

---

# Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

---

## CHAPITRE 1 L'historique

Jean-Pierre Ducruc

**Référence à citer :**

Ducruc, J.-P., 2019. « L'historique », dans Ducruc, J.-P., F. Poisson, V. Gerardin, G. Domon, J. Ruiz et J. E. Medina Mena, *Le cadre écologique de référence du Québec : perspectives historiques, concepts et applications*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, p. 13-41.



## CHAPITRE 1

### L'historique

Par Jean-Pierre Ducruc

Le CER trouve ses racines dans une longue démarche scientifique qui a vu le jour dès la première moitié du 19<sup>e</sup> siècle au cœur de l'empire russe. Aujourd'hui, il se reconnaît dans de nombreux travaux réalisés ailleurs dans le monde et reflète bien l'état d'avancement de la pensée scientifique en ce domaine. Pionniers au Québec, Jurdant et ses héritiers y ont puisé leur inspiration en participant d'abord activement à l'émergence et au développement d'une approche canadienne originale qu'ils ont ensuite adaptée à la réalité québécoise avant de l'exporter en Grèce (Jurdant, 1980; Nakos, 1983; Christodoulou et Nakos, 1990), au Nicaragua (Jurdant, 1984), au Burkina Faso (Ducruc et Gerardin, 1995) et au Chili (Salazar et coll., 2005 ; Medina Mena, 2006), montrant ainsi sa versatilité et une certaine universalité.

La revue historique qui suit présente seulement des travaux traitant de cartographie « écologique » dans lesquels le territoire, pris dans son ensemble, est l'objet d'étude.

#### Le territoire

La plupart des dictionnaires disent que le territoire est une étendue de pays. Le mot territoire est, dans le présent texte, pris dans ce sens même si le milieu physique est privilégié pour le cartographe; c'est une approche globale incluant toutes les dimensions de l'étendue de pays qui est considérée.

Donc, les cartographies thématiques ne seront pas abordées même si, à un moment ou à un autre, elles ont pu être qualifiées d'écologiques, telles des cartographies de la végétation, des sols, des ressources forestières ou fauniques, etc. La revue s'attardera surtout sur les concepts, abordera un peu les raisons qui ont motivé les développements méthodologiques et détaillera

souvent les systèmes développés. Ceci devrait peu à peu familiariser le lecteur avec les assises conceptuelles du CER présentées dans la deuxième partie de l'ouvrage. Nous avons pris certaines libertés chronologiques pour plutôt mettre en exergue les pôles de développement importants. En ce sens, les synthèses présentées par Isachenko (1973) et Rougerie et Beroutchachvili (1991) nous ont grandement facilité la tâche.

D'emblée, mentionnons que trois pays ont joué un rôle majeur dans l'évolution de la cartographie écologique dans le monde, soit la Russie, l'Australie et le Canada. À un moment donné de leur histoire récente, ces trois pays ont été confrontés au même problème : développer d'immenses territoires pour lesquels existaient peu de connaissances. Il leur a fallu passer rapidement de la théorie à la pratique, permettant, par la même occasion, de tester et de consolider les concepts et d'en montrer leur faisabilité. Dès le début du 19<sup>e</sup> siècle, l'empire russe souhaitait mettre en valeur les vastes steppes d'Ukraine et de Sibirie méridionale, les célèbres terres de *chernozem* qui, ultérieurement, allaient devenir pour un temps le grenier à blé de l'Europe. Dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'Australie a décidé d'occuper l'intérieur de son pays, véritable continent quasi vide d'habitants, afin d'y développer l'élevage, l'agriculture et la foresterie. Le Canada au début des années 1960 et le Québec à partir du milieu des années 1970 se sont tournés vers le développement de leurs territoires nordiques, surtout au regard des ressources forestières et hydroélectriques. Dans chaque cas, l'acquisition des connaissances écologiques a suivi une démarche similaire basée sur une approche territoriale (et non sur les ressources) qui met l'accent sur le milieu physique comme soutien à la connaissance des écosystèmes et se fait du global vers le particulier selon une hiérarchie de niveaux de perception.

Dans le sillage de ces trois piliers du développement de la cartographie écologique, de nombreuses applications ont vu le jour dans d'autres pays dans le monde, que nous avons regroupés en trois blocs distincts. Nous présenterons d'abord ceux qui ont été fortement influencés par les travaux de l'école russe, ensuite les Pays-Bas, dont les travaux sont très proches des Canadiens et des Australiens, puis les États-Unis qui se distinguent, surtout dans les dernières années, par le souci d'intégrer la dimension aquatique. Enfin, nous terminerons ce tour d'horizon par l'expérience québécoise.

## 1.1 Les trois piliers du développement de la cartographie écologique dans le monde

### 1.1.1 Les travaux de l'école russe

L'expérience russe porte toutes les prémises des travaux élaborés ultérieurement ailleurs dans le monde. Elle se situe à la confluence de la géographie physique, de l'écologie et de l'analyse du paysage, mais son objet premier a toujours été la cartographie du territoire pris dans sa globalité. Avec plus d'un siècle de recul, l'essentiel des concepts et de la philosophie qui l'animaient est toujours d'actualité et souligne à quel point les géographes russes ont été des précurseurs.

L'aventure commence entre 1840 et 1850. Dès cette époque, plusieurs inventaires fauniques et botaniques sont réalisés en considérant les dimensions physiques et géographiques du territoire. Ainsi sont mises en évidence des relations étroites entre la flore, la faune et le milieu environnant qui guideront l'ébauche des premières typologies régionales, notamment celles décrivant les complexes naturels de la région des mers d'Aral et Caspienne (Borschov, entre 1860 et 1865 [Zonn et coll., 2009]). Le concept de *géocomplexe* est déjà lancé. Quelques années plus tard, Dokuchayev va définitivement l'installer avec sa proposition du *complexe naturel territorial* (CNT).

#### Le complexe naturel territorial selon Dokuchayev

Le complexe naturel territorial (CNT) est « une unité naturelle à la surface de la terre dont le sol est la fondation, car il est le résultat des interactions entre l'ensemble des facteurs du milieu comme la géologie (socle rocheux et dépôt de surface), le climat et le monde vivant. »

Pour comprendre la nature des processus naturels qui régissent le complexe naturel territorial, « on doit étudier l'unique, l'entière et l'indivisible nature et non ses fragments ».

Deux idées fortes caractérisent le concept de CNT : l'appréhension globale du milieu (non variable par variable) et la prééminence du milieu physique dans la compréhension du territoire. Un demi-siècle plus tard,

ce sera aussi l'assise conceptuelle des travaux de l'école australienne qui, à son tour, influencera grandement l'école canadienne!

Dokuchayev met immédiatement ses réflexions à l'épreuve du terrain lors de missions visant le développement de l'agriculture dans les steppes russes. Jusqu'à la révolution d'octobre 1917, le *complexe naturel territorial* sera à la base du développement d'une régionalisation écologique de plusieurs parties du territoire russe. Ces travaux permettent l'éclosion d'une véritable pépinière de cartographes qui vont faciliter le développement de la cartographie. Dès 1904, Vysotski propose de cartographier le territoire en distinguant différentes unités morphologiques. En 1913, Berg, dont les travaux ne seront accessibles hors de Russie que beaucoup plus tard (Berg, 1947), précise cette proposition.

#### Les unités morphologiques selon Berg (1947)

« Portions de territoire dans lesquelles le caractère propre du relief, du climat, de la végétation et du sol se traduisent par une entité spatiale harmonieuse réapparaissant régulièrement dans une zone définie de la surface de la terre. »

En 1914, Abolin crée un système cohérent de cartographie de la terre allant du plus haut niveau, la planète, au géocomplexe élémentaire. Avec ses travaux, c'est la première hiérarchie de niveaux de perception de l'espace qui apparaît dans la littérature scientifique.

#### Les niveaux de perception selon Abolin (1914)

Du général (l'écosphère) vers le particulier (l'unité élémentaire) : on part de l'« *epigeneme* » divisé en « *epizones* », divisées en « *epiregions* » qui contiennent des « *epitypes* » pour aboutir enfin à l'unité élémentaire, l'« *epimorph* ».

La majorité de ces auteurs ne font pas que cartographier, ils créent aussi les bases scientifiques pour évaluer l'aptitude du territoire à la production agricole ou forestière pour en planifier une utilisation rationnelle (Dokuchayev, 1951).

Après la révolution de 1917, la cartographie entre dans une nouvelle phase motivée par le régime communiste qui souhaite se servir de cartes régionales pour mettre en place sa planification économique (développement de l'agriculture et attribution de nouvelles terres). Sont alors produites des cartes, à grande et moyenne échelle, précédées d'inventaires de terrain. Elles portent toujours un regard particulier au relief, à la géologie, au sol et à la végétation. Elles aboutissent rapidement à une grande diversité d'unités territoriales et soulignent la nécessité d'établir une hiérarchie pour ces unités. C'est dans

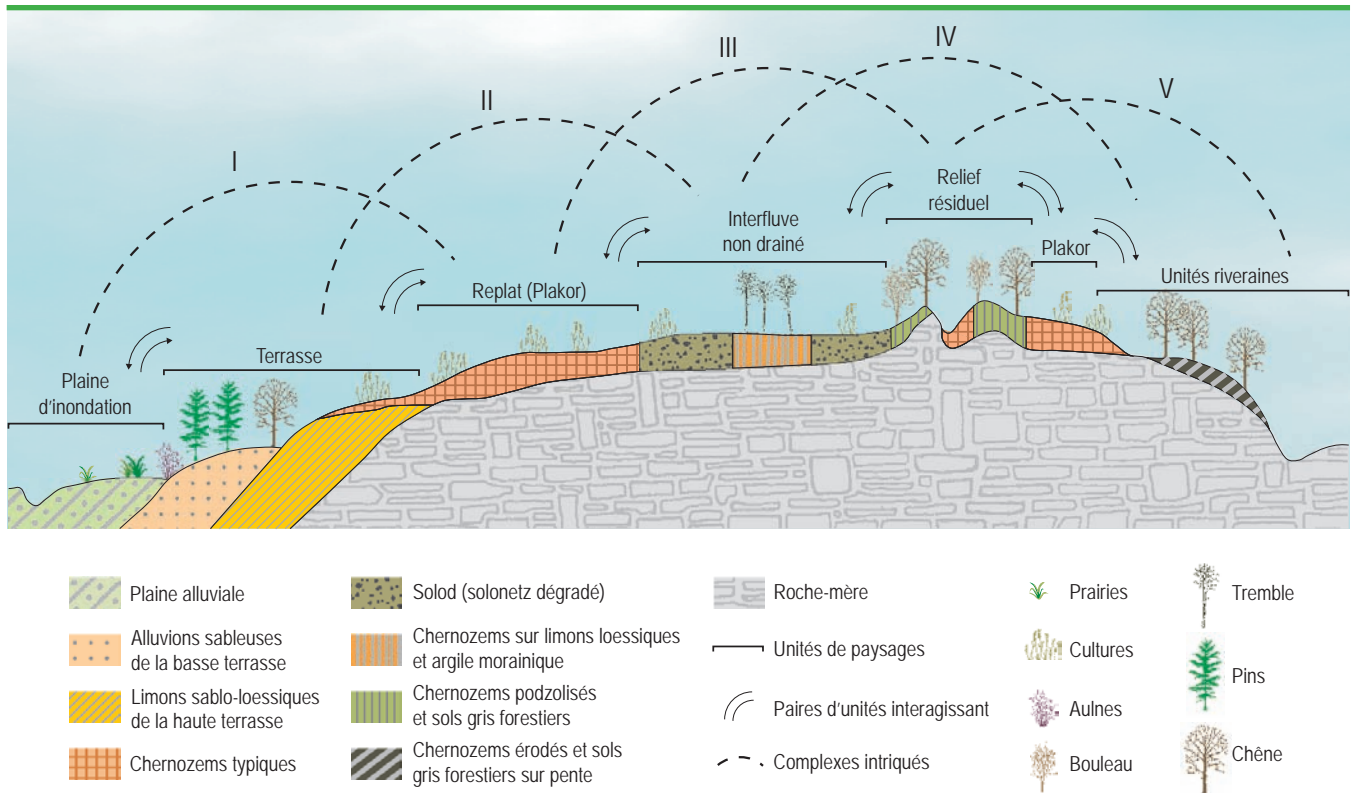


Figure 1.1. L'unité territoriale selon Solntsev (1962), adaptée de Rougerie et Beroutchachvili (1991)

cette veine que Berg publie en 1931 *The Landscape-Geographic Zones of the USSR*. Dans chaque zone, il cartographie des complexes régionaux et établit une typologie des milieux élémentaires rencontrés. Cette notion de hiérarchie sera ultérieurement précisée par plusieurs auteurs, dont Ramyenski (1938) qui est le premier à la présenter en détail. Pour cet auteur, chaque unité est un système territorial complexe constitué de plusieurs unités élémentaires interreliées et s'influencent mutuellement au point de créer une entité particulière.

Chaque unité territoriale se caractérise par : 1) sa localisation géographique; 2) la description de ses composantes élémentaires; 3) l'origine de ses composantes élémentaires; 4) les échanges entre les composantes élémentaires (des échanges de chaleur, d'humidité, de minéraux ou de matière organique). (Ramyenski 1938)

Grigoryev (1937) et Kalyesnik (1940) poussent plus loin cette idée d'unité territoriale intégrée et morphologiquement hétérogène. Ils montrent que chaque unité territoriale présente des caractéristiques particulières à l'intérieur de limites géographiques bien définies. Pour la première fois, on affirme que la plupart de ces unités se reconnaissent directement sur le terrain.

La période qui suit la fin de la Seconde Guerre mondiale voit l'augmentation simultanée des inventaires de terrain

et l'intensification des recherches théoriques. En 1948, Solntsev publie les premiers traitements théoriques des travaux de terrain et définit chaque unité territoriale cartographiée comme une association régulière de formes de terrain. Dans une série d'articles ultérieurs, il présente clairement sa conception de la cartographie territoriale basée sur des emboîtements d'unités (figure 1.1).

« Chaque unité territoriale cartographiée correspond à un complexe génétiquement homogène, doté d'une unité géologique, géomorphologique et climatique, composé d'un certain assortiment d'unités plus petites fortement liées les unes aux autres en ce qui concerne la dynamique et qui se répète régulièrement dans l'espace. » (Solntsev, 1962)

Dans les années 1950 et 1960, l'enseignement de la cartographie territoriale se développe dans plusieurs universités du pays et la plupart d'entre elles se dotent de stations expérimentales de recherche. Des colloques portant sur les développements théoriques et pratiques de cette cartographie sont organisés sur une base régulière.

Enfin, Isachenko publie un premier manuel en 1965. La fin de cette période marque le passage du concept de complexe naturel ou géocomplexe au concept de système.

Sochava (1963) propose le terme et la notion de géosystème qui va faire de nombreux adeptes tant en URSS qu'ailleurs dans le monde.

« Les géosystèmes sont des systèmes naturels de niveau local, régional ou global dans lesquels le substrat minéral, le sol, les communautés d'êtres vivants, l'eau et les masses d'air, particuliers aux diverses subdivisions de la surface de la terre, sont interconnectés par des échanges de matière et d'énergie en un seul ensemble. » (Sochava, 1972)

La façon d'aborder la cartographie du territoire par le concept du géosystème recoupe des voies pratiquées antérieurement, entre autres par Solntsev, et met l'accent sur l'utilisation des formes de terrain. En plus de faciliter la délimitation d'unités territoriales, le géosystème ouvre aussi la voie à la mise en évidence et à la compréhension des relations dynamiques qui règnent à l'intérieur de ses limites. Ainsi, en fonction de la morphologie et de la topographie, les auteurs considèrent des *sites dominants* (colline, butte) par rapport à des *sites dominés* (vallée ou dépression), des *composantes déterminantes* (texture du sol) par rapport à des composantes induites (perméabilité) ou encore des *parties de territoire autonomes* (sommet ou haut de pente) par rapport à des parties *transitives* (mi-versant) ou des parties *accumulatives* (bas de pente, dépression). Ces notions vont prendre toute leur importance lors de l'intégration et de la composante aquatique du CER.

Le géosystème ainsi conçu représente une approche du géocomplexe à la lumière de la théorie des systèmes. Il s'apparente, par là même, au concept d'écosystème lancé une trentaine d'années auparavant par Tansley et va même au-delà, car il cherche à prendre en compte tous les éléments du système avec un égal intérêt. Du point de vue de la structure, le géosystème place sur le même pied la dimension latérale et la dimension verticale, alors que cette dernière est très souvent privilégiée dans l'écosystème. La reconnaissance de l'importance de la dimension latérale sera à la base de l'essor que connaîtra, quelques années plus tard, l'écologie du paysage en Europe centrale, puis dans le monde entier. Du point de vue du fonctionnement, le géosystème affirme avec force les énergies cinétiques liées à la gravité en raison de l'importance accordée à la morphologie et à la topographie du territoire.

### 1.1.2 Les travaux de l'école australienne

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les responsables politiques australiens s'inquiètent du fait qu'une grande partie du pays a un niveau de production très faible. Cette situation est due, en partie, à des limitations climatiques ou édaphiques, mais surtout à

un manque général de connaissances, plus flagrant encore dans le nord du pays. En 1946, le gouvernement central australien, en collaboration avec les États du Queensland et de l'Australie-Occidentale, crée le Comité de développement de l'Australie du Nord. À la demande de ce Comité, le « *Council for Scientific and Industrial Research Organization* », connu sous le sigle de CSIRO, entreprendra une série d'inventaires menés par la *Division of Land Research and Regional Survey*. C'est le début d'une longue aventure qui se poursuit encore aujourd'hui et qui va couvrir une grande partie de l'Australie, de la Papouasie et de la Nouvelle-Guinée. Contrairement à la Russie où les travaux de terrain ont été accompagnés de nombreuses recherches théoriques et ont débouché sur un important développement épistémologique de la cartographie, l'Australie restera très pragmatique et consacra l'essentiel de son énergie à des applications pratiques.

Les travaux du CSIRO recourent trois aspects majeurs : 1) réaliser des inventaires régionaux qui mènent à une caractérisation permanente du territoire et des types de milieux rencontrés dans leur environnement naturel; 2) évaluer la production potentielle de ces types de milieux et promouvoir, parfois, des recherches agronomiques intensives (cultures et élevage); 3) approfondir les champs de recherche liés à l'évaluation des potentialités par zones isoclimatiques. Lors du démarrage de l'expérience, quelques dures réalités frappent l'équipe du CSIRO : l'immensité du territoire à couvrir, son isolement, les difficultés d'accès, l'absence de cartes détaillées et d'informations écologiques, etc. L'équipe constate aussi que cette « aventure » n'a rien à voir avec les inventaires pédologiques, phytosociologiques ou écologiques traditionnels. La seule façon de la mener à bien est d'adopter une approche intégrée affirmée au travers du postulat selon lequel la physiographie constitue le meilleur intégrateur possible pour la compréhension, la cartographie et la description du territoire. Des grandes lignes de l'approche australienne présentées par Christian (1952 et 1958) et par Christian et Stewart (1953), cinq traits majeurs ressortent.

- 1) Le territoire est vu comme un ensemble complexe de facteurs à la surface de la terre ou près de la surface qui interagissent, déterminent les possibilités d'utilisation du sol et posent les premières balises pour l'évaluation des niveaux de productivité. Ce complexe de facteurs inclut plus particulièrement la topographie, les sols, le drainage, la végétation, le climat et les sources d'eau pour l'irrigation ou l'élevage. C'est la combinaison de toutes ces variables, plutôt qu'une seule variable dominante, qui est utilisée pour rechercher les similitudes ou les différences entre les diverses portions d'un territoire (Christian et coll., 1960).

- 2) L'unité cartographique de base est le *land system* (ne pas traduire littéralement par « système de terre »!). Sa cartographie est exprimée à l'échelle de 1 : 250 000.

Le « *land system* » est une portion de territoire caractérisée par un patron récurrent de la topographie, des sols et de la végétation. (Christian et Stewart, 1953)

Sa reconnaissance et sa cartographie sont guidées par quelques facteurs importants de sa genèse, comme l'histoire géologique et les processus géomorphologiques qui l'ont affectée ou le stade atteint par ces processus. Les limites des *land systems* coïncident avec des variations majeures de nature géologique, géomorphologique, climatique ou biologique. Ils sont décrits en termes d'unités élémentaires les constituant, les *land types* ou *land units* (selon le vocabulaire consacré de l'école australienne). Ces dernières correspondent, la plupart du temps, à des formes simples de terrain. Leur caractérisation repose avant tout sur la connaissance de leur genèse (géologie, géomorphologie) et l'expression de certaines de leurs propriétés topographiques facilement observables (dénivelé, déclivité, forme des pentes, etc.).

Les « *land systems* » et les « *land units* » sont des unités territoriales, produits actuels d'un processus géomorphologique ayant agi sur un matériel géologique particulier durant un certain temps. Simultanément à l'évolution du milieu physique se réalisait un développement biologique qui, lui aussi, interagissait avec son milieu physique pour en arriver aux caractéristiques globales actuelles. (Christian, 1959).

Ces termes signifient beaucoup plus que leur maladroite traduction littérale française « système de terre » et « unité de terre » proposée par plusieurs auteurs, dont Tricart (1979) et Tricart et Kilian (1979), ou par les traductions françaises officielles du gouvernement canadien.

- 3) La conséquence majeure de cette base génétique du *land unit* fait que les occurrences d'une unité en divers points d'une même zone climatique auront les mêmes propriétés puisqu'elles expriment toutes l'aboutissement d'une évolution identique. Inversement, des unités différentes présenteront des propriétés différentes. Par exemple, des sols de texture semblable, mais formés à partir de roches mères différentes devraient avoir une fertilité distincte! Ces propriétés, héritées de leur genèse, seront cependant modulées par deux paramètres importants lorsque viendra le temps d'évaluer leurs potentialités : la taille des unités et les relations de voisinage avec les unités limitrophes.

- 4) Popularisées durant la Seconde Guerre mondiale, les photographies aériennes deviennent l'outil privilégié de la cartographie australienne, car elles se prêtent merveilleusement bien à l'analyse des formes de terrain et à leur interprétation. Avant les travaux de terrain, les cartographes les utilisent pour planifier des transects de contrôle et de validation afin de s'assurer d'inventorier adéquatement tous les patrons spatiaux des formes de terrain préinterprétés. Lors de l'inventaire, les caractéristiques du terrain sont corrélées avec les caractéristiques de la photographie. La cartographie et la description systématique d'une région sont ensuite terminées en laboratoire. L'objet du travail consiste à délimiter des complexes morphologiques et à décrire leur contenu plutôt qu'à essayer de cartographier les détails en premier, cette façon de faire permettant de couvrir rapidement d'importantes superficies à coût fort raisonnable.

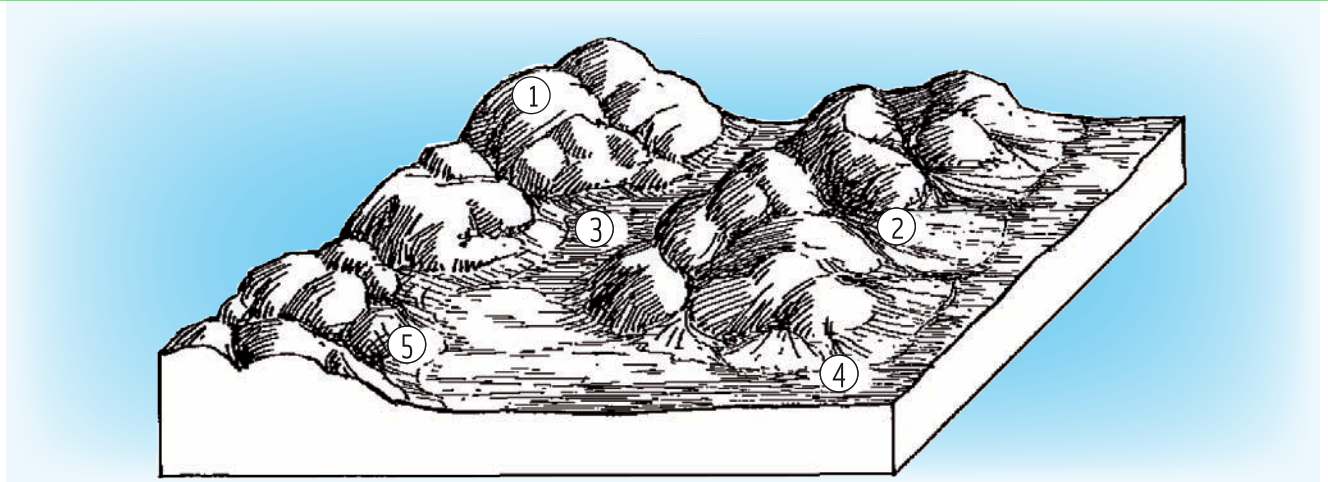
On doit noter cependant que même si les détails ne sont pas cartographiés, la connaissance sur ces détails existe (figure 1.2).

Si, ultérieurement, une connaissance détaillée de certains secteurs s'impose, il sera facile d'y diriger des inventaires spécifiques et d'en dresser une cartographie à plus grande échelle.

- 5) Le travail est conduit par une équipe de spécialistes. L'équipe de base comprend un géologue, un géomorphologue, un pédologue et un écologue. D'autres spécialistes peuvent se greffer à l'occasion, comme un botaniste, un forestier, un climatologue ou encore un hydrologue. Lors de l'évaluation des potentialités, réalisée dans une étape ultérieure, une diversité de spécialistes peut aussi se joindre à l'équipe selon les particularités de la région traitée.

« Comme l'information sur les paramètres de chaque ressource pris individuellement est de peu de valeur, et qu'une information équilibrée sur l'ensemble des paramètres dans chaque subdivision territoriale est nécessaire, il y a nécessité de travailler en équipe comprenant plusieurs spécialistes avec une intégration de pensée et de travail à toutes les étapes. » (Christian et Stewart, 1968)

À l'occasion d'un projet réalisé dans l'État de Victoria, Gibbons et Downes (1964) présentent l'approche hiérarchique complète de l'école australienne. Elle comprend quatre niveaux de perception qui, du haut vers le bas, sont : le *land zone*, le *land system*, le *land unit* et le *land component*. Les auteurs soulignent que la géomorphologie joue un rôle prépondérant pour cartographier les niveaux supérieurs qui expriment des patrons récurrents de l'organisation spatiale du territoire. Le dernier niveau, le *land component*, correspond à une



Unité	Superficie	Forme de terrain	Sols	Communautés végétales
1	Grande	Collines : tors et dômes atteignant 106 m de hauteur, avec pente raide jonchée de roches	Affleurements avec poches de sols pierreux	Arbustes et arbres bas épars à sous couvert de <i>Triodia pungens</i> (spinifex) et <i>T. spicata</i> (spinifex), ou herbacés et graminées éparses
2	Moyenne	Cônes d'alluvions : jusqu'à un mile de long, avec des pentes de 1 sur 200; secteurs supérieurs canalisés, zone de défluent en bas de la pente	Sables bruns alluviaux et sables argileux rouges	Arbustes et arbres bas épars à sous couvert d'herbacés et graminées basses ou <i>Aristida browniana</i>
3	Moyenne	Plaines d'érosion entre les monts; jusqu'à 1/8 mile de large, avec quelques canaux de drainage	Terres rouges avec des variantes alluvionnaires mineures	<i>Acacia aneura</i> (mulga) à sous couvert de <i>Eragrostis eriopoda</i> (woollybutt) ou <i>Plectrachne schinzii</i> (spinifex)
4	Moyenne	Plaine de sable : pas de drainage de surface	Sables argileux rouges	Arbustes et arbres bas épars à sous couvert de <i>Plectrachne schinzii</i> (spinifex)
5	Petite	Courte pente d'érosion au pieds des unités 1 : certains affleurement rocheux	Principalement, sables argileux rouges pierreux et sols pierreux. Localement sols de texture contraste	Arbres bas épars à sous couvert d'herbacés et de graminées basses

Figure 1.2. Le *land system* australien (adapté de Perruy, 1962)

portion de territoire uniforme quant au climat, au socle rocheux, à la topographie, au dépôt de surface, au sol et à la végétation et il se cartographie à grande échelle. C'est une hiérarchie uniquement cartographique; il n'y a pas de hiérarchie de classification dans l'approche australienne.

« Chaque niveau cartographique offre une certaine information et la cartographie doit procéder des échelles les plus générales vers les plus détaillées » (c'est-à-dire du haut vers le bas). (Gibbons et Downes, 1964)

S'ajoutent à l'importante contribution de l'Australie au développement de la cartographie territoriale dans le monde la traduction et la publication en anglais de l'ouvrage de référence des travaux russes d'Isachenko initialement publié en 1965, à Moscou. Ainsi, grâce à l'initiative de John S. Massey et des Presses de l'Université de Melbourne, l'essentiel du travail colossal réalisé par l'école russe devient accessible à l'ensemble de la communauté scientifique en 1973 (Isachenko, 1973).

### 1.1.3 Les travaux de l'école canadienne

Le premier système cohérent de cartographie écologique au Canada voit le jour au cours des années 1950 au ministère ontarien des terres et forêts (Hills, 1952, 1953, 1958). Il est développé pour décrire, classier, cartographier et évaluer la productivité des terres de l'Ontario. Initialement dévolu à la foresterie, il est élargi vers la production d'une base écologique à la planification de l'utilisation des sols dans son acceptation la plus large (Hills, 1961). À cet égard, Angus Hills doit être considéré comme le père de la cartographie écologique au Canada, dont il a animé tous les forums jusqu'à la fin des années 1970. Il fait aussi figure de précurseur par deux apports majeurs : 1) il a établi clairement la distinction entre classification et cartographie; 2) il a également été le premier à intégrer la dimension aquatique (les lacs) dans un système de cartographie territoriale. Malheureusement, ces deux innovations fondamentales n'ont pas reçu toute l'attention méritée.

#### La classification

Dans l'esprit de Hills, la planification de l'utilisation du sol requiert l'aménagement d'un écosystème pris dans le sens d'un système global de production biologique : c'est le concept du *total site* (Hills, 1953, 1954). Même si ce concept inclut l'ensemble des variables du milieu, il peut être classifié à partir d'un nombre réduit de variables ou de combinaisons de variables; même s'il correspond à un système dynamique, sa classification peut être abordée au moyen de variables physiques (principalement les formes de terrain), parce qu'elles sont stables et facilement reconnaissables (Hills, 1952).

Hills base la classification des écosystèmes et l'évaluation de leurs potentialités sur trois types de facteurs (« *available features* ») : 1) le régime écoclimatique (température et humidité); 2) le régime hydrique des sols; 3) le régime nutritif des sols. Ils sont étroitement contrôlés par d'autres variables physiques plus accessibles du milieu naturel (« *potential features* ») comme le relief (dénivelé, déclivité, exposition, distance à un plan d'eau), la porosité du sol (texture et structure du matériel meuble) et la nature minéralogique du socle rocheux (composition minérale et degré d'altération des minéraux du sol). Chacune de ces variables est divisée en onze classes; c'est le résultat de leurs combinaisons qui aboutit à la classification des écosystèmes.

En appliquant ces principes, Hills a développé un système de classification hiérarchique à quatre niveaux qui, du plus détaillé vers le plus général, sont : le *site condition*, le *physiographic site type*, le *land type* et le *site region*. Chaque niveau est le produit de la classification de placettes d'échantillonnage inventoriées sur le terrain.

L'unité de base de la classification est cependant le troisième niveau le *physiographic site type*. Il correspond à un dépôt de surface particulier défini par la texture et duit par la position topographique. Les relations entre le couvert végétal et le milieu physique établies à ce niveau sont à la base de la définition et de la classification des *land types* et des *sites regions*.

Un exemple de « *physiographic site type* » : un till de fond sablo-limoneux acide mince sur un socle rocheux granitique, bien drainé et dont le microclimat est plus chaud que le climat normal (exposition sud, par exemple).

Le *land type* regroupe les *physiographic sites types* de chaque classe de dépôt de surface. Chaque *land type* se voit attribuer le nom d'une localité (un toponyme, comme pour les séries de sol de la classification canadienne des sols), suivi de la classe de matériau de surface (p. ex., till sablo-limoneux acide sur un socle rocheux granitique).

Les *sites regions* regroupent les *physiographic sites types* normaux sur lesquels on retrouve la même chronoséquence végétale. Ils reflètent avant tout des différences climatiques régionales (Hills et Pierpoint, 1960) et correspondent à de grands territoires (il y en avait originellement quinze pour couvrir l'Ontario).

Un « *physiographic site type* » normal se caractérise par un drainage normal, un régime nutritif normal et un écoclimat normal. Ce type de milieu de référence serait un terrain légèrement ondulé constitué d'un loam bien drainé sans déficience ni excès d'éléments nutritifs, ni particulièrement exposé aux effets climatiques locaux ou protégé de ceux-ci (exposition sud ou poches de gel). Dans de telles situations, la végétation reflète bien l'influence du climat régional (Burger, 1972).

D'autres auteurs utilisent le qualificatif de « *mésique* » ou de « *conditions moyennes* » ou, plus rarement, de « *conditions orthiques* » à la place de « *normal* ».

Le quatrième niveau de classification est le *site condition*; il réfère à des particularités du profil de sol (épaisseur des horizons organiques, distribution et séquence des horizons minéraux) et traduit des perturbations dans les *physiographic site types*. Il a été très peu utilisé.

#### La cartographie

Le système de classification propose des unités taxonomiques bien définies (des modèles statistiques) bâties à partir d'une population d'échantillons choisis et mesurés sur le terrain. Quelle que soit l'échelle à laquelle la cartographie du territoire est réalisée, elle fait face à la grande variabilité écologique existant dans la nature; cela est encore plus difficile lorsqu'on cartographie le territoire à petite échelle! Pour exprimer cette variabilité



naturelle dans la cartographie et rester le plus proche possible de la classification, Hills va aussi proposer un système hiérarchique d'unités cartographiques. Du plus général vers le plus détaillé, il comprend le *site district*, le *landscape unit*, le *land unit*, le *land type pattern* et le *land type component* (tableau 1.1).

1960). Ils sont cartographiés au 1 : 50 000 (Pierpoint, 1962; Lynn et Zoltaï, 1965). Dans les faits, ils traduisent le patron de répartition spatiale des *physiographic sites types*, l'unité de base de la classification.

## Les plans d'eau

Les travaux russes et australiens mentionnent à peine la dimension aquatique du territoire; tout se passe comme si la composante terrestre est la seule digne d'intérêt et se suffit à elle-même. La prise en compte des plans d'eau dans le système ontarien constitue un premier pas vers une vision plus complète et plus intégrée du territoire; il faudra cependant bien du temps avant qu'elle s'affirme. Tout comme pour la partie terrestre, Hills et ses collaborateurs ont abordé les lacs sous l'angle de la classification et de la cartographie. La classification propose cinq niveaux hiérarchiques qui sont brièvement présentés, du plus général au plus détaillé, dans le tableau 1.2.

Remarquons que les deux niveaux supérieurs font appel aux mêmes variables que la partie terrestre, soit le climat tel que révélé par la végétation pour le niveau 1 et le dépôt de surface (minéralogie et texture) pour le niveau 2; ce sont encore des variables terrestres générales. À partir du troisième niveau, des variables spécifiques aux plans d'eau entrent en ligne de compte.

Au point de vue cartographique, les plans d'eau majeurs sont cartographiés individuellement au 1 : 125 000 comme *water units*, au même niveau que les *land units*, ou au 1 : 250 000 en complexes d'unités aquatiques et d'unités terrestres au sein des *landscape units* (Hills et coll., 1970).

Tableau 1.1. Le système de cartographie des écosystèmes selon Hills (1961)

Niveau cartographique	Variables diagnostiques	Échelle cartographique	Niveau taxonomique cartographié
<i>Site district</i>	Macrorelief Géologie Dépôt de surface	1 : 4 000 000 à 1 : 10 000 000	Subdivisions physiographiques des <i>sites regions</i>
<i>Land type pattern</i> : - <i>Land unit</i> *  - <i>Landscape unit</i>	Mésorelief Épaisseur du dépôt Texture du dépôt  Mosaïque de <i>land unit</i> et <i>water unit</i> *	1 : 125 000  1 : 250 000	Mosaïque spatiale de <i>land types</i>
<i>Land type component</i>	Épaisseur du dépôt Drainage du sol	1 : 50 000	Mosaïque spatiale de <i>physiographic sites types</i>

\*La majeure partie des plans d'eau est aussi cartographiée à ce niveau comme *water units* (voir ci-dessous la logique de la cartographie des plans d'eau). Chaque *site district* et *land type pattern* porte un nom géographique unique; chaque *land type component* porte aussi un identifiant unique sous la forme d'un numéro propre.

Le niveau le plus général, le *site district* correspond à un patron particulier de la géologie, du relief et des dépôts de surface. Il est exprimé à des échelles cartographiques variant du 1 : 4 000 000 au 1 : 10 000 000. Il permet de reconnaître de grands ensembles physiographiques dans les *sites regions*.

Chaque *site district* est subdivisé en *land type pattern* dont la cartographie repose sur le mésorelief, la texture et l'épaisseur des dépôts de surface au-dessus du socle rocheux. L'auteur propose ici deux sous-niveaux : 1) les *land units*, des unités dont la superficie est de l'ordre de la dizaine de kilomètres carrés et qui sont cartographiés au 1 : 125 000. La majeure partie des plans d'eau est aussi cartographiée à ce niveau comme *water units*; 2) les *landscape units*, des complexes de *land units* et de *water units*. Évidemment, ces unités ont une plus grande superficie que les précédentes (quelques dizaines de kilomètres carrés) et elles sont cartographiées au 1 : 250 000.

Enfin, au niveau le plus détaillé, les *land type patterns* sont découpés en *land type component* sur la base de la variation du drainage des sols ou de l'épaisseur du matériel meuble au-dessus du socle rocheux (Hills et Pierpoint,

Tableau 1.2. Le système de classification des lacs selon Hills (1961)

Niveau	Variables diagnostiques
Niveau 1	Climat régional (tel qu'exprimé par la végétation)
Niveau 2	Dépôt de surface : - origine - texture Nature du socle géologique
Niveau 3	Forme du lac Présence d'îles Relief immédiat du plan d'eau
Niveau 4	Profondeur du lac Texture des sédiments du fond du lac Stratification thermique de l'eau
Niveau 5	Propriétés physicochimiques de l'eau

À l'origine, les travaux de Hills et de ses collaborateurs étaient destinés à évaluer le potentiel forestier de chaque *physiographic site type* et l'effort requis pour atteindre ce potentiel (Hills et Pierpoint, 1960). Rapidement, se sont ajoutées les évaluations pour l'agriculture, la faune et la récréation (Hills, 1963; Pierpoint et Hills, 1963). Toutes ces interprétations s'exprimaient dans les mêmes contours cartographiques, ceux du *land unit* au 1 : 125 000 ou du *landscape unit* au 1 : 250 000, façon de faire innovatrice. Elle répondait à une importante préoccupation des aménagistes de l'époque qui souhaitaient déjà réaliser un aménagement intégré du territoire plutôt que l'aborder ressource par ressource au moyen de classifications et de cartographies distinctes (Gibbons, 1961; Rowe, 1962; Lacate, 1965).

Peu à peu, les résultats des réflexions et des travaux de Hills se diffusent partout au Canada. Après un symposium sur la caractérisation des écosystèmes forestiers, un groupe d'écologistes canadiens (Rowe et coll., 1960) proclame que les écosystèmes forestiers sont des unités géographiques constituées bien évidemment de forêts (végétation et faune), mais aussi de variables physiographiques incluant les sols et le climat. Ils recommandent qu'ils soient dorénavant étudiés dans un cadre géographique en portant une attention particulière aux différences régionales. De plus, ils soulignent à nouveau l'importance de distinguer clairement les unités taxonomiques (classification) des unités cartographiques (régionalisation). On voit dès lors éclore une série d'initiatives. Tout d'abord, Loucks (1962) décrit les *ecoregions* du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard. Malgré un vocabulaire distinct, ces unités sont semblables aux *sites regions* de Hills, tout comme leur subdivision en *sites districts*. Zoltaï et ses collaborateurs (1967) font de même pour le Manitoba et la Saskatchewan; ils harmonisent même leur représentation cartographique avec celle de l'Ontario pour ajuster les limites des *sites regions* de part et d'autre des limites provinciales. Gimbarzesky (1964 et 1966) cartographie près de 8 000 km<sup>2</sup> au contact des Rocheuses et des Plaines dans l'Ouest canadien. Sa cartographie la plus générale, réalisée à l'aide de photographies aériennes à petite échelle (1 : 40 000 et 1 : 60 000), s'appuie sur la reconnaissance des formes de terrain (*landforms*) et de la nature des dépôts de surface. Il utilise aussi des photographies aériennes à plus grande échelle (1 : 30 000 et 1 : 15 000) pour produire une cartographie plus détaillée s'appuyant principalement sur des éléments de la topographie, des variations du drainage naturel des sols et de la profondeur du socle rocheux.

En Colombie-Britannique, Lacate (1965) applique le système développé en Ontario, mais il utilise plutôt la terminologie de l'école australienne, principalement le *land unit* et le *land association*.

Le « *land unit* » est une petite superficie de terrain homogène définie par une position topographique particulière et l'épaisseur du dépôt de surface à laquelle sont associés différents types de sols et de végétation. Par exemple, la partie supérieure d'une forte pente de colluvions sablo-graveleuses bien drainées et minces sur roc (Lacate, 1965).

Identique au *physiographic site type* de Hills, le *land unit* se reconnaît sur des photographies aériennes à l'échelle de 1 : 12 000 à 1 : 16 000. Le *land association* est une mosaïque de *land units* reconnue sur la base d'une topographie particulière et du matériel meuble (nature et épaisseur) sur des photographies aériennes au 1 : 60 000. Cette unité est semblable au *land type* de Hills.

Devant toute cette effervescence, le Service canadien des forêts crée, en 1966, un comité national sur les terrains forestiers au sein duquel est mis en place un sous-comité sur la classification biophysique des terres auquel sont confiées deux tâches principales : 1) Examiner et réviser les systèmes de classification et de cartographie du territoire développés et utilisés aux échelles nationale et régionale partout au Canada; 2) Recommander au comité national un système de classification et de cartographie adapté à des inventaires de reconnaissance permettant d'évaluer le potentiel forestier, agricole, faunique et récréatif du territoire. En outre, un tel système devait permettre de couvrir rapidement de grands territoires à moindre coût et répondre aux trois objectifs suivants :

- 1) Décrire et caractériser les variables écologiques majeures du territoire. Ceci incluait la classification et la cartographie des régions climatiques, de la géologie du socle rocheux, des formes de terrain, de la texture, de la nature minéralogique et de l'épaisseur des dépôts de surface, du sol, des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques majeures des plans d'eau, de la structure, de la physionomie, de la composition de la végétation et des chronoséquences végétales;
- 2) Interpréter et évaluer la productivité biologique d'unités territoriales pour planifier leur utilisation et leur aménagement;
- 3) Acquérir une compréhension géographique cohérente et intégrée de l'environnement pour appréhender les interrelations entre le milieu vivant et son support physique (Jurdant et coll., 1975). Cinq projets pilotes voient le jour, un dans chacune des provinces suivantes : Colombie-Britannique, Manitoba, Nouvelle-Écosse, Québec et Terre-Neuve. Jurdant (1968 et 1969) recommande que ces projets soient menés par des équipes de spécialistes et non

par des personnes individuellement dont les résultats seraient intégrés par la suite, reprenant en ce sens la philosophie de l'école australienne. Rapidement sont émises des lignes directrices pour la production d'un système de classification biophysique du territoire (Lacate, 1969). C'est un système hiérarchique à quatre niveaux de perception (tableau 1.3).

Le niveau 4, le type écologique (*land type*), est la cellule de base du système de classification biophysique du territoire, celle sur laquelle la majorité des interprétations portant sur la productivité biologique seront réalisées.

Il était entendu, dès le départ, que les lignes directrices proposées par Lacate et le Comité national sur les terrains forestiers constituaient un cadre de référence préliminaire qui serait testé dans les projets pilotes. Malgré la grande variabilité naturelle des territoires sur lesquels elles ont été appliquées et la diversité des équipes de réalisation, la mise en œuvre des lignes directrices s'est faite sans mal (Jurdant et coll., 1971; Jurdant et coll., 1972; Runka, 1972; Zoltaï et coll., 1969). Quelques modifications seront cependant apportées, particulièrement par Jurdant et ses collaborateurs (1972 et 1977); elles intègrent des considérations aquatiques au niveau 4, le système écologique, dont la définition devient *une portion de territoire caractérisée par un patron propre du relief, des matériaux géologiques de surface, des sols, des chronoséquences végétales et des plans d'eau*. Ces mêmes auteurs proposent un cinquième niveau, la phase écologique, définie comme *une portion de territoire caractérisée par une combinaison relativement uniforme du sol et de la végétation*. La cartographie des phases écologiques ne peut se concrétiser qu'à grande échelle et sur de petites superficies (Jurdant et Frisque, 1970).

À la suite des cinq projets pilotes, plusieurs projets de cartographie écologique voient le jour au Canada dès la première moitié des années 1970. Deux retiendront particulièrement notre attention, car ils seront réalisés au Québec et permettront la cartographie de plus de 700 000 km<sup>2</sup> de territoire boréal. D'abord, de 1973 à 1977, une équipe regroupant près de 30 professionnels et techniciens dirigée par Michel Jurdant cartographie la municipalité de la Baie-James et le bassin versant de la Petite rivière à la Baleine au nord du territoire municipal. La cartographie de base est dressée au niveau du système écologique, à l'échelle du 1 : 125 000 (Ducruc et coll., 1976; Ducruc et Bérubé, 1979). Les régions écologiques (Ducruc et coll., 1976) et les districts écologiques (Jurdant et Ducruc, 1979), les deux premiers niveaux de perception écologique du territoire, sont aussi décrits et cartographiés. La réalisation de cet ambitieux projet prouve, hors de tout doute, l'opérationnalité du système de classification et de cartographie du territoire issu des projets pilotes. Malgré l'immensité du territoire, l'ampleur des problèmes logistiques et la difficulté de mettre sur pied aussi rapidement une telle équipe de spécialistes, l'entreprise est menée à terme, dans les délais et les budgets impartis.

C'est l'occasion de produire de très nombreuses publications et communications qui donnent le jour et alimentent, entre autres, la Série de la classification écologique du territoire d'Environnement Canada (Jurdant et coll., 1977; Ducruc et Bérubé, 1979; Jurdant et Ducruc, 1979;) et de nombreuses réunions scientifiques (Jurdant et coll., 1975, 1976; Ducruc et coll., 1976; Jurdant et Ducruc, 1977; Ducruc et Brown, 1977; Gerardin et Ducruc, 1983).

Tableau 1.3. Le système de classification biophysique du territoire selon Lacate (1969)

Niveau de perception	Définition	Échelle cartographique	Niveau correspondant de Hills (1961)
Niveau 1 Région écologique ( <i>Land region</i> )	Une portion de territoire caractérisée par un climat régional distinctif tel qu'exprimé par la végétation.	1 : 3 000 000 à 1 : 1 000 000	<i>Site region</i>
Niveau 2 District écologique ( <i>Land district</i> )	Une portion de territoire caractérisée par un patron propre du relief, de la géologie, de la géomorphologie et de la végétation régionale.	1 : 1 000 000 à 1 : 250 000	<i>Site district</i>
Niveau 3* Système écologique ( <i>Land system</i> )	Une portion de territoire caractérisée par un patron récurrent de formes de terrain, de sols et de chronoséquences végétales.	1 : 250 000 à 1 : 100 000	<i>Land type pattern</i>
Niveau 4 Type écologique ( <i>Land type</i> )	Une portion de territoire caractérisée par une combinaison relativement uniforme du sol (la série de sol) et de la chronoséquence végétale.	1 : 50 000 à 1 : 20 000	<i>Physiographic site type</i>

\* C'est le niveau de travail de la plupart des projets de cartographie écologique réalisés au Canada jusqu'au milieu des années 1970.

Durant ses années de réalisation, ce projet est le véritable moteur de la cartographie écologique dans l'ensemble du Canada. Il pousse à la création du Comité canadien de classification écologique du territoire (CCCET), mis en place en 1976 sous l'égide d'Environnement Canada. Ce comité, qui restera actif jusqu'à la fin des années 1980, a coordonné la publication de la Série de la classification écologique du territoire dans laquelle plus de vingt titres ont été publiés. Ces textes font état des projets réalisés au Canada, des développements méthodologiques et conceptuels qui animaient la cartographie écologique d'alors (Wiken, 1979; Wiken et coll., 1981; Gilbert et coll., 1985; Wiken, 1986; Rubec et coll., 1988; Wickware et Rubec, 1989; Rubec, 1992). C'est dans cette série qu'a été publié *L'inventaire du Capital-Nature* (Jurdant et coll., 1977), qui reste encore aujourd'hui le seul livre de référence sur la classification et la cartographie écologique du territoire au Canada. De 1978 jusqu'au début des années 1980, le projet de cartographie écologique de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord prend la relève pour couvrir plus de 250 000 km<sup>2</sup> de territoire nord-côtier le long du golfe Saint-Laurent, de Baie-Comeau à Blanc-Sablon. Nous reviendrons plus tard sur ce projet, lors de la présentation des expériences québécoises, car il marque un tournant dans les projets de cartographie écologique au Canada. Tout d'abord, l'équipe Jurdant (c'est ainsi qu'on l'appelait) perd son leader, parti réaliser un projet d'une envergure équivalente en Grèce, puis incorpore le corps professoral de l'Université Laval, à son retour au pays. En même temps, le gouvernement fédéral se retire des programmes de cartographie écologique portant sur les terres de compétence provinciale; à la suite de cette décision, une partie de l'équipe Jurdant est transférée au ministère de l'Environnement du gouvernement du Québec nouvellement créé.

À la fin des années 1980, la Société canadienne d'écologie et d'aménagement du paysage (SCEAP) prend la relève du CCCET. Beaucoup moins active que le CCCET, elle organise une série de symposiums, dont un à Québec en 1994 (Domon et Falardeau, 1995). Sa création marque le déclin définitif et la disparition d'une importante tribune nationale d'échanges sur la cartographie écologique. Ceci s'explique en grande partie par le retrait du gouvernement fédéral qui, depuis le début des années 1990, ne propose plus que des cartographies pancanadiennes à très petite échelle sur lesquelles repose l'analyse de politiques ou de programmes généraux (politique de développement durable, Convention internationale sur les oiseaux migrateurs, Commission de coopération environnementale, etc.). Ces différentes cartographies débouchent cependant sur le cadre écologique national du Canada en 15 écozones subdivisées en 194 régions écologiques (Groupe de travail sur la stratification écologique, 1995). Ces niveaux s'inscrivent dans une

régionalisation nord-américaine de plus haut niveau encore (Commission de coopération environnementale, 1997).

## 1.2 Ailleurs dans le monde

### 1.2.1 Les pays adeptes des travaux de l'école russe

En premier lieu, bien évidemment, les pays les plus imprégnés de la philosophie russe de cartographie écologique sont les pays européens de l'ancien bloc communiste, parmi lesquels nous avons retenu la Pologne et l'ancienne RDA, auxquels il faut rajouter Cuba. La Chine est associée à ce groupe, non pas pour des raisons géopolitiques aussi claires que les précédents, mais plutôt pour des occasions d'échanges liées à la proximité avec la Russie. L'école toulousaine se retrouve aussi ici, parce que les relations personnelles et les affinités politiques entre Georges Bertrand, Nicolas Beroutchachvili et Viktor Sochava ont facilité les rapprochements.

#### Pologne<sup>1</sup>

Les études holistiques du milieu naturel ont une longue tradition en Pologne. Dès la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle, Lencewicz divise le pays en régions naturelles; il distingue six principaux types de « paysages naturels », résultat intégré de l'interaction de toutes les composantes de la nature (Richling, 1994). Basé sur la notion du géocomplexe (Richling, 1984), le système polonais distingue la classification (taxonomie) de la régionalisation (cartographie).

La classification est calquée sur les travaux russes. L'écotope, la plus petite unité homogène, correspond à la phase écologique de Jurdant et ses collaborateurs (1977). Le niveau au-dessus, défini par la combinaison d'une forme de relief et de caractéristiques minéralogiques du sol liées à la nature géologique du socle rocheux, se rapproche de la définition du type écologique de l'école canadienne. Les unités supérieures s'appellent paysages (*landscapes*); du bas vers le haut, se succèdent des variations, des catégories, des sortes et des classes de paysage (Richling, 1990). La régionalisation repose aussi sur un système hiérarchique à niveaux de perception emboîtés (Kondracki, 1977, *in* Richling, 1990). Le territoire polonais, qui couvre un peu plus de 300 000 km<sup>2</sup>, est ainsi successivement cartographié en provinces, sous-provinces, macro-régions et méso-régions. Un dernier niveau, les micro-régions, n'a été que sporadiquement cartographié lors de travaux très détaillés.

<sup>1</sup> Nous avons pu obtenir des informations privilégiées de la bouche même du professeur Andrew Richling à l'occasion du Congrès mondial de l'Association internationale d'écologie du paysage tenu à Toulouse, en 1995.

La régionalisation de la Pologne comprend (Kondracki, 1977, dans Richling, 1990) :

- niveau 1 : 6 provinces;
- niveau 2 : 19 sous-provinces;
- niveau 3 : 55 macro-régions;
- niveau 4 : 318 méso-régions.

Les cartes écologiques sont d'abord traduites en cartes d'aptitude ou de potentiel dont l'élaboration est fortement inspirée des exemples contenus dans *L'inventaire du Capital-Nature* de Jurdant et ses collaborateurs publié en 1977 (Richling, 1984, 1994). Elles sont ensuite comparées avec des cartes d'utilisation actuelle du sol afin de formuler des recommandations pour l'aménagement du territoire.

### République démocratique allemande

Dans les années 1950 et 1960, l'ancienne République démocratique allemande (RDA) développe aussi un système hiérarchique avec des unités cartographiques et des unités taxonomiques clairement dissociées. La finalité des travaux vise la cartographie des usages potentiels du territoire et de leurs limitations (Haase, 1989). Dans son souci d'imposer des règles objectives aux rapports entre la société et la nature, le régime marxiste tente de définir des relations rationnelles entre les usages et les demandes sociales, d'une part, et les propriétés du milieu naturel, d'autre part, en vue d'améliorer les conditions de vie de la société est-allemande (Rougerie et Beroutchachvili, 1991); l'utilisation du sol prend beaucoup d'importance dans ce système. L'échelle cartographique privilégiée est le 1 : 50 000. Haase (1989) décrit le système qui, de prime abord, semble relativement complexe à cause d'un vocabulaire particulier. Ainsi, les unités issues de la régionalisation sont, du haut vers le bas, les *mésogéochores*, les *microgéochores*, les *nanogéochores* (représentant la mosaïque ou le complexe élémentaire), le *géotope* et le *géofom*. Par définition, tous les niveaux, sauf le dernier, sont hétérogènes; ils se différencient de leurs voisins par leur structure et leur composition interne. La hiérarchie taxonomique est étroitement liée à la hiérarchie cartographique. En effet, à chaque niveau cartographique, hormis le dernier, la taxonomie propose des sous-types, des types, des familles, des sous-classes et des classes, chacun étant défini par des règles strictes (Haase, 1984, 1989).

### Cuba

Longtemps sous l'influence politique directe de l'ex-URSS, Cuba a également développé une très forte expertise en classification et cartographie du territoire. Malheureusement, pour les raisons géopolitiques que nous connaissons et sans doute aussi à cause de la barrière linguistique, peu d'information a filtré jusqu'à la communauté scientifique nord-américaine ou mondiale. Nous avons eu la chance de découvrir toute l'ampleur des travaux cubains en côtoyant, durant six mois en 1993, l'un de ses auteurs les plus actifs, le professeur Eduardo Salinas Chávez de la faculté de géographie de l'Université de La Havane.

L'objectif majeur des inventaires et cartographies du territoire cubain reste la planification de l'utilisation des ressources naturelles (Salinas Chávez et coll., 1993). Parmi les travaux majeurs, citons une cartographie à petite échelle des paysages de l'île de Cuba (Mateo, 1979), une analyse des problèmes de conservation à Cuba basée sur cette cartographie par Iñiguez (1983), l'évaluation du potentiel récréatif des paysages cubains (Wong Pérez, 1982) et l'évaluation du potentiel touristique de ces mêmes paysages (Salinas Chávez, 1986). D'ailleurs les applications les plus nombreuses dans le domaine de la classification et de la cartographie écologique à Cuba se retrouvent dans le domaine récréotouristique. Peu de Canadiens s'en étonneront!

Cependant, de nombreuses études portent aussi sur des problématiques environnementales et de conservation des ressources (Salinas Chávez et coll., 1992). L'ouvrage de référence sur les fondements conceptuels et méthodologiques de l'école cubaine est l'œuvre de Mateo (1984). Les références à l'école russe y sont multiples et directes; ceci fait la preuve de son application à des milliers de kilomètres de son lieu d'origine et sous des conditions écologiques bien différentes. C'est un système hiérarchique double d'unités taxonomiques et d'unités cartographiques, sans aucun doute le plus rigoureux et le plus complet de toute la littérature scientifique consultée. Le point central de la classification et de la représentation cartographique est l'utilisation de la notion du complexe naturel territorial (Milián-Trujillo et coll., 1985). Selon les projets, les complexes naturels territoriaux (CNT) seront classifiés et cartographiés à différentes échelles que la hiérarchie permettra de qualifier.

Le système de classification cubain propose six niveaux taxonomiques : la classe, la sous-classe, le type, le groupe, l'espèce et la sous-espèce.

La représentation cartographique des CNT suit un système hiérarchique à deux grands « paliers » : un régional et un local. C'est surtout au « palier » local que sont réalisées les cartographies pour les applications de

gestion territoriale. Trois unités sont utilisées, du général vers le détail : la *localité*, la *comarca* et le *faciès*. Nous conservons le vocabulaire espagnol pour le niveau intermédiaire afin de ne pas ajouter à la confusion, car sa meilleure traduction littérale française serait région! La majorité des cartes de CNT de « palier » local est levée à l'échelle du 1 : 50 000; ces cartes cartographient les localités et les *comarcas*.

Les localités sont définies comme « un complexe naturel territorial, génétiquement homogène, constitué d'une géologie homogène et d'un type déterminé de formes de terrain, sous un même climat » (Mateo, 1984).

La *localité* est très proche du *land system* australien et du système écologique de Jurdant et ses collaborateurs (1977). La *comarca* est une sorte de sous-système écologique ou de patron de types écologiques, tandis que le *faciès* correspond au type écologique de l'école canadienne. Les travaux de l'école cubaine ont essaimé hors de l'île et des projets ont été réalisés à Panama, au Venezuela, en Angola et en Guinée-Bissau.

## Chine

La Chine est un pays de très longue tradition en études géographiques régionales, dont les racines sont les plus anciennes de tous les pays évoqués dans cette revue historique puisqu'on peut les faire remonter à plus de 500 ans avant notre ère. Déjà à cette époque, dans un ouvrage intitulé *Yu Gong*, la Chine était divisée en neuf États décrits selon le relief, les sols, les lacs et la nature des ressources naturelles (Zhao et coll., 1979). Dès la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle, les travaux des principaux auteurs russes (Berg, Isachenko, Kalyesnik) inspirent et influencent la pensée géographique chinoise qui développe une nouvelle discipline : la géographie physique intégrale (GPI).

Dans la deuxième moitié du 20<sup>e</sup> siècle, l'essor de cette nouvelle discipline est facilité par le régime communiste nouvellement au pouvoir, qui met en place une planification économique centralisée de l'État. En effet, la régionalisation du pays, selon l'approche de la GPI, met en évidence les caractéristiques naturelles régionales du territoire chinois sur lesquelles les autorités appuient par la suite leurs orientations du développement économique, en particulier celles de l'agriculture (à l'image de ce qu'a fait le régime communiste soviétique au lendemain de la révolution d'octobre 1917). La cartographie connaît un essor important à partir des années 1950 (Lin, 1954; Luo, 1954), essor soutenu par une étroite collaboration avec les géographes soviétiques, dont Isachenko. Ce dernier consacre plusieurs séjours, entre 1957 et 1959, à l'enseignement et à l'application du concept du

« complexe naturel territorial » en territoire chinois. En 1959, Huang, considéré comme le maître à penser de la GPI, publie une régionalisation géophysique intégrée de la Chine selon un système hiérarchique à cinq niveaux de perception gigognes.

La régionalisation de la Chine comprend, selon Huang (1959) :

- niveau 1 : 3 méga-districts tecto-géomorphologiques;
- niveau 2 : 6 « ceintures » climatiques;
- niveau 3 : 18 régions naturelles;
- niveau 4 : 28 zones naturelles;
- niveau 5 : 90 districts naturels.

Ultérieurement, la plupart des provinces et régions administratives poursuivront cette régionalisation à des niveaux inférieurs. Ainsi, la province de Guangdong, qui couvre une superficie terrestre de 226 000 km<sup>2</sup>, a été cartographiée en 12 provinces naturelles et 48 régions naturelles à l'échelle de 1 : 3 000 000. Les formes de relief constituent le facteur déterminant de la délimitation des régions naturelles (Équipe d'inventaire des ressources biologiques de la Chine méridionale et Institut de géographie de Canton, 1963).

Des régionalisations dites « éco-géographiques » se poursuivent actuellement en Chine avec des données récentes et des outils technologiques modernes. Elles visent, entre autres, à définir un cadre de référence spatial pour étudier les impacts liés aux changements climatiques (Zheng, 1999; Wu et coll., 2003; Jia et coll., 2005; Zheng et coll., 2008).

### 1.2.2 L'école de Toulouse (France)

Une autre école a fortement marqué l'évolution conceptuelle de la cartographie écologique : l'école toulousaine et son chef de file, Georges Bertrand, rencontré lors d'une mission scientifique en France durant l'été 1983. Ce dernier expose les fondements de sa réflexion dans un article intitulé « Paysage et géographie physique globale » (Bertrand, 1968). Cet article sera cité dans d'innombrables écrits de géographie, mais aussi hors des cercles géographiques pendant de nombreuses années. L'auteur propose d'aborder le territoire dans la perspective d'une géographie physique globale (à rapprocher du concept de la géographie physique intégrale de l'école chinoise que nous venons de présenter) en s'appuyant sur la notion de système et sur l'organisation hiérarchique de l'espace en niveaux emboîtés (figure 1.3). Ainsi abordée, l'analyse territoriale mène à la reconnaissance d'unités spatiales ayant une structure propre. Cette structure est révélée par la combinaison d'éléments qui interagissent et participent à une dynamique commune.

Dans la perspective d'une géographie physique globale, les unités spatiales relèvent de trois types d'organisation : le potentiel écologique, l'exploitation biologique et l'utilisation anthropique.

La combinaison des paramètres abiotiques (roche, sol, eau, air) définit le potentiel écologique.

L'exploitation biologique (faune et végétation) exprime les communautés vivantes liées au potentiel écologique.

L'utilisation anthropique correspond aux impacts de l'activité humaine sur les combinaisons des deux premiers. (Bertrand, 1968)

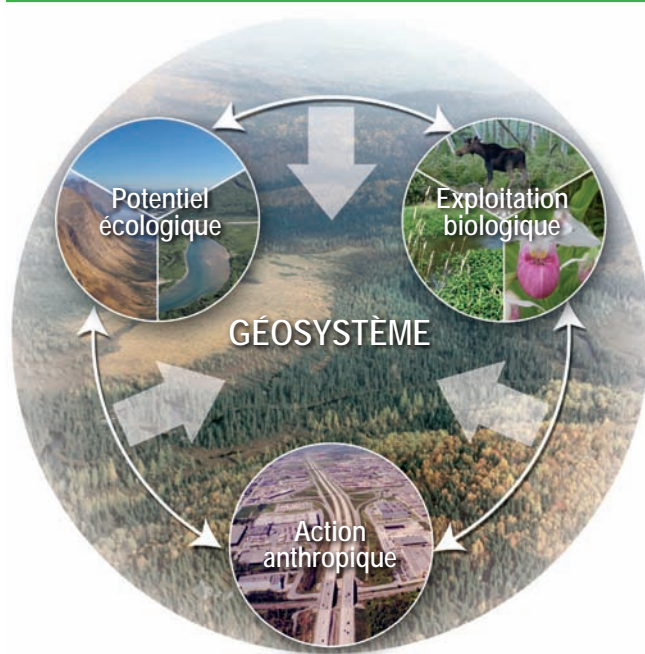


Figure 1.3. Le géosystème au sens de Bertrand (1968)

Les unités sont liées les unes aux autres par des rapports dynamiques qui jouent dans le temps et l'espace. Elles sont classées les unes par rapport aux autres selon leur structure, leur taille et leur dynamique. Le système proposé par Bertrand est un système hiérarchique uniquement composé d'unités chorologiques, c'est-à-dire d'unités cartographiques (Bertrand, 1972). Il comporte six niveaux qui, à l'image de l'école cubaine, sont regroupés en deux « paliers ». Les unités du palier supérieur sont des unités spatiales de grande taille cartographiées à petite échelle. On retrouve trois niveaux : la zone, liée au concept de zonalité planétaire et définie d'abord par un climat général, le domaine, combinaison d'un domaine structural géologique et d'un mésoclimat, et la région, qui correspond à une structure géologique régionale (nature du socle, altitude, relief) dans un contexte climatique donné.

Les unités du palier inférieur comprennent également trois niveaux : le géosystème, qui est l'unité opérationnelle, le géofaciès et le géotope (tableau 1.4).

Le géosystème sert à désigner un « système géographique naturel homogène lié à un territoire ». (Beroutchachvili et Bertrand, 1978)

« À la surface des géosystèmes, les géofaciès dessinent une mosaïque changeante dont la structure et la dynamique traduisent fidèlement les nuances écologiques et les pulsations d'ordre biologique. » (Bertrand, 1968)

En résumé, le géosystème est un concept territorial, une unité spatiale bien délimitée (Beroutchachvili et Bertrand, 1978) dont le découpage traduit des discontinuités objectives du territoire que l'on recherche en taillant directement dans le paysage global tel qu'il se présente. C'est à nouveau l'approche globale qui est ici réaffirmée.

Tableau 1.4. Les niveaux inférieurs de l'école toulousaine selon Bertrand (1968)

Niveau de perception	Variables diagnostiques	Ordre de grandeur	Équivalent
Géosystème	Nature du socle rocheux Dépôt de surface Topographie Drainage du sol	Centaine de kilomètres carrés	<i>Land system</i> de l'école australienne <i>Localité</i> de l'école cubaine <i>Système écologique</i> de Jurdant et ses collaborateurs
Geofaciès	Topographie Épaisseur du sol Texture du sol Drainage du sol Couvert végétal	Dizaine d'hectares	<i>Phase écologique</i> de Jurdant et ses collaborateurs
Géotope	Microforme topographique	Quelques mètres carrés	

« Il faut, une fois pour toutes, renoncer à déterminer des unités synthétiques sur la base d'un compromis à partir des unités élémentaires. » (Bertrand, 1968, p. 255)

### 1.2.3 Les Pays-Bas, adeptes des travaux de l'école canadienne

Les Pays-Bas, petit pays d'un peu plus de 40 000 km<sup>2</sup>, le plus densément peuplé d'Europe (près de 400 habitants/km<sup>2</sup>) font face à de très gros problèmes environnementaux depuis les dernières décennies. L'Institut national de santé publique et de protection de l'environnement produit régulièrement un rapport sur l'état de l'environnement (RIVM, 1989) qui compile des données sur la qualité de l'environnement, sur les problèmes environnementaux, leurs causes et leurs effets. Dès le début, l'approche régionale a été privilégiée pour analyser les problèmes actuels et à venir au regard des caractéristiques naturelles du territoire. Pour réaliser cette analyse régionale, les Pays-Bas s'appuient sur un système hiérarchique de classification et de cartographie territoriale directement inspiré du système canadien (Klijn, 1991; Klijn et Udo de Haes, 1994; Klijn et coll., 1995; Wiken et Ironside, 1977; tableau 1.5).

On retrouve six écorégions (quatre terrestres et deux aquatiques) et 37 écodistricts (26 terrestres et 11 aquatiques); ce sont des unités taxonomiques qui peuvent se répéter en plusieurs lieux du territoire néerlandais. Ainsi, la représentation cartographique des six écorégions est éclatée en plus de 30 polygones cartographiques et celle des 37 écodistricts, en plus d'une centaine. Les écodistricts restent cependant spatialement emboîtés dans le niveau supérieur des écorégions. Ils ont été utilisés pour évaluer la susceptibilité des écosystèmes à

une série de perturbations : acidification, eutrophisation, assèchement et pollution par des substances toxiques (Klijn, 1991).

On a ainsi pu dresser une carte de susceptibilité des écodistricts utilisée dans le rapport sur l'état de l'environnement (RIVM, 1989). Fait très intéressant, Klijn et ses collaborateurs (1995) ont soumis la cartographie des écorégions et des écodistricts à une analyse discriminante en compilant des informations variable par variable provenant d'une base de données nationales dans une grille d'un kilomètre carré. Cette analyse a révélé que le patron spatial de la géomorphologie, des sols et de l'eau souterraine correspond bien avec la cartographie des écorégions et des écodistricts : il y a très peu de différences entre la cartographie tirée du système hiérarchique et celle issue de la classification automatique des cellules d'un kilomètre carré.

Dans ce cas, ce résultat montre que le reproche souvent fait à la cartographie écologique, voulant que son approche déductive (du haut vers le bas) soit trop empreinte de subjectivité par rapport à une approche inductive (du particulier au général), n'est pas fondé. Les Pays-Bas ont eu un maître à penser en la personne de Zonneveld (1989, 1995), sur les écrits duquel nous reviendrons souvent dans la présentation conceptuelle du CER.

### 1.2.4 Les États-Unis

Durant les trente dernières années, les États-Unis ont été très prolifiques dans la production de cartes écologiques. Un auteur en particulier, Robert Bailey, a joué un rôle majeur dans le développement des concepts et des pratiques. Il a mené les débats à partir du Service forestier national (USDA Forest Service). Au milieu des années 1970, il a publié une première carte des régions

Tableau 1.5. Principaux traits du système hiérarchique de classification appliqué aux Pays-Bas (d'après Klijn, 1991)

Unité	Variable active	Échelle indicative	Superficie indicative
Écozone	Climat	1 : 50 000 000	> 50 000 km <sup>2</sup>
Écoprovince	Physiographie	1 : 10 000 000 à 1 : 50 000 000	2 500 à 50 000 km <sup>2</sup>
Écorégion	Géologie et géomorphologie	1 : 2 000 000 à 1 : 10 000 000	100 à 2 500 km <sup>2</sup>
Écodistrict	Géologie, géomorphologie, eau souterraine et eau de surface	1 : 500 000 à 1 : 2 000 000	5 à 100 km <sup>2</sup>
Écosection	Géomorphologie, sol et régimes d'eaux souterraines	1 : 100 000 à 1 : 500 000	0,25 à 5 km <sup>2</sup>
Écosérie	Sol	1 : 25 000 à 1 : 100 000	1,5 à 25 ha
Écotope	Végétation	1 : 5 000 à 1 : 25 000	0,25 à 1,5 ha
Écoélément	Végétation, faune	< 1 : 5 000	< 0,25 ha



écologiques (*ecoregions*) des États-Unis à l'échelle de 1 : 7 500 000 (Bailey, 1976), reprise et modifiée plusieurs fois (Bailey et Cushwa, 1981; Bailey et coll., 1994; Bailey, 1995). Au départ, c'était une cartographie écoclimatique à quatre niveaux de perception hiérarchiques qui s'appuyait sur la classification des climats selon Köppen (1931), la végétation naturelle potentielle selon Kuchler (1964) et la distribution des sols selon Crowley (1967). À cause de son échelle, cette carte restait d'intérêt général et, rapidement, le besoin de cartes plus détaillées s'est fait sentir. Bailey (1985 et 1987) recommande l'utilisation de la physiographie exprimée au travers de la géologie et de la topographie pour compléter la hiérarchie des écorégions des États-Unis aux niveaux inférieurs. Ecomap (1993) et Cleland et ses collaborateurs (1997) proposent un système hiérarchique à huit niveaux de perception de l'espace emboîtés pour compléter le cadre de référence spatial pour les opérations du Service national forestier.

L'objet premier de ce système est de reconnaître des unités territoriales (terrestres et aquatiques) ayant des potentialités d'aménagement particulières. Selon l'échelle, ces unités seront caractérisées par un patron particulier de sols, de fonctions hydrologiques, de formes de terrain, de géologie, de climat, de communautés naturelles et de processus naturels (cycles nutritifs, cycles de perturbations naturelles). Le climat tel que modifié par la topographie constitue le critère majeur de caractérisation des unités écologiques. Cleland et ses collaborateurs (1997) regroupent les huit niveaux hiérarchiques en quatre « échelles ». L'échelle de l'écorégion regroupe les trois niveaux supérieurs : le domaine, la division et la province; à cette échelle, les unités écologiques sont reconnues par des différences climatiques et physiographiques très générales.

L'échelle sous-régionale, qui regroupe les niveaux 4 et 5 (section et sous-section), se caractérise par des combinaisons de climat, de relief et de processus géomorphologiques qui vont influencer le régime d'humidité et d'exposition à l'énergie solaire qui, à leur tour, exercent une influence directe sur les fonctions hydrologiques, les processus pédogénétiques et la distribution des communautés naturelles.

La troisième échelle, l'échelle du paysage, correspond à des associations de types écologiques (*land type association*); ces unités écologiques se définissent par la topographie, les matériaux de surface, les sols, les processus géomorphologiques, des patrons de communautés naturelles et le climat local (Forman et Godron, 1986).

Enfin, l'échelle locale regroupe le type écologique et la phase écologique. À cette échelle, les unités écologiques sont reconnues et cartographiées sur le terrain en faisant

appel à la topographie locale, à la nature du socle géologique, au type de sol et à la végétation naturelle. Le tableau 1.6 résume les caractéristiques principales du système hiérarchique proposé par le Service forestier national.

Durant ce temps, d'autres agences gouvernementales ayant aussi le mandat d'inventorier et d'aménager le territoire américain et ses ressources développent, sans concertation, leur propre cadre de référence, notamment le Service géologique (Seaber et coll., 1987; Gallant et coll., 1995) ou l'Agence de protection de l'environnement (Omernik, 1987; U.S. Environmental Protection Agency, 1988). Au sein même du ministère de l'Agriculture duquel relève le Service forestier national, le Service de la conservation des ressources naturelles (secteur agriculture) produit son propre cadre écologique de référence (U.S. Department of Agriculture, 1984). Cette multiplication de cadres de référence mènera à des efforts de coordination interagences qui se matérialisent en 1996 par la signature d'un mémoire au titre évocateur *Développement d'un cadre spatial d'unités écologiques pour les États-Unis* (McMahon et coll., 2001). L'objectif principal du mémoire est d'aboutir à une cartographie commune des régions écologiques des États-Unis, prérequis indispensable à l'amorce d'une collaboration et d'une coordination interagences en vue d'élaborer des stratégies d'aménagement écosystémique (Interagency Ecosystem Management Task Force, 1995; Omernik et Bailey, 1997).

Deux échelles sont visées au départ : 1 : 7 500 000 pour le niveau le plus général, dans lequel s'emboîtera ultérieurement un niveau au 1 : 250 000 dont la réalisation permettra de préciser le découpage du niveau précédent.

Dans les faits, il faut harmoniser quatre sources d'informations distinctes : les écorégions de l'Agence de protection de l'environnement (Omernik, 1987, 1995), les écorégions du Service forestier national (Bailey, 1976; Cleland et coll., 1997), les régions écologiques de l'Amérique du Nord de la Commission de coopération environnementale (1997) et les régions du ministère de l'Agriculture (U.S. Department of Agriculture, 1984). L'échelle retenue correspond au niveau 3 de chacune des cartographies à corrélérer et aboutit à un découpage en 84 unités pour les États-Unis continentaux, moins l'Alaska. Ce sont évidemment des unités de grande taille qui couvrent, pour la plupart, plusieurs dizaines de milliers de kilomètres carrés (McMahon et coll., 2001).

Dans les dernières années, bien des travaux de cartographie à moyenne et à grande échelle ont été réalisés dans de nombreuses régions selon les concepts

Tableau 1.6. Principales caractéristiques des niveaux de perception écologique du Service forestier national (d'après Cleland et coll., 1997)

Niveau	Variables diagnostiques	Échelle	Superficie
Domaine	Grandes zones climatiques	1 : 30 000 000	1 000 000 km <sup>2</sup>
Division	Climat régional (Koppen, 1931) – Formations végétales (prairies, forêts) – Ordre de sol	1 : 30 000 000 à 1 : 7 500 000	100 000 km <sup>2</sup>
Province	Végétation potentielle (Kuchler, 1964) – Montagnes avec zonation altitudinale du climat, de la végétation et des sols	1 : 15 000 000 à 1 : 5 000 000	10 000 km <sup>2</sup>
Section	Province physiographique, géologie (âge, stratigraphie et lithologie) – Climat régional – Ordre ou grand groupe de sols – Communautés naturelles potentielles	1 : 7 500 000 à 1 : 3 500 000	1 000 km <sup>2</sup>
Sous-section	Processus géomorphologique, matériaux géologiques de surface, lithologie du socle – Ordre ou grand groupe de sol – Sous-région climatique – Communautés naturelles potentielles (formation ou série)	1 : 3 500 000 à 1 : 250 000	10 à 1 000 km <sup>2</sup>
Association de types écologiques <i>(Land type association)</i>	Processus géomorphologique, formation géologique, matériaux géologiques de surface et dénivelé – Sous-groupe, famille ou série de sol – Climat local – Communautés naturelles potentielles : série, sous-série ou association	1 : 250 000 à 1 : 60 000	1 à 10 km <sup>2</sup>
Type écologique	Forme de terrain et topographie (dénivelé, exposition, pente et position topographique) – Sous-groupe, famille ou série de sol – Nature du socle rocheux et processus géomorphologique – Association végétale	1 : 60 000 à 1 : 24 000	0,1 à 1 km <sup>2</sup>
Phase écologique	Sous-famille ou série de sol Forme de terrain et position topographique Association végétale	≤ 1 : 24 000	< 100 ha

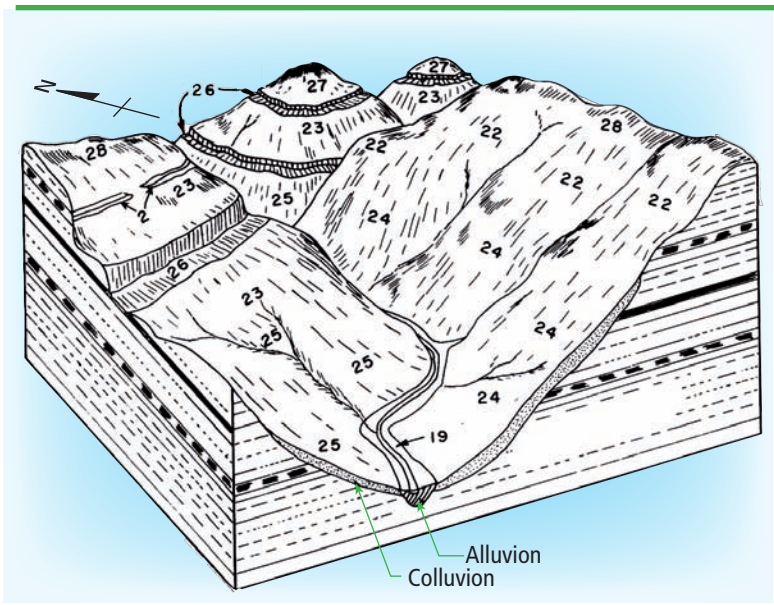
et la philosophie de ce système. Parmi les réalisations les plus récentes, citons les écorégions du Dakota du Nord et du Dakota du Sud (Bryce et coll., 1998), les écorégions du Wisconsin (Omernik et coll., 2000), les écorégions de l'État de Washington et de l'Oregon (Pater et coll., 1998) ou encore les écorégions de l'Indiana et de l'Ohio (Woods et coll., 1998).

Retournons maintenant au milieu des années 1970 et au début des années 1980, au sein même du Service forestier national. Glendon Smalley, chercheur rattaché à la station de recherche sur les forêts du sud basée à Sewanee, au Tennessee, développe et applique un système de classification et de cartographie du territoire adapté à des fins forestières (Smalley, 1979, 1984). Il s'inscrit parfaitement dans le système initialement proposé par Bailey (1976) et ultérieurement complété par Cleland et ses collaborateurs (1997). Pourtant, ces derniers auteurs n'y feront jamais référence alors que même le vocabulaire est semblable. La province physiographique, le niveau supérieur des cinq niveaux hiérarchiques proposés par Smalley correspond au quatrième niveau de Cleland et ses collaborateurs (1997). En ce sens, on peut considérer que Smalley a été un précurseur de la hiérarchie complétée une quinzaine d'années plus tard au sein même du Service forestier national. Ses travaux

couvrent l'extrémité sud de la chaîne appalachienne (Smalley, 1979, 1980, 1982, 1983; Smalley et coll., 1996). Ils soulignent très clairement que, même à très grande échelle (la cartographie de base est dressée au 1 : 12 000), les unités restent hétérogènes et que cette hétérogénéité doit être décrite. Smalley décrit donc les unités de la cartographie de base, l'« association de types écologiques », en énumérant les types écologiques qui la composent et en les décrivant selon neuf thèmes (figure 1.4 et tableau 1.6).

Au cours des trente dernières années, une autre constante apparaît dans les travaux américains : le souci d'aborder la dimension aquatique dans les classifications et cartographies territoriales (Platts, 1974, 1979; Warren, 1979; Lotspeich, 1980). Lotspeich et Platts (1982) proposent le premier système intégré de classification terrestre-aquatique. Ils ne considèrent cependant que les cours d'eau et laissent les lacs de côté. Le système est hiérarchique et fortement inspiré des travaux précédents de Wertz et Arnold (1972) et de Bailey (1976, 1978).

Les six principaux niveaux de perception retenus (domaine, province, section, région, association de types écologiques et type écologique) sont, à quelques nuances près, semblables, à ceux que l'on retrouve



### Légende

- 2 : Sols minces et affleurements de grès
- 19 : Bas de pente, deltas, terrasses et alluvions de ruisseaux bien drainées
- 22 : Hauts de pentes exposition nord
- 23 : Hauts de pente exposition sud
- 24 : Colluvions de bas de pente exposition nord
- 25 : Colluvions de bas de pente exposition sud
- 26 : Mines
- 27 : Sommets de shale étroits et hauts de pente convexe
- 28 : Sommets de shale larges et hauts de pente convexe

Figure 1.4. Association de types écologiques (adaptée de Smalley, 1984)

Tableau 1.7. Les variables descriptives des types écologiques selon Smalley (1984)

Variable	Descripteurs
Caractères généraux	Localisation topographique et traits généraux
Sols dominants	Principales séries de sol
Socle géologique	Nature minéralogique du socle
Profondeur du socle rocheux	Profondeur du socle rocheux
Texture du matériel meuble	Texture du matériel meuble
Drainage du sol	Réserve en eau utile du sol
Réserve en eau utile du sol	Classes générales
Fertilité du sol	Classes générales
Végétation	Espèces arborées et arbustives

dans le tableau 1.6. L'intégration terrestre-aquatique se fait au niveau de l'association de types écologiques par la cartographie des bassins versants d'ordre 1 considérés comme l'écosystème de base. La légitimité de qualifier une telle classification d'« intégrée » est fort critiquable, d'abord par la non-considération des lacs, puis par le fait que considérer un bassin versant, quel que soit son ordre, comme un écosystème est un écueil conceptuel difficile à contourner...

En 1992, le Service forestier national adopte le concept d'aménagement écosystémique et se rend vite à l'évidence que la classification et la cartographie terrestres seules ne permettent pas d'expliquer les patrons d'habitats aquatiques ni les flux d'énergie et de matériel dans les hydrosystèmes. Renonçant à concevoir et développer un système intégrant, dès le début, les dimensions terrestres et aquatiques, le Service forestier national développe, à côté du système terrestre, un système complémentaire basé sur les bassins versants qu'il qualifie de cadre hiérarchique des unités écologiques aquatiques (Maxwell et coll., 1995). Les tentatives d'intégration des deux systèmes se font par la suite, souvent par superposition de cartes, « ce qui rend difficile la compréhension des potentiels biotiques et abiotiques du territoire » (McMahon et coll., 2001). De son côté, l'Agence de protection de l'environnement n'est pas en

reste et Omernik (1995) propose un cadre de référence national d'écorégions basées sur la physiographie et le potentiel biotique (végétation naturelle potentielle et communautés halieutiques). Ce cadre sera par la suite repris à des échelles régionales en incluant un soutien au développement de critères de biologie aquatique (Hornig et coll., 1995; Davis et coll., 1996) ainsi qu'à la détermination d'objectifs de qualité de l'eau des lacs (Heiskary et Wilson, 1989) ou de qualité de l'eau en général (Hughes, 1995). En résumé, malgré une volonté affirmée d'aborder la cartographie territoriale en intégrant les dimensions aquatiques et terrestres, la méthode idéale, si elle existe, reste à trouver.

On ne peut terminer ce tour d'horizon des travaux américains sans revenir sur la contribution exceptionnelle de Bailey au développement des concepts et des principes de cartographie et de classification. En 1978, Bailey et ses collaborateurs ont publié un article sur la nature de la classification et de la cartographie du territoire et des ressources qui, encore aujourd'hui, fait œuvre de référence.

« L'approche taxonomique cherche à établir des unités territoriales en regroupant des sites ayant des propriétés similaires. Dans l'approche par régionalisation, le territoire est subdivisé en unités naturelles sur la base de structures spatiales qui affectent les processus naturels et l'utilisation des ressources. » (Bailey et coll., 1978, p. 650)

Tour à tour, Bailey traitera des fondements de la cartographie et de la classification des écorégions (Bailey, 1983), des facteurs d'échelle et de la nécessité d'une hiérarchie spatiale (Bailey, 1985), de l'avènement des systèmes d'information géographique en cartographie (Bailey, 1988), du rôle des formes de terrain dans la caractérisation des écosystèmes (Bailey, 2004), sans oublier son volume de référence *Ecosystem Geography* paru en 1996 et réédité en 2009 (Bailey, 1996, 2009), en pochette duquel se retrouvent une cartographie originale à très petite échelle des écorégions des continents et une cartographie des océans.

### 1.3 Les travaux québécois

Malgré l'importante activité de cartographie écologique qui se déroule partout au Canada dès la fin des années 1950, le Québec, en tant que province, est resté étrangement absent des débats. Peut-être est-ce dû à l'influent héritage de la phytosociologie classique de Braun-Blanquet? En effet, jusqu'au début des années 1980, la plupart des études écologiques au Québec se limitent à de la classification de la végétation, parfois accompagnée de la cartographie du couvert végétal (Grandtner, 1960; Jurdant et Roberge, 1965; Blouin et Grandtner, 1971; Gagnon et Grandtner, 1973; Marcotte et Grandtner, 1974; Gaudreau, 1979; Grondin et Mélançon, 1980; Majcen, 1981; Brown, 1981). D'ailleurs, pour les tenants de cette école, *la végétation est le meilleur intégrateur possible du milieu* (Ozenda, 1986) et il n'est pas facile de nier cette maxime; par contre, on ne peut pas nier non plus que, souvent, cette intégration soit tellement réussie qu'on ne sait plus ce qu'elle signifie! Par le jeu des facteurs de compensation, par le jeu des perturbations, il est possible d'avoir un couvert végétal identique sur des milieux bien différents ou, inversement, de rencontrer des couverts végétaux totalement distincts sur des milieux semblables!

Jusqu'au début des années 1980, le flambeau de la cartographie écologique au Québec est uniquement porté par des représentants du gouvernement fédéral. Malgré plusieurs tentatives (Jurdant et coll., 1975), malgré le succès du projet pilote réalisé au Saguenay-Lac-Saint-Jean et celui de la cartographie de la municipalité de la Baie James, ni les autorités provinciales ni le monde universitaire ne manifestent beaucoup d'intérêt. Il faudra

attendre pour cela la mise en place du ministère de l'Environnement du Québec, au tournant des années 1980.

À ce moment, se terminaient l'inventaire et la cartographie de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord et le cœur de l'équipe était toujours constitué de fonctionnaires fédéraux de l'équipe Jurdant. Quelques années plus tôt, le gouvernement fédéral avait annoncé sa décision de ne plus soutenir des travaux de cartographie écologique sur des terres de compétence provinciale et de disperser l'équipe Jurdant. Le projet de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord a permis le transfert de certaines compétences fédérales vers le nouveau ministère de l'Environnement du Québec et la mise en place d'un embryon d'équipe de cartographie écologique. Celle-ci a été longue et laborieuse et l'existence de l'équipe moult fois remise en question puisqu'il n'y avait aucune tradition établie de cartographie écologique au Québec et encore moins au sein du nouveau ministère. Mais, comme le dit si joliment le proverbe, petit à petit l'oiseau fait son nid. Tout d'abord, en menant à terme le projet de cartographie écologique de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord, renommé, après la parution de l'ouvrage de Jurdant et ses collaborateurs (1977), *L'inventaire du Capital-Nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord* (Ducruc, 1985).

En 1979, entre en vigueur la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme qui oblige les municipalités régionales de comté (MRC) à produire un schéma d'aménagement et de développement régional (SADR). Revenant aux sources mêmes des prémisses de la cartographie écologique au Canada qui, selon Burger (1972), est *un outil pour procurer les bases écologiques à la planification de l'utilisation du sol* ou, selon Jurdant et ses collaborateurs (1975), *un cadre de référence essentiel pour l'aménagement du territoire*, Veillette et Ducruc (1985 et 1987) proposent un cadre écologique de référence aux gestionnaires du territoire et des ressources. Plusieurs MRC se dotent alors de ce cadre écologique de référence, ou CER, qui deviendra le terme consacré pour qualifier, à l'avenir, la cartographie écologique au ministère de l'Environnement (Ducruc et coll., 1988).

À la même époque, après des recommandations du Bureau des audiences publiques sur l'environnement (BAPE), le gouvernement du Québec exige du ministère des Ressources naturelles et des Forêts qu'il aménage, à l'avenir, le territoire forestier sur des bases écologiques solides. Initialement mise à contribution, l'expertise du ministère de l'Environnement est rapidement laissée de côté malgré les recommandations du rapport Godbout (Comité sur le cadre écologique forestier, 1991) et le ministère des Ressources naturelles et des Forêts fait cavalier seul pour mettre en place son programme de cartographie écoforestière.

Ce faisant, et malgré l'utilisation d'un vocabulaire parfois similaire, ce ministère s'éloigne de l'orthodoxie de la cartographie écologique développée au Canada et ailleurs dans le monde pour répondre à de stricts besoins d'exploitation forestière. Le système hiérarchique à 11 niveaux de perception contient à la fois des unités taxonomiques et des unités cartographiques (Ministère des Ressources naturelles, 2004). La carte de base est une cartographie du couvert forestier au 1 : 20 000 accompagnée des dépôts de surface provenant d'une carte au 1 : 50 000 (Robert et Saucier, 1988; Robert, 1989; Robitaille et coll., 1994).

Durant les années 1990, deux thèmes émergent dans les préoccupations environnementales au Québec : le paysage et la gestion par bassin versant. Le premier permet de préciser l'apport du CER à la caractérisation et à l'analyse du paysage en participant activement à plusieurs rendez-vous internationaux (Ducruc et coll., 1993; Parent et coll., 1993) ainsi qu'à l'organisation et à l'animation des premiers états généraux du paysage au Québec (Ducruc et Genest, 1995; Li et Ducruc, 1995; Pâquet et Ducruc, 1995). C'est le prélude à la collaboration avec les principaux intervenants du paysage au Québec, dont le Conseil québécois des paysages (Gerardin et Ducruc, 1996a; Ducruc et Domon, 1998) et la Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal. Avec cette dernière se réalise un projet important de caractérisation du paysage qui mène à la publication d'un ouvrage majeur pour le Québec (Domon et coll., 2000). Cette collaboration se poursuit encore aujourd'hui et souligne à bien des égards l'apport du CER à la caractérisation du paysage qui sera présentée en détail dans le chapitre 5 de la partie 2 du présent ouvrage. Au cours des dernières années, plusieurs études et analyses des paysages à partir du CER ont été publiées, la majeure partie sous forme d'atlas dans Lotbinière (Blais et coll., 2005), dans l'Assomption (Côté et coll., 2004), dans la Matapédia (Côté et coll., 2008), dans le sud du Québec (Ducruc et Côté, 2012) et dans la région de Québec (Communauté métropolitaine de Québec, 2008).

Dans le thème de la gestion par bassin versant, plusieurs projets ont aussi été menés à bien et nous en retiendrons deux particulièrement, car ils sont à la base de toute une réflexion sur la façon d'intégrer la dimension aquatique au CER : le CER des bassins versants des rivières Saint-Charles et L'Assomption (Audet et coll., 1997; Beauchesne et coll., 1997, 1998; Gerardin et Ducruc, 1996b; Gerardin et Lachance, 1997; Gerardin et Ducruc, 1998).

Leur réalisation a profité d'une collaboration avec le Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts (CEMAGREF) de Lyon qui venait de caractériser le bassin versant de la Loire en France

(Wasson et coll., 1993; Bethemont et coll., 1996; Wasson, 1996). Dans le domaine aquatique, les travaux se poursuivent aujourd'hui, autant à l'égard des cours d'eau (rivière Jacques-Cartier) pour lutter contre des problèmes comme l'érosion des rives et l'apport de sédiments qu'à l'égard des lacs pour lutter contre les problèmes liés à l'eutrophisation.

Enfin, au tournant de l'an 2000, le gouvernement du Québec adopte le projet de stratégie québécoise sur les aires protégées pour doter la province d'un réseau d'aires protégées représentatif de la diversité écologique du Québec. Il décide par la même occasion que la recherche des sites d'intérêt constitutifs de ce réseau ferait appel au CER. Cette décision permet de mettre en branle la finalisation des niveaux supérieurs du CER pour l'ensemble du territoire québécois (Li et Ducruc, 2000; Gerardin et coll., 2002). Au moment d'écrire ces lignes, les quatre premiers niveaux de perception du CER sont cartographiés ainsi qu'une partie du cinquième. La carte de provinces naturelles et de régions naturelles du Québec, les deux premiers niveaux du CER, est présentée à l'annexe.

En terminant, soulignons que l'expertise québécoise du CER est, depuis le début des années 2000, appliquée avec succès par une association de municipalités du sud du Chili pour mettre en place son premier schéma d'aménagement et de développement sur des bases écologiques. Ce projet de coopération internationale est la retombée directe de l'expérience réalisée au Québec avec la MRC de Papineau à la fin des années 1980.

Les développements de l'intégration de la dimension aquatique au CER, l'apport du CER au choix des territoires d'intérêt dans le projet de stratégie québécoise sur les aires protégées et les réalisations chiliennes feront l'objet d'une présentation détaillée dans les chapitres sur les applications du CER.

Pour conclure cette revue historique, soulignons trois traits marquants de la cartographie écologique, dont les deux premiers reviennent comme un leitmotiv tout au long de la présentation. En premier lieu, c'est la prééminence du milieu physique dans la cartographie et, en second lieu, l'appréhension du territoire par un système hiérarchique de niveaux de perception. Le troisième est une préoccupation qui tarde à se concrétiser : l'intégration de la dimension aquatique à la dimension terrestre du territoire.

Physiographie, relief, assemblages de formes de terrain et formes de terrain sont des vocables qui reviennent constamment pour présenter et justifier le découpage cartographique. Est-ce à dire que la cartographie écologique n'est que physique et ne s'intéresse qu'à

l'inerte? Certes pas et, à cet égard, l'école australienne répond clairement. Les formes de terrain sont, en fait, l'aboutissement d'un très long processus interactif entre le milieu physique et le monde vivant qui l'occupe (Christian, 1959). Troll (1971) voit là la naissance d'une nouvelle science, l'écoscience, qui allie la dimension biotique du monde à la dimension abiotique. Il se plaisait à dire que cette nouvelle science était le mariage entre la biologie et la géographie. Par là, il voulait : 1) comprendre les interactions entre les variables (milieu physique et êtres vivants) en un lieu structuré comme un écosystème : l'écosystème élémentaire; 2) comprendre les arrangements de ces unités élémentaires à la surface de la terre en étudiant les interrelations existant entre elles. Ainsi, de simplement descriptif au départ avec les « complexes naturels territoriaux », les unités cartographiques ont rapidement glissé vers la notion de « système ». Le milieu physique n'est plus alors seulement un support au vivant, il est aussi la clé pour la compréhension du fonctionnement et du dynamisme du milieu (échanges cinétiques, modificateur des flux climatiques, etc.). Il devient ainsi la porte d'entrée à la théorie des systèmes brillamment appliquée à la cartographie écologique par les travaux de Naveh et de ses disciples (Naveh et Lieberman, 1984, 1994; Naveh, 2000; Naveh, 2001; Naveh et Carmel, 2002).

La perception du monde qui nous entoure par niveaux de perception est une réalité, voire une évidence pour la majorité d'entre nous : le lieu de résidence, le quartier (ou le rang), la ville (ou la municipalité), la région, la province, le pays, le continent. Transposer cette vision à la perception territoriale est sans doute plus délicat et, surtout, exige la mise en place d'un système cohérent de niveaux de perception. Autant pour la classification que pour la cartographie, cette cohérence a été assurée par le concept de hiérarchie, concept d'ailleurs confirmé par l'application de la théorie des systèmes à la cartographie écologique (Von Bertalanffy, 1968).

Malgré le souci constant d'avoir une approche territoriale intégrée, la dimension aquatique a souvent été laissée au second plan. La première tentative digne d'intérêt, celle de Hills (1961), ne s'adressait qu'aux lacs et elle n'a pas été poursuivie par d'autres, sauf très timidement par Jurdant et ses collaborateurs (1972 et 1977). Actuellement, plusieurs auteurs américains cherchent cette intégration par l'entremise des bassins versants, tout en laissant les lacs de côté (Lotspeich et Platts, 1982), mais le succès n'est toujours pas là! (McMahon et coll., 2001). Il y a place à l'amélioration et au progrès dans ce domaine et nous verrons plus loin comment le CER envisage aujourd'hui cette intégration.

## 1.4 Références bibliographiques

- ABOLIN, R. I., 1914. « Tentative epigenological classification of bogs ». *Bolotovedenie*, vol. 3, p. 1-55 (en russe).
- AUDET, G., D. BÉRUBÉ, J.-P. DUCRUC ET V. GERARDIN, 1997. *Les cartes écologiques du bassin versant de la rivière Saint-Charles, Québec*. Notice explicative. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, contribution du Service de la cartographie écologique n° 53, 101 p.
- BAILEY, R. G., 1976. *Ecoregions of the United States*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, Ogden, Utah (1 : 7 500 000; carte couleur).
- BAILEY, R. G., 1978. *Description of ecoregions of the United States*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, Ogden, Utah.
- BAILEY, R. G., 1983. « Delineation of ecosystem regions ». *Environmental Management*, vol. 7, p. 365-373.
- BAILEY, R. G., 1985. « The factor of scale in ecosystem mapping ». *Environmental Management*, vol. 9, p. 271-276.
- BAILEY, R. G., 1987. « Suggested hierarchy of criteria for multi-scale ecosystem mapping ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 14, p. 313-319.
- BAILEY, R. G., 1988. « Problems with using overlay mapping for planning and their implications for geographic information systems ». *Environmental Management*, vol. 12, p. 11-17.
- BAILEY, R. G., 1995. *Description of ecoregions of the United States*. Deuxième édition revue et augmentée, Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Forest Service, Misc. Publ. N° 1391, 108 p. (carte séparée au 1 : 7 500 000).
- BAILEY, R. G., 1996. *Ecosystem Geography*. New York, Springer Verlag, 204 p. + 2 cartes hors-texte.
- BAILEY, R. G., 2004. *Role of landform in differentiation of ecosystems at the mesoscale (Landscape mosaics)*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Inventory and Monitoring Institute, document de travail, 22 p.
- BAILEY, R. G., 2009. *Ecosystem Geography : From ecoregions to sites*. Deuxième édition, New York, Springer, 251 p.
- BAILEY, R. G., et C. T. CUSHWA, 1981. *Ecoregions of North America*. Washington, D.C., United States Fish and Wildlife Service, FWS/OSB n° 81/29 (1 : 12 000 000, carte couleur).
- BAILEY, R. G., R. D. PFISTER et J. A. HENDERSON, 1978. « Nature of land and resource classification: a review ». *Journal of Forestry*, vol. 76, n° 10, p. 650-655.
- BAILEY, R. G., P. E. AVERS, T. KING et W. McNAB (dir.), 1994. *Ecoregions and subregions of the United States*. Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Forest Service (carte couleur au 1 : 7 500 000 avec description des unités cartographiques).

- BEAUCHESNE, P., J.-P. DUCRUC et M.-J. CÔTÉ, 1997. *Une approche multiscalaire à la gestion des sols et des eaux : le cas de la partie agricole du bassin versant de la rivière L'Assomption*. Québec, Congrès conjoint AQSSS-ORSTOM, Lac Beauport, 12 p.
- BEAUCHESNE, P., M.-J. CÔTÉ, S. ALLARD, J.-P. DUCRUC et Y. LACHANCE, 1998. *Atlas écologique du bassin versant de la rivière L'Assomption : la partie des Basses-Terres du Saint-Laurent*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, et Environnement Canada, 42 p.
- BERG, L. S., 1913. « A proposed classification of Siberia and Turkestan into landscape and morphological regions ». Dans *Collected Papers in honour of professor D.N. Anuchin's 70<sup>th</sup> birthday*, Moscou. (Paru en 1947).
- BEROUTCHACHVILI, N., et G. BERTRAND, 1978. « Le Géosystème ou "Système territorial naturel" ». *Revue de géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, vol. 49, n° 2, p. 167-180.
- BERTRAND, G., 1968. « Paysage et géographie physique globale ». *Revue de géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, vol. 34, n° 3, p. 249-272.
- BERTRAND, G., 1972. « Les structures naturelles de l'espace géographique. L'exemple des Montagnes Cantabriques centrales (nord-ouest de l'Espagne) ». *Revue de géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, vol. 43, n° 2, p. 175-206.
- BETHEMONT, J., H. ANDRIAMAÉFA, C. ROGERS, et J. G. WASSON, 1996. « Une approche régionale de la typologie morphologique des cours d'eau : application de la méthode "morphorégions" au bassin de la Loire et perspectives pour le bassin du Rhône (France) ». *Revue de géographie de Lyon*, vol. 71, n° 4, p. 311-322.
- BLAIS, J.-S., J.-P. DUCRUC, Y. LACHANCE et M.-F. SAINT-LAURENT, 2005. *Les paysages de la MRC de Lotbinière – De la connaissance à l'aménagement*. Québec, MRC de Lotbinière et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du développement durable, du patrimoine écologique et des parcs, 24 p.
- BLOUIN, J.-L., et M. M. GRANDTNER, 1971. *Étude écologique et cartographie de la végétation du comté de Rivière-du-Loup*. Québec, ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche, Direction générale de la planification, 370 p.
- BROWN, J.-L., 1981. *Les forêts du Témiscamingue, Québec. Écologie et photo-interprétation*. Québec, Université Laval, Laboratoire d'écologie forestière, Série des études écologiques n° 5, 447 p.
- BRYCE, S. A., J. M. OMERNIK, D. E. PATER, M. ULMER, J. FREEOUF, R. JOHNSON, P. KUCK et S. H. AZEVEDO, 1998. *Ecoregions of North Dakota and South Dakota*. Reston, Virginie, U.S. Geological Survey.
- BURGER, D., 1972. « Forest site classification in Canada ». *Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung*, n° 21, p. 20-36.
- CHRISTIAN, C. S., 1952. « Regional land surveys ». *J. Aust. Inst. Agric. Sci.*, vol. 18, p. 140-146.
- CHRISTIAN, C. S., 1958. *The concept of land unit and land system*. Papier présenté au symposium UNESCO « Climat, végétation et utilisation des terres sous les tropiques humides », 9<sup>e</sup> Congrès des sciences du Pacifique.
- CHRISTIAN, C. S., 1959. « The eco-complex in its importance for agricultural assesment ». Dans Keast A., R.L. Crocker et C. S. Christian (dir.), *Biogeography and Ecology in Australia*, série Monographiae Biologicae, vol. 8, p. 587-605.
- CHRISTIAN, C. S., et G. A. STEWART, 1953. *General report on Survey of Katherine-Darwin region, 1946*. Melbourne, Australie, CSIRO, Land Research Series n° 1, 177 p.
- CHRISTIAN, C. S., et G. A. STEWART, 1968. « Methodology of integrated surveys ». Dans Proceedings of the Toulouse Conference, *Aerial surveys and integrated studies*, Paris, UNESCO, p. 233-280.
- CHRISTIAN, C. S., G. A. STEWART et R. A. PERRY, 1960. « Land Research in Northern Australia ». *Australian Geographer*, vol. 7, n° 6, p. 217-231.
- CHRISTODOULOU, M., et G. NAKOS, 1990. « An approach to comprehensive land use planning ». *Journal of Environmental Management*, vol. 31, p. 39-46.
- CLELAND, D. T., et COLL., 1997. « National hierarchical framework of ecological units ». Dans Boyce, M. S., et A. Haney (dir.), *Ecosystem management applications for sustainable forest and wildlife resources*, New Haven, Presses de l'Université de Yale, p. 181-200.
- COMITÉ SUR LE CADRE ÉCOLOGIQUE FORESTIER, 1991. *Rapport final du Comité sur le cadre écologique forestier*. Québec, ministère des Forêts et ministère de l'Environnement, 94 p.
- COMMISSION DE COOPÉRATION ENVIRONNEMENTALE, 1997. *Les régions écologiques de l'Amérique du Nord – Vers une vision commune*. Montréal, 70 p. + 1 carte hors-texte.
- COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC, 2008. *Atlas des unités de paysage de la Communauté métropolitaine de Québec*. Québec, Daniel Arbour et Associés et CMQ, cahiers 1 et 2, 761 p.
- CÔTÉ, M.-J., Y. LACHANCE et J.-P. DUCRUC, 2004. *Le bassin versant de la rivière L'Assomption – Des paysages... à la gestion territoriale*. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, 24 p.
- CÔTÉ, M.-J., B. DENIS et Y. LACHANCE, 2006. *Les paysages de la MRC de La Matapédia*. Québec, Municipalité régional de comté de La Matapédia et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 24 p.
- CROWLEY, J. M., 1967. « Biogeography ». *Canadian Geographer*, vol. 11, p. 312-326.
- DAVIS, W. S., B. D. SNYDER, J.-B. STRIBLING et C. STOUGHTON, 1996. *Summary of State Biological Assessment Programs for Streams and Wadeable Rivers*. Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation, USEPA 230 R 96-007.

- DOKUCHAYEV, V. V., 1951. « Collected Works ». *Académie des sciences de l'URSS*, vol. 6, p. 97-99 et 388-399.
- DOMON, G., et J. FALARDEAU (dir.), 1995. *Méthodes et réalisation de l'écologie du paysage pour l'aménagement du territoire*. Comptes rendus du 4<sup>e</sup> congrès de la Société canadienne d'écologie et d'aménagement du paysage, Morin-Heights, Polyscience Publications, 227 p.
- DOMON, G., G. BEAUDET et M. JOLY (avec la participation de J.-P. Ducruc et M.-O. Trépanier), 2000. *Évolution du territoire laurentidien : caractérisation et gestion des paysages*. Montréal, Isabelle Quentin éditeur, 142 p.
- DUCRUC, J.-P., 1985. *L'analyse écologique du territoire au Québec – L'inventaire du Capital-Nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord*. Environnement Canada et Environnement Québec, série de l'inventaire du Capital-Nature n° 6, 145 p.
- DUCRUC, J.-P., et D. BÉRUBÉ, 1979. *Le système écologique : unité de base de la cartographie écologique du territoire de la Baie-James*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 10, 64 p. (également en version anglaise).
- DUCRUC, J.-P., et L. D. BROWN, 1977. « Integrated mapping of land and aquatic ecosystems within an ecological inventory framework ». Dans Canadian Committee on Ecological (Biophysical Land Classification, *Land-water Integration Workshop*, Winnipeg, p. 26-34.
- DUCRUC, J.-P., et M.-J. CÔTÉ, 2012. « Les paysages de la partie québécoise du bassin versant de la rivière Châteauguay ». *Naturaliste canadien*, vol. 136, n° 1, p. 11-21.
- DUCRUC, J.-P., et G. DOMON, 1998. *Le cadre écologique de référence : base d'information sur le territoire*. Les États généraux du paysage québécois, « De pays en paysage », Drummondville (recueil des conférences), 25 p.
- DUCRUC, J.-P., et E. GENEST, 1995. *La cartographie écologique : support à l'analyse des paysages*. États généraux du paysage québécois, Québec, 15 p.
- DUCRUC, J.-P., et V. GERARDIN, 1995. « Essai d'application de la cartographie écologique en milieu sub-sahélien ». Dans Domon, G. et J. Falardeau (dir.), *Méthodes et réalisation de l'écologie du paysage pour l'aménagement du territoire*, Montréal, Polyscience Publications, p. 93-100.
- DUCRUC, J.-P., J. FALARDEAU et D. VEILLETTE, 1988. *Employing ecological data in the integrated management of lands and natural resources in a rural environment: the Papineau Regional County Municipality (RCM) development plan*. Saint-Andrews-by-the-Sea, Nouveau-Brunswick, Conference on Resolving Rural Development Conflicts, 49 p. + 1 carte hors-texte.
- DUCRUC, J.-P., G. PARENT et G. CHABOT, 1993. *Cartographie écologique et unité de paysage : application au milieu boréal. Partie 1 : L'unité de paysage, unité naturelle fonctionnelle*. IUFRO S1.02.06, Réunion technique sur la classification et l'évaluation des stations, Clermont-Ferrand, France, 27 p.
- DUCRUC, J.-P., M.-JURDANT, J.-L. BÉLAIR et V. GERARDIN, 1976. « Le système écologique : unité cartographique de base pour la classification écologique du territoire de la Baie-James ». Dans Société de développement de la Baie-James et Environnement Canada, *Symposium Environnement – Baie-James*, Montréal, p. 95-102.
- DUCRUC, J.-P., R. ZARNOVICAN, V. GERARDIN et M.-JURDANT, 1976. « Les régions écologiques du territoire de la Baie-James : caractéristiques dominantes de leur couvert végétal ». *Cahiers de géographie de Québec*, vol. 50, n° 2, p. 365-391.
- ECOMAP, 1993. *National Hierarchical Framework of Ecological Units*. Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Forest Service, 20 p.
- ÉQUIPE D'INVENTAIRE DES RESSOURCES BIOLOGIQUES DE LA CHINE MÉRIDIIONALE ET INSTITUT DE GÉOGRAPHIE DE CANTON, 1963. *Régionalisation géophysique intégrale de la province de Guangdong*. Canton, 182 p.
- EGLER, F. E., 1970. *The way of science: A philosophy of ecology for the layman*. New York, Hafner, 145 p.
- FORMAN, R. T. T., et M. GODRON, 1986. *Landscape ecology*. New York, John Wiley, 619 p.
- GALLANT, A. L., E. F. BINNIAN, J. M. OMERNIK et M. B. SHASBY, 1995. *Ecoregions of Alaska*. Washington, D.C., United States Geological Survey, Professional Paper 1567, 73 p.
- GAGNON, G., et M. M. GRANDTNER, 1973. *Étude écodynamique des tremblaies de la section laurentienne*. Québec, ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Service de la recherche, mémoire n° 14, 131 p.
- GAUDREAU, L., 1979. *La végétation et les sols des collines Tanginan, Abitibi Ouest, Québec*. Québec, Université Laval, Laboratoire d'écologie forestière, Série des études écologiques n° 1, 391 p.
- GERARDIN, V., et J.-P. DUCRUC, 1983. « Bioclimatic regions as a framework for the study of boreal forest ecosystems ». Dans Wein, R. W., R. R. Riewe et I. R. Methven (dir.), *Resources and Dynamics of the Boreal Zone*, p. 52-69.
- GERARDIN, V., et J.-P. DUCRUC, 1996a. *Le paysage derrière le paysage*. Les États généraux du paysage québécois, Trois-Rivières (recueil des conférences).
- GERARDIN, V., et J.-P. DUCRUC, 1996b. « A reference framework for the integrated ecological management of the Saint-Charles Watershed, Québec, Canada ». Dans Leclerc, M., H. Capra, S. Valentin, A. Boudreault et Y. Côté (dir.), *Ecohydraulics 2000. Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Habitat Hydraulics*, Québec, INRS-Eau, p. 643-652.
- GERARDIN, V., et J.-P. DUCRUC, 1998. « Un cadre écologique de référence pour la gestion et l'aménagement du territoire du bassin versant de la Saint-Charles, Québec. Dans Compte rendu du Symposium international Paris-Québec, *La réhabilitation des cours d'eau en milieu urbain*, p. 217- 229.



- GERARDIN, V., et Y. LACHANCE, 1997. *Vers une gestion intégrée des bassins versants – Atlas du cadre écologique de référence du bassin versant de la rivière Saint-Charles*, Québec, Canada. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et ministère de l'Environnement du Canada, 58 p.
- GERARDIN, V., J.-P. DUCRUC et P. BEAUCHESNE, 2002. « Planification du réseau d'aires protégées du Québec : principes et méthodes de l'analyse écologique du territoire ». *Vertigo – La revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 3, n° 1, 15 p. [En ligne], [[journals.openedition.org/vertigo/4123](http://journals.openedition.org/vertigo/4123)].
- GIBBONS, F. R., 1961. « Some misconceptions about what soil surveys can do ». *Journal of Soil Science*, vol. 12, n° 1, p. 96-100.
- GIBBONS, F. R., et R. G. DOWNES, 1964. *A study of the land in south-west Victoria*. Victoria, Soil Conservation Authority, Technical Communications n° 3.
- GILBERT, G., R. G. HÉLIE et J. M. MONDOUX, 1985. « Écorégions et écodistricts du Québec ». Dans Environnement Canada, *Sensibilité de l'écosystème aux précipitations acides au Québec*, Série de la classification écologique du territoire, n° 20, Partie A., Hull, Québec, 96 p.
- GIMBARZESKI, P., 1964. « The significance of landforms in the evaluation of forest land ». *Pulp and Paper Magazine of Canada, Woodlands Review*, July 1964, p. 302-317.
- GIMBARZESKY, P., 1966. « Land inventory interpretation ». *Photogrammetric Engineering*, Nov. 1966, p. 967-976.
- GRANDTNER, M. M., 1960. « La forêt de Beauséjour, Comté de Lévis, Québec ». Contribution – Fonds de recherches forestières de l'Université Laval, n° 7, p. 162.
- GRIGORYEV, A. A., 1937. *An analytical characterisation of the content and the structure of the earth's physical geographic envelope*. Leningrad.
- GRONDIN, P., et M. MÉLANÇON, 1980. *Étude phyto-écologique de la Grosse île au Marteau et de l'île à Samuel*. Québec, Université Laval, Laboratoire d'écologie forestière, Série des études écologiques n° 2, 227 p.
- GRUPE DE TRAVAIL SUR LA STRATIFICATION ÉCOLOGIQUE, 1995. *Cadre écologique national pour le Canada*. Ottawa, Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Direction générale de la recherche, Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, et Environnement Canada, Direction générale de l'état de l'environnement, Direction de l'analyse des écozones. Rapport et carte nationale 1 : 7 500 000.
- HAASE, G., 1984. « The development of a common methodology of inventory and survey in landscape ecology ». Dans Proceedings of the First International Seminar of the IALE, vol. 2., *Methodology and techniques of inventory and survey*, Roskilde, Danemark, p. 68-106.
- HAASE, G., 1989. « Medium scale landscape classification in the German Democratic Republic ». *Landscape Ecology*, vol. 3, n° 1, p. 29-41.
- HEISKARY, S. A., et C. B. WILSON, 1989. « The regional nature of lake water quality across Minnesota: an analysis for improving resource management ». *Journal of the Minnesota Academy of Sciences*, vol. 55, p. 71-77.
- HILLS, G. A., 1952. *The classification and evaluation of site for forestry*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Division, Research Report 24, 41 p.
- HILLS, G. A., 1953. « The use of site in forest management ». *Forestry Chronicle*, n° 29, p. 128-136.
- HILLS, G. A., 1954. *Field method for investigating site. The detail site description form*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Division, Site Research Manual 4, 119 p.
- HILLS, G. A., 1958. « Soil-forest relationships in the site regions of Ontario ». Dans Proceedings of the First American Forest Soils Conference, Michigan State University, East Lansing, p. 190-212.
- HILLS, G. A., 1961. *The ecological basis for land-use planning*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 46, 204 p.
- HILLS, G. A., 1963. *Land and water resources. Study 1. Background studies for resource development in the Tweed forest district*. Guelph, Ontario Agricultural College, Department of Agricultural Economics, Publication AE-63 4/1, 149 p.
- HILLS, G. A., et G. PIERPOINT, 1960. *Forest site evaluation in Ontario*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 42, 63 p.
- HILLS, G. A., D. V. LOVE et D. S. LACATE, 1970. *Developing a better environment. Ecological land-use planning in Ontario – A study of methodology in the development of regional plans*. Toronto, Ontario Economic Council, 175 p.
- HORNIG, C. E., et COLL., 1995. « Development of regionally based biological criteria in Texas ». Dans Davis, W. S., et T. P. Simon (dir.), *Biological assesment and criteria : tool for water resource planning and decision making*, Boca Raton, Floride, Lewis Publisher, p. 31-48.
- HUANG, B. W., 1959. « Draft of the complex physical geographical division of China ». *Chinese Science Bulletin*, n° 18, p. 594-602.
- HUGHES, R. M., 1995. « Defining biological status by comparing with reference conditions ». Dans Davis, W.S. et T.P. Simon (dir.), *Biological assesment and criteria : tools for water resource planning and decision making*, Boca Raton, Floride, Lewis Publishers, p. 31-47.
- ILLICH, Y., 1973. *Énergie et équité*. Paris, Éditions du Seuil, 59 p.
- IÑIGUEZ, L., 1983. *Aspectos geográficos de la protección de la naturaleza en Cuba*. Thèse pour l'obtention du doctorat en sciences géographiques, Université de La Havane, Cuba, 120 p.
- INTERAGENCY ECOSYSTEM MANAGEMENT TASK FORCE, 1995. *The ecosystem approach: healthy ecosystems and sustainable economies. Vol. 1: Overview*. Washington, D.C., Government Printing Office, 55 p.

- ISACHENKO, A. G., 1973. *Principles of landscape science and physical-geographic regionalisation*. Australie, Presses de l'Université de Melbourne, 310 p. (Traduction de l'ouvrage paru en russe en 1965).
- JIA, L. Q., Z. Y. OUYANG, T. Q. ZHAO, X. K. WU, Y. XIAO et H. ZENG, 2005. « The ecological functional regionalization of Anhui Province ». *Acta Ecologica Sinica*, vol. 25, n° 2, p. 254-260.
- JURDANT, M., 1968. « Report of the subcommittee on biophysical land classification ». Dans Proceedings of the 7th Meeting National Soil Survey Committee of Canada, Edmonton, Alberta, p. 179-184.
- JURDANT, M., 1969. « The ecological survey: the biophysical basis of forest land management ». *Pulp and Paper Magazine of Canada*, vol. 70, n° 9, p. 89-93.
- JURDANT, M., 1980. *Integrated land resources survey of Greece: an ecological approach (the ecological basis for land use planning)*. Rapport inédit, Athènes, Grèce, 151 p.
- JURDANT, M., 1984. *Estudio del ordenamiento de la cuenca del rio Malacatoya. Reflexiones sobre la clasificacion y la cartografia integrada de sus recursos*. Nicaragua, Instituto nicaraguense de los recursos naturales (IRENA), Departamento planificacion de cuencas hidrograficas, 21 p.
- JURDANT, M., et J.-P. DUCRUC, 1977. « La classification écologique du territoire : un inventaire intégré des ressources naturelles renouvelables ». Communication présentée au symposium *Ecological classification of forest land in Canada and Northwestern U.S.A.*, Vancouver, du 30 sept. au 2 oct., p. 140-155.
- JURDANT, M., et J.-P. DUCRUC, 1979. *Carte écologique du territoire de la Baie-James : districts écologiques et géomorphologie (légende détaillée)*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 11, 30 p. + 1 carte.
- JURDANT, M., et G. FRISQUE, 1970. *The Nicauba Research Forest. A research area for black spruce in Quebec. Part 1 : forest land survey*. Ste-Foy, Québec, Forest Research Laboratory, Quebec Region, Information Report Q-F X-18, 115 p.
- JURDANT, M., et M. ROBERGE, 1965. *Étude écologique de la forêt de Watopeka*. Ottawa, ministère des Forêts, Publication n° 1051F, 70 p.
- JURDANT, M., J.-L. BÉLAIR, J.-P. DUCRUC et V. GERARDIN, 1976. « La cartographie intégrée du territoire de la Baie-James ». Dans Comptes rendus de la 1<sup>re</sup> réunion du Comité canadien de la classification écologique du territoire, Série de la classification écologique du territoire, n° 1, p. 173-180.
- JURDANT, M., J.-L. BÉLAIR, V. GERARDIN et J.-P. DUCRUC, 1977. *L'inventaire du Capital-Nature : méthode de classification et de cartographie du territoire (3<sup>ème</sup> approximation)*. Ottawa, Pêches et Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 2, 202 p.
- JURDANT, M., J.-P. DUCRUC, J.-L. BÉLAIR et V. GERARDIN, 1975. « La carte écologique du territoire de la Baie-James ». Dans Comptes rendus de la Conférence circumpolaire sur l'écologie du nord, Ottawa, p. 101-112.
- JURDANT, M., J.-BEAUBIEN, J.-L. BÉLAIR, J.-C. DIONNE et V. GERARDIN, 1972. *Carte écologique de la région du Saguenay-Lac-St-Jean*. Notice explicative. Ottawa, Service canadien des forêts, Rapport d'information Q F-X-31, 3 vol., 93 p. + annexes.
- JURDANT, M., D. S. LACATE, S. C. ZOLTAÏ, G. G. RUNKA et R. WELLS, 1975. « Bio-physical classification in Canada. Forest Soils and Forest land Management ». Dans Proceedings of the 4<sup>th</sup> North American Forest Soils Conference, Université Laval, Québec, p. 485-495.
- JURDANT, M., R. WELLS, R. FULTON, B. DELANEY, G. KITCHEN et O. FORSEY, 1971. « Ecological survey of the Goose Bay Area, Labrador, Newfoundland. Progress Report ». Dans Proceedings of the National Committee On Forest Land Work Meeting, Kamloops, Colombie-Britannique, 94 p.
- KALYESNIK, S. V., 1940. « The tasks of geography and geographical field investigations ». *Uchebnye zapiski Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta*, vol. 50, p. 3-20. (En russe, résumé en anglais).
- KLIJN, F., 1991. « Hierarchical classification of ecosystems: a tool for susceptibility analysis and quality evaluation for environmental policy ». Dans Ravera, O. (dir.), *Terrestrial and aquatic ecosystems perturbations and recovery*, New York, Ellis Horwood Publisher, p. 80-89.
- KLIJN, F., et A. HUDO DE HAES, 1994. « A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification ». *Landscape Ecology*, vol. 9, n° 2, p. 89-104.
- KLIJN, F., R. W. DE WAAL et J. H. OUDE VOSHAAR, 1995. « Ecoregions and ecodistricts: ecological regionalizations for the Netherlands' environmental policy ». *Environmental Management*, vol. 19, n° 6, p. 797-813.
- KONDRACKI, J., 1977. *Physico-geographical regions in Poland*. Varsovie, 178 p.
- KÖPPEN, W., 1931. *Grundriss der klimakunde*. Berlin, Walter de Gruyter Ed., 388 p.
- KÜCHLER, A. W., 1964. *Potential natural vegetation of the conterminous United States*. États-Unis, American Geographical Society, Special Publication N° 36, 116 p. + une carte séparée à 1 : 3 168 000.
- LACATE, D. S., 1965. *Forest land classification for the University of British Columbia research forest*. Canada, Department Of Forestry, Forest Research Laboratory, Publication 1107, 23 p.
- LACATE, D. S., 1969. *Guidelines for bio-physical land classification. For classification of forest lands and associated wildlands*. Ottawa, Department of Fisheries and Forestry, Publication 1264, 61 p.
- LEBRET, L. J., 1967. *Dynamique concrète du développement*. Paris, Économie et humanisme, Les Éditions ouvrières, 464 p.
- LI, T., et J.-P. DUCRUC, 1995. *Les provinces et régions naturelles du Québec : une perspective écologique pour les paysages québécois*. Québec, Les États généraux du paysage québécois, non paginé.

- LI, T., et J.-P. DUCRUC, 2000. *Les provinces naturelles. Niveau 1 du cadre écologique de référence du Québec*. Québec, ministère de l'Environnement, 90 p.
- LIN, C., 1954. « A draft for physical geography regionalization in China: an abstract ». *Acta Geographica Sinica*, vol. 20, n° 4, p. 395-418.
- LOTSPEICH, F. B., 1980. « Watersheds as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for natural classification system ». *Water Resources Bulletin*, vol. 16, p. 581-586.
- LOTSPEICH, F. B., et W. S. PLATTS, 1982. « An integrated land-aquatic classification ». *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 2, p. 138-149.
- LOUCKS, S. T. B., 1962. « A forest classification for Maritime provinces ». Dans *Proceedings of Nova Scotian Institute of Science*, n° 25, p. 85-167.
- LOVELOCK, J., 1979. *Gaia, a new look at life on earth*. Les Presses de l'Université d'Oxford. Traduction française, *La terre est un être vivant*, Éditions du Rocher, 185 p.
- LUO, F. K., 1954. « A draft for physical geography regionalization in China ». *Acta Geographica Sinica*, vol. 34, n° 3, p. 379-394.
- LYNN, R. J., et S. C. ZOLTAÏ, 1965. *The Greta Lake Road Reference Area, Geraldton District, Site Region 3W*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 60, 72 p.
- MAJCEN, Z. 1981. *Les forêts du parc national Forillon, Gaspésie, Québec : étude phytosociologique*. Québec, Université Laval, Laboratoire d'écologie forestière, Série des études écologiques, n° 4, 158 p.
- MARCOTTE, G., et M. M. GRANDTNER, 1974. *Étude écologique de la végétation forestière du mont Mégantic*. Québec, ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Service de la recherche, mémoire n° 19, 156 p.
- MATEO, J., 1979. *Paisajes en Cuba*. Thèse pour l'obtention du doctorat en sciences géographiques, Université de Moscou, URSS, 222 p.
- MATEO, J., 1984. *Apuntes de geografía de los paisajes*. La Havane, Faculté de géographie, Université de La Havane, Cuba, 470 p.
- MAXWELL, J. R., et COLL., 1995. *A hierarchical framework of aquatic ecological units in North America (Nearctic zone)*. St. Paul, Minnesota, United States Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-176, 72 p.
- McMAHON, G., et COLL., 2001. « Developing a spatial framework of common ecological regions for the conterminous United States ». *Environmental Management*, vol. 28, n° 3, p. 293-316.
- MEDINA MENA, J. E., 2006. *Plan de Ordenamiento y Desarrollo territorial. Versión para el proceso de consulta y participación ciudadana*. Chili, Asociación de Municipios de la Precordillera (AMP), Región de la Araucanía, 135 p.
- MILIÁN TRUJILLO, M. I., E. SALINAS CHÁVEZ et M. T. PADRÓN, 1985. *Los complejos naturales como base para el ordenamiento territorial de la zona este de la ciudad de La Habana*. La Havane, Cuba, Instituto de Planificación física, JUCEPLAN, 26 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 2004. *Le système hiérarchique de classification écologique du territoire*. Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers, 3 p.
- NAKOS, G., 1983. « The land resource survey of Greece ». *Journal of Environmental Management*, vol. 17, p. 153-169.
- NAVEH, Z., et A. S. LIEBERMAN, 1984. *Landscape Ecology. Theory and application*. New York, Springer Verlag, 356 p.
- NAVEH, Z., et A. S. LIEBERMAN, 1994. *Landscape Ecology. Theory and application, 2<sup>e</sup> édition*. New York, Springer Verlag, 360 p.
- NAVEH, Z., 2000. « Introduction to the theoretical foundations of multifunctional landscapes and their application in transdisciplinary landscape ecology ». Dans Brandt, J., B. Tress et G. Tress (dir.), *Multifunctional Landscape : Interdisciplinary approaches to landscape research and management*, p. 27-41.
- NAVEH, Z., 2001. « Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 57, n° 3 4, p. 269-284.
- NAVEH, Z., et Y. CARMEL, 2002. « Landscape complexity versus ecosystem complexity – Implication for landscape planning and management ». Dans 12<sup>e</sup> Congrès national de la Société italienne d'écologie, *La complexité en écologie*, Urbino, Italie, p. 35-54.
- ODUM, E. C., 1953. *Fundamentals of ecology*. Philadelphie, Saunders, 383 p.
- OMERNIK, J. A., 1987. « Ecoregions of the Conterminous United States ». *Annals of the Association of American geographers*, vol. 77, n° 1, p. 118-125.
- OMERNIK, J. A., 1995. « Ecoregions: a spatial framework for environmental management ». Dans Davis, W. S., et T. P. Simon (dir.), *Biological assesment and criteria: tools for water resource planning and decision making*. Boca Raton, Floride, Lewis Publishers, p. 49-62.
- OMERNIK, J. A., et R. G. BAILEY, 1997. « Distinguishing between watersheds and ecoregions ». *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 33, p. 935-949.
- OMERNIK, J. A., S. S. CHAPMAN, R. A. LILLIE et R. T. DUMKE, 2000. « Ecoregions of Wisconsin ». *Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters*, vol. 88, p. 77-103.
- OZENDA, P., 1986. *La cartographie écologique et ses applications*. Paris, Masson, 159 p.
- PÂQUET, J., et J.-P. DUCRUC, 1995. *La cartographie écologique, outil privilégié de l'analyse visuelle des paysages forestiers*. Québec, Les États généraux du paysage québécois, 14 p.

- PARENT, G., J. PÂQUET, J.-P. DUCRUC, V. GERARDIN et G. CHABOT, 1993. *La cartografia ecológica: del análisis espacial al análisis del paisaje*. La Havane, 1<sup>er</sup> atelier international sur l'aménagement géo-écologique des paysages, Université de La Havane, Cuba, 46 p.
- PATER, D. E., S. A. BRYCE, T. D. THORSON, J. KAGAN, C. CHAPPELL, J. M. OMERNIK, S. H. AZEVEDO et J. A. WOODS, 1998. *Ecoregions of Western Washington and Oregon*. Reston, Virginie, United States Geological Service.
- PERRY, R. A., 1962. *General report on lands of the Alice Springs area, Northern Territory, 1956-57*. Melbourne, Australie, CSIRO, Land Research Series n° 6, 280 p.
- PIERPOINT, G., 1962. *The sites of the Kirkwood Management Unit*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 47, 91p.
- PIERPOINT, G., et G. A. HILLS, 1963. *The land resources of the Sudbury basin*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 50, 21 p.
- PLATTS, W. S., 1974. *Geomorphic and aquatic conditions influencing salmonids and stream classification – with application to ecosystem classification*. Boise, Idaho, United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, xiv, 199 p.
- PLATTS, W. S., 1979. « Relationships among Stream Order, Fish Populations, and Aquatic Geomorphology in an Idaho River Drainage ». *Fisheries*, vol. 4, p. 4 9.
- RAMYENSKI, L. G., 1938. *An introduction to complex soil and geobotanical investigations*. Moscou, Selhgziz (en russe).
- RICHLING, A., 1984. « Geocomplexes as the basic fields of practically oriented assesment of natural conditions ». Dans Proceedings of the First International Seminar of the IALE, vol. 2., *Methodology and techniques of inventory and survey*, Roskilde, Danemark, p. 17-27.
- RICHLING, A., 1990. « Systems of Lanscape classification in Poland ». *Miscellanea Geographica*, Varsovie, p. 7-15.
- RICHLING, A., 1994. « Landscape ecology as a discipline combining investigations on natural environment ». Dans Richling, A, E. Malinowska et J.-Lechnio (dir.), *Landscape Research and its applications in environment management*, Varsovie, Pologne, p. 15-19.
- RIVM, 1989. *Concern for tomorrow: A National Environmental Survey 1985 2010*. Institut national de santé publique et de protection de l'environnement des Pays-Bas (RIVM), Bilthoven, 344 p.
- ROBERT, D., 1989. *Le cadre écologique forestier : bilan des actions de développement*. Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des inventaires forestiers, Division écologie, 60 p.
- ROBERT, D., et J.-P. SAUCIER, 1988. *La cartographie écologique à l'échelle 1 : 20 000 : normes et techniques*. Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des inventaires forestiers, Division écologie, 75 p.
- ROBITAILLE, A., D. ROBERT, J.-P. SAUCIER et F. CHÉNARD, 1994. *La cartographie des districts écologiques : normes et techniques (édition révisée de 1989)*. Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la gestion des stocks forestiers, Service des inventaires forestiers, 107 p.
- ROUGERIE, G., et N. BEROUTCHACHVILI, 1991. *Géosystèmes et paysages : bilan et méthodes*. Paris, Armand Colin, 298 p.
- ROWE, J. S., 1962. « Soil, site and land classification ». *Forestry Chronicle*, n° 38, p. 420-432.
- ROWE, J. S., P. G. HADDOCK, G. A. HILLS, V. J. KRAJINA et A. LINTEAU, 1960. « *The ecosystem concept in forestry* ». Dans Proceedings of the 5th World Forestry Congress, vol. 1, p. 570-572.
- RUBEC, C. D. A., 1992. « Thirty years of ecological land surveys in Canada from 1960 to 1990 ». Dans Ingram, G. B., et M. R. Ross (dir.), *Landscape approaches to wildlife and ecosystem management. Proceedings of the second symposium of the Canadian Society for Landscape Ecology and Management*, Université de la Colombie-Britannique, mai 1990. Montréal, Polyscience Publications Inc., p. 61-66.
- RUBEC, C. D. A., E. B. WIKEN, J. THIE et G. R. IRONSIDE, 1988. « Ecological land classification and landscape ecology in Canada: the role of the C.C.E.L.C. and the formation of the C.S.E.L.M ». Dans Ross., M. R. (dir.), *Landscape ecology and management. Proceedings of the first symposium of the Canadian society for landscape ecology and management*. Université de Guelph, mai 1987. Montréal, Polyscience Publications Inc., p. 51-56.
- RUNKA, G. G., 1972. *Soil resources of the Smithers-Hazelton Area*. Kelowna, Colombie-Britannique, Department of Agriculture, Soil Survey Division, 223 p.
- SALAZAR, I., et COLL., 2005. *Levantamiento de metodologia participativa por el ordenamiento territorial con comunidades Mapuche del ADI-Budi*. Tumeco, Chili, Instituto del Medio Ambiente, Universidad de la Frontera, 62 p.
- SALINAS CHÁVEZ, E., 1986. « Methodological contribution to landscape analysis and evaluation for territorial planning with special reference to Key Coco, Cuba ». UNEP, vol. 2, Nairobi, Kenya, p. 305-326.
- SALINAS CHÁVEZ, E., L. YANEZ SUÁREZ et S. ARCEO KINDELÁN, 1992. « *La evaluación agrogeográfica en la planificación regional en Cuba* ». Espagne, Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada, n° 18-19, p. 217-236.
- SALINAS CHÁVEZ, E., J. MATEO RODRIGUEZ, E. SALINAS CHÁVEZ et R. MACHADO SANTIAGO, 1993. « Estudios geográficos y clasificación de los paisajes en Cuba ». Congrès national de géographie latino-américaine, Tarragone, Espagne, Édition Mapfre, p. 401-411.
- SEABER, P. R., F. P. KAPINOS et G. L. KNAPP, 1987. *Hydrologic unit maps*. United States Geological Survey, Water-Supply Paper 2294, 63 p.
- SMALLEY, G. W., 1979. *Classification and evaluation of forest sites on the southern Cumberland Plateau*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SO-23, 59 p.

- SMALLEY, G. W., 1980. *Classification and evaluation of forest sites on the western Highland Rim and Pennyroyal*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SO-30, 120 p.
- SMALLEY, G. W., 1982. *Classification and evaluation of forest sites on the Mid-Cumberland Plateau*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SO-38, 58 p.
- SMALLEY, G. W., 1983. *Classification and evaluation of forest sites on the eastern Highland Rim and Pennyroyal*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SO-43, 123 p.
- SMALLEY, G. W., 1984. « Landforms: a practical basis for classifying forest sites in the Interior Uplands ». Dans Proceedings of the 12<sup>th</sup> Annual Hardwood Symposium, Hardwood Research Council, p. 92-112.
- SMALLEY, G. W., L. B. SHARBER et J. C. GREGORAY. 1996. « Ecological land classification as a basic theme for the management of wildlands in Tennessee: a start ». *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 39, n° 1-3, p. 579-588.
- SOCHAVA, V. B., 1963. « Définition de quelques notions et termes de géographie physique ». Institut de géographie de Sibérie et Extrême-Orient, n° 3, Irkoutk, p. 94-117 (en russe).
- SOCHAVA, V. B., 1972. « L'étude des géosystèmes : stade actuel de la géographie physique complexe ». *Izvestija Akademii Nauk SSSR, Serija geograficeskaja*, n° 3, p. 18-21. Traduction française par C. Rondeau, CNRS, Centre de documentation et de cartographie géographique, Paris.
- SOLNTSEV, N. A., 1948. « The natural geographic landscape and some of its regular characteristics ». *Trudy vtorogo vsesoyuznogo geograficheskogo sjezda*, vol. 1.
- SOLNTSEV, N. A., 1962. *The morphological structure of the geographic landscape*. Moscou, Presses de l'Université d'État.
- TANSLEY, A. G., 1935. « The use and abuse of vegetational concepts and terms ». *Ecology*, vol. 16, n° 3, p. 284-307.
- TOFFLER, A., 1980. *The Third Wave*. New York, William Morrow, 544 p.
- TRICART, J. J.-L., 1979. « Paysage et écologie ». *Revue de géomorphologie dynamique*, vol. 28, n° 3, p. 81-95.
- TRICART, J. J.-L., et J. KILIAN, 1979. *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Paris, F. Maspero, 326 p.
- TROLL, C., 1971. « Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology – A terminology study ». *Geoforum*, vol. 8, n° 71, p. 43-46.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1984. *Land resource regions and major land resource area of the United States. Agriculture Handbook 296*. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 156 p. + 1 carte.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1988. *National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria*. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- VEILLETTE, D., et J.-P. DUCRUC, 1985. *Un cadre écologique de référence pour l'aménagement du territoire des municipalités régionales de comté : exemple des MRC de Desjardins et de Robert-Cliche*. Québec, ministère de l'Environnement, Série de l'inventaire du Capital-Nature, n° 5, 150 p.
- VEILLETTE, D., et J.-P. DUCRUC, 1987. « Un cadre écologique de référence, outil polyvalent pour les gestionnaires du territoire et de ses ressources ». Les cahiers scientifiques de l'ACFAS, *Aménagement et gestion des ressources*, n° 49, p. 97-122.
- VON BERTALANFFY, L., 1968. « Chance or law ». Dans Koestler, A., et J. R. Smithies (dir.), *Beyond reductionism: New perspectives in the life sciences*. Londres, Hutchinson of London, p. 56-84.
- WARREN, C. E., 1979. *Toward classification and rationale for watershed management and stream protection*. Corvallis, Oregon, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency, EPA-600/3-79-059, 143 p.
- WASSON, J. G., 1996. « Structures régionales du bassin de la Loire ». *La Houille Blanche*, n° 6/7, p. 25-31.
- WASSON, J. G., J.-BETHMONT, J. N. DEGORCE, B. DUPUIS et T. JOLIVEAU, 1993. *Approche écosystémique du bassin de la Loire : éléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion. Phase I : État initial – Problématique*. Cemagref Lyon BEA/LHQ et Université St-Étienne CNRS CRENAM, 102 p. + atlas, 70 pl. et annexes.
- WERTZ, W. A., et J. A. ARNOLD, 1972. *Land system inventory*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, Ogden, Utah, 12 p.
- WICKWARE, G. M., et C. D. A. RUBEC, 1989. *Écorégions de l'Ontario*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 26, 42 p.
- WIKEN, E. B., 1979. « Raison d'être et méthodes des relevés écologiques des terres : une vue d'ensemble des méthodes canadiennes ». Dans Taylor, D. G. (dir.), *Intégration terre/faune : compte rendu d'un atelier technique sur l'introduction de l'information sur la faune dans les relevés écologiques du territoire, 1 et 2 mai 1979, Saskatoon*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 11, 160 p.
- WIKEN, E. B. (compilateur), 1986. *Écozones terrestres du Canada*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 19, 27 p. + carte.
- WIKEN, E. B., et G. IRONSIDE, 1977. « The development of ecological (biophysical) land classification in Canada ». *Landscape Planning*, vol. 4, p. 273-275.
- WIKEN, E. B., D. M. WELCH, G. R. IRONSIDE et D. G. TAYLOR, 1981. *The Northern Yukon: An ecological land survey*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 6, 197 p + carte au 1 : 1 000 000.

WONG PÉREZ, J. M., 1982. *Evaluación de los recursos recreativos de Cuba*. Extrait de la thèse pour l'obtention du doctorat en sciences géographiques, Université d'État de Jarkov, URSS, 22 p.

WOODS, A. J., J. M. OMERNIK, C. S. BROCKMAN, T. D. GERBER, W. D. HOSTETER et S. H. AZEVEDO, 1998. *Ecoregions of Indiana and Ohio*. Reston, Virginie, United States Geological Survey.

WU, S. H., Q. Y. YANG et D. ZHENG, 1979. « Delineation of eco-geographic regional system of China ». *Journal of Geographical Sciences*, vol. 13, n° 3, p. 309-315.

ZHAO, S., C. CHEN et W. NIU, 1979. « Thirty years in integrated physical geography in the People's Republic of China ». *Acta Geographica Sinica*, vol. 34, n° 3, p. 187-199.

ZHENG, D. 1999. « A study on the eco-geographical regional system of China ». FAO Global Ecological Zoning Workshop, Cambridge, Angleterre, du 28 au 30 juillet 1999. [En ligne], [[www.fao.org/docrep/007/ae344e/AE344E09.htm](http://www.fao.org/docrep/007/ae344e/AE344E09.htm)].

ZHENG, D., Y. OU et Z. H. ZHOU, 2008. « Understanding of and Thinking over geographical regionalization methodology ». *Acta Geographica Sinica*, n° 6, p. 563-573.

ZOLTAÏ, S. C., E. T. OSWALD et C. TARNOCAÏ, 1969. *Land classification for land evaluation: Cormorant Lake Pilot Project*. Canadian Forest Service, Information Report MS-X-20, 31 p.

ZOLTAÏ, S. C., J.-P. SENYK, P. GIMBARZEVSKY et A. KABZEMS, 1967. « Manitoba and Saskatchewan ». Dans McCormack, R. J., *Land capability classification for forestry*. Canada, Department of Forestry and Rural development, Canada Land Inventory, Report 4.

ZONN, I., M. GLANTZ, A. KSTIANOY et A. KOSAREV, 2009. *The Aral sea encyclopedia*. Berlin, Springer-Verlag, 289 p.

ZONNEVELD, I. S., 1989. « The land unit – A fundamental concept in landscape ecology and its applications ». *Landscape Ecology*, vol. 3, n° 2, p. 67-86.

ZONNEVELD, I. S., 1995. *Land Ecology: An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. Amsterdam, SPB Academic Publication, 199 p.