
Rapport de stage individuel

4^{ème} année

Réalisation d'une clé d'Identification Assistée par
Ordinateur des hépatiques aquatiques et
supraaquatiques de France

Institut Agro Rennes-Angers
65 rue de Saint-Brieuc
35042 Rennes

Tuteur entreprise :
Julie Coudreuse
Ingénieur d'études Macrophytes
et Bryologie

Tuteur académique :
Vincent Rotgé

Table des matières

<i>Tables des illustrations.....</i>	<i>2</i>
Table des figures.....	2
Table des annexes	3
<i>Résumé</i>	<i>3</i>
<i>La présentation de la structure d'accueil.....</i>	<i>4</i>
<i>La présentation de la mission.....</i>	<i>5</i>
<i>La présentation des livrables de la mission</i>	<i>6</i>
<i>L'objet de l'étude</i>	<i>7</i>
Les bryophytes	7
Les hépatiques à feuilles	9
<i>La clef d'identification en ligne</i>	<i>9</i>
<i>Les outils – les méthodes</i>	<i>10</i>
Xper 3	10
Prise de photographies	14
Récolte sur le terrain	15
Affinity Photo.....	15
<i>Les différentes tâches du stage.....</i>	<i>16</i>
Recherche bibliographique	16
Les descripteurs.....	18
Appareil végétatif	18
Appareil reproducteur	29
Illustration de la clef	31
Illustration des espèces	31
Illustration des critères	32
Réflexion sur la méthode	33
Test de la clef	33
Participation à d'autres évènements	34
Participation à une formation continue	34
Suivi sur des mésocosmes	34
<i>Réflexion sur mon travail</i>	<i>36</i>
<i>Retour sur l'expérience</i>	<i>37</i>
<i>Bibliographie.....</i>	<i>38</i>
<i>Webographie</i>	<i>38</i>
<i>Annexes</i>	<i>39</i>

Tables des illustrations

Table des figures

Figure 1: Arbres des divisions phylogénétiques (d'après Lecointre & Le Guyader, 2001, la classification phylogénétique du vivant).....	7
Figure 2: Clef d'identification des bryophytes aquatiques [BAILLY et al., 2004 ; COUDREUSE et al., 2005].....	8
Figure 3: Capture d'écran du site Xper 3, Items	10
Figure 4: Capture d'écran du site Xper 3, Modèle descriptif.....	11
Figure 5: Capture d'écran du site Xper 3, Description.....	12
Figure 6: Capture d'écran du site Xper 3, Clef d'identification.....	13
Figure 7: Photographie de la face ventrale de <i>Saccogyna viticulosa</i>	14
Figure 8: Photographie d'une <i>Chiloscyphus polyanthos</i> à St Bonette (prise par Julie Coudreuse).....	14
Figure 9: Photographies de <i>Porella cordaeana</i> avant et après retouche	16
Figure 10: Illustration de feuille d'insertion succube et incube	18
Figure 11: Schéma de l'insertion des feuilles sur la tige à gauche alterne et à droite opposée	19
Figure 12: Illustration de l'espacement des feuilles	19
Figure 13: Illustration du nombre de lobe (un seul à gauche, deux au milieu et <2 à droite)	19
Figure 14: Illustration des différentes formes de lobes.....	20
Figure 15: Illustration des différents apex.....	20
Figure 16: Photographie illustrant les différentes marges possibles des feuilles.....	21
Figure 17: Illustration de lobes condupliqués	22
Figure 18: Illustrations de la forme des sinus.....	22
Figure 19: Illustrations de l'orientation des feuilles (en rouge le grand lobe, en bleu le petit lobe)	22
Figure 20: Illustration de la taille comparée des lobes.....	23
Figure 21: Illustration des formes de la carène	23
Figure 22: Illustration de la mesure de la profondeur de la feuille bilobée	24
Figure 23: Illustration de la mesure de la largeur et de la longueur du lobe	24
Figure 24: Illustration des amphigastres, de leur nombre de lobes.....	25
Figure 25: Photographie de <i>Saccogyna viticulosa</i> montrant un amphigastre conné à la feuille.....	25
Figure 26: Photographie retouchée d'un amphigastre dentée de <i>Porella Cordaeana</i>	26
Figure 27: Photographie retouchée de <i>Scapania Compacta</i> , montrant des rhizoïdes	26
Figure 28: Illustration de la mesure de la taille de la cellule, Paton.....	27
Figure 29: Illustration des parois des cellules.....	27
Figure 30: <i>Jungermannia gracillima</i>	27
Figure 31: <i>Porella cordaeana</i>	27
Figure 32: Aspect lisse des oléocorps de <i>Lejeunea lamacerina</i>	28
Figure 33: Aspect papilleux des oléocorps de <i>Lophocolea bidentata</i>	28
Figure 34: Oléocorps segmentés, Paton	28
Figure 35: Oléocorps entiers, Paton	28
Figure 36: Gemmes de <i>Scapania undulata</i>	28
Figure 37: Photographie de l'apex de <i>Scapania undulata</i> montrant des gemmes.....	28
Figure 38: Illustration de la distribution des gamétanges	29
Figure 39: Illustration avec photographies de la taille du petit lobe dans le cas d'une feuille bilobé condupliqué.....	32
Figure 40: Schéma illustrant l'insertion des feuilles les unes par rapport aux autres	32
Figure 41: Photographie, prise par Julie Coudreuse, du suivie d'un mésocosmes, ici une pêche électrique	34
Figure 42: Photographies de deux mésocosmes présentant une densité de végétation différente	35

Table des annexes

Annexe 1: Tableau des espèces présentes dans la clef	39
Annexe 2: Dépendances entre les critères de la clef.....	40
Annexe 3 : Clef générée par le logiciel Xper	42
Annexe 4 : Utilisation de la clef	46
Annexe 5: Fiche de présentation de l'espèce <i>Porella Cordaeana</i>	50
Annexe 6: Photographie retouchée après focus stacking de <i>Lejeunea lamacerina</i>	50
Annexe 7: Photographies à différents focus de <i>Lejeunea lamacerina</i>	51
Annexe 8 : Exemple de page d'espèce, ici <i>Jubula hutchinsiae</i>	52

Résumé

Le but de mon stage a été de réaliser une clef de détermination en ligne. Cette clef accompagnera une clef papier des Bryophytes aquatiques et supraaquatiques de France. Une clef en ligne permet à son utilisateur de choisir son chemin dans l'identification de l'espèce ce qui n'est pas le cas avec une clef papier.

Cette clef sera utile aux opérateurs IBMR, les bryophytes faisant parti de cet indice visant à évaluer la qualité trophique des cours d'eau via les plantes aquatiques.

La clef lorsqu'elle sera accessible en ligne, pourra être utilisée par tous : expérimenté ou non. La volonté est donc la clef soit accessible et que les critères soient simples de compréhension.

Mes missions lors de ce stage étaient diverses. J'ai fait de nombreuses recherches bibliographiques pour décrire les taxons, et définir les critères de la clef. Pour cela j'ai utilisé de nombreux ouvrages.

A ce jour la clef compte 37 taxons d'hépatiques à feuilles décrient par 70 descripteurs. Cette liste d'espèce correspond aux taxons retrouvés lors des suivis IBMR en France sur les 5 dernières années et quelques espèces aquatiques et supraaquatiques rares.

J'ai également réalisé les illustrations originales de la clef. L'objectif était que chaque taxon et chaque caractère soient illustrés par des photographies d'échantillons. Pour les espèces dont les échantillons n'étaient pas disponibles des schémas ont été utilisé.

Le travail sur cette clef a nécessité de nombreuses modifications des critères. Tous les descripteurs ont été revu afin de voir s'ils étaient pertinents et nécessaires à la détermination des espèces. La remise en question était permanente pour la réalisation de ce travail.

Avant de mettre cette clé accessible aux opérateurs, une phase de tests est en cours afin de valider ses bonnes fonctionnalités.

La présentation de la structure d'accueil

Mon stage s'est déroulé au sein de l'Institut Agro Rennes-Angers, un établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel. Cet institut est placé sous la tutelle du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire ainsi que du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

L'institut est structuré autour de 6 départements d'enseignement et de 14 unités de recherche, dont 12 Unités Mixtes de Recherche (UMR) majoritairement associées à l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement). Les départements couvrent divers domaines tels que les agrosystèmes terrestres et aquatiques, l'alimentation, l'animal, les sciences humaines et sociales, les statistiques et le végétal.

L'Institut Agro se distingue par ses activités de formation et de recherche dans les domaines de l'agronomie, de l'alimentation, de l'environnement, et des sciences du vivant. Il propose une vaste gamme de formations allant du diplôme d'ingénieur au doctorat.

L'Agrocampus Rennes trouve ses origines dans l'École de Grand Jouan, créée en 1830 à Nozay (Loire-Atlantique). En 1896, cette école nationale d'agriculture a été transférée à Rennes, sur le site qu'occupe encore aujourd'hui l'Institut Agro. Au fil des ans, l'école a considérablement développé son enseignement scientifique en s'appuyant sur la recherche.

En 1946, la création de l'Institut national de recherche agronomique (INRA) a marqué un tournant important, celui-ci s'installant progressivement autour de l'école. En 1962, l'école est devenue l'École nationale supérieure agronomique (ENSA). Deux ans plus tard, en 1964, l'École nationale supérieure féminine d'agronomie (ENSFA) a ouvert ses portes dans les mêmes locaux, avant de devenir en 1990 l'Institut national supérieur de formation agro-alimentaire (INSFA).

En 1988, l'ENSAR (École nationale supérieure agronomique de Rennes) a été habilitée à délivrer le doctorat. Depuis 1995, diverses structures de recherche et développement se sont implantées sur le campus, favorisant une dynamique de partenariat professionnel forte. En 2004, l'Institut national d'enseignement supérieur et de recherche agronomique et agroalimentaire de Rennes (Agrocampus Rennes) a regroupé en un établissement unique l'ensemble des formations supérieures agronomiques et agro-alimentaires dispensées sur le site.

L'intégration de l'EPN-CEMPAMA (Établissement national de formation et d'expérimentation pédagogique) de Beg-Meil en juin 2006 a permis de valoriser les ressources du CEMPAMA en matière de transfert et d'appui au système éducatif agricole, en interaction avec les départements d'enseignement et de recherche d'Agrocampus Rennes.

Le service où j'ai réalisé mon stage est l'Unité Pédagogique Écologie Santé des Plantes, au sein du Département Ecologie. Cette unité a pour mission de développer des connaissances et des solutions pour la gestion durable des cultures et la protection des plantes contre les maladies, mais aussi de développer des connaissances dans les domaines de l'écologie des communautés végétales, les invasions biologiques, la bio-indication et la restauration des cours d'eaux. L'implication de l'Unité Pédagogique est réalisée sur trois axes : (I) la formation (en formation initiale du L3 aux spécialités d'Ingénieur, avec des implications dans d'autres Master co-habilités mais aussi en formation continue), (II) la recherche (au niveau national avec notamment l'implication dans des Unités Mixtes de Recherche avec INRAE) et (III) les missions d'innovation, de transfert et d'expertises.

J'ai ainsi été intégrée à l'UMR DECOD, Unité Mixte INRAE-Institut Agro Rennes-Angers – Ifremer.

La présentation de la mission

Ma mission s'inscrit dans un projet commandité par la DREAL de la Haute-Corse. Dans une démarche de suivi de diagnostic biologique et d'évaluation de la qualité des eaux, l'Indice Biologique Macrophyte en Rivière (IBMR) est le protocole utilisé afin de mesurer le critère « Macrophytes » dans les cours d'eau dans les réseaux de mesure de la Directive Cadre sur l'Eau en France.

Au sein des macrophytes, les bryophytes (mousses, sphaignes, hépatiques à thalle et hépatiques à feuilles) constituent un groupe à la détermination parfois délicate. C'est donc avec pour but de simplifier leur détermination que la DREAL de la Haute-Corse a demandé une version révisée du guide d'identification des bryophytes aquatiques et supra-aquatiques (Coudreuse *et al.*, 2004), adaptée au territoire corse.

Ma mission est liée directement à cette demande, le but de mon stage est de réaliser une clef de détermination, accessible en ligne, des hépatiques à feuilles aquatiques et supra aquatiques qu'on retrouve sur le territoire métropolitain français

Le stage consistera donc en la réalisation d'une clé d'identification assistée par ordinateur des hépatiques aquatiques et supra-aquatiques, qui sera ainsi une application informatisée, proposée en parallèle, de la version papier du second guide des bryophytes.

Afin de réaliser la clef d'identification numérique, j'ai de nombreuses tâches à réaliser lors de la mission :

- La prise en charge d'un logiciel d'IAO (Identification Assistée par Ordinateur), ici Xper 3
- La recherche bibliographique
- La réalisation d'illustrations, photographies des échantillons mis à disposition ou utilisation des illustrations des ouvrages existants lorsque ceux-ci ne sont pas en herbier
- La récolte d'échantillons manquant à l'herbier
- La retouche des photographies
- La mise en place d'une base de données avec des critères et leurs états
- L'illustration de chaque caractère et de ses états

Pour le bon déroulement de mon travail le matériel végétal (herbiers de bryophytes, récolte d'éléments frais), le matériel informatique (ordinateur, logiciels de retouche d'image et d'IAO) et optique (microscope et loupe trinoculaire équipés de systèmes de prise de vue) de l'Unité Pédagogique a été mis à ma disposition.

La présentation des livrables de la mission

Ma mission amène à la réalisation d'une clef informatisée de détermination des hépatiques à feuille aquatiques et supra aquatiques de France. Le livrable associé est donc la clef numérique elle-même.

La clef informatisée s'est réalisée à l'aide du logiciel Xper. L'utilisation des outils d'Identification Assistée par Ordinateur, comme l'est Xper, permet à l'utilisateur de suivre sa propre voie lors de la détermination de l'espèce. L'opérateur aura le choix de l'ordre des caractères qu'il utilisera en fonction de l'échantillon qu'il souhaite déterminer, et de l'accessibilité des critères.

De plus, chaque critère utilisé et ses différents états dans cette clef sont illustrés et décrits afin que même des opérateurs non expérimentés puissent être à l'aise avec les notions utilisées.

D'autres clefs existent à ce jour et leur utilisation m'a permis de voir et de comprendre comment fonctionne les clefs en ligne. La clef des invertébrés de perla [1] est celle que je connaissais avant le stage mais j'ai également étudié des clefs utilisant Xper : Les insectes [2], les sphaignes [3] et d'autres pressentent sur le site de Xper [4].

J'ai également regardé d'autres modes de création de clefs méthodes : les lichens [5].

Une fois la clef terminée, elle sera accessible en ligne à terme sur le site du Laboratoire d'hydrobiologie Bernard Roché - OFB Corse.

Il est demandé de mettre en annexe les livrables de la mission, ce n'est pas possible pour ce travail, qui est strictement informatique. La clef numérique n'est pas encore accessible en ligne car doit être vérifiée maintenant testée et éventuellement complétée pour ce groupe, ce qui est un des objets de la poursuite de mes missions pour un CDD d'1 mois dans l'UP. De plus, cette clé sera à terme complétée par les autres groupes de bryophytes (hépatiques à thalle et mousses).

Pour présenter mon travail, je vais donc fournir un exemple concret d'utilisation de la clef, via des captures d'écran, pour une espèce à déterminer. (Annexe 4, page 46)

L'objet de l'étude

Les bryophytes

Ma mission porte sur le groupe des hépatiques à feuille, appartenant à la division des Marchantiophytes du super-embranchement des Bryophytes au sens large. (Figure 1)

Divisions phylogénétiques :

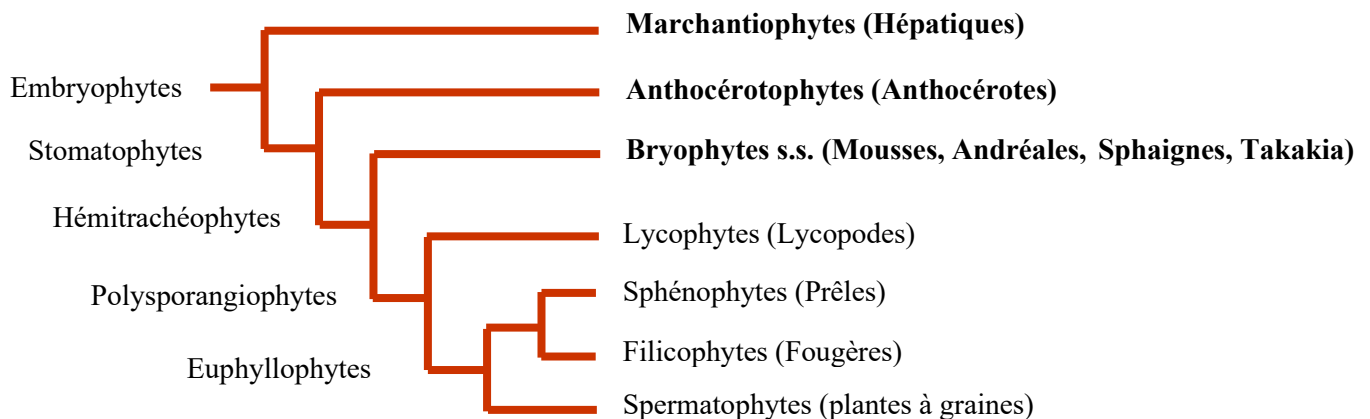


Figure 1: Arbres des divisions phylogénétiques (d'après Lecointre & Le Guyader, 2001, la classification phylogénétique du vivant)

L'embranchement des Bryophytes comprend environ 25 000 espèces (Crum, 2001). En Europe occidentale, on recense près de 1 800 espèces réparties en 170 familles.

Les Bryophytes sont un groupe de plantes cryptogames non vasculaires. L'absorption de l'eau et des sels minéraux se réalise sur l'ensemble de l'individu. Chez la plupart des espèces, les vaisseaux sont absents et les rhizoïdes jouent un rôle unique de fixation au support, sans fonction de conduction.

Ces plantes se distinguent par leur cycle de vie dominé par la génération gamétophyte, une phase haploïde qui produit des gamètes. Lors de ce cycle de reproduction, les Bryophytes présentent un sporophyte inféodé au gamétophyte, deux caractères spécifiques à ce groupe.

Les Bryophytes sont souvent des pionniers dans les habitats perturbés, contribuant à la succession écologique en stabilisant le sol et en créant des conditions favorables à d'autres plantes. En outre, leur sensibilité aux changements environnementaux en fait de précieux bioindicateurs pour la qualité de l'air et de l'eau. L'étude des Bryophytes est essentielle pour comprendre les dynamiques écologiques des écosystèmes terrestres et les impacts des changements environnementaux. C'est pourquoi l'étude des Bryophytes sont impliqués dans plusieurs indicateurs, comme l'Indice Biologique Macrophytes en Rivière (IBMR). Cet outil est utilisé à l'échelle nationale pour le suivi de l'état écologique (trophique) des rivières, conformément aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

L'embranchement des Bryophytes peut-être divisé en quatre groupes : les hépatiques à thalle, les hépatiques à feuilles, les sphaignes et les mousses. (Figure 2). Dans le cadre de ce stage, je me suis concentrée sur le groupe des hépatiques à feuilles.

Le choix de réaliser la clef sur les hépatiques à feuilles et non l'un des autres groupes de Bryophytes provient de plusieurs facteurs. Une contrainte temporelle, sur un stage de trois mois il n'était pas possible de faire la clef sur l'ensemble des bryophytes. Pour les hépatiques à feuilles le nombre de taxons à intégrer est de 33 à 37 (liste allongée) ; pour les hépatiques à thalle de 15 à 20 (liste allongée) et pour les mousses de 70 à 110 taxons.

Le choix s'est donc porté pour ce stage de 3 mois sur le groupe des hépatiques à feuilles. Une contrainte vis-à-vis de la disponibilité des échantillons est également importante. Pour l'étude des hépatiques à thalles il est important de travailler avec des échantillons fertiles, or ce développement a principalement lieu en hiver. De plus, certains caractères ne se conservent pas bien en herbier ; il faut donc travailler sur des échantillons frais.

C'est pour toutes ces raisons que mon travail s'est porté sur les hépatiques à feuille, plus faciles à étudier au vu des conditions.

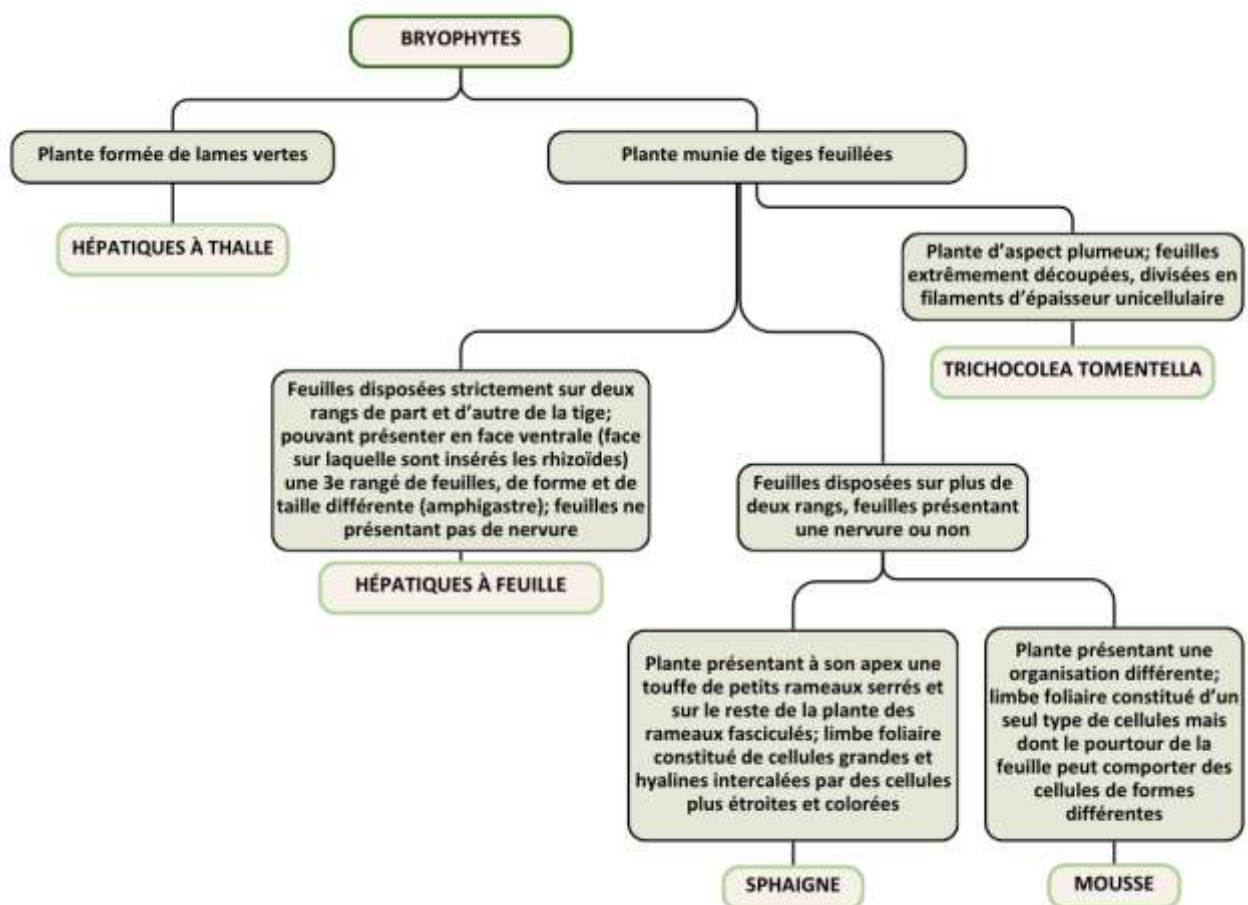


Figure 2: Clef d'identification des bryophytes aquatiques [BAILLY et al., 2004 ; COUDREUSE et al., 2005]

Les hépatiques à feuilles

La plupart des taxons montrent une symétrie bilatérale, avec des feuilles disposées latéralement en deux rangées, de part et d'autre de la tige. Parfois, une troisième rangée de petites feuilles, appelés **amphigastres**, se trouve sur la face ventrale.

La distinction des genres chez les Hépatiques à feuilles se fait principalement sur des critères liés aux lobes des feuilles et amphigastres : forme, insertion, taille, etc., et aussi parfois sur les organes de la reproduction sexuée.

Leur capacité à se reproduire sexuellement et asexuellement par fragmentation ou gemmae assure leur propagation dans des conditions variées.

Une gemmae (ou gemme) est une propagule, une structure spécialisée participant à la multiplication végétative.

Les hépatiques à feuilles prospèrent principalement dans des environnements humides et ombragés, comme les forêts, les berges de rivières et les rochers ombragés. Certaines espèces sont également épiphytes. Elles jouent un rôle important dans la rétention de l'humidité et la formation du sol, tout en fournissant des micro-habitats pour divers organismes.

La clef d'identification en ligne

Le but de ce stage est de réaliser une clef de détermination en ligne.

Une clé de détermination est un outil d'identification de taxons (espèce, de genre, famille, etc.) qui repose sur la succession de choix de caractères que l'individu étudié présente. Ces caractères vont permettre de l'identifier, étape par étape ; grâce à ses attributs, c'est-à-dire de l'assigner à un taxon scientifiquement décrit et nommé, et donc de lui donner un nom.

Les clés sont souvent construites pour présenter deux possibilités lors d'un choix, ce sont des clés dichotomiques ; lorsque qu'une clef présente plus de 2 options on parle de clefs polytomiques.

Lors de l'utilisation d'une clef papier, il est obligatoire de suivre le chemin choisi par le créateur de la clef. Il n'est pas possible pour l'utilisateur de choisir son propre chemin pour la détermination de l'échantillon.

C'est pour cette raison que Julie Coudreuse a choisi de mettre en place une clef en ligne en plus de la clef papier classique, et c'est donc ici mon travail.

La clef numérique apporte de nombreux avantages par rapport à son homologue.

L'opérateur a la possibilité de choisir quels descripteurs il veut utiliser pour réaliser sa détermination. Qu'importe la série de descripteurs choisis, la clef sera capable d'identifier l'espèce.

De plus, la clef en ligne peut être modifiée à tout moment, que ce soit l'ajout d'un taxon ou d'un descripteur sans avoir besoin à changer toute la structure de la clef, ce qui n'est pas le cas avec la version papier.

Les outils – les méthodes

Lors de ce stage, j'ai dû utiliser de nombreuses techniques et plusieurs logiciels.

Des techniques pour la prise de photographie sur le terrain et également en laboratoire avec microscope et loupe binoculaire.

Des logiciels pour la retouche des photographies : Affinity Photo et le logiciel de création de clef d'identification en ligne : Xper.

Xper 3

L'outil utilisé afin de réaliser la clef numérique est Xper 3, utilisable gratuitement sur leur site internet. Xper 3 se présente comme une plateforme collaborative, car tout le monde peut y accéder grâce à un lien à un projet en construction en ligne.

Xper permet donc très facilement de créer des clefs d'identification.

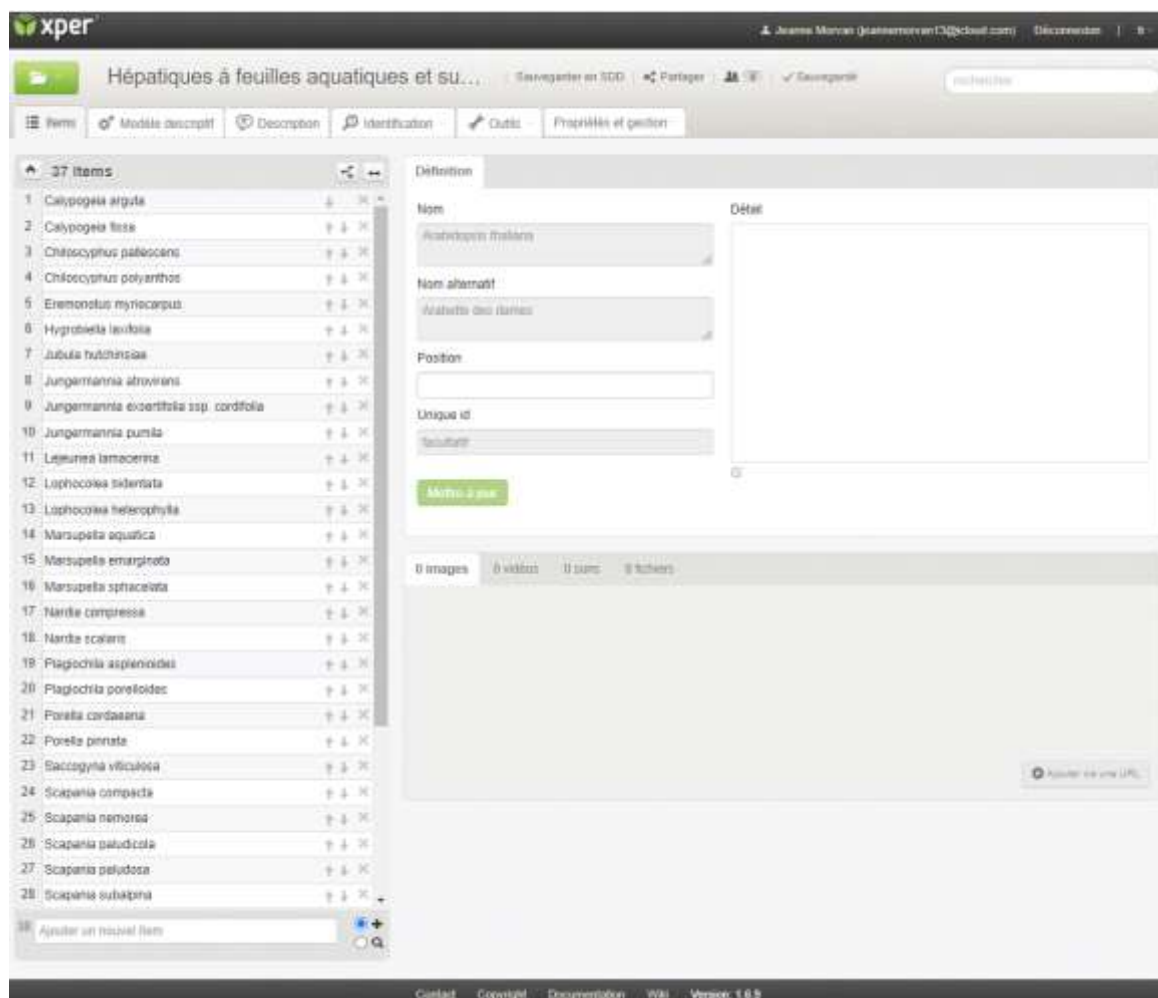


Figure 3: Capture d'écran du site Xper 3, Items

Le site internet se présente avec plusieurs onglets permettant la mise en place de critères et la définition des critères (ou caractères). [Figure 3]

Les « items » sont les espèces qui vont être définies par des critères et qui seront la finalité de la clef.

Chaque item, ou espèce, est défini par son nom, un id fourni directement par l'algorithme, une position dans la liste ; ici la position a été définie par ordre alphabétique. Pour chaque espèce, il y a également un petit texte descriptif que j'ai rédigé afin que l'utilisateur ait des connaissances supplémentaires sur l'individu étudié. Ces caractéristiques descriptives pour chaque espèce sont : sa taille, son habitat, son amplitude altitudinale, son écologie, ses caractéristiques de reconnaissances sur le terrain, ses possibilités de confusion avec d'autres espèces. [Annexe 5]

Chaque espèce (et les états des caractères) est également illustrée par des photographies prises sur le terrain et en laboratoire. Pour que les photographies soient intégrées dans l'outil, il est nécessaire de les faire héberger sur un site internet ; Xper utilisant les url des photos, afin de les afficher dans la clef. Cette clé ayant vocation à être utilisée à long terme, après recherches, j'ai choisi le site internet ; qui est un hébergeur de photographie gratuit, sans suppression des photographies [6]. L'utilisation de cet hébergeur de photo est une solution provisoire, avant de trouver une solution plus pérenne reliée au commanditaire.

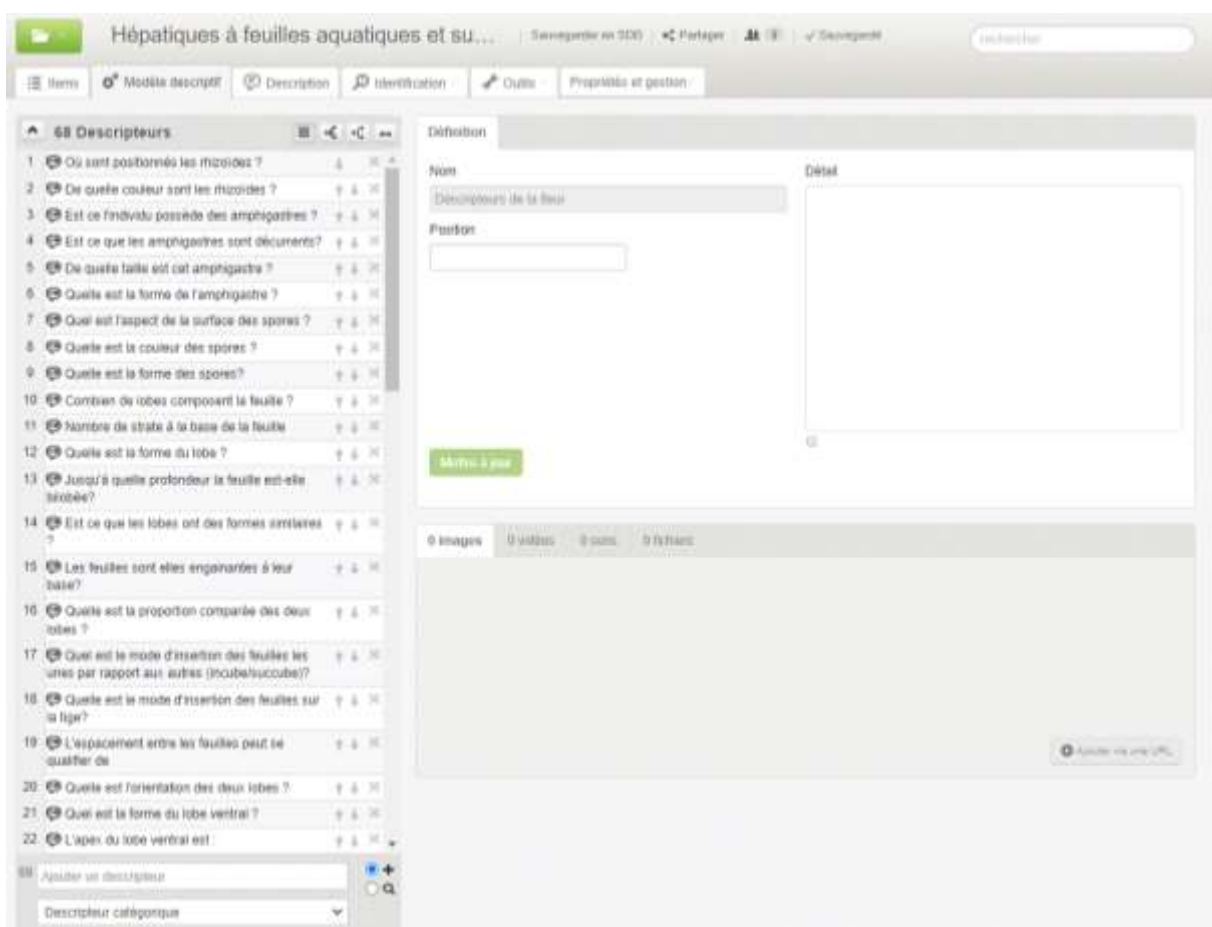


Figure 4: Capture d'écran du site Xper 3, Modèle descriptif

Afin de réaliser une clef, il faut créer des descripteurs (caractères/critères), il en existe 3 types :

- Les descripteurs catégoriques : ces descripteurs permettent d'avoir des critères sous formes de listes, où il faut cocher ce qui correspond à l'observation sur la plante.
Exple : Est-ce que l'individu possède des amphigastres : Oui, Non
L'espacement entre les feuilles peut se qualifier de : Imbriquées, Contigües, Rapprochées, Distantes

- Les descripteurs numériques : ces descripteurs permettent à l'opérateur de remplir un nombre et non de cocher un état de critère. Lors de la création et du remplissage des critères, il faut donc de rentrer une plage de données pour chaque espèce.
Exemple : Combien y a-t-il d'oléocorps par cellule ? : Pour *Scapania Compacta* la réponse se situe entre 3 et 12 selon la bibliographie.
- Les descripteurs calculés : Dans cette clef aucun de ces descripteurs n'est utilisé mais le principe est que l'état se calcule lui-même via la réponse à d'autres critères.

Pour chaque descripteur, il faut choisir l'état correspondant à l'espèce (par exemple « oui » ou « non » pour le critère « est-ce que l'individu possède des amphigastres ? ». Il est possible de ne pas trouver l'information correspondantes malgré les recherches bibliographiques ; dans ce cas-là il y a la possibilité de cocher la case « Valeurs inconnues ». Cela signifie que pour cette espèce, le logiciel va considérer que pour ce descripteur tous les états possibles ont été cochés. [Figure 4]

Grâce à ce logiciel, il est possible de mettre en place des dépendances entre des critères. Dans cette clef c'est souvent utilisé pour des propriétés observables sur la plante qui ne sont pas forcément présentes : l'appareil reproducteur, les gemmes, ...

Exemple : Les questions liées aux oléocorps (nombre, segmentation, ...) ne se posent que s'il est possible de les observer.

Les oléocorps ne sont toujours visible dans les cellules car chez la plupart des espèces, ils ont une durée de vie de seulement quelques jours. Leur étude dépendra donc de la fraîcheur de l'échantillon utilisé.

L'Annexe 2 présente les dépendances mises en place dans cette clef.

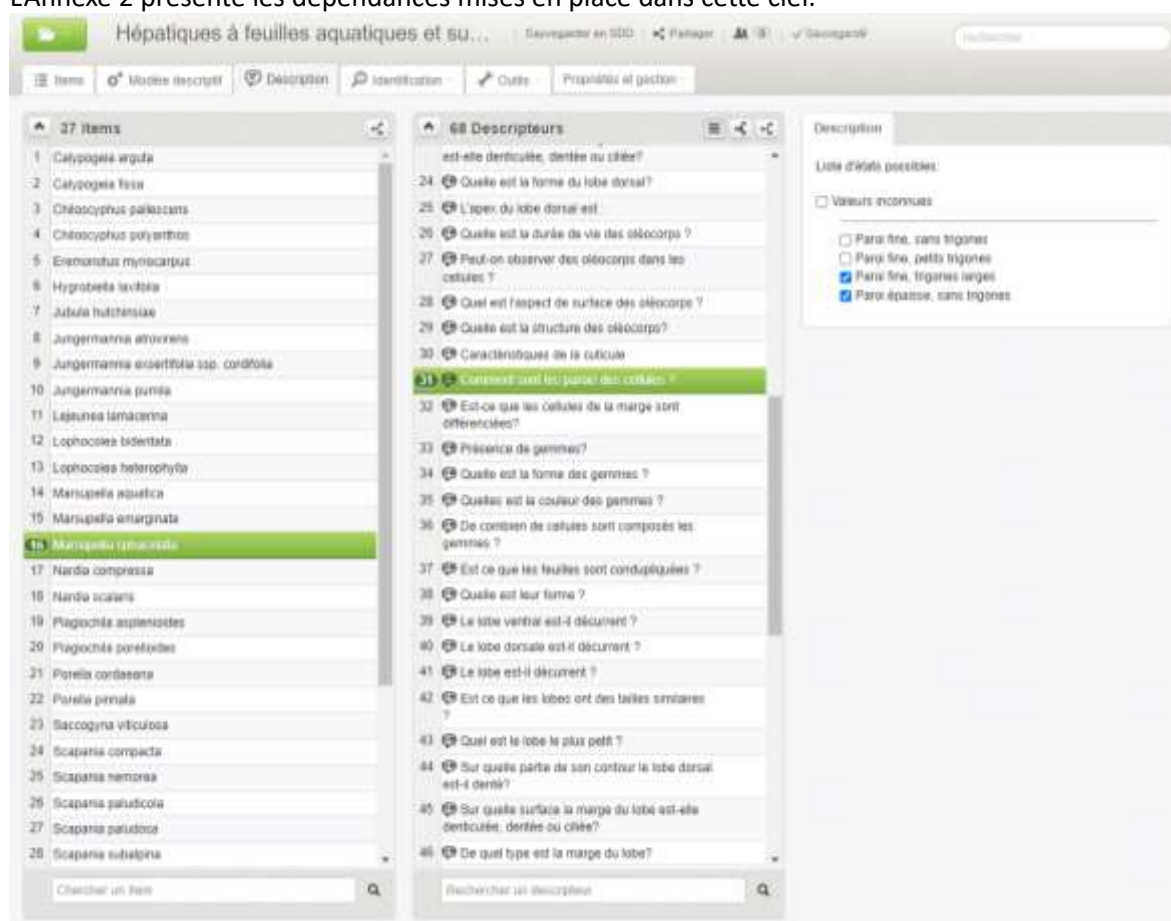


Figure 5: Capture d'écran du site Xper 3, Description

Le troisième onglet du logiciel, permet de définir les caractéristiques des espèces. Pour chaque espèce, il faut donc remplir les états pour les descripteurs définis précédemment. [Figure 5]

Dans l'onglet « Outils », on peut accéder à la matrice de comparaison, qui permet de voir les critères et états associés pour l'ensemble des espèces. Grâce à cette matrice, on peut comparer facilement les états donnés pour un même caractère aux différentes espèces et visualiser rapidement les données manquantes.

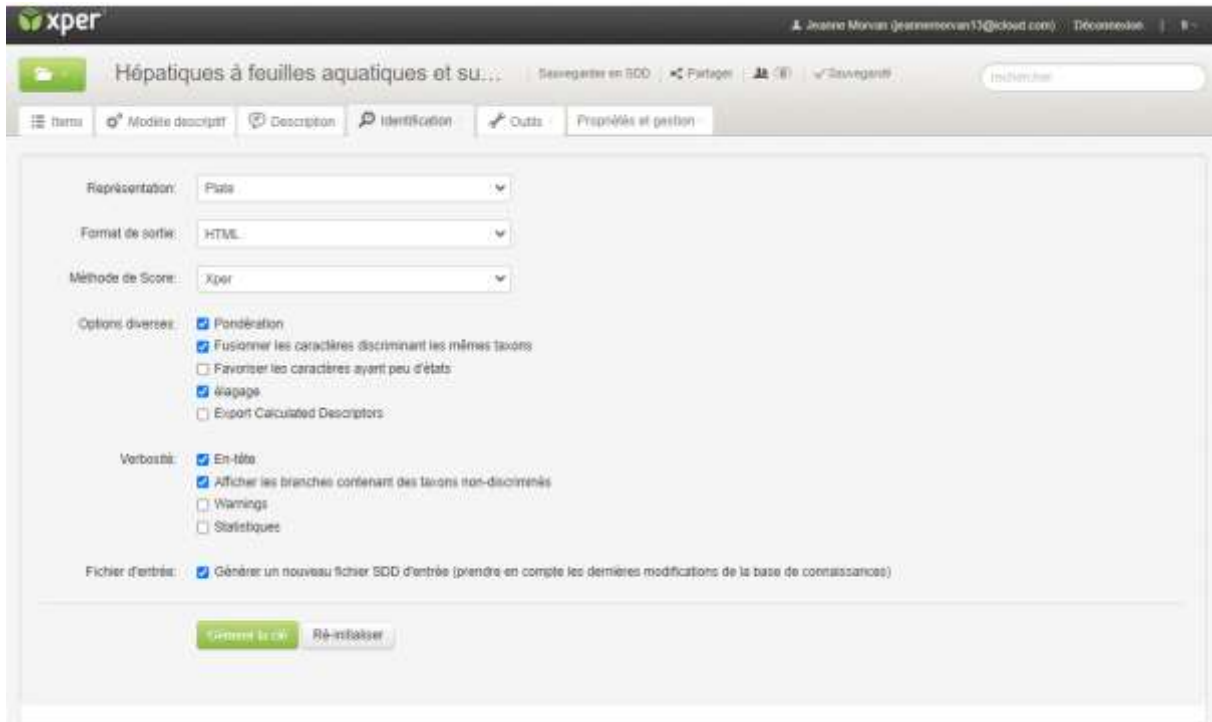


Figure 6: Capture d'écran du site Xper 3, Clef d'identification

Une fois, correctement rempli, l'outil Xper 3 peut créer de lui-même une clef d'identification dichotomique en version papier. Il est possible de modifier l'arbre qui va être généré selon ce qu'on veut obtenir. [Figure 6]

Cette fonction n'est pas l'objet de mon étude mais la génération de cette clé pourra servir de base à la révision de la clé d'identification version papier qui est en cours.

L'Annexe 3 est une clef d'identification générée par le logiciel le 16/07/24.

La raison principale d'utilisation de cet outil est la création d'une clef d'identification interactive. Pour montrer le fonctionnement de cette clef, j'ai simulé l'identification d'une espèce en annexe. [Annexe 4]

Prise de photographies

La partie principale de l'illustration de cette clef s'est faite par la prise de photographies.

Les clichés ont été réalisés sur des échantillons frais ou sec d'herbier réhydratés, selon la disponibilité de l'espèce.

Selon l'élément à photographier, l'outil utilisé n'était pas le même. Lorsque qu'il s'agissait de « grand » élément comme peut l'être un individu entier, la prise de vue s'est faite à partir d'une loupe binoculaire ou directement avec l'appareil photo numérique. Pour de plus petits éléments tels que les cellules ou les amphigastres, la prise de vue s'est faite à l'aide d'un microscope et de l'appareil photo. [Figure 7].



Figure 7: Photographie de la face ventrale de *Saccogyna viticulosa*

Afin d'illustrer de la meilleure la plus complète chaque espèce, nous avons cherché à obtenir des photographies de terrain, pour que l'utilisateur puisse avoir une vision de l'espèce en milieu naturel. Pour la plupart des espèces, nous possédons déjà des clichés, pour d'autres nous avons profité de la récolte d'échantillons pour la réalisation de ces photographies. [Figure 8]



Figure 8: Photographie d'une *Chiloscypus polyanthos* à St Bonette (prise par Julie Coudreuse)

Référence des appareils photos

Appareil photo de terrain : Olympus Tough TG6, 12 Méga pixels

Appareil photo macro : Canon EOS 750D, 24.2 Méga pixels

Loupe binoculaire : Wild M3B, grossissement : 6,4 ;16 ; 60

Loupe trinoculaire : Leica M60, grossissement : 1 à 5

Microscope : Leica DM750, grossissement : 63 ;20 ;10 ;4

Toutes les photographies présentes dans ce rapport ont été réalisées par moi-même Jeanne Morvan si le nom de l'auteur n'est pas mentionné dans son titre.

Récolte sur le terrain

Afin d'obtenir des photographies les plus fidèles à la réalité de terrain, nous avons priorisé l'utilisation d'échantillons frais.

Des prospections de terrain ont été nécessaires pour la récolte des échantillons. Certains critères des hépatiques à feuille ne sont observables que sur des individus frais, c'est le cas par exemple des oléocorps qui chez la plupart des espèces ne sont plus observables après quelques jours. C'est notamment pour cette raison que le travail sur échantillon frais est à privilégier, en plus du meilleur esthétisme des échantillons frais.

Cependant, de nombreuses espèces étant rares ou non accessibles dans la région, le travail d'illustration a dû se faire avec des échantillons d'herbier ou des illustrations lorsque nous ne possédions pas d'échantillons secs de l'espèce.

Ce travail s'est réalisé sur les taxons aquatiques et supra aquatiques. Les échantillons étant récoltés dans les cours d'eau ou à proximité, il est possible qu'ils soient endommagés. Afin d'illustrer ces espèces, il est important de prélever de grands échantillons pour avoir des individus moins abimés dans le groupe.

Un travail préalable indispensable à la prise de photographie a donc été de faire un tri dans les échantillons récoltés pour choisir les individus les mieux conservés et les plus typiques. Le nettoyage de ces individus a ensuite été réalisé sous binoculaire avec un pinceau dans de l'eau. Certains échantillons incrustés de calcaire ont dû être trempés dans du vinaigre avant nettoyage au pinceau.

Tous les échantillons récoltés ont été identifiés avant utilisation pour illustration.

Affinity Photo

Après avoir pris les photos, j'ai procédé à leur retouche.

Toutes les retouches ont été effectuées sur le logiciel Affinity Photo, un logiciel de publication assistée par ordinateur (PAO) de Serif Europe pour macOS et Windows. Il a été créé pour concurrencer Adobe Photoshop. Affinity a également développé Affinity Publisher et Affinity Designer. [7]

Le but premier était de rendre le fond de l'image le plus clair possible sans altérer l'objet photographié, afin d'optimiser le rendu de l'image et l'homogénéisation des images.

Des modifications ont été faites sur la luminosité/le contraste de l'image ainsi que la balance des blancs. De plus, il a fallu nettoyer l'image, de toutes les impuretés (grains ou poussière) qui étaient présentes sur le fond ou de parties de la plante qui rendaient la compréhension de l'image difficile.

Le focus stacking est une technique qui consiste simplement à empiler plusieurs photographies prises avec diverses mises au point pour étendre la profondeur de champ au maximum afin d'obtenir un cliché parfaitement net du premier au dernier plan. [8]

Cette technique a été utilisée sur la majorité des photographies, les objets présentant toujours du relief. Cette technique a été utilisée sur le terrain grâce à l'appareil photo Olympus Tough TG, qui réalise la manipulation de manière automatique.

Sans appareil photo à focus-stacking intégré, la technique peut être réalisée grâce au logiciel Affinity Photo. En effet, après avoir pris des photographies à la loupe ou au microscope à diverses mises au point, le logiciel fusionne les clichés en gardant les zones nettes des images. L'Annexe 7 présente 7 photos de *Lejeunea lamacerina* et l'Annexe 6 est le résultat après focus stacking et retouche de ces photos.

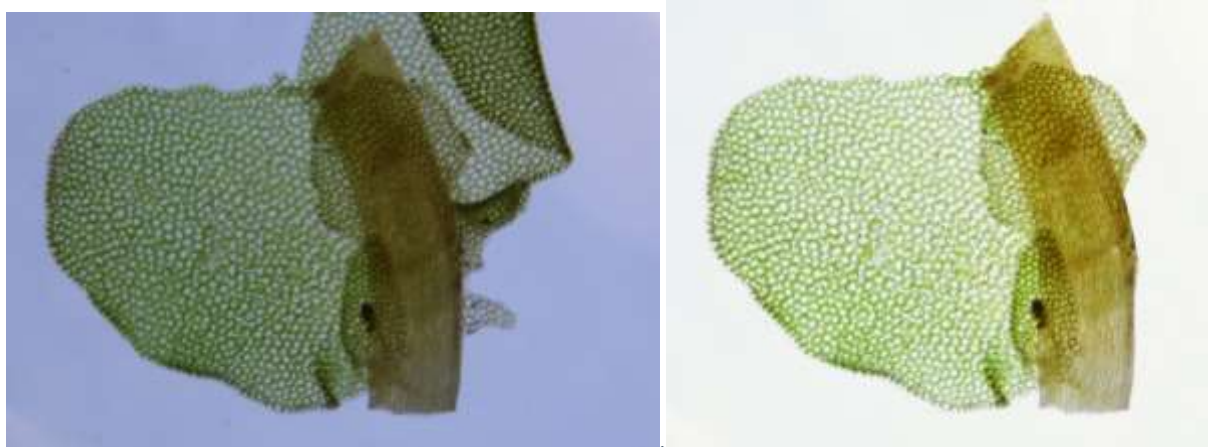


Figure 9: Photographies de *Porella cordaeana* avant et après retouche

La Figure 9 ci-dessus présente l'avant et l'après des retouches faites sur une photographie de *Porella cordaeana*.

Les retouches de couleurs de l'image ont été faites par modification de la balance des blancs et du réglages Luminosité/Contraste.

J'ai également enlevé des éléments de la photographie pour qu'elle devienne plus lisible. Par exemple, la feuille pliée sur la droite de l'image a été effacée à l'aide de l'outil Pinceau de clonage.

Cependant lors de ces retouches il est important de garder l'intégrité de la plante. On observe ici que l'imperfections sur le lobule a été gardé. Il est important pour nous de garder des photos naturelles, je n'ai donc pas eu recours à des filtres améliorant la netteté ou opacité.

Les différentes tâches du stage

Recherche bibliographique

La première étape de mon stage a été la recherche bibliographique. Ce fut important pour me familiariser avec le groupe des hépatiques à feuille.

La liste préétablie des espèces pour la clef comporte 37 taxons pour les hépatiques à feuille. (Annexe 1, page 39)

Les sources comprenaient divers ouvrages et publications scientifiques mis à ma disposition par l'Unité Pédagogique Écologie Santé des Plantes (voir liste en Bibliographie). Cette recherche a permis de recenser les différents caractères utilisés pour l'identification des hépatiques, ainsi que les états possibles de ces caractères selon les taxons étudiés.

Au début de ma recherche, je me suis concentrée sur les textes qui décrivaient les espèces dans les flores de Paton (PATON, 1999) et la flore récente de Hugonnot et Chavoutier (HUGONNOT & CHAVOUTIER, 2021), selon la recommandation de ma maitre de stage, qui proposent des descriptions très complètes des taxons. Par l'étude de ces descriptions j'ai défini des critères et leurs états pour chaque espèce.

Ces critères comprenaient des caractéristiques morphologiques, anatomiques, et écologiques.

Les critères retenus dans un premier temps étaient au nombre de 83.

Tout au long du stage, de nombreuses évolutions et changements ont été effectués sur la clef.

Ces changements ont pu être importants comme la suppression d'un descripteur ou moins impactant comme simplement la modification de l'un de ses états ou de la description d'un état. Ces modifications ont été liées à une littérature complémentaire ou simplement à une épuration pour que la clef soit plus simple par les utilisateurs.

Avec ma référente, Julie Coudreuse, nous avons plusieurs fois révisé la clef afin d'enlever des critères non pertinents. Par exemple, le type d'ouverture de la capsule, pour l'observer il fallait avoir un individu présentant une inflorescence mature mais dont la capsule ne s'était pas encore rompu. Ce cas de figure est possible, mais assez rare ; nous avons donc décidé de ne pas le garder car la probabilité que les usagers de la clef soient dans une situation où cela est observable est extrêmement faible et le critère n'est pas indispensable à l'identification.

Après ces différents changements, la clef propose à ce jour 70 critères, qui se déroulent lorsque l'opérateur utilise la clef.

Le logiciel génère une clef de détermination interactive, cependant les choix de classement des descripteurs seront liés au plus d'exclusion avec le moins de critères.

Or en ayant un regard objectif sur les critères ce n'est pas toujours le meilleur choix pour les opérateurs. (Par exemple, le critère « Comment sont les parois des cellules ? » est proposé avant le critère « Quel est le mode d'insertion des feuilles (opposées ou alternes) ? ». Cela vient du fait que le critère sur les parois est plus sélectif que celui sur l'insertion des feuilles. Or pour les opérateurs il sera plus simple de définir l'insertion des feuilles que les parois des cellules. De même certains caractères sont plus stables que d'autres au sein des individus d'une espèce, ils sont alors à privilégier.

C'est pour cette raison que nous avons mis des poids différents pour les critères, pour que les caractères nous semblant les plus pertinents soient privilégiés et apparaissent rapidement aux usagers.

Afin de trouver les informations nécessaires à la clef, j'ai utilisé principalement deux flores, celle de J. A. Paton (Paton, 1999) et celle de V. Hugonnot (Hugonnot et Chavoutier, 2021). De par l'utilisation de deux flores, il est arrivé que les informations n'étaient pas les mêmes. C'était le cas pour des plages de mesures ou comptage comme, par exemple le nombre d'oléocorps présent dans les cellules (*Scapania compacta* : pour Paton : 3-8 ; pour Hugonnot : 3-12). Dans des cas comme celui-ci, la plage du nombre d'oléocorps choisi dans la clef est la réunion de ces deux plages (ici, 3-12).

Un travail spécifique sera fait ultérieurement sur ces critères numériques afin de définir les seuils pertinents à utiliser pour séparer les espèces selon les clefs d'identification proposées par les différentes flores. Une évolution sera peut-être de proposer différentes plages de mesures en fonction de ces seuils.

Les descripteurs

Le choix des critères et de leur état fut la partie la plus fastidieuse et délicate de mon travail. Il est important d'avoir des critères précis qui permettent de définir l'espèce sans pour autant que ces critères soient trop complexes ou trop nombreux, car sinon l'utilisateur peut se retrouver perdu dans ceux-ci. Multiplier des caractères descriptifs n'a pas beaucoup d'utilité dans l'identification d'une espèce.

Afin de définir au mieux les descripteurs retenus dans cette partie, je vais les présenter par groupe de questions sur le même thème. Je ne peux pas présenter les descripteurs par leur ordre d'apparition dans la clef car avec la dépendance entre certains critères et l'algorithme de Xper 3, chaque utilisation de clef présente un ordre différent de présentation des critères : un chemin propre à chaque détermination, qui est le plus adaptée pour identifier le plus rapidement l'individu.

Les espèces étudiées présentent une variabilité au sein de l'espèce, ce qui peut amener à des difficultés d'identification. Pour cette raison, nous avons choisi de mettre des regroupements des états pour certains critères pour que le choix soit plus simple. C'est le cas de la forme des lobes ou des apex.

De plus, après la consultation d'un échantillon de futurs utilisateurs, les groupes d'états facilitent le choix contrairement à un large panel de possibilités.

Appareil végétatif

Critères liés aux feuilles

Ce sont les critères qui décrivent les feuilles qui sont les plus nombreux dans la clef, on en décompte 34. Cela est dû au fait du grand nombre de possibilités.

Avant de présenter des descripteurs plus spécifiques, certains descripteurs sont présents dans tous les cas de figure car ne sont pas liés à des dépendances.

- Nombre de strate à la base de la feuille

La majorité des espèces d'hépatiques à feuilles ne présente qu'une rangée de cellule à la base des feuilles, à l'insertion de la feuille sur la tige. Pourtant certaines espèces sont dites bistrâtes avec deux rangées de cellules. Cette observation doit se faire au microscope après la découpe d'une feuille.

- L'insertion des feuilles les unes par rapport aux autres, cette observation se fait selon les trois critères suivants :

- La disposition Incube – succube des feuilles [Figure 10]

La disposition succube : en vue dorsale, la feuille la plus jeune recouvre la feuille la plus vieille.

La disposition incube : en vue dorsale, la feuille la plus jeune est recouverte par la feuille la plus vieille. La feuille la plus jeune est celle la plus située vers l'apex.

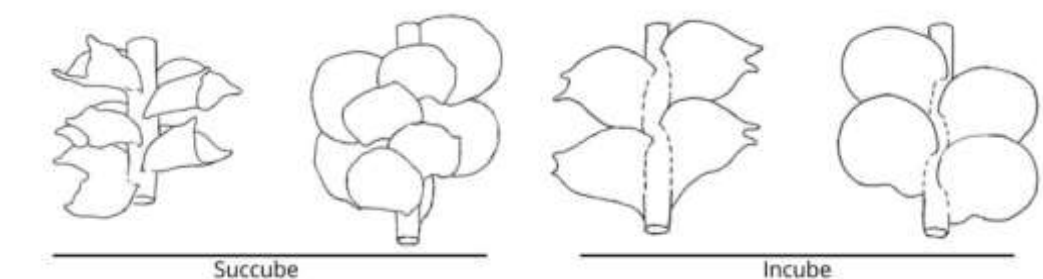


Figure 10: Illustration de feuille d'insertion succube et incube [Paton, 1999]

- La tendance de l'angle d'insertion des feuilles sur la tige : parallèle ou perpendiculaire
Les feuilles sont toujours obliques avec soit une tendance parallèle soit perpendiculaire, il faut choisir dans cette clé le type de tendance.
- La phyllotaxie de l'individu, l'étude de la disposition de ses feuilles sur la tige : opposées ou alternes [Figure 11]

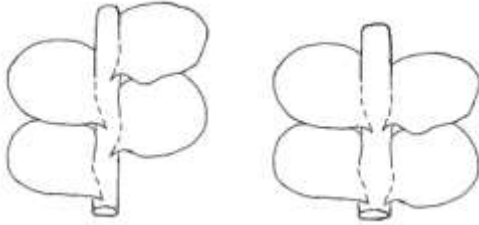
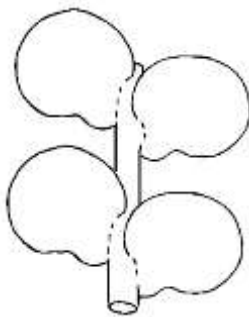
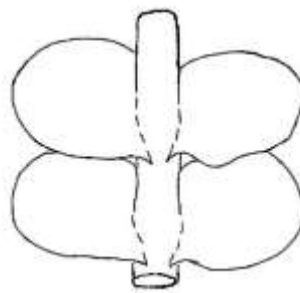


Figure 11: Schéma de l'insertion des feuilles sur la tige à gauche alterne et à droite opposée [Paton, 1999]

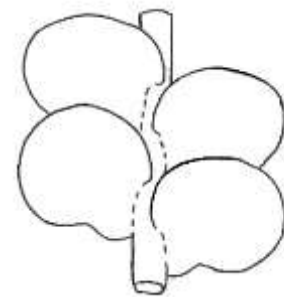
- L'espacement entre les feuilles peut se qualifier de ... [Figure 12]
L'espacement entre les feuilles est variable même au sein d'individus de la même espèce. Ce critère est lié au milieu dans lequel se développe l'individu étudié. Les feuilles peuvent être imbriquées, contigus, rapprochées ou distantes. Du fait de la variabilité intraspécifique, le poids attribué à ce descripteur est faible.



Feuilles distantes



Feuilles contigües



Feuilles imbriquées

Figure 12: Illustration de l'espacement des feuilles [Paton, 1999]

- Les feuilles sont-elles engainantes à leur base ?
 - Avec ce critère, on se demande si à son insertion sur la tige la feuille enroule celle-ci.

Après ces questions qui concernent toutes les espèces, les questions vont être basées sur le nombre de lobes de la feuille.

Les feuilles des hépatiques à feuilles aquatiques ou supra-aquatiques de la liste utilisée peuvent se composer d'un, deux ou un nombre non déterminable (> 2) de lobes car la feuille est très divisée. [Figure 13]



Figure 13: Illustration du nombre de lobe (un seul à gauche, deux au milieu et > 2 à droite)

Si l'opérateur sélectionne l'état : « plus de 2 lobes », alors l'espèce est identifiée directement car dans la clef il n'y a qu'une espèce qui corresponde à ce critère : *Trichocolea tomentella*.

La clef va ensuite dérouler des questions qui permettent de décrire la feuille ou les lobes.

Dans le cas où la feuille ne présente qu'un seul lobe, on parle de la feuille et non du lobe ; on utilise le terme de lobe que pour les feuilles bilobées, trilobées etc...

- La forme de la feuille ou des lobes [Figure 14]

La forme des lobes est variable et ce même au sein des représentants de la même espèce. Les diverses formes sont donc regroupées afin de tenir compte de cette variabilité inter-individuelle, limiter les problèmes de choix de l'opérateur lors de sa détermination, mais aussi d'éviter les risques de confusion.

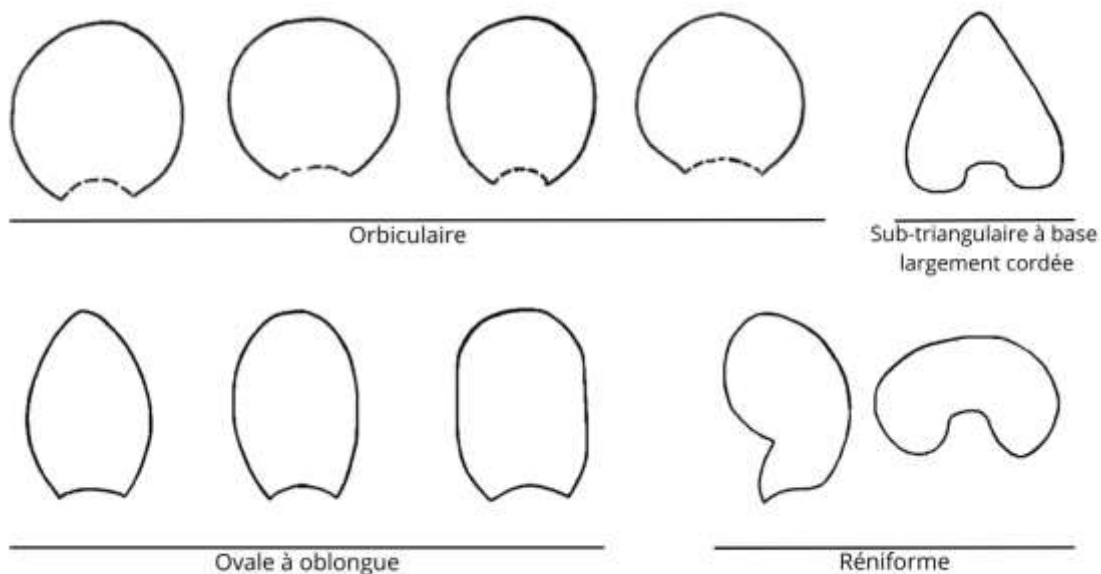


Figure 14: Illustration des différentes formes de lobes [COUDREUSE et al., 2005] [Paton, 1999]

- L'apex de la feuille ou des lobes

Dans la continuité du critère précédent, il est important d'étudier l'apex (la partie terminale, distale) du lobe. De la même manière un regroupement a été effectué afin de faciliter le choix. Les différentes catégories sont représentées dans la Figure 15.

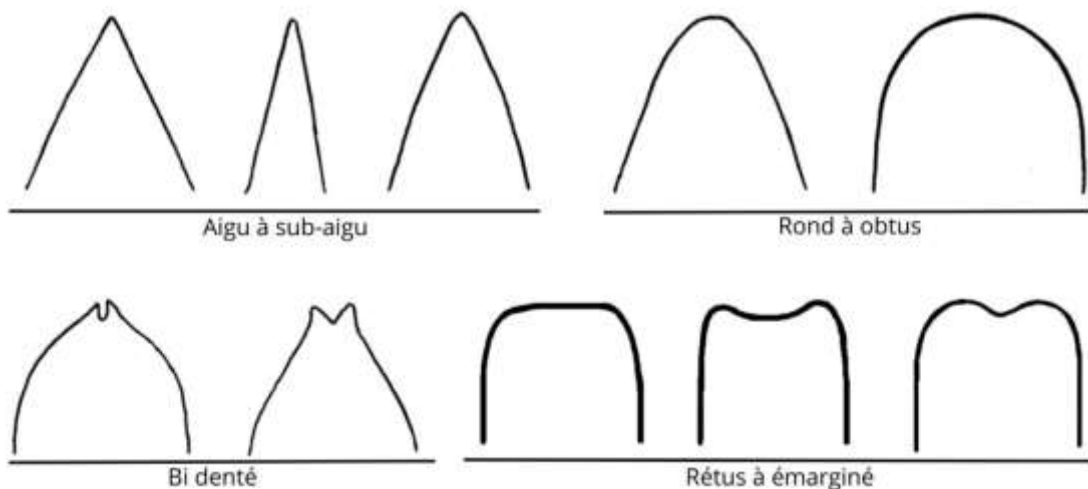


Figure 15: Illustration des différents apex [COUDREUSE et al., 2005] [Paton, 1999]

- La marge de la feuille ou des lobes

Dans ce critère on s'intéresse à la bordure du ou des lobes. Elle peut être entière, dentée (la cellule entière forme la dent), denticulée (une partie seulement de la cellule est projetée pour former la denticulation) ou ciliée (la dent est composée d'une file unicellulaire de cellules qui forment comme un cil). [Figure 16]

- La proportion du contour la marge est-elle denticulée ou dentée ou ciliée

Ce critère est lié à une dépendance du critère précédent : il n'est proposé que si l'opérateur indique que la marge est dentée, denticulée ou ciliée (non proposé si la marge est entière). On cherche à préciser sur quelle proportion la marge est denticulée, dentée ou ciliée.

[Complètement jusqu'à sa base - Sur une surface supérieure à la moitié du lobe - Sur une surface inférieure à la moitié du lobe - À son apex seulement]

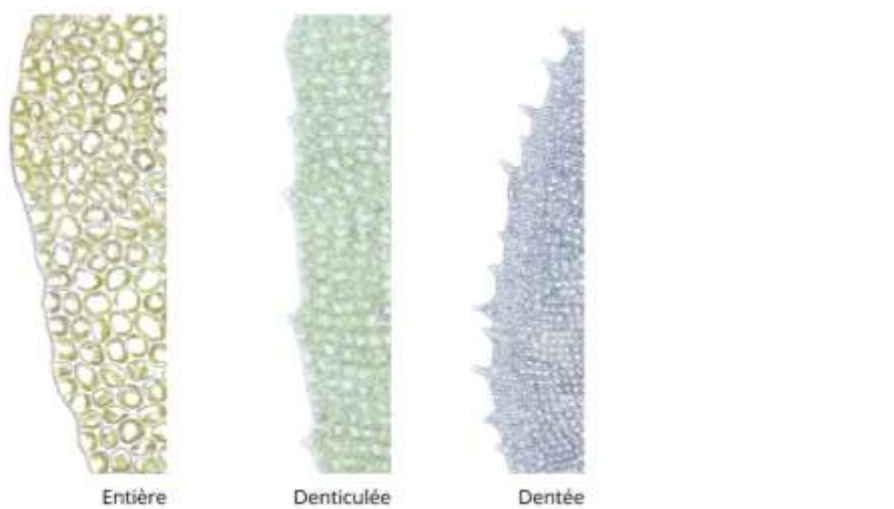


Figure 16: Photographie illustrant les différentes marges possibles des feuilles

- Le lobe est-il décurrent ?

Lorsqu'un lobe ou une feuille est dit décurrent cela veut dire qu'il se prolonge au-delà de son insertion sur la tige.

Dans le cas où l'espèce possède deux lobes, les deux lobes sont également décrits par les questions précédentes : soit les deux lobes par les mêmes questions lorsque ceux-ci présentent les mêmes caractéristiques (taille, forme, marge, ...) soit chaque lobe est décrit séparément.

Lorsque la feuille est composée de deux lobes condupliqués, on va parler du lobe ventral et du lobe dorsal. Le lobe ventral fait référence à la face intérieure de l'hépatique, c'est sur cette face qu'on observe les rhizoïdes et les amphigastres. La face dorsale est relative à la face supérieure de l'individu.

- Est-ce que les lobes ont des formes similaires ? oui ou non
 - Si Oui, une nouvelle question est proposée : Quelle est leur forme ?
 - Si Non, la question de la forme des lobes est scindée en deux questions : Quelle est la forme du lobe ventral ? et Quelle est la forme du lobe dorsal ?

Les formes des lobes et des apex pour le lobe ventral et le lobe dorsal sont définis par les mêmes catégories que décrites précédemment.

Si on est dans le cas où la feuille possède deux lobes alors des critères supplémentaires sont appliqués.

- Est-ce que les feuilles sont condupliquées ? [Figure 17]

Une feuille est dite condupliquée si ces deux lobes sont pliés l'un sur l'autre.

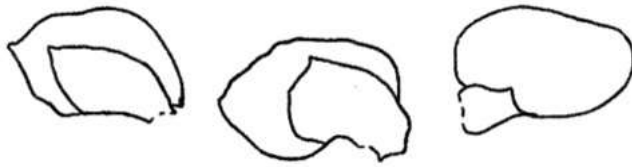
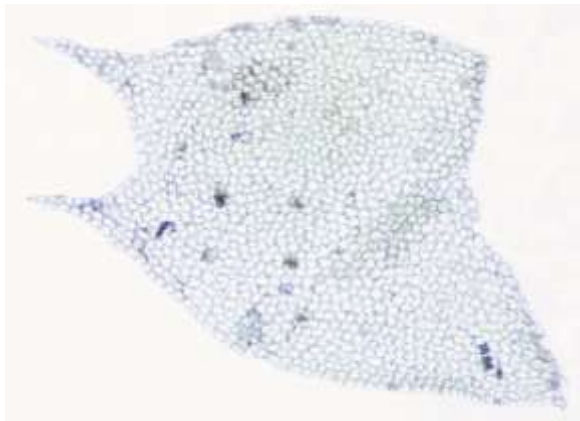


Figure 17: Illustration de lobes condupliqués [Paton, 1999]

- Quelle est la forme du sinus ? [Figure 18]

Le sinus est l'échancrure qu'on peut observer entre les deux lobes de la feuille. Nous avons défini deux catégories de sinus : aigu et arqué.



Lophocolea Bidentata : sinus arqué

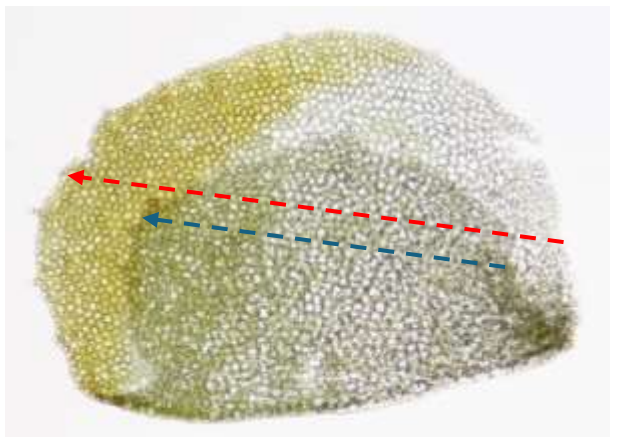


Marsupella Emarginata : sinus aigu

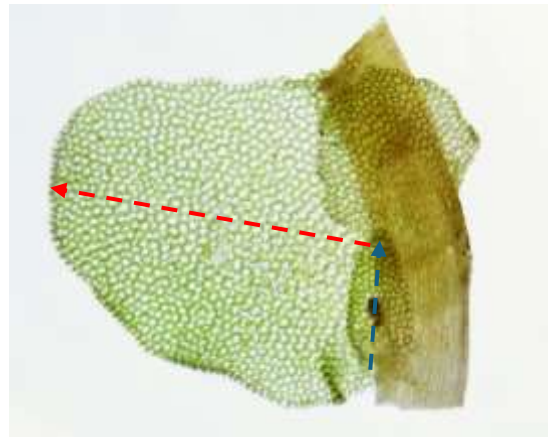
Figure 18: Illustrations de la forme des sinus

- Quelle est l'orientation des deux lobes ? [Figure 19]

Ce descripteur se définit avec l'orientation de chaque lobe (définie par l'angle produit entre l'axe de la tige et l'axe du lobe, soit sa plus grande dimension). On cherche à savoir si l'orientation des deux lobes est similaire ou non. Ce critère ne s'applique qu'aux feuilles bilobées condupliquées.



Scapania Compacta : Orientation similaire des deux lobes



Porella Cordaeana : Orientation différente des deux lobes

Figure 19: Illustrations de l'orientation des feuilles (en rouge le grand lobe, en bleu le petit lobe)

- Taille des deux lobes

Dans le cas de deux lobes condupliques, il est utile de faire une comparaison de taille entre les lobes.

- Quelle est la proportion comparée des deux lobes ? [Figure 20]

Les deux lobes sont de taille similaire (le petit lobe mesure au moins 70 % du grand lobe).

Le petit lobe mesure 50 à 70 % du grand lobe.

Le petit lobe mesure 30 à 50 % du grand lobe.

Le petit lobe mesure environ 20 % du grand lobe (c'est un lobule).



Lophocolea bidentata : lobes de tailles similaires



Scapania undulata : petit lobe mesurant 50 à 70% de l'autre



Scapania nemorea : petit lobe mesurant 30 à 50% de l'autre



Porella pinnata : lobe mesurant 20 % de l'autre

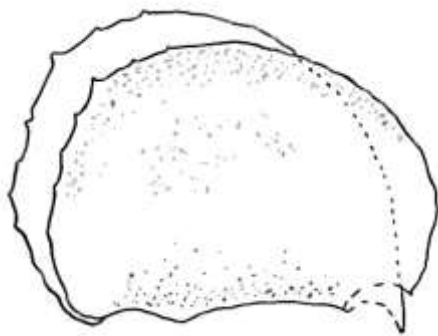
Figure 20: Illustration de la taille comparée des lobes

- Quel est le lobe le plus petit ?

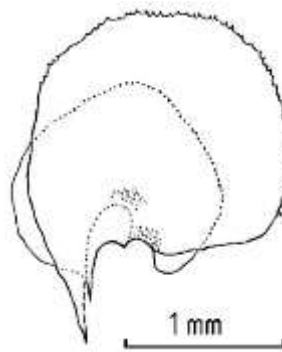
Cela peut être le lobe ventral ou le lobe dorsal.

- Quelle est la forme de la carène de la feuille ?

Dans le cas de deux lobes condupliques le pli entre les deux lobes est appelé carène. Elle peut être droite ou arquée. [Figure 21]



Scapania compacta : carène droite [Paton, 1999]



Scapania paludosa : carène arquée [Paton, 1999]

Figure 21: Illustration des formes de la carène

- Jusqu'à quelle profondeur la feuille est-elle bilobée ?

Nous avons choisi d'appliquer ce caractère uniquement que sur les feuilles bilobées non condupliquées, puisque la taille comparée des deux lobes est utilisée pour les feuilles bilobées condupliquées. [Figure 22]

Inférieur à $\frac{1}{5}$; $\frac{1}{5}$; $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{3}$; $\frac{1}{2}$; $\frac{2}{3}$; $\frac{3}{4}$

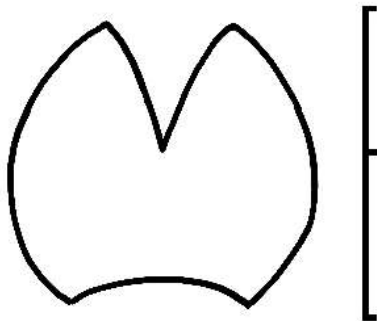


Figure 22: Illustration de la mesure de la profondeur de la feuille bilobée [Paton, 1999]

- Quel est le rapport entre la longueur et la largeur du lobe ?

Ce critère peut être très utile dans l'identification d'espèce appartenant au même genre.

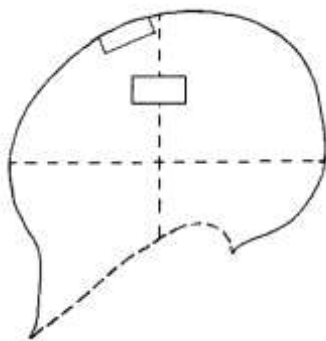


Figure 23: Illustration de la mesure de la largeur et de la longueur du lobe [Paton, 1999]

- La marge des feuilles est-elle révoluée à sa base ?

On parle de feuilles révoluées lorsqu'elles sont enroulées vers l'extérieur, vers le dos de la feuille. La feuille peut avoir sa marge révoluée sur les deux côtés à sa base, sur un seul de ces côtés à sa base ou sur aucun de ses côtés.

Amphigastre

Les amphigastres ne sont présents que sur les hépatiques à feuilles, c'est une de leur caractéristique spécifique. Il s'agit d'une troisième rangée de feuilles, généralement modifiées présentes en face ventrale de l'individu.

- Est-ce l'individu possède des amphigastres ?

Cette question sera posée à chaque nouvelle utilisation de la clef, car sa réponse permet de faire un grand tri entre les espèces. Sur les 37 que compte la clef, 15 espèces possèdent des amphigastres.

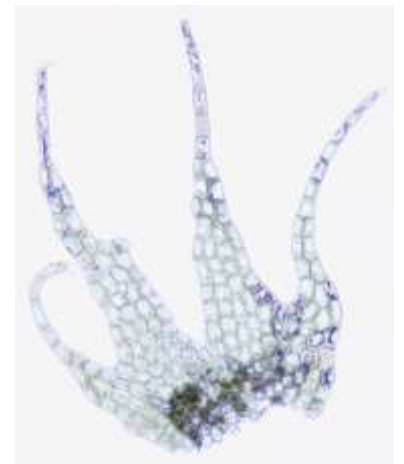
Les critères qui suivent vont servir à décrire les amphigastres.

- De quelle taille sont les amphigastres ?

Afin de faciliter le choix et pour rester objectif, la taille de l'amphigastre va être comparé à celle de la tige de l'individu : moins large, plus large ou de largeur similaire.

- Quelle est la forme des amphigastres ?

La forme des amphigastres n'a pas besoin d'être décrite aussi précisément que la forme des lobes, comme vu précédemment. Avec ce descripteur on se contente de choisir le nombre de lobes qui composent l'amphigastres : 1, 2 ou 4. [Figure 24]



Porella pinnata : amphigastre à un lobe

Saccogyna viticulosa : amphigastre à 2 lobes

Lophocolea bidentata : amphigastres à 4 lobes

Figure 24: Illustration des amphigastres, de leur nombre de lobes

- Est-ce que l'amphigastre est conné avec une feuille latérale ?

L'amphigastre conné est relié à la feuille latérale adjacente ; lors de l'enlèvement de la feuille, il est susceptible d'être également détaché. Dans la liste d'espèces utilisée, il n'y a qu'une espèce qui possède ce critère : *Saccogyna viticulosa*. [Figure 25] Ce critère permet donc de distinguer efficacement l'espèce.



Figure 25: Photographie de *Saccogyna viticulosa* montrant un amphigastre conné à la feuille

- Est-ce que les amphigastres sont décurrents ?

Comme pour les lobes, la déccurrence des amphigastres est leur prolongation au-dessous de leur ligne d'insertion sur la tige. Certaines espèces (*Porella Cordaeana*) présentent des amphigastres avec une déccurrence caractéristique dentée. [Figure 26]



Figure 26: Photographie retouchée d'un amphigastre dentée de *Porella Cordaeana*

Rhizoïde

Les rhizoïdes sont des organes de fixation au support des bryophytes, on les retrouve majoritairement en face ventrale de l'individu. [Figure 27]

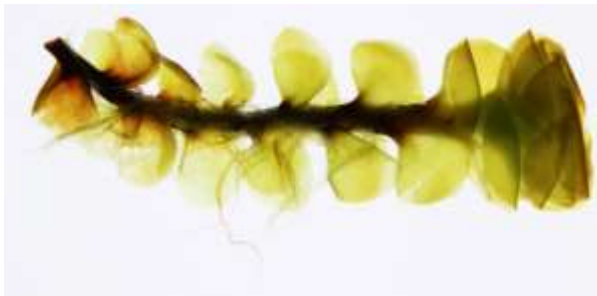


Figure 27: Photographie retouchée de *Scapania Compacta*, montrant des rhizoïdes

- De quelle couleur sont les rhizoïdes ?

La couleur des rhizoïdes est l'une des premières caractéristiques que l'on remarque chez eux. De plus c'est un critère assez facile à observer, pour rendre leur catégorisation encore plus simple, les couleurs ont été rangées par groupes : [Violet - Pourpre – Rose], [Vert – Jaune], [Brun – Noir], [Hyalin].

- Peut-on observer des rhizoïdes à la base des feuilles ?

Les rhizoïdes se retrouvent sur la face ventrale des hépatiques à feuille, mais ils peuvent y être présent à de nombreux endroits. Chez certaines espèces de *Jungermannia* on peut les retrouver insérés à la base des feuilles. Ce n'est le cas que pour 2 espèces de cette clef.

Cellules

L'étude des cellules est souvent très diagnostique pour déterminer l'espèce dans un même genre. Les cellules étudiées sont celles du milieu de la feuille (par défaut) ou celles de la cuticule, ou de la marge de la feuille.

- Caractéristiques de la cuticule

La cuticule est la paroi externe des cellules de l'épiderme.

Dans cette clef la cuticule peut être lisse, papilleuse ou striée.

- Quelle est la largeur et la longueur des cellules ?

C'est un critère numérique, l'utilisateur n'a qu'à rentrer la valeur mesurée sur son échantillon. On s'intéresse ici aux cellules du milieu de la feuille ; la mesure se réalise comme indiquée sur la Figure 28, des valeurs moyennes, mesurées sur une dizaine de cellules, seront à utiliser.

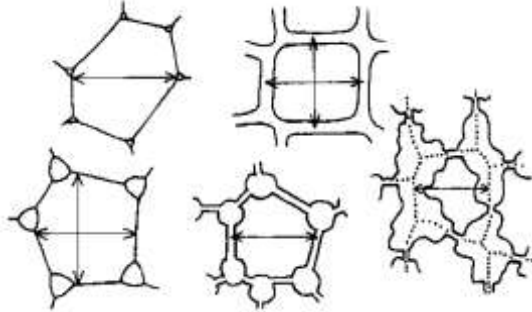


Figure 28: Illustration de la mesure de la taille de la cellule, [Paton, 1999]

- Comment sont les parois des cellules ?

L'épaisseur des parois cellulaire peut être diagnostique, de même que la présence de trigones (épaississement des parois aux angles) qui peuvent être plus ou moins nets. Les deux caractères ont été regroupés pour former les catégories suivantes, bien distinctes : Paroi fine, sans trigones ou petits trigones ; Paroi fine, trigones larges ; Paroi épaisse, sans trigones. [Figure 29]

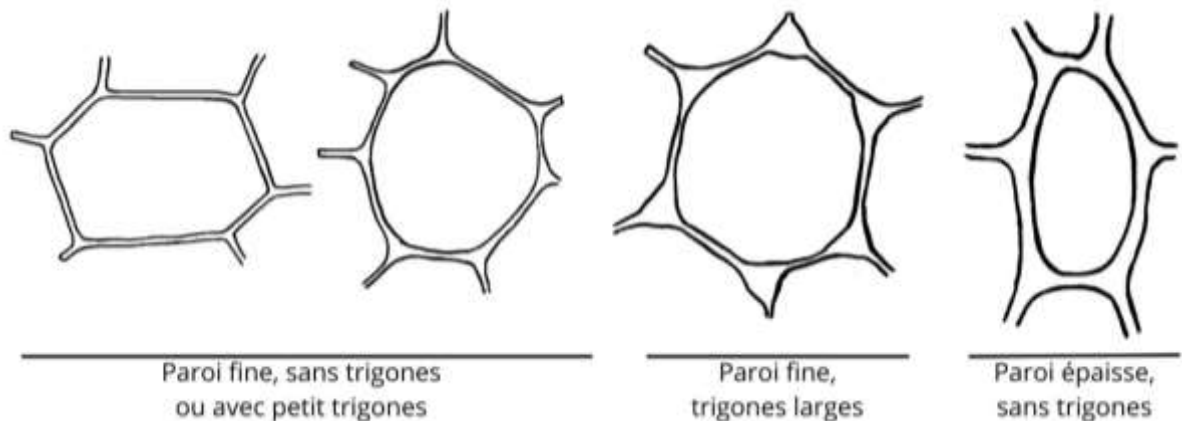


Figure 29: Illustration des parois des cellules [COUDREUSE et al., 2005]

- Est-ce que les cellules de la marge sont différenciées ?

Les cellules de la marge sont dites différenciées dans cette clé lorsqu'elles sont 2 fois plus large que les autres cellules de la feuille. C'est le cas ici de *Jungermannia gracillima* en Figure 30. Dans la Figure 31, on observe la marge de *Porella cordaeana* qui ne possède pas de cellules différenciées.



Figure 30: *Jungermannia gracillima*

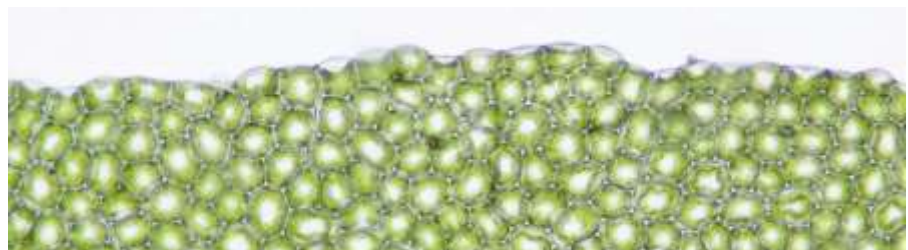


Figure 31: *Porella cordaeana*

Oléocorps

Les oléocorps sont des corpuscules contenant des protéines dans les cellules des hépatiques, elles leur permettent de survivre à des périodes sans apports.

Les descripteurs qui vont suivre vont dépendre de l'observation possible des oléocorps. La plupart des espèces en possèdent mais leur observation peut être difficile car ils sont généralement fugaces. Ils ne vont plus être observable au bout de quelques jours dans les cellules. La persistance des oléocorps est d'ailleurs un critère d'identification : « Les oléocorps sont fugaces, ils ne sont plus présents au bout de quelques jours. » ou « Les oléocorps sont persistants, on peut encore les observer au bout de plusieurs semaines voire années ».

Leur analyse dépendra donc de la fraîcheur de l'échantillon utilisé.

Les critères utilisés pour décrire les oléocorps sont leur

- Aspect de surface : lisse ou papilleux [Figure 32 et Figure 33] ;
- Leur structure : segmentés ou entiers [Figure 34 et Figure 35] ;
- Leur nombre (numérique).

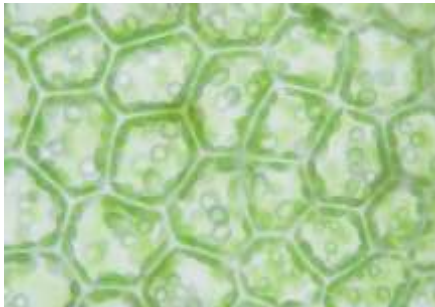


Figure 32: Aspect lisse des oléocorps de *Lejeunea lamacerina*

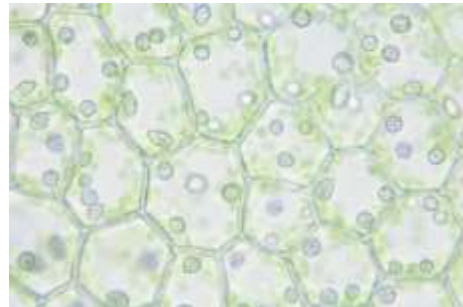


Figure 33: Aspect papilleux des oléocorps de *Lophocolea bidentata*

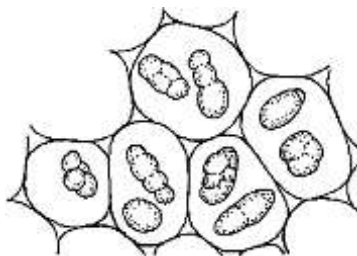


Figure 34: Oléocorps segmentés, [Paton, 1999]

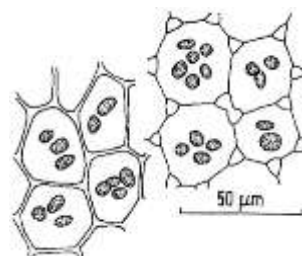


Figure 35: Oléocorps entiers, [Paton, 1999]

Gemme

Les gemmes [Figure 36] sont difficiles à étudier car souvent non présentes sur les individus submergés. Mieux conservées sur les individus émergés, on les retrouve sur la partie la plus jeune des individus, à l'apex des feuilles. [Figure 37]



Figure 36: Gemmes de *Scapania undulata*



Figure 37: Photographie de l'apex de *Scapania undulata* montrant des gemmes

Les gemmes sont en général des organes unicellulaires mais ils peuvent être bicellulaire ou pluricellulaire.

Les gemmes sont décrites par

- Leur forme : Ronde, Ellipsoïde, Anguleuse ;
- Leur couleur : Violet - Pourpre – Rose, Vert – Jaune, Brune,
- Leur taille : largeur et longueur. [Critère numérique avec gamme correspondante]

Appareil reproducteur

Dans de nombreuses clefs des bryophytes, l'étude de l'appareil reproducteur est utilisée. En effet, cela permet une distinction entre les espèces de manière efficace. Malheureusement il n'est pas toujours évident de l'observer, d'autant plus pour les espèces immergées. C'est pour cela que nous avons souhaité que dans cette clef numérique les facteurs liés à la reproduction des espèces soit déterminant. Nous considérons que l'espèce doit pouvoir être identifiée même si elle est stérile.

Par manque d'échantillons ou d'illustrations préexistantes, les descripteurs de l'appareil reproducteur n'auront pas d'illustrations originales dans cette étude, toutes les illustrations seront des schémas issus d'ouvrages.

L'appareil reproducteur n'étant pas forcément présent sur l'individu étudié nous avons un descripteur de présence ou d'absence qui lie par un lien de dépendance les questions qui vont suivre.

- Quelle est la distribution des gamétanges ? [Figure 38]

Ce sont les organes qui contiennent les gamètes mâles ou femelles. On va observer la répartition des gamétanges mâles et femelles. Si les caractéristiques sont observables sur des pieds différents (dioïque) ou sur le même (monoïque).

Lorsque que les caractéristiques sont observables sur le même pied (monoïque), les organes mâles et femelles peuvent être repartit de 3 manières différentes : dans des inflorescences distinctes (autoïque) ; dans la même inflorescence mais séparés par des bractées différentes (paroïque) ; mélangées dans la même inflorescence sans séparation par des bractées (synoïque).

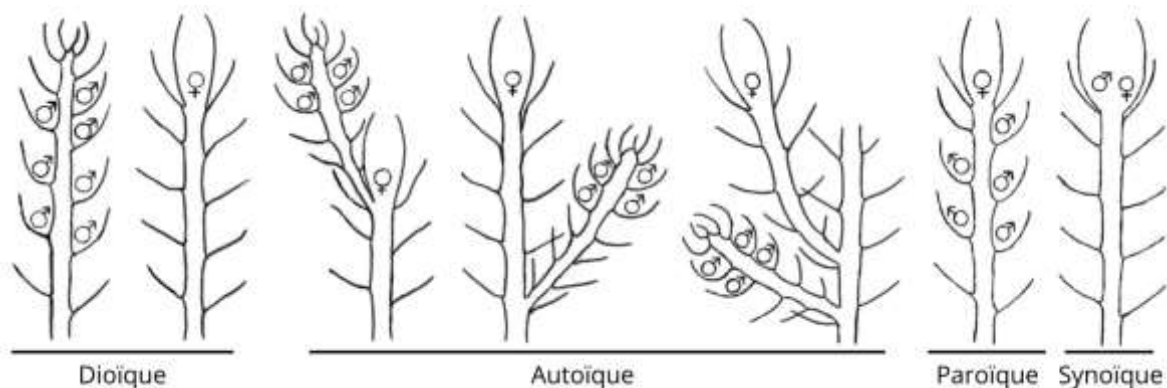


Figure 38: Illustration de la distribution des gamétanges [Paton, 1999]

Inflorescence femelle

L'inflorescence qu'elle soit mâle ou femelle est la structure composée des gamétanges et des feuilles qui l'entourent. On la retrouve à l'apex des rameaux.

On ne s'intéresse dans cette clef qu'à l'inflorescence femelle car c'est celle qui présente le plus de variation entre espèces et a donc été la plus étudiée et la mieux décrite dans les ouvrages.

- L'inflorescence femelle peut être composée de :

Un périanthe

Un périgyne non couvert de paraphylles mais pouvant porter quelques bractées

Un périgyne (de type coelocaulé) densément couvert de paraphylles

Un marsupium

Capsule

La capsule est la partie du sporophyte contenant le sac à spores.

Dans les flores étudiées les capsules sont des éléments peu décrits. Dans la clef il n'y a qu'un descripteur les concernant : quelle est leur forme : Ovoïde- Ellipsoïde ; Sphérique ; Cylindrique.

Spore

Un spore est l'organe de dispersion et de multiplication caractéristique du règne végétal issu de la division réductionnelle (méiose) et qui en germant donnera naissance à un nouveau gamétophyte.

- Le sporophyte est-il mature et les spores sont-ils observables ?

Cette question présente une dépendance sur les descripteurs qui vont suivre. Si les spores ne sont pas observables ils ne peuvent pas être décrits.

- Quel est l'aspect de la surface des spores ?

L'aspect de surface des spores peut être défini de 2 manières : papilleux ou lisse.

- Quelle est la taille des spores ?

La taille des spores est définie à l'aide d'un critère numérique. L'observateur va donc entrer un nombre suite à son étude des spores. Dans les données de la clef, chaque espèce possède une gamme possible pour la taille de ces spores.

Illustration de la clef

Une partie importante de mon travail lors du stage est la partie illustrative que ce soit des descripteurs de la clef ou des espèces.

Illustration des espèces

Afin d'illustrer les espèces retenues, j'ai réalisé des photographies à l'aide du microscope ou de la loupe binoculaire en fonction de la taille de l'objet étudié. Ces photos ont ensuite été retouchées à l'aide d'Affinity Photo, cette étape est décrite plus haut dans mon rapport.

Ces photographies seront utilisées pour la clef numérique que je réalise mais également pour la version papier rédigée par Julie Coudreuse et al.

Chaque espèce est illustrée des mêmes photographies afin d'avoir une base de comparaison et une description globale de l'individu. Les photographies pour chaque espèce sont *a minima* :

- Colonie vue sur le terrain ou proche en laboratoire
- Rameau en vue de la face ventrale
- Rameau en vue de la face dorsale
- Feuilles (si condupliquée : pliée et dépliée)
- Apex du lobe de la feuille
- Marge du lobe de la feuille
- Cellules centrales de la feuille
- Amphigastre si l'individu en présente

Pendant ces trois mois de stage, j'ai réalisé 2200 photographies sur les 17 espèces dont je disposais des échantillons. J'ai obtenu après retouches et focus stacking 300 photographies qui servent à l'illustration des espèces et des critères.

L'Annexe 8 (page 52) présente une page de photographies que j'ai réalisée, qui illustre l'espèce *Jubula Hutchinsiae*. La présentation des photographies sous cette forme est un premier travail de mise en page de la clef papier.

Pour certaines espèces il n'a pas été possible de trouver des échantillons lors de mon stage, que ce soit des individus frais ou d'herbiers. Lorsque je me suis retrouvée dans ce cas de figure, j'ai illustré l'individu avec des photos déjà existantes prises par Julie Coudreuse et par la planche illustrative de l'espèce réalisée par J.A. Paton (Paton, 1999).

L'origine ou l'auteur de chacune des illustrations utilisées (photo ou schéma) dans la version informatique est précisé dans les caractéristiques de la photo.

Illustration des critères

Il est important que la clef soit simple d'utilisation, pour ce faire il faut que les illustrations utilisées pour définir les descripteurs soit claires et compréhensibles par tous.

Chaque critère est accompagné d'une explication qui aide à définir l'objet étudié pour que des opérateurs novices puissent utiliser la clef sans difficulté.

Exple : Texte accompagnant le descripteur « Est-ce que des gemmes sont observables »

Les gemmes (ou propagules) sont des structures spécialisées qui participent à la multiplication végétative.

Chez les hépatiques à feuilles, elles sont généralement produites au niveau des feuilles apicales.

Les illustrations des critères sont de deux sortes : des photographies d'espèces ou alors des schémas. Il n'est pas simple de n'utiliser que des photographies pour certains critères ce n'est d'ailleurs pas possible. La forme des lobes par exemple est très variable, l'illustration par photos aurait été fastidieuse et incomplète. De plus le schéma est visuellement plus simple, ce qui permet une meilleure compréhension du critère étudié. [Figure 39]

Les schémas utilisés proviennent de deux ouvrages : The Liverwort Flora of the British Isles de J. A. Paton et Les Bryophytes aquatiques et supra-aquatiques. Clé d'identification pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière de Julie Coudreuse (illustration réalisée par Sixtine Gayet et Thibaud Rodriguez). Afin d'avoir la meilleure qualité possible d'illustration, chaque schéma a été retravaillé à la main à l'aide d'une tablette graphique et du logiciel Procreate. Les contours ont été refait pour obtenir un résultat plus net. [Figure 40]



Figure 39: Illustration avec photographies de la taille du petit lobe dans le cas d'une feuille bilobé condupliqué

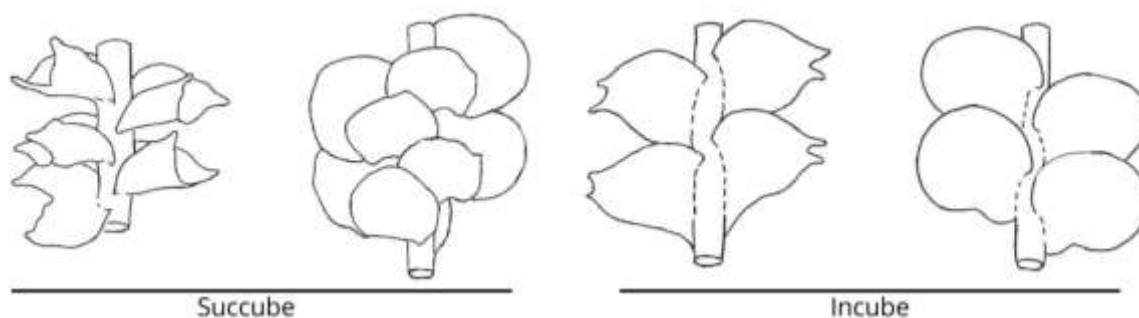


Figure 40: Schéma illustrant l'insertion des feuilles les unes par rapport aux autres [Paton, 1999]

Réflexion sur la méthode

Lors de la rédaction de la clef et de ces critères de nombreux points de réflexion se sont posés, ce qui a amené des changements et une évolution des descripteurs.

Afin de trouver les informations nécessaires, j'ai utilisé diverses flores (voir bibliographie).

De par l'utilisation de plusieurs ouvrages, il arrivait que des plages de données se superposaient, c'est ce dont j'ai parlé page 17.

Il arrivait que pour certains critères, l'information n'était dans aucun des ouvrages consultés. C'est le cas pour les gemmes (organe de multiplication asexuée de nombreuses espèces. Lorsque dans sa flore, Paton écrit : « Gemmae unknown » pour *Scapania paludosa* donc gemme inconnue, nous avons considéré que l'espèce ne développait pas de gemmes et donc nous avons coché « non » pour le descripteur « présence de gemmes ».

Nous avons fait ce choix plutôt que de mettre « valeur inconnue » à ce critère. Dans ce cas précis, si pour *Scapania paludosa*, nous avons rentré « valeur inconnue » pour la présence de gemme cela induit que la réponse oui ou non peut être cochée par l'opérateur.

Or nous avons considéré que si les gemmes étaient inconnues pour ces espèces par ces flores, cela voulait dire qu'elles étaient soit très rares, soit non observables sur les territoires des flores étudiées (France, Royaume-Unis). Donc qu'elles n'étaient pas observables dans le champ d'application de la clef, en France.

Malgré l'utilisation de plusieurs flores, certains critères n'ont pas pu être décrits et ne peuvent être décrits autrement que par « valeur inconnue ». C'est le cas des descripteurs du périanthe : pour certaines espèces sa couleur ou sa marge est décrite mais pour d'autres il n'y a aucune description du périanthe.

Nous avons donc décidé d'enlever les critères dont 50 % des espèces étaient définies par "valeur inconnue" malgré recherches bibliographiques.

L'utilisation de descripteur numérique (décrit page 12) peut poser un problème lors de l'identification d'une espèce. Lors de la mise en place du critère, on intègre une plage de données à l'espèce : un minimum et un maximum. Avec cette méthode de codage il est possible de passer à côté des individus qui ne correspondent pas. Par exemple, le nombre d'oléocorps de *Scapania Undulata* est de 2 à 8. Si lors de l'étude d'un échantillon non caractéristique, on observe l'espèce *Scapania Undulata* avec des cellules présentant 9 oléocorps ; la détermination de l'espèce ne sera pas correcte.

Un avertissement sera indiqué en début de clé à ce propos (exclusion des cas atypiques).

Test de la clef

Après la réalisation de la clef, il est important de la tester pour savoir si elle est opérationnelle.

Pour tester la clef, j'ai utilisé quelques échantillons non identifiés et le but est de déterminer l'espèce avec la clef numérique.

En mettant au test la clef, j'ai pu observer et corriger des points où la clef n'était pas ou peu fonctionnelle. Des améliorations ont également été réalisées sur le nom et la description des descripteurs afin qu'ils soient sans ambiguïtés.

Avant d'être publiée, cette clef sera utilisée par un échantillon de futurs utilisateurs afin de constituer une seconde étape de test. A la suite de ces différentes étapes, diverses améliorations seront apportées à l'outil si nécessaire.

Participation à d'autres évènements

De par la pluralité des missions dont ma référente est chargée, j'ai eu la possibilité de participer à divers ateliers et travaux sur le thème des plantes aquatiques.

Participation à une formation continue

En parallèle de ma mission principale, j'ai pu accompagner ma référente lors de la formation continue sur l'identification des macrophytes qu'elle dispense avec M. Jacques Haury et Mme Monique Aubert (Bureau d'études Monique Aubert). [9]

J'ai pu ainsi participer à une sortie sur le terrain afin de récolter des échantillons, et de découvrir les espèces dans leur milieu naturel.

J'ai pu également participer à deux demi-journées de présentations avec des échantillons, afin de se familiariser et de déterminer les différences entre les espèces de la famille des Callitriches et des Potamogetonacées.

Lors de cette formation, j'ai pu rencontrer 8 professionnels qui avaient pour but de se former à l'identification des macrophytes en vue de l'application de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière.

Suivi sur des mésocosmes



Figure 41: Photographie, prise par Julie Coudreuse, du suivi d'un mésocosmes, ici une pêche électrique

L'INRAE a mis en place une plateforme d'observation et de suivis sur des mésocosmes (à définir, voir Figure 41) où plusieurs expérimentations sont menées afin de voir le développement des systèmes en fonction de facteurs environnementaux étudiés.

Un des programmes de recherche qui s'y déroule est le programme Solake, qui vise à étudier l'impact de l'ombrage des panneaux solaires flottants, sur le développement des plantes, des populations animales et de tout cet écosystème. 3 modalités sont mises en œuvre : 2 panneaux solaires par mésocosmes, 4 panneaux solaires par mésocosmes ou aucun (témoin). Chaque modalité est répliquée 3 fois. [Figure 42]

Cette année est la première prise de données depuis la mise en place du projet. Julie Coudreuse se charge du suivi de la partie botanique, l'idée était donc de voir quelles étaient les mesures possibles et pertinentes sur les mésocosmes et la manière de les réaliser afin de mettre en place un protocole.

Dans un premier temps, nous avons effectué un relevé des espèces et de leur recouvrement, afin de suivre l'évolution du peuplement des plantes aquatiques.

Un second objectif était de trouver une espèce présente dans chacun des 12 mésocosmes afin de pouvoir faire des prélèvements pour suivre l'évolution de la morphologie de l'espèce dans le temps. C'est *Chara globularis* qui est la seule espèce présente et abondante dans les 12 dispositifs. C'est donc sur cette espèce que les mesures vont être effectuées.

Les idées de mesures complémentaires au protocole initial sont

- Hauteur de la végétation en 14-21 points du mésocosmes (à intervalle régulier de 0,5m sur un transect de berge à berge réalisable grâce à la passerelle mobile présente sur les lieux) à la fois sur des zones ombragées à cause des panneaux solaires et sur des zones ensoleillées. La mesure de la hauteur est comparable entre chaque système car le niveau de l'eau y est comparable et constant (1m).
- Observation des fruits et des organes sexuels. Par prélèvements et tests, nous avons vu que les individus situés sous les panneaux semblaient avoir un retard de maturité par rapport à ceux sans panneaux (pas de fruits alors que les autres en ont développés. Le suivi se fera par un comptage du nombre d'individus ayant des fruits (et des fleurs) et du nombre d'individus ayant seulement des fleurs (% d'individus avec fleurs et % individus avec fruits sur un échantillon (nombre de plantes)).
- La taille entre les entrenœuds, *Chara globularis* possède des entrenœuds courts mais elle a la capacité de les allonger afin de s'étendre.

L'hypothèse est qu'avec la baisse de lumière, la plante va s'allonger pour chercher à capter la lumière en surface (étiolement) et donc les entre-nœuds seront plus longs en situation « sous les panneaux solaires » que « sans panneaux solaires ».



Figure 42: Photographies de deux mésocosmes présentant une densité de végétation différente

Lors d'une autre journée sur le site, nous avons fait le suivi d'une autre expérimentation en mésocosme sur les écrevisses (une espèce exotique envahissante) et leur impact sur le milieu. Trois modalités sont mises en œuvre : avec écrevisses sans capture ; avec écrevisses et captures régulières (comme avec une gestion) et sans écrevisses (témoin). Chaque modalité est répliquée 3 fois. Ce suivi, prévu sur du très long terme, est fait depuis plusieurs années donc la démarche est déjà définie. Il ne s'agit que d'un suivi floristique sans prélèvement, afin d'éviter de modifier le milieu en y amenant des éléments de l'extérieur. Nous avons recensé les différentes espèces présentes dans le mésocosme et évalué leur abondance (recouvrement).

Ce suivi s'est fait avec deux stagiaires de seconde présents pour la semaine. Lors de cette semaine, ils ont pu faire de nombreuses sorties avec différents chercheurs afin de voir les domaines d'études de chacun. Afin de leur faire découvrir la botanique aquatique, nous les avons donc emmenés voir cette expérimentation.

Ces mésocosmes ne présentent pas un grand nombre d'espèce végétales différentes ; du fait des sédiments utilisés qui ne possédaient pas une banque de graines très diversifiée mais également que le milieu soit arrivé à un climax en termes de succession végétale. Grace à cette faible diversité d'espèce, ces mésocosmes sont des milieux idéals pour des novices.

Réflexion sur mon travail

A la fin de mon stage, je suis en mesure d'avoir un regard critique sur mon travail et mes méthodes. Lors de mes premières recherches, j'ai étudié des textes descriptifs des espèces (diagnoses) et j'en sortais ce qui me semblait important. Une autre méthode que j'aurai pu envisager aurait été de s'intéresser aux clefs dichotomiques déjà faite et donc de se concentrer uniquement sur des critères déjà utilisés. Sur les conseils de ma référente, j'ai choisi la première option.

En ne me basant pas sur les clefs déjà existantes, je n'ai pas eu d'influence sur des critères, une grande partie des clefs existantes utilisent des critères liés à l'appareil reproducteur des espèces. Or nous voulions que la détermination des individus ne dépende pas de l'appareil reproducteur, que l'identification soit possible à partir des individus stériles.

Cette méthode de travail m'a conduit à recenser de nombreux critères dont une partie a été abandonnée par la suite, ce qui a été parfois décourageant.

Je pense qu'il serait intéressant de pouvoir comparer les deux méthodes de recherches, pour voir dans quels cas les critères sont les plus pertinents et simples d'accès et par quelle méthode débiter. En effet, les deux approches sont complémentaires. Une des façons de tester la clé informatique que j'ai réalisée va d'ailleurs être d'étudier les clefs papier pour compléter la clé informatisée, ce que je vais réaliser en poursuite de ce stage.

Je pense que le fait que je ne sois pas une experte en botanique, et en bryologie fait que j'ai pu apporter un regard neuf sur la clef et les critères. J'ai pu avoir la place de quelqu'un inexpérimenté, de novice, ne connaissant pas les termes. Ce qui je pense a été bénéfique au résultat produit, qui est donc plus simple d'utilisation grâce à ma contribution.

À la fin de ce stage, je suis fière de ce que j'ai produit, j'ai l'impression d'avoir réalisé quelque chose d'utile et je trouve cela très gratifiant. Je reste cependant un peu frustrée car le travail sur une clef est très long et que même après 3 mois à travailler sur cette clef elle n'est pas encore complète. Il reste des critères à modifier, à renseigner. De même que le travail d'illustration qui n'est pas fini.

J'ai conscience que je ne serai pas à là pour la fin de la clef, je ne serai pas la personne qui fera les modifications après les tests. C'est pour cela que je veux que le travail que j'ai fourni soit facilement réutilisable et compréhensible.

C'est sur ce point que je vais me focaliser pour la fin de mon stage, que mon travail soit facilement réutilisable.

Retour sur l'expérience

Ce stage m'a permis de développer de nombreuses compétences qui me seront utiles dans la suite de mon parcours professionnel.

J'ai acquis des connaissances sur le groupe des bryophytes.

Ce savoir me sera très précieux si à l'avenir si je dois procéder à des Indices Biologiques Macrophytes en Rivière. C'est également un premier pas dans la botanique ; qui me sera très précieux si je décide à l'avenir de me spécialiser dans celle-ci

Ce stage m'a également permis de développer des compétences techniques. Je suis désormais parfaitement à l'aise avec la prise de photographies et la retouche de ces dernières.

Je suis aussi en mesure d'utiliser le logiciel Xper. Je pense que cela peut m'être très utile aujourd'hui. La mise en place d'outil numérique est de plus en plus demandée. Des outils de détermination d'espèce en ligne se développent régulièrement, on peut le voir avec Perla ou le SPIOLL. [1] [2]

J'ai également développé ma capacité de travail en autonomie, de par la pluralité de mes missions et les journées terrains de ma référente, je me suis retrouvée à organiser seule mon travail. Pour être honnête, au début de ce stage j'avais du mal à avoir dans quoi me lancer ; je ne savais pas quoi faire en premier entre la prise de photographies ou la recherche de descripteurs.

Mais plus le stage avançait plus je devenais à l'aise avec le sujet et alors je savais comment organiser mes journées.

Ce stage m'a permis de développer ma propre capacité de travail, je suis reconnaissante d'avoir pu travailler une compétence aussi précieuse lors de ce stage.

Avec ce stage, j'ai pu participer à un projet concret. Cette clef numérique lorsqu'elle sera complétée avec les autres groupes de bryophytes aquatiques (hépatiques à thalle et mousses) sera utilisée par les nombreux opérateurs IBMR. Le travail que j'ai fourni sera utile à de nombreuses personnes de par sa complémentarité avec la clef papier.

Je suis très reconnaissante d'avoir pu même à mon échelle participer à ce projet.

Ce stage m'a ouvert les yeux sur une autre possibilité d'avenir qu'à Polytech je n'imaginai pas : le monde de la recherche. À l'Institut Agro, j'ai été entouré de chercheurs, de thésards, de post doc, de stagiaires souhaitant faire de la recherche.

Jusqu'à présent l'idée de rentrer dans ce milieu ne m'avait pas traversé l'esprit mais aujourd'hui, j'y pense.

La manière de travailler, la pluralité des missions, les sorties sur le terrain : toutes ces raisons font que le domaine de la recherche m'intéresse.

J'ai conscience que le monde de la recherche est un monde difficile d'accès et je ne sais pas si je pourrais y entrer un jour.

Néanmoins, j'aimerais à l'avenir avoir un travail qui me permette de produire quelque chose de nouveau, qui sera utile au monde du vivant, de mieux le comprendre et le préserver.

Bibliographie

BAILLY G., VADAM JC, VERGON JP, 2004. Guide pratique d'identification des bryophytes aquatiques. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, DIREN Franche-Comté. 157 p.

CASAS C., BRUGUÉS M., CROS R.M., SÉRGIO C., INFANTE M., 2009. Handbook of liverworts and hornworts of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. Illustrated keys to genera and species, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. ISBN 84-92583-55-3. 177 p

CHAVOUTIER, L., 2016. Bryophytes s. l. : Mousses, hépatiques et anthocérotes/Mosses, liverworts and hornworts. Glossaire illustré/Illustrated glossary. Inédit. 179 p.

COUDREUSE J., HAURY J., BARDAT J., REBILLARD JP. 2005 Les Bryophytes aquatiques et supra-aquatiques. Clé d'identification pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR). Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse. 132 p.

HUGONNOT V. & CHAVOUTIER L., 2021. Les Bryophytes de France Tome 1 : Hépatiques et anthocérotes. Editions Biotope. 652 p.

PATON J. A., 1999. The Liverwort Flora of the British Isles. Edit. Harley Books. 626 p.

VAN DEN BERGHEN, C., 1979 – Flore des hépatiques et des anthocérotes de Belgique. Jardin botanique national de Belgique, Weisse : 155 p.

Webographie

[1] Macro invertébrés - PERLA - Ministère du Développement durable. (s. d.). <http://www.perla.developpement-durable.gouv.fr/index.php/arbre/>

[2] Spipoll – Identification - Mkey +. (S. d.). <http://spipoll.identificationkey.fr/mkey-spipoll.html>

[3] Sphaignes de France métropolitaine – Arthur Bernard. <http://sphaignes.de.france.metropolitaine.identificationkey.org/mkey.html>

[4] start [Wiki des projets autour d'Xper]. (s. d.). <https://wiki.xper3.fr/doku.php?id=start>

[5] The Lichens of Italy - An Interactive Guide. (s. d.). https://dryades.units.it/home/index.php?procedure=ext_key_home&key_id=1692&key_type=lic

[6] IMGBB — Upload Image — Free image hosting. (s. d.). ImgBB. <https://imgbb.com/>

[7] Logiciels de création pour professionnels | Obtenez 50 % de réduction dès maintenant. (s. d.). Affinity. <https://affinity.serif.com/fr/>

[8] Nohcab. (2023, 16 mai). Focus stacking : la technique des photos nettes du premier au dernier plan. Blog Miss Numérique. <https://www.missnumerique.com/blog/focus-stacking/>

[9] Plantes Vasculaires Aquatiques Et Palustres Pour La Mise En Œuvre De Diagnostics Ecologiques (En Milieu Acides) – Institut agro. <https://formationcontinue.institut-agro-rennes-angers.fr/formations/plantes-vasculaires-aquatiques-et-palustres-pour-la-mise-en-oeuvre-de-diagnostics>

Annexes

Annexe 1: Tableau des espèces présentes dans la clef

<i>Calypogeia arguta</i>
<i>Calypogeia fissa</i>
<i>Chiloscyphus pallescens</i>
<i>Chiloscyphus polyanthos</i>
<i>Eremonotus myriocarpus</i>
<i>Hygrobiella laxifolia</i>
<i>Jubula hutchinsiae</i>
<i>Jungermannia atrovirens</i>
<i>Jungermannia exsertifolia</i> subsp. <i>Cordifolia</i>
<i>Jungermannia pumila</i>
<i>Lejeunea lamacerina</i>
<i>Lophocolea bidentata</i>
<i>Lophocolea heterophylla</i>
<i>Marsupella aquatica</i>
<i>Marsupella emarginata</i>
<i>Marsupella sphacelata</i>
<i>Nardia compressa</i>
<i>Nardia scalaris</i>
<i>Plagiochila asplenioides</i>
<i>Plagiochila porelloides</i>
<i>Porella cordaeana</i>
<i>Porella pinnata</i>
<i>Saccogyna viticulosa</i>
<i>Scapania compacta</i>
<i>Scapania nemorea</i>
<i>Scapania paludosa</i>
<i>Scapania subalpina</i>
<i>Scapania undulata</i>
<i>Solenostoma gracillimum</i>
<i>Solenostoma hyalinum</i>
<i>Solenostoma obovatum</i>
<i>Solenostoma paroicum</i>
<i>Solenostoma sphaerocarpum</i>
<i>Southbya tophacea</i>
<i>Trichocolea tomentella</i>

Combien de lobes composent la feuille ?

- Un lobe
 - Quelle est la forme majoritaire du lobe ?
 - Le lobe est-il décurrent ?
 - Quel est le lobe le plus petit ?
 - **De quel type est la marge du lobe ?**
 - Denticulée, Dentée ou Ciliée
 - Sur quelle surface la marge du lobe est-elle denticulée, dentée ou ciliée ?
 - Quelle est la forme de l'apex du lobe ?
- Deux lobes
 - L'apex du lobe ventral est :
 - L'apex du lobe dorsal est :
 - **Est-ce que les feuilles sont condupliquées ?**
 - Oui
 - Quelle est l'orientation des deux lobes ?
 - Quelle est la forme de la carène de la feuille ?
 - Non
 - Jusqu'à quelle profondeur la feuille est-elle bilobée ?
 - Quelle est la forme du sinus ?
 - **Est-ce que les lobes ont des formes similaires ?**
 - Oui
 - Quelle est leur forme majoritaire ?
 - Comment est la marge des lobes ?
 - Non
 - Quel est la forme majoritaire du lobe ventral ?
 - Quelle est la forme majoritaire du lobe dorsal ?
 - Le lobe ventral est-il décurrent ?
 - Le lobe dorsal est-il décurrent ?
 - **Est-ce que les lobes ont des tailles similaires ?**
 - Non
 - Quel est le lobe le plus petit ?
 - **De quel type est la marge du lobe ventral ?**
 - Denticulée, Dentée ou Ciliée
 - Sur quelle surface la marge du lobe ventral est-elle denticulée, dentée ou ciliée ?
 - **De quel type est la marge du lobe dorsal ?**
 - Denticulée, Dentée ou Ciliée
 - Sur quelle partie de son contour le lobe dorsal est-il denté ?

Est-ce l'individu possède des amphigastres ?

- Oui
 - De quelle taille est cet amphigastre ?
 - Quelle est la forme de l'amphigastre ?
 - Est-ce que les amphigastres sont décurrents ?
 - Est-ce que l'amphigastre est connée à la feuille ?

Peut-on observer des oléocorps dans les cellules ?

- Oui
- Quel est l'aspect de surface des oléocorps ?
- Quelle est la durée de vie des oléocorps ?
- Quelle est la structure des oléocorps ?
- Combien y a-t-il d'oléocorps par cellule ?

Présence de l'appareil reproducteur (inflorescence femelle et/ou sporophyte) ?

- Oui
- Distribution des gamétanges
- Forme de la capsule
- **L'inflorescence femelle est composée de :**
 - Un périanthe
 - Caractéristiques de l'apex du périanthe
 - Caractéristiques du périanthe
 - Caractéristiques de l'embouchure
- **Le sporophyte est-il mature et les spores sont-ils observables ?**
 - Oui
 - Quelle est la forme des spores ?
 - Quel est l'aspect de la surface des spores ?
 - Quelle est la taille des spores ?

Présence de gemmes ?

- Oui
- Quelle est la forme des gemmes ?
- Quelles est la couleur des gemmes ?
- De combien de cellules sont composés les gemmes ?
- Quelle est la largeur de la gemme ?
- Quelle est la longueur de la gemme ?

Hépatiques à feuilles aquatiques et supraaquatiques de France, Generated by Ikey+, Laboratoire Informatique et Systématique, UMR 7205, MNHN Paris

1 **Est-ce l'individu possède des amphigastres ? :**

Oui => 2

Non => 3

2 **Combien de lobes composent la feuille ? :**

1 lobe => 4

2 lobes => 5

> 2 lobes => *Trichocolea tomentella*

3 **Combien de lobes composent la feuille ? :**

1 lobe => 6

2 lobes => 7

4 **Le lobe est-il décurrent ? :**

Non => 8

Oui dorsalement => 9

Oui ventralement => *Saccogyna viticulosa*

5 **Est ce que les feuilles sont condupliquées ? :**

Oui => 10

Non => 11

6 **Les feuilles sont-elles engainantes à leur base ? :**

Oui => 12

Non => 13

7 **Est ce que les lobes ont des tailles similaires ? :**

Oui (le plus petit lobe mesure au moins 70% du grand lobe) => 14

Non => 15

8 **Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :**

Oui => *Calypogeia arguta*

Non => *Calypogeia fissa*

9 **Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :**

Oui => 16

Non => 17

10 **Peut-on observer des oléocorps dans les cellules ? :**

Oui OR Non => 18

11 **L'inflorescence femelle est composée de :**

Un périanthe => 19

Un marsupium => 20

12 Distribution des gamétanges :

Dioïque => 21

Monoïque - autoïque => *Solenostoma paroicum*

Monoïque - paroïque => 22

13 Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :

Oui => 23

Non => 24

14 Est ce que les feuilles sont condupliquées ? :

Oui => 25

Non => 26

15 Quelle est la proportion comparée des deux lobes ? :

Les deux lobes sont de taille similaire (le petit lobe mesure au moins 70 % du grand lobe) => 27

Le petit lobe mesure 40 à 70 % du grand lobe => 28

Le petit lobe mesure 30 à 50 % du grand lobe => 29

16 Quelle est la durée de vie des oléocorps ? :

Les oléocorps sont fugaces, ils ne sont plus présents au bout de quelques jours. => *Nardia compressa*

Les oléocorps sont persistants, on peut encore les observer au bout de plusieurs semaines voire année => *Nardia scalaris*

17 Caractéristiques de l'apex du périlanthe :

Cilié => *Chiloscyphus pallescens*

Entier => *Chiloscyphus polyanthos*

18 De quel type est la marge du lobe ventral ? :

Entière OR Denticulée OR Dentée => 30

Dentée et ciliée => *Porella cordaeana*

19 Caractéristiques de l'embouchure :

Tronquée => *Lophocolea heterophylla*

Crénelée dentée => *Lophocolea bidentata*

20 Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :

Oui => *Calypogeia arguta*

Non => *Calypogeia fissa*

21 Caractéristiques du périlanthe :

Oblong - Ovale => 31

Sinueux => *Solenostoma hyalinum*

Rouge => 32

22 Est ce qu'on observe des rhizoïdes à la base des feuilles ? :

Oui => *Solenostoma paroicum*

Non => 33

23 Quelle est la structure des oléocorps ? :

Ils sont segmentés => *Plagiochila porelloides*

Ils sont entiers => *Jungermannia pumila*

24 Est ce qu'on observe des rhizoïdes à la base des feuilles ? :

Oui => *Southbya tophacea*

Non => 34

25 De quel type est la marge du lobe dorsal ? :

Entière => 35

Denticulée => *Scapania compacta*

Dentée => 36

26 Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :

Oui => *Marsupella aquatica*

Non => 37

27 Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :

Oui => 38

Non => 39

28 Est ce que les lobes ont des formes similaires ? :

Oui => 40

Non => 41

29 L'apex du lobe dorsal est :

Aigu-apiculé => *Scapania nemorea*

Arrondi => *Scapania uliginosa*

Large, Tronqué => *Scapania uliginosa*

30 De quel type est la marge du lobe dorsal ? :

Entière OR Denticulée => *Porella cordaeana*, *Porella pinnata*

Dentée => *Porella pinnata*

31 Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :

Oui => *Solenostoma gracillimum*

Non => *Jungermannia exsertifolia* ssp. *Cordifolia*

32 Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :

Oui => *Solenostoma gracillimum*

Non => *Solenostoma paroicum*

33 Caractéristiques de la cuticule :

Lisse => *Solenostoma sphaerocarpum*

Papilleuse => *Solenostoma obovatum*

Striée => *Solenostoma obovatum*

34 La marge du lobe est-elle révolutée ? :

Oui, sur un de ces cotés => *Plagiochila asplenioides*

Non, sur aucun des cotés => *Jungermannia atrovirens*

35 Peut-on observer des rameaux flagelliformes ? :

Oui => *Eremonotus myriocarpus*

Non => *Scapania compacta*

36 **De quel type est la marge du lobe ventral ? :**

Entière => *Scapania compacta*

Denticulée => *Scapania compacta*

Dentée => 42

37 **La marge du lobe est-elle révolutée ? :**

Oui, sur les deux cotés => *Marsupella emarginata*

Non, sur aucun des cotés => *Marsupella sphacelata*

38 **La marge du lobe est-elle révolutée ? :**

Oui, sur les deux cotés => *Marsupella aquatica*

Non, sur aucun des cotés => *Eremonotus myriocarpus*

39 **Est ce que les lobes ont des formes similaires ? :**

Oui => 43

Non => *Scapania subalpina*

40 **Comment sont les parois des cellules ? :**

Paroi fine, sans trigones ou avec petit trigones => *Scapania undulata*

Paroi fine, trigones larges => *Scapania paludicola*

41 **De quel type est la marge du lobe ventral ? :**

Denticulée => *Scapania paludicola*

Dentée => 44

42 **L'apex du lobe ventral est :**

Arrondi => *Scapania compacta*

Tronqué, en U, obtus => *Scapania subalpina*

43 **La tendance de l'angle d'insertion des feuilles sur la tige : parallèle ou perpendiculaire :**

Tendance parallèle => *Scapania subalpina*

Tendance perpendiculaire => 45

44 **Le lobe dorsale est-il décurrent ? :**

Oui, fortement => *Scapania paludosa*

Non => *Scapania paludicola*

45 **La marge du lobe est-elle révolutée ? :**

Oui, sur les deux cotés => *Marsupella emarginata*

Non, sur aucun des cotés => *Marsupella sphacelata*

Annexe 4 : Utilisation de la clef

Exemple d'identification d'une espèce grâce à la clef.

1^{ère} étape : Présence d'amphigastre

20 Descripteurs
History (0)
Lancement
Sauver



Est-ce l'individu possède des amphigastres ?
L'amphigastre n'est présent que sur les hépatoques à feuilles. La rangée d'amphigastres peut être considérée comme une troisième rangée de feuilles modifiées présentes en face ventrale de l'individu.



Oui (15)



Non (22)



Combien de lobes composent la feuille ?
Les lobes peuvent former des dents.



Peut-on observer des oléocorps dans les cellules ?
Les oléocorps sont des corpuscules visibles dans les cellules.



Quel est le mode d'insertion des feuilles les unes par rapport aux autres (imbricé/succube) ?
Disposition succube : en vue dorsale, la feuille la plus jeune recouvre la feuille la plus vieille.
Disposition imbricé : en vue dorsale, la feuille la plus jeune est recouverte par la feuille la plus vieille.

57 Remaining taxa
Among 37

- Calyptogenia arguta*
- Calyptogenia fissi*
- Chlorocypus pallidicornis*
- Chlorocypus polyanthus*
- Emeraldia myracarum*
- Hydrocolea laetitia*
- Jubula fuliginosa*
- Jugemantia atroviens*
- Jugemantia evertella* var. *cordata*
- Jugemantia puncta*
- Lepidocolea lamellata*
- Lepidocolea lamellata*
- Lepidocolea heterophylla*
- Marsipella aquatica*
- Marsipella emarginata*
- Marsipella ophacantha*
- Nardia compressa*
- Nardia scalans*
- Pagodaria acuminata*
- Pagodaria parvifolia*
- Porella cordata*
- Porella pinnata*
- Saccogyna viciolata*
- Scapania compacta*
- Scapania nemoralis*
- Scapania pseudocra*
- Scapania viciolata*

2^{ème} étape : le nombre de lobes : 2 lobes sur l'individu

17 Descripteurs
History (1)
Lancement
Sauver



Combien de lobes composent la feuille ?
Les lobes peuvent former des dents.



1 lobe (7)
Ce lobe peut être entier ou emarginé.



2 lobes (9)
On déduit que la feuille est bilobée dès que son apex présente deux dents. Les deux lobes peuvent être peu décollés ou profondément.



> 2 lobes (1)
La feuille est tellement divisée qu'il est difficile de compter le nombre exact de lobes.



Peut-on observer des oléocorps dans les cellules ?
Les oléocorps sont des corpuscules visibles dans les cellules.



Quel est le mode d'insertion des feuilles les unes par rapport aux autres (imbricé/succube) ?
Disposition succube : en vue dorsale, la feuille la plus jeune recouvre la feuille la plus vieille.
Disposition imbricé : en vue dorsale, la feuille la plus jeune est recouverte par la feuille la plus vieille.
n.d. : la feuille la plus jeune est celle la plus étendue vers l'apex.



Quel est le mode d'insertion des feuilles (opposées ou alternes) ?
On parle de la tendance marginale des feuilles dans leur insertion.

15 Remaining taxa
Among 37

- Calyptogenia arguta*
- Calyptogenia fissi*
- Chlorocypus pallidicornis*
- Chlorocypus polyanthus*
- Hydrocolea laetitia*
- Jubula fuliginosa*
- Lepidocolea lamellata*
- Lepidocolea lamellata*
- Lepidocolea heterophylla*
- Nardia compressa*
- Nardia scalans*
- Porella cordata*
- Porella pinnata*
- Saccogyna viciolata*
- Tricholepis tenax*

3^{ème} étape : Insertion des feuille incubé

20 Descriptors
History (2)
Incubus Succube
5 Remaining taxa
Anning 37



Quel est le mode d'insertion des feuilles les unes par rapport aux autres (incube/succube)?

Disposition succube : en vue dorsale, la feuille la plus jeune recouvre la feuille la plus vieille.
Disposition incube : en vue dorsale, la feuille la plus jeune est recouverte par la feuille la plus vieille.

e.g.: la feuille la plus jeune est celle la plus située vers l'apex

Succube ☐

Incube ☒



Quel est le mode d'insertion des feuilles (opposées ou alternes) ?

On parle de la tendance majoritaire des feuilles dans leur insertion.



Présence de l'appareil reproducteur (inflorescence femelle et/ou sporophyte)



De quel type est la marge du lobe ventral ?



Est-ce que les feuilles sont coriandrineuses ?

- Calyptogeia arguta
- Calyptogeia flexa
- Hymenella lasioloba
- Jakaria hutchinsiae
- Lagarosiphon lamacrinus
- Lophocolea odontata
- Lophocolea heterophylla
- Porella cordaeana
- Porella pinata
- Scapanopsis formidabilis
- Scapanopsis viridula
- Scapanopsis elegans
- Scapanopsis rubicundus
- Scapanopsis pusillius
- Scapanopsis gracilis
- Scapanopsis formosa
- Scapanopsis elongata
- Scapanopsis robustus
- Scapanopsis exilis
- Scapanopsis angustifolia
- Mitrasacantha sphenosticta
- Mitrasacantha marginata
- Mitrasacantha papilionacea
- Ectoparasitica rhynchocaulis
- Oreococcus pinnatus
- Oreococcus pulchellus

4^{ème} étape : Dans l'échantillon, il n'y avait pas d'individu fertile : pas d'appareil reproducteur

[illegible]

5^{ème} étape : Le lobe ventral n'est ni denté, ni denticulé, ni cilié

17 Descripteurs

History (4)

Unselect Select

De quel type est la marge du lobe ventral ?

Entière (4) ✓

Denticulée (3)

Dentée (4)

Dentée et ciliée (1)

L'apex du lobe dorsal est :

La marge du lobe est-elle révoluée ?

6 Remaining taxa Among 37

Calypogeia arguta

Calypogeia fissa

Julula hutchinsoni

Lophoceros lamacensis

Perla caribaea

Perla pinnata

6^{ème} étape : Il est possible de cocher plusieurs critères à la fois : ici les lobes sont de tailles différentes et les deux lobes sont condupliqués

13 Descripteurs

History (5)

Unselect Select

La marge du lobe est-elle révoluée ?

Est-ce que les lobes ont des tailles similaires ?

Oui (le plus petit lobe mesure au moins 70% du grand lobe) (2)

Non (4) ✓

Est-ce que les feuilles sont condupliquées ?

Oui (2) ✓

Non (2)

Peut-on observer des oléocorps dans les cellules ?

4 Remaining taxa Among 37

Calypogeia arguta

Calypogeia fissa

Perla caribaea

Perla pinnata

7^{ème} étape : L'amphigastre est décurrent et denté

1 Descriptors



Est-ce que les amphigastres sont décurrents ?

L'amphigastre n'est présent que sur les hépatiques à feuilles.
La rangée d'amphigastres peut être considérée comme une troisième rangée de feuilles modifiées présentes en face ventrale de l'individu.
(Lorsqu'un ides est dit décurrent cela veut dire qu'il se protège vers la base)



Décurrent

(1)



Décurrent et denté

(1)



Non décurrent

(0)

2 Remaining taxa



Porella corallina



Porella pinnata



Lecanoma apiculatum



Leptocarpus hololepis



Scapania uliginosa



Hydrocoleum centrale



Scapania emarginata



Scapania emarginata



Scapania nemoralis



Calypogeia filix



Calypogeia longicauda



Scapania emarginata



Scapania emarginata



Lecanoma apiculatum



Lecanoma apiculatum



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa



Scapania uliginosa

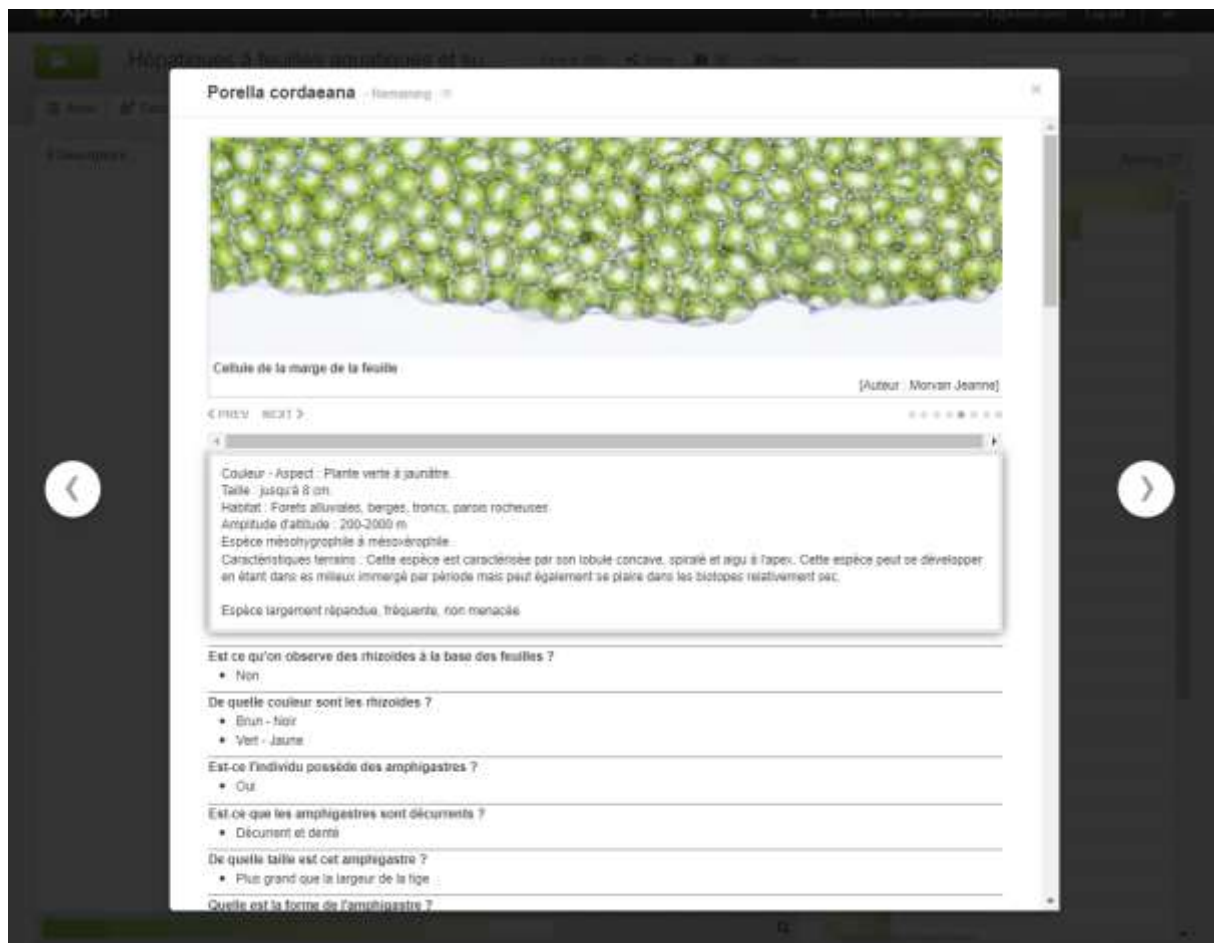


Scapania uliginosa

L'espèce a été identifié : *Porella Cordaeana*

[illegible]

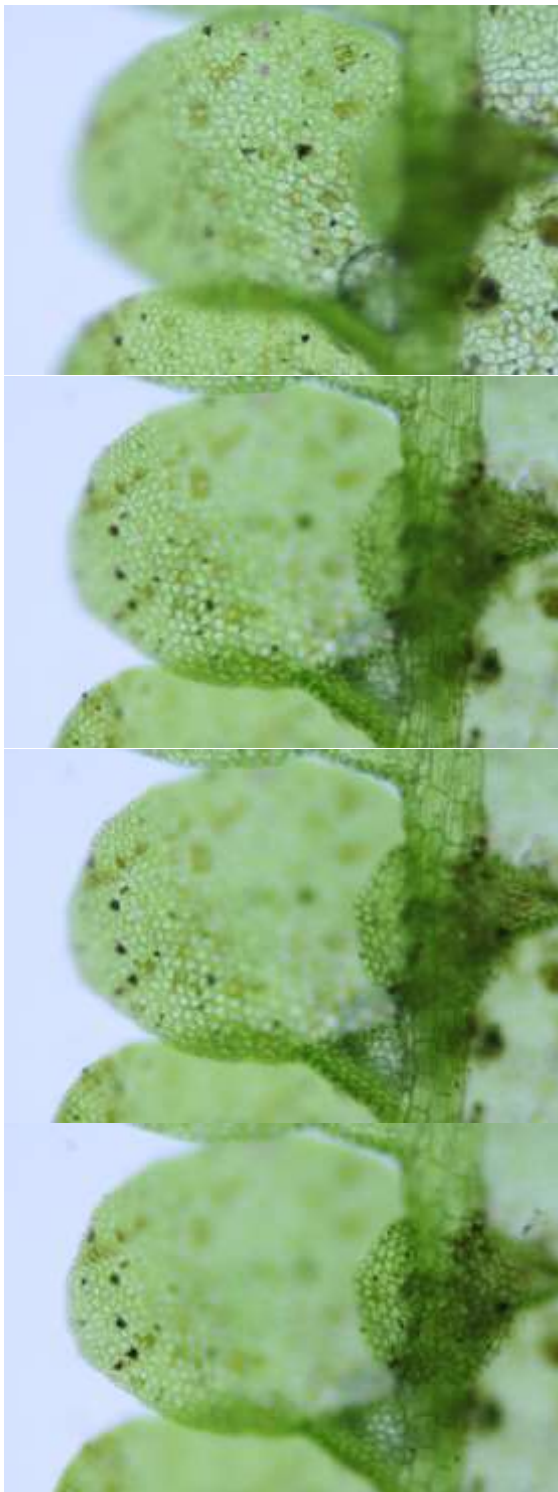
Annexe 5: Fiche de présentation de l'espèce Porella Cordaeana



Annexe 6: Photographie retouchée après focus stacking de *Lejeunea lamacerina*



Annexe 7: Photographies à différents focus de Lejeunea lamacerina



Annexe 8 : Exemple de page d'espèce, ici *Jubula hutchinsiae*





POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Titre : Elaboration d'une clé d'identification illustrée Assistée par Ordinateur des Hépatiques aquatiques et supra-aquatiques de France.

Résumé en anglais:

The main purpose of my internship was to elaborate an online identification key of the aquatic and sup aquatic bryophyte of France. This key will go with a paper key. The study of the bryophyte will help the utilisation of the IBMR used for the supervision of running water in France.

I build this key from a lot of research on various flora. From those documents, I choose descriptors that will describe those species. During my internship, I called my work into question in order to keeping condition that are relevant.

I also illustrated the key by taking picture of all of the taxon and making schema of the description.

Mots Clés : Botanique, Bryologie, Clef de détermination, Photographie

Institut Agro Rennes-
Angers
65 rue de Saint-Brieuc
35042 Rennes

Tuteur entreprise :
Julie Coudreuse
Ingénieur d'études Macrophytes et
Bryologie

Tuteur académique :
Vincent Rotgé

Jeanne
Morvan
IMA
2023-2024