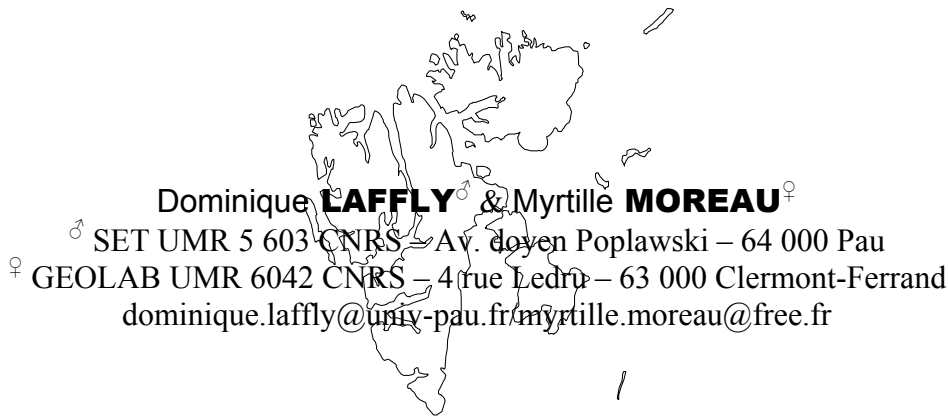


Aux premiers temps des paysages dans le haut-Arctique

Approche intégrée de la mise en place des paysages dans un contexte de changement climatique global depuis la fin du Petit Âge Glaciaire



Résumé : La fin du Petit Âge Glaciaire signe le début du retrait glaciaire au Spitsberg (79° N) vers 1880. Les marges proglaciaires sont un des marqueurs paysagers les plus importants de ce nouveau contexte post-glaciaire surtout au Spitsberg où 60% de la superficie est couverte par les glaciers. Cet élément paysager élaboré depuis plus de cent ans est aujourd'hui le théâtre de dynamiques végétales : la colonisation végétale. Ces pas de temps distincts, dans les dynamiques de mise en place et d'évolution du paysage intra-morainique, se croisent et offrent au final une mosaïque de paysages. Ce panel né du côtoiement d'espaces en construction depuis le départ du glacier, au début du XX^{ème} siècle, à ceux tout récemment déglacés. Cette complexité dans les temps d'élaboration du paysage intra-morainique a été observée sur les marges proglaciaires des midre et austre Lovénbreen sur la façade nord-occidentale du Spitsberg. Il est possible à partir des séries de photographies aériennes de reconstruire la chronologie de déglaciation des dépôts morainiques. Les secteurs intramorainiques ainsi datés et associés à des relevés de terrain permettent d'estimer les rythmes d'installation du couvert végétal et les successions floristiques qui se succèdent. Cette chronologie met en évidence d'autres facteurs clés dans la dynamique des milieux tels que ceux liés à la microtopographie que nous modélisons in fine pour produire des cartes de probabilités d'apparition de plantes elle-même témoins de l'accentuation du réchauffement climatique.

Mots-clés : Petit Âge Glaciaire, recul glaciaire, colonisation végétale, marge proglaciaire, microtopographie, MNT, probabilités.

Introduction

L'incidence du réchauffement climatique global sur les milieux naturels et les écosystèmes prend une place importante parmi les recherches conduites au Spitsberg. Les signes de ce changement sont convergents et importants depuis la fin du Petit Âge Glaciaire dont la date se situe aux environs de 1880 (André, 1995). Dans certaines zones arctiques, la remontée de la température moyenne annuelle dépasse les 4°C (Héquette, 1986). Un tel réchauffement a provoqué un recul rapide de la majorité des glaciers à partir de 1918 (Lefauconnier et *al.* 1990) ; des surfaces importantes se sont libérées et s'ouvrent à la colonisation végétale. Quels sont les temps de réponse de la végétation pour coloniser les espaces récemment déglacés ? De nombreux travaux ont abordé cette question en Arctique et en montagne (Stork, 1963; Moiroud, 1976; Birks, 1980; Matthews, 1992 ; Moreau, 2001). Ils ont montré comment la reconquête végétale accompagne la maturation des moraines. Mais qu'en est-il pour le haut-Arctique ? Les contraintes de l'environnement polaire pèsent sur le développement des végétaux, en terme de variété floristique (160 espèces de phanérogames au Spitsberg, Rønning, 1996) et de biomasse. Dans ce contexte, l'objectif de la présente étude est d'analyser le processus de reconquête végétale aux fronts des glaciers midre et austre Lovénbreen en presqu'île de Brøgger (79° N). Une campagne d'observations systématiques entre les fronts glaciaires et les arcs morainiques externes, nous permet dans un premier temps de caractériser les étapes de la reconquête végétale, qu'il s'agisse de la diversification des espèces ou de l'extension du couvert végétal. Bien que prépondérant, l'âge des surfaces ne permet pas à lui seul de modéliser l'évolution des paysages. C'est pourquoi, dans une seconde étape, nous tentons d'intégrer via une modélisation probabiliste, des facteurs microtopographiques pour affiner notre analyse. Il est alors possible de spatialiser – dans le sens de couvrir de manière continue l'espace considéré – des variables décrivant la végétation observée initialement ponctuellement.

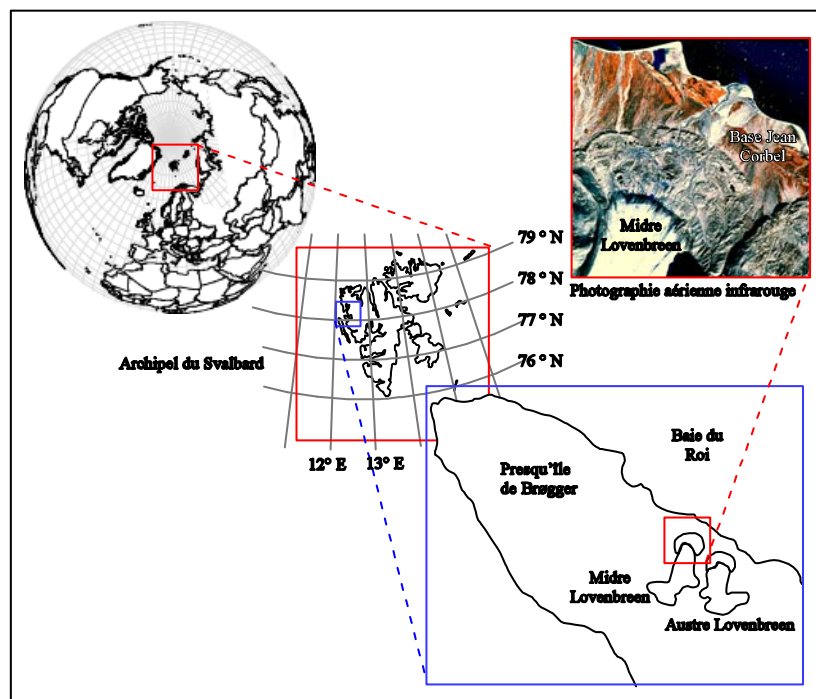


Figure 1 : Localisation des secteurs morainiques étudiés

Le terrain d'étude et les données utilisées

Le Spitsberg, île principale de l'archipel du Svalbard, se situe entre 76°N et 81°N (figure 1). Sous l'influence du courant chaud Nord Atlantique, la façade ouest de l'île est marquée par un climat polaire maritime plus doux et plus humide qu'ailleurs à la même latitude. Les marges proglaciaires des glaciers Lovénbreen observées pour cette étude se situent au nord-ouest de l'île, à 79°N, en presque-île de Brøgger. Nous sommes dans la zone du haut-Arctique considérée botaniquement comme occupée par la toundra, plus particulièrement sur la façade ouest du Spitsberg qualifiée de zone à *Dryas octopetala* (Elvebakk, 1997). La végétation de la toundra est très structurée, les différentes espèces végétales se distribuant de manière très régulière. Les variations du couvert végétal sont étroitement liées à celles des facteurs environnementaux si bien qu'elles reflètent parfaitement les modifications induites au niveau micro-géomorphologique par les agents physiques (substrat, hydrologie, etc) (Nilsen et *al.*, 1999). Ainsi, Nimis (1985) montre, en presque-île de Brøgger, que toutes les transitions entre les types de communautés végétales correspondent aux variations dans l'inclinaison du sol. La végétation de la toundra a la particularité d'être un marqueur très sensible des conditions topographiques et de répondre aux évolutions géomorphologiques des stations végétalisées. Qu'en est-il dans la zone intramorainique où le couvert végétal est en pleine évolution ? Comment observé un système paysager...

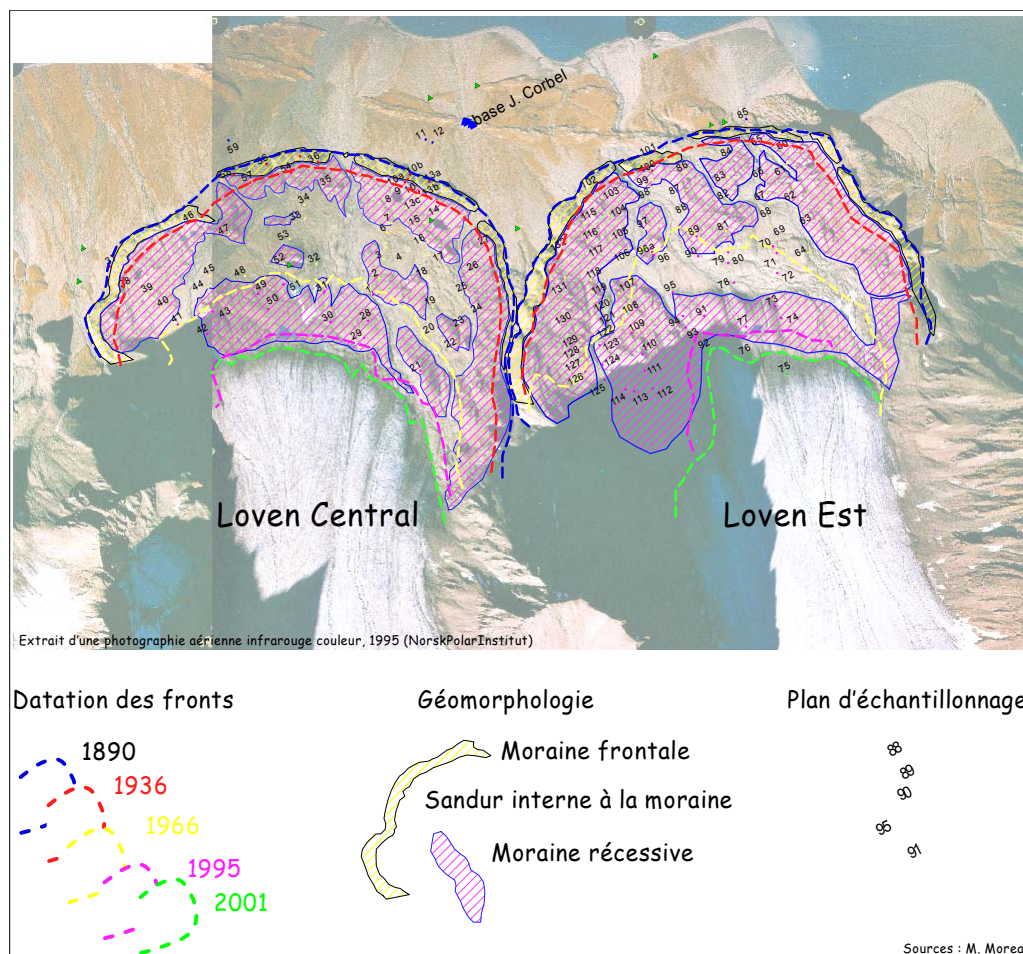


Figure 2 : Plan d'échantillonnage des données terrain.
D'après la photographie aérienne de 1995 du Norsk Polarinstutt

Le recul glaciaire et l'âge des surfaces peuvent être suivi à partir de couvertures de photographies aériennes orthorectifiées. La cartographie du recul des glaciers est réalisée à partir de la position de la moraine frontale pour l'extension maximale du Petit Âge Glaciaire de photographies obliques pour 1936 et photographies verticales de 1948. En combinant l'âge des surfaces avec une carte sommaire des contextes géomorphologiques intramorainiques, nous définissons des quotas de relevés. Le plan d'échantillonnage suit un cheminement le long de transects du front des glaciers aux vallums morainiques (figure 2). Chaque relevé s'intéresse à la composition végétale et au contexte géomorphologique. Le relevé est réalisé à partir de plusieurs grilles de 1 m² qui permettent une observation ponctuelle surfacique (positionnement au GPS différentiel).

Les indicateurs de la microtopographie sont calculés à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à très haute résolution spatiale (maille de 2m) réalisé au cours de précédentes missions par des mesures avec un GPS différentiel (Brossard & al., 1998).

Méthodologie

La figure 3 présente une chaîne méthodologique soulignant les échelles de temps et les niveaux d'observations géographiques associés à notre démarche. Le temps est celui qui nous sépare de l'optimum du Petit Âge Glaciaire lui-même inscrit dans d'autres cycles et dans un contexte de changement global. Notre niveau d'observation est celui des espaces intramorainiques libérés des glaces, siège de la colonisation végétale.

La première phase d'analyse repose sur une démarche de statistique descriptive classique. Les rythmes de la colonisation végétale sont donnés par le laps de temps écoulé entre le retrait de la glace et la mise en place des différents stades de végétation. Chacun de ceux-ci est défini par un cortège floristique caractéristique (figure 4).

Il est par ailleurs connu que l'âge des surfaces, bien qu'étant un élément explicatif prépondérant, ne permet pas d'expliquer à lui seul les dynamiques végétales (Vetaas, O.R., 1997 ; Jumpponen et al., 1999). D'autres facteurs interviennent comme ceux liés à l'aérologie de surface et à la microtopographie (niveau 1 sur la figure 5). Brossard & al. ont modélisé les conditions climatiques à très haute résolution spatiale dans les espaces intramorainiques montrant ainsi l'importance de la microtopographie pour le développement des plantes. Le chaos intramorainique constitue une mosaïque de microfaciès en cuvettes, bosses, arêtes et autres versants aux potentiels nuancés pour la reconquête végétale. Dans le but de mesurer l'influence du microrelief dans le fonctionnement du système paysager, nous procédons à une seconde campagne d'observation. Ces relevés sont fondés sur un plan d'échantillonnage (Keersmaecker, 1984 ; Laffly & al., 2002) déterminé selon des quotas de fréquences d'apparition de variables microtopographiques telles que l'altitude, la pente, le rayonnement global au solstice d'été, l'orientation, la forme dominante... (figure 5). Cette seconde phase est rendu possible par l'existence d'un MNT à très haute résolution spatiale (2 m de résolution) levé par utilisation d'un GPS différentiel (40 000 points) au cours de plusieurs missions entre 1995 et 1999.

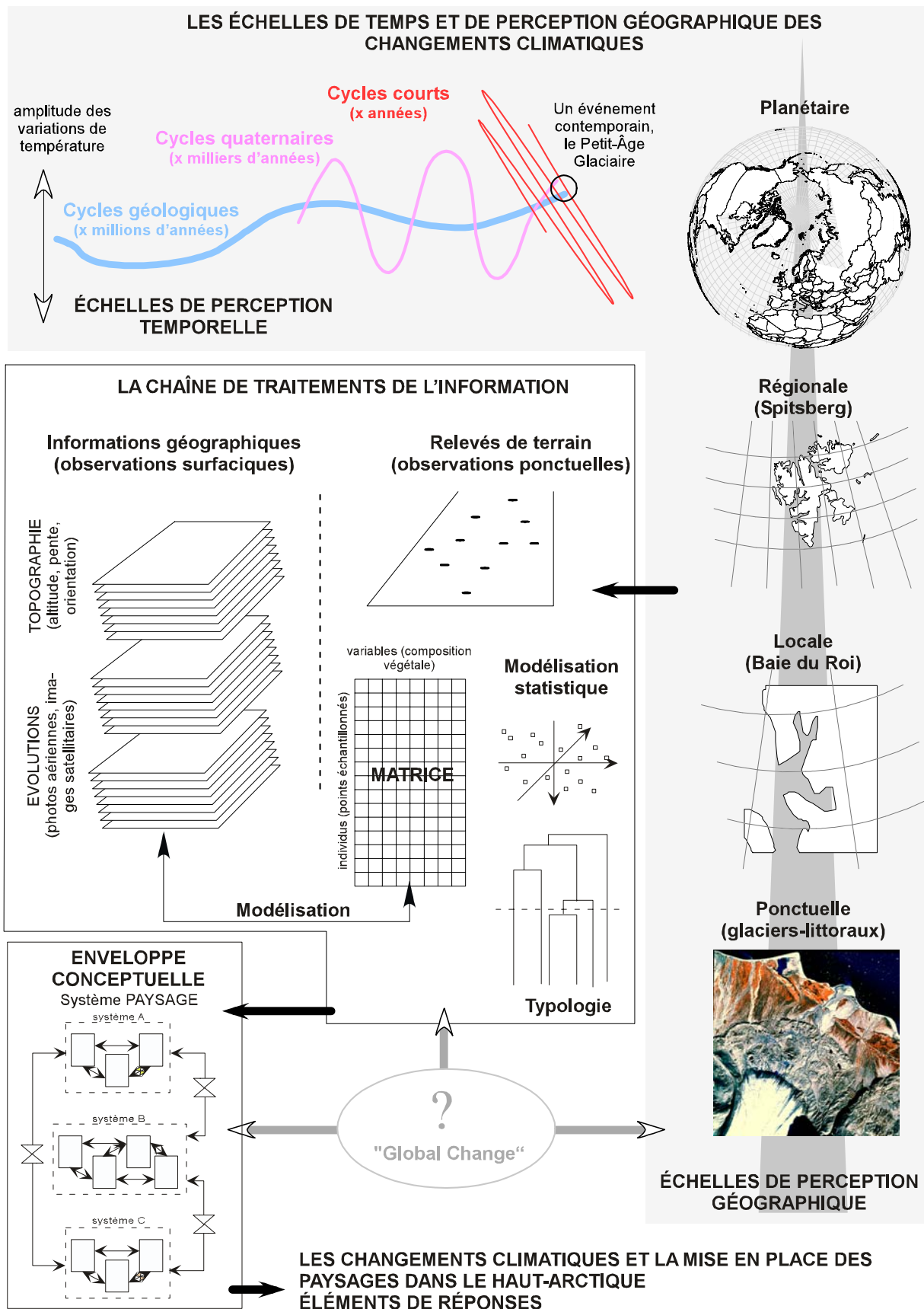


Figure 3 : Les échelles de temps et les niveaux d'observation géographique

Les données collectées – selon la même stratégie que celle présentée plus – font l’objet d’une analyse statistique multivariée – Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) – dans le but d’obtenir une typologie associant faciès microtopographique et composition végétale.

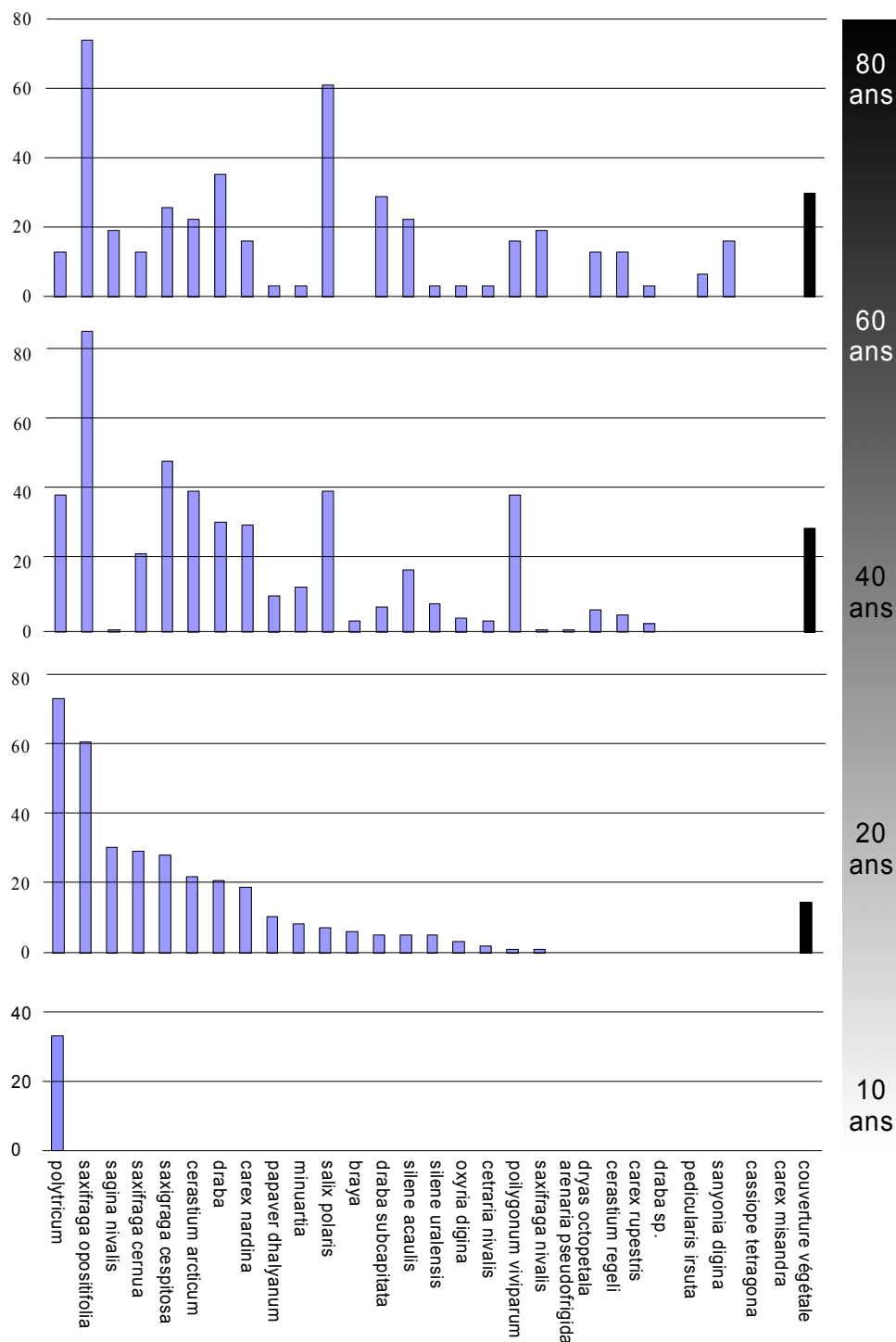


Figure 4 : Évolution de la fréquence et de la présence des espèces végétales en relation avec la maturation des surfaces, sur les marges proglaciaires des midre et austre Lovénbreen

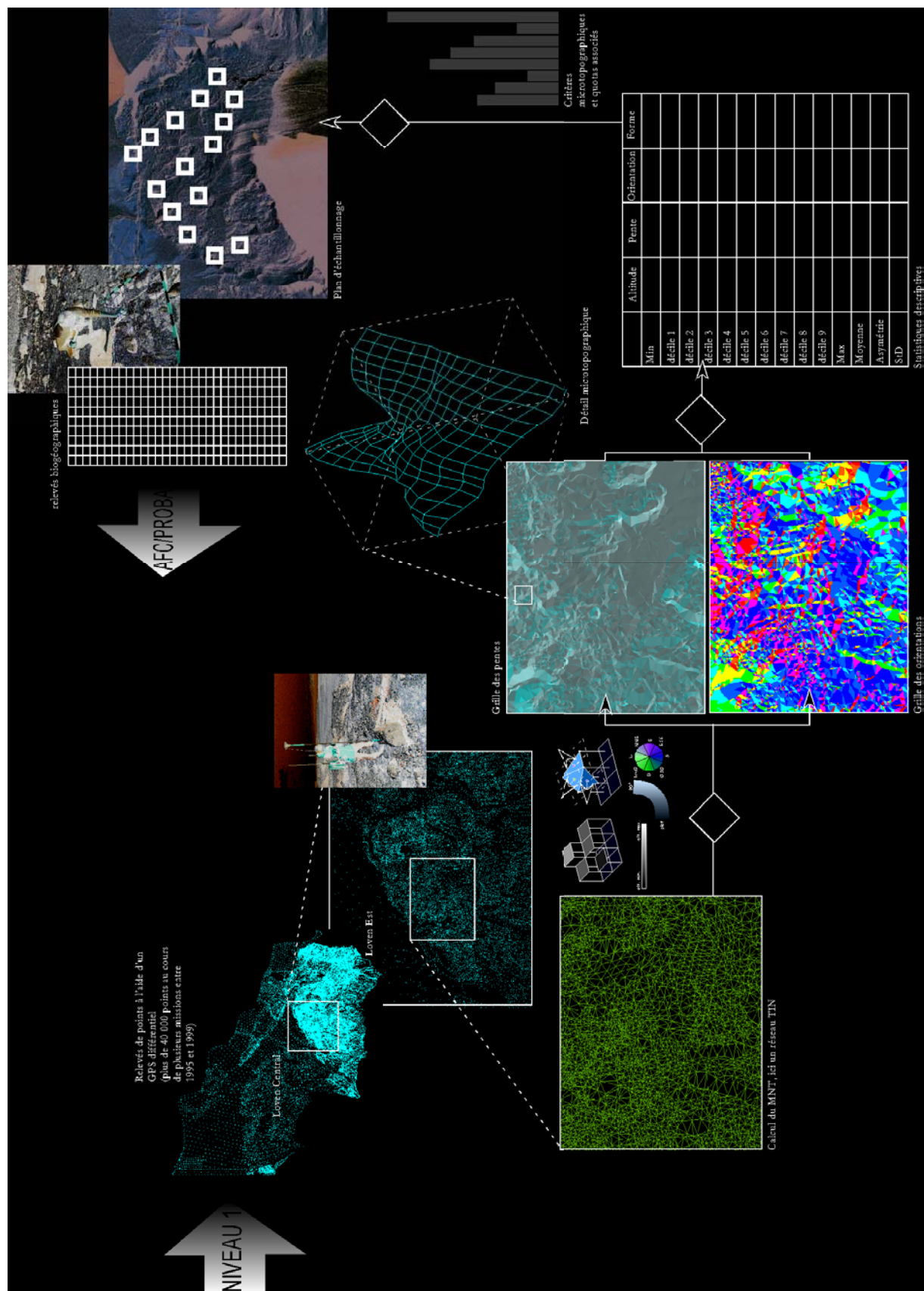


Figure 5 : Intégrer les facteurs microtopographiques

Les profils de variables, définissant chacune des classes, sont fixés comme des règles de probabilités empiriques dans une démarche bayésienne (1). Par conséquent, connaissant le profil des variables d'un individu il est possible de déduire sa probabilité d'appartenir à chacune des classes (Cochran, 1997). De là plusieurs scénarios sont envisageables (Brossard & al., 1994) : classer l'individu dans la classe ayant le plus fort score de probabilités ; donner à l'individu la probabilité pour une classe sélectionnée ; connaissant à quelle classe appartient l'individu, donner la probabilité d'apparition de telle ou telle variable.

(1)

$$P(B_i/A) = \frac{P(B_i).P(A/B_i)}{\sum_{j=1}^n P(B_j).P(A/B_j)}$$

où $P(B_i/A)$: probabilité conditionnelle de l'évènement B_i sachant que l'évènement A est réalisé ;
 $P(B_i)$: probabilité conditionnelle de l'évènement B_i ;
 $P(A/B_i)$: probabilité conditionnelle de l'évènement A sachant que l'évènement B_i est réalisé ;
 $P(B_j)$: probabilité conditionnelle de l'évènement B_j ;
 $P(A/B_j)$: probabilité conditionnelle de l'évènement A sachant que l'évènement B_j est réalisé ;
 n : nombre d'évènements possibles.

Nous utiliserons les variables spatialisées de la microtopographie pour cartographier en terme de probabilités d'apparition les variables décrivant la végétation observées initialement ponctuellement sur le terrain (AFC/PROBA sur la figure 5).

Résultats et discussions

Depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, on a pu identifier, au sein de l'appareil morainique, quatre stades de retrait glaciaire. En terme floristique, l'analyse des relevés fait ressortir un ajustement significatif de la végétation à ces quatre phases de retrait (figure 4). Depuis le front glaciaire jusqu'au vallum externe, on distingue les éléments caractéristiques suivants :

- À proximité du front actuel où la glace a disparu depuis moins de 10 ans, le taux de recouvrement végétal est quasi nul et deux espèces de mousses amorcent la colonisation : *Polytrichum species* et *Onchophorus wahlenbergii*.
- Un peu plus éloignée du front, une auréole déglacée depuis 35 ans environ se relie à un deuxième stade de colonisation. 16 espèces végétales y sont dénombrées avec un recouvrement au sol de 15 %.
- Avec le troisième stade qui remonte jusqu'à soixante ans, le cortège floristique compte 22 espèces et couvre 30 % du sol.
- Enfin, associé à la première phase de retrait consécutive au Petit Âge Glaciaire, la diversification végétale marque le pas. Le nombre d'espèces reste le même qu'au stade plus récent mais avec une recomposition qualitative. Ainsi, certaines espèces végétales comme *Dryas octopetala* sont plus abondantes et tendent à imprimer leur marque au couvert végétal. À ce stade, le processus de colonisation est toutefois loin d'être parvenu à son terme. Les taux de recouvrement restent faibles ; le paysage morainique du vallum externe garde un caractère minéral marqué avec une physionomie végétale encore pionnière, éloignée de la toundra d'équilibre.

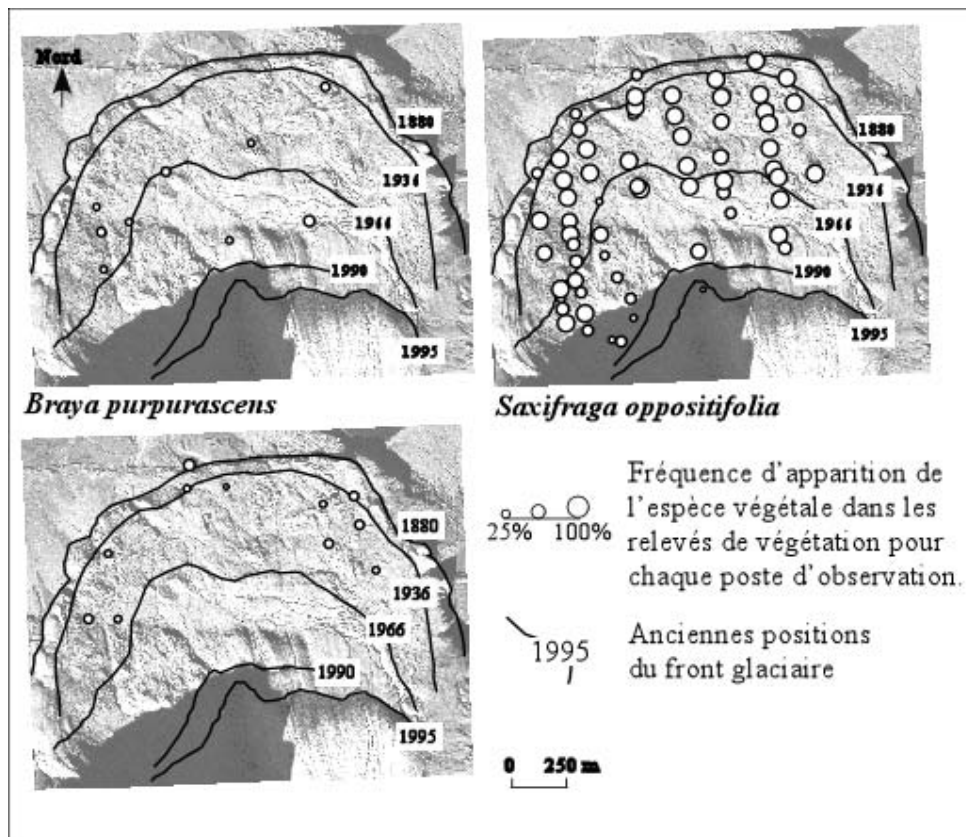


Figure 6 : Distribution spatiale de différentes espèces végétales

Des cartes de distribution espèce par espèce permettraient de compléter ce bilan global et de définir quel est le délai nécessaire à chacune pour s'installer. Comme il n'est pas possible de procéder à un inventaire complet, trois exemples sont choisis (figure 6) ; ils montrent comment les stratégies de colonisation peuvent se distinguer d'une plante à l'autre : *Braya purpurascens* s'installe très tôt sur des dépôts jeunes tandis que *Dryas octopetala* exige un délai beaucoup plus long et occupe les dépôts les plus anciens. Quant à *Saxifraga oppositifolia*, elle est indifférente à l'âge des dépôts et peut se rencontrer sur l'ensemble de l'espace intra-morainique. Ces trois cas montrent que la colonisation est caractérisée par des espèces qui n'ont pas toutes la même valeur discriminante pour signer les différentes étapes du processus de maturation de la végétation.

Les modalités de la reconquête végétale

La reconquête végétale est jalonnée par la mise en place de groupements végétaux caractéristiques, depuis les éléments pionniers épars jusqu'aux formes les plus matures préfigurant la toundra jointive qui occupe les habitats anciens et stables hors des moraines.

Les groupements, ordonnés en séquence, sont marqués à chaque étape, par un flux d'espèces entrantes et sortantes (figure 7). Ainsi, *Braya purpurascens*, présente très tôt dans le processus de colonisation, disparaît des zones les plus anciennement déglacées alors que *Dryas octopetala* se relie exclusivement à cette dernière phase. Les espèces nouvellement implantées

sont mieux adaptées aux conditions mésologiques créées par la maturation du milieu tandis que les espèces pionnières, progressivement concurrencées, tendent à disparaître des relevés. Un tel phénomène s'accompagne d'une reconstitution floristique qui s'ordonne en fonction du temps et dont chaque stade constitue le biomarqueur d'un niveau d'évolution du couvert végétal.

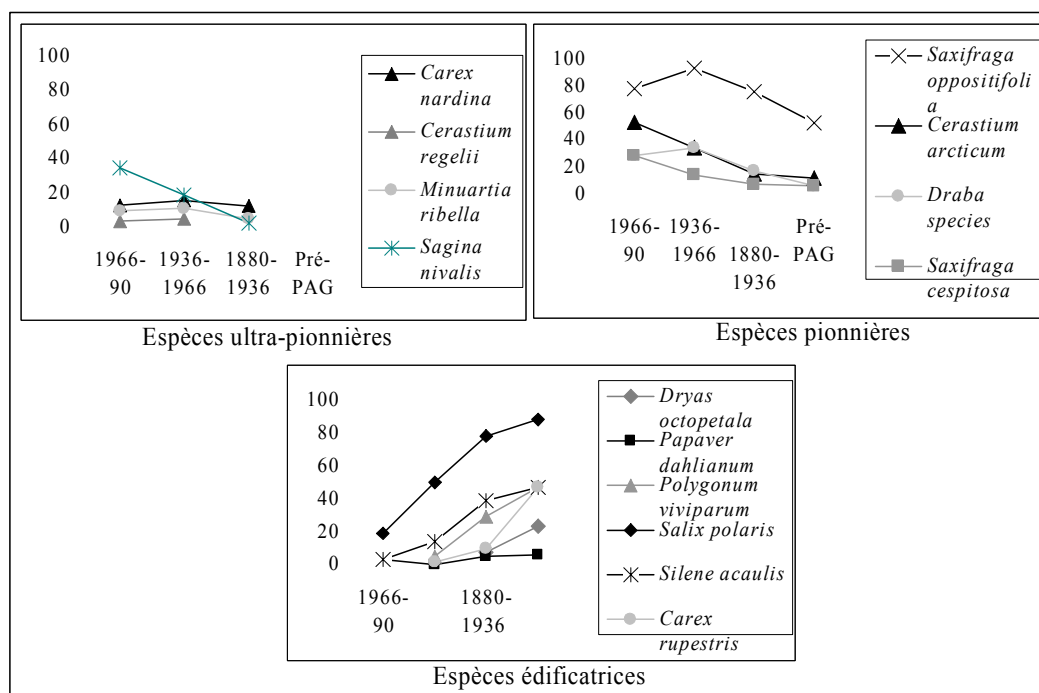


Figure 7 : des espèces pionnières à celles édificatrices

La dynamique de la végétation est marquée par deux groupes d'espèces dont les comportements sont contradictoires en regard du processus de maturation des surfaces. Il y a d'abord les espèces végétales dont la fréquence et l'abondance dans les relevés diminuent avec la maturation : il s'agit des espèces pionnières au sens large. Il y a ensuite celles qui, en sens inverse, prennent le relais au cours du temps et s'imposent, au détriment des pionnières, dans la composition et la physionomie du couvert ; il s'agit des espèces édificatrices.

Parmi les pionnières, on peut encore distinguer deux sous-ensembles. Le premier est formé des espèces dites ultra-pionnières. Elles sont discrètes dans le paysage et présentes dans moins de 20% des relevés. Certaines, comme *Cerastium regelii*, ont disparu des moraines les plus vieilles tandis que d'autres, comme *Sagina nivalis*, toujours présentes à ce stade, ne se retrouvent plus en dehors des zones de reprise du Petit Âge de Glaciaire; elles ont toutes disparu des formations de toundra continue qui recouvrent les espaces limitrophes stabilisés depuis plusieurs millénaires. Le second groupe d'espèces est dit pionnier strict. Ces espèces sont déjà fréquentes sur les dépôts jeunes près du front glaciaire mais elles se raréfient avec la maturation des surfaces. Elles peuvent se maintenir dans la toundra d'équilibre mais avec contribution très atténuée. *Cerastium arcticum* qui voit sa fréquence diminuer entre les moraines de 1966-90 et la toundra ancienne peut être donné en exemple de ce groupe.

Quant aux espèces dites édificatrices, on les retrouve en abondance significative dans la toundra. C'est le cas de *Salix polaris* qui peut se satisfaire d'un environnement minéral mais dont la fréquence triple, entre les dépôts de 1966-90 et la toundra, où elle est présente dans

près de 90 % des relevés. Certaines de ces espèces sont absentes des dépôts jeunes ; tel est le cas de *Polygonum viviparum* qui apparaît avec la frange de dépôts libérée entre 1936 et 1966.

Du point à la surface via les descripteurs microtopographiques

La figure 5 présente, en outre, l'image des pentes et des orientations, elles illustrent de manière évidente le chaos des formes entrelacées à l'intérieur de l'espace intramorainique. La classification issue des résultats de l'AFC permet d'observer dans le détail les liens unissant microtopographie et formation végétale. La figure 8 correspond à la cartographie de la classe ayant la probabilité la plus forte d'apparaître par pixel, on y trouve également deux exemples de profil de variables par classe.

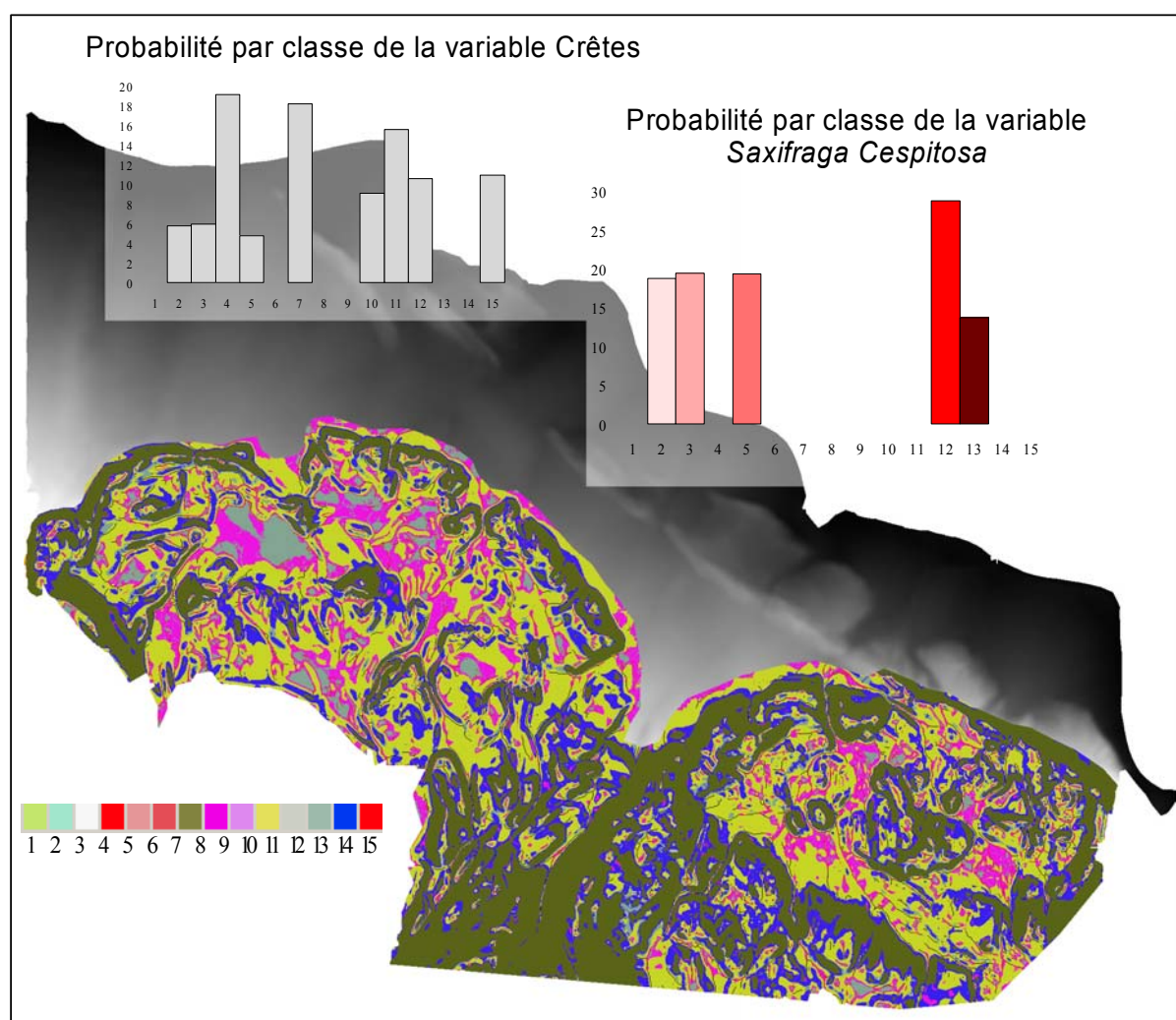


Figure 8 : cartographie des classes ayant la plus forte probabilité d'apparition

Nous ne détaillerons pas ici les modalités liant microrelief et groupement végétal, la localisation des espèces végétales ayant déjà été décrit plus haut. En revanche, nous insistons sur la logique floue qui sous tend notre démarche probabiliste. Autant la typologie issue de la CAH réalisée sur les résultats de l'AFC peut être considérée comme « rigide » – à la métrique près – autant la typologie issue du calcul des probabilités conditionnelles ne l'est pas. Chaque

classe a une probabilité non nulle d'apparaître, celle dont le score est maximale est retenue pour être affectée au pixel. Il n'en demeure pas moins que les situations varient, dans certains cas ce score maximal est nettement marqué – la classification est alors relativement fiable – dans d'autres il est beaucoup plus nuancé et les écarts entre différentes classes sont faibles – la classification sera alors beaucoup moins fiable. Il est possible de générer des images présentant les scores probabilistes pour une classe choisie (figure 8), elles viennent en complément d'interprétation de l'image de la typologie. On distingue que pour cet exemple les faciès en versant à forte pente exposés au sud qui caractérisent la classe 15 sont particulièrement bien identifiés par rapport aux autres milieux.

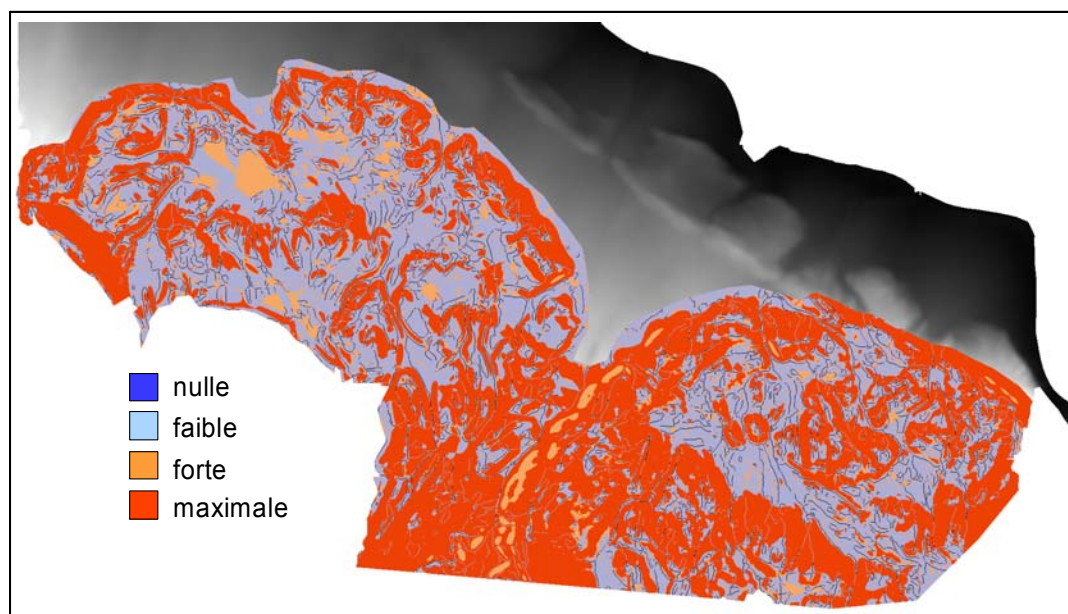


Figure 8 : probabilité conditionnelle d'apparition de la classe 15, versant à forte pente exposé au sud

Enfin, en tenant particulièrement compte des réserves présentées plus haut, nous utilisons le modèle de probabilités conditionnelles pour spatialiser – dans le sens de couvrir de manière continue – les variables décrivant la végétation initialement observées ponctuellement.

Connaissant en tout point de l'espace les conditions microtopographiques – donc la classe pour laquelle le score est le plus fort – il est alors possible d'associer la probabilité conditionnelle d'une variable thématique à cette même classe et de produire une carte. La figure 9 présente un exemple de cartographie de la répartition spatiale de *Saxifraga cespitosa*. Cette cartographie souligne l'importance du facteur local dans la répartition spatiale de l'espèce. Seuls quelques secteurs morainiques semblent proposer les conditions topographiques favorables pour le développement de *Saxifraga cespitosa*. Bien que l'âge des surfaces soit un des facteurs d'entrées de l'espèce dans la colonisation, il est nécessaire que certaines conditions soient réunies pour que l'espèce puisse s'installer.

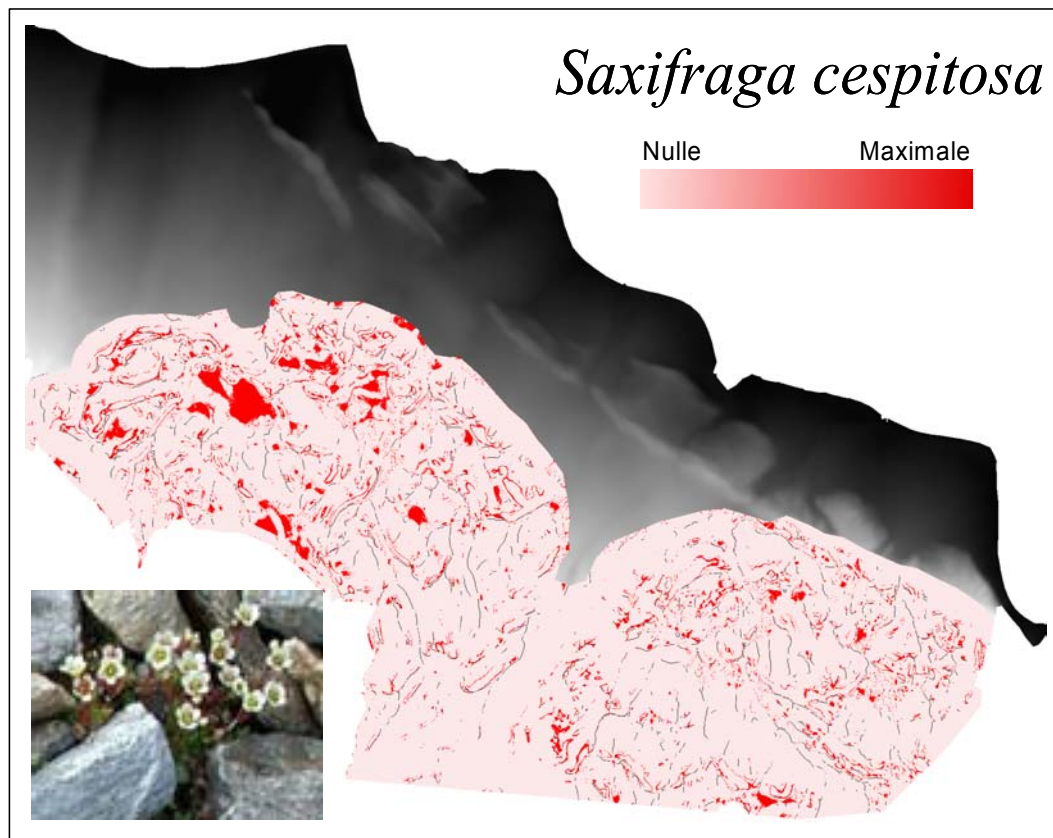


Figure 9 : Probabilité conditionnelle de *Saxifraga cespitosa*

Conclusion

Les formations végétales qui prennent place sur les zones récemment libérées par la glace, permettent de jalonner les épisodes initiaux qui, en terme d'évolution, doivent conduire à la toundra telle qu'on peut l'observer sur les espaces limitrophes les plus anciens et les plus stables. Nous avons pu mettre en évidence, grâce à l'échantillonnage statistique du terrain, comment les « rôles » se distribuent, au cours du processus de reconquête, selon les espèces et le comportement qu'elles présentent. Il ne s'agit pas d'un mouvement univoque d'enrichissement et de diversification de la couverture végétale puisque les stratégies des espèces pionnières et des espèces édificatrices jouent en sens inverse et présentent une grande étendue de nuances. Le pas de temps séculaire que nous avons pu appréhender à travers cette étude nous montre que certains traits de la toundra d'équilibre sont déjà acquis au terme de cette période. Toutefois, il manque encore beaucoup de repères temporels pour compléter la séquence jusqu'à son terme tant les caractéristiques de la végétation sur les parties les plus anciennes des moraines restent juvéniles. La trace laissée par la crise du Petit Âge Glaciaire est loin d'être effacée ; après un siècle, les espaces neufs ainsi ouverts offrent encore un potentiel d'évolution considérable qui est resté hors de portée de notre étude.

La méthodologie utilisée pour spatialiser les formations végétales via la connaissance *a priori* de la microtopographie est une solution appréciable pour passer du point à la surface. C'est une démarche qui nécessite de grandes précautions mais qui ouvre des horizons très prometteurs.

Références bibliographiques

- André, M.F., 1995. - Holocene climate fluctuations and geomorphic impact of extreme events in Svalbard. *Geografiska Annaler (a)*, Vol. 77, 241-250.
- Birks, H.J.B., 1980. - The present flora and vegetation of the Moraines of the Klutan Glacier, Yukon territory, Canada: a study in plant succession. *Quaternary research*, N° 14, 60-86.
- Brossard T. et Joly D., 1994 - Probability models, remote sensing and field observation : test for mapping some plant distributions in the Kongsfjord area, Svalbard, *Polar Research*, 13, pp. 153-161.
- Brossard T., Desservy G. et Joly D., 1998 - Le GPS comme source de données géographiques à grande échelle. Réalisation d'un test au Svalbard, *L'Espace Géographique*, 1, pp. 23-30.
- Brossard Th., Joly D., Nilsen L., 1999 : Mapping plant communities in a local arctic landscape applying scanned infrared aerial photo and digital elevation model in a geographical information system. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, vol.20, NO 2, 463-480.
- Cochran W.-C., 1977 - *Sampling techniques*, New-York, John Willey & Sons.
- Elvebakk, A., 1997 : Tundra diversity and ecological characteristics of Svalbard. In *Ecosystems of the world*, edited by Wielgolaski F.E., Oxford, Vol. 3, Chap. 15 : pp 347-359.
- Héquette, A., 1986. - *Morpho-sédimentologie et évolution de littoraux meubles en milieu arctique. Péninsule de Brøgger, Spitsberg nord-occidental*. Thèse de doctorat de géographie physique, Brest, 397 p.
- Jumpponen, A., Väre, H., Mattson, K.G., Ohtonen, R., Trappe, J.M., 1999 : Characterization of « safe sites » for pioneers in primary succession on recently deglaciated terrain. *Journal of Ecology*, N°87 : 98-105.
- Keersmaecker M.-L., 1987 - Stratégie d'échantillonnage des données de terrain intégrées dans l'analyse des images satellitaires, *L'Espace Géographique*, 3, pp. 195-205.
- Laffly D., Mercier D., 1999, « Réflexions méthodologiques sur les observations de terrain et la télédétection (Étude du ruissellement sur les sandurs en Baie du Roi, Spitsberg nord-occidental) », *Photo-interprétation*, vol. 2, pp. 15-28.
- Laffly D., Mercier D., 2002, « Global change and paraglacial morphodynamic in Svalbard », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, n°. 21, pp. 4743-4760.
- Lefauconnier, B., Hagen, J.O., 1990. - Glaciers and climate in Svalbard : statistical analysis and reconstruction of the Brøggerbreen mass balance for the last 77 years. *Annals of Glaciology*, N°14, 148-152.
- Matthews, J.A., 1992. - *The ecology of recently-deglaciated terrain. A geoecological approach to glacier forelands and primary succession*. Cambridge University press, 386 p.
- Moiroud, A., 1976. - *Etude écologique des marges glaciaires, en particulier de leur micropeuplement : exemple du glacier du Saint-Sorlin*. Thèse de doctorat de sciences naturelles, Lyon 1 Claude Bernard, 168 p.
- Moreau, M., 2001. - *La reconquête végétale sur la marge proglaciaire des Evettes, depuis la fin du Petit Âge de glace*. Mémoire de maîtrise de géographie, Paris I, 132 p.
- Moreau, M., 2002 – *La reconquête végétale des marges proglaciaires des Loven Est et Central depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, presque île de Brøgger*. Mémoire de DEA de géographie, Paris I, 107 p.

Nilsen, L., Elvebakk, A., Brossard, T., Joly, D., 1999 : Mapping and analysing arctic vegetation : evaluating a method coupling numerical classification of vegetation data with SPOT satellite data in probability model. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, N° 15 & 16 : pp 2947-2977.

Nimis, P.L., 1985 : Structure and floristic composition of a high Arctic tundra : Ny-Ålesund. *Inter-Nord*, N°17 : pp 47-58.

Rønning, O.I., 1996. - *The flora of Svalbard*. Norsk Polarinstitut, Oslo, 184p.

Stork, A., 1963. - Plant immigration in front of retreating glaciers, with examples from the Kednekajse area, Northern Sweden. *Geografiska Annaler (a)*, Vol. XLV, 1-21.

Vetaas, O.R., 1997 : Relationship between floristics gradients in a primary succession. *Journal of vegetation science*, Vol. 8 : pp 665-676.