

**Suivi des botryches (*Botrychium* spp.) au parc national du Bic  
(été 2020)**



Guillaume de Lafontaine et Cassandra Ducharme-Martin  
*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

Mars 2021

**Guillaume de Lafontaine (PhD)**

*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*

**Cassandra Ducharme-Martin**

*Université du Québec à Rimouski*

*Courriel : Cassandra.DucharmeMartin@uqar.ca*

## Introduction

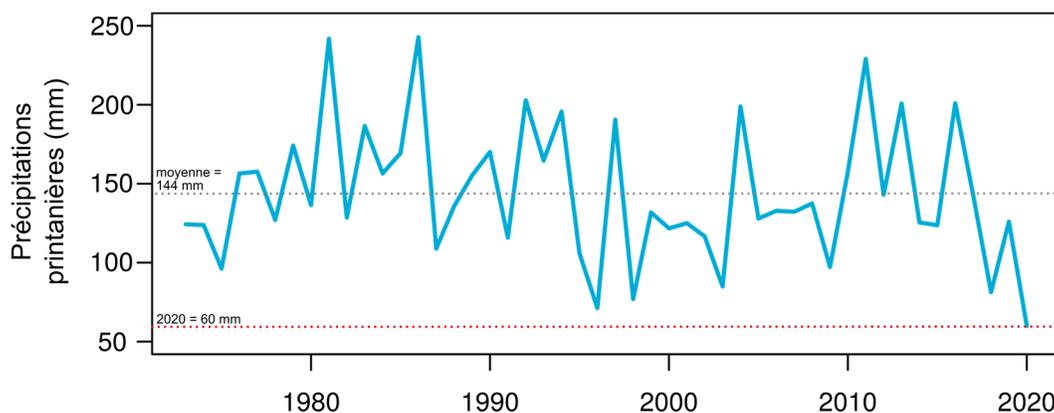
Les facteurs abiotiques, comme les précipitations, la température et les incendies, peuvent avoir de fortes incidences sur la dynamique démographique des plantes, particulièrement sur les populations dont la croissance démographique est lente. La stochasticité environnementale s'exprime de manière exacerbée dans les petites populations susceptibles de subir l'effet Allee qui se traduit ultimement par une augmentation du taux de mortalité, rendant ses populations encore plus vulnérables (*vortex d'extinction* ; Shaffer 1981; Lande 1993; Lande *et al.* 2003; Mesipuu *et al.* 2009). Les conditions météorologiques constituent une source majeure de stochasticité environnementale. Par exemple, les épisodes de sécheresse peuvent entraîner des rétroactions négatives sur le nombre d'individus de plusieurs plantes à graines (Inghe & Tamm 1988; Carrol *et al.* 2001; Tali & Kull 2001). C'est aussi le cas chez les ptéridophytes où la disponibilité en eau constitue le principal facteur limitant à la croissance et à la reproduction (Muller 1992; Mesipuu *et al.* 2009).

Chez les fougères botryches, appartenant aux genres *Botrychium* et *Sceptridium*, la reproduction se déroule en condition humide où les spermatozoïdes de l'anthéridie '*nagent*' vers les œufs de l'archégone au sein d'un même gamétophyte ou entre gamétophytes. Après la fertilisation, un sporophyte, comprenant une partie fertile (sporophore) et une fronde photosynthétique (trophophore), se développe et émerge de terre (Lessica & Ahlenslager 1996). Le développement de la première fronde peut prendre jusqu'à 10 ans en conditions normales (Campbell 1921; Muller 1993). Ainsi, une réduction des précipitations printanières (c.-à-d., lors de la saison de croissance des botryches) peut affecter la fertilité des botryches et le recrutement lors des années subséquentes (Mesipuu *et al.* 2009).

La démographie des colonies de botryches est habituellement relativement stable à travers les années, puisqu'une même plante, produisant un seul sporophyte émergeant annuellement, peut avoir une demi-vie allant de quelques années chez *Botrychium* (1,3 ans chez *B. matricariifolium*;  $\approx$  3 ans chez *B. hesperium*, *B. paradoxum* et *B. × watertonense*) à plusieurs décennies chez *Sceptridium* (11,2 ans chez *S. australe*; 43,2 ans chez *S. dissectum*) (Montgomery 1990; Muller 1993; Kelly 1994; Lessica & Ahlenslager 1996). À cette fin, les botryches font de la préfoliation. On retrouve des bourgeons clos imbriqués à la base de chaque sporophyte qui contiennent les frondes futures préformées qui émergeront au cours des années subséquentes (Waterkeyn & De Sloover 1958). Toutefois, il n'est pas rare que les botryches ne produisent pas de sporophyte lors de certaines années pendant lesquelles ils entrent plutôt en dormance végétative (Johnson-Groh 1998; Williams & Waller

2015). Plusieurs auteurs pensent que cette dormance végétative pourrait être plus marquée lors des périodes de croissance particulièrement sèches, reflétant une stratégie d'évitement au stress hydrique, à la photorespiration et à la dessiccation (Johnson-Groh & Farrar 1993; Johnson-Groh & Lee 2002; Mesipuu *et al.* 2009; Williams & Waller 2015). Ainsi, des épisodes de sécheresse printanière pourraient faire varier les effectifs considérablement entraînant une diminution ponctuelle du nombre de sporophytes visibles (Johnson-Groh & Farrar 1993). Bref, une baisse de précipitation printanière marquée pourrait affecter autant l'émergence annuelle des sporophytes déjà établis que le recrutement pour les années subséquentes.

Au Québec, la séquence mai-juin 2020 a été la plus sèche des 67 dernières années et la chaleur a atteint un niveau record lors de certaines journées de juin (MELCC 2020). Au Bas-Saint-Laurent, les données météorologiques indiquent effectivement le printemps le plus sec jamais enregistré depuis plus de 50 ans. En effet, selon les données de 1973-2020 aux stations météorologiques de Rimouski et/ou de Pointe-au-Père, les précipitations printanières (1<sup>er</sup> mai au 26 juin 2020) totalisent 60 mm par rapport à 144 mm en moyenne (Figure 1, CCSC 2018-2021). Il s'agit donc d'une diminution de 58% par rapport à la moyenne des 47 dernières années pour la même saison. De telles conditions météorologiques extrêmes au début de la saison de croissance pourraient vraisemblablement avoir un impact sur les colonies de botryches au parc national du Bic (PNB).



**Figure 1.** Précipitations printanières du 1<sup>er</sup> mai au 26 juin de 1973 à 2020 aux stations météorologiques de Rimouski ou de Pointe-au-Père. Les lignes pointillées indiquent la moyenne des précipitations printanières de 1973 à 2020 (ligne bleue) et la valeur enregistrée au printemps 2020 (ligne rouge).

Les botryches sont réputés pour être des plantes '*capricieuses*' habituellement retrouvées en *communautés de genre*, des colonies ayant des occurrences sporadiques de plusieurs espèces qui coexistent dans les habitats favorables (Wagner & Wagner 1983; Muller 1999). Pour bien caractériser l'habitat des botryches au PNB, il peut s'avérer utile d'analyser l'ensemble de la communauté végétale afin de déterminer la composition floristique des espèces qui accompagnent le plus couramment les colonies de botryches (Muller 1999). Cette connaissance permettra notamment

d'orienter les recherches de nouvelles colonies en capitalisant les efforts de repérage sur les sites portant des assemblages végétaux qui incluent plusieurs des espèces compagnes. Aussi, la communauté végétale fournit de précieuses informations complémentaires (p.ex. identification de menaces potentielles, dynamique de l'écosystème, variables abiotiques) qui peuvent éventuellement aider à l'établissement de meilleures pratiques de conservation et/ou de restauration des colonies.

Les botryches sont des espèces pionnières qui tolèrent mal le manque de lumière et qui sont donc particulièrement sensibles à la compétition (Muller 1999). Les sites perturbés il y a quelques décennies (entre 10 et 30 ans) puis maintenus dans un état de '*vieilles prairies*' par une fauche estivale ou automnale occasionnelle forment des habitats privilégiés pour les botryches (Buell 2001; Johnson-Groh & Farrar 2003). À l'inverse, les colonies sont menacées d'une part par l'intensification des activités humaines (agriculture, fertilisation, aménagements et infrastructures) et d'autre part la reforestation associée à la déprise agricole (Muller 1992). Le PNB a été fondé en 1984 et les terres agricoles ont donc été abandonnées il y a une trentaine d'années. Ces terres sont en processus de reforestation et le PNB compte actuellement divers stades de la transition successionnelle secondaire incluant des vieilles prairies, des friches et des jeunes forêts. Les prochaines années apparaissent donc comme un moment charnière pour cibler la conservation des botryches au PNB. Suite à l'inventaire de l'année 2019, il avait été proposé qu'une coupe partielle des arbres, arbustes, gaules sélectionnés et l'éradication des plantules devraient éventuellement être envisagées afin de ralentir la succession écologique et ainsi maintenir les habitats propices aux botryches du PNB (Ducharme & de Lafontaine 2020). Avant d'entreprendre une telle opération, il convient toutefois de procéder au préalable à une caractérisation empirique de la dynamique de l'envahissement de l'habitat des botryches par les espèces ligneuses.

Cette étude s'inscrit dans un suivi annuel des botryches commencé en 2019 au PNB. Dans ce contexte, l'objectif général est d'acquérir des connaissances sur la biologie, l'écologie et la dynamique des colonies de botryches au PNB qui serviront à établir les meilleures stratégies de conservation. Cette année, trois objectifs sont spécifiquement identifiés. Le premier objectif vise à comparer l'état des colonies de botryches en 2020 (effectif et diversité des espèces) avec un état de référence établi lors de l'inventaire de l'année 2019. Nous posons l'hypothèse que la démographie des colonies sera altérée en réponse à la stochasticité environnementale imposée par les conditions météorologiques anormalement sèches au printemps 2020 (Figure 1). Le second objectif est de caractériser les assemblages végétaux qui accompagnent les colonies de botryches au PNB. Enfin, le troisième objectif vise à étudier la dynamique de l'envahissement des colonies de botryches par les

espèces ligneuses afin d'anticiper la trajectoire successionnelle pouvant mener à une perte des habitats favorables.

## Méthodologie

### Échantillonnage

Les sites d'occurrences connues suivant les inventaires de 2006-2008 (Labrecque & Cayouette 2006, 2008 ; Labrecque *et al.* 2011) et de 2019 (Ducharme & de Lafontaine 2020) ont tous été revisités les 26-27 juin puis les 30, 31 juin et 1<sup>er</sup> juillet 2020. Deux sites supplémentaires ont été découverts à l'est du site déjà connu 2007-4 et inventoriés à l'été 2020. Aussi, nous avons pu confirmer l'existence du site 2019-6 dans le secteur de l'Anse à Wilson. Ce site avait été découvert au cours de l'été 2019 par Louise Tremblay (parc national du Bic) après notre relevé et il n'avait donc pas été inclus systématiquement dans l'inventaire de l'été 2019. Notre visite en 2020 représente donc le premier inventaire exhaustif à ce site. Tel que décrit dans Ducharme et de Lafontaine (2020), le dénombrement des individus durait une heure (suite à la découverte d'un premier individu) avec une équipe de cinq personnes pour un effort d'échantillonnage constant entre les sites équivalents à cinq heures-personnes/site. Dans le cas où aucun individu n'était trouvé dans les 15 premières minutes, la recherche s'arrêtait. Des drapeaux piqués à proximité de chaque individu ont d'abord permis d'établir l'étendue de chaque colonie. Ensuite, tous les individus ont été identifiés à l'aide des clefs d'identification de Cayouette (2001), Farrar (2006; 2011). Pour chaque site étudié, la coordonnée géographique du centre de la colonie et le nombre d'individus de chaque espèce ont été relevés. Lors des visites, une inspection visuelle de l'habitat a permis d'identifier certaines menaces potentielles au maintien de chaque colonie.

En plus de quantifier l'effectif et la diversité des espèces de botryches présentes sur chaque site, un inventaire floristique systématique a permis de déterminer les assemblages végétaux qui accompagnent les botryches. Les inventaires étaient réalisés à l'aide d'un quadrat de 30 cm × 30 cm lancé au hasard dans l'aire de recherche. Le nombre de tiges ou la superficie occupée en pourcentage de couverture des différentes espèces identifiées ont été notées. La nomenclature taxonomique suit Marie-Victorin (2002). Toutefois, afin d'optimiser le temps d'échantillonnage, les mousses (*Bryophyta*) et les graminées (*Poaceae*) n'ont pas été identifiées au rang d'espèce. L'analyse de la composition floristique a été limitée aux sites où les botryches étaient présents en 2020.

La deuxième partie de l'échantillonnage vise à évaluer la menace que représente la reforestation sur le maintien des habitats ouverts favorables aux colonies de botryches du PNB. Ces travaux ont été réalisés sur les sites 2007-4, 2007-3, et 2007-2, les 17 et 24 septembre 2020. Afin d'estimer la dynamique de colonisation des ouvertures par les arbres, l'âge de ceux-ci par rapport à la distance du centre de la trouée a été calculé à deux sites, soit 2007-4, 2007-3. En partant du centre estimé de la trouée, quatre transects tirés selon les points cardinaux ont été établis à l'aide de rubans à mesurer de 50 m. Pour chaque transect, cinq arbres ont été sélectionnés à intervalle régulier et une mesure du diamètre à hauteur de poitrine (DHP; 1,3 m du sol) a été prise à l'aide d'un compas forestier (Haglöf, Suède). Lorsque possible, une carotte de bois était prélevée à 30 cm de la base de l'arbre à l'aide d'une sonde de Pressler (Haglöf, Suède). Autrement, la plantule/gaule était prélevée au niveau du sol à l'aide d'un coupe-branche ou d'une scie à archet. Les carottes, gaules et plantules ont été sablées, puis l'âge des individus échantillonnés a été calculé par dendrochronologie sous une loupe binoculaire. À chaque arbre échantillonné, la distance à partir du milieu de la trouée était notée. Cette méthode a toutefois dû être adaptée au site 2007-2 où deux transects parallèles ont été tracés. Plutôt que de commencer au centre de la trouée, ces transects débutaient à partir de la forêt, traversaient la clairière et se terminaient en atteignant la forêt de l'autre côté de l'ouverture. Dix arbres ont été mesurés le long de chacun des deux transects afin d'obtenir un total similaire à tous les sites échantillonnés ( $n = 20$  arbres / site). Les manipulations subséquentes étaient les mêmes que celles expliquées pour les sites 2007-4 et 2007-3.

### **Analyses des données**

Les données empiriques récoltées sur les botryches aux différents sites ont été regroupées pour effectuer des analyses de la démographie des colonies à l'échelle du PNB. Ces analyses visent à évaluer les changements de l'effectif et de la composition des communautés de botryches à l'échelle des sites individuels et des unités de gestion proposées en 2019 (Ducharme & de Lafontaine 2020). Les abondances totales et pour chaque espèce de botryche sont quantifiées par site, par unité de gestion et sur l'ensemble du PNB. Les indices de diversité de Simpson (D) ont été calculés pour chaque site et pour les deux années à l'aide de la fonction *diversity* de la librairie *R* VEGAN (Oksanen *et al.* 2019) et les valeurs moyennes ont été comparées entre les années avec un test de Student. L'indice de dissimilarité de Bray-Curtis a été employé pour évaluer la différence des communautés de botryches entre les deux années pour chacun des sites individuels et pour chaque unité de gestion. L'indice de Bray-Curtis 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. Des diagrammes à cordes ont été employés afin de visualiser les changements des communautés de botryches entre 2019 et 2020. Pour chaque année, un diagramme capture l'ensemble des communautés de botryches du PNB et illustre les relations entre chaque espèce et les sites (ou les unités de gestion). Chaque espèce est rattachée aux sites (ou aux unités de gestion) par un arc dont la largeur est proportionnelle à l'importance de la relation. Les diagrammes à cordes ont été préparés avec la fonction *chordDiagram* de la librairie *R* CIRCLIZE (Gu *et al.* 2014).

Les analyses de la composition floristique visent à identifier les principales espèces qui accompagnent les colonies de botryches au PNB. La définition de cette flore permettra i) de cibler les assemblages végétaux les plus susceptibles d'indiquer la présence de colonies actuellement inconnues, ii) de mieux caractériser l'habitat propice aux botryches et iii) d'identifier certaines menaces au maintien des colonies. Une analyse en composante principale (PCA) a été employée pour évaluer les associations entre les sites et leurs assemblages floristiques. La PCA a été exécutée à l'aide de fonction *rda* de la librairie *R* VEGAN (Oksanen *et al.* 2019).

Afin de décrire la dynamique de colonisation par les arbres aux sites 2007-4, 2007-3 et 2007-2, l'âge et la taille (DHP) des arbres/gaules/plantules échantillonnés ont été mis en relation avec la distance le long des transects. Pour chaque site, cette relation combine tous les transects ( $n = 4$  transects pour 2007-4 et 2007-3 et  $n = 2$  transects pour 2007-2). Une régression linéaire ou polynomiale a été ajustée aux données afin de modéliser la trajectoire démographique le long des transects. Toutes les méthodes statistiques ont été réalisées dans *R* 3.6.2 (R Core Team 2019).

## Résultats du suivi des sites individuels

Les colonies de botryches ont été revisitées sur la base des données géoréférencées (GPS) fournies dans l'annexe 1 du dernier rapport d'inventaire (Ducharme & de Lafontaine 2020) alors que les deux nouveaux sites ont été découverts en recherchant des habitats potentiels à proximité du site 2007-4. Les botryches sont répartis sur cinq grands secteurs au PNB, soit la Baie des Cochons, la Pointe aux Épinettes, le secteur Rioux/Baie du Ha! Ha!, le Tombolo, identifiés en 2019; et l'Anse à Wilson qui

s'ajoute cette année. À l'été 2020, 602 individus appartenant à huit espèces ont été identifiés. Les espèces recensées sont *B. matricariifolium*, *B. minganense*, *B. simplex*, *B. pallidum*, *B. michiganense*, *B. lanceolatum*, *Sceptridium multifidum* et nouvellement, *B. spathulatum*. Quelques individus ressemblaient à *B. lineare* mais dans le doute, ces individus seront traités comme *Botrychium* sp. pour les analyses subséquentes. Comme en 2019, *B. lunaria* et *B. neolunaria*, deux espèces observées par Labrecque *et al.* (2011) n'ont pas été revues cette année. On peut émettre trois hypothèses concernant ces dernières. Premièrement, il est possible que ces espèces, observées seulement en 2008, pourraient alors avoir fait l'objet d'une mauvaise identification. Deuxièmement, ces espèces n'ayant été que répertoriées une seule fois et sur un seul site (2008-1), il est possible que leur présence soit extrêmement limitée au PNB et un effort d'échantillonnage considérable devrait alors être déployé pour répertoriés les quelques individus émergents. Enfin, puisque le printemps 2020 a été extrêmement sec (Figure 1), les conditions climatiques n'ont peut-être pas été propices à l'émergence de ces espèces qui privilégient les milieux humides. En effet, *B. lunaria* est plutôt retrouvée au sein des forêts de conifères nordiques et boréales dans des sols sablonneux, humides et froids ainsi que dans des sols calcaires (Parnikoza *et al.* 2017). En 2019, plusieurs individus n'avaient pas pu être identifiés en raison de leur phénologie trop précoce (Ducharme & de Lafontaine 2020) alors que lors de l'échantillonnage légèrement plus tardif en 2020, les botryches étaient généralement bien développés. Cependant, étant donné le temps sec, certains individus étaient complètement asséchés, ce qui rendait leur identification impossible. Les botryches peuvent présenter un réel défi lors de l'identification en raison de la grande variabilité morphologique encourue d'une année à l'autre (Williams & Waller 2015) comme d'une espèce à l'autre (Williams *et al.* 2016). La grande abondance de *Botrychium* spp. (35% de l'effectif total) témoigne, encore cette année, de cette réalité. Des études génétiques permettront éventuellement de confirmer les identifications des différentes espèces au PNB en plus de mieux spécifier les critères morphologiques d'espèces hybrides possédant plusieurs morphotypes tel que *B. matricariifolium* et *B. michiganense* (Williams *et al.* 2016).

### Descriptif des sites individuels

Les coordonnées géoréférencées (GPS) de tous les sites à l'étude sont fournies à l'Annexe 1. Pour chaque site, un tableau récapitulatif présente l'effectif de chacune des espèces de botryches identifiées depuis le premier inventaire effectué. Le tableau résume également l'effectif total des

botryches et le nombre total d'espèces observées à chaque année de même que les dates des relevés en plus des numéros des photos correspondantes aux annexes 2 et 3.

## SITE 2006-1

**Localisation :** Unité de gestion 3. Secteur Baie des Cochons, site ouvert longeant le sentier. Le site est de forme rectangulaire (33,4 m x 6,6 m) délimitée par une corde avec une indication "zone en régénération". Terrain de l'ancienne colonie de vacances du Cap à l'Original.

**Remarques :** Cette année, bien que l'effectif total des sporophytes ait grandement diminué par rapport à 2019, le nombre d'espèces a légèrement augmenté (Tableau 1). *B. spathulatum*, considéré disparu au PNB selon le CDPNQ (2008) a été identifié cette année. Cette mention ajoute une espèce ayant le statut 'susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable au Québec' au PNB. Ainsi, trois espèces susceptibles, soit *B. pallidum*, *B. michiganense* et *B. spathulatum* sont présentes à ce site. Il est possible que la diminution marquée de l'effectif soit causée par le climat sec du printemps 2020. En effet, au moment de l'inventaire, plusieurs individus étaient asséchés ou même complètement nécrosés (Annexe 3, Photo 6). Des espèces normalement associées au milieu sec telles que *Hieracium pilosella*, *Potentilla tridentata* et les graminées. étaient également asséchées (Annexe 2, Photo 3). Depuis le début des suivis, on enregistre, cette année, le plus grand nombre de *B. lanceolatum* répertoriés (Annexe 2, Photos 1 & 2). Rappelons qu'il s'agit du seul site au PNB où cette espèce a été recensée. *Sceptridium multifidum* s'ajoute à la liste des espèces retrouvées sur ce site alors que *B. minganense* n'a pas été observé en 2020. Le site est largement ouvert, mais toujours menacé d'invasion sur deux côtés par *Picea glauca* et *Populus tremuloides* et limité sur les deux autres côtés par un sentier pédestre (Ducharme & de Lafontaine 2020). Les espèces compagnes identifiées à ce site sont *Hieracium pilosella*, *Cerastium arvense*, *Fragaria virginiana*, *Potentilla tridentata*, *Arctostaphylos uva-ursi* et des graminées (*Poaceae*). Afin d'assurer la conservation de ce site exceptionnel, il serait impératif de continuer le suivi sur une base annuelle afin de réévaluer régulièrement la trajectoire démographique de cette importante colonie (densification, stabilité ou déclin) tant par rapport à la dynamique d'invasion par les arbres pionniers que par l'impact des variables climatiques. **Les causes de la grande variabilité interannuelle de l'effectif observée dans cette colonie seront mieux comprises grâce à l'établissement d'un protocole de suivi annuel systématique sur ce site.**

**Tableau 1.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2006-1 et photos (Annexe 3) prises lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2006	2007	2008	2019	2020	Photos
<i>B. lanceolatum</i> var. <i>angustisegmentum</i>	4	5	±	6	9	1 & 2
<i>B. matricariifolium</i>	±	±	±	45	10	3 & 4
cf. <i>B. michiganense</i>				25	3	
<i>B. pallidum</i>	7	10+	±	69	14	4
<i>B. simplex</i>	6+	50+	+++	78	3	
<i>S. multifidum</i>					1	
<i>B. spathulatum</i>					1	
<i>Botrychium</i> spp.				118	16	6
<i>B. minganense</i>				9		
<b>Nombre individus</b>	<b>17+</b>	<b>65+</b>		<b>350</b>	<b>57</b>	
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	
<b>Date de l'inventaire</b>				19 juin	26 juin	

**Remarques :** ± = observé (rare), ++ : abondant, +++ : très abondant

## SITE 2006-2

**Localisation :** Unité de gestion 4. Secteur Baie des Cochons, terrasse marine derrière la ligne d'érosion dans la Baie des Cochons.

**Remarques :** Le site est toujours menacé par l'érosion. Les espèces observées en 2006, 2007 et 2008 n'ont pas été revues probablement en raison de l'érosion marquée du site (Ducharme & de Lafontaine 2020). La seule mention en 2020 demeure le même individu de *Sceptridium multifidum* observé en 2019. Le site est caractérisé par les graminées avec *Prunus pensylvanica* et *Erysimum cheiranthoides*. Pour l'instant, **aucune intervention ne semble nécessaire. Le site est amené à disparaître complètement en raison de l'érosion progressive de la berge.**

**Tableau 2.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2006-2.

Espèces	2006	2007	2008	2019	2020
<i>S. multifidum</i>			±	1	1
<i>B. matricariifolium</i>			±		
<i>B. michiganense</i>	±	±	±		
<i>B. pallidum</i>	±	±	±		
<b>Nombre individus</b>				<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Date de l'inventaire</b>				18 juin	26 juin

**Remarques :** ± : observé (rare)

Aucun sporophore chez *S. multifidum* en 2019 et 2020

## SITE 2006-3

**Localisation :** Unité de gestion 5. Secteur Baie des Cochons. Entre deux chalets EXP, ancien sentier piétonnier aujourd'hui fermé.

**Remarques :** L'été 2020 a été marqué par une importante diminution de l'effectif total des individus ainsi que du nombre d'espèces répertoriées pour ce site (Tableau 3). *S. multifidum* a été identifié pour la première fois depuis 2006. Ce site est un exemple de l'extrême variabilité interannuelle des effectifs et de la diversité spécifique des colonies de botryches. En effet, ce site était considéré comme étant le plus riche au PNB et en 2008, il représentait la population la plus abondante de *B. pallidum* au Québec, deux réalités qui contrastent fortement avec les observations faites à l'été 2020. Le relevé floristique effectué inclue *Hieracium pilosella*, *Anaphalis margaritacea*, *Cerastium arvense* et une couverture de 40% de graminées (*Poaceae*). Tel que noté en 2019, le site est potentiellement menacé à court ou moyen terme par la fermeture de la canopée (*Picea glauca* et *Populus tremuloides*), puisque les clairières sont circonscrites par une jeune pessière dont l'expansion graduelle risque d'envahir éventuellement les trouées où se trouvent les botryches (Annexe 2, Photos 4 & 5). En plus de cette menace, le site est situé dans un ancien sentier à proximité des chalets EXP, ce qui entraîne une certaine circulation piétonnière, bien que le sentier soit officiellement fermé. L'effet du piétinement sur les botryches, bien que relativement faible ici, reste toutefois à déterminer. La conservation de ce site, important au maintien de *B. pallidum*, requiert un suivi annuel afin de réévaluer régulièrement la trajectoire démographique (densification, stabilité ou déclin) par rapport à la dynamique d'envahissement progressive par les arbres pionniers, à l'impact de la variabilité climatique sur l'effectif de la colonie qui semble fortement variable à ce site et aux autres facteurs de perturbations potentiels (piétinement). Ainsi, la caractérisation écologique de l'habitat et l'étude de la dynamique des populations d'arbres proposées en 2019 et débutées en 2020 permettront d'estimer la vitesse d'envahissement des trouées et de fermeture de la canopée par les espèces ligneuses afin d'envisager des

mesures de conservations adéquates basées sur des données empiriques. **Un suivi annuel à long terme est préconisé à ce site stratégique pour mieux caractériser la colonie et son environnement.**

**Tableau 3.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2006-3 et photo (Annexe 3) prise lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2006	2007	2008	2019	2020	Photos
<i>S. multifidum</i>	±				3	
<i>B. pallidum</i>	120	120+	1000+	34	3	
<i>Botrychium spp.</i>				33	1	7
<i>B. lunaria</i>			±			
<i>B. matricariifolium</i>	±	±	+++	2		
<i>B. michiganense</i>			±			
<i>B. minganense</i>	20			1		
<i>B. simplex</i>	++	++	+++	31		
<i>B. spathulatum</i>			±			
<b>Nombre individus</b>	<b>140+</b>	<b>120+</b>	<b>1000+</b>	<b>101</b>	<b>7</b>	
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	
<b>Date de l'inventaire</b>				18 juin	26 juin	

**Remarques :** ± = observé (rare), ++ = abondant, +++ = très abondant  
*S. multifidum* sous couvert de *Shepherdia canadensis* et *Picea glauca*.

## SITE 2006-4

**Localisation :** Probablement éteinte. Île-aux-Amours, extrémité ouest.

**Remarques:** Encore cette année, le site est exempt de botryches et présente des signes d'érosion. Mis à part une vérification occasionnelle de la présence éventuelle de botryche, **aucune intervention ne semble nécessaire puisque la colonie est probablement éteinte.**

**Tableau 4.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2006-4.

Espèces	2006	2007	2008	2019	2020
<i>B. matricariifolium</i>	1	1	1		
<i>B. pallidum</i>	±	±	±		
<b>Nombre individus</b>	<b>±</b>	<b>±</b>	<b>±</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Date de l'inventaire</b>				18 juin	27 juin

**Remarques :** ± = observé (rare)

## SITE 2006-5

**Localisation :** Probablement éteinte. Île-aux-Amours, terrasse se terminant en pointe très sablonneuse, présence d'érosion.

**Remarques :** Encore cette année, aucun botryche n'a été trouvé sur le site. Mis à part une vérification sporadique de la présence éventuelle de botryche, **aucune intervention ne semble nécessaire puisque la colonie est probablement éteinte.**

**Tableau 5.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2006-5.

Espèces	2006	2007	2008	2019	2020
<i>B. pallidum</i>	2				
<i>S. multifidum</i>		±	±		
<b>Nombre individus</b>	<b>2</b>	<b>±</b>	<b>±</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Date de l'inventaire</b>				18 juin 27 juin 9 juillet	27 juin

Remarques : ± = observé (rare)

## SITE 2006-6

**Localisation :** Unité de gestion 1. Secteur Pointe aux Épinettes. Entre la piste cyclable et la route du portage.

**Remarques :** Cette année, aucun individu de botryche n'a été observé sur ce site dont l'effectif est habituellement relativement limité. *B. pallidum*, la seule espèce rapportée à l'inventaire de 2019 est absente en 2020. Le sol était particulièrement sec à ce site constitué d'une grande ouverture (Annexe 2, Photos 6 & 7). À ce stade, il est difficile de déterminer s'il s'agit d'une variabilité interannuelle intrinsèque propre au botryches ou si les conditions climatiques sèches du printemps 2020 ont entraîné un effondrement durable de cette population. Un suivi annuel permettra de réévaluer régulièrement la trajectoire démographique de cette petite population de *B. pallidum* par rapport aux conditions climatiques en plus de suivre la dynamique d'envahissement par les jeunes arbres. Pour le moment, aucune intervention ne semble urgente à ce site, mais **une vérification de la présence de botryche en 2021 est tout de même recommandée.**

**Tableau 6.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2006-6.

Espèces	2006	2007	2019	2020
<i>B. pallidum</i>	4	9	16	
<i>B. matricariifolium</i>	2	7		
<i>B. simplex</i>	1	9		
<b>Nombre individus</b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	<b>0</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Date de l'inventaire</b>			17 juin	27 juin

SITE 2006-7

**Localisation :** Unité de gestion 1. Secteur Pointe aux Épinettes. Au bout de la route du portage, entre le stationnement et le rivage.

**Remarques :** Comme au site 2006-6 dans le même secteur, aucun individu de botryche n'a été répertorié cette année à 2006-7. Ici la situation apparaît toutefois plus problématique puisqu'il s'agit d'une colonie habituellement plus diversifiée, plus abondante, plus concentrée sur une petite superficie et dominée par *B. pallidum*, une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable (CDPNQ 2008). Sur la base de deux années d'inventaire, il n'est pas possible de déterminer s'il s'agit d'une variabilité interannuelle liée la dormance végétative ou d'un effondrement durable, mais l'absence totale de botryche en 2020 est certainement préoccupante. Bien que les menaces potentielles identifiées en 2019 soient toujours présentes (envahissement par *Galium mollugo*, piétinement; Annexe 2, Photo 8), en 2020, c'est surtout la complète absence de l'émergence des botryches à ce site qui soulève un questionnement immédiat. **Un protocole de suivi annuel à ce site stratégique comme témoin du secteur de la Pointe aux Épinettes devrait être mis en place afin de tester les associations entre les conditions climatiques et l'émergence des sporophytes d'une année à l'autre en plus d'évaluer l'impact réel des menaces identifiées en 2019.**

**Rappel :** Les perturbations qui permettent de créer initialement un habitat pour les botryches peuvent aussi représenter une menace à leur survie une fois établie (Anderson & Cariveau 2004). Par exemple, le piétinement empêche l'établissement des arbres pionniers, créant un habitat idéal aux botryches, mais peut devenir nuisible au maintien de la population lorsque le site est surfréquenté. Un suivi à long terme permettra d'associer la variation de l'effectif avec des processus environnementaux afin de dresser un portrait plus juste des menaces réellement nuisibles aux populations de botryches et de faciliter l'instauration de mesures de conservations adéquates. (Ducharme & de Lafontaine 2020)

**Tableau 7.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2006-7.

Espèces	2006	2007	2008	2019	2020
<i>B. pallidum</i>	14	20+	+++	44	
<i>B. minganense</i>	1		±	2	
<i>B. simplex</i>	4	2	+++	7	
<i>B. matricariifolium</i>			±		
<i>B. michiganense</i>			±		
<i>B. neolunaria</i>			±		
<b>Nombre individus</b>	<b>19</b>	<b>22+</b>	<b>+++</b>	<b>53</b>	<b>0</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>Date de l'inventaire</b>				17 juin	27 juin 29 juin

**Remarques :** ± = observé (rare), +++ = très abondant

## SITE 2007-1

**Localisation :** Probablement éteinte. Secteur Baie des Cochons. Entre le chalet EXP Anémone et la Baie des Cochons.

**Remarques :** Comme en 2019, aucun individu n'a été retrouvé à ce site. Rappelons toutefois que la coordonnée géographique se situe directement sur un sentier balisé entre la Baie des Cochons et un chalet EXP (Anémone) qui traverse une jeune forêt d'épinettes blanches (*Picea glauca*) en régénération. En 2008, ce site comptait plusieurs individus de *B. michiganense*, *B. matricariifolium* et *B. pallidum* (Tableau 8). L'absence de botryches, pour la deuxième année consécutive à ce site, suggère que les aménagements provoqués par la construction du chalet et la fermeture des trouées par les arbres ont mené cette colonie à l'extinction. La transformation directe de l'habitat des botryches à des fins récréotouristiques et l'invasion des espaces ouverts par la forêt nuisent inexorablement aux colonies de botryches et représentent de sérieuses menaces à leur maintien au PNB à long terme. Puisque la fermeture de l'habitat est encore relativement récente, il est toutefois possible qu'une réouverture des clairières stimule la réémergence des sporophytes à partir de spores et/ou gamétophytes potentiellement présents dans le sol à ce site (Muller 1999). **Une coupe sélective de certains arbres et gaules dans la jeune forêt en bordure du sentier pourrait être tentée à titre expérimental afin de tester si la réouverture de trouées passées permet le retour des botryches sur le site. Suivant une telle intervention bien ciblée, un suivi devra permettre d'évaluer annuellement l'émergence des botryches.**

**Tableau 8.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2007-1.

Espèces	2007	2008	2019	2020
<i>B. matricariifolium</i>	50+	+++		
<i>B. michiganense</i>		++		
<i>B. pallidum</i>	±	+++		
<b>Nombre individus</b>	<b>50+</b>	<b>+++</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Date de l'inventaire</b>			19 juin	26 juin

**Remarques :** ± = observé (rare), ++ = abondant, +++ = très abondant  
Épinette blanche de 8-15 ans dans l'ouverture (dénombrement des entre-nœuds le long de la tige)

## SITE 2007-2

**Localisation :** Unité de gestion 4. Secteur Baie des Cochons. À l'est du stationnement du chalet EXP Élyme.

**Remarques :** L'effectif total des botryches demeure relativement comparable à celui de 2019. Par contre, seul *B. matricariifolium* est recensé alors que *B. pallidum* et *B. simplex* n'ont pas été revus en 2020. Rappelons que la coordonnée géographique du site 2007-2 du rapport de Labrecque et Cayouette (2008) correspond directement à l'emplacement du stationnement d'un chalet EXP (Ducharme & de Lafontaine 2020). Bien que les botryches se trouvent essentiellement dans les petites ouvertures de la forêt directement à l'est du stationnement, certains individus étaient sous un couvert relativement dense de *Picea glauca* et *Juniperus communis* (Annexe 2, Photos 9-12). Il s'agit d'une première depuis le début de nos inventaires. Il est possible que par temps extrêmement sec comme au printemps 2020, les sporophytes émergent sous couvert forestier, alors protégés de la sécheresse dans des microsites plus humides (Annexe 2, Photos 11 & 12). Un tel scénario implique que l'hétérogénéité structurale de la végétation créant des microsites ombragés dans un milieu essentiellement ouvert peut être favorable aux botryches lors d'années particulièrement sèches. Cette hypothèse demeure à être testée, mais le maintien de l'effectif des botryches dans ce milieu plus hétérogène contraste avec le déclin observé aux sites uniformément ouverts (p.ex., 2006-6 et 2006-7) ou complètement fermés (2007-1). Le

relevé floristique inclut *Hieracium pilosella*, *Poaceae*, *Fragaria virginiana*, *Trifolium pratense*, *Picea glauca*, *Botrychium matricariifolium*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Juniperus communis*, *Vicia cracca*, *Silene vulgaris*. **Il est recommandé de continuer de suivre l'évolution de cette importante population de *B. matricariifolium* et de mettre en place une stratégie ciblée pour maintenir la structure hétérogène actuelle avec certains arbres matures facilitateurs dans les trouées qui doivent par ailleurs être bien protégées de l'envahissement par les arbres et arbustes (coupe sélective, retrait des plantules d'arbres).**

**Tableau 9** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2007-2 et photo (Annexe 3) prise lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2007	2008	2019	2020	Photos
<i>B. matricariifolium</i>	++	+++	84	49	8
<i>Botrychium spp.</i>			12	23	
<i>B. pallidum</i>	10+	±	2		
<i>B. simplex</i>	10+	+++	6		
<i>B. michiganense</i>		±			
<b>Nombre individus</b>			<b>105</b>	<b>72</b>	
<b>Nombre d'espèces</b>		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	
<b>Date de l'inventaire</b>			19 juin	26 juin	
<b>Remarques :</b> ± = observé (rare), ++ = abondant, +++ = très abondant					

## SITE 2007-3

**Localisation :** Unité de gestion 2. Secteur Rioux. Baie du Ha! Ha! au nord de la piste cyclable.

**Remarques :** À ce site nous avons observé presque deux fois de botryches par rapport à l'année dernière. Les sporophytes ont essentiellement été trouvés à la périphérie des épinettes, parfois sous les branches basales ainsi que cachés dans les clones de *Juniperus communis* (Annexe 2, Photos 13-15). Tel que nous l'avons noté au site précédent, l'hétérogénéité de la structure verticale du site avec des trouées d'herbacées situées entre des épinettes blanches matures sur le site semble offrir une protection lors d'épisodes particulièrement secs comme au printemps 2020. À court terme, la présence d'espèces ligneuses sporadiques pourrait donc représenter une source d'hétérogénéité microclimatique potentiellement bénéfique aux botryches, mais à plus long terme, la régénération excessive en *Picea glauca* et l'étalement des clones de *Juniperus communis* pourraient restreindre l'habitat propice et ainsi représenter des menaces au maintien des botryches. Le rôle de cette hétérogénéité structurale reste donc à vérifier de manière plus ciblée. Aussi, il n'est pas certain que l'effectif ait réellement augmenté par rapport à l'an dernier ou si la plus forte abondance observée en 2020 reflète plutôt un artéfact de l'échantillonnage. En effet, le site 2007-3 est le site le plus étendu au PNB et il est donc difficile de couvrir l'ensemble de la superficie pour dénombrer tous les sporophytes sur le site (Annexe 2, Photo 15). Il est donc possible que nous soyons tombés par hasard sur une sous-colonie qui n'avait pas été inventoriée en 2019. Par ailleurs, pour la deuxième année consécutive l'équipe a vérifié la présence de botryche du côté sud de la piste cyclable sans toutefois en trouver. Le relevé floristique a permis d'identifier *Hieracium pilosella*, *Galium mollugo*, *Achillea millefolium*, *Fragaria virginiana*, *Vicia cracca*, *Rhinanthus crista-galli* comme des espèces qui accompagnent les botryches à ce site. Deux individus qui ressemblaient à *B. lineare* ont été identifiés sur le site. Si ces identifications sont confirmées au prochain inventaire, une autre espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable pourrait s'ajouter aux trois déjà présentes au PNB (CDPNQ 2008). Ainsi, ce site est exceptionnel en raison de sa taille, de l'effectif important des botryches, de la grande abondance de *B. pallidum* et *B. michiganense* et de la possible présence d'une autre espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable. **Il est recommandé de continuer de suivre l'évolution de**

**cette importante colonie et de mettre en place un protocole de suivi ciblé pour étudier spécifiquement l'impact de l'hétérogénéité structurale de la végétation sur les colonies de botryches.**

**Tableau 10.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2007-3 et photos (Annexe 3) prises lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2007	2008	2019	2020	Photos
<i>B. matricariifolium</i>	100+	±	27	33	
<i>B. michiganense</i>		++	18	35	
<i>B. pallidum</i>	10+	+++	5	33	
cf. <i>B. lineare</i>				2	10
<i>Botrychium</i> spp.			22	55	11
<i>B. simplex</i>	±	±			
<i>B. lanceolatum</i> var. <i>angustisegmentum</i>		2			
<b>Nombre individus</b>	<b>110+</b>	<b>+++</b>	<b>72</b>	<b>158</b>	
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	
<b>Date de l'inventaire</b>			20 juin	30 juin 1 juillet	

**Remarques :** ± = observé (rare), ++ = abondant, +++ = très abondant  
En 2020, le site a été inventorié en deux jours, 3-4 sous-colonies par heure.

## SITE 2007-4

**Localisation :** Unité de gestion 5. Secteur Baie des Cochons. À l'est du stationnement du chalet EXP Salicorne, près d'un écriteau « espèces rares ».

**Remarques :** L'effectif total des individus a, ici aussi, largement diminué par rapport à 2019. Cependant, deux nouvelles espèces jusqu'alors non répertoriées, soit *B. spatulatum* et *S. multifidum*, ont été identifiées. Les individus observés étaient majoritairement situés sous les branches basses d'un *Picea glauca* mature au centre de la trouée (Annexe 2, Photos 16-18). Les botryches se trouvaient donc dans un microsite ombragé alors que le cœur de trouée semblait trop sec (Annexe 2, Photos 16-18). Ce patron semble récurrent cette année dans les sites présentant une hétérogénéité structurale de la végétation potentiellement dû aux conditions particulièrement sèches en 2020. Le relevé floristique montre que *Rumex acetosella*, *Poaceae* et *Hieracium pilosella* sont présents. Le site est déjà en processus de colonisation par certaines plantules et gaules d'espèces ligneuses (*Picea glauca* et *Populus tremuloides*) qui menacent de fermer progressivement les clairières qui constituent l'habitat de prédilection des botryches. Ce site comporte trois espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables. **Ainsi, il importe de continuer de suivre l'évolution démographique de cette colonie à long terme afin de mieux cerner les facteurs qui influencent la variabilité interannuelle dans l'abondance des sporophytes en plus de maintenir une hétérogénéité dans la structure végétale tout en évitant l'envahissement par les arbres.**

**Tableau 11.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2007-4 et photos (Annexe 3) prises lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2007	2019	2020	Photos
<i>B. pallidum</i>	±	26	4	
<i>B. simplex</i>		49	14	14
<i>B. spathulatum</i>			1	
<i>S. multifidum</i>			1	
<i>Botrychium spp.</i>		103	25	13
<i>B. matricariifolium</i>	++	6		
<i>B. michiganense</i>		2		
<i>B. simplex var. tenebrosum</i>	350	18		
cf. <i>B. simplex</i> X <i>B. pallidum</i>		3		
<b>Nombre individus</b>	<b>350+</b>	<b>215</b>	<b>45</b>	
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	
<b>Date de l'inventaire</b>		18 juin	27 juin	
<b>Remarques :</b> ± = observé (rare), ++ = abondant				

## SITE 2007-5

**Localisation :** Unité de gestion 6. Camping secteur Tombolo, nouveau développement.

**Remarques :** Contrairement à 2019 où la majorité des individus étaient situés entre la piste cyclable et la route, cette année, on a retrouvé les botryches dans la pelouse rase du côté ouest de la route (Annexe 2, Photos 19 & 20). Le site est traversé par une route et une piste cyclable aménagées au cours de la dernière décennie réduisant ainsi la superficie de l'habitat propice aux botryches (Annexe 2, Photo 20). *B. pallidum* et *B. simplex* qui n'avaient pas été vus en 2019, ont été observés à nouveau cette année. *Achillea millefolium*, *Fragaria virginiana*, *Picea glauca*, *Hieracium pilosella*, *Poaceae*, *Vaccinium sp.*, *Rosa sp.*, *Thuja occidentalis* constituaient notre inventaire floristique à ce site. **Aucune intervention ne semble nécessaire pour l'instant à ce site.** Par ailleurs, il sera intéressant de suivre la dynamique des différentes espèces de botryches à long terme afin d'évaluer la capacité de celles-ci à recoloniser les milieux récemment perturbés.

**Tableau 12.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2007-5.

Espèces	2007	2019	2020
<i>B. matricariifolium</i>	45	4	1
<i>B. pallidum</i>	1		2
<i>B. simplex</i>	8		1
<i>Botrychium spp.</i>		2	3
cf. <i>B. lanceolatum</i>		1	
<b>Nombre individus</b>	<b>54</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Date de l'inventaire</b>		20 juin	30 juin

SITE 2008-1

**Localisation** : Unité de gestion 1. Pointe aux Épinettes. Entre la piste cyclable et le rivage.

**Remarques** : Comme aux autres sites du secteur de la Pointe aux Épinettes (2006-6 & 2006-7) l'effectif des botryches au site 2008-1 est considérablement réduit en 2020. Ce secteur était particulièrement propice à *B. pallidum* en 2019 (Ducharme & de Lafontaine 2020) alors que cette année, un seul individu de cette espèce a été répertorié dans toute la Pointe aux Épinettes. *Hieracium pilosella*, *Poaceae*, *Galium mollugo*, *Leucanthemum vulgare*, *Fragaria virginiana*, *Achillea millefolium*, *Juniperus communis*, *Vicia cracca* et *Cerastium arvense* ont été retrouvés. **Il sera important de revisiter cette colonie ainsi que les autres sites de la Pointe aux Épinettes afin de mieux documenter la variabilité interannuelle de l'effectif et la trajectoire démographique à long terme de *B. pallidum* dans ce secteur. Un protocole de suivi dans la Pointe aux Épinettes devrait également permettre d'évaluer l'avancement de l'envahissement par *Galium mollugo*.**

**Tableau 13.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2008-1 et photos (Annexe 3) prises lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2008	2019	2020	Photos
<i>B. matricariifolium</i>	+++		3	15
<i>B. pallidum</i>	+++	36	4	16
<i>Botrychium spp.</i>		1		
<i>B. spathulatum</i>	++			
<i>B. neolunaria</i>	+++			
<i>B. lunaria sensu stricto</i>	±			
<i>B. simplex var. simplex</i>	++			
<b>Nombre individus</b>	+++	37	7	
<b>Nombre d'espèces</b>	6	1	2	
<b>Date de l'inventaire</b>	26 juin 27 juin	17 juin 20 juin	27 juin	
<b>Remarques</b> : ± = observé (rare), ++ = abondant, +++ = abondant				

SITE 2019-1

**Localisation** : Unité de gestion 1. Secteur de la Pointe aux Épinettes. À mi-chemin entre les sites 2006-7 et 2008-1, entre la piste cyclable et la rive (à ± 5m de la piste).

**Remarques** : Ce site découvert en 2019 n'incluait alors qu'un seul individu isolé qui n'a pas été retrouvé en 2020. **Aucune intervention ne semble nécessaire pour l'instant à ce site.**

**Tableau 14.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2019-1.

Espèces	2019	2020
<i>B. pallidum</i>	1	
<b>Nombre individus</b>	1	0
<b>Nombre d'espèces</b>	1	
<b>Date de l'inventaire</b>	17 juin	27 juin

## SITE 2019-2

**Localisation** : Unité de gestion 4. Secteur Baie des cochons. À l'ouest du chalet EXP Élyme. Ce site était possiblement anciennement inclus dans 2007-2.

**Remarques** : L'effectif de l'année 2020 est moindre que celui de l'année 2019. Le déclin observé par rapport à l'année dernière est toutefois beaucoup moins marqué que celui constaté aux sites 2006-1, 2006-3, 2007-4 et aux sites de la Pointe aux Épinette (2006-6, 2006-8, 2008-1). Rappelons que les coordonnées GPS du site 2007-2 trouvé par Labrecque et Cayouette (2008), correspondent aujourd'hui au stationnement du chalet EXP Élyme et la présence de colonies de chaque côté du chalet EXP Élyme, 2007-2 et 2019-2, suggère que l'infrastructure a été établie au cœur de l'ancien site 2007-2 étudié par Labrecque et Cayouette (2008) (Ducharme & de Lafontaine, 2020). À cet effet, il est intéressant de noter que les sites 2007-2 et 2019-2 sont les deux seuls à avoir subi un déclin modéré en 2020 par rapport à l'effectif de 2019. La plupart des autres sites ayant plutôt subi un déclin sévère en 2020. Le fait que les colonies répondent de manière similaire et modérée aux conditions climatiques apparemment détritantes aux autres colonies suggère que la division de la colonie originale en deux sous-colonies résiduelles n'aurait peut-être pas affecté la dynamique démographique de l'ensemble de la colonie. À cet effet, *B. michiganense* observé cette année n'avait pas été observé en 2019 et le site compte davantage de *B. pallidum* par rapport à l'année dernière. Les botryches sont surtout trouvés dans des microsites plus humides cette année (Annexe 2, Photo 22). Selon notre échantillonnage, les mousses constituent 90% du couvert dans le quadrat avec *Fragaria virginiana*, *Achillea millefolium*, *Poaceae*, *Hieracium pilosella*, *Silene vulgaris*, *Juniperus communis*, *Vicia cracca*. **Nous recommandons de poursuivre les inventaires futurs afin de bien évaluer la progression démographique des populations disjointes (2007-2 et 2019-2), ce qui permettra de mieux comprendre l'impact à long terme des aménagements récréotouristiques. Comme à 2007-2, nous recommandons de mettre en place une stratégie ciblée pour maintenir la structure hétérogène actuelle en maintenant certains arbres matures dans les trouées qui doivent par ailleurs être adéquatement protégées de l'envahissement par les arbres et arbustes (coupe sélective, retrait des plantules d'arbres).**

**Tableau 15.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2019-2 et photo (Annexe 3) prise lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2019	2020	Photos
<i>B. matricariifolium</i>	30	7	
<i>B. michiganense</i>		2	17
<i>B. pallidum</i>	1	5	
<i>Botrychium spp.</i>	4	6	
<i>B. simplex</i>	2		
<b>Nombre individus</b>	<b>37</b>	<b>20</b>	
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	
<b>Date de l'inventaire</b>	19 juin	26 juin	

## SITE 2019-3

**Localisation** : Unité de gestion 5. Secteur Baie des Cochons. Chalets EXP entre les sites 2006-3 et 2007-4. Le site 2019-4 identifié en 2019 faisait en fait partie du site 2019-3 (même coordonnée géographique, notée par erreur lors de deux visites). L'ensemble est désormais appelé 2019-3 et le site 2019-4 est abandonné.

**Remarque** : Ce site important a été documenté pour la première fois en 2019. L'équipe avait alors noté sa présence à l'occasion d'une première visite à la fin juin, mais le relevé a été effectué le 9 juillet. En 2020, l'inventaire a été effectué

à la fin juin, au moment où l'émergence des sporophytes est maximale. La hausse observée par rapport à l'année précédente pourrait donc être un artéfact de la date d'échantillonnage. Quoi qu'il en soit, la structure de la végétation à ce site est particulièrement hétérogène avec des petites trouées circonscrites par des épinettes blanches matures et d'autres à différents stades de colonisation (Annexe 2, Photos 23 & 24). Une telle hétérogénéité semble avoir été bénéfique pour les botryches lors du printemps sec de 2020, ce qui pourrait aussi expliquer la hausse de l'effectif à ce site en 2020. *B. minganense* s'ajoute à la liste des espèces observées à ce site et *S. multifidum* est plus abondant. Dans notre relevé de la végétation, 50 % du quadrat est couvert de graminées accompagnées de *Hieracium pilosella* et *Arctostaphylos uva-ursi*. **Il est suggéré de poursuivre le suivi annuel afin d'évaluer la variabilité de l'effectif à ce site sur une plus longue période. Nous recommandons également de mettre en place une stratégie ciblée pour maintenir la structure hétérogène actuelle incluant des arbres matures isolés dans les trouées qui doivent par ailleurs être bien protégées de l'invasion par les arbres et arbustes (coupe sélective, retrait des plantules d'arbres).**

**Tableau 16.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2019-3.

Espèces	2019	2020
<i>B. matricariifolium</i>	13	18
<i>B. michiganense</i>	3	7
<i>B. minganense</i>		3
<i>B. pallidum</i>	26	27
<i>S. multifidum</i>	3	26
<i>Botrychium spp.</i>	21	24
<b>Nombre individus</b>	<b>66</b>	<b>105</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Date de l'inventaire</b>	27 juin 9 juillet	27 juin

## SITE 2019-5

**Localisation :** Unité de gestion 2. Secteur Rioux. Dans une petite ouverture entre deux emplacements de camping.

**Remarques :** *Hieracium pratense*, *Fragaria virgiana* et *Vicia cracca* ont été répertoriés au sein du quadrat à ce site. Puisque le site est situé entre les espaces de camping #32 et #29, il est certain que le site est abondamment piétiné. À moins de fermer l'espace de camping adjacent pendant la période d'émergence des sporophytes, on peut difficilement empêcher la circulation piétonnière sur ce site. D'une part, une certaine circulation piétonnière pourrait être bénéfique aux botryches si elle prévient l'invasion par les espèces ligneuses qui entraînera éventuellement la fermeture des trouées. Par exemple, nous avons noté l'établissement de botryches le long d'un sentier piétonnier non balisé qui s'est créé au milieu d'un clone de genévrier (Annexe 2, Photo 26). Certains individus se retrouvent aussi à l'ombre et à la marge des arbres (Annexe 2, Photo 25). D'autre part, la présence *B. pallidum* et *B. michiganense*, les deux principales espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables, implique que certains efforts de conservation soient déployés. **L'installation de pancartes signalant la présence d'espèces rares pourrait être envisagée afin de limiter les déplacements des campeurs dans ces zones. Il est suggéré de poursuivre le suivi annuel afin d'évaluer l'impact du piétinement par les campeurs.**

**Tableau 17.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2019-5 et photos (Annexe 3) prises lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2019	2020	Photos
<i>B. matricariifolium</i>	10	18	18
<i>B. michiganense</i>	15	2	19
<i>B. pallidum</i>	2	8	
<i>Botrychium spp.</i>	22	25	
<i>B. simplex</i>	1		
<b>Nombre individus</b>	<b>50</b>	<b>53</b>	
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	
<b>Date de l'inventaire</b>	09 juillet	30 juin	

## Site 2019-6

**Localisation :** unité de gestion 7. Secteur de l'Anse à Wilson

**Remarques :** Ce site n'avait pas été visité en 2019 et l'information concernant les quelques individus mentionnés alors nous avait été rapportée *a posteriori* par Louise Tremblay (parc national du Bic). L'année 2020 représente donc le premier inventaire complet de cette colonie. Le site est radicalement différent de tous les autres au PNB. La colonie longe la clôture du sentier Chemin-du-Nord et les individus émergent directement du gravier (Annexe 2, Photo 26). Ce site présente une impressionnante diversité avec trois espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables *B. michiganense*, *B. pallidum* et *B. spathulatum* ainsi que *B. minganense* peu abondant au PNB. Notre relevé de la végétation indique que *Fragaria virginiana*, *Hieracium pilosella* et *Taraxacum officinale* accompagnent les botryches à ce site. Ce site est particulier et mérite donc une attention lors des prochains inventaires, puisqu'il constitue une exception au niveau des caractéristiques de l'habitat. En effet, tous les autres sites se trouvent dans des clairières ou des prairies basses avec un degré plus ou moins important d'envahissement par la succession secondaire et donc d'hétérogénéité structurale de la végétation. Le 2019-6 n'a rien à voir avec cet habitat. Il est donc étonnant que les botryches arrivent à se maintenir sur ce site et ce particulièrement en 2020, alors que les effectifs sont généralement bas. **Aucune intervention n'est nécessaire, mais un suivi annuel à ce site particulier permettra de mieux documenter l'habitat des botryches.**

**Tableau 18.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) selon les années inventoriées au site 2019-6 et photos (Annexe 3) prises lors de l'inventaire de 2020.

Espèces	2019	2020	Photos
<i>B. michiganense</i>		3	
<i>B. minganense</i>	4	5	20
<i>B. pallidum</i>	1	5	
<i>B. spathulatum</i>		4	
<i>S. multifidum</i>		4	
Cf. <i>B. lineare</i>		1	21
<i>Botrychium spp.</i>		2	
<b>Nombre individus</b>	<b>5</b>	<b>24</b>	
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	
<b>Date de l'inventaire</b>	-	30 juin	

## Nouveaux sites en 2020

### SITE 2020-1

**Localisation :** Unité de gestion 5. Baie des Cochons à l'est du site 2007-4. Le site pourrait éventuellement être inclus dans 2007-4 si on observe une continuité spatiale dans la colonie.

**Remarques :** Le site est à proximité de 2007-4, mais un peu plus à l'est de la colonie principale. Puisqu'en 2020 l'effectif des botryches est relativement faible à 2007-4, il est difficile de dire si le site 2020-1 est une colonie séparée ou si elle devrait être incluse dans les 2007-4. En 2020, les deux colonies nous sont apparues séparées, mais ce sera à révéfier au cours des prochains inventaires. Le site est constitué de petites ouvertures circonscrites par *Picea glauca* et envahies par sa régénération (Annexe 2, Photo 27). Étant donné la position de ce site, il devrait être ajouté à l'unité de gestion 5 (Ducharme & de Lafontaine 2020). Le relevé floristique indique 50% de graminées, *Fragaria virginiana*, *Hieracium pilosella* et *Arctostaphylos uva-ursi*. **Aucune intervention n'est nécessaire pour l'instant, mais l'envahissement par les arbres est à surveiller, comme à tous les sites de ce secteur.**

Tableau 19. Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) en 2020 au site 2020-1.

Espèces	2020
<i>B. matricariifolium</i>	1
<i>B. simplex</i>	3
<i>Botrychium spp.</i>	2
<b>Nombre individus</b>	<b>6</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>2</b>
<b>Date de l'inventaire</b>	<b>1 juillet</b>

## SITE 2020-2

**Localisation :** Unité de gestion 5. Baie des Cochons à l'est du site 2007-4 et 2020-1. Le site pourrait éventuellement être inclus dans 2007-4 si on observe une continuité spatiale dans la colonie entre 2007-4, 2020-1 et 2020-2.

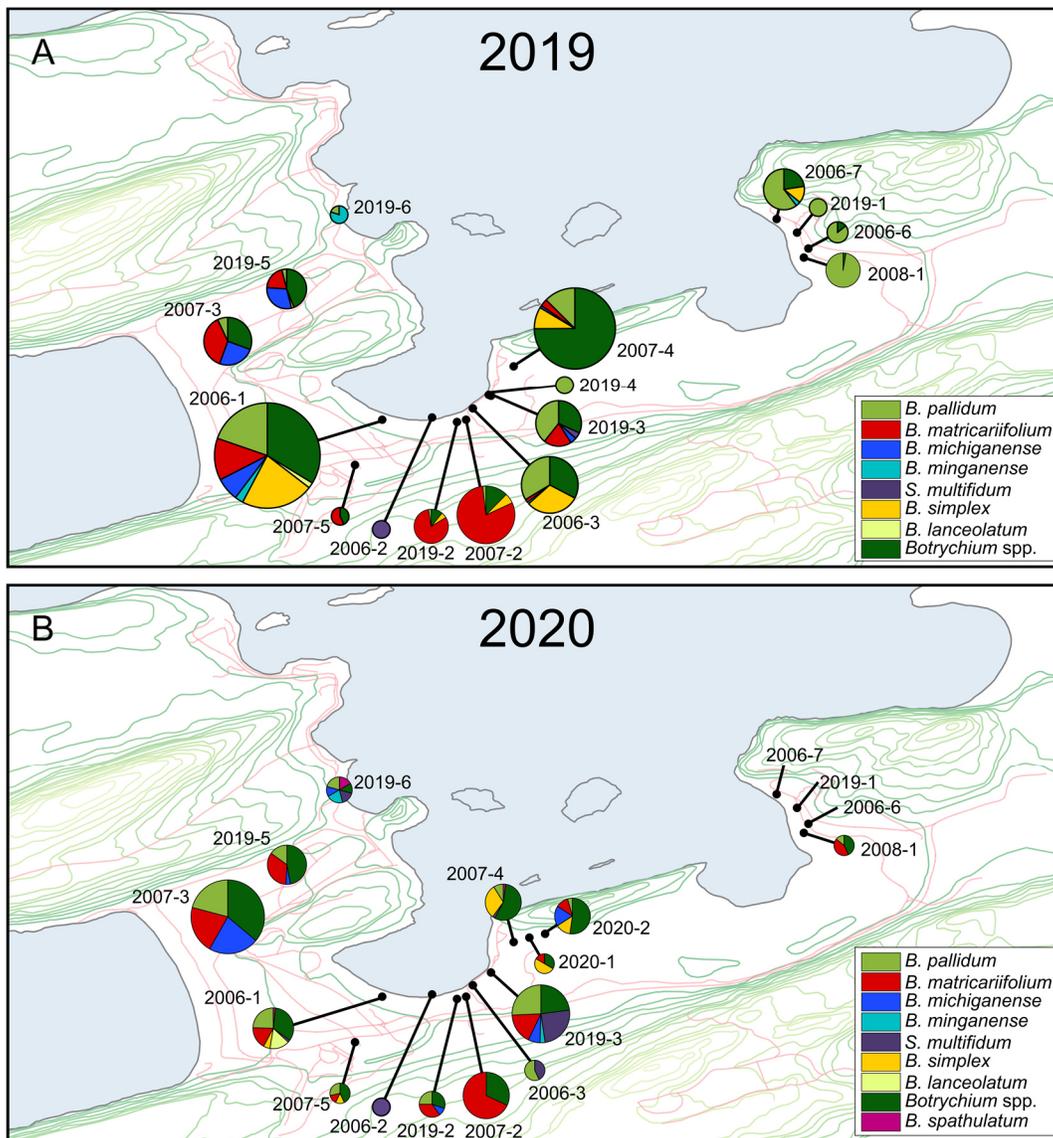
**Remarques :** Le site est situé à de part et d'autre du sentier du Mont Chocolat (Annexe 2, Photo 28 & 29). Le relevé floristique indique une dominance de graminées accompagnées de *Fragaria virginiana*, *Leucanthemum vulgare*, *Hieracium pilosella*, *Cerastium arvense* et *Rubus idaeus*. Le site est semblable à 2007-4 et 2020-1 : une clairière dans une forêt de *Picea glauca* en régénération. Étant donné la position de ce site et son affinité évidente avec 2007-4 et 2020-1, il devrait être ajouté à l'unité de gestion 5 (Ducharme & de Lafontaine 2020). **Puisqu'un sentier balisé traverse la colonie, il serait pertinent d'installer des pancartes indiquant la présence d'espèces rares de chaque côté du sentier, ainsi qu'une clôture en cordage pour éviter l'étalement du sentier. Comme aux autres sites du secteur de la Baie des Cochons, il conviendra d'établir ici une stratégie pour contrer l'envahissement par *Picea glauca*.**

**Tableau 20.** Effectif des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) en 2020 au site 2020-2.

Espèces	2020
<i>B. matricariifolium</i>	5
<i>B. pallidum</i>	2
<i>B. simplex</i>	6
<i>B. michiganense</i>	8
<i>Botrychium spp.</i>	23
<b>Nombre individus</b>	<b>44</b>
<b>Nombre d'espèces</b>	<b>4</b>
<b>Date de l'inventaire</b>	1 juillet

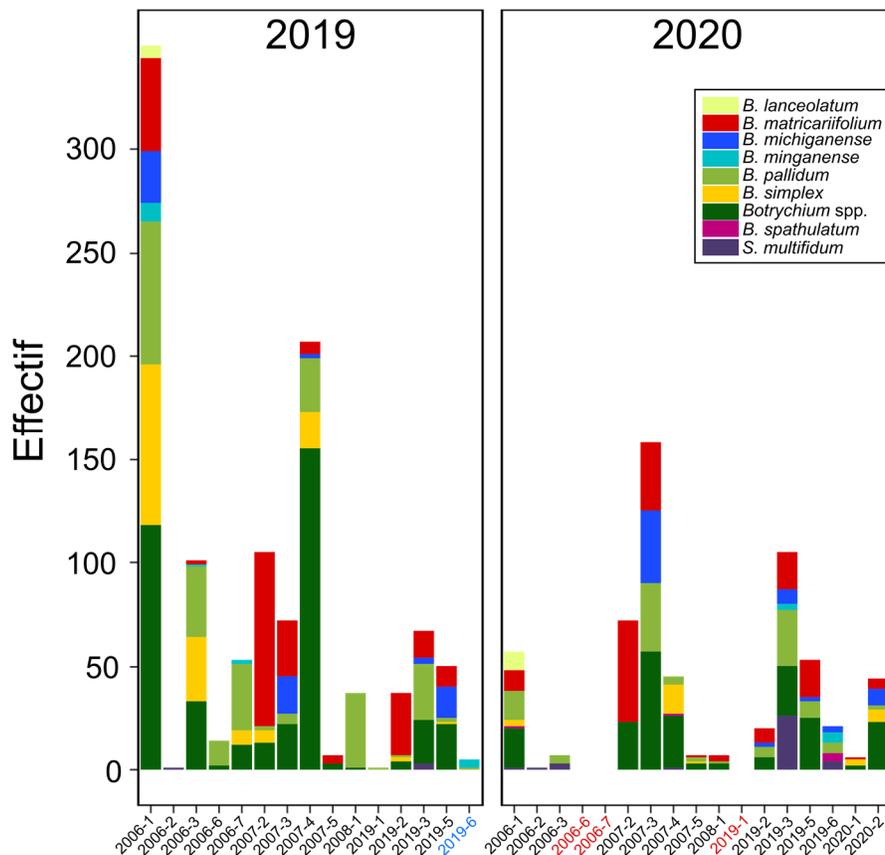
## Résultats de l'analyse de la démographie des colonies de botryches au PNB

À l'été 2020, huit espèces de botryches ont été identifiées à 14 sites au parc national du Bic. Comme en 2019, les assemblages sont toujours principalement dominés par *Botrychium pallidum*, *B. matricariifolium*, *B. simplex* et *B. michiganense* avec *Sceptridium multifidum*, *B. minganense*, *B. lanceolatum* comme espèces occasionnelles auxquelles s'ajoute *B. spathulatum* en 2020 (Figure 2). Comme en 2019, une large proportion des individus (35% en 2020 ; 36% en 2019) n'a pas pu être identifiée au rang d'espèce tant en raison de la difficulté que présente, en général, l'identification des botryches (Wagner & Wagner 1983), qu'en raison du grand nombre de botryches nécrosés suite aux conditions climatiques exceptionnellement sèches du printemps 2020 (p.ex., Annexe 3 Photo 6).



**Figure 2.** Abondance relative des différentes espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) répertoriées aux 16 sites étudiés au parc national du Bic à l'été 2019 (A) et aux 17 sites en 2020 (B). La taille des cercles est proportionnelle à l'effectif observé sur chaque site.

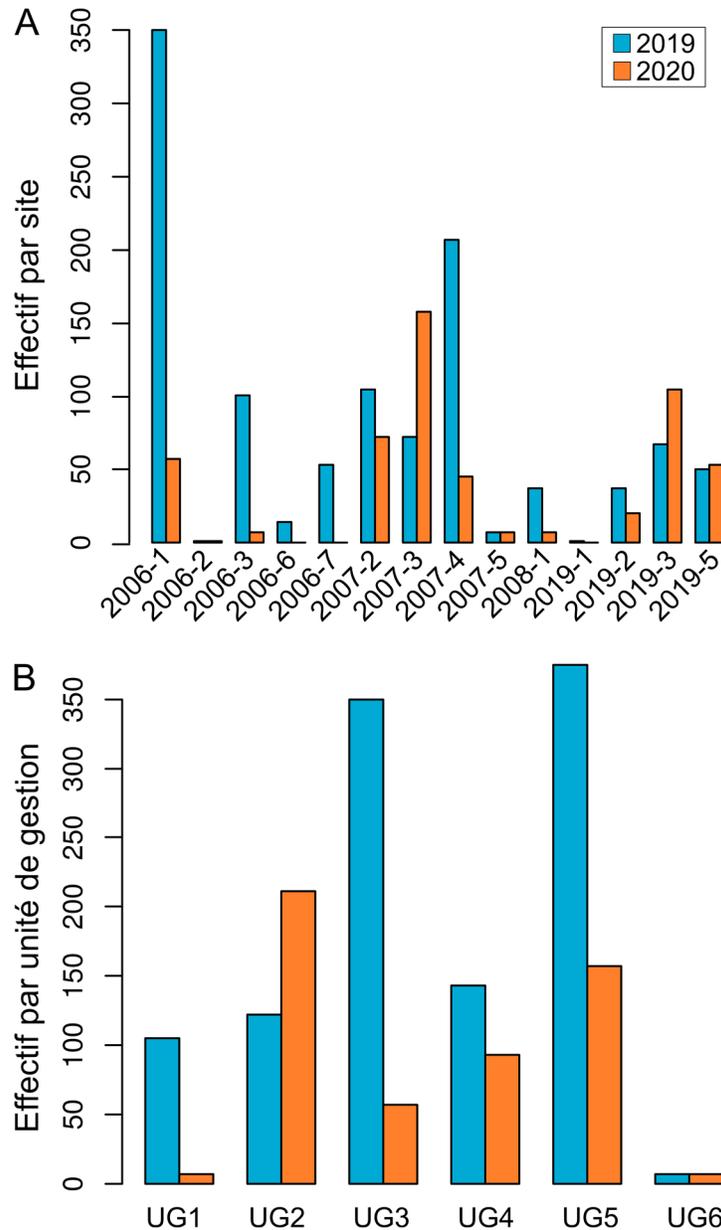
La variabilité démographique interannuelle des botryches au PNB entre 2019 et 2020 est considérable. D'abord, on note une baisse nette de 52% de l'effectif total en 2020 (Figures 3 & 4). Cette diminution marquée est particulièrement frappante dans le secteur de la Pointe aux Épinettes où aucun botryche n'a été répertorié sur trois des quatre sites (Figures 3 & 4A), ce qui se reflète par un déclin de 93% de l'effectif de l'UG1 en 2020 (Figure 4B). De même, l'UG3, qui inclut seulement le site 2006-1, caractérisé par la plus forte abondance de botryches en 2019, a vu son effectif réduit de 84% en 2020 (Figures 3 & 4). Au niveau des sites individuels, le déclin par rapport à l'inventaire de 2019 se situe entre 31% et 100%, selon le site (Figures 3 & 4A).



**Figure 3.** Effectif de chaque espèce de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) par site pour les années 2019 et 2020. Aucun individu n'a été recensé en 2020 sur les sites identifiés en rouge. Le site 2019-6 est marqué en bleu pour rappeler que l'échantillonnage était incomplet à ce site en 2019 (voir description des sites individuels).

Quelques colonies font toutefois exception au déclin généralement observé en 2020. Les sites 2006-2 (un seul individu de *S. multifidum*), 2007-5 et 2019-5 ont conservé un effectif stable alors que le nombre de botryches répertorié sur deux sites (2007-3 et 2019-3) est supérieur en 2020 par rapport à 2019 (Figures 3 & 4A). Notons que pour ces deux sites, il est impossible de dire s'il s'agit d'une véritable augmentation de l'effectif ou plutôt le reflet d'un échantillonnage plus efficace en 2020. En effet, le site 2007-3 est une friche étendue entre le camping Rioux et la Baie du Ha! Ha!, actuellement en processus de recolonisation par l'épinette blanche. Les botryches sont

éparpillés sur une grande superficie dans ce site qui compte plusieurs petites colonies isolées les unes des autres. Étant donné la répartition spatiale des botryches particulière à ce site, chaque colonie n'a pas nécessairement été visitée avec le même effort d'échantillonnage lors des inventaires de 2019 et 2020 et l'inventaire de 2020 aurait pu inclure une colonie particulièrement abondante qui n'a probablement pas été inventoriée en 2019. *A contrario*, certaines des colonies observées à ce site en 2019 étaient complètement dépourvues de sporophytes en 2020, ce qui va effectivement dans le sens du déclin général de l'effectif des botryches au PNB en 2020.

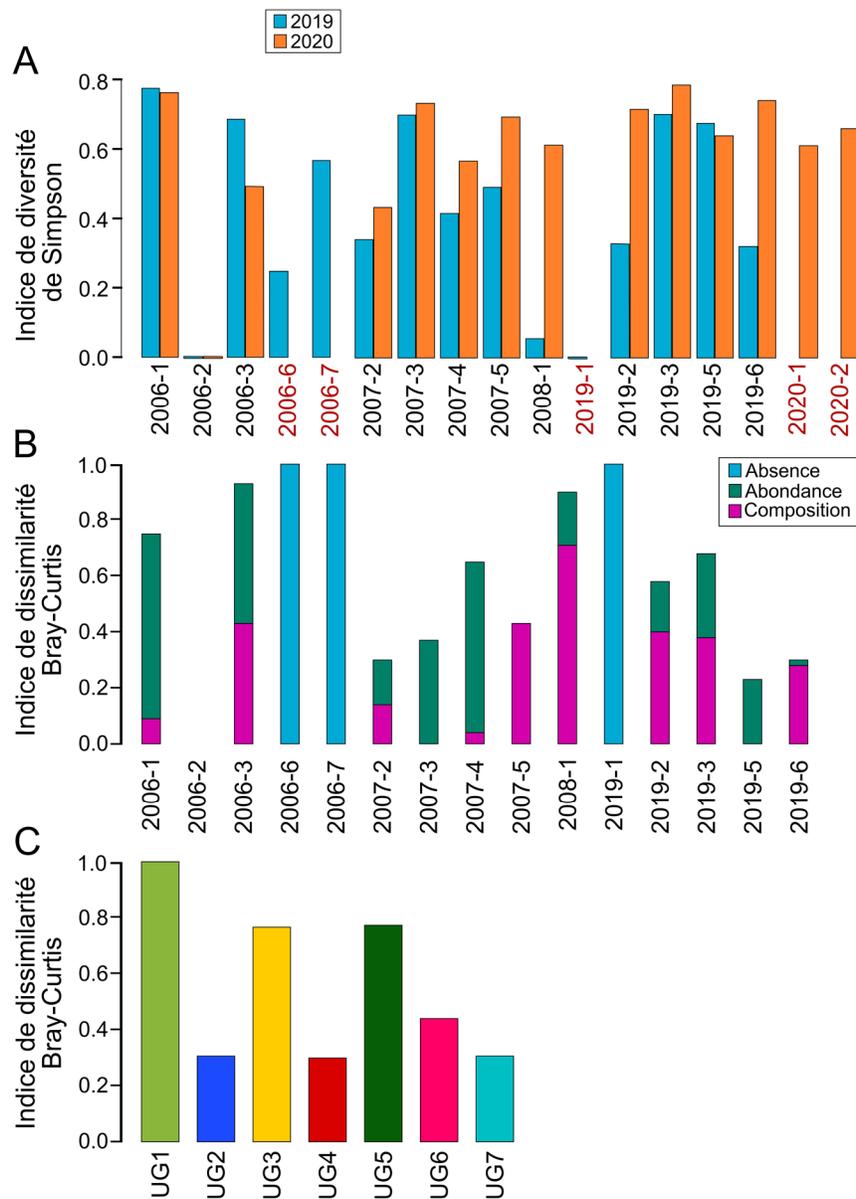


**Figure 4.** Effectif total des botryches (*Botrychium* et *Scleridium*) par site (A) et par unité de gestion (B) pour les années 2019 et 2020.

Au site 2019-3, la hausse marquée de *S. multifidum* (ca. 9× plus d'individus de cette espèce en 2020 par rapport à 2019; Figure 2 & 3) suggère que l'augmentation apparente du nombre de botryches reflète un meilleur échantillonnage en 2020 par rapport à 2019 et non une tendance démographique réelle. En effet, par rapport aux botryches du genre *Botrychium*, les sporophytes appartenant au genre *Sceptridium* possèdent un feuillage persistant et les individus ont une longévité accrue – demi-vie de 1,3 ans pour *Botrychium* (Muller 1993) et de 11,2 à 43,2 ans pour *Sceptridium* (Montgomery 1990; Kelly 1994). Comme au site 2006-2 où un seul et même trophophore de *S. multifidum* persiste au fil des ans, il vraisemblable de conclure que les *S. multifidum* notés en 2020 devaient déjà être présents sur le site en 2019, mais ont été manqués lors de l'inventaire. En généralisant ce biais d'échantillonnage à l'ensemble des botryches du site 2019-3, il est probable que l'inventaire de 2019 ait été moins exhaustif à ce site qui a été découvert vers la fin de la période d'échantillonnage de 2019 et recensé *a posteriori* par rapport aux autres sites, alors que la phénologie était plus avancée (Ducharme & de Lafontaine 2020). En ce sens, l'inventaire de l'année 2020 représente probablement le premier échantillonnage exhaustif au site 2019-3 et constitue de fait une meilleure année de référence par rapport au relevé de 2019.

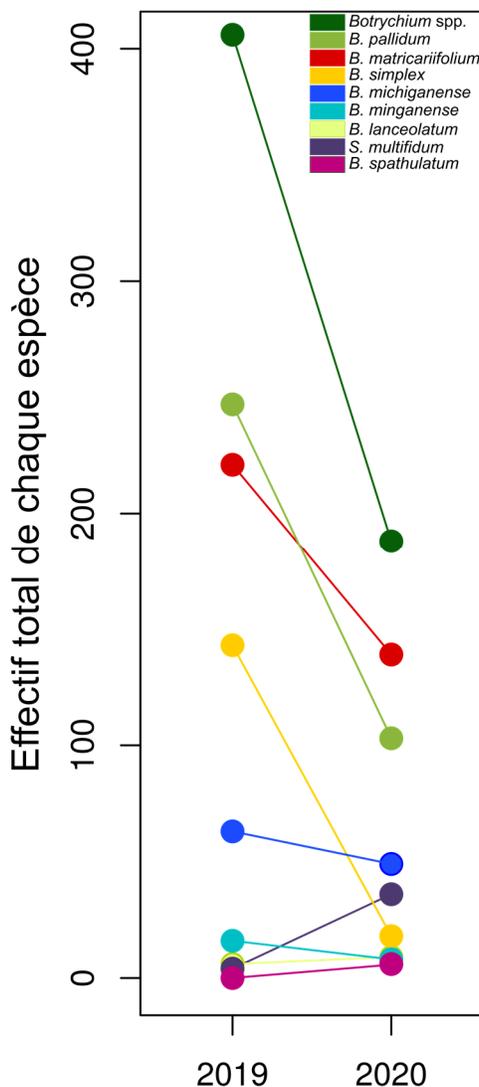
Alors que l'effectif est en baisse dans la majorité des sites, le nombre moyen d'espèces de botryches par site est demeuré invariable. En 2020, on dénombre en moyenne 3,1 espèces par site où l'effectif est plus grand que 0 alors qu'il y en avait 2,7 en 2019, une différence statistiquement non significative ( $P_{\text{testT apparié}} = 0,7$ ). L'indice de diversité de Simpson est passé de 0,42 en 2019 à 0,61 en 2020, ce qui indique que les communautés de botryches sont généralement plus diversifiées en 2020 ( $P_{\text{testT unilatéral}} = 0,02$ ; Figure 5A). Ainsi, malgré la baisse générale des effectifs en 2020, la diversité des botryches a augmenté par rapport à 2019. L'indice de dissimilarité de Bray-Curtis a été employé pour quantifier la différence des communautés de botryches entre 2019 et 2020 sur chacun des sites (Figure 5B). La plupart des sites ont un indice de dissimilarité supérieur à 0,5, indiquant une altération des communautés de botryches que l'on peut qualifier d'intermédiaire à élevée (Figure 5B). Aux sites 2006-6, 2006-7 et 2019-1 (Pointe aux Épinettes), l'indice de 1 reflète un changement de communauté complet relié à l'absence totale de sporophytes en 2020. Pour tous les autres sites, l'indice de Bray-Curtis peut se diviser en deux composantes, soit la variation dans le nombre d'individus (abondance) et le changement des espèces répertoriées (composition) (Baselga 2017). À certains sites, comme 2006-1 et 2007-4, les espèces de botryches sont demeurées sensiblement les mêmes mais la communauté est surtout marquée par la variation de l'effectif. À l'inverse, d'autres sites, comme 2008-1, sont surtout caractérisés par une modification

des espèces dans la communauté de botryches. Enfin, les changements de la communauté de botryches aux sites tels que 2006-3 et 2019-3 reflètent à la fois une altération de la composition en espèce et de l'abondance des individus. En regroupant les sites selon les unités de gestion identifiées par Ducharme et de Lafontaine (2020), il est intéressant de noter que les communautés de botryches qui se sont le plus fortement différenciées entre les deux années se regroupent toutes dans les UG 1 (Pointe aux Épinettes), UG3 (Camp du Cap-à-l'Original) et UG5 (Baie des Cochons est - Le Chocolat) (Figure 5C). Les communautés des autres unités de gestion sont demeurées comparativement plus stables entre les deux années du suivi.



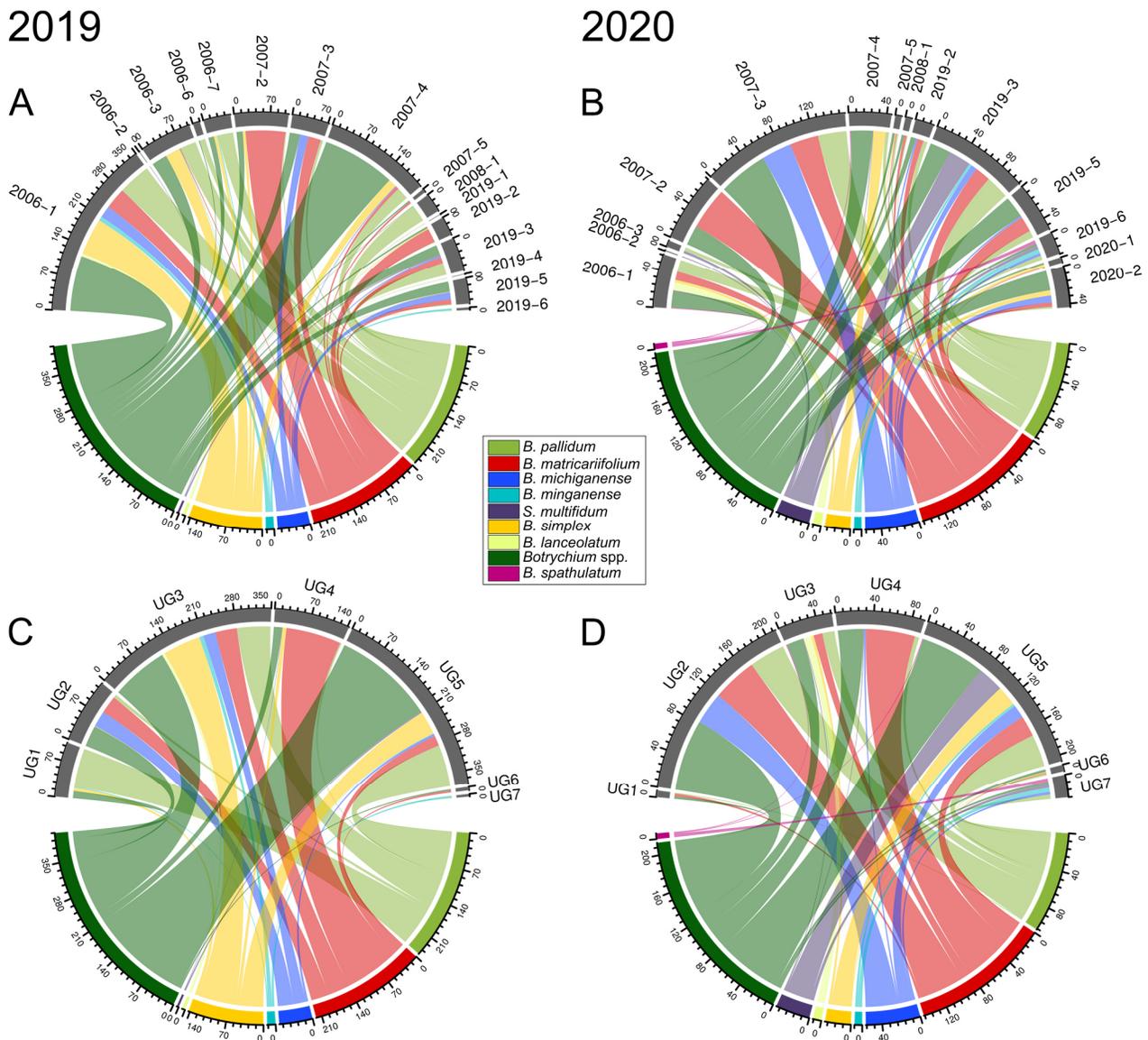
**Figure 5.** Analyse de la diversité spécifique et de la dissimilarité des communautés de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) au parc national du Bic. Indice de diversité D de Simpson selon les différents sites étudiés en 2019 et en 2020 (A). Indice de dissimilarité de Bray-Curtis entre les inventaires de 2019 et 2020 par site (B) et unité de gestion (C).

Le déclin de l'abondance des botryches observé en 2020 est exacerbé pour les espèces les plus communes au PNB (Figure 6). En effet, *B. pallidum*, *B. matricariifolium*, *B. simplex*, *B. michiganense* et *B. minganense* ont tous subi un déclin de l'ordre de 10 à 80% de leur effectif de 2019. Il a en va de même pour l'ensemble des botryches non identifiables (*Botrychium* spp.) dont l'effectif est réduit de 50% en 2020 par rapport à 2019. La tendance inverse est toutefois observée pour les quelques espèces plus rares au PNB. En 2020, nous avons répertorié trois individus de plus de l'espèce *B. lanceolatum*, retrouvée exclusivement au site 2006-1 (UG3 ; Camp du Cap-à-l'Original), par rapport aux six observés en 2019. L'année 2020 a aussi permis d'identifier six individus de *B. spathulatum*, une espèce déjà documentée au PNB (Labecque & Cayouette 2006) mais qui n'avait pas été observée en 2019. L'identification de cette espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable devra toutefois être corroborée au cours des prochaines années. Enfin, il est vraisemblable que les quelques individus de *S. multifidum* (espèce longévive et au feuillage persistant) observés en 2020 avaient été manqués en 2019.



**Figure 6.** Effectif total de chaque espèce de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) au parc national du Bic en 2019 et 2020.

Les diagrammes à corde présentés à la figure 7 résument l'ensemble des changements des communautés de botryches à l'échelle des sites individuels (Figure 7A-B) et des unités de gestion (Figure 7C-D). Ces figures permettent de visualiser les changements majeurs des communautés de botryches aux unités de gestion UG 1 (Pointe aux Épinettes, sites 2006-6, 2006-7, 2008-1 et 2019-1), UG3 (Camp du Cap-à-l'Original, site 2006-1) et UG5 (Baie des Cochons est - Le Chocolat, sites 2006-3, 2007-4, 2019-3, 2020-1, 2020-2) alors que les UG2, UG4, UG6 et UG7 sont demeurées relativement plus similaires entre les deux relevés. À ces UG, l'effectif a plus ou moins varié mais l'abondance relative des diverses espèces au sein des communautés est, somme toute, demeurée stable. Les sites 2007-2, 2007-3 ou 2019-2 sont de bons exemples de telles communautés.

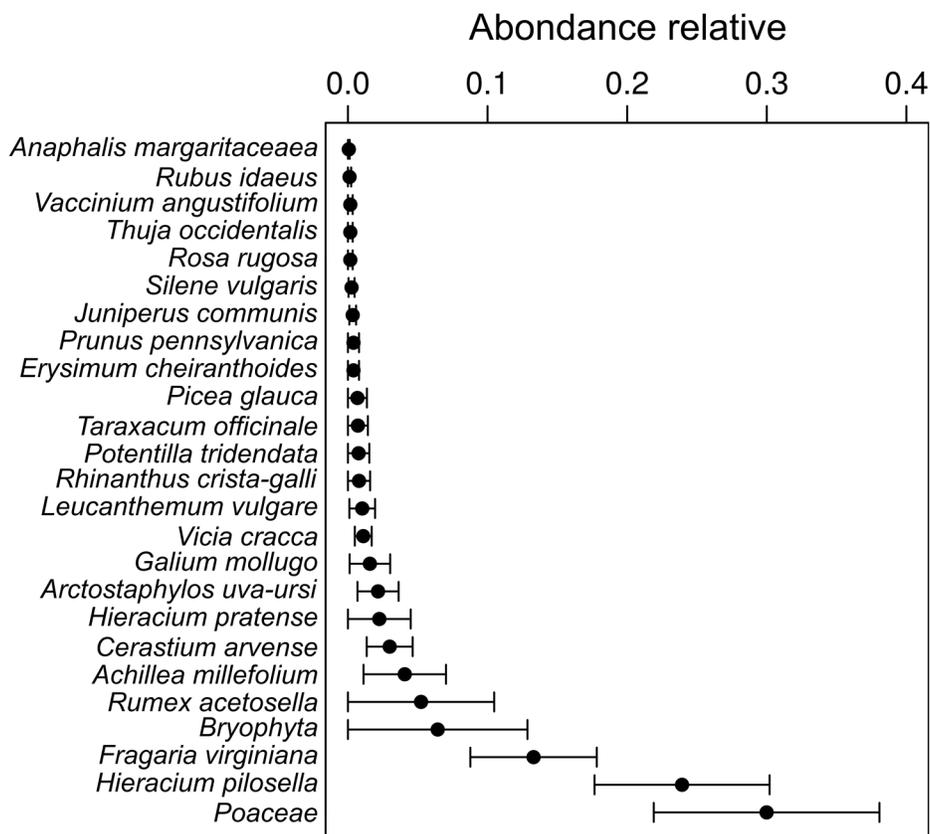


**Figure 7.** Diagrammes à cordes illustrant les relations entre les espèces de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) et les sites (A et B) ou les unités de gestion (C et D) en 2019 et 2020 au parc national du Bic. Chaque espèce (illustrée par un segment de cercle coloré) est rattachée aux sites ou aux unités de gestion (illustrés par les segments du cercle gris) par un arc dont la largeur est proportionnelle à l'importance de la relation.

## Résultats de l'analyse de la composition floristique des espèces compagnes

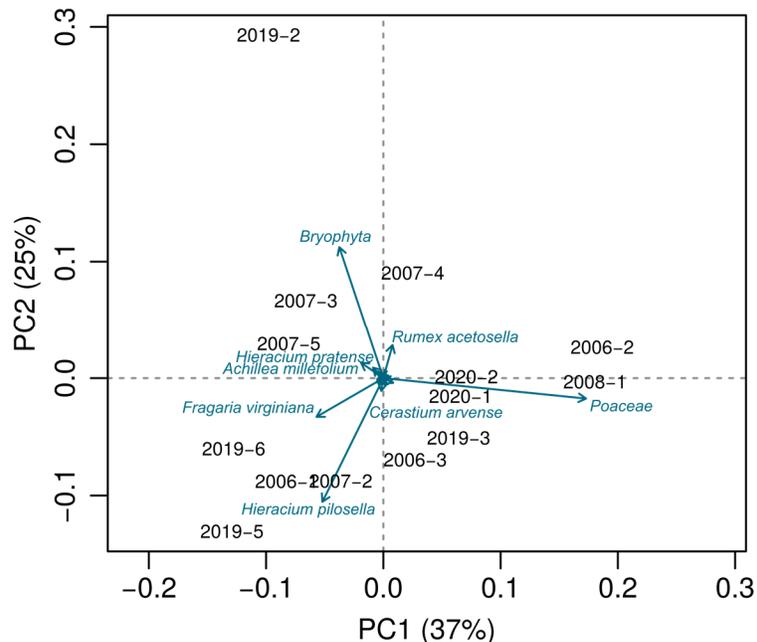
La figure 8 illustre l'ensemble des espèces qui accompagnent les botryches au parc national du Bic. Par leur petite stature, les botryches peuvent facilement passer inaperçus et le repérage de nouvelles colonies peut donc être laborieux. Sur le terrain, les assemblages végétaux qui incluent plusieurs des espèces de la figure 8 pourraient donc être ciblés pour rechercher la présence potentielle de botryches. La liste des espèces compagnes présentée ici demeure encore fragmentaire et pourra être peaufinée au cours des années à venir, ce qui aidera à détecter encore plus efficacement les colonies.

Plusieurs des espèces compagnes identifiées à la figure 8 sont des plantes rudérales de milieux ouverts, secs, acides et perturbés. C'est précisément le cas de tous les taxa les plus abondamment retrouvés dans les colonies de botryches (*Hieracium pilosella*, *Fragaria virginiana*, *Rumex acetosella*, *Achillea millefolium*, *Cerastium arvense*, *Hieracium pratense*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Galium mollugo*). Cette association presque stricte avec des espèces caractéristiques de tels milieux, bien qu'encore exploratoire à ce stade, indique que les botryches sont typiquement des espèces rudérales, sensibles à la compétition et donc à la fermeture éventuelle du couvert forestier.



**Figure 8.** Flore associée aux colonies de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) du parc national du Bic. L'abondance relative moyenne de chaque taxon est présentée avec son erreur type.

Il est important de noter que certaines espèces compagnes identifiées à la figure 8 constituent une menace au maintien des colonies de botryches. Par exemple, *Galium mollugo*, une herbacée exotique envahissante au PNB (Meunier et Lavoie 2012 ; Lavoie 2019) figure parmi les 10 espèces les plus abondamment retrouvées avec les botryches. Des plantules de *Rosa rugosa*, un rosier envahissant au PNB, ont également été retrouvées dans les relevés floristiques. Cet arbuste peut éventuellement former des massifs atteignant plusieurs m<sup>2</sup>. L'envahissement des sites par les plantes exotiques *Galium mollugo* et *Rosa rugosa* est donc une menace directe aux colonies de botryches. Des plantules de *Picea glauca* et *Thuja occidentalis*, deux espèces d'arbres forestiers, ont également été répertoriés. Bien évidemment, au stade de plantules, ces individus ne représentent pas une menace immédiate pour les colonies de botryches mais l'établissement de ces arbres témoigne de la succession secondaire en cours dans les sites qui entraînera inexorablement la fermeture des trouées propices aux botryches par le développement d'un couvert forestier.



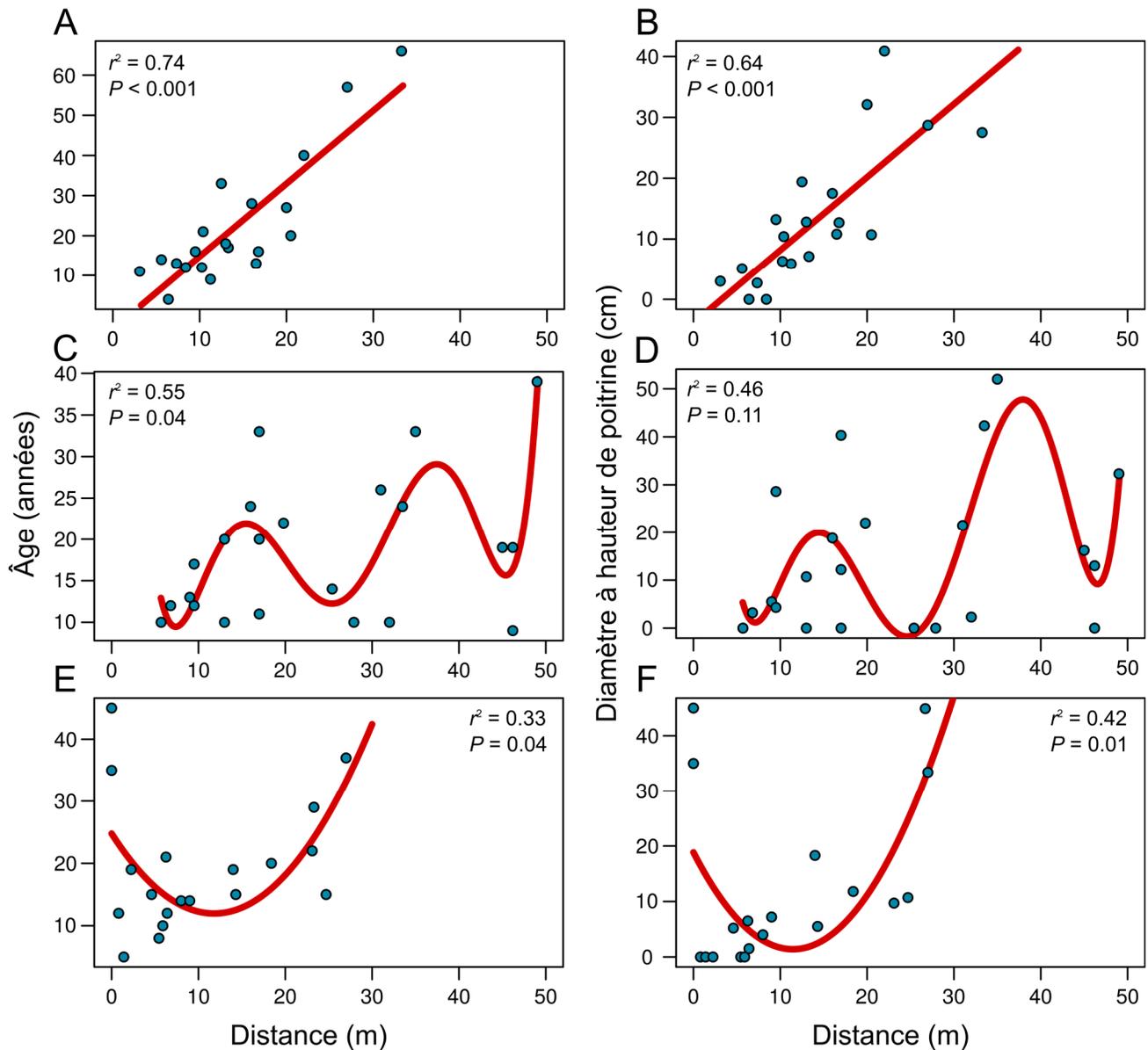
**Figure 9.** Analyse en composante principale (PCA) de la diversité floristique associée aux colonies de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) du parc national du Bic.

Les deux premiers axes de l'analyse en composante principale (PCA) expliquent respectivement 37% et 25% de la variance dans le jeu de données (Figure 9). Cette analyse positionne les sites dans un espace à dimension réduite (ici, selon deux axes principaux) et les vecteurs d'espèces permettent de visualiser les associations entre les sites et les espèces. Seules les associations avec les espèces les plus abondantes sont visibles sur la figure, alors que les vecteurs correspondant à la majorité des espèces sont regroupés près du centre du plan. La figure permet tout de même de constater certaines associations entre les sites et les espèces compagnes. Par exemple,

les sites 2007-3 et 2007-5 sont associés à une forte abondance de *Hieracium pratense* et *Achillea millefolium*. Le site 2007-4 est dominé par *Rumex acetosella*. Les sites 2006-2, 2008-1 sont associés aux graminées (*Poaceae*), alors qu'une forte présence de mousses (*Bryophyta*) caractérise 2019-2. Les sites 2006-1, 2007-2, 2019-5 et 2019-6 sont dominés par un assemblage de *Fragaria virginiana* et *Hieracium pilosella*. Le patron est moins clair pour les sites 2006-3, 2019-3, 2020-1 et 2020-2 qui sont plus diversifiés et donc moins dominés par seulement une ou quelques espèces. Puisqu'aucun botryche n'a été observé en 2020 aux sites 2006-6, 2006-7 et 2019-1, ceux-ci n'ont pas été inclus dans cette analyse de l'assemblage floristique. Ce relevé de la végétation devrait toutefois être fait au cours des prochaines années.

## Résultats de l'analyse de la dynamique de l'envahissement par les arbres

Une analyse de la dynamique de l'envahissement des colonies de botryches par les espèces ligneuses a été réalisée sur trois sites en 2020, soit 2007-4, 2007-3 et 2007-2. Des mesures d'âge et de DHP ont été prises selon la distance par rapport aux trouées afin d'évaluer la trajectoire démographique des arbres. Le site 2007-4 est situé dans le secteur de la Baie des Cochons-est, au bout de la route d'accès aux chalets EXP. Ce site est une ouverture circonscrite par une forêt de *Picea glauca*. Bien que la colonie de botryches soit actuellement dans une clairière ouverte, les résultats de la figure 10A-B indiquent un établissement continu des arbres dans la trouée. En effet, l'âge et la taille des arbres augmentent de façon linéaire en fonction de la distance par rapport au centre de la trouée (Figure 10A-B). Ces relations linéaires sont statistiquement significatives et la relation avec la distance explique une part importante de la variation de l'âge ( $r^2 = 0,74$  ;  $P < 0,001$ ) et de la taille ( $r^2 = 0,64$  ;  $P < 0,001$ ) des plantules et/ou des arbres. Ainsi, la présence de nombreuses gaules ( $\emptyset < 5$  cm) ayant au plus une quinzaine d'années dans les premiers 10 m du centre illustre clairement la dynamique de colonisation rapide. Ces résultats suggèrent que la clairière du site 2007-4 est envahie progressivement par les arbres, de la périphérie vers le centre et que ce site est donc activement en transition vers un écosystème forestier. En absence d'une intervention ciblée, il apparaît clair que cette trouée deviendra éventuellement une forêt dense et uniforme, à l'image de la forêt fermée de *Picea glauca* impropre à l'établissement des botryches qui circonscrit la colonie actuelle. Cette transition vers un milieu forestier constitue donc une menace pour la colonie de botryches à ce site.



**Figure 10.** Analyse de la dynamique forestière sur trois sites qui accueillent des colonies de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) au parc national du Bic. L'âge et la taille des arbres sont présentés en fonction de la distance (m) au site 2007-4 (A, B), 2007-3 (C, D) et 2007-2 (E, F). La courbe en rouge illustre le modèle retenu pour décrire la dynamique de colonisation.

Le site 2007-3 est situé à l'ouest du camping Rioux, devant la Baie du Ha! Ha!. Contrairement au site précédent, il ne s'agit pas ici d'une clairière dans un milieu forestier, mais plutôt d'une lande boisée dans laquelle on compte des épinettes blanches matures, espacées et réparties çà et là, mais qui ne forment pas un couvert forestier continu. Ces arbres sont effectivement isolés les uns des autres dans une friche qui forme la matrice générale du site dans laquelle on retrouve les botryches par petites colonies. La figure 10C-D suggère qu'un modèle polynomial d'ordre 6 statistiquement significatif pour l'âge ( $r^2 = 0,55$  ;  $P = 0,04$ ) et marginalement significatif pour la taille ( $r^2 = 0,46$  ;  $P = 0,11$ ) reflète bien la complexité du site. Ici, il ne s'agit pas d'une trouée 'uniforme', mais plutôt d'une constellation de petites ouvertures au travers des arbres

matures dans un grand espace essentiellement ouvert. Ainsi, le modèle polynomial traduit bien cette réalité sur le terrain : une succession de *trouée-arbre-trouée-arbre-trouée-arbre* le long des transects linéaires de 50m. Bien que la relation linéaire entre l'âge/DHP et la distance qui reflète le processus de colonisation ne soit pas observée sur l'ensemble du transect, on peut toutefois segmenter la courbe polynomiale à chaque point d'inflexion en plusieurs relations linéaires. En effet, l'âge et la taille des arbres augmentent graduellement jusqu'à la distance de 15 m où un arbre mature de 33 ans ( $\varnothing \approx 40$  cm) est présent, puis l'âge et de la taille diminuent sur 15m en s'éloignant de cet individu semencier. Le même patron est ensuite répété pour atteindre deux autres arbres matures de 33 ans ( $\varnothing \approx 50$  cm) et 40 ans ( $\varnothing \approx 35$  cm) le long du transect. Donc, l'âge et la taille des arbres/plantules diminuent en s'éloignant de chaque arbre mature qui agit probablement comme semencier. La dynamique est donc caractérisée par des îlots de colonisation à partir des arbres matures, répartis sur tout le site. Par ailleurs, il est important de noter que les gaules/plantules sont déjà bien établis entre les arbres matures et ce tout le long du transect. Ainsi, la colonisation des ouvertures est bien entamée et la lande est en processus de densification rapide, si l'on en croit l'accroissement rapide des âges/tailles en fonction de la courte distance entre deux arbres matures.

Le site 2007-2 est situé dans le secteur de la Baie des Cochons-ouest, près du stationnement du chalet EXP Élyme. Le modèle quadratique (polynomial d'ordre 2) statistiquement significatif pour l'âge ( $r^2 = 0,33$  ;  $P = 0,04$ ) et la taille ( $r^2 = 0,42$  ;  $P = 0,01$ ) indique la configuration observée sur le terrain (Figure 10E-F). Comme au site 2007-4, la colonie se situe dans une clairière entourée d'une forêt de *Picea glauca*, mais les transects commencent à la forêt, traversent la clairière et s'arrêtent à la forêt. Ainsi on voit qu'en s'éloignant de la forêt (0 m) l'âge et la taille des arbres/plantules diminue jusqu'au centre de la clairière à 15 m avant de s'accroître graduellement en s'approchant de la forêt de l'autre côté de l'ouverture (30 m). La figure 10E indique que des plantules d'une dizaine d'années sont déjà bien présents au centre de la trouée et si l'on en croit l'âge (Figure 10E) et le diamètre (Figure 10F) des arbres de la forêt en périphérie de la clairière, d'ici 20 à 30 ans la trouée sera complètement fermée et le site sera un milieu forestier.

À la suite de notre premier inventaire en 2019, nous avons envisagé que la reforestation représentait une menace éventuelle au maintien des colonies de botryches à plusieurs sites au PNB (Ducharme & de Lafontaine 2020). Les résultats de la présente analyse empirique de la dynamique forestière aux sites 2007-4, 2007-3 et 2007-2 corroborent cette présomption. Les arbres qui formeront la forêt à l'origine de la fermeture éventuelle des trouées sont déjà bien établis sous forme de plantules/gaules jusqu'au centre des ouvertures. Le processus de colonisation des clairières se

poursuit graduellement à partir des arbres matures semenciers déjà en place à l'intérieur (2007-3) ou en périphérie (2007-4, 2007-2) des trouées. Il est donc pertinent de continuer à suivre l'évolution de la fermeture des trouées afin d'apposer, lorsque nécessaire, des actions de conservation bien ciblées (retirer les plantules et gaules, couper certains arbres matures semenciers).

## Discussion

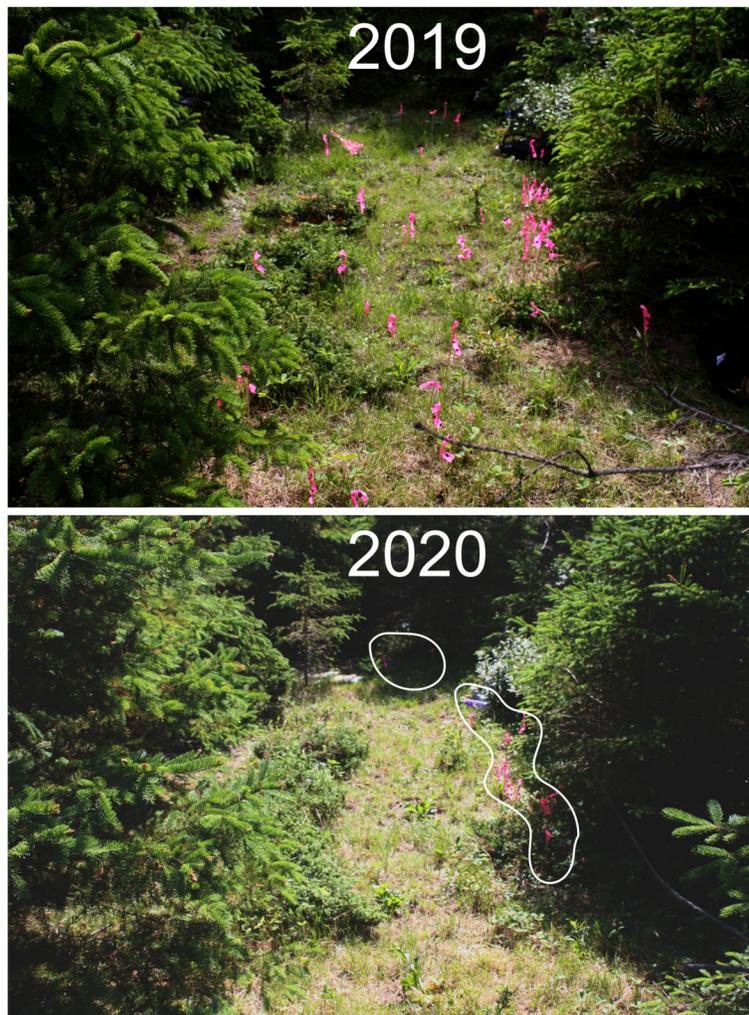
Le printemps 2020 a été particulièrement sec avec un total des précipitations du 1<sup>er</sup> mai au 26 juin correspondant à seulement *ca.* 40% de la moyenne habituelle, soit la valeur la plus basse enregistrée depuis les 50 dernières années aux stations météorologiques de Rimouski et de Pointe-au-Père (Figure 1). L'année 2020 est aussi marquée par un déclin de plus de 50% de l'effectif des botryches (*Botrychium* et *Sceptribidium*) au parc national du Bic par rapport à l'année de référence 2019 (Figures 2 & 3).

La quantité des précipitations lors de la saison de croissance peut affecter l'émergence des sporophytes en induisant une dormance végétative. Selon Johnson-Groh et Farrar (1993), les espèces du genre *Botrychium* sont moins susceptibles de produire un sporophyte émergeant du sol lors d'étés particulièrement secs. Ainsi, Muller (1992) rapporte qu'il est difficile de localiser les colonies de botryches lors des années sèches, puisqu'une grande partie des individus ne produisent pas de partie aérienne, ou que les sporophytes produits sont soit de taille réduite, soit flétris. Il n'est pas certain si l'absence d'émergence sporadique est due à une dormance réelle de la plante (absence complète de débourrement du bourgeon et de croissance) ou reflète plutôt une croissance ralentie par les conditions stressantes (croissance tellement limitée du sporophyte qu'il ne parvient pas à émerger à la surface du sol) (Lesica & Ahlenslager 1996). En effet, Williams et Waller (2015) rapportent que la variabilité démographique, la hauteur et la morphologie des individus peuvent être modifiées d'une année à l'autre par des variations de précipitation, de l'herbivorie, des interactions avec les mycorhizes en plus des autres plantes. Selon cette étude, 45% du nombre total de plantes observées la première année apparaissaient l'année suivante et 20% des individus n'ayant pas réapparu émergeaient à la troisième année, ce qui corrobore la capacité de dormance végétative des botryches lorsque les conditions sont sous-optimales. Dans 78% des cas, la dormance des botryches du genre *Botrychium* dure une seule année (Lesica & Ahlenslager 1996). Certains individus matures peuvent toutefois être dormants jusqu'à quatre ans (Muller 1993; Lessica & Ahlenslager 1996). Lors des périodes particulièrement sèches, les botryches entreraient

en dormance afin d'éviter le stress hydrique des parties aériennes, tel qu'observé chez plusieurs orchidées et d'autres plantes pérennes (Lesica & Steele 1994; Lesica & Crone 2007; Gremer *et al.* 2012; Shefferson *et al.* 2012).

Chez les botryches, la fertilisation entre les anthéridies et les archégonies des gamétophytes se déroule sous terre et nécessite des conditions hydriques afin que les spermatozoïdes puissent 'nager' vers les oosphères (œufs). Suite à la fertilisation, un sporophyte se développe sur le gamétophyte et émerge de terre, puis formera des racines par la suite. Ainsi, en plus d'induire la dormance des individus déjà établis, une saison de croissance sèche restreint le recrutement futur (Lesica & Ahlenslager 1996). Ce genre de printemps pourrait donc avoir un impact prolongé sur la trajectoire démographique des botryches puisque le premier sporophyte peut prendre jusqu'à dix ans avant d'émerger suite à la fécondation au stade gamétophytique (Campbell 1921; Muller 1993). Les conséquences de la stochasticité environnementale lors d'épisodes météorologiques extrêmes tels que la sécheresse printanière de l'année 2020 pourraient alors perdurer sur plusieurs années.

Par rapport à 2019, l'effectif total des botryches a fortement diminué en 2020. Ce déclin est une tendance générale, clairement observée chez les cinq espèces les plus communes PNB (Figure 6). Toutefois, les colonies n'ont pas été atteintes uniformément (Figure 2). Alors que celles de la Pointe aux Épinettes (UG1), du Camp du Cap-à-l'Original (UG3) et de l'est de la Baie des Cochons (UG5) ont été particulièrement altérées, d'autres colonies semblent avoir été moins affectées. Les colonies les plus touchées sont toutes situées dans des sites ouverts et relativement homogènes. De tels sites n'offrent virtuellement aucun microsite protégé, augmentant ainsi la vulnérabilité des botryches au stress hydrique et à la photorespiration lors des épisodes de sécheresse comme celle de l'année 2020. À l'autre extrême, un milieu uniformément couvert tel que le sous-bois d'une forêt dense n'offre pas assez de lumière aux botryches (Lesica & Ahlenslager 1996). Les sites caractérisés par une structure végétale hétérogène incluant quelques arbres sporadiques et espacés les uns des autres au sein d'une matrice généralement ouverte (lande boisée) contiennent des microhabitats plus humides offrant une protection aux botryches lors de conditions particulièrement sèches. La figure 11 illustre l'importance de l'hétérogénéité de la structure verticale lors d'épisodes de sécheresse. Au site 2007-2, les botryches étaient bien présents au centre des ouvertures en 2019, alors qu'en 2020, ils ont émergé exclusivement dans les microsites plus humides, protégés de la dessiccation sous les branches basales des épinettes et parmi les arbustes. Le déclin de l'effectif de l'année 2020 a effectivement été atténué aux sites avec une plus grande hétérogénéité de la structure verticale.



**Figure 11.** Comparaison de la répartition des botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) au site 2007-2 en 2019 et 2020. Les botryches (indiqué par les drapeaux roses) occupaient toute la superficie de l'ouverture en 2019 alors qu'en 2020, ils étaient limités aux microsites humides protégés de la dessiccation, sous les branches basales des épinettes et parmi les arbustes.

Cette affinité pour les milieux avec une structure hétérogène de la végétation explique pourquoi les botryches émergent principalement dans des stades de succession secondaire transitoires (*ca.* 30 ans). Les résultats de notre analyse de la composition floristique des espèces compagnes indiquent que les botryches sont associés avec des espèces de milieux ouverts, secs, acides et perturbés (Figure 8). Ces résultats indiquent que les botryches se comportent effectivement comme des plantes rudérales généralement associées avec de la lumière abondante et des perturbations modérées (Wagner & Wagner 1983; Muller 1999). Les colonies de botryches qui se sont fondées initialement dans les ouvertures originellement créées suite à des perturbations tendent toutefois à s'éteindre lors de la fermeture des trouées lors de la succession des espèces arborescentes (Lesica & Ahlenslager 1996; Muller 1999).

Notre analyse de l’envahissement des colonies de botryches par les espèces ligneuses indique que le processus de fermeture des trouées est déjà bien amorcé au PNB (Figure 10). Aux trois sites étudiés, les trouées sont envahies de plantules et/ou de gaules dont l’âge augmente graduellement en s’éloignant du centre de la trouée pour s’approcher des arbres matures semenciers. Ce patron récurrent indique une colonisation progressive des trouées par les arbres à partir de la périphérie et qui atteint maintenant le centre des trouées. En absence d’intervention, la succession secondaire procèdera inexorablement jusqu’à la fermeture complète des troués, entraînant une homogénéisation du milieu forestier et donc la perte des landes boisées hétérogènes propices aux botryches. Ainsi, afin de préserver les colonies de botryches au PNB et donc les populations de trois espèces susceptibles d’être désignées menacées ou vulnérables, il faudrait envisager de simuler un régime de perturbations naturelles qui supporterait une mosaïque de stades successionnels incluant à la fois des ouvertures et des îlots forestiers (Pickett & Thompson 1978; Lesica & Ahlenslager 1996). La restauration de prairies dans les sites où les botryches étaient disparus suite à la déprise agricole peut mener, en quelques années, à la réapparition de celles-ci (Muller 1999). Une telle intervention ciblée pourrait, par exemple, être tentée à titre expérimental sur certains sites où les botryches semblent éteints suite à l’envahissement par *Picea glauca*, tel qu’au site 2007-1. La survie des colonies de botryches au PNB dépend du maintien ou de la restauration de prairies ou landes boisées à l’aide de perturbations modérées (coupes partielles préventives) pour entretenir des habitats au stade pionnier.

### **Modifications envisagées au protocole de suivi**

En 2019, l’inventaire visait une mise à jour l’état des connaissances quant à la situation des colonies de botryches au PNB. Le protocole employé consistait en une visite de tous les sites connus sur lesquels le dénombrement et l’identification systématique de tous les sporophytes de botryches émergents ont été effectués. Il s’agissait alors du premier relevé depuis plus de 10 ans et à la suite de certains aménagements récréotouristiques réalisés dans les secteurs abritant des colonies. Sur la base de ce relevé, les sites ont été regroupés en sept unités de gestion basées sur les similarités de la composition entre les colonies (communautés de genre) et leur localité dans le PNB (Ducharme & de Lafontaine 2020). Certaines menaces potentielles au maintien des colonies de botryches avaient également été identifiées. L’approche employée en 2019 a donc permis d’actualiser les données quant au patron général des colonies de botryches au PNB. Le même protocole de recherche a été employé en 2020 pour comparer les colonies de botryches (effectif et diversité des espèces) avec l’état de référence établi lors de l’inventaire de l’année 2019. Cette réplication du même protocole

sur deux années consécutives a mis en lumière l'importante variabilité interannuelle de la démographie des colonies.

Il apparaît assez trivial que l'épisode de sécheresse extrême du printemps 2020 explique le déclin général de l'effectif des botryches au PNB observé en 2020 par rapport à 2019. Par contre, le relevé de 2020 met aussi en lumière plusieurs autres facteurs moins évidents *a priori*, mais qui semblent instrumentaux pour mieux comprendre la trajectoire démographique des botryches au PNB. Or, une meilleure compréhension de cette dynamique démographique et de ses déterminants est essentielle pour mettre en place des stratégies de conservation efficaces. Nous rappelons ici ces principaux facteurs et nous proposons des modifications au protocole de suivi afin que les relevés subséquents puissent mieux évaluer les tendances démographiques à long terme (p.ex. en lien avec la trajectoire successionale), la variabilité interannuelle autogène (p.ex. dynamique intrinsèque des espèces) et allogène (p.ex. réponses aux variations météorologiques).

D'abord, le déclin de l'effectif en 2020, n'était pas uniforme entre les sites. Dans le contexte de la sécheresse printanière extrême, certains sites ont été plus altérés (jusqu'à une absence complète de botryches) que d'autres. Nous postulons que l'hétérogénéité de la structure verticale de la végétation offre une certaine protection contre la stochasticité environnementale grâce à la coexistence de plusieurs microsites distincts, chacun pouvant s'avérer plus ou moins favorable selon les conditions météorologiques variables. À l'inverse, les milieux de structure plus homogène, soit complètement ouverts ou complètement fermés, offrent moins de protection contre les aléas des conditions environnementales. Le dénombrement des botryches sur l'ensemble du site sans égard à la variabilité micro-environnementale ne permet pas de vérifier cette hypothèse. Le protocole de suivi devrait donc suivre les effectifs annuels en tenant compte des principaux microenvironnements contrastés (p.ex., homogène ouvert, structure hétérogène, homogène fermé) au sein des sites.

Si l'épisode météorologique du printemps 2020 représente la cause proximale la plus probable du faible effectif, le protocole actuel ne permet pas d'identifier la ou les causes ultimes du déclin observé en 2020. Par exemple, il pourrait s'agir d'une simple dormance sporadique induite par le temps sec ou alors d'une mortalité massive des individus causée par la dessiccation, qui aura des effets à plus long terme sur la démographie. En plus de la variabilité interannuelle associée à la stochasticité environnementale, la dynamique autogénique des populations peut entraîner des variations de l'effectif indépendantes de l'environnement abiotique (p.ex., régulation densité dépendante). Enfin, les colonies de botryches varieront aussi selon des tendances démographiques à

plus long terme au cours des années à venir. À cet effet, l’envahissement des colonies par les arbres (succession secondaire) et les espèces envahissantes (compétition interspécifique) de même que la réponse aux changements climatiques et aux aménagements anthropiques dans le PNB, auront vraisemblablement un impact notable sur la trajectoire démographique des colonies. Afin de mieux départager les causes de la variabilité des colonies (dormance, mortalité, recrutement) et de tenir compte de 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), le protocole devrait permettre de suivre les mêmes individus sur plusieurs années.

Le protocole proposé pour 2021 se base sur une série de petites parcelles permanentes (idéalement invisibles aux visiteurs du parc) dans lesquelles la présence des mêmes individus marqués (tige métallique identifiée) sera réévaluée annuellement. Les parcelles constitueront des sous-ensembles représentatifs de sites sélectionnés, incluant différents microenvironnements au sein de chaque site (placettes-échantillons randomisées et répliquées). En établissant un tel protocole de sous-échantillonnage systématique (avec réplification aléatoire) il sera possible de mesurer/calculer annuellement les effectifs, taux de recrutement, taux de mortalité, longévité, taux de dormance, durée de la dormance, variabilité morphologique individuelle, etc. Ces variables démographiques et/ou morphologiques pourront être directement comparées entre les années, entre les sites et entre les microenvironnements pour mieux comprendre les tendances démographiques des colonies de botryches au PNB (c.-à-d., expansion, déclin, stabilité, variabilité). Afin d’identifier les causes de cette variabilité, il sera possible de tester les associations entre les variables démographiques / morphologiques et certaines variables environnementales telles que la météo, le climat, l’irradiance, le pourcentage de fermeture des trouées, le sol (pH, température, humidité), le piétinement, le pourcentage de recouvrement en plantes exotiques, la hauteur de la végétation, la présence d’herbivorie, les aménagements anthropiques ou les perturbations. Le même protocole (parcelles permanentes) pourrait aussi être employé pour suivre l’efficacité de mesures de conservation déployées (p.ex. coupe d’arbres, restauration des trouées). Enfin, l’établissement de parcelles permanentes permettra de cumuler les données au sein des mêmes placettes-échantillons sur plusieurs années/décennies, ce qui offrira la possibilité de suivre l’impact de la succession secondaire et des changements climatiques sur la trajectoire démographique des botryches au PNB. Ainsi, les données empiriques récoltées au fil des années en suivant ce nouveau protocole permettront de proposer des mesures de conservation efficaces pour assurer le maintien des colonies du PNB.

Enfin, il demeure important de revérifier régulièrement l'ensemble de toutes les colonies connues afin d'actualiser l'état des connaissances quant à la situation générale des colonies de botryches au PNB. Donc, en plus de prendre les mesures dans les placettes-échantillons, un inventaire complet comme ceux de 2019 et 2020 devrait être effectué à tous les trois à cinq ans. Aussi, un tel inventaire complet devrait être réalisé en cas d'année exceptionnelle, comme en 2020, ou lorsqu'un changement marqué de l'effectif est noté au sein des placettes-échantillons.

## Conclusion

La comparaison entre les données prises à l'été 2020 et celles de 2019 révèlent une importante variabilité interannuelle de l'effectif des botryches au PNB vraisemblablement reliée aux conditions météorologiques particulièrement sèches. Aussi, la caractérisation des assemblages végétaux qui accompagnent les colonies de botryches au PNB a permis de dresser un portrait de l'habitat privilégié des botryches en plus d'identifier des espèces envahissantes qui représente une menace potentielle au maintien des colonies. Enfin, l'analyse de la dynamique de l'envahissement des colonies de botryches par les espèces ligneuses a permis d'anticiper la trajectoire successionale pouvant mener à une perte des habitats favorables à trois sites au PNB. Le déclin de l'effectif atténué sur certains sites où les botryches étaient retrouvés surtout dans des microsites favorables (à la marge des branches basales des arbres matures) suggère que l'hétérogénéité structurelle offre une protection face à la stochasticité environnementale. Un protocole de sous-échantillonnage de parcelles de recherche permanentes proposé pour 2021 permettra d'évaluer annuellement les variables démographiques et morphologiques tout en prenant en compte divers facteurs abiotiques propres à chaque site. À long terme, les données récoltées en suivant ce protocole permettront de mieux comprendre la trajectoire démographique des colonies (déclin, croissance, stabilité, variation) afin d'identifier les menaces aux populations de botryches. L'élaboration de stratégies de gestion visant la conservation sera alors basée sur des données empiriques permettant la préservation à long terme des colonies de botryches dont plusieurs espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables enrichissent la biodiversité du parc national du Bic.

## Remerciements

Nous tenons à remercier Alice Atikessé, Magali Couture, Vincent Laflamme, Sandrine Larose, Laura Pothier-Guerra et Raphaël Turquin pour leur aide essentielle sur le terrain.

## Références

- Anderson DG & Cariveau D. 2004. *Botrychium echo* W.H. Wagner (reflected grapefern): A technical conservation assessment. USDA Forest Service, Rocky Mountain Region. Colorado State University, Colorado
- Baselga A, Orme D, Villeger S, De Bortoli J, Leprieur F, Logez M. 2021. betapart: Partitioning Beta Diversity into Turnover and Nestedness, Components. R package version 1.5.3. <https://CRAN.R-project.org/package=betapart>
- Baselga A. 2015. Partitioning abundance based multiple-site dissimilarity into components: balanced variation in abundance and abundance gradients. *Methods in Ecology and Evolution* 8:799–808
- Buell KH. 2001. Moonwort (*Botrychium* subg *Botrychium*) survey report. Prepared for Breckenridge Ski Resort, Breckenridge, Colorado. Submitted to USDA-Forest Service; White River National Forest, Silverthorne, Colorado. Habitat Concepts. Inc., Yampa, Colorado
- Campbell DH. 1921. The eusporangiate ferns and the stelar theory. *American Journal of Botany* 8:303–314
- Carroll AB, Pallardy SG, Galen C. 2001. Drought stress, plant water status, and floral trait expression in fireweed, *Epilobium angustifolium* (Onagraceae). *American Journal of Botany* 88:438–446
- Cayouette J. 2001. Les Botrychyaceae au Québec. Ottawa
- CCSC – Centre canadien des services climatiques – 2018-2021. [En ligne ; dernier accès 15 mars 2021] URL: <https://donneesclimatiques.ca/telechargement/>
- Ducharme 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. 34 p. [En ligne ; dernier accès 15 mars 2021] URL: <https://www.herbarium.iastate.edu/files/botrychium/Moonwort-Systematics-June-06.pdf>
- Farrar DR. 2011. Systematics and taxonomy of genus *Botrychium*. [En ligne ; dernier accès 15 mars 2021] URL: <http://www.public.iastate.edu/~herbarium/botrychium/Moonwort-Systematics.pdf>
- Gremer JR., Crone EE, Lesica P. 2012. Are dormant plants hedging their bets? Demographic consequences of prolonged dormancy in variable environments. *American Naturalist* 179:315–327
- Gu Z, Gu L, Eils R, Schlesner M, Brors B. 2014. Circlize implements and enhances circular visualization in R. *Bioinformatics* 30:2811–2812
- Inghe O & Tamm CO. 1988. Survival and flowering of perennial herbs. V Patterns of flowering. *Oikos* 51:203–219
- Johnson-Groh CL & Farrar DR. 1993. Population dynamics of prairie moonworts (*Botrychium* subgenus *Botrychium*) in Iowa and Minnesota. *American Journal of Botany* 80:109
- Johnson-Groh CL & Farrar DR. 2003. *Botrychium* inventory and monitoring technical guide. Rapport préparé pour le USDA Forest Service

- Johnson-Groh CL & Lee JM. 2002. Phenology and demography of two species of *Botrychium* (Ophioglossaceae). *American Journal of Botany* 89:1624–1633
- Kelly D. 1994. Demography and conservation of *Botrychium australe*, a peculiar, sparse mycorrhizal fern. *New Zealand Journal of Botany* 32:393–400
- 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, Parc Québec et le camp du Cap-à-l'Original
- Lande R. 1993. Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes. *American Naturalist* 142:911–927
- Lande R, Engen S, Saether BE. 2003. Stochastic population dynamics in ecology and conservation. Oxford University Press, Oxford
- Lavoie C. 2019. 50 plantes envahissantes : protéger la nature et l'agriculture. Les Publications du Québec, Québec
- 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
- Lesica P & Crone EE. 2007. Causes and consequences of prolonged dormancy for an iteroparous geophyte, *Silene spaldingii*. *Journal of Ecology* 95:1360–1369
- Lesica P & Steele BM. 1994. Prolonged dormancy in vascular plants and implications for monitoring studies. *Natural Areas Journal* 14:209–212
- Marie-Victorin 2002. Flore laurentienne, 3<sup>e</sup> édition. Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal
- MELCC – Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques – 2020. Canicule de juin 2020 : d'une ampleur, d'une chaleur et d'une durée supérieures à celle de juin-juillet 2018. [En ligne ; dernier accès 15 mars 2021] URL: <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/Faits-saillants/2020/canicule.htm>. Québec.ca, Site officiel du gouvernement du Québec
- Mesipuu, M, Shefferson, RP, Kull, T. 2009. Weather and herbivores influence fertility in the endangered fern *Botrychium multifidum* (SG Gmel.) Rupr. *Plant Ecology* 203:23–31
- Meunier G & Lavoie C. 2012. Roads as Corridors for Invasive Plant Species: New Evidence from Smooth Bedstraw (*Galium mollugo*). *Invasive Plant Science and Management* 5:92–100
- Montgomery JD. 1990. Survivorship and predation changes in five populations of *Botrychium dissectum* in eastern Pennsylvania. *American Fern Journal* 80:173–182

- Muller S. 1992. The impact of a drought in spring on the sporulation of *Botrychium matricariifolium* (Retz) A. Br. in the Bitcherland (Northern Vosges, France). *Acta Oecologica* 13:335–343
- Muller S. 1993. Population dynamics in *Botrychium matricariifolium* in Bitcherland (Northern Vosges Mountains, France). *Belgian Journal of Botany* 126:13–19
- Muller S. 1999. Plant communities and conservation of *Botrychium*-rich grasslands in the Bitcherland (Northern Vosges Biosphere Reserve, France). *Biodiversity & Conservation* 8:1519–1532
- 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. 2019. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6
- Parnikoza I, Chernyshenko M, Celka Z. 2017. Ophioglossaceae (*Psilotopsida*) in Ukraine. *Biodiversity Research and Conservation* 48:25–47
- Pickett ST & Thompson JN. 1978. Patch dynamics and the design of nature reserves. *Biological Conservation* 13:27–37
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [En ligne ; dernier accès 15 mars 2021] URL : <http://www.R-project.org/>
- Shaffer ML. 1981. Minimum population sizes for species conservation. *BioScience* 31:131–134
- Shefferson RP, Kull T, Tali K, Kellett KM. 2012. Linking vegetative dormancy to fitness in two long-lived herbaceous perennials. *Ecosphere* 3:1–19
- Tali K & Kull T. 2001. Highly variable flowering time in *Orchis ustulata* (Orchidaceae): consequences for population dynamics. *Nordic Journal of Botany* 21:457–466
- Wagner WH & Wagner FS. 1983. Genus communities as a systematic tool in the study of New World *Botrychium* (Ophioglossaceae). *Taxon* 32:51–63
- Waterkeyn L & de Sloover JL. 1958. *Botrychium matricariifolium* (Retz.) A. Braun, Ophioglossacée nouvelle pour la flore belge. *Bulletin du Jardin Botanique de l'État à Bruxelles* 28:455–458
- 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

## Annexes

**Annexe 1.** Coordonnées géographiques (degrés décimaux) de tous les sites de botryches (*Botrychium* et *Sceptridium*) connus au parc national du Bic en 2020 (colonies actuelles et éteintes).

Sites	Unité de gestion	Latitude	Longitude
2006-1	UG3	48.3508	-68.7965
2006-2	UG4	48.3509	-68.7943
2006-3	UG5	48.3512	-68.7926
2006-4	Colonie éteinte	48.3641	-68.7549
2006-5	Colonie éteinte	48.3639	-68.7552
2006-6	UG1	48.3585	-68.7777
2006-7	UG1	48.3597	-68.7791
2007-1	Colonie éteinte	48.3508	-68.7937
2007-2	UG4	48.3508	-68.7928
2007-3	UG2	48.3550	-68.8036
2007-4	UG5	48.3530	-68.7908
2007-5	UG6	48.3488	-68.7982
2008-1	UG1	48.3582	-68.7780
2019-1	UG1	48.3591	-68.7782
2019-2	UG4	48.3507	-68.7932
2019-3	UG5	48.3518	-68.7917
2019-5	UG2	48.3566	-68.8007
2019-6	UG7	48.3598	-68.7983
2020-1	UG5	48.3533	-68.7907
2020-2	UG5	48.3545	-68.7907

**Annexe 2.** Photographies des sites étudiés au parc national du Bic



Photo 1. Site 2006-1 Répartition des individus dans l'ouverture



Photo 2. Site 2006-1 Botryches protégés sous des gaules de *Populus tremuloides*



Photo 3. Site 2006-1 Habitat asséché



Photo 4. Site 2006-3 Individus dans l'ouverture



Photo 5. Site 2006-3 Botrychies protégés dans un microsite frais et humide



Photo 6. Site 2006-6 Aire de recherche (aucun botryche recensé en 2020)



Photo 7. Site 2006-6 Habitat asséché



Photo 8. Site 2006-7 Aire de recherche (aucun botryche recensé en 2020)



Photo 9. Site 2007-2 Ouverture (individus au pied des arbres)



Photo 10. Site 2007-2 Botryches en milieu semi-ombragé



Photo 11. Site 2007-2 Botryches sous couvert forestier dense



Photo 12. Site 2007-2 Individus sous couvert forestier dense



Photo 13. Site 2007-3 Colonie envahie par *Galium mollugo*

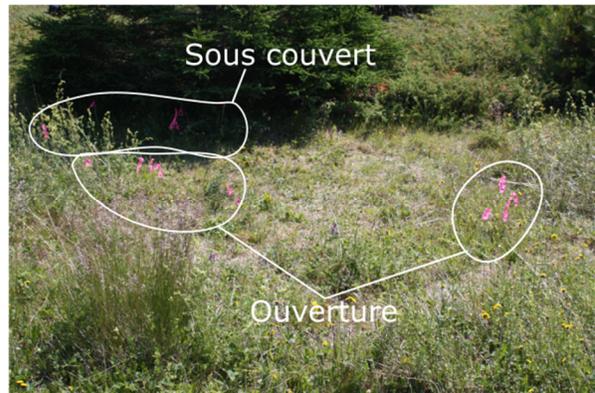


Photo 14. Site 2007-3 Individus dans deux microhabitats



Photo 15. Site 2007-3 Recherche sous *Juniperus communis*



Photo 16. Site 2007-4 Botryches protégés à la marge d'un *Picea glauca* isolé



Photos 17. Site 2007-4 Botryches protégés sous *Picea glauca* en régénération



Photo 18. Site 2007-4 Botryches protégés sous les branches d'un *Picea glauca* isolé



Photo 19. Site 2007-5 Individus à l'ouest de la route



Photo 20. Site 2007-5 Individu isolé à l'est de la route



Photo 21. Site 2007-5 Sol retourné lors des aménagements dans le secteur Tombolo



Photo 22. Site 2019-2 Botryches à l'ombre



Photo 23. Site 2019-3 Abondance de botryches – structure verticale hétérogène



Photo 24. Site 2019-3 Colonie envahie par *Picea glauca* – microsites mésiques



Photo 25. Site 2019-5 Botryches à l'ombre et à la marge des arbres

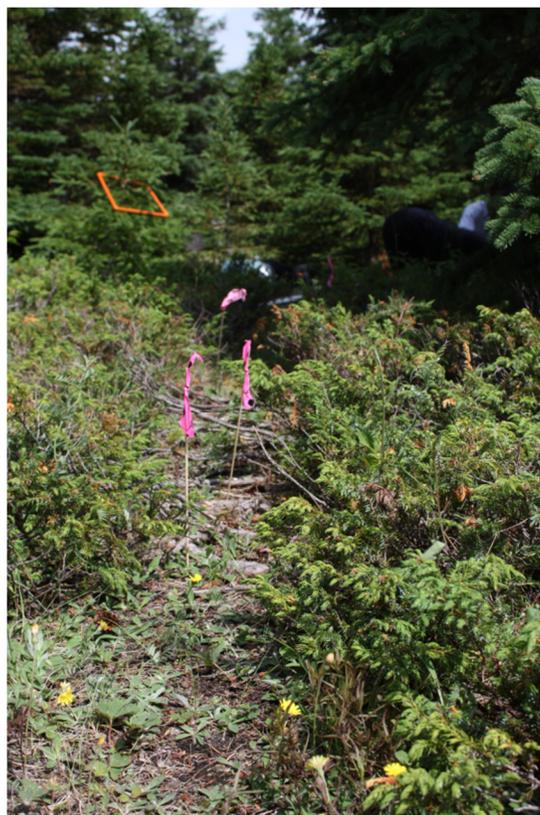


Photo 26. Site 2019-5 Botryches dans un sentier



Photo 26. Site 2019-6 Botryches longeant la clôture



Photo 27. Site 2020-1 Botryches dans une ouverture



Photo 28. Site 2020-2 Botryches près du sentier et à la marge de *Picea glauca*



Photo 29. Site 2020-2 Botryches à l'ombre et dans l'ouverture

**Annexe 3.** Photographies des espèces de botryches observées au parc national du Bic



Photo 1. Site 2006-1 *B. lanceolatum* var. *angustisegmentum*



Photo 2. Site 2006-1 *B. lanceolatum* var. *angustisegmentum*



Photo 3. Site 2006-1 *B. matricariifolium*



Photo 4. Site 2006-1 *B. matricariifolium*



Photo 5. Site 2006-1 *B. pallidum*



Photo 6. Site 2006-1 *Botrychium* sp. asséché



Photo 7. Site 2006-3 *Botrychium* sp.



Photo 8. Site 2007-2 *B. matricariifolium*



Photo 9. Site 2007-3 cf. *B. lineare*



Photo 10. Site 2007-3 cf. *B. lineare*



Photo 11. Site 2007-3 *Botrychium* sp.



Photo 12. Site 2007-3 *B. michiganense*



Photo 13. Site 2007-4 *Botrychium* sp.



Photo 14. Site 2007-5 *B. simplex*



Photo 15. Site 2008-1 *B. matricariifolium*



Photo 16. Site 2008-1 *B. pallidum*



Photo 17. Site 2019-2 *B. michiganense*



Photo 18. Site 2019-5 *B. matricariifolium*



Photo 19. Site 2019-5 *B. michiganense*



Photo 20. Site 2019-6 *B. minganense*



Photo 21. Site 2019-6 cf. *B. lineare*