

# Distribution de la température et de la végétation en baie du Roi, Svalbard (79°N). Mise en place d'une approche spatiale formalisée

DANIEL JOLY

THÉMA, CNRS-université de Franche-Comté,  
30 rue Mégevand, 25030 Besançon Cedex  
daniel.joly@univ-fcomte.fr

ARVE ELVEBAKK

Instituttet i Botani og Geologi,  
Drammensveien, 9000 Tromsø, Norvège

LENNART NILSEN

Instituttet i Botani og Geologi,  
Drammensveien, 9000 Tromsø, Norvège  
lennart@ibg.uit.no

THIERRY BROSSARD

THÉMA, CNRS-université de Franche-Comté,  
30 rue Mégevand, 25030 Besançon Cedex

**RÉSUMÉ.** — Le changement climatique est un problème majeur, surtout en Arctique. Ce constat global doit être précisé afin d'appréhender les conséquences du phénomène car son impact se module dans l'espace selon les caractéristiques propres à chaque milieu. L'aire d'étude est située au Svalbard où des données, de différentes sources, sont collectées sur le terrain. Elles sont ensuite traitées au sein d'un système d'information géographique afin de modéliser les variations spatiales à grande échelle de la température et de la végétation.

ARCTIQUE, BIOCLIMATOLOGIE, INTERPOLATION, MODÉLISATION SPATIALE

**ABSTRACT.** — *Vegetation and temperature distribution in Kongsfjorden, Svalbard, 79°N: formalised spatial approach.* — Climate change is a key issue, especially in the Arctic. However, this general observation is not sufficient to determine the consequences of this phenomenon since the impact of climate change varies with geographical position and local conditions in different environmental contexts. The study area is located at 79°N, in Kongsfjorden (Svalbard). Botanical observations and temperature measurements, remote sensing and topographical indices are input into a Geographical Information System. These GIS layers are then computed to provide variables that can give a statistical explanation of the temperature and vegetation distribution at high resolution.

ARCTIC, BIOCLIMATOLOGY, INTERPOLATION, SPATIAL MODELLING

## Introduction

Le fonctionnement des écosystèmes arctiques repose sur des équilibres fragiles, très sensibles aux modifications de l'environnement. Certaines de celles-ci sont purement locales et, bien souvent, la conséquence directe des activités humaines: dégradation chimique et mécanique des sols, impact mal contrôlé d'aménagements, fréquentation touristique excessive, surpâturage, etc. D'autres modifications relèvent d'ordres de grandeur différents; il en va ainsi du changement climatique global qui est au cœur de l'actualité et dont les causes sont difficiles à établir quand il s'agit d'y reconnaître la part relative de l'homme et de la nature (Maxwell, 1992; Press *et al.* 1998; Cubasch *et al.* 2001).

De tels phénomènes sont évidemment complexes à saisir tant dans leurs modalités de fonctionnement que dans leur variation spatiale. Il est donc essentiel de comprendre comment les différentes composantes des écosystèmes réagissent aux stimulations du climat et s'ajustent à la variété des configurations environnementales. À cette fin, la mise en œuvre de compétences croisées entre plusieurs disciplines est requise. Une illustration de ce type de démarche est proposée ici. Elle vise à faire ressortir comment, dans le détail des milieux et de leur structure, s'effectue l'ajustement entre les distributions spatiales de la végétation et de la température. De la sorte, on verra s'élaborer un outil (un modèle) qui permette à terme d'évaluer l'impact d'un phénomène global comme le réchauffement sur la recomposition du couvert végétal à l'échelle des micro-milieux. Un fjord et ses rives, situés au Nord-Ouest du Spitsberg, offriront le terrain test nécessaire à cette recherche.

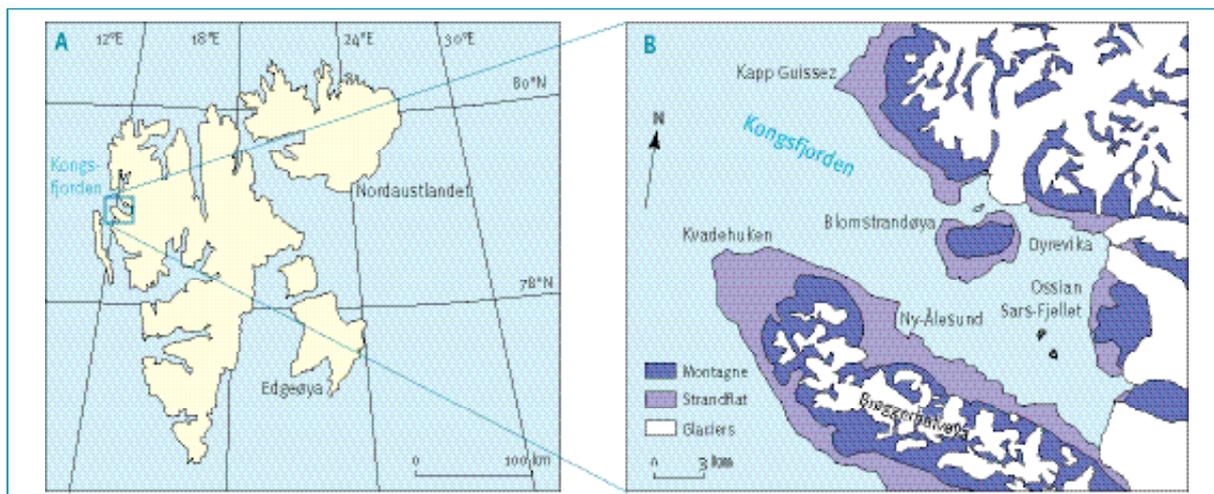
### **Échelles spatio-temporelles du temps et du climat : enjeux scientifiques et choix méthodologiques**

Essayer de calibrer, aux échelles fines, l'ajustement entre distribution des plantes et simulations climatiques passe par la mise en cohérence de deux approches, l'une botanique et l'autre climatique. Un tel projet appelle un effort accentué de formalisation tant dans les modes d'observation et de mesure que dans la méthodologie à mettre en œuvre. En effet, grâce aux méthodes statistiques, il est possible de caractériser le « thermo-climat » propre à chaque espèce (Robberecht, Juntilla, 1992; Juntilla, Robberecht, 1993; Brossard *et al.* 1992). Celui-ci est déterminé par une fourchette de températures extrêmes qui fixent les conditions limites d'apparition de la plante; en second lieu, il est aussi marqué par des températures intermédiaires offrant les conditions optimales de développement à la plante en question. Notre objectif immédiat est donc de proposer un moyen opérationnel pour faire ressortir les convergences et les différences de distribution spatiale entre la végétation et la température (Reynolds, Leadley, 1992; Bjerke *et al.*, 2004). Dès lors que le comportement de la végétation face aux contraintes thermiques est ainsi reconnu et calibré, on pourra simuler les effets d'une élévation des températures (Arft *et al.*, 1999) sur la recomposition végétale des milieux et en cartographier la répartition. Selon ce type de scénario, certains espaces, actuellement froids et, de ce fait, dévolus aux plantes les plus résistantes, seront gagnés par d'autres espèces qui diffuseront à partir de niches écologiques favorables où elles sont aujourd'hui réfugiées. La carte de distribution des espèces et des groupements végétaux s'en trouvera fortement modifiée. L'ensemble de ces recompositions floristiques entraînera d'importantes modifications des paysages qu'il est utile d'évaluer en termes de ressources écologiques (Brossard *et al.*, 1999). Ces analyses reposent sur les apports de la botanique et de la climatologie et demandent des moyens d'outils informatiques particuliers, les systèmes d'information géographiques.

### **Terrain d'étude et méthode**

#### ***Terrain d'étude***

Le Spitsberg, île principale de l'archipel du Svalbard (fig. 1), offre un terrain d'étude remarquable pour asseoir ce type d'approche. Il est tout entier inclus dans la zone de toundra, terme qui, étymologiquement, désigne un espace sans arbre. Toutefois, cette



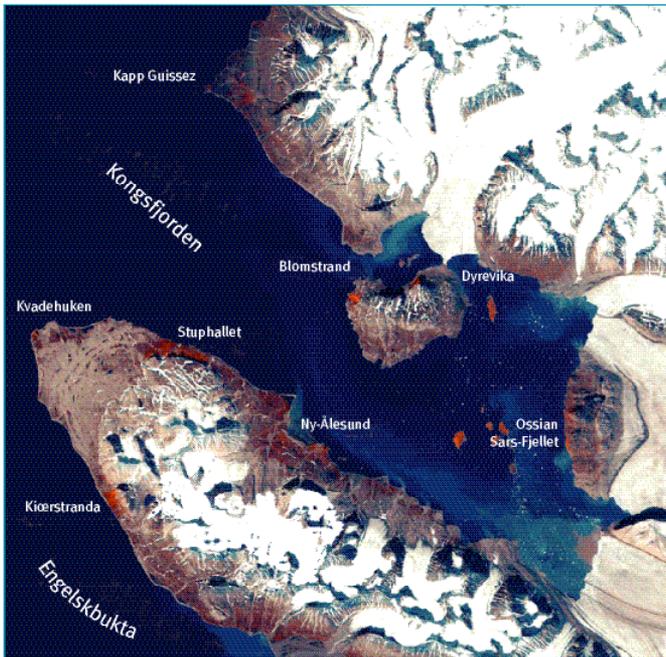
**Fig. 1/ Le Spitsberg (A) et le terrain d'étude (B) en baie du Roi (ou Kongsfjorden)**

caractéristique, générale à l'échelle du Spitsberg, mérite d'être nuancée pour faire apparaître des différences régionales.

Des zones quasi désertiques, abritant quelques rares espèces adaptées au froid extrême, occupent surtout le Nord-Est de l'archipel dont la côte peut être prise par la banquise toute l'année, ou encore les parties hautes où des gels inférieurs à  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  surviennent parfois au cœur même du bref été arctique. À l'inverse, les amples vallées déglaçées du centre du Spitsberg se caractérisent par un climat semi-continental dont les moyennes de température pour juillet avoisinent les  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Il s'y développe une végétation «luxuriante» hébergeant de nombreuses espèces thermophiles avec même, par endroits, des formations de saules nains. Entre ces deux extrêmes, il existe toute une gamme de faciès climatiques et mésologiques dont la végétation révèle les variations (Brattbakk, 1981; Brossard *et al.*, 1984; Elvebakk, 1982; Ziája, Dubiel, 1996; Brosø, 1997).

Parmi, cet ensemble, notre attention s'est portée sur la région du Kongsfjorden ou baie du Roi, au Nord-Ouest du Spitsberg. La zone d'étude inclut au Nord de ce fjord, une frange côtière de deux à trois kilomètres de large et au Sud, la presqu'île de Brøggerhalvøya dans son ensemble (photo 1). L'ossature de celle-ci est constituée par une longue échine montagneuse, culminant à 1000 mètres environ et découpée par les entailles de glaciers de type alpin. Entre fjord et montagne, le raccord est assuré par un piémont surbaissé, le strandflat qui est une forme bien caractéristique de la zone arctique. Dans le détail, la morphologie de ce dernier est composite puisqu'elle associe des formes marines héritées telles que des plages et des cordons littoraux soulevés, des arcs morainiques qui ont débordé des vallées montagnardes ou encore des cônes d'épandage qui drainent les eaux de fonte et redistribuent les dépôts glaciaires.

Quant aux données du climat telles qu'elles ressortent de la station locale de Ny-Ålesund, la moyenne générale des températures de juillet s'établit à  $5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  et la somme annuelle des précipitations est de 385 mmm (Aune, 1993). Au fond des fjords, les vents dominants viennent de l'est sous l'influence des grands glaciers (vents catabatiques). Pour le reste, c'est la composante sud qui l'emporte conformément à la direction générale des flux aérologiques (Joly, Kergomard, 1982; Joly, 1994). Dans sa structure, le



**Photo 1 /** Le terrain d'étude vu par satellite (Spot 4, juillet 1991)

climat de l'aire d'étude présente un gradient ouest-est qui est la marque d'une continentalité croissante : en été, l'influence froide de la haute mer diminue à mesure que l'on gagne le fond du fjord (Corbel, 1966). Des études antérieures ont montré que la distribution des plantes est conforme à ce gradient général (Brossard *et al.*, 1992; Nilsen *et al.*, 1999). Mais secondairement, d'autres facteurs comme l'altitude, le contraste topographique, la présence des glaciers, etc., interfèrent et viennent nuancer ce schéma (Fury, Joly, 2003).

### **Homogénéiser une information thermique et botanique disparate**

L'existence d'une relation entre la végétation et la température peut ressortir assez facilement de l'observation courante. Cependant, quand on cherche à dépasser le caractère général de ce constat et à évaluer la réalité objective et précise de cette relation, les problèmes sont relativement complexes à résoudre. Tout d'abord, par

leur nature même, végétation et climat sont très différents et les termes de comparaison entre l'un et l'autre difficiles à établir. D'un côté, la végétation est appréhendée à travers l'observation de placettes de 1 km de côté où la présence et l'abondance des espèces sont notées. D'un autre côté, la température est relevée grâce à un appareillage simple qui restitue des séries de mesures instantanées et ponctuelles. De manière à harmoniser les termes d'analyse et de comparaison entre végétation et température, aussi, avons-nous eu recours à une valeur appelée « indice de thermophilie » qui permet de caractériser globalement la végétation par une mesure synthétique (Elvebakk, 1990). L'avantage de cette transformation est que les deux réalités, végétation et température, sont exprimées sous la forme quantitative d'une mesure.

Une autre difficulté tient au fait que l'information collectée, tant sur la végétation (aux stations d'observation botanique) que sur la température (aux points de mesure où sont situés les capteurs) est discontinue. Or, l'une et l'autre s'inscrivent dans un espace et un temps continus. Un des défis à relever est de trouver un moyen rigoureux de restituer la continuité spatiale d'une information appréhendée ponctuellement. À cette fin, le recours à une procédure spécifique d'interpolation fut nécessaire (Joly *et al.*; 2003, Wilmott, Robeson, 1995). En l'absence de modèles qui conviennent, nous avons porté notre effort sur ce point qui constitue l'apport principal de la recherche ici présentée.

L'exercice mérite que l'on s'arrête à quelques considérations préalables. Ainsi, dans l'exemple qui nous occupe, la collecte d'informations s'est faite à travers un nombre réduit de points, à savoir 166 relevés botaniques et 52 stations d'enregistrement des températures; il n'était pas possible, pour des raisons pratiques évidentes, de multiplier à l'infini les points d'enquête sur le terrain. À chaque fois, la mesure ou l'observation se rapporte au lieu précis où elle est faite et n'a en principe qu'une

validité locale. Les ressources de l'analyse spatiale dont relèvent les modèles d'interpolation permettent de dépasser cette limite. On part du principe que l'information disponible comporte tout à la fois des variations aléatoires et des régularités. Par aléatoire, on entend tout ce qui relève de l'erreur ou de l'imprécision de la mesure, de la variabilité non contrôlée des lieux; cette partie de l'information n'est pas modélisable. En revanche, les régularités le sont, pour peu que l'on ait recours à des outils adaptés qui les mettent en évidence. Dans son canevas général, la modélisation se déroule selon les différentes phases que voici :

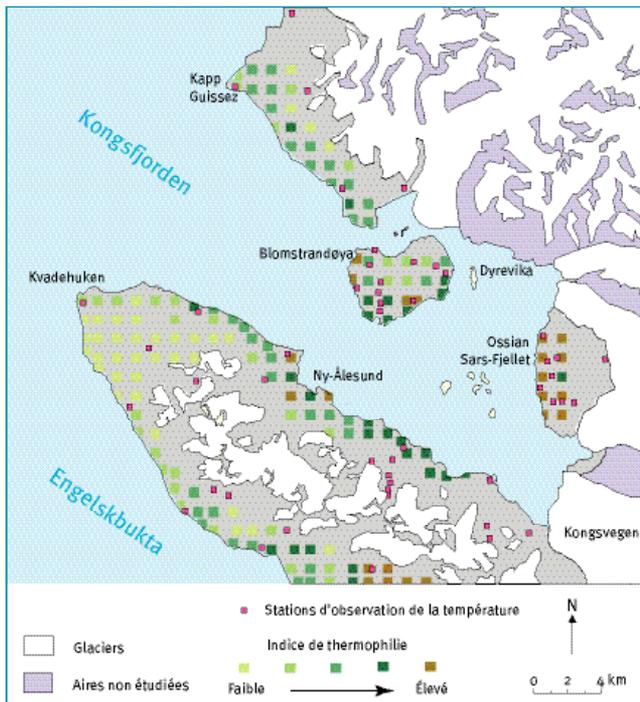
- dans un premier temps, on dispose, sur le terrain, une batterie d'appareils de mesure ou de points d'observation. Leur nombre doit être suffisant pour permettre par la suite une exploitation statistique des valeurs mesurées et pour couvrir au mieux la diversité des milieux. Des protocoles d'échantillonnage aident à positionner les points d'enquête d'une manière rigoureuse (Joly *et al.*, 1999);
- ensuite, l'environnement de chaque site équipé est caractérisé par une ample série de descripteurs susceptibles d'expliquer les variations de la température ou de l'indice de thermophilie : distance à la mer ou aux glaciers, vigueur et exposition des versants, contexte topographique, etc. Précisons que ces descripteurs n'ont pas à faire l'objet d'une observation directe car on peut les obtenir de grandes bases de données déjà constituées. L'intérêt de ces bases est qu'elles fournissent une information qui couvre tout l'espace avec la précision voulue, qu'il s'agisse de modèles numériques de terrain ou d'images de télédétection. En outre, elles peuvent être enrichies, combinées et recomposées par le calcul pour les besoins des traitements qui suivront;
- enfin, grâce aux ressources de la statistique et plus particulièrement des modèles de régression (Myers, 1990), les valeurs établies aux différents points sont systématiquement mises en rapport avec les descripteurs environnementaux de chaque site, de manière à faire ressortir des corrélations significatives, à l'échelle de la zone d'abord, locale ensuite. Ces corrélations sont exprimées sous la forme d'équations plus ou moins complexes qui permettent de tenir le raisonnement suivant : une fois connues, avec la précision requise, les caractéristiques environnementales d'un site, on peut retrouver, par le calcul, les valeurs de température ou d'indice du site en question.

Ainsi, grâce à la modélisation, il est possible de restituer, dans le détail, les variations du champ thermique ou de l'indice de thermophilie à partir de points de contrôle au sol dont le nombre est limité. Les résultats de ce traitement prendront la forme de cartes qui mettront en évidence les concordances et les différences de distribution entre températures et végétation, définie ici à travers l'indice de thermophilie.

## Collecte et mise en forme des données

### *Observations botaniques et calcul de l'indice de thermophilie*

Le protocole d'observation de la végétation a fait l'objet d'un échantillonnage par carroyage régulier pour des raisons techniques qui tenaient à la nécessité de prendre en compte de grandes surfaces de relevés (cheminements à l'intérieur de carrés kilométriques). Les unités kilométriques couvrant systématiquement la zone furent au nombre de 166 (fig. 2). Comme le couvert végétal est le produit d'une association locale d'espèces variées, il ne peut facilement, comme la température, être exprimé d'une manière synthétique à travers une mesure et donc un chiffre. Pour lever cette



**Fig. 2 / Aire d'étude et stations d'observation**

### Encadré 1 / Indice de thermophilie

Dans le détail, on attribue une valeur de thermophilie ( $tr$ ) à chaque espèce en fonction de son appartenance à l'un des quatre groupes de plantes définis ci-dessous : 2,0 ; 1,5 ; 1,0 et 0,5 respectivement. Des valeurs de fréquence ( $f$ ) sont également appliquées aux espèces selon leur taux de recouvrement dans chaque carré d'observation. Enfin, on attribue une valeur de dominance ( $d$ ) comprise entre 2 et 1,5 selon que les espèces sont dominantes ou subdominantes. L'indice de thermophilie ( $IT$ ) de chaque carré d'observation kilométrique est calculé sur la base de la formule suivante (Elvebakk, 1990) :

$$IT = S^n Tr (f + d)$$

difficulté, il a été nécessaire de recourir à un indice synthétique, appelé indice de thermophilie, et dont le mode de calcul est précisé dans l'encadré 1 (Elvebakk, 1990 ; Brossard *et al.*, 2002).

Dans le haut Arctique, la température moyenne de l'été (juillet et août) constitue le facteur limitant essentiel de la répartition géographique d'un grand nombre de plantes. Grâce à ce constat, on a pu classer les espèces végétales, mousses et lichens inclus, en quatre groupes selon ce critère. Le groupe 1 rassemble les espèces fortement thermophiles qui apparaissent lorsque la température moyenne de juillet dépasse 6 °C. Les seuils des groupes 2, 3 et 4 sont respectivement de 5 °C, 4 °C et 3 °C. Précisons que les espèces peu ou pas du tout sensibles aux températures basses, de même que celles dont on ne connaît pas suffisamment la sensibilité, ne sont pas retenues pour le calcul ultérieur de l'indice. Une fois que la liste de référence des espèces classées selon leur degré de thermophilie est établie, on effectue, pour chaque relevé botanique, un comptage des plantes par classe. Par un système de coefficients adaptés, on calcule *in fine* un indice de thermophilie global qui caractérise, par un seul chiffre, chaque site observé. L'intérêt de cette opération est que, au-delà des combinaisons locales très variées d'espèces, on dispose maintenant d'une valeur quantitative dont on pourra beaucoup plus commodément cartographier et comparer la distribution avec celle des températures.

Les valeurs obtenues sont ajustées aux températures de surface et plus précisément aux moyennes thermiques de la saison végétative. Toutefois, l'indice présente une certaine inertie par rapport aux températures. En effet, la végétation est une sorte d'intégrateur des variations du climat sur un pas de temps relativement long (au moins décennal). L'indice constitue ainsi une sorte de référence climatique à partir de laquelle il sera possible de faire ressortir les concordances ou les écarts de température.

#### Localisation des capteurs et enregistrement des températures

La figure 2 montre comment fut disposé le réseau des 52 thermomètres enregistreurs. Ces appareils, de type «Hobo», sont équipés d'une sonde de température extérieure et d'une mémoire de stockage de 64 ko autorisant 32950 enregistrements ; ils effectuent des mesures selon un pas de temps régulier programmable, établi ici à 30 minutes, soit

48 enregistrements par jour. L'amplitude des températures mesurables va de -30 °C à +100 °C avec un temps de réponse inférieur à 5 minutes. Les tests de qualité effectués par Météo-France indiquent que l'écart moyen entre une sonde «Hobo» et une sonde de référence est de +0,04 °C; les écarts extrêmes relevés sont de -0,75 °C et de +0,66 °C (Météo-France Besançon, 2000). Les sondes étaient protégées par un abri conforme au modèle standard défini par l'Organisation mondiale de la Météorologie (OMM). Dans la mesure où l'objectif est d'établir la relation entre température et végétation, les capteurs ont été fixés à 10 cm au-dessus du sol afin de saisir au mieux le bioclimat thermique des plantes. Les stations ont été implantées le long de transects qui recoupent perpendiculairement les ensembles topographiques. Le dispositif (qui continue à fonctionner) a fourni, pour l'étude ici présentée, des mesures exploitables depuis la mi-juillet 2000 jusqu'à fin août 2004. Cependant, des pannes ont réduit la durée de fonctionnement de certains appareils: fragilité de l'électronique qui supporte inégalement les grands froids, destruction des abris par les ours, etc. Au total, 25 appareils ont tenu sur trois années sans défection; une quinzaine d'autres, selon les années, ont fonctionné une partie seulement de l'été.

### Constitution de la base de données environnementales

Les données sont collectées sur le terrain par échantillonnage et concernent des lieux précis, mais différents, selon qu'il s'agit de la température ou de l'observation des plantes. En vue de restituer des champs continus et comparables, il est nécessaire d'établir une procédure d'interpolation dans laquelle des descripteurs de l'environnement sont utilisés comme variables explicatives. Pour constituer cette base, nous avons travaillé à partir de deux sources majeures gérées par système d'information géographique (SIG): une image satellite et un modèle numérique de terrain (MNT).

L'image provient du satellite Landsat: il s'agit d'une scène Thematic Mapper de juillet 1995 comportant 7 bandes de longueurs d'onde différentes et dont les pixels offrent une résolution de 30 mètres. De cette source, on a tiré deux types d'information:

- un indice de végétation (NDVI) dont la formule  $(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$ , utilisant les propriétés des bandes rouge (TM3) et infrarouge proche (TM4), permet de différencier les milieux selon l'abondance de leur biomasse,
- une classification qui, en mettant en évidence la mer et les glaciers, permettra d'intégrer dans la modélisation un critère de distance à ces milieux froids (Brossard *et al.* 1999).

Le modèle numérique de terrain provient de l'Institut polaire norvégien (Norsk Polarinstittutt). Il correspond à un carroyage dont chaque unité, avec une résolution de 20 x 20 m, comporte une cote d'altitude précise au mètre. Par diverses procédures de calcul appropriées, on a dérivé du MNT (Gardner *et al.*, 1990; Zevenbergen, Thorne, 1987; Jenson, Domingue, 1988), outre l'altitude, de nouvelles variables topographiques qui sont:

- la pente, l'orientation des versants;
- la rugosité topographique qui est un indicateur des irrégularités de relief (elle peut être nulle en présence de plat ou sur un versant parfaitement rectiligne);
- la distance à la crête la plus proche, la distance au thalweg le plus proche, l'indice d'encaissement-surélévation topographique;
- le rayonnement global théorique qui est calculé pour le solstice d'été (21 juin) en tenant compte des masques topographiques (les ombres sont étendues car, si le soleil ne se couche pas durant l'été, son angle d'élévation reste toujours faible, même à midi).

Un dernier traitement a été appliqué afin de mettre en concordance de format les deux séries issues de l'image satellite et du MNT. Grâce à cette opération, tous les plans d'information couvrent, avec la même résolution de 20 x 20 m, la même surface au sol (32,5 x 22,5 km). Au total, la base ainsi constituée et gérée par SIG comporte deux couches dérivées de l'image et huit dérivées du MNT.

## Calcul et application des modèles

Dans cette partie expérimentale du travail, outre la latitude et la longitude, les différentes couches d'information définies ci-dessus seront statistiquement testées en tant que variables aléatoires pour expliquer la variation spatiale des températures et de l'indice de thermophilie (IT). Cette exploration conduira à établir des équations qui permettent de calculer des valeurs de température ou d'indice en fonction des différentes variables caractérisant l'environnement (Fury, Joly, 1995 ; Joly *et al.*, 1994). Pour arriver à une restitution correcte des champs spatiaux, on a procédé en deux étapes de manière à différencier variation générale, exprimant des tendances à l'échelle de la zone d'étude, et variation locale.

### Variations générales en tendance à l'échelle de la zone

L'analyse de la variation, sur l'ensemble de la zone, est effectuée par régression polynomiale (Myers, 1990). Cette technique explique la variation de la température ou de IT en combinant deux facteurs (la latitude et la longitude des stations, 52 pour les températures et 166 pour IT) dans le cadre d'un polynôme d'ordre 3 qui ajuste une surface déformée selon quatre directions ; la régression est calculée selon la méthode des moindres carrés. À la fin de cette étape, l'application du modèle global permet d'obtenir une température ou une valeur de IT en chacune des stations (Morrison, 1974). En faisant la différence entre les valeurs théoriques ainsi calculées et les valeurs issues de l'observation ou de la mesure directe, on obtient un résidu. La seconde phase de modélisation porte sur cette partie résiduelle de l'information que les facteurs environnementaux locaux peuvent contribuer à expliquer.

### Variations locales

La variation des résidus obtenus de la phase précédente est estimée grâce aux variables archivées sous forme de couches d'information dans le SIG (8 variables topographiques issues du MNT et 2 variables issues de l'image satellite). Une première difficulté tient au fait qu'on ne connaît pas, *a priori*, la part relative apportée par chaque variable pour expliquer la variation résiduelle des températures ou de l'indice de thermophilie. Pour lever cette difficulté, on effectue un premier calcul de corrélation linéaire en opérant, variable par variable, de manière à pouvoir éliminer celles qui ne sont pas significatives. Ensuite, le modèle final est établi en croisant, dans une régression multiple, un nombre progressivement croissant de variables (2, 3, ..., n) et à chaque fois, toutes les combinaisons sont testées. La meilleure formule est donnée par l'équation qui fournit le coefficient de corrélation le plus élevé et intégrant le nombre de régresseurs le plus faible.

### Champs de distribution des températures et de l'indice de thermophilie

À l'issue des deux phases, générale et locale, de modélisation, on dispose de deux équations. L'une permet de restituer les champs de température ou d'indice dans leur tendance

d'ensemble en fonction de la latitude et de la longitude. L'autre permet d'affiner ce calcul en tenant compte des caractéristiques locales de l'environnement. Au bout du compte, la combinaison de ces deux résultats permet de restaurer des valeurs de température ou d'indice qui approchent au mieux celle que l'on obtiendrait directement du terrain par observation ou mesure et cela pour chaque carré au sol de 20 mètres de côté.

La méthode qui vient d'être décrite a été appliquée pour restituer le champ de distribution (1) de l'indice de thermophilie et (2) du minimum et du maximum journaliers de chacun des 248 jours de la période d'observation (juillet et août 2001 à 2004).

## Résultats

### *Cartes des températures et de l'indice de thermophilie*

#### *Températures*

Les modèles expliquent plus de 70 % de la variance globale quatre fois sur cinq. Les facteurs généraux (latitude et longitude) ont une moindre influence sur la variation spatiale des températures que les facteurs locaux. Les deux facteurs d'explication majeurs sont l'altitude (la décroissance moyenne de la température avec l'altitude est de 0,7 °C) et le rayonnement global théorique (les sites pentus, exposés au Sud, reçoivent plus d'énergie, donc s'échauffent plus que les sites exposés au Nord). La distance à la mer joue également un rôle non négligeable puisque l'influence pondératrice de celle-ci reste sensible loin à l'intérieur des terres (Joly, 1982). La carte des températures que présente la figure 3 correspond à la moyenne des huit mois d'été considérés. On constate que les sites les plus chauds se situent au Sud de la presqu'île de Brøggerhalvøya et de l'île de Blomstrandøya, à Ossian Sars-fjellet et en quelques sites protégés vers le Kapp Guisnez. Inversement, les températures froides sont toutes rencontrées en altitude, au cœur des massifs montagneux.

#### *Indice de thermophilie*

L'indice de thermophilie est fortement structuré par la localisation des placettes : latitude et longitude expliquent plus de 65 % de variance globale. Les facteurs locaux (rayonnement global notamment) sont beaucoup moins explicatifs. Au total, le modèle explique 77 % de la variance. La carte (fig. 4) montre que la distribution de l'indice de thermophilie obéit au gradient ouest-est déjà évoqué. Les finistères occidentaux, Kvadehuken, Kapp Guisnez, présentent des valeurs faibles, voisines de 0. Ces lieux particuliers dont les valeurs d'indice sont aussi basses qu'à 300 m d'altitude, peuvent être qualifiés de déserts polaires, mais, à mesure que l'on gagne l'intérieur des fjords, les plantes thermophiles se font plus abondantes, jusqu'à Ossian Sars-Fjellet où l'on trouve les plus fortes valeurs d'indice.

#### *Comparaison entre les deux cartes*

Les cartes de température et d'indice de thermophilie ne sont pas strictement concordantes, loin s'en faut. Toutefois, un certain nombre de tendances communes peuvent être décelées. L'altitude est déterminante dans les deux cas : la moyenne des températures passe au-dessous de 0 °C dès 300 m et l'indice de thermophilie est quasiment nul dès 200 m. Les variations conjointes des températures et de l'indice se vérifient sur toute la partie nord du Kongsfjorden (Ossian Sars-Fjellet, Blomstrandøya, Dyrevika, Kapp

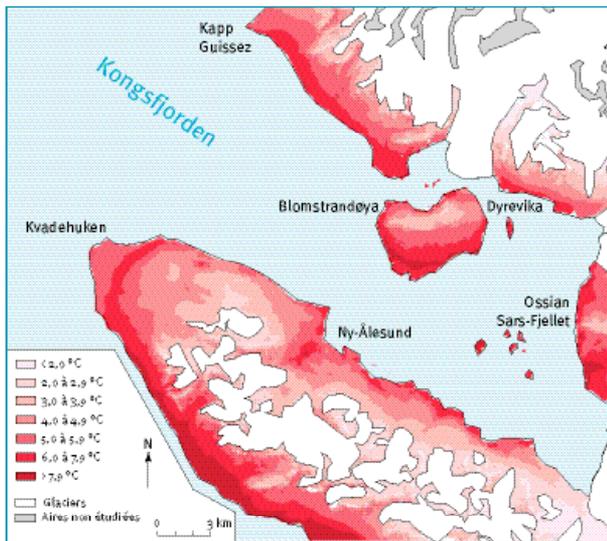


Fig. 3/ Températures (moyenne des étés 2001 à 2004)

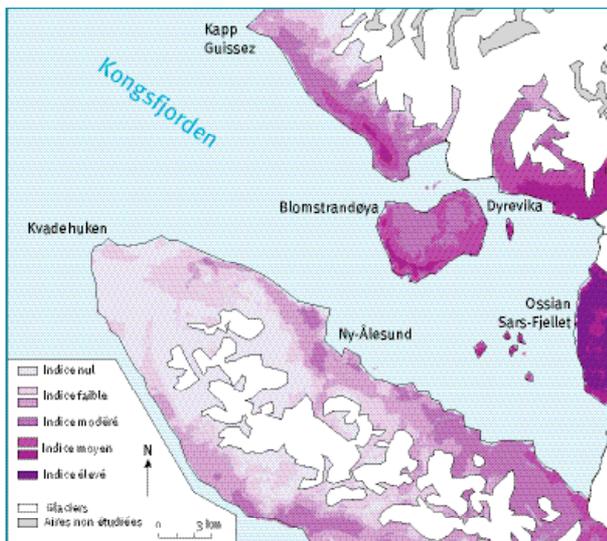


Fig. 4/ Indice de thermophilie

Guisseez). Il en va de même, mais dans une moindre mesure, sur la rive opposée du fjord en presque île de Brøggerhalvøya où le gradient ouest-est joue également, avec toutefois une divergence à l'extrême est : l'environnement glaciaire contribue à faire baisser les températures, tandis que l'indice de thermophilie, toujours en élévation, reste conforme au schéma général.

À l'ouest de la presqu'île, sur le strandflat de Kvædehuken, la divergence de comportement est également sensible puisque l'indice de thermophilie y est quasi nul alors que les températures sont moyennes (6 à 7 °C). Il en va de même en côte sud, où les températures sont élevées, tandis que les valeurs d'indice sont plus nuancées, d'abord faibles (Kiærstranda), puis moyennes (fond du fjord). Ossian Sars-Fjellet présente des divergences de même ordre : l'indice de thermophilie y est extrêmement élevé alors que les températures n'y sont supérieures à 8 °C qu'en trois secteurs d'extension limitée.

#### Corrélation entre températures et indice de thermophilie

La comparaison entre la carte des températures moyennes et celle de l'indice de thermophilie mérite d'être complétée par des calculs de corrélation qui précisent les liens entre ces deux variables. À cette fin, un tableau statistique a été constitué ; il comporte 166 lignes correspondant aux stations d'observation botanique de 1 km<sup>2</sup>, et 497 colonnes correspondant aux variables prises en compte et réparties comme suit : (1) la valeur initiale de l'indice de thermophilie, (2) 248 minimums et 248 maximums thermiques calculés par autant de modèles instantanés jalonnant les périodes de mesure considérées. Précisons que ces valeurs ont été agrégées au km grâce au calcul de

moyennes locales venant s'ajuster sur les carrés d'observation botanique et établissant ainsi une cohérence spatiale entre les données. De ces variables de température trop nombreuses pour être traitées pas à pas, on a dérivé des indicateurs plus synthétiques qui serviront au calcul des corrélations : moyenne des minimums puis des maximums sur l'ensemble des quatre périodes d'étude (2 mois d'été de 2001 à 2004),... ; fréquences des températures minimales puis maximales selon différents seuils.

#### Corrélations

En retenant l'indice de thermophilie comme variable expliquée d'un calcul de corrélation linéaire, le coefficient s'établit à -0,15 avec les températures minimales moyennes,

**Tabl. 1/ Structure du tableau de données servant au calcul de corrélation  
(exemple partiel des minimums thermiques)**

	Indice de thermophilie	Température moyenne des minimums	Fréquences des températures minimales				
			< 1,9°C	2°C à 2,9°C	3°C à 3,9°C	...	> 10°C
<b>Carré 1</b>	4	3,7	52	35	46	...	1
<b>Carré 2</b>	5	3,5	65	38	33	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Carré 166</b>	28	4,4	22	26	38	...	8

et à +0,41 avec les maximales moyennes. Ces liaisons ne sont donc pas ou moyennement significatives.

Pour essayer de dépasser ce constat, nous avons affiné les calculs en traduisant l'information sous forme de classes au sein desquelles les valeurs exprimées sont des fréquences (tabl. 1). De la sorte, chacune des deux séries de 248 mesures a fait l'objet de regroupements en une dizaine de classes (< 2°C, 2 à 2,9 °C, ..., > 15 °C). Selon ce principe, la caractéristique froide d'une station se marquera par une plus grande fréquence des températures inférieures à 2 °C tandis que la caractéristique chaude se liera à une fréquence élevée des températures supérieures à 10 °C. Sur cette base, il est possible de procéder à de nouveaux calculs de corrélation qui reprennent IT comme variable expliquée et les fréquences obtenues comme variables explicatives. En outre, cette procédure, en facilitant la traduction graphique des résultats, permet de faire ressortir commodément les faits significatifs de la corrélation.

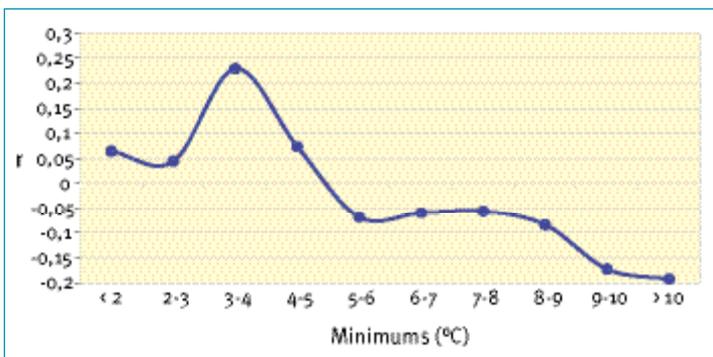
La figure 5 montre qu'une fréquence élevée des minimums dans la tranche 3 °C à 3,9 °C se marque par un pic de corrélation positive tandis qu'au-delà des 9 °C les corrélations deviennent fortement négatives. Pour le reste, c'est l'indépendance statistique qui prévaut.

La figure 6, construite sur le même principe que la précédente, concerne la corrélation entre IT et les différentes classes de maximums. En dessous de 8 °C, les valeurs obtenues sont négatives pour les 5 classes concernées; elles traduisent la faible aptitude des relevés qui s'y rattachent à accueillir des plantes thermophiles. À l'inverse, deux classes de températures sont marquées positivement, l'une s'inscrit dans la tranche 8 °C à 8,9 °C et l'autre va au-delà de 11 °C. Les deux classes intermédiaires (maximales comprises entre 9 °C et 10,9 °C) sont curieusement indifférentes.

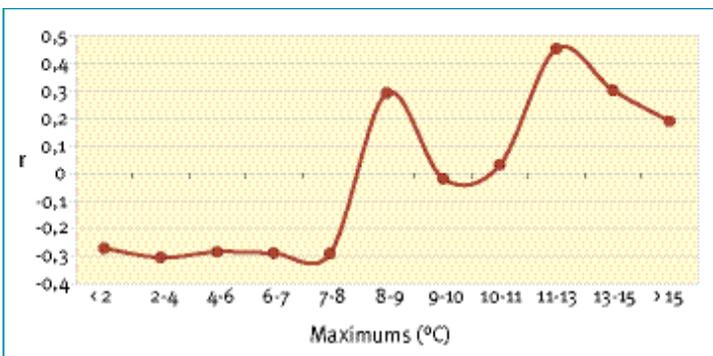
Sur cette base, il est possible de construire un modèle intégré qui consiste à croiser, dans un calcul de corrélation multiple, l'indice de thermophilie (restant la variable expliquée) avec les fréquences distribuées en classes comme nous venons de le voir, mais en ne retenant que les classes significativement corrélées à IT, en positif ou en négatif:

- en positif (variant dans le même sens que IT) :
  - fréquence élevée de minimums compris entre 3 °C et 3,9 °C ( $r = +0,23$ );
  - fréquence élevée de maximums compris entre 8 °C et 8,9 °C ( $r = +0,30$ ) et supérieurs à 11 °C ( $r = +0,37$ );
- en négatif (variant à l'inverse de IT)
  - fréquence élevée de minimums supérieurs à 9 °C ( $r = -0,18$ );
  - fréquence élevée de maximums inférieurs à 8 °C ( $r = -0,48$ ).

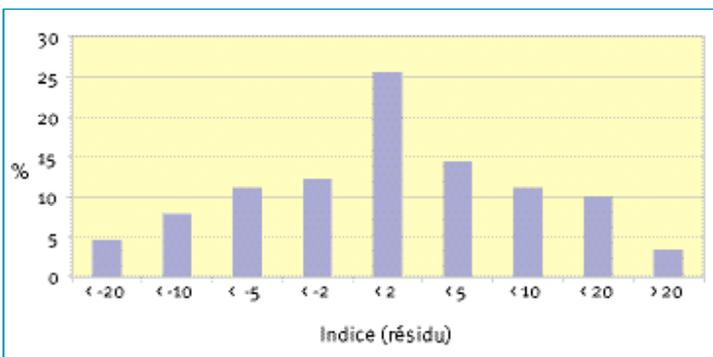
Au bout du compte, la mise en œuvre de la modélisation, telle qu'elle a été décrite dans ses différentes étapes, ressort avec un ajustement de qualité puisque le  $r$  obtenu est 0,52.



**Fig. 5/** Corrélation de IT avec les fréquences établies pour 10 classes de températures minimales



**Fig. 6/** Corrélation de IT avec les fréquences établies pour 11 classes de températures maximales



**Fig. 7/** Répartition des résidus du modèle IT-Température

### Écarts au modèle

L'analyse des résidus de cette corrélation apporte d'autres précisions (fig. 7) ; près de 75 % d'entre eux s'inscrivent dans la fourchette d'un écart-type qui s'établit à 9 points d'indice et confirment la valeur du résultat obtenu. Du côté des résidus négatifs importants (2 écarts-types), deux explications peuvent être avancées :

- une surestimation de l'indice de thermophilie lors de l'observation ; ce cas de figure reste très improbable puisque l'erreur de relevé se fait le plus souvent par défaut : on peut toujours manquer la présence d'une plante mais le relevé d'une espèce non présente est beaucoup plus rare et assez facilement repérable car il s'agit en général d'une erreur de saisie ;

- les températures sont trop faibles d'au moins 2 °C ; cette hypothèse est à considérer car les valeurs de température utilisées dans la confection du modèle résultent d'interpolations et sont donc elles-mêmes des valeurs approchées par calcul : par conséquent, celles-ci peuvent comporter un biais qui est d'autant plus envisageable que les stations correspondantes sont installées dans le même secteur d'Ossian Sars-Fjellet, au fond de la baie du Roi. Or, sur cet ensemble précis, l'écart-type des erreurs d'interpolation (minimums et maximums) est de 0,9 °C contre 1 °C pour l'ensemble des 52 stations ; la moyenne des erreurs y est de 0,1 °C, les écarts négatifs compensant les écarts positifs. Une autre hypothèse est donc à mettre en avant.

Le secteur d'Ossian Sars-Fjellet dont nous parlons est celui dont les valeurs d'indice de thermophilie sont les plus élevées (fig. 2 et 4). Il est marqué par des

falaises abruptes qui accueillent de nombreuses colonies d'oiseaux et induisent de ce fait un apport d'azote dans l'écosystème local. De la sorte, les espèces thermophiles bénéficient de la conjugaison de deux facteurs favorables, puisque les températures y sont également parmi les plus élevées de l'aire d'étude. L'écart au modèle se trouve ainsi bien expliqué. Notons à ce propos qu'Ossian Sars-Fjellet figure parmi les quatre « spots thermophiles » remarquables recensés au Spitsberg.

Quant aux résidus fortement positifs, ils touchent 5 placettes, toutes situées au contact montagne-strandflat, sur le versant nord de la presqu'île de Brøggerhalvøya. Les températures apparaissent là trop élevées d'environ 1,5 °C, compte tenu de l'indice de thermophilie modeste qu'elles présentent. L'écart-type des erreurs d'interpolation aux stations qui jalonnent ce versant nord est assez élevé (1,3 °C), ce qui révèle des variations spatiales de la températures difficiles à modéliser. Il convient toutefois de préciser que l'ensemble du piémont considéré est fortement marqué par la présence de moraines et de plaines d'épandages proglaciaires. Ces milieux minéraux récents sont recouverts d'une végétation clairsemée, constituée de plantes colonisatrices, peu exigeantes thermiquement, qui ne sont pas intégrées au calcul de l'indice de thermophilie, en raison, précisément, de leur caractère ubiquiste. Il en résulte des indices peu élevés au regard des températures parce que la végétation de ces milieux juvéniles en est restée à un stade pionnier sans avoir eu le temps de s'ajuster au potentiel thermique local, d'où l'écart au modèle constaté.

## Conclusion

La méthode que nous avons établie pour interpoler les températures et l'indice de thermophilie conduit au constat suivant :

- les valeurs théoriques telles qu'elles ressortent de la modélisation sont bien conformes aux valeurs de terrain. Une grande part de la variance étant expliquée, le modèle permet de restituer d'une façon satisfaisante les variations spatiales des phénomènes conjointement analysés ;
- dans quelques cas pourtant, les écarts entre les valeurs données par le modèle et celles qui résultent de l'observation ont été importants. En général, la cause de ces « erreurs » d'estimation peut assez facilement être comprise : il s'agit de stations dont l'emplacement est sous la contrainte quasi exclusive d'un facteur très local qui perturbe donc la relation aux autres variables telle qu'elle est exprimée à travers le modèle. On a pu établir que ces écarts restent ponctuels.

Dans notre exemple, huit « situations thermiques » seulement, correspondant à des moyennes mensuelles, ont fait l'objet d'interpolations. Le champ d'expériences possibles est évidemment beaucoup plus large. Sur le même mode, il est possible de reconstituer autant de champs thermiques qu'il y a d'instantanés disponibles dans la base, soit une carte toutes les 30 minutes entre l'été 2000 et l'été 2003. On peut aussi sélectionner ou agréger ces valeurs selon différents critères et produire les cartes correspondantes telles que minimums et maximums journaliers, moyenne de température pour différents types de temps, sommes de températures, fréquence de températures selon certains seuils critiques, etc. L'information ainsi produite est modulable et peut se prêter à de nombreux protocoles expérimentaux destinés à saisir la réalité du climat à travers ses variations spatiales et temporelles.

Comme nous n'avons pas encore tiré tout le parti de cette ressource, les résultats présentés ici vont servir de socle à de nouveaux développements. D'autres indices sont à mettre en place. En effet, les moyennes estivales ne sont pas représentatives de tous les types de contraintes thermiques auxquelles doivent faire face les plantes pour se développer, fleurir, fructifier. À ce titre, d'autres études (Bjerke, 2004 ; Beck *et al.*, 2005) montrent que la distribution spatiale de la température moyenne de juin est plus conforme à celle des plantes que celle des moyennes estivales. Cela montre que la

distribution des plantes ne se relie pas aux températures d'une manière univoque. Il semble bien que la date de la fonte nivale et donc la précocité de la saison végétative soit un facteur aussi important que la température d'été. Corollairement, la longueur de la saison végétative, fortement déterminée par la neige, est aussi à prendre en considération. La présence de neige résiduelle formant congère sous une crête battue par le vent retarde le démarrage de la saison tandis que les secteurs bien vannés, au couvert nival peu épais et rapidement débarrassé, permettent aux plantes d'entamer leur cycle aussitôt que les maximums dépassent le zéro. Une fois que la neige a disparue, la somme des températures est un bon indicateur du potentiel de croissance offert aux plantes. Cette valeur dépend évidemment des maximums journaliers qui peuvent considérablement varier d'un point à l'autre. Outre la température et le couvert nival, d'autres composantes du climat, tel le vent, ont aussi une influence non négligeable sur la variation spatiale des plantes (Moreau *et al.*, 2005). C'est en fait un ensemble de facteurs beaucoup plus large qui devrait être pris en compte pour améliorer le présent modèle.

À l'issue de cette présentation, on voit que des corrélations entre température et indice de thermophilie demandent à être explorées d'une manière beaucoup plus fine pour établir le potentiel bio-climatique de chaque site en fonction de sa situation générale et de sa configuration locale. Quand ces propriétés seront plus fermement connues, la relation qu'il convient de faire entre le changement climatique et la transformation du couvert végétal pourra être précisée à l'échelle des micro-milieus et cartographiée dans toutes ses nuances.

## Références

- ARFT A.M., WALKER M.D., GUREVITCH J., ALATALO J.-M., BRET-HARTE M.S., DALE M., DIEMER M., GUGERLI F., HENRY G.H.R., JONES M.H., HOLLISTER R.D., JONSDOTTIR I.S., LAINE K., LÉVESQUE E., MARION G.M., MOLAU U., MØLGAARD P., NORDENHÅLL U., RASZHIVIN V., ROBINSON C.H., STARR G., STENSTRÖM M., TOTLAND Ø., TURNER P.L., WALKER L.J., WEBBER P.J., WELKER J.M., WOOKEY P.A. (1999). « Responses of tundra plants to experimental warming: meta-analysis of the international tundra experiment ». *Ecological Monographs*, 69, p. 491-511.
- AUNE B. (1993). « Klima. Temperaturnormaler normalperioden 1961-1990 ». *Det Norske Meteorologiske Institutt*, report n° 2, 63 p.
- BECK S.A., KALMBACH E., JOLY D., STIEN A., NILSEN L. (2005). « Modelling local distribution of an arctic dwarf shrub indicates an important role for remote sensing of snow cover ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 98, p. 110-121.
- BJERKE J.W., JOLY D., NILSEN L., BROSSARD T. (2004). « Spatial trends in usnic acid concentrations of the lichen *Flavocetraria nivalis* along local climatic gradients in the arctic (Kongsfjorden, Svalbard) ». *Polar Biology*, vol. 27, p. 409-417.
- BRATTBÄCK I. (1981). Vegetasjonkart 1: 10 000. 8 sheets. Oslo: Norsk Polarinstitutt.
- BROSØ B. (1997). *Phytogeographically based mapping of local temperatures in several separate areas on Svalbard*. Tromsø: University of Tromsø.
- BROSSARD T., DERUELLE S., NIMIS P.L. (1984). « An interdisciplinary approach to vegetation mapping in high Arctic environment, Ny-Ålesund, Svalbard ». *Phytoecologia*, vol. 12, n° 4, p. 433-453.

- BROSSARD T., ELVEBAKK A., JOLY D. (1992). « Bioclimatology at Kongsfjorden (Svalbard) studied by a phytogeography based method and by GIS applied to the indicator species *Cassiope tetragona* ». *Arctic research seminar*, Paris, October 1992, Proceedings Part 2, p. 1-14.
- BROSSARD T., ELVEBAKK A., JOLY D., NILSEN L. (1999). « Mapping and analysing arctic vegetation: evaluating a method coupling numerical classification of vegetation data with SPOT satellite data in a probability model ». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, n° 15-16, p. 2947-2977.
- BROSSARD T., ELVEBAKK A., JOLY D., NILSEN L. (2002). « Modelling index of thermophily by means of a multi-source database on Brøggerhalvøya Peninsula (Svalbard) ». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, n° 23, p. 4683-4698.
- CORBEL J. (1966). « Recherche sur les climats du Spitzberg et leurs variations récentes ». *Spitzberg 1964 et premières observations 1965*. Lyon : Audin éditions, p. 41-54.
- CUBASCH U., MEEHL G.A., BOER G.J., STOUFFER R.J., DIX M., NODA A., SENIOR C.A., RAPER S., YAP K.S. (2001). « Projections of future climate change ». In HOUGHTON J.T., DING Y., GRIGGS M., NOGUER M., VAN DER LINDEN P.J., DAI X., MASKELL K., JOHNSON C.A. (Eds), *Climate Change 2001: The scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge : Cambridge University Press, p. 525-582.
- ELVEBAKK A. (1982). « Geological preferences among Svalbard plants ». *Inter-Nord*, n° 16, p. 11-31.
- ELVEBAKK A. (1990). « A new method for defining biogeographical zones in the Arctic ». *Arctic research, advanced and prospects*, Part 2. Moscow : Academy of sciences of the USSR, Commission of the Arctic Research, p. 175-186.
- FURY R., JOLY D. (1995). « Présentation d'une méthode pour l'interpolation à maille fine (100 m) des températures journalières ». *La Météorologie*, 8<sup>e</sup> série, n° 11, p. 36-43.
- GARDNER T.W., SASOWSKI K., DAY L. (1990). « Automated extraction of geomorphometric properties from digital elevation data ». *Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl. Band 80, p. 57-68.
- HANSELL R.I.C., MALCOLM J.-R., WELCH H., JEFFERIES R.L., SCOTT P.A. (1998). « Atmospheric change and biodiversity in the Arctic ». *Environmental Monitoring and Assessment*, n° 49, p. 303-325.
- JENSON S.K., DOMINGUE J.O. (1988). « Extracting topographic structure from digital elevation data for GIS analysis ». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 54, n° 11, p. 1593-1600.
- JOLY D. (1982). « Influence du Kongsfjord sur les températures maximales observées aux alentours de la Base française du CNRS au Spitzberg ». Colloque Océanographie-Climatologie, Marseille. *Norvège*, n° 116, p. 615-627.
- JOLY D. (1994). *Ambiances climatiques instantanées au Spitzberg ; pour une approche méthodique par niveau d'échelle*, n° 529. Paris : Les Belles Lettres, coll. Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté, 404 p.
- JOLY D., BERT E., FURY R., JACQUINOT J.-P., VERMOT-DESROCHES B. (1994). « Interpolation des températures à grande échelle ». *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 4, n° 1, p. 55-85.
- JOLY D., BROSSARD T., DUPONT G., ELVEBAKK A., FURY R., NILSEN L. (1999). « Localisation optimale de capteurs en vue de la modélisation des températures sur le piémont de deux glaciers au Spitzberg ». *Actes du 12<sup>e</sup> colloque de l'Association internationale de climatologie*, Dakar, nov. 1999.
- JOLY D., KERGOMAR C. (1982). « Éléments pour une étude comparée du climat au Nord et au Sud de la presqu'île de Brøgger (Spitzberg Nord-Occidental) ». *Norvège*, n° 119, p. 363-379.
- JOLY D., NILSEN L., FURY R., ELVEBAKK A., BROSSARD T. (2003). « Température interpolation at large scale; test on a small area on Svalbard ». *International Journal of Climatology*, vol. 23, p. 1637-1654.
- JUNTILLA O., ROBBERECHT R. (1993). « The influence of season and phenology on freezing tolerance in *Silene acaulis* L., a subarctic and arctic cushion plant of circumpolar distribution ». *Annals of Botany*, n° 71, p. 423-426.

- MAXWELL B. (1992). « Arctic climate: Potential for change under global warming ». In CHAPIN F.S. III (ed.), *Arctic Ecosystems in a Changing Climate. An Ecophysiological Perspective*. San Diego: Academic Press, p. 11-34.
- MÉTÉO-FRANCE (2000). *Enregistreur de température Hobo*. Note technique Météo-France, documentation DSO, réf. To10, 17 p.
- MOREAU M., LAFFLY D., JOLY D., BROSSARD T. (2005). « Analysing of plant colonization on an arctic moraine since the end of the Little Ice Age using remotely sensed data and a Bayesian approach ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 99, p. 244-253.
- MYERS R.H. (1990). *Classical and modern regression with applications*. Boston, MA, PWS-Kent Publishing, 488 p.
- MORRISON J. (1974). « Observed statistical trends in various interpolation algorithms useful for first stage interpolation ». *The Canadian Cartographer*, vol. 11, p. 142-159.
- NILSEN L., BROSSARD T., JOLY D. (1999). « Mapping plant communities in a local arctic landscape applying a scanned infra red aerial photograph in a geographical information system ». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, n° 2, p. 463-480.
- PRESS M.C., CALLAGHAN T.V., LEE J.A. (1998). « How will European arctic ecosystems respond to projected global environmental change? ». *Ambio*, 27, p. 306-311.
- REYNOLDS J.-F., LEADLEY F. (1992). « Modelling the response of arctic plants to changing climate ». In CHAPIN F.S. III (ed.), *Arctic Ecosystems in a Changing Climate. An Ecophysiological Perspective*. San Diego: Academic Press, p. 413-438.
- ROBBERECHT R., JUNTILLA O. (1992). « The freezing response of an arctic cushion plant, *Saxifraga caespitosa* L.: Acclimatation, freezing tolerance and ice nucleation ». *Annals of Botany*, n° 70, p. 129-135.
- WILMOTT C.J., ROBESON S.M. (1995). « Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature ». *International Journal of Climatology*, vol. 15, p. 221-229.
- ZEVENBERGEN L.W., THORNE C.R. (1987). « Quantitative analysis of land surface topography ». *Earth Surface and Landforms*, n° 12, p. 47-56.
- ZIAJA W., DUBIEL E. (1996). « Vascular plants succession during contemporary deglaciation in the mountain of Nordenskjöld Land, Spitsbergen ». In *Proceedings XXIII Symposium Polarne Sosnowiec*, p. 99-104.