

UNIVERSITE DE GENEVE
Sciences de la Terre et de l'Environnement
Institut F.-A. Forel
Institut des Sciences de l'Environnement

FACULTE DES SCIENCES
Prof. Jean-Bernard Lachavanne
Dr. Dominique Auderset Joye

**Distribution et dynamique des communautés de
Characées :
Impact des facteurs environnementaux régionaux et
locaux**

THÈSE

Présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève
Pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences, mention Interdisciplinaire

Par

Aurélie Boissezon

De

Orcier (France)

Thèse N°4668

GENEVE


Atelier d'impression Repromail

2014

La Faculté des sciences, sur le préavis de Monsieur J.-B. LACHAVANNE, professeur et directeur de thèse (Institut Forel, Laboratoire d'écologie et biologie aquatique), Madame D. AUDERSET JOYE, docteure (Institut F.-A. Forel, Laboratoire d'écologie et biologie aquatique), Monsieur B. IBELINGS, professeur ordinaire (Institut F.-A. Forel, Ecologie microbienne), et Madame M. A. RODRIGO, professeure (Département de microbiologie et écologie, Faculté des sciences biologiques, Université de Valence, Espagne), autorise l'impression de la présente thèse, sans exprimer d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 8 mai 2014

Thèse - 4668 -



Le Doyen, Jean-Marc TRISCONE

N.B. - La thèse doit porter la déclaration précédente et remplir les conditions énumérées dans les "Informations relatives aux thèses de doctorat à l'Université de Genève".

"It always seems impossible,

until it's done"

Nelson Mandela

Remerciements

Dans la famille « Joie-de-l'eau », je tiens évidemment à remercier la spécialiste, Dominique Auderset Joye, pour m'avoir initiée à l'exploration de la jungle charophytique et pour son soutien à travers toutes les étapes de l'aventure. Sa passion, sa patience et son dévouement ont été des qualités très précieuses pour moi durant ces 7 années.

Je tiens à remercier également mon directeur Jean-Bernard Lachavanne pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et donné l'opportunité de me lancer dans le monde mystérieux des characées en, ainsi que pour sa confiance tout au long de mon parcours.

Mes remerciements vont également à Emmanuel Castella qui a toujours été très disponible pour répondre à tout un tas de questions statistiques, méthodologiques etc... Sa patience, sa bonne humeur et sa légendaire pédagogie très inspirée ont été vivement appréciées.

Je tiens à formuler mes remerciements à Bernard Bal et Denis Jordan d'ASTERS pour m'avoir fait découvrir avec passion le département de la Haute-Savoie à travers son riche patrimoine naturel et particulièrement le lac du Bois d'Avaz, un écosystème exceptionnel auquel j'ai réservé finalement l'essentiel des mes recherches. Je remercie également les membres du CSRPN Rhône-Alpes pour leur soutien unanime dans notre combat contre « l'aménagement » de ce site à des fins agricoles.

Mes remerciements s'adressent également à Ingeborg Soulié-Märsche de l'Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier qui m'a accueilli dans son laboratoire pour un stage intensif et qui m'a sensibilisée à l'intérêt de l'étude du cycle de vie et des gyrogonites des characées. Merci pour son enthousiasme, son énergie et sa générosité.

Ce travail n'aurait pu aboutir sans l'aide de nombreuses personnes qui ont participé aux campagnes de terrain et au travail de laboratoire. Je remercie ceux et celles qui ont collaboré à la récolte de données pour la Liste Rouge : Arno Schwarzer, Jacqueline Détraz-Méroz, Jean-Bernard Lachavanne, Raphaëlle Juge, Pascal Mulattierri, Lionel Sager, Aurélie Terrier, Timothée Joye. Je remercie également David McCrae, Hélène Mayor, Olga Béguin, Amael Paillex, Camille Augier, Serge Mermoud, Nessima Ben Meftah,

Julian Spiering, Gilles Carron et Gaëtan Rey pour leur assistance technique précieuse. Je remercie également Jean-Pascal Bourgeois et Alessandro Rizzo du SECOE, ainsi que Philippe Arpagaus, Daniel Palomino, Serge Stoll, Jean-Luc Loizeau, Frédéric Moser et Bernard Lachal pour leur aide dans l'analyse et l'interprétation de diverses mesures environnementales.

Mes remerciements vont également aux différentes institutions qui ont participé au financement de ce travail et qui ont soutenu sa valorisation dans le cadre de congrès scientifiques : l'Université de Genève, l'Institut Forel, l'Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), le Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique, la Société Académique de Genève, la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève (SPHN), la Société Suisse d'Hydrologie et de Limnologie (SGHL), ainsi que l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV).

Je remercie Bertrand Von Arx et son équipe de la Direction Générale de la Nature et du Paysage (DGNP) ainsi que Sébastien Miazza de ProNatura pour avoir soutenu mon travail en me laissant accéder aux étangs et mares du canton de Genève.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du groupe d'Ecologie Aquatique et de Batelle avec qui j'ai partagé l'amour de la nature et de la science, ainsi que tout un tas de joyeuses petites tracasseries qui remplissent les quotidiens de chacun.

Je remercie enfin mes amis de longue date et les plus récents qui ont suivi mes aventures et mésaventures tout au long de mes recherches. Votre présence et votre soutien ont été indispensables à l'aboutissement de ce travail.

Un grand merci à ma famille, en particulier mes parents Richard et Sophie pour leur générosité, pour m'avoir transmis l'amour de la nature et le goût du dépassement de soi. Et enfin merci à Gaëtan pour son amour, qui l'a certainement aidé à supporter mes changements d'humeur surtout dans les dernières phases de ce travail de thèse. Merci également à ma chienne Patiok dont la fidélité et la gentillesse (et l'extrême douceur du poil) ont été d'un précieux réconfort dans d'innombrables moments.

Merci à toutes et à tous.

Résumé

Les characées sont un groupe de macro-algues colonisant une grande variété d'écosystèmes d'eau douces et saumâtres généralement considérées comme des plantes pionnières et bio-indicatrices des eaux oligo-mésotrophes. Les characées jouent par ailleurs un rôle important dans divers processus contrôlant les conditions écologiques et biochimiques des plans d'eau qu'elles colonisent : elles servent d'habitats, de refuges et/ou de nourriture à divers organismes, améliorent la transparence de l'eau et peuvent accumuler des métaux lourds et des polluants organiques. L'érosion de la diversité de ces plantes suite à la destruction des habitats, à la perte de dynamisme des écosystèmes lentiques et lotiques et à l'eutrophisation a été constatée. Les Listes Rouges publiées dans diverses régions européennes témoignent du statut de menace très sévère de la majorité des espèces et donc de leur besoin urgent à être protégées. La mise en place de plans de conservation efficaces sur le long terme nécessite cependant que des connaissances pointues sur les exigences écologiques des espèces cibles soient acquises. L'écologie des espèces de characées a toutefois été peu étudiée jusqu'à présent.

Ce travail de thèse a pour objectif de déterminer les réponses des différentes espèces de characées en région alpine, aux gradients environnementaux à l'échelle régionale et à l'échelle locale, afin de prédire l'évolution potentielle de leur distribution dans un contexte de réchauffement climatique et de proposer des recommandations de gestion pertinentes.

À l'échelle régionale, des informations environnementales agissant au niveau du plan d'eau et de son bassin versant et des données sur l'occurrence des espèces de characées ont été obtenues pour 1402 localités réparties sur tout le territoire Suisse. Elles ont été utilisées pour construire des modèles de distribution des espèces. Les modèles obtenus ont servi de base pour la prédiction des occurrences actuelles et futures, sous un scénario de changement climatique, dans les 21 000 localités recensées en Suisse. Un sous-échantillon de 78 plans d'eau colonisés par des characées a ensuite été considéré pour une analyse des différences entre les macro-habitats des espèces en intégrant les paramètres physico-chimiques.

À l'échelle locale, le suivi de 4 années d'un site unique a offert l'opportunité rare de pouvoir étudier la réponse d'un maximum d'espèces aux variations proximales de niveaux d'eau et de température. Les données récoltées au cours de ce suivi ont permis l'analyse de la réponse de la communauté de plantes aquatiques, en termes de composition et de diversité aux fluctuations de niveaux et plus particulièrement aux assèchements. De plus, la relation entre les traits biologiques et la phénologie d'une espèce en particulier et la chaleur accumulée au cours du temps et la profondeur a également été étudiée.

Les deux premières études ont démontré que les paramètres régionaux relatifs à la taille des plans d'eau (dont dépendent le fonctionnement du système et la diversité en micro-habitats) et au climat jouent un rôle prépondérant dans la distribution des espèces de characées en Suisse, la qualité de l'eau n'intervenant qu'en dernier lieu. Toutes les espèces n'occupent pas le même macro-habitat et ont des spectres de tolérance aux paramètres environnementaux différents. À l'horizon 2050, sous un scénario prédisant un climat plus chaud et plus sec, les espèces actuellement présentes préférentiellement dans les grands lacs devraient régresser (« perdantes » potentielles, ex. *Nitellopsis obtusa*) alors que celles inféodées aux milieux plus petits et susceptibles de s'assécher en fin d'été devraient voir leur aire de répartition s'accroître (« gagnantes » potentielles, ex. *Chara vulgaris*).

Les études suivantes liées au suivi temporel d'une gravière semi-permanente ont montré que la variabilité des conditions d'inondations gouverne la dynamique de la communauté de plantes aquatiques, en termes de composition, de richesse et d'hétérogénéité. La diversité de l'assemblage et notamment la richesse en characées a été maximale les années suivant un cycle assèchement automnal-inondation printanière (timing) et par des niveaux intermédiaires de perturbation (durée d'assèchement entre 6 et 10 semaines). La variété des réponses des espèces à la profondeur, à la durée et à la saisonnalité des assèchements a contribué à la variabilité de la structure de l'assemblage dans le temps et dans l'espace. Les espèces de characées se succèdent le long d'un gradient de durée d'assèchement ayant eu lieu durant l'automne de l'année précédente à l'observation, depuis *Nitella batrachosperma* qui colonise les bordures asséchées durant 3 mois à *N. obtusa* qui pousse dans les zones inondées en permanence. Chez *N. obtusa*, sa croissance lente et l'allocation préférentielle de ses ressources dans le développement

de l'appareil végétatif et des organes de stockage (bulbilles) explique sa sensibilité aux perturbations et donc sa préférence pour les habitats inondés en permanence. Ce travail de thèse a aussi montré que *N. obtusa* est toutefois capable de s'adapter à des habitats permanents peu profonds (3m) en adoptant une reproduction sexuée.

Ainsi d'après la réponse des espèces aux variations locales de température et de niveau d'eau et leur distribution dans d'autres régions géographiques, plusieurs espèces de characées disposeraient de potentialités d'adaptation à une plus grande variété d'habitats que ceux observés en Suisse. Par conséquent, la vulnérabilité des espèces aux changements globaux dépendra de leurs traits biologiques intrinsèques (capacités adaptatives, cycles de vie) et des facteurs extrinsèques liés à la modification des habitats et aux politiques et outils qu'adopteront les gouvernements.

Au final, bien qu'il manque encore des données pour comprendre et prédire précisément l'évolution des distributions des espèces face aux changements environnementaux, des moyens humains proactifs doivent être mis place pour assurer la survie des espèces en garantissant un nombre suffisant d'habitats favorables. Des stratégies ciblées sur la lutte contre l'eutrophisation, sur la promotion de fluctuations de niveau d'eau et sur le maintien de masse d'eau fraîches seraient grandement utiles.

Afin de poursuivre l'effort de compréhension de la vulnérabilité des characées aux changements globaux, des recherches à plus large échelle d'étude (ex. Europe) et des suivis temporels de sites à characées seraient nécessaires. La création et le perfectionnement des programmes de suivi des écosystèmes aquatiques sont indispensables pour pouvoir développer des modèles intégrés et précis de la distribution des espèces, eux-mêmes nécessaires à la mise en place de programmes de gestion efficaces sur le long-terme.

Mots-clés : charophytes, characeae, physico-chimie, occupation du sol, superficie, climat, réchauffement climatique, occurrence, abondance, diversité, cycle de vie, degré-jours, profondeur, perturbation, assèchement, plasticité, résilience.

Abstract

Charophytes are macro-algae that colonise a wide variety of brackish and freshwater ecosystems and are widely recognized as pioneer and bioindicators of oligo-mesotrophic waters. Moreover, charophytes play a major role in several processes driving the ecological and biochemical conditions of water bodies: they provide habitats, refuges and foods for several organisms, enhance water transparency and can accumulate heavy metals and organic pollutants. The erosion of the diversity of these plants as a consequence of habitats destruction, loss of dynamism of lentic and lotic ecosystems and eutrophication has been noticed. The Red Lists published in various European regions prove that most species are strongly threatened and thus must be protected urgently. The setting up of long-term efficient conservation plans requires that precise knowledges on ecological requirements of species have been acquired. Nevertheless, the ecology of charophyte species has been few studied until now.

This thesis work aims at determining the responses of different charophytes species present in alpine regions to environmental gradients at the regional and the local scale, in order to predict the potential evolution of their distribution in a climate warming context and to propose relevant management recommendations.

At the regional scale, environmental information acting at the scale of water body or watershed and data on species occurrence were obtained in 1402 localities distributed across the whole swiss territory. They were used to fit species distribution models. The obtained models were used as a basis for the prediction of current and future (under a climate change scenario) species occurrences in the 21'000 localities listed in Switzerland. Then a sub-sample of 78 charophytes water bodies was considered to analyse inter-species differences in macro-habitats by considering supplementary physico-chemical parameters.

At the local scale, a 4 years survey realized on a single site offered the opportunity to study the response of a maximum number of species to proximal variations in water level and temperature. The data collected during this survey allowed the analysis of the response of the aquatic plants community, in term of composition and diversity, to water level fluctuations and in particular to droughts. Moreover, the relationship

between biological and phenological traits of one species particularly and the accumulated heat over time and the water depth was also addressed.

The two first studies demonstrated that regional environmental parameters related to the water body size (whose depend the system functioning and the micro-habitats diversity) and to climate play a major role for the distribution of charophyte species in Switzerland, the water quality taking part lastly. All species do not occupy the same habitat and display different tolerances to the considered environmental parameters. On the horizon 2050, under a scenario that predicts a warmer and drier climate, the species that currently inhabit preferentially large deep lakes would decrease (potential « losers », eg. *Nitellopsis obtusa*) whereas species associated to small water bodies susceptible to dry out at the end of summer will probably increase their distribution area (potential « winners », eg. *Chara vulgaris*).

The following studies related to the temporal monitoring of a semi-permanent gravel-pit showed that the variability of inundation conditions drives the dynamic of macrophyte community, i.e. its composition, richness and heterogeneity. The diversity of the assemblage, and particularly the charophyte species richness, was maximised the years following an autumnal drought-spring inundation cycle (timing) and by intermediate intensity of disturbance (duration of drought from 6 to 10 weeks). The variety of responses of species to depth, to duration and seasonality of droughts contributed to the variability of the community structure in space and time. Charophyte species succeed each other along a gradient of duration of drought that occurred during the year preceeding the observation, from *Nitella batrachosperma* which colonises shorelines exposed to the air during 3 months to *N. obtusa* which grows in permanently inundated areas. For *N. obtusa*, the low growth rate and the preferential resources allocation in the development of vegetative organs and propagules explains its sensitivity to disturbances, hence its preference for permanently inundated habitats. This thesis work also showed that *N. obtusa* is able to adapt to permanent shallow habitats by reproducing sexually.

Consequently, according to the species responses to local variations in water temperature and water level and to their distribution in other geographical regions, several species would have adaptation abilities to a wider variety of habitats than those

listed in Switzerland. Thus, the vulnerability of species to global changes will depend on their inherent biological traits (adaptive capacity, life cycle) and on extrinsic factors related to habitat modifications and to the politics and tools that the governments will adopt.

Finally, despite the fact that there is still a lack of data that would help to understand and predict precisely the changes in species distribution facing environmental changes, human pro-active means have to be established to insure the survival of species by insuring a sufficient number of suitable habitats. Strategies focused on fight against eutrophication, on the promoting of water level fluctuations and on the conservation of cold waters habitats would be of great significance.

In order to enhance the understanding of charophyte vulnerability to global changes, researches at a larger scale of study (eg. Europe) and temporal monitoring of charophyte sites would both be necessary. The creation and the improvement of monitoring programs of aquatic ecosystems are essential for the development of integrated and precise species distribution models. This integrated approach is necessary for the establishment of long-term efficient management plans.

Keywords : charophytes, characeae, physico-chemistry, land-use, climate, climate warming, occurrence, abundance, diversity, life cycle, degree-day, depth, disturbance, drought, plasticity, resilience.