisées comme bioindicateurs de la qualité des cours d'eau notamment pour l'évaluation de la contamination métallique. En effet, par leurs propriétés bioaccumulatrices, elles informent sur des événements de pollution métallique passés et présents. Actuellement, dans le cadre des études de biosurveillance des métaux lourds, radionucléides..., des bryophytes autochtones (*in situ*) ou allochtones (transplantées) sont couramment utilisées (Boustani, 2004).

Deux types de biosurveillances sont alors distingués (Burton, 1990 ; Lawrey, 1993 ; Sloof & Wolterbeck, 1993 ; Mersch, 1993 ; Loppi *et al.*, 1994 ; Steinnes *et al.*, 1994) : la biosurveillance passive et la biosurveillance active. La première méthode est basée sur des populations d'organismes indigènes (autochtones). La deuxième a recours à des transplants d'organismes depuis un site de référence (Debèn *et al.*, 2017), ces organismes transplantés (ou allochtones) proviennent alors d'un site exempt de contamination (Burton, 1990, Lawrey, 1993; Sloof & Wolterbeck, 1993; Loppi *et al.*, 1994; Steinnes *et al.*, 1994). D'après Debèn *et al.* (2017), la technique de biosurveillance active est limitée en Europe ; mise en œuvre pour surveiller la qualité de l'eau des rivières en utilisant des bryophytes greffées, elle a permis d'évaluer la qualité de l'eau et son degré de normalisation.

#### I.4.3. Biosurveillance de la qualité de l'air

L'observation des dépôts de métaux lourds d'origine aérienne dans les mousses d'une ville fait partie des méthodes passives. C'est une méthode simple qui permet d'établir un diagnostic de la qualité de l'air. Parmi les espèces tolérantes aux éléments traces métalliques (Cd, Pb, Ni et Zn), *Bryum argenteum* est citée par de nombreux auteurs (Shaw & Albright, 1990 ; Aceto *et al.*, 2003 ; Soboljević *et al.*, 2007 ; Hejcman *et al.*, 2014). Cette espèce a été utilisée par Yamina *et al.* (2015) qui a prélevé les feuilles de cette mousse à partir du site de prospection et a dosé les métaux par spectrométrie d'absorption atomique à flamme. Les résultats de (Yamina *et al.*, 2015) ont montré que les mousses peuvent servir de bio-moniteurs efficaces du Pb, Zn et Cu. En effet les mousses peuvent constituer des réseaux d'espèces bio-indicatrices de la pollution atmosphérique, dont l'utilisation se révèle être une méthode particulièrement simple, souple, économique et performante.



*Bryum argenteum* Photo: M. Lüth

#### I.4.4. La bioindication et la bioaccumulation chez les bryophytes

Un indicateur biologique est un organisme ou un ensemble d'organismes qui par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques permet de façon pratique et sûre de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un éco-complexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées (Blandin, 1986).

La bioaccumulation est le résultat de deux phénomènes, l'adsorption des polluants à la surface de la plante et l'absorption ou l'accumulation des polluants dans les cellules (Lopez & Carballeira, 1993 ; Mouvet, 1984; Say & Whitton, 1983 ; Wehr & Whitton, 1983 ; Whitton *et al.*, 1982). Il est difficile de distinguer ces deux phénomènes lors d'une mesure de la concentration totale en un élément. L'indication de la qualité des eaux par les bryophytes est donc possible grâce à leur propriété de résister à la toxicité de certains polluants (Frahm, 1976) et les accumuler dans leurs tissus que cela soit au niveau de la paroi ou à l'intérieur des cellules (Empain, 1977 ; Mouvet, 1979; Pickering & Puia, 1969).

L'utilisation de mousses aquatiques comme bioaccumulateurs de polluants métalliques est généralisée au sein des réseaux de surveillance de la qualité des cours d'eau en France. La méthode active basée sur l'utilisation de mousse provenant d'un site "sain" et transplantées dans le site à surveiller est la plus utilisée. Ceci car les mousses autochtones sont généralement en quantité insuffisante pour donner de bon résultats. Ah-Peng (2003) propose l'emploi de mousses issues de cultures standardisées en laboratoire. Ceci éviterait les éventuels dommages occasionnés par les prélèvements des mousses à partir des sites naturels.

Parmi les végétaux utilisés comme bioindicateurs de la pollution, Chatenet & Botineau (2001) citent un lichen aquatique *Dermatocarpon luridum* (With.) Laundon. Ce lichen a cependant le défaut d'être peu répandu. Pour cela, Mouvet *et al.* (1986) proposent une dizaine de taxons de bryophytes aquatiques tels que l'hépatique *Scapania undulata* (Whitton *et al.*, 1982).

Dans ce contexte, les mousses aquatiques les plus utilisées pour cette propriété de bioaccumulation des polluants,

d'après une synthèse de (Ah-Peng, 2003) sont les suivantes :

- *Fontinalis antipyretica* Hedw., c'est un taxon qui appartient à la famille des *Fontinalaceae*, et à l'ordre des Isobryales (Smith, 1978). Elle est largement répartie en Europe, se trouve également en Asie (Japon), en Afrique du Nord et en Amérique du Nord (Smith, 1978).
- *Rhynchostegium riparioides* Hedw., c'est une *Brachytheciaceae*, de l'ordre des Hypnobryales (Smith, 1978), répartie principalement en Europe et plus occasionnellement en Afrique du Nord (Algérie, Maroc), en Amérique du Nord, en Asie (Népal, Chine, Mandchourie, Japon) (Smith, 1978).
- *Cinclidotus riparius* (Brid.) Arnott., c'est une *Pottiaceae* de l'ordre des Pottiales qui se rencontre en Europe, en Asie et en Amérique du Nord (Smith, 1978).
- *Cinclidotus danubicus* Schiffn. & Baumg., c'est aussi une *Pottiaceae* de l'ordre des Pottiales. Moins fréquente que la précédente, cette bryophyte est répartie dans la zone eurasienne (Dierßen, 2001).
- *Amblystegium riparium* (Hedw.) B., S. & G., (Synonyme : *Leptodictium riparium* (Hedw.) Warnst.) elle appartient au groupe des Hypnobryales, famille des Amblystegiaceae (Smith, 1978). Elle se trouve en Europe, en Asie (Sibérie, Tibet, Vietnam, Japon), en Afrique du Nord (Algérie), en Amérique du Nord, en Amérique Centrale et en Australie (Smith, 1978).

D'autres taxons servant à la bioindication, sont des bryophytes aquatiques obligées, elles sont la plupart du temps immergées et reflètent la qualité des eaux dans lesquelles elles se trouvent. D'après Lopez *et al.*, (1997) et Samecka-Cymerman *et al.* (2000), ces organismes permettent de réaliser une évaluation globale de la qualité environnementale du milieu grâce à l'évaluation des concentrations de polluants particuliers dans les tissus des bryophytes en question.

Les milieux aquatiques qui reçoivent les rejets industriels et les eaux de ruissellement chargés de contaminants sont pollués à des degrés variables. Ces pollutions peuvent déstabiliser l'équilibre écologique de ces milieux mettant en péril leur flore et leur faune et menaçant la santé de l'homme. Le recours aux bryophytes dotées de la propriété de bioaccumulation est un moyen peu coûteux qui permet de connaître la variation du taux de ces polluants dans les milieux aquatiques et d'intervenir pour y remédier.

#### I.4.5. Utilisations ethnobotaniques

Les Hépatiques ont été les premières bryophytes à avoir suscité l'intérêt des utilisateurs des plantes médicinales. De par leur forme qui rappelle les lobes du foie, ces plantes ont été utilisées pour traiter les affections de cet organe (De Sloover *et al.* 1997). En plus, c'est cette ressemblance qui a été à l'origine du nom de ce groupe de plantes : les Hépatiques du grec "hépar" qui signifie foie.

Plus tard, les bryophytes broyées ont été additionnées dans les pommades, et mélangées à des huiles ou à du miel, pour soigner les plaies et les brûlures (Glime *et al.*, 1991). Asakawa en 1995 énumère une vingtaine de mousses et d'hépatiques utilisées en médecine traditionnelle chinoise contre la tuberculose pulmonaire, les saignements gingivaux, les coupures, etc. Elles sont également dites posséder des propriétés diurétiques, antipyrétiques, antiseptiques et anti-poisons (Asakawa, 1995). Une même mousse a souvent des applications variées, comme *Rhodobryum giganteum* utilisée contre les maladies cardiovasculaires et contre la nervosité ou comme *Haplocladium catillatum* utilisée contre les angines, les bronchites et les cystites (Asakawa, 1995).

Au Maroc, Hachi (2017) a mentionné l'utilisation de *Tortula muralis* et *Orthotrichum sp.* comme plantes médicinales. Ces plantes séchées et moulues sont mélangées avec du hénée pour soigner les cheveux.

#### I.5. Les métabolites secondaires des bryophytes

C'est à partir des années 70 que les études phytochimiques se sont intéressées aux bryophytes. Ainsi, il a été démontré par Krzaczkowski (2008) que les hépatiques synthétisent des composés aromatiques, tels que les bibenzyls, les bisbibenzyls spécifiques, et les composés terpéniques, notamment les di- et sesquiterpènes originaux tous contenus dans les oléocorps.



*Tortula muralis* Photo: M. Lüth

Les mousses et les anthocérotes, dépourvues d'oléocorps, possèdent majoritairement des métabolites plus classiques tels que les lipides, terpènes, flavonoïdes dont des biflavonoïdes spécifiques pour les mousses, sesquiterpènes et quelques composés aromatiques pour les anthocérotes (Krzaczkowski, 2008). Des travaux de recherche se sont intéressés aux composés bioactifs issus des bryophytes ; composés qui ont été soumis à des essais pharmacologiques. Les résultats de ces travaux (Asawaka, 1995 ; Ainge *et al.*, 2001) ont montré que les activités de ces substances bioactives pouvaient être insecticide, molluscicide, piscicide, cardiotonique, neurotrophique, myorelaxante, de régulation de la croissance des plantes, d'inhibition d'enzymes et d'inhibition de la libération de superoxydes. Cela dit, les activités antibiotiques et antifongiques des Bryophytes ont été décrites dès 1960 par Mc Cleary.

Il faut noter que les flavonoïdes, biflavonoïdes, terpènes, dérivés d'acides gras, bibenzyls et bisbibenzyls, sont des substances actives qui constituent pour les plantes globalement une barrière chimique contre les agressions des microorganismes, cela justifie leurs utilisations traditionnelles contre les infections et les maladies cutanées (Kahn, 2001).

Par ailleurs, l'activité antitumorale de substances extraites à partir des bryophytes a été abordée par de nombreux chercheurs (Arnal *et al.*, 2002 ; Pommier *et al.*, 2003 ; Krzaczkowski *et al.*, 2008 ; Glime, 2007) : ces substances isolées et expérimen-

tées par les soins de *National Cancer Institute* (NCI) aux Etats Unis d'Amérique, paraissent avoir des propriétés cytotoxiques. Ce sont les utilisations traditionnelles de ces plantes, les premiers produits bioactifs isolés et la cytotoxicité de quelques Bryophytes qui ont incité NCI à mener des campagnes expérimentales sur ces plantes. Avant les années 1980, la cytotoxicité des Bryophytes était peu étudiée. Ainsi, sur 208 extraits évalués dans des tests de cytotoxicité *in vitro* et *in vivo*, 39 extraits de mousses et 4 d'hépatiques ont été trouvés actifs (Spjut *et al.* 1986). D'autre part, sur 232 extraits des bryophytes à l'acétate d'éthyle, 42 perturbent la mitose (Arnal *et al.*, 2002, Pommier *et al.*, 2003).

Les Bryophytes peuvent donc être considérées comme une source potentielle de molécules susceptibles d'être soumises à des essais antitumoraux (Krzaczkowski *et al.*, 2008).

#### I.6. Menaces sur la biodiversité bryologique

La déforestation, la conversion des formations végétales naturelles en terres agricoles et l'urbanisation croissante entraînent une perte d'habitat pour les bryophytes dont l'existence est intimement liée aux milieux naturels. Cette perte d'habitat s'accompagne d'une perte de la biodiversité en général et de la diversité bryologique en particulier. La richesse spécifique et les ressources génétiques se trouvent alors dangereusement menacées de disparition.

Près d'une espèce sur deux de mousses serait menacée dans certaines régions de France qui, au demeurant, présentent encore de nombreux espaces semi-naturels (UICN, 2015).

Ce bilan résulte des premières listes rouges régionales s'intéressant aux bryophytes qui ont été élaborées ces dernières années. Au Maroc, aucune liste rouge n'est établie. Les travaux de recherche sont encore en phase de recensement et d'élaboration de catalogues régionaux de ce groupe d'organismes.

#### II. Etat de lieux des Bryophytes au Maroc

Le catalogue des Bryophytes du Maroc réalisé par Ahayoun *et al.* en 2007 sur la base des travaux bibliographiques datés entre 1913-2011 fait état de 507 mousses, 107 hépatiques et 5 anthocérotes. La bryoflore du Maroc compte donc 619 espèces, variétés et formes réparties dans 72 familles et 182 genres (Ahayoun *et al.*, 2007).

Rafael *et al.*, en 2010, ont recensé 44 taxons épiphytes récoltés dans 19 forêts de *Juniperus thurifera* poussant sur les montagnes et les hauts plateaux du bassin méditerranéen. Parmi ces espèces, 32 sont des mousses acrocarpes, 10 sont des

mousses pleurocarpes et 2 hépatiques. Au Maroc, ces mêmes auteurs ont travaillé sur 3 forêts de *Juniperus thurifera*, et ont recensé 17 taxons dans le haut et le Moyen Atlas (Taffert, Jbel Bou Iblane), 18 à Timahdite, et 19 à Oukaimeden et Jbel Toubkal National Park.

Ils ont remarqué que les junipéraies du Maroc et celles des plaines ibériques étaient les plus pauvres en espèces par rapport aux autres forêts de genévrier poussant sur les montagnes et les hauts plateaux du bassin méditerranéen.

D'autre part, Muller *et al.* (2011) ont identifié dans le nord du Maroc un nouveau taxon, du genre *Sphagnum*, c'est *Sphagnum auriculatum*. Ce taxon est rare et limité à quelques habitats humides répartis dans la région du nord. Sa distribution au Maroc, d'après Muller *et al.*, (2011) est limitée à Krimda (région de Larache). Finalement, ces auteurs ont confirmé la présence de *Sphagnum auriculatum* (parfois noté *S. rufescens* ou confondu avec *S. flexuosum*) dans deux zones: Krimda et Jbel Bou Hachem.



Jbel Toubkal National Park (Wikipedia)

De plus, Ahayoun *et al.* (2019) ont recensé 39 taxons dont 31 mousses et 8 hépatiques collectés dans les stations d'Ifrane, Elhajeb, Bou-Iblane, Ribat Elkhir dans la région du Moyen Atlas. Zaza *et al.* (2020) ont recensé 61 taxons de bryophytes dont 2 variétés, à Jbel Lekraa. C'est un site situé dans le Parc National de Tallassemiane dans le Rif, au nord du Maroc. Les espèces recensées par Zaza *et al.*, (2020), comptent 58 mousses, 2 hépatiques et 1 anthocérote et regroupent 14 familles et 29 genres. La majorité de ces taxons sont des épiphytes. Aussi, ces auteurs ont-ils pu identifier 3 nouveaux taxons pour le Maroc : *Didymodon sinuosus*, *Sciuro-hypnum reflexum* et *Scleropodium obtusifolium* et 10 nouveaux taxons pour la région du Rif. Cette étude a permis de connaître la diversité des bryophytes dans une zone montagneuse et accidentée qui abrite une formation forestière originale, la sapinière ou formation à *Abies marocana*, espèce endémique du Maroc.

Toujours dans le Parc National de Tallassemiane, précisément dans le Site d'Intérêt Biologique et Ecologique d'Akchour, situé au fond de la Vallée de Talambot, Zaza *et al.* (2018) ont recensé 40 taxons, avec 17 saxicoles, 11 corticoles et 12 terri-coles.

Dans la région de Rabat, Elharech *et al.* (2017) ont recensé 20 taxons de bryophytes appartenant à 10 familles botaniques, dont 3 sont nouveaux pour la région au niveau du site archéologique à Chellah : *Entosthodon pulchellus*, *Dydimodon Fallax* et *Trichostomum crispulum*. Dans cette même région, 30 espèces ont été observées dans les Jardins Exotiques de Bouknadel (Elharech *et al.* 2018). Ces auteurs ont alors identifié deux nouveaux taxons pour le Maroc. Il s'agit d'une espèce : *Ptychostomum moravicum* et d'une variété : *Ptychostomum pseudotriquetrum* var. *pseudotriquetrum*. Aussi ont-ils observé deux nouvelles espèces pour la région de Rabat : *Leptodictyum riparium* et *Tortella tortuosa*.

*Sphagnum flexuosum* Photo: M. Lüth

Le Parc National de Tazekka situé au Moyen Atlas oriental a également bénéficié de prospections. Saadi *et al.* (2018) y

ont trouvé 2 nouveaux taxons pour le Maroc ; il s'agit de : *Orthothecium intricatum* et *Stegonia latifolia* var. *latifolia*.

Plus au sud, dans les Cascades d'Ouzoud situées dans la partie centrale du Haut Atlas au Maroc Chtaibi *et al.*, (2018) ont observé 46 taxons de bryophytes dont 40 mousses, 5 hépatiques et une anthocéroète. Parmi ces espèces, *Ptychomitrium glyphomitrioides* est identifiée pour la première fois, au Maroc, à partir d'échantillons récoltés sur le talus rocheux au bord d'un écoulement d'eau. Aussi, Chtaibi *et al.*, (2018) ont relevé 12 taxons nouveaux pour la région.

Des prospections menées par Ahayoun *et al.* (2015) dans la forêt de la Mamora au nord de la ville de Rabat ont permis d'inventorier 44 taxons de bryophytes dont 16 mousses, 25 hépatiques et 3 anthocérotes. Plus tard, Ahayoun *et al.* (2016) ont observé deux nouveaux taxons pour la partie nord de la forêt de la Mamora : *Riccia bifurca* Hoffm. et *Riccia bifurca* var. *subinermis* Heeg. Plus récemment, une étude qui a couvert trois cantons de la forêt de la Mamora a permis de dresser un catalogue de 81 espèces (El Harech *et al.* 2020).

Dans le Moyen Atlas, précisément dans le Parc National d'Ifrane (PNI) ; Fadel *et al.* (2017) ont recensé 30 taxons de Bryophytes épiphytes, sur les troncs et les branches des essences principales du Parc à savoir le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.), le chêne vert (*Quercus rotundifolia* L.) et le chêne zeen (*Quercus faginea* Lam.). Les taxons recensés sont répartis en 10 familles et en 21 genres. En outre, 66 espèces terricoles ou saxicoles ont été inventoriées dans le PNI ; ces espèces appartiennent à 38 genres et à 23 familles (Fadel *et al.* 2020).

Dans la région de Benslimane, Fadel *et al.* (2016) avaient recensé 34 taxons pendant des années relativement sèches (2013, 2014). Dans cette même région, Fadel *et al.* (2020) ont recensé 80 taxons appartenant à 28 familles : 4 Anthocérotes, 17 Hépatiques, et 59 Mousses, pendant une année pluvieuse, précisément au printemps 2018.

De même, les investigations de Laouzazni *et al.* (2018) et (2020) à Jbel Sidi Ali dans le massif d'Izaren et aux SIB de Brikcha ont permis le recensement de 41 espèces dans le premier site et 60 taxons dans le second.

## **CONCLUSION**

Il ressort de cette synthèse bibliographique l'intérêt de pousser les investigations sur les bryophytes du Maroc. Outre leur importance écologique, ces plantes pourraient avoir un grand apport économique. En tant que plante bioaccumulatrice, elles sont déjà utilisées, avec succès, dans la biosurveillance de l'eau et de l'air. Les bryophytes pourraient être exploitées par les sociétés pharmaceutiques pour l'extraction de substances bioactives.

## **Références bibliographiques**

- Aceto, M., Abollino, O., Conca, R., Malandrino, M., Mentasti, E., & Sarzanini, C. (2003). The use of mosses as environmental metal pollution indicators. *Chemosphere*, 50(3), 333-342.
- Ahayoun, K. Ouazzani Touhami, A. & Douira, A. (2016). Contribution à l'inventaire des Bryophytes de la forêt du Gharb (Maroc atlantique). *International Journal of Innovation and Scientific Research- ISSN 2351-8014 Vol. 21 No. 2 Apr. 2016*, pp. 265-269.
- Ahayoun, K., Ouazzani Touhami, A. & Douira, A. (2007). Inventaire des Bryophytes de l'Herbier "RAB" de l'Institut Scientifique (Rabat, Maroc), Documents de l'Institut Scientifique, Rabat, (21), p. 71-89.
- Ahayoun, K., Chliyeh, M., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R., and Douira, A. (2015). Contribution to the inventory of Bryophytes of the Mamora's forest (Atlantic Morocco). *Biolife*, 3(1), pp 336-341.
- Ahayoun, K., Touhami, A. O., & Douira, A. (2019). A new contribution to the bryological flora of the Middle Atlas (morocco). *Plant Cell Biotechnology And Molecular Biology*, 20(19-20), 917-929.
- Ah-Peng, C. (2003). Mise au point d'un outil diagnostic basé sur l'utilisation de la mousse aquatique *Fontinalis antipyretica* Hedw. En culture pour l'estimation de la qualité des cours d'eau. Ingénierie de la santé et de l'Environnement. Université de Lille II. (2003) : 164pp
- Ah-Peng, C. (2007). Diversité, distribution et biogéographie des bryophytes des coulées de laves du Piton de la Fournaise (La Réunion). Thèse, Doctorat d'Université. Ecology, Environment. Université de la Réunion, (2007) : 338pp
- Ainge, G.D., Gerard P.J., Hinkley S.F., (2001). Hodgsonox, a new class of sesquiterpene from the liverwort *Lepidolaena hodgsoniae*. Isolation directed by insecticidal activity. *J Org Chem* 2001; 66 : 2818-21.
- Alloway, B., & Ayres, D. C. (1997). Chemical principles of environmental pollution. CRC press.
- Arnal, I. & Sassoone, I. (2002). Tournebize R. Dynamique du fuseau : vers une cible anti-cancéreuse. *Med Sci (Paris)* 2002; 18 : 1227-35.
- Asakawa, Y. (1995). Chemical constituents of the bryophytes. Wien-New York : Springer Verlag, 618 p.
- Asakawa, Y; Ludwiczuk, A; Nagashima, F. Phytochemical and biological studies of bryophytes. *Phytochemistry* (2013) 91: 52-80.
- Asakawa, Y. (1995). Chemical constituents of the bryophytes. Wien-New York : Springer Verlag, 618 p.
- Augier, J. (1966). Flore des Bryophytes. Paris, Edit. Paul Lechevalier, 702 p.
- Blandin, P. (1986). Bioindicateur et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'Ecologie*, T. 17(4): 1-309.
- Boustani, Z. (2004). Les protocoles d'utilisation des bryophytes aquatiques pour le suivi de la qualité des cours d'eau. 32p
- Burton, M.A.S. (1990). Terrestrial and aquatic bryophytes as monitors of environmental contaminants in urban and industrial habitats. *Bot. J. Linn. Soc.*, 104,267-280.
- Callender, E., 2003. Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. Elservier-Pergamon, Oxford, pp. 67-105.
- Chadefaud, M. (1960). Traité de Botanique. Systématique. Les végétaux non vasculaires. Cryptogamie. Tome 1. Ed. Masson et Cie. Paris. 905-972.
- Chang, S. C., Lai, I.-L., & Wu, J.-T.. (2002). Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan. *Atmospheric Research*. 64: 159-167.
- Chatenet, P., & Botineau, M. (2001). Utilisation des lichens dans la mise en évidence des éléments traces présents dans les cours d'eau. *Cryptogamie Mycologie*, 22(3), 225-237.
- Chtaibi, N., Magri, N., Belahbib, N., Zidane, L., Douira, A., et Dahmani, J. (2018). Contribution à l'inventaire de la flore bryologique des cascades d'Ouzoud dans le Haut Atlas du Maroc. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2018; 7(3): 176-185.

- Crum, H. (2001). Structural Diversity of Bryophytes. Michigan, The University of Michigan.
- De Sloover, JL. (1997). Hépatiques, mousses et muscinées. Namur: Presses Universitaires. 194 p.
- Debén, S., Aboal, J. R., Carballeira, A., Cesa, M., & Fernández, J. A. (2017). Monitoring river water quality with transplanted bryophytes: A methodological review. *Ecological Indicators*, 81, 461-470.
- Denayer, F.-O. (2000). Ecotoxicité des éléments traces métalliques chez les bryophytes. Thèse de doctorat présentée et soutenue publiquement le 28 janvier 2000, Université de Metz, 253p.
- D'Hennezel, F., & Coupal, B. (1972). Peat Moss: A Natural Absorbent for Oil Spills; Can. Mining Metallurg. Bull, 64, 99-104.
- Dierßen, K. (2001). Distribution, ecological amplitude and phytosociological characterization of European bryophytes. *Bryophyt. Biblioth.*, 56 : 1-289.
- Durfort J., (2007). Les tourbières de Bretagne, Mèze, Biotope, coll. Les Cahiers naturalistes de Bretagne, 176 p.
- El Harech, M., Belahbib, N., Achoual, K., Magri, N., Dahmani, J. (2018). Bryophytic Diversity of Bouknadel's Exotic Gardens (Morocco): New Species. *Biolife*. 6(1), pp. 28-36.
- El Harech, M., Benharbit, M., Magri, N., Benharbit, O., Zidane, L., Douira, A., Belahbib, N., Dahmani, J. (2017). Study of the bryological flora at the archaeological site of Chellah, Morocco. *IJEAB* (International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology). Vol-2, pp. 1631-1643.
- El Harech, M., Magri, N., Zidane, L., Benharbit, O., Douira, A., Belahbib, N. and Dahmani J. (2020). Contribution to the study of Bryophytic Biodiversity of the Mamora Forest (Morocco). *Plant archives* 20 (1), 1305-1310.
- Empain, A., 1977. Ecologie des populations de bryophytes aquatiques de la Meuse, de la Sambre et de la Somme. Relations avec la qualité des eaux, écophysiologie comparée et étude de la contamination par métaux lourds. Ph.D. Thesis, University of Liège
- Fadel, I., Belahbib, N., Zidane, L., Magri, N., and Dahmani, J. (2016). Species richness of the bryological flora of Benslimane region, Morocco. *Nowellia bryologica*. Numéro 51 & 52.juin & décembre 2016. ISSN: (1377 - 8412)
- Fadel, I., Magri, N., Zidane, L., Douira, A., Belahbib, N., and Dahmani, J. (2020). Contribution to the Inventory of the Terricolous and Saxicolous Bryological Flora of Ifrane national Park, Morocco. *Plant Archives* Volume 20 No. 1, pp. 1023-1033.
- Fadel, I., N. Magri, A. Douira, N. Belahbib and J. Dahmani (2017). Study of epiphytic bryophytes in the Ifrane National Park in Morocco. *International Journal of Current Research.*, 9(12): 62126-62131.
- Foan L., Leblond S., Thöni L., Raynaud C., Santamaría J.M., Sebilo M., Simon V. (2014). Environmental Pollution. 184 (2014) 113-122.
- Frahm, J.-P., 1976. Weitere Toxitolanzversuche an Wassermoosen. *Gewässer und Abwasser* 60/61, 113-123.
- Garrec, J.P & Van Haluwyn, C. (2002). Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Concepts, méthodes et applications. Éditions Tec & Doc, Lavoisier,J.-P., Paris 118 p.
- Glime, J. M. (2007). Bryophyte Ecology. Volume 1. Physiological Ecology. Publication internet : [www.bryoecol.mtu.edu](http://www.bryoecol.mtu.edu). Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Consulté en octobre 2012.
- Glime, J.M. & Clemons, R., (1972). Species diversity of stream insects on *Fontinalis* spp. compared to diversity on artificial substrates. *Ecology*, 53(3): 458-463.
- Glime, JM., Saxena, D. (1991). Uses of Bryophytes. New Delhi : Today and Tomorrow's Printers and Publishers, 100 p.
- Gradstein, S. R., Churchill, S. P. & Salazar Allen, N.. (2001). Guide to the Bryophytes of Tropical America. New York, N.Y. Bot. Gard.
- Hachi M., (2017). Etude Floristique et Ethnobotanique des plantes médicinales dans la région du Moyen Atlas Central (Maroc). Thèse de doctorat. Université Ibn Tofail. Kénitra. 200 p
- Hebrard J.-P. (1970). Note sur la colonisation du milieu saxon par les bryophytes. Bulletin de la Société Botanique de France, 117:9, 563-592. DOI: 10.1080/00378941.1970.10838800.
- Hejcmán, M. Müllerová, V. Vondráčková, S. Száková, J. Tlustoš P. (2014). Establishment of *Bryum argenteum* and concentrations of elements in its biomass on soils contaminated by As, Cd, Pb and Zn. *Plant Soil Environ.* Vol. 60, No. 11: 489–495
- Jacquemart, A.L. (2001-2014). "Au pays des tourbières", Earth and Life Institute de l'Université catholique de Louvain (Belgique). Journées organisées dans le cadre du printemps des sciences.
- Joosten H, Tapio-Bistrom M.-L, et Tol, S. (2012). Peatlands : guidance for climate change mitigation through conservation, Rehabilitation and Sustainable Use. 2eme edition, Rome, Food and Agriculture organization of the United Nations, 100p.
- Kahn, A. (2001). Des plantes et des hommes. *Med Sci (Paris)*; 17 : 825-8.
- Kempter, H., Krachler, M., Shotyk, W., Zaccone, C. (2017). Major and trace elements in Sphagnum moss from four southern German bogs, and comparison with available moss monitoring data. *Ecological Indicators* 78 (2017) 19–25. 8p.
- Kenrick, P. & Crane, P. R (1997). The origin and early evolution of plants on land. *Nature* 389(6646): p 33-39.
- Khalid Bouzoubaâ Fennane. La phénoménologie vue comme méthodologie ultime des sciences déductives. *Philosophia Scientiæ*, tome 1, n° 2 (1996), pp. 71-86.
- Kopeć D. et Woziwoda B. (2014). Afforestation or natural succession Looking for the best way to manage abandoned cut-over peatlands for Biodiversity Conservation. *Ecological Engineering*, vol 63, p.143-152.
- Krzaczkowski, L. (2008). Recherche exploratoire de substances actives en pharmacologie antitumorale à partir des Bryophytes. Thèse de doctorat. Université Toulouse III - Paul Sabatier. 202p.
- Krzaczkowski, L., M. Wright & J. E. Gairin (2008). Les Bryophytes, source potentielle de médicaments de demain ? Médecine/Sciences. Vol. 24. 11 : 947-953.
- Laouaznai, H., Dahmani, J., Adoudou, A., and Belahbib, N. (2018). Contribution to the inventory of bryophytes of Jbel Ali in the Izaren massif (Ouazzane region, north of Morocco). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences.*, 6(4): 170-179. <https://www.american-jiras.com/Hifssa-ManuscriptRef.2-ajira030418.pdf>.
- Laouaznai, H., Dahmani, J., Zaza, J., and Belahbib, N. (2020). Contribution to the elaboration of the Brikcha sibe bryoflora inventory in the central western Rif of Morocco. *Plant Archives* Vol. 20 Supplement 1, pp. 2027-2032.
- Lawrey, J.D. (1993). Lichens as monitors of pollutant elements at permanent sites in Maryland and Virginia. *The Bryologist*, 96 (3), 339-341
- Leblond, S., Boucher, A. (2011). Initiation à la bryologie, voyage au cœur de la vie secrète des mousses octobre 2011, 18-43p.
- Lopez, J., Retuerto, R., & Carballeira, A. (1997). D665/D665a. Index VS. Frequencies as indicators of bryophyte response to physico-chemical gradients. *Ecology*, 78(1), 261-271.
- Lopez, J. & Carballeira, A.. (1993). Interspecific differences in metal bioaccumulation and plantwater concentration ratios in five aquatic bryophytes. *Hydrobiologia*, 263 (2): 95- 107.

- Loppi S., Chiti F., Bernadi L. (1994). Lichen monitoring of trace metals in the pistoria area (central northern Italy). Environ. Monit. Assess., 29, 17-27.
- McCleary JA, Sypherd PS, Walkington DL. 1960. Mosses as possible sources of antibiotics. Science 1960; 131 : 108.
- Mersch J., Guérolé F., Rousselle P., Pihan J.C. (1993). Transplanted aquatic mosses for monitoring trace metal mobilization in acidified streams of the Vosges mountains, France. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 51, 255-259.
- Mishler, B.D. (2001). The biology of bryophytes – Bryophytes aren't just small tracheophytes. American Journal of Botany, 88, 2129–2131.
- Mouvet, C., (1984). Métaux lourds et mousses aquatiques. Spécifications physico-chimiques, bioaccumulation et toxicité, Université de Liège, Belgique, 157 pp.
- Muller, S. D., Rhazi, L., Saber, E. R., Rifai, N., Daoud-Bouattour, A., Bottollier-Curtet, M.,... & Ghrabi-Gammar, Z. (2011). Peat mosses (Sphagnum) and related plant communities of North Africa. II. The Tingitanean-Rifian range (northern Morocco). Nova Hedwigia, 93(3), 335.
- Nabors M. (2009). Biologie végétale. Structures, fonctionnement, écologie et biotechnologies. Université du Mississippi (Etats-Unis) Ed. Nouveaux horizons-ARS, Paris. Pp 411-426.
- Pickering D.C., Puia I.L., 1969. Mechanism for the uptake of zinc by *Fontinalis antipyretica*. Physiol. Plant. 22 : 653-661.
- Pócs T. (1980). The epiphytic biomass and its effect on the water balance of two rain forest types in the Uluguru mountains (Tanzania, East Africa). Acta Botanica Scientiarum Hungaricae 26(1-2): 143-167.
- Pócs, T. (1982). Tropical forest bryophytes. Bryophyte Ecology. A. J. E. Smith. London-NewYork, Chapman & Hall: 59-104 .
- Pommier Y, Kohn KW. (2003). Cycle cellulaire et points de contrôle : nouvelles cibles thérapeutiques. Med. Sci. (Paris) 2003; 19 : 173–86.
- Poots, V. J. P., G. McKay & J. J. Healy. 1976. The removal of acid dye from effluent using natural absorbents I. Peat Water Res. 10: 1061–1066.
- Toby Pennington, R., Willis, K.J., McElwain, J.C. 2002. The evolution of plants, Annals of Botany, Volume 90, Issue 5, November 2002, Pages 678–679, <https://doi.org/10.1093/aob/mcf232>.
- Rehe, W.G. & Nimmo, D.W.R., 2001. Culturing the bryophyte *Hygrohypnum ochraceum* for use as an instream monitor of metals. Journal of Freshwater Ecology, 16(3): 375- 379.
- Rochefort, L. (2001). Restauration écologique. In Payette, S. et Rochefort, L., Ecologie des tourbières du Québec-Labrador (chap 23, p. 449-504). Saint-Nicolas, Les presses de l'Université Laval.
- Rozmiej, Z. & A. Kwiatkowski. 1976. The sorption of waste waters on the peats. In: Peat and Peatlands in the Natural Environment Protection. Proc. 5th Internat. Peat Congr., Poznań, Poland, Vol. 1. Pp. 372–378.
- Ruel, M., S. Chornet, B. Coupal, P. Aitcin & M. Cossette. 1977. Industrial utilization of peat moss. In: N. W. Radforth and C. O. Brawner, eds. Muskeg and the Northern Environment of Canada. Toronto. Pp. 221–246.
- Runnels, D.D., Sheperd, T.A. et Angino, E.E., 1992. Metals in water, determining natural background concentrations in mineralized areas. Environmental Science and Technology, 26(12): 2316-2323.
- Saadi K, Dahmani J; Zidane Let Belahbib N. 2018. *Orthothecium intricatum* (Hartm.) Schimp et *Stegonia latifolia* (Schwâgrichen) Venturi ex Brotherus var. *latifolia*, Deux espèces nouvelles pour la bryoflore du Maroc (Parc National de Tazekka, Moyen Atlas). Americain journal of innovative Research and Applied sciences. 6(2) :71-75.
- Samecka-Cymerman, A., Kempers, A. J., & Kolon, K. (2000). Concentrations of heavy metals in aquatic bryophytes used for biomonitoring in rhyolite and trachybasalt areas: a case study with *Platyhypnidium rusciforme* from the Sudety Mountains. In *Annales Botanici Fennici* (pp. 95-104). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Say, P. J; Whitton, B. A. (1983). Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. 1: *Fontinalis antipyretica* Hedw. Hydrobiologia. 100: 245-260.
- Shaw, A. J., & Albright, D. L. (1990). Potential for the evolution of heavy metal tolerance in *Bryum argenteum*, a moss. II. Generalized tolerances among diverse populations. Bryologist, 187-192.
- Simard A. (1974). Les tourbières des comtés de Roberval, Lac St-Jean; Service des Gîtes Minéraux, Min. des Richesses naturelles, Québec, Canada.
- Sloof J.E., & Wolterbeek H. (1993). Interspecies comparison of lichens as biomonitor of trace elements air pollution. Environ. Monit., Assess., 25, 149-157.
- Smith A.J.E (2004). The Moss Flora of Britain and Ireland (second edition). Cambridge University Press, 1012 p.
- Smith, A. J. E., 1978. The Moss Flora of Britain and Ireland. Cambridge University Press, Cambridge, 706 pp.
- Sobovljević, M; Vuković, V; Sobovljević, A; Mihajlović, N; Dražić, G; Vučinić, Ž. (2007) Determination of heavy metal deposition in the county of Obrenovac (Serbia) using mosses as bioindicators. III. Copper (Cu), iron (Fe) and mercury (Hg). Archives of Biological Sciences 59: 351–361.
- Spjut RW, Suffness M, Cragg GM, et al. (1986). Mosses, liverworts, and hornworts screened for antitumor agents. Econ Bot 1986; 40 : 310–38.
- Steinnes E., Hanssen J.E., et al. (1994). Atmospheric deposition of trace elements in Norway: Temporal and spatial trends studied by moss analysis. later Air and Soil Pollut., 74, 121-140.
- UICN, 2015. Union Internationale pour la Conservation de la Nature et sa déclinaison nationale (le comité français de l'UICN pilotent et animent, en partenariat avec le Museum National d'Histoire Naturelle, les programmes d'élaboration des listes rouges, publié dans Espece protégées et espèces invasives 15.07.15.
- Wehr, J.D; Whitton B.A. (1983). Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. Seasonal changes. Hydrobiologia, (1983b) 100: 285-291.
- Whitton 8.A., Say P.J., Jupp 8.P., 1982. Accumulation of zinc, cadmium and lead by the aquatic liverwort *Scapania*. Environ. Pollut., B, 3, 299-316
- Yamina, O., M'hamed, M., Nadera, A., Amine, H., & Mokhtar, A. (2015). Bioaccumulation de la pollution plombique d'origine routière au moyen d'une mousse (*Bryum argenteum*) dans la ville de Tiaret (Algérie): classes de pollution et cartographie. European Scientific Journal, 11 (8).
- Zaouadzki K., Sokołowska K., Samecka-Cymerman A., Kolon K., Dubińska A., Kempers A. J. (2014). Mercury in *Pleurozium schreberi* and Polytrichum commune from areas with various levels of Hg pollution – an accumulation and desorption experiment with microscopic observations, Ecotoxicology and Environmental Safety 108 (2014) 36–41.
- Zaza, J., Dahmani, J., & Belahbib, N. (2018). Contribution à l'inventaire de la flore bryophytique d'Akchour dans la région de Chefchaouen, Nord du Maroc. Am. J. Innov. Res. Appl. Sci., 7(4): 234-238.
- Zaza J., Dahmani J., Laouazni, H., & Belahbib, N. (2020). The bryophytic flora of the fir forest of Jbel Lekraa (Western Rif, Morocco) with census of new species. Plant Archives Vol. 20 Supplement 1, pp. 793-800