

**Suivi des botryches (*Botrychium* spp.) au parc national du Bic (été 2021) :
inventaire général et déploiement d'un protocole de suivi démographique**



Cassandra Ducharme-Martin et Guillaume de Lafontaine

Chaire de recherche du Canada en biologie intégrative de la flore nordique

Université du Québec à Rimouski

Rapport préparé pour la direction du parc national du Bic, Sépaq

Février 2022

Cassandra Ducharme-Martin

Université du Québec à Rimouski

Courriel : Cassandra.DucharmeMartin@uqar.ca

Guillaume de Lafontaine

Chaire de recherche du Canada en biologie intégrative de la flore nordique

Université du Québec à Rimouski

Téléphone : 418-723-1986 poste 1061

Courriel : guillaume_delafontaine@uqar.ca

Introduction

L'année 2021 marque le troisième inventaire consécutif du suivi des communautés de botryches (genres *Botrychium* et *Sceptridium*) au parc national du Bic (PNB). Lors du premier inventaire général en 2019, l'objectif était de dresser un portrait actualisé des botryches afin d'identifier des unités de gestion stratégiques qui tiennent compte de la composition spécifique des différentes colonies, des aménagements récents dans le parc et des menaces potentielles aux populations actuelles (Ducharme-Martin & de Lafontaine 2020). Le protocole employé consistait en une visite de tous les sites connus sur lesquels le dénombrement (effort de repérage constant 5 heures-personnes) et l'identification systématique de tous les sporophytes de botryches émergents étaient effectués. Au total, 1107 individus appartenant à sept espèces ont été répertoriés, répartis sur 16 sites divisés en sept unités de gestion de la conservation proposées (Ducharme-Martin & de Lafontaine 2020).

Au printemps 2020, une diminution de 58% de la quantité de précipitations cumulées par rapport à la moyenne des 47 dernières années a été enregistrée. Parallèlement, lors du deuxième inventaire général (2020), les effectifs des communautés de botryches étaient réduits de 52% par rapport à ceux 2019 (de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021). Sur la base de ces résultats, de Lafontaine et Ducharme-Martin (2021) suggèrent que la forte variabilité démographique interannuelle des botryches pourrait représenter une réponse à la stochasticité environnementale imposée par les conditions météorologiques, anormalement sèches au printemps 2020. Malgré ces conditions exceptionnelles, le déclin général de l'effectif était toutefois atténué dans certains sites où les botryches trouvaient refuge dans des microsites ombragés (et donc plus humides) situés à la périphérie des branches basales d'arbres matures ou sous le couvert forestier. Or, puisque les botryches sont habituellement retrouvés dans les ouvertures de la forêt (clairières) ou dans des prairies basses, leur abondance accrue dans des habitats ombragés lors d'une année exceptionnellement sèche suggère que le maintien d'une hétérogénéité structurelle au sein des colonies pourrait offrir une protection lors de conditions particulièrement sèches (de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021). Par ailleurs, la comparaison des inventaires de 2019 et 2020 indique que l'effectif de 2020 a augmenté par rapport à 2019 sur les quelques sites les plus étendus. Ce résultat, qui contraste avec la tendance générale de 2020, pourrait refléter une augmentation réelle de l'effectif sur certains sites spécifiques, mais pourrait plus vraisemblablement indiquer un artéfact de l'inventaire général. Une telle représentation biaisée serait en partie causée par l'exploration encore incomplète des sites les plus vastes, en plus de l'acquisition d'une meilleure expérience en repérage et en identification par les membres de l'équipe de recherche (c.-à-d., davantage d'individus dénombrés pour un même effort d'échantillonnage).

Le protocole de *suivi de l'inventaire général* employé en 2019 et 2020 a donc permis d'actualiser les données quant au patron général d'abondance et de diversité des colonies de botryches au PNB et de

mettre en lumière la variabilité interannuelle de l'effectif des colonies. Toutefois, ces inventaires généraux ne permettent pas d'identifier la ou les causes ultimes de ces variations (p. ex., dormance, mortalité, recrutement, biais d'échantillonnage). Afin de déterminer les causes de la variabilité des colonies (dormance, mortalité, recrutement) et de documenter la dynamique démographique à court terme (variabilité interannuelle), à moyen terme (envahissement par les arbres et les plantes exotiques) et à long terme (changements climatiques, aménagements), un protocole de *suivi démographique annuel* devrait permettre de suivre les mêmes individus annuellement sur une longue période (de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021). À cet effet, nous proposons ici d'établir un protocole de sous-échantillonnage de parcelles de recherche permanentes qui permettra d'évaluer empiriquement la trajectoire démographique des communautés de botryches au PNB au cours des années futures, de mieux caractériser l'habitat selon différentes variables biotiques et abiotiques, de quantifier la variabilité morphologique des individus ainsi que de confirmer la présence d'autres espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables. À terme, les données récoltées en suivant ce protocole de suivi démographique annuel permettront d'identifier les menaces aux colonies de botryches afin de proposer des stratégies de conservation efficaces.

L'année 2021 représente une transition qui poursuit l'inventaire général tel qu'effectué en 2019 et 2020 tout en allant vers l'établissement d'un nouveau protocole de suivi démographique des botryches. Le premier objectif est donc de reconduire l'inventaire général pour une troisième année consécutive afin de comparer les patrons d'abondance et de diversité à l'échelle de l'ensemble des colonies du PNB avec ceux de 2019 (année de référence) et de 2020 (année de faible effectif associé aux conditions printanières sèches). Le second objectif est de nature méthodologique et consiste à installer le dispositif du protocole de suivi démographique annuel des botryches proposé par de Lafontaine et Ducharme-Martin (2021).

Méthodologie

Échantillonnage

Les sites d'occurrences connues suivant les inventaires de 2006-2008 (Labrecque & Cayouette 2006, 2008; Labrecque *et al.* 2011), de 2019 (Ducharme-Martin & de Lafontaine 2020) et de 2020 (de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021) ont tous été revisités du 14 au 25 juin 2021 sauf pour les sites 2006-4 et 2006-5, considérés éteints puisque non revus dans les deux derniers inventaires. Un site supplémentaire découvert par Jean-Étienne Joubert (Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire) à la réserve nationale de faune de Pointe-au-Père a également été visité le 18 juin 2021.

Deux protocoles de suivi ont été réalisés de manière simultanée, soit l'*inventaire général* et le *suivi démographique annuel*. Le protocole de suivi de l'inventaire général est détaillé dans Ducharme-Martin et de Lafontaine (2020). Brièvement, il implique la recherche, le dénombrement et l'identification taxonomique de tous les sporophyte de botryches répertoriés aux sites connus du PNB. La recherche des individus consiste en un effort de repérage d'une heure (suivant la découverte d'un premier individu) par une équipe de cinq personnes pour un effort d'échantillonnage constant entre les sites totalisant 5 heures-personnes/site. Dans le cas où aucun individu n'est trouvé dans les 15 premières minutes, la recherche s'arrête. Des drapeaux piqués à proximité de chaque sporophyte permettent d'établir l'effectif et l'étendue de chaque colonie. Le protocole d'inventaire général se termine avec l'identification de tous les individus repérés à l'aide des clefs d'identification de Cayouette (2001) et Farrar (2006; 2011).

Le protocole de suivi démographique a été déployé dans un sous-ensemble de colonies dont les effectifs sont les plus importants. Le nombre de placettes-échantillons varie selon les sites et a été déterminé en fonction de la taille et de la composition des colonies. Dans chacune des principales colonies, une ou plusieurs placettes-échantillons permanentes de 1m² ont été installées afin de bien représenter l'hétérogénéité environnementale (p.ex., ouverture, sous le couvert forestier) et de capturer la diversité des espèces de botryches présentes (suivant les résultats de l'inventaire général). Des clous de 10 cm portant un ruban forestier qui facilitera le repérage lors des années subséquentes et une étiquette de métal qui identifie le numéro de la parcelle ont été plantés aux quatre coins de chaque quadrat, la coordonnée géographique a été notée au centre et une photo de l'ensemble de la parcelle-échantillon a été prise. Les sporophytes de tous les botryches présents à l'intérieur des limites de chaque quadrat ont été marqués par des clous de 10 cm portant des médaillons numérotés de 0001 à 1000. Sauf exception, les clous sont généralement plantés au nord du botryche et le plus près possible des individus.

Tous les botryches ont été identifiés à l'espèce, puis des mesures morphologiques ont été prises à l'aide d'une règle de 30 cm (c.-à-d., hauteur, largeur et longueur du trophophore; longueur de la tige du trophophore et du sporophore; hauteur et longueur du sporophore). Enfin, le stade phénologique a été noté pour chaque individu (c.-à-d., immature, mature, sénescence). Une photo de chaque individu numéroté a été prise devant un fond noir uniforme muni d'un ruban gradué servant d'échelle. Ces photos permettent de retracer les individus dans le cas d'une erreur d'identification et serviront aux futures analyses portant sur la variation morphologique des individus au fil du temps puisque les mêmes individus seront rephotographiés annuellement. Le cas échéant, certaines remarques sur l'état des individus ont été notées (p.ex., individu sec, sores ouverts, trophophore et/ou sporophore manquants).

À chaque placette-échantillon, une photo orientée vers le haut a été prise à partir d'une caméra (lentille 28mm) montée sur un trépied d'une hauteur de 55 cm placé au centre du quadrat. Le pourcentage

d'ouverture de la canopée au-dessus de chaque placette a été estimé grâce à une analyse d'image effectuée à l'aide du logiciel ImageJ (Schneider *et al.* 2012). Plusieurs variables environnementales ont été notées à chaque quadrat, telles que le pH à l'aide de l'appareil Kelway HB-2 (Kel Instruments Co., Teaneck NJ, USA); la hauteur de la végétation à l'aide d'une règle d'un ruban à mesurer; le pourcentage de couverture de la litière, et des strates muscinales et lichéniques, herbacées et arbustives. L'espèce compagne dominante a aussi été prise en note. Enfin, les 6 et 7 juillet 2021, toutes les parcelles-échantillons ont été revisités afin d'identifier l'ensemble des espèces de plantes vasculaires présentes.

Le site 2019-6, à l'anse à Wilson, présente une disposition qui n'est observée nulle part ailleurs au PNB. En effet, les botryches sont orientés de manière linéaire, sous une clôture de bois qui sépare le sentier piétonnier et la piste cyclable. Considérant l'organisation particulière des botryches formant cette colonie, le protocole de suivi démographique a été adapté à ce site de façon à n'avoir qu'un seul transect linéaire qui débute au premier botryche et qui se termine au dernier botryche rencontré. Les clous servant à l'identification des botryches ont été plantés directement sur la base de la clôture de bois et cachés sous la végétation par soucis de discrétion. Tous les sporophytes compris entre le premier et le dernier botryche le long de la clôture ont été identifiés.

Analyse des données

Les données empiriques de l'inventaire général, quantifiant l'effectif et la composition des botryches aux différents sites, regroupés en unités de gestion de la conservation depuis 2019, permettent de bien décrire les colonies de botryches comme différentes *communautés de genre* (Wagner & Wagner 1983) au parc national du Bic (Ducharme-Martin & de Lafontaine 2020; de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021). Les patrons d'abondance et de la composition des botryches par site et par unité de gestion ont été quantifiés et comparés pour les trois années de suivis sur l'ensemble du PNB. Les indices de diversité de Simpson ont été calculés pour chaque site et pour les trois années à l'aide de la fonction *diversity* de la librairie R VEGAN (Oksanen *et al.* 2020) et les valeurs moyennes ont été comparées entre les trois années avec une analyse de la variance (ANOVA). L'indice de dissimilarité de Bray-Curtis a été employé pour évaluer la différence des communautés de botryches entre les trois années pour chacun des sites individuels et pour chaque unité de gestion. Cet indice peut prendre des valeurs entre 0 et 1 où 0 signifie qu'il n'y a aucun changement dans la communauté, 1 indique un changement complet (p.ex., extinction) et 0,5 correspond à un changement intermédiaire. L'indice combine deux composantes, soit la variation dans le nombre d'individus (abondance) et le changement des espèces répertoriées (composition) (Baselga 2017). La fonction *beta.multi.abund* de la librairie R BETAPART (Baselga *et al.* 2021) a été employée pour partitionner l'indice de dissimilarité selon les changements d'abondance et de composition.

Puisque le protocole de suivi démographique a été déployé pour la première fois cette année, nous n'avons pas suffisamment de recul pour conduire les analyses démographiques sur les botryches marqués individuellement (p.ex. Lesica & Ahlenslager 1996; Williams & Waller 2015). Ainsi, à titre indicatif, nous rapportons simplement les données de l'année 2021 (p.ex., le nombre de parcelles-échantillons permanentes installées, le nombre d'individus et d'espèces marquées). Toutefois, Une analyse de la redondance (RDA) a été employée pour évaluer les associations entre les assemblages floristiques de chaque parcelle-échantillon et les variables environnementales mesurées (pourcentage d'ouverture de la canopée, pH, hauteur de la végétation, pourcentage de recouvrement de la litière et des strates muscinales et lichéniques, herbacées et arbustives). La RDA a été exécutée à l'aide de fonction *rda* de la librairie R VEGAN (Oksanen *et al.* 2020).

Résultats de l'*inventaire général*

L'ensemble des colonies de botryches connues au PNB (de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021) ont été revisitées en plus d'un nouveau site à Pointe-au-Père. Les espèces identifiées dans les cinq secteurs du PNB soit la Baie des Cochons, la Pointe aux Épinettes, le secteur Rioux/Baie du Ha! Ha!, le Tombolo et l'Anse à Wilson sont *B. matricariifolium*, *B. minganense*, *B. simplex*, *B. pallidum*, *B. michiganense*, *B. lanceolatum*, *Sceptridium multifidum*, *B. spathulatum* et *B. lineare*. L'identification taxonomique de cette dernière espèce devra toutefois être confirmée au cours des prochaines années puisque son faible effectif au PNB empêche de déterminer avec assurance s'il s'agit bien de *B. lineare* ou d'une forme variable d'une autre espèce plus répandue. Au total, 1258 individus ont été répertoriés sur 15 sites.

Lors des inventaires précédents, plusieurs individus de botryches n'avaient pas pu être identifiés à l'espèce, soit en raison de leur stade phénologique précoce (36% en 2019; Ducharme-Martin & de Lafontaine 2020), soit en raison d'un assèchement des individus à la suite de conditions climatiques particulièrement sèches (35% en 2020; de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021). Cette année ne fait pas exception et 34% de l'effectif total demeure non-identifié (*Botrychium* spp.). Une des raisons expliquant cette incapacité à déterminer l'identification taxonomique de certains individus jusqu'au niveau de l'espèce est la forte variabilité morphologique rencontrée chez les deux espèces les plus abondantes au PNB : *B. matricariifolium* (Williams *et al.* 2016) et *B. simplex* (Wagner & Wagner 1983). Puisque certains morphotypes de chacune de ces deux espèces peuvent se confondre avec des individus moins bien développés d'autres espèces, il est parfois difficile de trancher. Par exemple, on peut facilement confondre un jeune *B. matricariifolium* avec un *B. michiganense* encore peu développé (Gilman *et al.* 2015). De même, alors que les critères d'identification sont très clairs entre *B. simplex* et *B. pallidum* et que ces deux espèces sont habituellement faciles à différencier, certains individus peuvent arborer des critères diagnostiques

intermédiaires qui ne permettent pas de conclure avec confiance. Étant donné que les deux espèces les plus communes sont également les plus variables au PNB, il est fréquent de s'achopper à des individus ne portant pas de traits morphologiques distinctifs qui permettent de les assigner formellement. Ces morphotypes sont alors classés comme *Botrychium* spp., bien que la plupart appartiennent probablement à *B. matricariifolium* ou *B. simplex*. Le nouveau protocole de suivi démographiques instauré cette année permettra de suivre annuellement les mêmes individus numérotés et de quantifier l'évolution de leur morphologie en cours de développement. L'établissement de ce protocole facilitera l'identification de plusieurs *Botrychium* spp. et la confirmation de la présence d'espèces rares au PNB, comme *B. lineare* et *B. spathulatum* en plus de mieux spécifier les critères morphologiques d'individus hybrides.

État de la situation dans les sites, regroupés par unité de gestion

Pour chaque unité de gestion de la conservation, un tableau récapitulatif présente l'effectif de chacune des espèces de botryches identifiées à chaque site depuis le premier inventaire effectué. Le tableau résume l'effectif total des botryches et le nombre total d'espèces observées chaque année de même que les dates des relevés.

UG1- La première unité de gestion de la conservation (UG1) regroupe les quatre sites de la Pointe aux Épinettes (Tableau 1). En 2020, seulement sept botryches avaient été répertoriés au site 2008-1 alors qu'aucun sporophyte n'avait été observé sur les autres sites qui constituent cette UG. La situation à l'année 2021 représente une légère amélioration puisqu'un total de 26 individus ont été observés aux sites 2006-7 et 2008-1. Toutefois, l'effectif aux sites 2006-6 et 2019-1 demeure nul.

Au site 2006-7, la majorité des botryches étaient petits et sénescents (Figure 1) et donc difficiles à repérer. Bien que l'échantillonnage se soit déroulé près de deux semaines plus tôt par rapport à l'inventaire de 2020, le printemps 2021 a été particulièrement hâtif et chaud (MELCC 2021). Dans de telles conditions météorologiques, l'exposition prononcée au site 2006-7 pourrait entraîner la sénescence hâtive des botryches et leur absence aux autres sites fortement exposés de la Pointe aux Épinettes (2006-6 et 2019-1). Puisque ces trois sites ne présentent aucune structure verticale offrant des microsites protégés, ombragés et plus humides, l'exposition directe lors d'un printemps particulièrement hâtif et chaud pourrait causer un stress hydrique accru entraînant la sénescence précoce des sporophytes dès le début de la saison de croissance. Aussi, l'année de référence 2019 indique que ces sites sont dominés par *B. pallidum*, une espèce particulièrement précoce par rapport aux autres botryches (J. Labrecque, comm. pers.) étant donné son émergence davantage printanière (Wagner & Wagner 1993+).



Figure 1. Exemples de sporophytes de *Botrychium pallidum* sénescents dès le 14 juin 2021 au site 2006-7.

Par rapport au site 2006-7, les botryches étaient de plus grande taille au site 2008-1. À l’exception d’un seul individu, tous les sporophytes ont été repérés dans une même petite ouverture encadrée de *Juniperus communis* et *Picea glauca* qui créent un microsite ombragé et plus humide. D’autres individus avaient été retrouvés dans diverses ouvertures sur ce site en 2019 et 2020, mais n’ont pas été revus en 2021. *B. simplex* et *B. minganense* sont nouvellement identifiés au site 2008-1 alors que *B. pallidum* est l’espèce la plus commune, comme en 2019. Considérant que cette UG semble particulièrement sensible aux conditions météorologiques printanières et que la majorité des botryches se trouvent dans des milieux ouverts et peu protégés (2006-6, 2019-1 et 2006-7), plusieurs visites ponctuelles dès le début du mois de mai permettront d’obtenir un meilleur portrait de ces sites qui apparaissent plus précoces par rapport au reste du PNB. Deux parcelles-échantillons permanentes ont été installées respectivement aux sites 2006-7 et 2008-1 afin de suivre la démographie dans les colonies de l’UG1 (Tableau 5).

Tableau 1. Effectif des espèces selon les différentes années de suivis (2019-2021) pour chaque site formant l’unité de gestion de la conservation 1 (UG1). Pour chaque année, l’effectif total des individus (*N*), le nombre d’espèces présentes à chaque site (*N_{SP}*) et les dates du suivi sont détaillés.

Unité de gestion	UG1											
	2006-6			2006-7			2008-1			2019-1		
Sites	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Années de l’inventaire	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Dates de l’inventaire	17/06	27/06	14/06	17/06	27/06	14/06	20/06	27/06	15/06	17/06	27/06	14/06
<i>N</i>	14	0	0	53	0	16	37	7	10	1	0	0
<i>N_{SP}</i>	1	0	0	3	0	1	1	2	4	1	0	0
<i>B. pallidum</i>	12			32		4	36	1	6	1		
<i>B. matricariifolium</i>								3	2			
<i>B. minganense</i>				2					1			
<i>B. simplex</i>				7					1			
<i>Botrychium</i> spp.						12	1	3				
cf. <i>B. pallidum</i>	2			12								

UG2 - La deuxième unité de gestion de la conservation (UG2), est constituée des sites 2007-3 et 2019-5. L'effectif s'accroît encore cette année au site 2007-3, le plus vaste du PNB (Tableau 2). Il n'est toutefois pas possible de déterminer si cette augmentation continue de l'effectif représente une réelle expansion démographique de la colonie ou un artéfact de l'échantillonnage toujours incomplet étant donné la grande superficie du site difficile à couvrir dans le temps imparti. Lors des inventaires généraux futurs, il sera important de continuer l'exploration de l'ensemble de la superficie de ce site afin de déterminer la position et la composition de toutes les sous-colonies qui le composent. D'ici là, l'installation de six placettes-échantillons permanentes sur ce site (Tableau 5) permettra de documenter la démographie des sous-colonies connues et d'évaluer si elles sont effectivement en expansion, tel que suggéré par les inventaires généraux des trois dernières années. La colonie de 2007-3 est dominée par *B. matricariifolium* accompagné de *B. michiganense*, mais certains individus ressemblent à *B. spathulatum* et *B. lineare*, ce qui constitue une première mention à ce site. En suivant ces individus sur plusieurs années grâce au protocole de suivi démographique, il sera possible de confirmer et d'affiner les identifications à ce site. Alors que *B. pallidum* était présent sur ce site en 2019 et 2020, l'espèce n'a pas été revue en 2021. Tel que discuté à l'UG1, le printemps hâtif et chaud peut avoir déclenché une sénescence précoce de *B. pallidum*.

Alors que 2019-5 montre un léger déclin de l'effectif (Tableau 2), les mêmes espèces sont retrouvées dans des proportions relativement similaires depuis trois ans. Certaines ouvertures de la forêt semblaient particulièrement sèches, ce qui pourrait expliquer ce léger déclin. Nous suggérons l'installation d'affiches pour empêcher l'accès (hors-sentier) entre les espaces de campings, où nous avons installés deux placettes-échantillons permanentes. L'UG2 doit être explorée davantage tant au niveau du vaste site 2007-3 qu'au niveau du camping Rioux, qui présente de nombreux habitats qui apparaissent favorables aux botryches.

UG3- La troisième unité de gestion (UG3) est représentée uniquement par le site 2006-1 particulièrement diversifié. Alors que l'effectif avait fortement diminué en 2020 par rapport à 2019, l'année 2021 marque un retour vers une valeur intermédiaire, avec 175 individus appartenant à 7 espèces (Tableau 2). Les espèces *B. michiganense* et *B. minganense*, qui n'avaient pas été revues en 2020, étaient présentes cette année. Quatre quadrats permanents ont été installés (Tableau 5).

Tableau 2. Effectif des espèces selon les différentes années de suivis (2019-2021) pour chaque site formant les unités de gestion de la conservation 2 et 3 (UG2, UG3). Pour chaque année, l’effectif total des individus (*N*), le nombre d’espèces présentes à chaque site (*N_{sp}*) et les dates du suivi sont détaillés.

Unités de gestion	UG2						UG3		
	2007-3			2019-5			2006-1		
Sites	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Années de l’inventaire	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Dates de l’inventaire	19/06	30/06	22/06	09/06	30/06	21/06	19/06	26/06	14/06
<i>N</i>	72	158	402	50	53	43	350	57	175
<i>N_{sp}</i>	3	3	3	4	3	3	6	5	7
<i>B. pallidum</i>	5	33		2	8	3	69	14	27
<i>B. matricariifolium</i>	27	33	83	10	18	23	45	10	37
<i>B. michiganense</i>	18	35	51	15	2	10	25		8
<i>B. minganense</i>							9		3
<i>B. simplex</i>				1			78	3	23
<i>B. lanceolatum</i>							6	9	10
<i>Sceptridium multifidum</i>			1					1	8
<i>Botrychium</i> spp.	22	57	123	22	25	7	118	16	59
<i>B. lineare</i>			4						
<i>B. spathulatum</i>			1					1	
cf. <i>B. michiganense</i>			30					3	
cf. <i>B. matricariifolium</i>			97						
cf. <i>B. lineare</i>			5						
cf. <i>B. spathulatum</i>			2						
cf. <i>B. matri. x B. michi.</i>			5						

UG4 - L’unité de gestion quatre (UG4), dans le secteur de la Baie des Cochons ouest - Chalet EXP Élyme, présente des effectifs relativement stable depuis 2019 (Tableau 3). Malgré un léger déclin observé en 2020, les effectifs ont retrouvés les valeurs de l’année de référence (2019) en 2021. L’UG4 est dominée par *B. matricariifolium* accompagné de *B. simplex* avec quelques *B. michiganense* et *B. pallidum*. La composition similaire entre 2007-2 et 2019-2, stable depuis trois ans, suggère que ces deux sites ne formaient qu’une seule colonie avant la construction du chalet Élyme en 2017 qui a entraîné le scindement de cette communauté de genre (Tableau 3). Afin de suivre annuellement la démographie à l’UG4, trois parcelles-échantillons permanentes ont été installées dans différents microhabitats du site 2007-2 et une seule dans la petite colonie du site 2019-2.

UG5 - Les colonies composant la cinquième unité de gestion de conservation (UG5) du secteur de la Baie des Cochons est - Le Chocolat ont généralement un effectif supérieur à celui de 2020 (à l’exception du site 2020-1 où il n’y a que 6 individus). Les sites 2006-3 et 2007-4 présentent une augmentation substantielle de leur effectif par rapport à 2020 sans toutefois atteindre les effectifs de l’année de référence 2019 (Tableau 3). Plusieurs identifications au site 2007-4 devront être revues lors des prochains suivis, puisque *Botrychium tenebrosum* a probablement été confondu avec *B. simplex* et *B. pallidum*, deux espèces également présentes au site. Autrefois considéré comme une variété de *B. simplex* (Clausen 1938), il a été démontré récemment que *B. tenebrosum* se distingue génétiquement de celui-ci (Dauphin *et al.* 2017). Certains auteurs rapportent avoir confondu *B. lineare* et *B. matricariifolium* avec *B. tenebrosum* (Cayouette & Farrar 2009). Cependant,

B. tenebrosum se distingue de ceux-ci par un segment médian du trophophore plus large que long et plus rhombique, ovate ou elliptique (Cayouette & Farrar 2009). Souvent, il est décurrent le long du rachis et par la longueur de la tige du sporophore. La pinnae basale est non divisée, le trophophore et sporophore sont très courts alors que la tige commune est assez longue. Les individus de *B. tenebrosum* repérés au parc national du Bic ont plus souvent été confondus avec *B. simplex* et *B. pallidum* en raison de leur segment terminal légèrement plus large, comme *B. simplex*, et de leur état parfois embrassant, comme *B. pallidum*. Cependant, *B. tenebrosum* peut être distingué par les hauteurs du trophophore et du sporophore identiques ou presque alors que *B. pallidum* possède un trophophore plus court et embrassant la tige. En 2019, dix-huit individus avaient été identifiés comme *B. tenebrosum*, mais avaient été inclus dans *B. simplex* pour les analyses. À partir de cette année, ces individus seront traités comme une espèce distincte de *B. simplex* afin de mieux refléter l'état des connaissances taxonomiques actuelles (Dauphin *et al.* 2017). Deux parcelles-échantillons, installées respectivement sous couvert forestier et dans la clairière ouverte du site 2007-4 permettront de confirmer les identifications de *B. tenebrosum*, *B. simplex* et de *B. pallidum* lors des futurs suivis (Tableau 5). Une parcelle permanente a aussi été installée dans un microsite représentatif de 2006-3.

Le site 2019-3 a été exploré en profondeur et des botryches ont été retrouvés sur une plus grande étendue qu'auparavant, incluant divers milieux contrastés. L'augmentation continue de l'effectif depuis trois ans témoigne probablement de la meilleure connaissance du site par l'équipe plus que d'une réelle tendance démographique. Quatre parcelles-échantillons ont été déployées pour suivre la démographie sur ce site important : deux ont été installées dans des sous-colonies dominées respectivement par *B. simplex* et *B. pallidum* dans la portion nord-est de la colonie, sous un couvert d'épinettes blanches et deux autres parcelles ont été disposées vers l'ouest du site en milieu ouvert (Tableau 5).

Parmi les deux sites découverts en 2020, le site 2020-1 ne présentait qu'un seul individu identifiable (*B. tenebrosum*) alors que les autres sporophytes étaient déjà sénescents (Tableau 3). Les identifications au site 2020-2 ont été difficiles cette année car plusieurs individus étaient des morphotypes atypiques s'apparentant à *B. matricariifolium* et quelques individus de *B. minganense* et *B. lineare*, des espèces plus rares au PNB, ont été retrouvés (Tableau 3). L'installation d'une parcelle-échantillon à 2020-2 permettra de suivre annuellement ces individus marqués et de confirmer leur identification taxonomique (Tableau 5).

Tableau 3. Effectif des espèces selon les différentes années de suivis (2019-2021) pour chaque site formant les unités de gestion de la conservation 4 et 5 (UG4, UG5). Pour chaque année, l'effectif total des individus (*N*), le nombre d'espèces présentes à chaque site (*N_{SP}*) et les dates du suivi sont détaillés.

Unités de gestion	UG4									UG5												
	2006-2			2007-2			2019-2			2006-3			2007-4			2019-3			2020-1		2020-2	
Sites	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Années de l'inventaire	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Date de l'inventaire	18/06	26/06	15/06	19/06	26/06	17/06	19/06	26/06	17/06	18/06	26/06	18/06	18/06	27/06	16/06	09/07	27/06	24/06	01/07	16/06	01/07	16/06
N	1	1	1	105	72	133	37	20	37	101	7	51	207	45	127	66	105	165	6	6	38	80
N_{SP}	1	1	1	3	1	3	3	3	4	4	2	4	4	3	3	4	5	8	2	1	4	2
<i>B. pallidum</i>				2			1	5	2	34	3	14	26	4	38	26	27	32			2	10
<i>B. matricariifolium</i>				85	49	27	30	7	21	2		1	6			13	18	16	1		5	13
<i>B. michiganense</i>								2	3				2			3	7	8			8	1
<i>B. minganense</i>										1							3					2
<i>B. simplex</i>				6		2	2		1	31		8	14	19					21	3		3
<i>B. tenebrosum</i>													18						1	1		
<i>B. lanceolatum</i>																						
<i>Sceptridium multifidum</i>	1	1	1								3	8		1	1	3	26	20				3
<i>Botrychium</i> spp.				12	23	77	4	6	4	33	1	14	103	25	61	21	24	33	2	5	23	40
<i>B. lineare</i>																						
<i>B. spatulatum</i>														1								
<i>cf. B. pallidum</i>												2										
<i>cf. B. michiganense</i>												1			1							
<i>cf. B. matricariifolium</i>						5			2													2
<i>cf. B. lineare</i>																						6
<i>cf. B. spatulatum</i>																						
<i>cf. B. matricariifolium</i>									2									3				
<i>cf. B. matricariifolium</i>																						
<i>cf. B. simplex</i>												2	49									
<i>cf. B. tenebrosum</i>												2										
<i>cf. B. simplex X B. pallidum</i>													3		4							
<i>cf. B. minganense</i>																		1				

UG6 - La sixième unité de gestion de conservation (UG6) est constituée du site 2007-5 dans le secteur fortement perturbé du camping Tombolo, séparé par une route et bordé d'un côté par une piste cyclable et de l'autre par un stationnement. La petite colonie présente peu de variation d'effectif depuis 2019 (Tableau 3).

UG7 - La septième unité de gestion de conservation (UG7) est constituée du site 2019-6 dans le secteur de l'Anse à Wilson. Déjà le 22 mai 2021 lors d'une brève visite, plusieurs individus étaient matures. Lors de l'inventaire du 21 juin, plusieurs individus étaient impossibles à identifier en raison de leur tige cassée. La proximité des sentiers cyclistes et pédestres peut expliquer l'état des sporophytes. En effet, les botryches sont très fragiles et se brisent facilement sous le trophophore lors de piétinements ou de manipulations. De plus, nous avons remarqué lors de l'échantillonnage que de nombreux visiteurs circulaient sous la clôture à la recherche d'une cache de géocaching dont l'indice indiquerait que la cache se trouve sous la mousse. Les médaillons métalliques qui marquent les individus de botryches le long de la clôture pour le suivi démographique, pourraient être perturbés par les visiteurs. Aussi, considérant la fragilité des botryches face au piétinement et la particularité de cette colonie atypique au PNB, il est suggéré d'indiquer la présence d'une expérience en cours ou d'espèces fragiles le long de la clôture afin de décourager les passages inutiles.

Tableau 4. Effectif des espèces selon les différentes années de suivis (2019-2021) pour chaque site formant les unités de gestion de la conservation 6 et 7 (UG6, UG7). À chaque année, l'effectif total des individus (N), le nombre d'espèces présentes à chaque site (N_{SP}) et les dates du suivi sont détaillés.

Unités de gestion	UG6			UG7	
Sites	2007-05			2019-6	
Années de l'inventaire	2019	2020	2021	2020	2021
Date de l'inventaire	20/06	30/06	21/06	30/06	21/06
N	7	7	12	24	21
N_{SP}	3	3	3	5	4
<i>B. pallidum</i>		2	1	5	3
<i>B. matricariifolium</i>	4	1	6		1
<i>B. michiganense</i>				3	1
<i>B. minganense</i>				5	
<i>B. simplex</i>		1			
<i>B. lanceolatum</i>	1		1		
<i>Sceptridium multifidum</i>				4	3
<i>Botrychium</i> spp.	2	3	1	2	8
<i>B. spathulatum</i>				4	
cf. <i>B. pallidum</i>					4
cf. <i>B. matricariifolium</i>			3		1
cf. <i>B. lineare</i>				1	

Résultats et discussion : analyse des colonies de botryches au PNB

Ce troisième inventaire des botryches au PNB se distingue du précédent par une augmentation des abondances par rapport à 2020 à presque tous les sites en plus d'une hausse du nombre d'espèces répertoriées (Figure 2). En effet, 1258 botryches appartenant à 11 espèces ont été dénombrés cette année, contre 602 sporophytes pour huit espèces en 2020 et 1107 individus chez sept espèces en 2019. Alors que *B. matricariifolium* (31%) domine l'assemblage du PNB, les espèces *B. pallidum* (12%), *B. michiganense* (10%), *B. simplex* (6%), *S. multifidum* (4%) sont communes alors que *B. minganense*, *B. tenebrosum*, *B. lanceolatum*, *B. lineare* et *B. spathulatum* sont rencontrées plus sporadiquement (<1%; Figure 2). Le nombre de botryches non identifiés (*Botrychium* spp.) demeure stable encore cette année, soit 34% contre 35% en 2019 et 36% en 2020 (Figure 2). L'identification de ces fougères demeure difficile étant donné leur variabilité morphologique intraspécifique et la faible différence interspécifique (Wagner & Wagner 1983), ce qui explique l'étonnante stabilité de la proportion de botryches non-identifiés depuis trois ans (Figure 2).

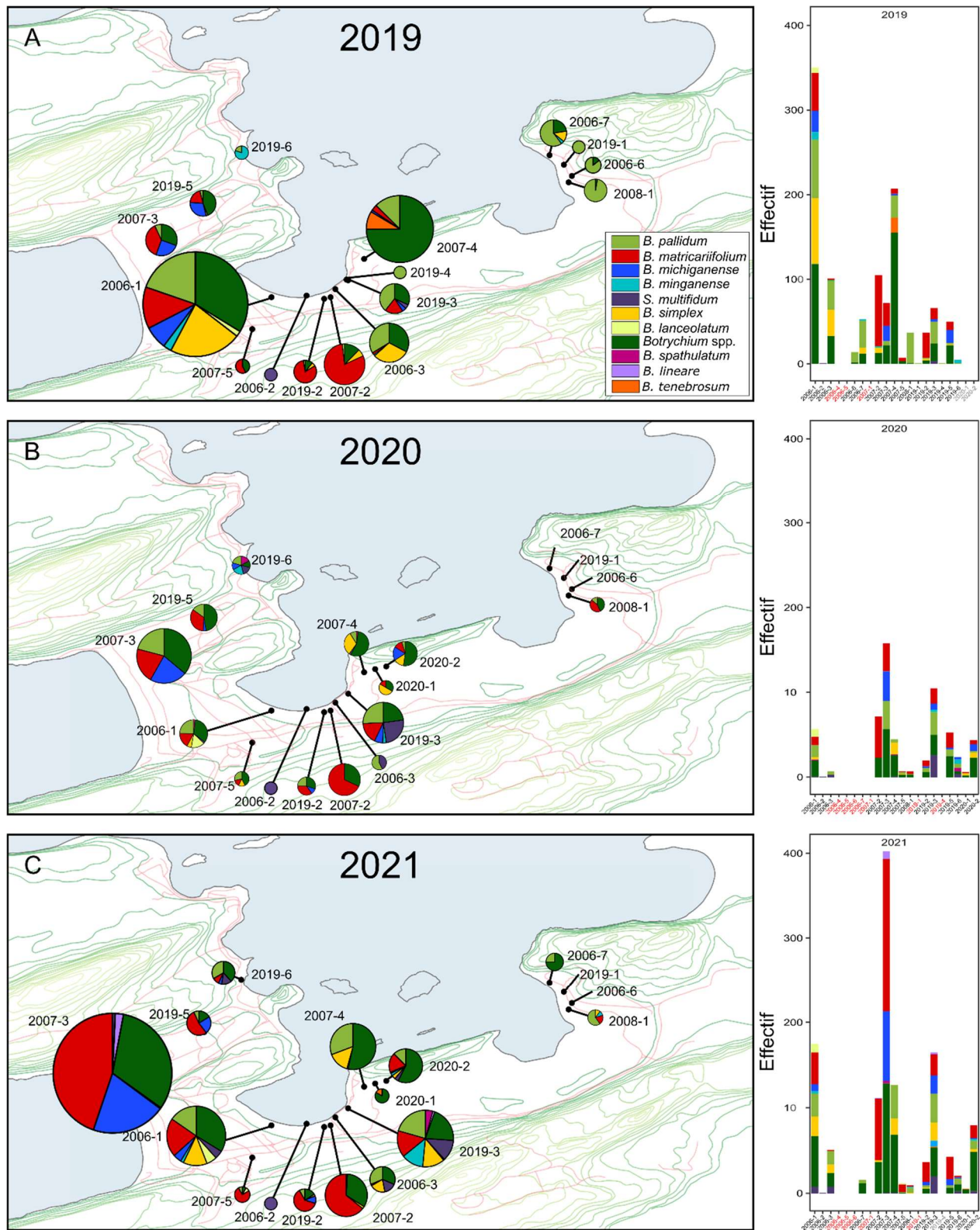


Figure 2. Abondance relative (gauche) et effectif (droite) des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) répertoriées aux 16 sites étudiés au parc national du Bic à l'été 2019 (A), aux 17 sites en 2020 (B) et 2021 (C). La taille des cercles est proportionnelle à l'effectif observé sur chaque site. Aucun individu n'a été recensé en 2020 aux sites identifiés en rouge et les sites en gris n'étaient pas encore découverts.

Au terme de cette troisième année, les sites sont généralement bien connus de l'équipe, mais ce n'est toujours pas le cas pour tous les sites. Pour les sites les mieux connus, comme 2006-1 ou 2007-4, l'effort d'échantillonnage est adéquat et permet de couvrir avec exactitude l'ensemble de leur superficie. Ces sites, identifiés en vert sur la Figure 3, montrent un même patron au niveau de la variabilité démographique entre 2019 et 2021. Ceux-ci ont tous subi une diminution de leur effectif au cours du printemps particulièrement sec de 2020 et une augmentation en 2021, sans toutefois retrouver les mêmes effectifs qu'en 2019 (Figure 3). Au contraire, les sites identifiés en bleu indiquent plutôt une hausse continue de l'effectif depuis 2019 (Figure 3). Par exemple, le site 2007-3 a vu son effectif plus que quintupler et 2019-3 a presque triplé depuis 2019. Cette augmentation ne reflète probablement pas une réelle tendance démographique, mais plutôt un biais d'échantillonnage en raison de la grande superficie à couvrir par rapport à l'effort d'échantillonnage qu'il est possible de fournir annuellement. Les sites 2007-2, 2007-5, 2019-6 et 2020-2 présentent aussi cette tendance, mais de façon moins marquée. Bien qu'il demeurent à être explorés de façon plus exhaustive, ces derniers sont plus petits et mieux circonscrits à un secteur, ce qui contribue à réduire le biais d'échantillonnage. Aussi, depuis 2019, l'équipe concentre surtout ses efforts de recherche dans les ouvertures, comme les clairières et les prairies, alors que les zones ombragées sous couvert arborescent étaient moins investiguées puisqu'elles ne correspondent pas aux caractéristiques de l'habitat connu des botryches. En 2020, la découverte de plusieurs sporophytes dans des microsites plus humides ombragés, suggère que les botryches pourraient se développer sous couvert forestier lorsque le climat sec est moins favorable (de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021). Ainsi, l'augmentation du nombre d'individus dénombrés au site 2019-3, par exemple, reflète notamment une recherche approfondie sur l'ensemble du site, incluant des microsites ombragés. Un suivi annuel et systématique à l'aide des parcelles-échantillons permanentes permettra de quantifier plus spécifiquement la variabilité démographique des botryches du PNB et permettra l'exploration d'autres secteurs encore non-échantillonnés. Enfin, l'effectif des sites indiqués (2020-1, 2006-2, 2019-1, 2019-5) demeure relativement stable (en noir sur la Figure 3).

L'effectif de toutes les espèces les plus communes a augmenté par rapport à 2020 (Figure 4). Alors que *B. matricariifolium*, *B. michiganense*, *S. multifidum* et les botryches non-identifiés sont plus abondants par rapport à l'année de référence 2019, d'autres espèces comme *B. pallidum* et *B. simplex* n'ont pas encore retrouvé les effectifs observés en 2019 (Figure 4). Les effectifs des espèces plus rares au PNB (*B. minganense*, *B. lineare*, *B. lanceolatum*, *B. spathulatum*) sont relativement stables (Figure 4). Douze individus de l'espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable, *B. lineare*, ont été identifiés en 2021. Bien que cette espèce n'ait pas été vue au PNB lors des recensements faits en 2006-2008, 2019 et 2020, une mention historique au Mont Comi ainsi qu'une récolte au sud-est du Bic faite en 1942 témoignent de sa présence dans la région (Cayouette & Farrar 2009). Les premiers inventaires des botryches au PNB réalisés par Labrecque et Cayouette (2006) avaient fait mention d'individus ressemblants à *B. lineare*. Le

suivi démographique permettra de suivre ces individus dans les placettes permanentes et de confirmer ces mentions au PNB.

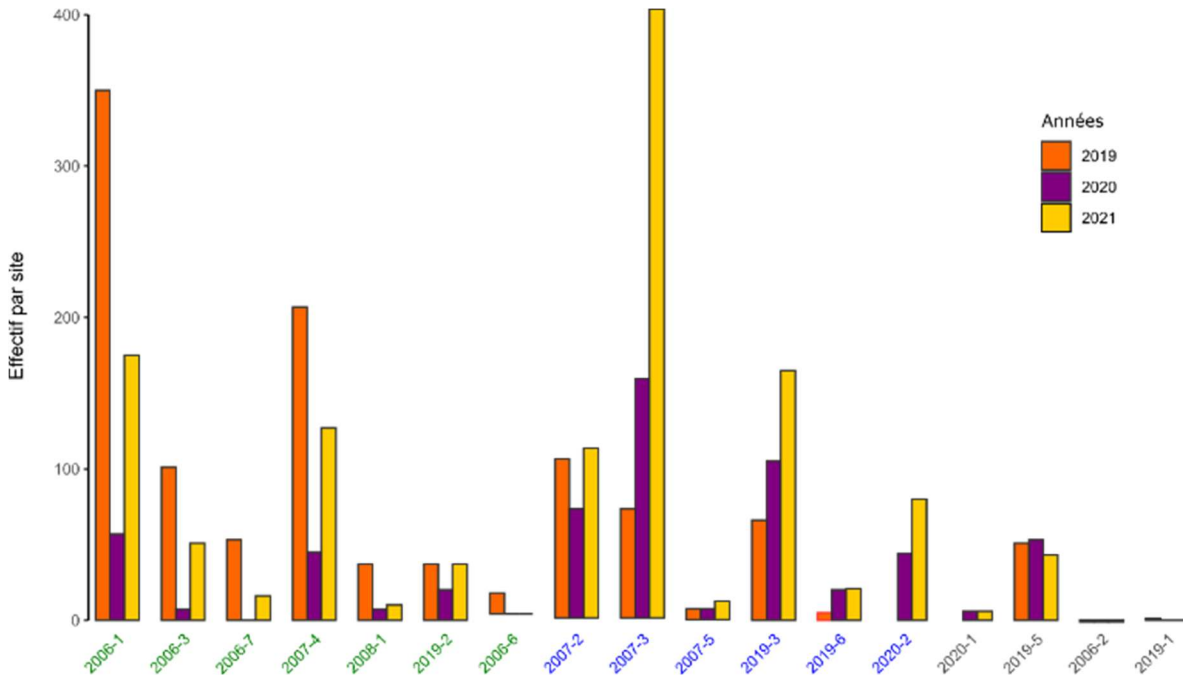


Figure 3. Effectif total des botrychies (*Botrychium* et *Sceptridium*) par site de 2019 à 2021 au parc national du Bic. Les sites identifiés en verts et en bleu regroupent des communautés qui suivent une tendance démographique commune.

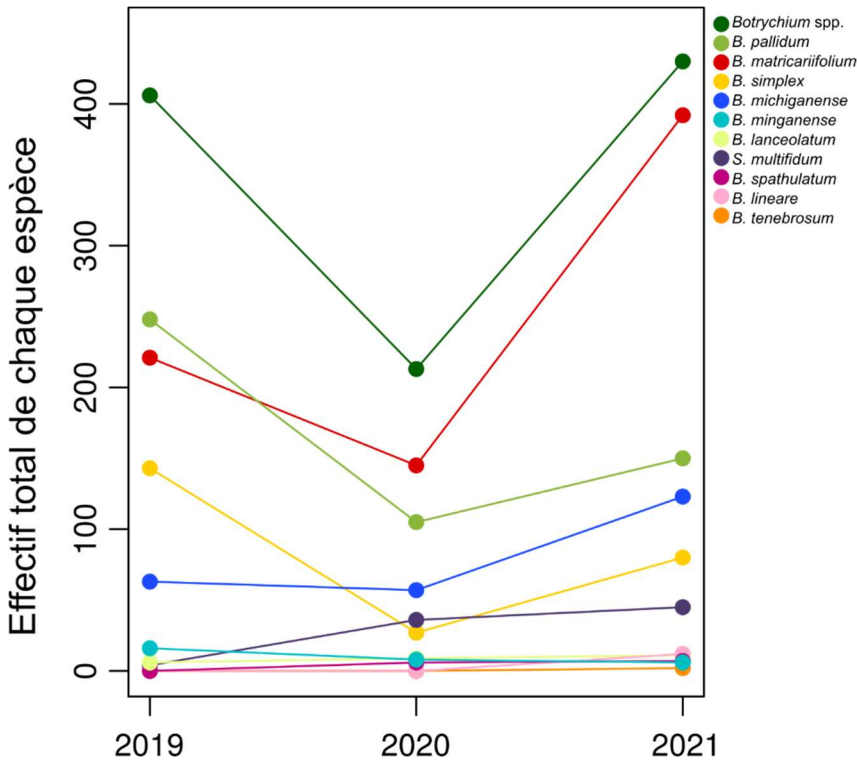


Figure 4. Effectif total de chaque espèce de botryche (*Botrychium* et *Sceptridium*) de 2019 à 2021 au parc national du Bic.

De manière générale, le nombre d'espèces par sites suit le même patron que celui des effectifs, avec 3,30 espèces/sites en 2019, 2,86 espèces/sites en 2020 et 3,67 espèces/sites en 2021. Toutefois, cette différence n'est pas significative ($P = 0,68$). L'indice de diversité de Simpson est passé de 0,40 en 2019 à 0,62 en 2020, à 0,55 en 2021, une variation qui n'est pas significativement différente de 0 ($P = 0,12$). Ainsi, malgré la variation générale des effectifs au cours des trois années du suivi, la diversité des botryches est demeurée relativement stable. La Figure 5A représente la diversité exprimée par l'indice de Simpson au travers des trois années de suivi à chaque site. L'indice de dissimilarité de Bray-Curtis a été employé pour quantifier la variation des communautés de botryches au cours des trois dernières années de suivi à tous les sites (Figure 5B). En moyenne, les sites présentent un indice de dissimilarité de 0,49, ce qui indique une altération des communautés de botryches intermédiaire. L'indice de 1 aux sites 2006-6 et 2019-1 (Pointe aux Épinettes) témoigne d'un changement complet des communautés relié à l'absence totale de sporophytes depuis 2020. Le site 2006-2 ne montre ni un changement de composition ni un changement d'abondance, puisque le même individu *S. multifidum* est trouvé depuis 2019. Le site 2006-7 indique un changement complet au niveau de l'abondance mais aucun changement de composition (Figure 5B, Tableau 1). Pour tous les autres sites, l'indice de Bray-Curtis se divise en deux composantes, soit la variation dans le nombre d'individus (abondance) et le changement des espèces répertoriées (composition) (Baselga 2017). Plusieurs sites, soit 2007-5, 2008-1, 2019-2, 2019-5 et 2020-2, sont caractérisés par une modification des espèces dans la communauté de botryches alors que 2006-7, 2006-1, 2007-4, 2019-3 et 2019-6 sont marqués par la variation de l'effectif (Figure 5B). Le regroupement des sites en unités de gestion de la conservation permet de visualiser les changements d'abondance et de composition depuis le premier inventaire selon différents secteurs au PNB (Figure 5C). Ainsi, les UG1 (Pointe aux Épinettes) et UG2 (Baie du Ha!Ha!/Camping Rioux) et UG3 (Camp du Cap-à-l'Orignal) varient beaucoup au niveau de l'abondance en opposition aux UG6 (Tombolo) et UG7 (Anse à Wilson) qui montrent un changement surtout au niveau de la composition. Enfin, les communautés des UG4 et UG5 (Baie des Cochons) ont une plus faible variation qui s'exprime autant au niveau de la composition que de l'abondance.

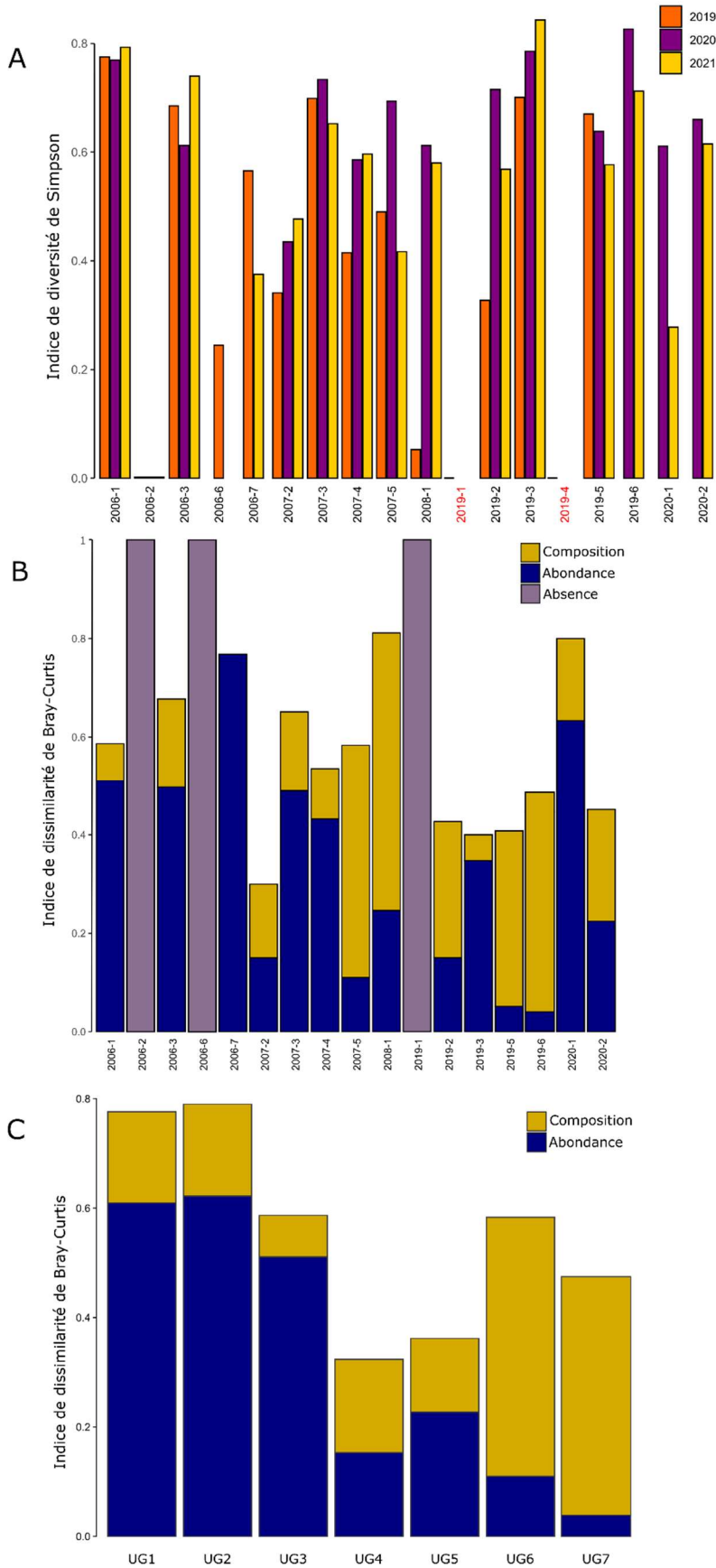


Figure 5. Analyse de la diversité spécifique et de la dissimilarité des communautés de botrychies (*Botrychium* et *Sceptridium*) au parc national du Bic. Indice de diversité D de Simpson selon les différents sites étudiés entre 2019 et 2021 (A). Indice de dissimilarité de Bray-Curtis entre les inventaires de 2019 à 2021 par site (B) et unité de gestion (C).

Résultats et discussion : établissement du protocole de *suivi démographique annuel*

Le nouveau protocole de suivi démographique a été appliqué à 12 sites au parc national du Bic et au site de Pointe-au-Père pour un total de 30 parcelles-échantillons permanentes (Tableau 5, Tableau 6). Le Tableau 5 résume les données mesurées lors de cette première année qui constitue l'établissement du protocole de suivi démographique. En 2021, un total de 419 sporophytes ont été marqués, identifiés, mesurés (hauteur, largeur et longueur du trophophore; longueur de la tige du trophophore et du sporophore; hauteur et longueur du sporophore), décrits (état, stade phénologique) et photographiés individuellement. Les parcelles-échantillons permanentes incluent entre 1 et 45 individus marqués et présentent une moyenne de $13,9 \pm 8,6$ sporophytes par quadrat de 1m^2 . On retrouve entre 1 et 5 espèces de botryches par parcelle (moyenne \pm écart-type : 2.1 ± 1.1 espèces). Toutes les espèces retrouvées au PNB sont incluses dans le suivi.

Tableau 5. Informations sur les variables environnementales récoltées à chaque quadrat en plus de la diversité des espèces et de l'effectif des botryches. Pour chaque quadrat son site et l'unité de gestion de la conservation (UG)

Parcelle	Sites	UG	pH	Couvert (%)	Recouvrement (%)				Végétation compagne		Botryches		
					m/l	herb	arb	lit	Espèce dominante	Hauteur végétation	Nsp VEG	Nsp BOT	N
1	2006-7	1	6,3	0,0	1	95	0	10	<i>Galium mollugo</i>	26	12	1	8
2	2006-1	3	7	0,0	0	95	0	5	<i>Pilosella officinarum</i>	4	7	3	17
3	2006-1	3	7	37,9	0	80	30	15	<i>Pilosella officinarum</i>	40	14	3	9
4	2006-1	3	7	0,0	5	80	0	15	<i>Pilosella officinarum</i>	13,5	8	3	11
5	2006-1	3	7	0,0	5	95	0	5	<i>Pilosella officinarum</i>	4	8	2	10
6	2008-1	1	7	0,0	3	80	50	1	<i>Juniperus communis</i>	30	11	4	9
7	2007-4	5	6,9	69,9	1	90	30	15	<i>Poa annua</i>	19	7	2	13
8	2007-4	5	7	0,0	1	85	0	20	<i>Poa annua</i>	10	5	3	19
9	2007-2	4	7	27,2	10	85	20	10	<i>Pilosella officinarum</i>	14	8	1	14
10	2007-2	4	6,9	78,8	1	75	90	30	<i>Pilosella officinarum</i>	14	7	1	9
11	2007-2	4	7	89,2	5	5	100	100	Litière	1,5	7	1	15
12	2019-2	4	6,8	9,7	1	95	2	5	<i>Dentonia spicata</i>	10	11	1	11
13	2020-2	5	7	1,7	40	45	20	5	<i>Dentonia spicata</i>	12	14	3	18
14	RNF-PAP	8	7	0,0	50	80	0	70	<i>Galium mollugo</i>	26	11	1	1
15	2006-3	5	7,2	0,0	15	30	5	5	<i>Anaphalis margaritacea</i>	12	10	1	5
16	2019-5	2	7	8,5	1	80	0	20	<i>Dentonia spicata</i>	14	7	2	9
17	2007-5	6	6,6	0,5	15	75	55	20	<i>Juniperus communis</i>	15,5	8	1	4
18	2019-5	2	7	2,2	<5	90	0	30	<i>Pilosella officinarum</i>	7,5	10	2	14
19	2007-5	6	6,75	0,0	0	100	0	3	<i>Dentonia spicata</i>	10	8	3	6
20	2019-6	7	6,49	22,3	-	-	0	-	Gravier	0	24	4	21
21	2007-3	2	7	0,0	<5	95	0	10	<i>Pilosella caespitosa</i>	21	14	2	20
22	2007-3	2	6,9	0,0	40	95	10	1	<i>Pilosella officinarum</i>	16	14	2	10
23	2007-3	2	7	0,0	1	75	0	80	<i>Galium mollugo</i>	25	15	3	14
24	2007-3	2	6,2	0,0	3	100	0	3	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	19	15	2	28
25	2007-3	2	6,9	0,0	<5	100	5	1	<i>Picea glauca</i>	13,5	20	2	18
26	2007-3	2	7,1	1,1	10	95	20	<5	<i>Bryophyta</i>	19	13	1	10
27	2019-3	5	7,8	0,0	1	85	1	15	Litière	12,5	7	5	45
28	2019-3	5	7	0,1	5	95	25	10	<i>Picea glauca</i>	15	5	1	5
29	2019-3	5	7	93,4	50	5	15	40	<i>Bryophyta</i>	5	14	1	28
30	2019-3	5	7	91,3	10	5	100	100	Litière	9,5	7	1	18

m/l : mousses et lichens, herb : herbacées, arb : arbustes, lit : litière,
Nsp VEG : nombre d'espèces végétales, Nsp BOT : nombre d'espèces de botryches

Tableau 6. Coordonnées géographiques (degrés décimaux) des 30 parcelles-échantillons permanentes installées en 2021 pour le suivi démographique des botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) au parc national du Bic.

Quadrat	Site	Latitude (°N)	Longitude (°O)
1	2006-7	48,35973	68,77918
2	2006-1	48,35073	68,79635
3	2006-1	48,35083	68,79661
4	2006-1	48,35066	68,79630
5	2006-1	48,35084	68,79645
6	2008-1	48,35815	68,77826
7	2007-4	48,35311	68,79089
8	2007-4	48,35304	68,79090
9	2007-2	48,35082	68,79266
10	2007-2	48,35080	68,79264
11	2007-2	48,35087	68,79259
12	2019-2	48,35069	68,79322
13	2020-2	48,35353	68,79070
14	RNF-PAP	48,51126	68,84683
15	2006-3	48,35120	68,79250
16	2019-5	48,35117	68,79261
17	2007-5	48,35669	68,80080
18	2019-5	48,35653	68,80044
19	2007-5	48,34887	68,79823
20	2019-6	-	-
21	2007-3	48,35481	68,80475
22	2007-3	48,35479	68,80474
23	2007-3	48,35493	68,80478
24	2007-3	48,35507	68,80485
25	2007-3	48,35493	68,80441
26	2007-3	48,35498	68,80444
27	2019-3	48,35194	68,79179
28	2019-3	48,35186	68,79174
29	2019-3	48,35199	68,79176
30	2019-3	48,35202	68,79174

Les 30 parcelles-échantillons ont été installées dans des environnements hétérogènes afin de capturer la variabilité des conditions écologiques rencontrées par les botryches au PNB. Par exemple, le pourcentage de couvert au-dessus des parcelles (calculé à partir des photos de la canopée) se situe entre 0% et 93%. Le pH est moins variable et se centre autour de la valeur neutre (moyenne \pm SD : $6,9 \pm 0,3$; étendue

de 6,2 à 7,8). La végétation des parcelles est surtout composée d'herbacées (moyenne : 76% de recouvrement), mais aussi d'arbustes (moyenne : 20% de recouvrement). Le lichen et les mousses sont présents dans une moindre mesure (moyenne : 10% de recouvrement). La litière de plantes mortes représente, en moyenne, 22% de la surface. Les botryches sont généralement plus courts ($4,8 \pm 2,5$ cm) par rapport à la hauteur de la végétation environnante ($14,6 \pm 8,7$ cm) dans les parcelles.

L'analyse de la composition floristique des espèces compagnes entamée au dernier inventaire (de Lafontaine & Ducharme-Martin 2021) a été appliquée aux relevés floristiques effectués dans les parcelles-échantillons (Figure 6). Les deux premiers axes de l'analyse de la redondance (RDA) expliquent respectivement 27 % et 23 % de la variance dans le jeu de données (Figure 6). Cette analyse positionne les quadrats dans un espace à dimension réduite (ici, selon deux axes principaux), les vecteurs d'espèces en rouge et les vecteurs de variables environnementales en bleu permettent de visualiser les associations entre les quadrats, les espèces et les variables environnementales. Ces variables ont été mesurées à l'intérieur de tous les quadrats et sont : le pourcentage de recouvrement d'herbes, de mousses et lichens, de litière et d'arbustes, le pourcentage de couvert au-dessus des parcelles et le pH (Figure 6). Aucune espèce ne se démarque puisqu'elles sont toutes regroupées en rouge au centre du plan. Certaines associations entre les quadrats et les variables environnementales sont toutefois bien visibles. Par exemple, le premier axe correspond à un gradient de lumière où les sites sous un couvert plus dense ont un recouvrement inférieur en herbes mais supérieur en arbustes et une végétation généralement plus basse. Ce sont les parcelles établies à l'ombre, sous le couvert des arbres. À l'opposé sur cet axe, d'autres quadrats ont un recouvrement d'herbes hautes situés dans des environnements plus ouverts. Le deuxième axe se caractérise davantage par un gradient de pH allant des sols plus basiques vers les sols plus acides (Figure 6). Le quadrat 20 du site atypique de l'anse à Wilson (2019-6) se démarque des autres dans la RDA. Les parcelles appartenant à un même site se regroupent dans la RDA. Par exemple, la plupart des parcelles-échantillons du site 2007-3 (Q21 à Q26) sont situées dans le premier quadrant du premier axe et du deuxième quadrant du deuxième axe témoignant d'un environnement semblable (Figure 6). Les variables environnementales et l'assemblage floristique incluses dans le protocole de suivi démographique permettent donc de bien séparer les colonies de botryches sur la base de leur habitat.

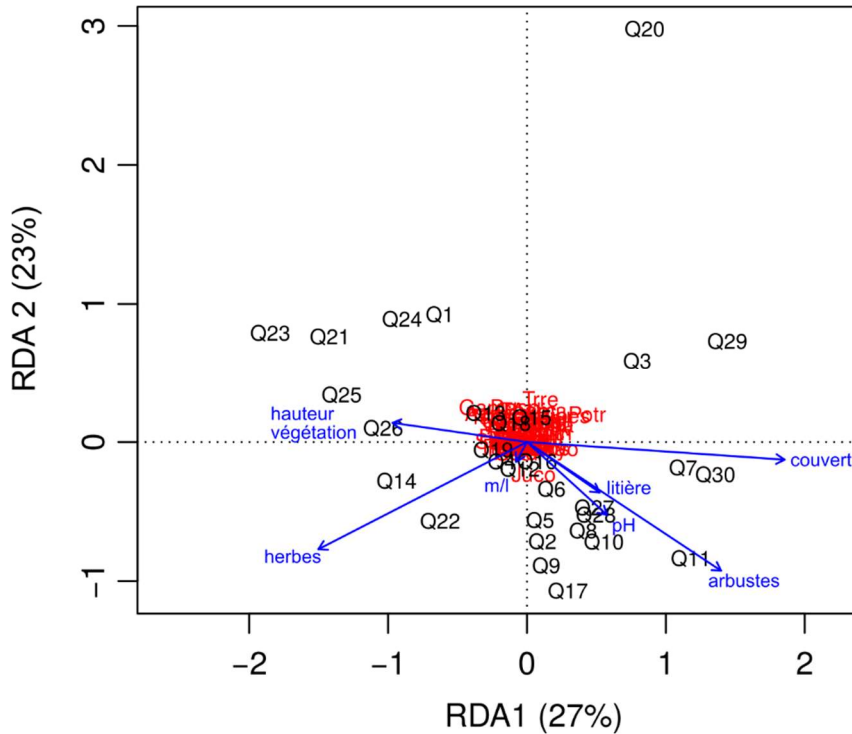


Figure 6. Analyse de la redondance (RDA) des placettes-échantillons (Q1 à Q30) du suivi démographique des botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) au parc national du Bic selon la composition floristique (vecteurs rouges) et les variables environnementales (vecteurs bleus).

L'ensemble des données morphométriques et d'abondance saisies dans les parcelles-échantillons en 2021 établit une base qui servira, au cours des années subséquentes, à faire un suivi de l'évolution des sporophytes afin de déterminer les trajectoires démographiques des botryches du PNB (Montgomery 1990; Muller 1993; Lesica & Ahlenslager 1996). Ces données seront analysées et exploitées plus en détail à la lumière des nouvelles données acquises lors de la revisite des parcelles au cours des prochaines années du suivi démographique. Ceci permettra de quantifier annuellement les nouvelles émergences, les épisodes de dormance, et la mortalité afin de mieux identifier les tendances démographiques à long terme au PNB. Il sera ainsi possible de mieux comprendre l'impact potentiel des changements climatiques, des variations météorologiques interannuelles, des pressions anthropiques (liées aux nouvelles infrastructures et/ou à l'augmentation d'achalandage), la fermeture du couvert forestier par la succession végétale, l'invasion par les plantes exotiques. Dans les années subséquentes nous préconisons d'effectuer la prise de données pour le *suivi démographique* (parcelles-échantillons) sur une base annuelle et de conduire à tous les 2 à 5 ans l'*inventaire général* sur l'ensemble des colonies de botryches (selon le protocole établi en 2019 et répété en 2020 et 2021). Cet intervalle devrait être réévalué selon les tendances démographiques qui seront documentées au cours des prochaines années du suivi.

Remerciements

Nous tenons à remercier S. Ahmad, J. Cigana, E. Cliche, L. Dumont, S. Harimanana et L. Pothier-Guerra pour leur aide essentielle sur le terrain.

Références

- Baselga A. 2017. Partitioning abundance based multiple-site dissimilarity into components: balanced variation in abundance and abundance gradients. *Methods in Ecology and Evolution* 8:799–808
- Baselga A, Orme D, Villegger S, De Bortoli J, Leprieur F, Logez M. 2021. *betapart: Partitioning Beta diversity into turnover and nestedness components*. R package version 1.5.4.
- Cayouette J. 2001. *Les Botrychiaceae au Québec*. Ottawa
- Cayouette J & Farrar DR. 2009. Slender moonwort, *Botrychium lineare* (Ophioglossaceae), rediscovered in Quebec. *Canadian Field-Naturalist* 123: 255–259
- Clausen RT. 1938. A monograph of the Ophioglossaceae. *Memoirs of the Torrey Botanical Club* 19:3–177
- Dauphin B, Farrar DR, Maccagni A, Grant JR. 2017. A worldwide molecular phylogeny provides new insight on cryptic diversity within the moonworts (*Botrychium* ss, Ophioglossaceae). *Systematic Botany* 42:620–639
- de Lafontaine G & Ducharme-Martin C. 2021. Suivi des botryches (*Botrychium* spp.) au parc national du Bic (été 2020). Rapport préparé pour la direction du parc national du Bic, Sépaq, Québec
- Ducharme-Martin C & de Lafontaine G. 2020. Suivi des botryches (*Botrychium* spp.) au parc national du Bic (été 2019). Rapport préparé pour la direction du parc national du Bic, Sépaq, Québec
- Farrar DR. 2006. Systematics of moonworts *Botrychium* subgenus *Botrychium*. Iowa State University, Department of Ecology, Evolution and Organismal Biology. [En ligne ; dernier accès 24 février 2022] URL: <https://www.herbarium.iastate.edu/files/inline-files/Moonwort-Systematics-June-06.pdf>
- Farrar DR. 2011. Systematics and taxonomy of genus *Botrychium*. [En ligne ; dernier accès 24 février 2022] URL: <https://www.herbarium.iastate.edu/files/inline-files/Moonwort-Systematics.pdf>
- Gilman AV, Farrar DR, Zika PF. 2015. *Botrychium michiganense* sp. nov. (Ophioglossaceae), a new North American moonwort. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 9:295–309
- Labrecque J & Cayouette J. 2006. Exploration et inventaire des sites de *Botrychium pallidum* et *Botrychium* « *michiganense* » du Parc national du Bic (1 et 2 juillet 2006). Rapport préparé pour la direction du Parc national du Bic, Réseau Sépaq, Parc Québec
- Labrecque J & Cayouette J. 2008. Inventaire et nouvelles observations de botryches rares (*Botrychium* spp.) au Parc national du Bic (juin 2007). Rapport préparé pour la direction du Parc national du Bic, Réseau Sépaq, Parc Québec
- Labrecque J, Cayouette J, Farrar DR. 2011. Inventaire, nouvelles observations et dénombrement de botryches rares (*Botrychium* spp.) au Parc national du Bic incluant le territoire du camp du Cap-à-l'Original compte rendu d'une année exceptionnelle (23 au 27 juin 2008). Rapport préparé pour la direction du Parc national du Bic, Réseau Sépaq, Parcs Québec et le camp du Cap-à-l'Original
- Lesica P & Ahlenslager K. 1996. Demography and life history of three sympatric species of *Botrychium* subg. *Botrychium* in Waterton Lakes National Park, Alberta. *Canadian Journal of Botany* 74:538–543

- MELCC – Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques – 2021. *Avril 2021 : le troisième avril le plus chaud et les douze derniers mois au deuxième rang des plus chauds en 100 ans*. [En ligne ; dernier accès 24 février 2022] URL: <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/Faits-saillants/2021/avril.htm>. Québec.ca, Site officiel du gouvernement du Québec
- Montgomery JD. 1990. Survivorship and predation changes in five populations of *Botrychium dissectum* in eastern Pennsylvania. *American Fern Journal* 80:173–182
- Muller S. 1993. Population dynamics in *Botrychium matricariifolium* in Bitcherland (Northern Vosges Mountains, France). *Belgian Journal of Botany* 126:13–19
- Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlinn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E, Wagner H. 2020. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-7
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9:671–675.
- Wagner WH & Wagner FS. 1983. Genus communities as a systematic tool in the study of New World *Botrychium* (Ophioglossaceae). *Taxon* 32:51–63
- Wagner WH & Wagner FS. 1993+. *Botrychium*. In: Flora of North America Editorial Committee, eds. *Flora of North America North of Mexico*. 22+ vols. New York and Oxford. Vol. 2. <http://beta.floranorthamerica.org/Botrychium> [En ligne ; dernier accès 24 février 2022]
- Williams E, Farrar DR, Henson D. 2016. Cryptic speciation in allotetraploids : Lessons from *Botrychium matricariifolium* complex. *American Journal of Botany* 103:740–753
- Williams EW & Waller DM. 2015. Tracking morphological change and demographic dynamics in ephemeral *Botrychium* ss (Ophioglossaceae) populations. *Journal of the Torrey Botanical Society* 142:152–165