

SYNPHÉNOLOGIE VASCULAIRE DES COMMUNAUTÉS VÉGÉTALES À CAMBRIDGE BAY, SUR L'ÎLE VICTORIA, AU NUNAVUT, PENDANT LA SAISON DE CROISSANCE DE 2015



Johann Wagner^{1*}, Donald S. McLennan¹, et A.K. Pedersen¹

¹ *Savoir polaire Canada, Cambridge Bay, Nunavut, Canada*

* johann.wagner@polar.gc.ca

Résumé

La phénologie est l'étude de la chronologie des événements du cycle de vie, et le développement phénologique des espèces végétales dépend fortement des variations saisonnières des facteurs environnementaux, en particulier la température. Les enregistrements phénologiques de communautés végétales entières – la « synphénologie » [synphenology] – sur des périodes de nombreuses années peuvent servir de repères précieux pour les changements de température interannuels attribuables au changement climatique et au réchauffement de la planète. Bien que la synphénologie des écosystèmes tempérés ait fait l'objet de recherches assez poussées, il y a relativement moins d'observations phénologiques dans l'Arctique, et des travaux synphénologiques n'ont jamais été effectués dans les régions de haute latitude à Cambridge Bay, sur l'île Victoria, au Nunavut. La phénologie des espèces de plantes vasculaires les plus représentatives de la région a été enregistrée pendant la saison de croissance de 2015, de la mi-juin au début de septembre. Le développement végétatif (feuilles) ainsi que génératif (fleurs/graines) chez les espèces de plantes arbustives, herbacées et graminées a été évalué à intervalles hebdomadaires à l'aide d'une clé phénologique à 11 stades phénologiques, depuis le développement de la première feuille et du premier bourgeon floral jusqu'à la mort des feuilles et à la dispersion des graines. De plus, les différents stades phénologiques des plantes ont été documentés par des photographies numériques qui ont été prises au moment

de l'évaluation phénologique. Ces données phénologiques ont été rassemblées en diagrammes synphénologiques, qui facilitent l'aperçu du développement phénologique de communautés végétales entières ainsi que la comparaison des différentes années.

Introduction

La phénologie peut être définie comme l'étude des phases du cycle de vie (phénophases) des plantes et des animaux dans leur occurrence temporelle tout au long de l'année, tandis que la phytophénologie est la branche de la phénologie qui étudie les rythmes saisonniers des plantes (Puppi, 2007; Forrest et Miller-Rushing, 2010). La phénologie des plantes dépend fortement des facteurs environnementaux dans des environnements rigoureux et très saisonniers comme les écosystèmes de la toundra (Thórhallsdóttir, 1998), et les températures ont la plus grande influence (Mooney et Billings, 1961; Thórhallsdóttir, 1998; Bjorkman et coll. 2015), ainsi que la photopériode (Mooney et Billings 1961; Heide 1992; Keller et Körner 2003) et la couverture de neige (Borner et coll. 2008; Bjorkman et coll. 2015) qui ont aussi des rôles importants. Les espèces végétales de tous les milieux modifient leur phénologie en réponse aux changements climatiques mondiaux (Cleland et coll. 2007). Les régions arctiques connaissent déjà les changements climatiques les plus rapides, avec l'augmentation des températures et des changements dans les précipitations

Citation suggérée :

Wagner, J., McLennan, D.S., Pedersen, A.K. 2018. « Synphénologie vasculaire des communautés végétales à Cambridge Bay, sur l'île Victoria, au Nunavut, pendant la saison de croissance de 2015 », Savoir polaire : Aqhaliat 2018, Savoir polaire Canada, p. 9-19. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.18

(GIEC, 2007), ce qui devrait avoir une forte influence sur les événements du cycle de vie des plantes qui croissent en dépit de contraintes environnementales importantes. L'observation phytologique sur de longues périodes peut s'avérer un précieux indicateur de la variation et des changements climatiques (Fang et Chen, 2015).

Étant donné l'importance de la surveillance de la phénologie des plantes dans les régions polaires et alpines, un certain nombre d'études examinent le moment des phases du cycle de vie des plantes dans des environnements naturels ou simulés de la toundra (Borner et coll. 2008; Molau 1993; Mooney et Billings 1961; Thórhallsdóttir, 1998; Wagner et Simons, 2008; Wookey et coll. 1993; Bjorkman et coll. 2015; Wheeler et coll. 2015). Toutefois, la plupart des méthodes sont axées sur une espèce ou un nombre limité d'espèces (Bean et Henry, 2003; Molau et coll. 1996; Mark et coll. 2016; Panchen et Gorelick 2015; Reynolds 1984), soit en utilisant des sources phénologiques historiques (Panchen et Gorelick 2017) ou en étudiant des espèces extraites de leur contexte de communauté végétale (Panchen et Gorelick 2016). Des méthodes synphénologiques, qui étudient les rythmes phénologiques de communautés végétales entières (Dierschke, 1989b; Puppi, 2007), ont été utilisées principalement dans les écosystèmes tempérés, surtout les écosystèmes forestiers (Coldea et Wagner, 1993-1994; Dierschke, 1972, 1982, 1989a, 1991; Pilková,

2015; Wagner, 1994). Peu d'études phénologiques portant sur des communautés végétales entières ont été réalisées dans des environnements de haute latitude de la toundra.

Cet article présente les résultats d'une étude synphénologique préliminaire dans plusieurs des écosystèmes arctiques décrits autour de Cambridge Bay, sur l'île Victoria, au Nunavut (McLennan et coll. 2018), pendant la saison de croissance de 2015, à partir de la mi-juin, peu après la fonte des neiges, au début de septembre, après la sénescence de la plupart des espèces végétales.

Matériaux et méthodes

Des observations synphénologiques ont été effectuées pendant la saison de croissance de 2015, de la mi-juin au début septembre, à des intervalles d'environ une semaine aux sites présentés au tableau 1, dans certains des écosystèmes (écosites) les plus importants autour de Cambridge Bay (McLennan et coll. 2018). La méthode utilisée pour évaluer la phénologie a été introduite pour la première fois par Dierschke en 1972, et a ensuite été perfectionnée les années suivantes (Dierschke 1982, 1989b, a, 1991). Les clés phénologiques d'origine des plantes vasculaires de Dierschke (1989 b) ont été adaptées aux caractéristiques de la flore de l'Arctique. Elles sont présentées au tableau 2. Ces clés évaluent à la fois le

développement végétatif (feuilles) et génératif (fleurs/graines) des plantes, et elles ont été séparées pour les arbustes, les plantes herbacées et les graminées. Elles caractérisent le développement phénologique des plantes selon 11 étapes, depuis le développement précoce des pousses/des bourgeons floraux jusqu'à la sénescence et à la mort des feuilles, et à la dispersion des graines.

Pendant les observations, on a tenté de consigner la phénologie de toutes les plantes vasculaires visibles et identifiables sur les sites. De plus, les différentes étapes phénologiques des plantes ont été enregistrées au moyen de photographies numériques prises au moment de l'évaluation phénologique, tant pour documenter les étapes que pour en faire une confirmation ultérieure. Les observations sur les diverses étapes phénologiques ont été rassemblées dans un tableau, les espèces étant ordonnées par leur phénologie de floraison, de la première à la dernière floraison. Le tableau 3 présente un exemple d'un tableau phénologique de ce type. Certaines des espèces végétales présentes dans ces écosystèmes sont petites et discrètes et ont donc été identifiées pour la première fois seulement plus tard dans la saison, ou n'ont pas été retrouvées après une première observation. Ces espèces, pour lesquelles les données phénologiques sont insuffisantes, ont été éliminées des tableaux phénologiques. Bien que ces tableaux offrent déjà un aperçu utile des phases phénologiques de la plupart des espèces végétales des

écosites, dans le cas d'un plus grand nombre d'espèces, une représentation graphique des données de ces tableaux sous forme de diagrammes synphénologiques facilite l'aperçu et l'analyse des données. Comme les tableaux phénologiques, dans lesquels les dates sont classées en colonnes, dans les diagrammes synphénologiques, la date est sur l'axe horizontal, tandis que les espèces sont présentées sur l'axe vertical dans l'ordre de leur phénologie de floraison, de la première à la dernière floraison. Leur développement végétatif est illustré par des barres horizontales et des lignes verticales, et les densités de lignes plus élevées correspondent aux stades de phénologie végétative plus près du développement complet des feuilles. Leur développement génératif est représenté par des barres verticales, dont la hauteur suggère l'ampleur de la floraison, et les couleurs correspondent aux couleurs des fleurs. Les figures 1 et 2 présentent de façon préliminaire les diagrammes synphénologiques de deux des sites étudiés du tableau 1.

Tableau 1 : Sites sur lesquels des observations synphénologiques ont été effectuées pendant la saison de croissance de 2015.

Nom du site	Chemin Mont Pelly	Zone humide	Littoral	Long Point	Chemin Dew Line	Chemin West
Latitude	69.15672	69.15849	69.10578	69.09373	69.15757	69.11432
Longitude	-104.91185	-104.91240	-105.38382	-105.44079	-105.19082	-105.37647
Écosite	01 – Dryade à feuilles entières – saxifrage à feuilles opposées (lithique)	09 – Carex aquatilis	16 – Élyme des sables d'Amérique (littoral marin)	16 – Élyme des sables d'Amérique (littoral marin)	01 – Dryade à feuilles entières – saxifrage à feuilles opposées avec aïrelle des marécages	
Description	Toundra mésique, écosite zonal reflétant le plus le bioclimat de la région	Carex riverain, le type de zone humide le plus commun	Écosite littoral sur substrat sableux	Écosite littoral sur substrat sableux	Toundra mésique, écosite zonal reflétant le plus le bioclimat de la région	Toundra mésique, écosite zonal reflétant le plus le bioclimat de la région

Tableau 2 : Les étapes phénologiques enregistrées pour les plantes vasculaires sur le site.

Arbustes

Stade phénologique végétatif	Stade phénologique génératif
0 – bourgeons complètement fermés	0 – pas de bourgeons floraux
1 – bourgeons avec des pointes vertes	1 – 1 ^{ers} bourgeons/inflorescence visible
2 – 1 à 30 % des feuilles sont développées	2 – bourgeons juste avant l'ouverture
3 – 31 à 60 % des feuilles sont développées	3 – 1 à 30 % des fleurs sont ouvertes
4 – 61 à 99 % des feuilles sont développées	4 – 31 à 60 % des fleurs sont ouvertes
5 – développement maximal des feuilles	5 – pleine floraison
6 – sénescence de la première feuille	6 – la plupart ou la totalité des fleurs sont tombées
7 – 1 à 30 % des feuilles changent de couleur	7 – fruits visibles
8 – 31 à 60 % des feuilles changent de couleur	8 – fruits presque à pleine grandeur et verts
9 – 61 à 99 % des feuilles changent de couleur	9 – fruits almost ripe, brown or dry
10 – arbustes sans feuille ou avec des feuilles mortes	10 – dispersion des graines

Herbacés

Stade phénologique végétatif

0 — entièrement déneigé; seulement des feuilles mortes
1 — première croissance de la saison/ première feuille
2 — 1 à 30 % des feuilles sont développées
3 — 31 à 60 % des feuilles sont développées
4 — 61 à 99 % des feuilles sont développées
5 — développement maximal des feuilles
6 — sénescence de la première feuille
7 — 1 à 30 % des feuilles sont sèches
8 — 31 à 60 % des feuilles sont sèches
9 — 61 à 99 % des feuilles sont sèches
10 — tige et feuilles complètement brunes et mortes

Graminoïdes

Stade phénologique végétatif

0 — entièrement déneigé; seulement des feuilles mortes
1 — premièreousse de la saison/ première feuille
2 — 1 à 30 % des pousses sont développées
3 — 31 à 60 % des pousses sont développées
4 — 61 à 99 % des pousses sont développées
5 — développement maximal des pousses
6 — sénescence de la première feuille
7 — 1 à 30 % des feuilles sont sèches
8 — 31 à 60 % des feuilles sont sèches
9 — 61 à 99 % des feuilles sont sèches
10 — tige et feuilles complètement brunes et mortes

p — feuilles persistantes et hivernantes de l'année précédente

m — marcescent

Résultats et discussion

Contrairement aux écosystèmes tempérés, dans lesquels le développement phénologique des communautés végétales s'étend sur une période de cinq à six mois de la saison de croissance, comptant jusqu'à dix phénophases clairement marquées (Coldea et Wagner, 1993-1994; Dierschke, 1982, 1989a, 1991; Wagner, 1994), le développement phénologique des plantes sur nos sites d'étude est fortement comprimé, et comprend peu de séparation discernable en phénophases (fig. 1, 2).

Stade phénologique génératif

0 — pas de bourgeons/d'inflorescence
1 — 1 ^{ers} bourgeons/inflorescence visible
2 — bourgeons juste avant l'ouverture
3 — 1 à 30 % des fleurs sont ouvertes
4 — 31 à 60 % des fleurs sont ouvertes
5 — pleine floraison
6 — la plupart ou la totalité des fleurs sont tombées
7 — les pétales sont complètement tombés et les fruits sont visibles
8 — fruits presque à pleine grandeur et verts
9 — fruits presque mûrs, bruns ou secs
10 — fruits entièrement mûrs et graines dispersées (bulbes dispersés)

Stade phénologique génératif

0 — aucune inflorescence
1 — 1 ^{re} inflorescence visible
2 — inflorescences juste avant l'ouverture
3 — premières anthères visibles
4 — 31 à 60 % des anthères sont ouvertes
5 — pleine floraison
6 — anthères qui commencent la sénescence
7 — anthères entièrement sénescentes, akènes visibles
8 — fruits presque à pleine grandeur et verts
9 — fruits presque mûrs, bruns ou secs
10 — fruits entièrement mûrs et dispersés

hibernent lorsque leurs bourgeons floraux sont presque matures fleurissent, survient immédiatement après la fonte des neiges, alors qu'il n'y a encore que peu de développement des feuilles chez ces espèces; par exemple, la saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga oppositifolia*), les saules *Saxifraga richardsonii* et *S. arctica*, et quelques *Draba*. La seconde phénophase commence par la floraison de la *Pedicularis lanata*, suivie par la floraison de la

plupart des autres plantes dans l'écosystème. La dernière phénophase débute à la fin de juillet ou au début d'août avec la floraison de quelques espèces tardives comme le *Hedysarum Boreale* ssp. *mackenzii*, le *Leymus mollis* ssp. *vilosissimus* et l'*Arctagrostis latifolia* (fig. 1, 2). Lorsqu'on examine la floraison de diverses espèces, il semble n'y avoir aucune propension pour les fleurs d'une certaine couleur à fleurir ensemble dans une certaine phénophase, ce qui est

Tableau 3 : Tableau phénologique d'un écosystème côtier marin à Long Point, Cambridge Bay.

Date	20-6-15	27-6-15	5-7-15	10-7-15	21-7-15	31-7-15	8-8-15	19-8-15	27-8-15	3-9-15
<i>Saxifraga oppositifolia</i> (saxifrage à feuilles opposées)	V	3	4	5	5	5	5	6	7	7
	G	4	5	6	7	8	8	9	10	10
<i>Salix arctica</i> (saule arctique)	V	1	3	4	5	5	5	6	10	9
	G	3	5	5	7	8	8	10	10	10
<i>Draba corymbosa</i> (drave en corymbe)	V	2	4	4	5	5	5	7	7	7
	G	2	5	5	6	8	8	10	10	10
<i>Draba glabella</i> (drave glabre)	V	2	3	3	3	5	5	7	7	7
	G	2	4	5	5	7	8	8	10	10
<i>Pedicularis lanata</i> (péridiculaire laineuse)	V	1	3	5	5	5	5	6	6	10
	G	0	1	5	5	7	8	9	9	10
<i>Saxifraga tricuspidata</i> (saxifrage à trois dents)	V	2	3	4	5	5	5	6	6	8
	G	2	2	3	5	5	6	8	9	10
<i>Oxyria digyna</i> (oxyrie de montagne)	V	2	3	4	5	5	5	7	8	9
	G	2	3	5	6	7	8	10	10	10
<i>Oxytropis arctica</i> (oxytropie arctique)	V	2	3	4	5	5	5	6	7	8
	G	1	3	5	5	8	9	9	9	10
<i>Papaver radicatum</i> (pavot arctique)	V	2	3	4	4	5	5	6	6	7
	G	1	1	4	5	6	8	8	10	10
<i>Silene acaulis</i> (silène acaule)	V	2	4	4	5	5	5	6	7	7
	G	0	1	4	5	6	7	9	10	10
<i>Taraxacum phymatocarpum</i> (pisseinlit en lyre)	V	2	3	4	4	5	5	6	6	9
	G	1	1	4	5	5	10	10	10	10

Date		20-6-15	27-6-15	5-7-15	10-7-15	21-7-15	31-7-15	8-8-15	19-8-15	27-8-15	3-9-15
<i>Oxytropis arctobia</i> (oxytropie arctobie)	V	1	2	3	5	5	5	5	7	7	7
	G	0	3	1	5	6	8	9	9	10	10
<i>Armeria scabra</i> (armeria du Labrador)	V	2	3	4	5	5	5	5	6	6	7
	G	1	2	2	5	6	6	7	8	10	10
<i>Silene uralensis</i> (silène de l'Oural)	V	1	2	4	4	5	5	5	7	7	10
	G	0	1	3	5	5	8	10	10	10	10
<i>Potentilla pulchella</i> (potentille jolie)	V	1	4	4	5	5	5	5	5	6	7
	G	0	3	3	5	5	6	7	9	10	10
<i>Minuartia rossii</i> (minuartie de Ross)	V	1	3	3	5	5	5	5	5	6	8
	G	0	3	3	5	5	5	7	7	7	9
<i>Astragalus alpinus</i> (astragale alpin)	V	1	3	4	4	5	5	5	6	6	8
	G	0	1	3	4	5	6	7	9	9	10
<i>Chamerion latifolium</i> (épilobe à feuilles larges)	V	1	2	3	4	5	5	5	5	6	9
	G	0	1	2	2	5	5	7	9	9	9
<i>Poa arctica</i> (pâturin arctique)	V	1	2	2	2	5	5	5	5	6	7
	G	0	0	1	2	5	6	7	7	9	10
<i>Festuca brachyphylla</i> (fétuque à feuilles courtes)	V	0	1	2	4	5	5	5	6	6	7
	G	0	0	1	2	4	6	7	9	9	10
<i>Leymus mollis</i> ssp. <i>vilosissimus</i> (seigle de mer)	V	1	2	2	3	4	4	5	5	6	7
	G	0	0	2	1	3	6	6	6	8	8

le cas dans certains écosystèmes tempérés, où les espèces dont les fleurs sont jaunes ont tendance à fleurir vers la fin de la saison de croissance (Coldea et Wagner 1993–1994; Wagner 1994).

(Environnement Canada, à partir de 1953). Après cette date, les températures moyennes quotidiennes diminuent rapidement et, à la fin d'août, la plupart des plantes sont complètement sénescentes (fig. 1, 2).

La sénescence de la plupart des plantes semble commencer à la mi-août, alors que les températures moyennes quotidiennes sont inférieures à +7 °C pour la première fois

Une phénologie de floraison intéressante est exposée par la légumineuse *Oxytropis arctobia*, qui fleurit abondamment dans la première moitié de juillet, avec les

Figure 1 : Diagramme synphénologique pour un écosite de type 16 – mollusques *Leymus* dans un écosystème côtier marin à Long Point, Cambridge Bay.

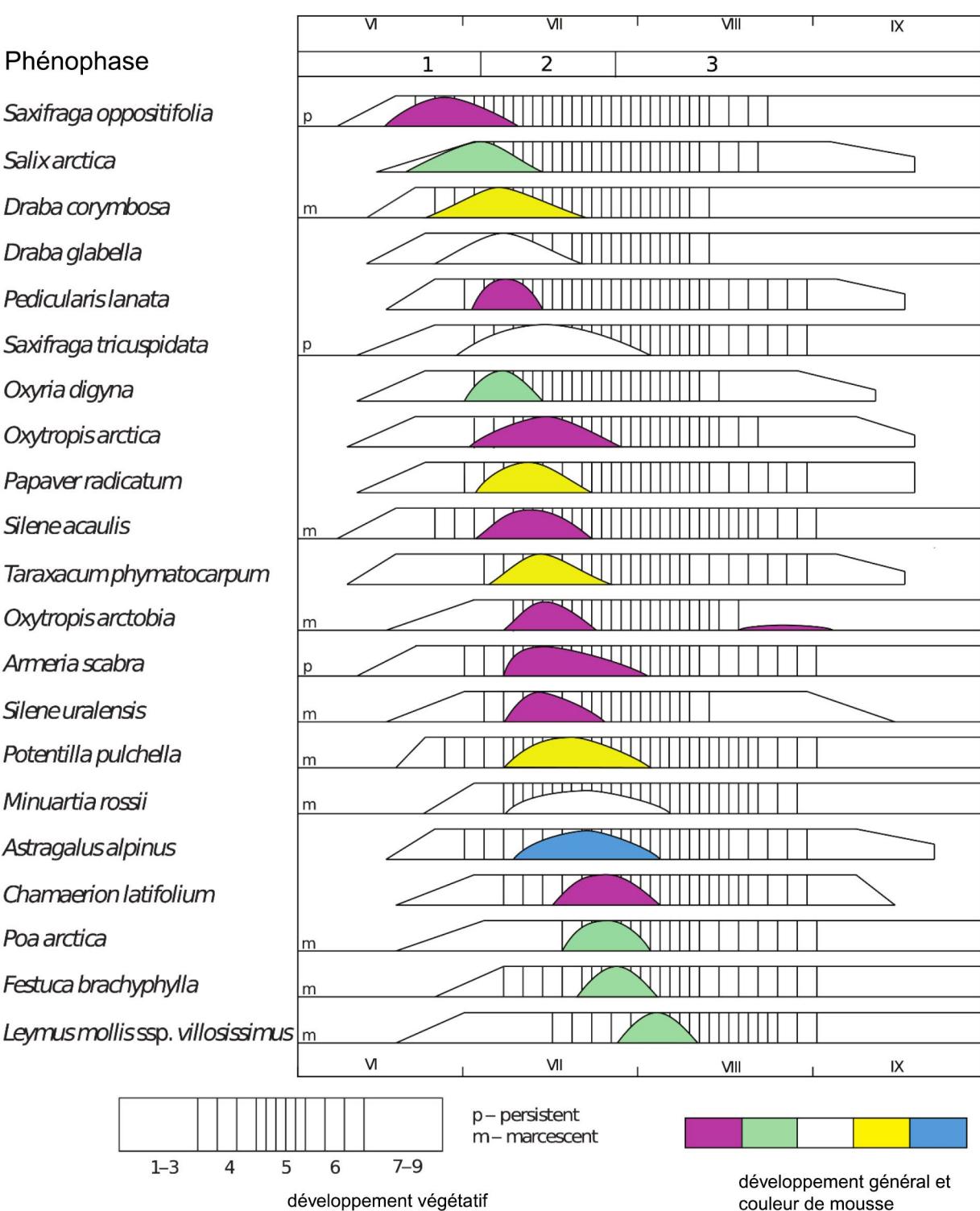
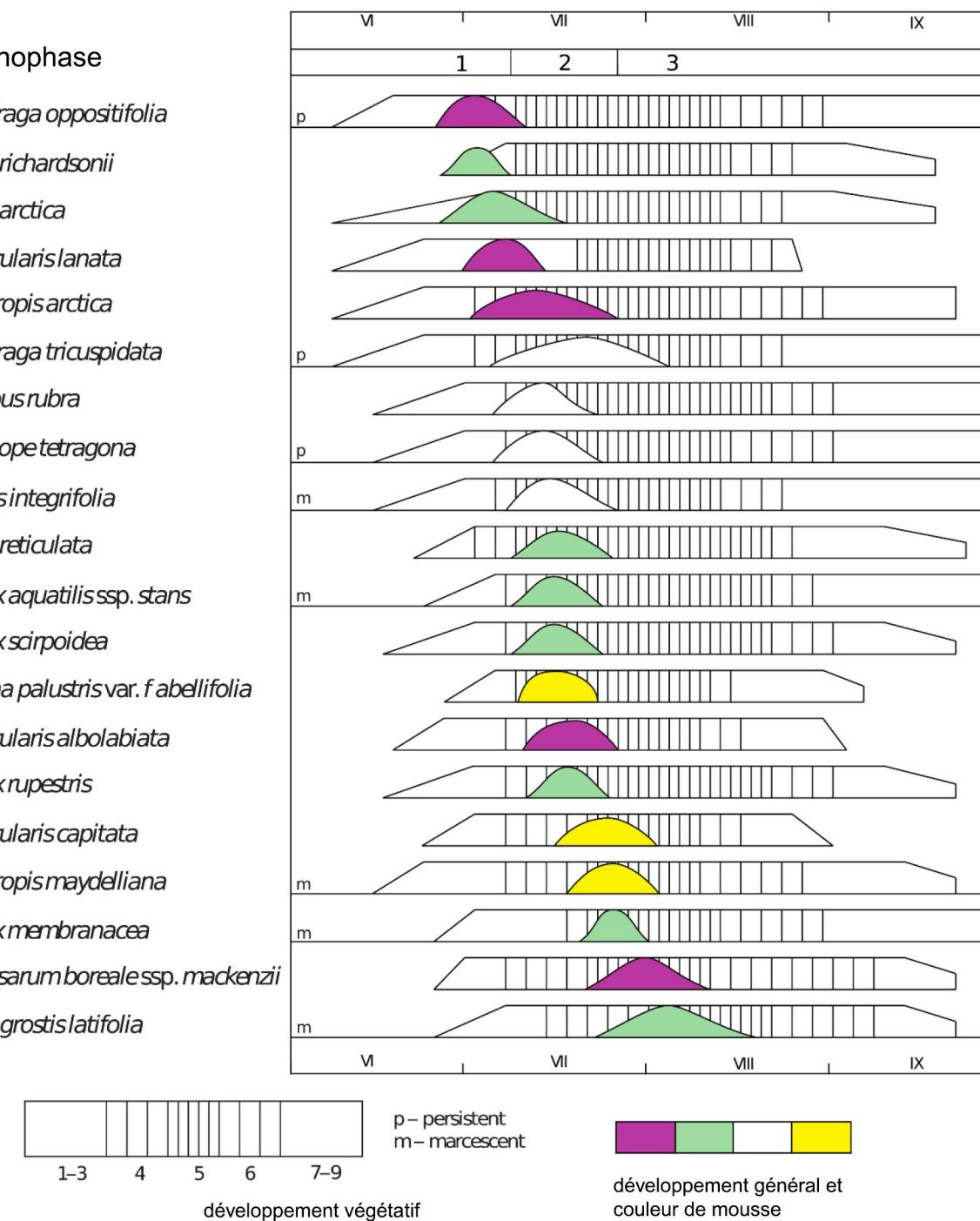


Figure 2 : Diagramme synphénologique pour un écosystème de toundra de type 01 – Dryade à feuilles entières – saxifrage à feuilles opposées dans un écosystème de toundra mésique le long du chemin Dew Line, à Cambridge Bay.



espèces *Dryas integrifolia* et *Oxytropis arctica*. L'*Oxytropis arctobia* présente toutefois un point culminant de floraison secondaire d'une plus petite ampleur très tard dans la saison, vers la fin d'août, après que ses feuilles ont commencé leur sénescence (fig. 1). On ne sait pas si cette phase de floraison secondaire est due à un petit nombre d'individus qui ont retardé leur floraison de plusieurs semaines, ou à des individus qui fleurissent deux fois une fois pendant la phase de floraison principale et une

deuxième fois tard dans la saison. En raison des contraintes d'investissement d'énergie dans la floraison auxquelles les plantes de l'Arctique sont soumises, il est presque certain que la floraison secondaire est due au retard de la floraison d'un sous-ensemble d'individus. L'importance évolutive et adaptative de cette seconde floraison est actuellement inconnue, mais représenterait un sujet intéressant pour un projet à venir.

Conclusions et préoccupations de la collectivité

En raison de la sensibilité de la phénologie végétale aux facteurs environnementaux (c.-à-d. les variations météorologiques et climatiques), les observations phénologiques et synphénologiques à long terme sont un outil important, non seulement pour la surveillance des écosystèmes, mais aussi pour la surveillance des changements climatiques. De plus, les observations phénologiques nécessitent peu de ressources et sont donc particulièrement bien adaptées à la surveillance communautaire, par laquelle les collectivités locales très observatrices quant aux moindres changements environnementaux, peuvent apporter une contribution inestimable. Nos observations synphénologiques effectuées pendant une seule saison de croissance ne représentent qu'un aperçu des interactions complexes entre les écosystèmes et un environnement difficile et imprévisible, tant pendant la saison de croissance qu'entre les saisons de croissance. Un programme de surveillance phénologique se poursuivant sur de nombreuses années, voire des décennies, donnerait une image beaucoup plus précise de l'interaction entre les plantes, les écosystèmes et l'environnement changeant. Les diagrammes synoptiques offrent un aperçu complet de la phénologie de communautés végétales entières. Lorsque la couverture relative des plantes à divers stades phénologiques est enregistrée au cours des observations, les diagrammes synphénologiques peuvent offrir à la fois des renseignements qualitatifs sur les phénophases et des données quantitatives sur l'ampleur de ces phases phénologiques. Au cours des prochaines étapes, nous poursuivrons nos observations synphénologiques dans les écosystèmes les plus importants du sud-est de l'île Victoria, en utilisant un système de clés phénologiques amélioré en 12 étapes phénologiques et en enregistrant également la couverture relative des espèces aux divers stades phénologiques.

Remerciements

Nous tenons à remercier Cathy Anablak et Leonard Wingnek de leur aide pour les observations phénologiques sur le terrain. Nous tenons également à remercier le ministère de l'Environnement du Nunavut d'avoir délivré le permis de recherche sur la faune pour ce projet.

Références

- Bean, D. and Henry, G. 2003. CANTTEX field manual: Part A—setting up a basic monitoring site. Eman North, London.

Bjorkman, A.D., Elmendorf, S.C., Beamish, A.L., Vellend, M., and Henry, G.H.R. 2015. Contrasting effects of warming and increased snowfall on Arctic tundra plant phenology over the past two decades. *Global Change Biology* 21 (12):4651–4661. doi:10.1111/gcb.13051.

Borner, A.P., Kielland, K., and Walker, M.D. 2008. Effects of simulated climate change on plant phenology and nitrogen mineralization in Alaskan Arctic tundra. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 40 (1):27–38.

Cleland, E.E., Chuine, I. and Menzel, A. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution* 22 (7):357–365.

Coldea, G. and Wagner, I. 1993–1994. Cercetări simfenologice asupra vegetației din bazinele superioare ale Văii Huzii (Munții Săcel) (Synphenological research on the vegetation of the upper basin of the Huzii Valley, Săcel Mountain). *Contribuții Botanice*:23–28.

Dierschke, H. 1972. Zur Aufnahme und Darstellung phänologischer Erscheinungen in Pflanzengesellschaften (About recording and representation of phenological events in plant communities). In: Grundfragen und Methoden in der Pflanzensoziologie. Dr. W. Junk N.V., pp 291–311.

Dierschke, H. (1982) Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Wäldern Süd-Niedersachsens: 1. Phänologischer Jahresrhythmus sommergrüner Laubwälder (Plant community and ecological investigations in the forests of southern Lower Saxony: I. Annual phenological rhythm of deciduous forests). *Tuexenia* 2:173–194.

Dierschke, H. 1989a. Kleinräumige Vegetationsstruktur und phänologischer Rhythmus eines Kalkbuchenwaldes (Small-scale vegetation structure and phenological rhythm of a beech forest on limestone). *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 17:121–142.

- Dierschke, H. 1989b. Symphänologische Aufnahmee- und Bestimmungsschlüssel für Blütenpflanzen und ihre Gesellschaften in Mitteleuropa (Synphenological recording and identification keys for flowering plants and their communities in Central Europe). *Tuexenia* 9:477–484.
- Dierschke, H. 1991. Phytophänologische Untersuchungen in Wäldern: Methodische Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten im passiven Biomonitoring (Plant phenology investigations in forests: Methodological basis and application possibilities in passive biomonitoring). *Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landshaftspflege in Baden-Württemberg* 64:76–86.
- Environment Canada. Historical climate data for Cambridge Bay Airport, Nunavut (1953 onwards). Available from http://climate.weather.gc.ca/historical_data/search_historic_data_e.html [accessed 22 June 2018].
- Fang, X. and Chen, F. 2015. Plant phenology and climate change. *Science China Earth Sciences* 58 (6):1043–1044. doi:10.1007/s11430-015-5077-7.
- Forrest, J. and Miller-Rushing, A.J. 2010. Toward a synthetic understanding of the role of phenology in ecology and evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1555): 3101–3112.
- Heide, O.M. 1992. Flowering strategies of the High-Arctic and high-alpine snow bed grass species *Phippia algida*. *Physiol Plantarum* 85 (4):606–610.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Climate change 2007: Synthesis report. Cambridge University Press, New York.
- Keller, F. and Körner, C. 2003. The role of photoperiodism in alpine plant development. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 35 (3):361–368.
- Mark, A.K.G., Nanna, B., and Elisabeth, J.C. 2016. High Arctic flowering phenology and plant–pollinator interactions in response to delayed snow melt and simulated warming. *Environmental Research Letters* 11 (11):115006.
- McLennan, D.S., MacKenzie, W.H., Meidinger, D.V., Wagner, J., and Arko, C. 2018. A standardized ecosystem classification for the coordination and design of long-term terrestrial ecosystem monitoring in Arctic-Subarctic biomes. *Arctic* 71 (Suppl. 1):1–15. Available from doi:<https://doi.org/10.14430/arctic4621>.
- Molau, U. 1993. Relationships between flowering phenology and life history strategies in tundra plants. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 25 (4):391–402.
- Molau, U., and Mølgaard, P. 1996. ITEX manual. Danish Polar Center, Copenhagen.
- Mooney, H.A. and Billings, W.D. 1961. Comparative physiological ecology of arctic and alpine populations of *Oxyria digyna*. *Ecological Monographs* 31 (1):1–29.
- Panchen, Z.A. and Gorelick, R. 2015. Flowering and fruiting responses to climate change of two Arctic plant species, purple saxifrage (*Saxifraga oppositifolia*) and mountain avens (*Dryas integrifolia*). *Arctic Science* 1 (2):45–58. doi:10.1139/as-2015-0016.
- Panchen, Z.A. and Gorelick, R. 2016. Canadian Arctic Archipelago conspecifics flower earlier in the High Arctic than the mid-Arctic. *International Journal of Plant Sciences* 177 (8):661–670. doi:10.1086/687984.
- Panchen, Z.A. and Gorelick, R. 2017. Prediction of Arctic plant phenological sensitivity to climate change from historical records. *Ecology and Evolution* 7 (5):1325–1338. doi:10.1002/ece3.2702.
- Pilková, I. 2015. Synphenology of herb layer of *Carpinion betuli* community in the Báb Forest. *Acta Universitatis Agriculturae Silviculturae Mendelianae Brunensis* 63 (5):1513–1521.
- Puppi, G. 2007. Origin and development of phenology as a science. *Italian Journal of Agrometeorology* 3:24–29.
- Reynolds, D.N. 1984. Alpine annual plants: phenology, germination, photosynthesis, and growth of three Rocky Mountain species. *Ecology* 65 (3):759–766.
- Thórhallsdóttir, T.E. 1998. Flowering phenology in the central highland of Iceland and implications for climatic warming in the Arctic. *Oecologia* 114 (1):43–49.
- Wagner, I. 1994. Observații fenologice asupra unei pajiști mezofile din bazinul superior al Văii Huzii (Muntele Săcel, Județ. Cluj) (Phenological observations on a mesophilous meadow in the upper basin of the Huzii Valley, Săcel Mountain, Cluj county). *Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Biologia* XXXIX (1):15–18.
- Wagner, I. and Simons, A.M. 2008. Divergence among Arctic and alpine populations of the annual *Koenigia islandica*: Morphology, life history, and phenology. *Ecography* 32 (1):114–122. doi:10.1111/j.1600-0587.2008.05497.x.
- Wheeler, H.C., Høye, T.T., Schmidt, N.M., Svenning, J-C, and Forchhammer, M.C. 2015. Phenological mismatch with abiotic conditions—implications for flowering in Arctic plants. *Ecology* 96 (3):775–787. doi:10.1890/14-0338.1.
- Wookey, P., Parsons, A.N., Welker, J.M., Potter, J.A., Callaghan, T.V., Lee, J.A., and Press, M.C. 1993. Comparative responses of phenology and reproductive development to simulated environmental change in Subarctic and High Arctic plants. *Oikos* 67:490–502.