

Caractérisation de l'intégrité écologique des écosystèmes forestiers publics du Bas-S^t-Laurent

- Rapport d'étape 2004-2005 -

Marion Vaché, Candidate Doc. Environnement. UQAR

Mars 2005

Projet co-financé par



Chaire de recherche sur la forêt habitée



Forêt modèle du Bas-Saint-Laurent

1. Rappels de la problématique et état des connaissances:

Intégrité écologique, définition et mesure: Depuis Rio (1992), les gouvernements prônent des objectifs de développement durable pour les pratiques forestières au Québec^{1,2}. Pour être "durables" ou "écoviables", les activités en milieu forestier devraient maintenir l'intégrité écologique des forêts et les biens-services procurés aux générations actuelles et futures²⁻⁵. Cependant, il est difficile pour les gestionnaires d'évaluer l'atteinte de tels objectifs quand définition et mesure de l'intégrité écologique d'écosystèmes forestiers aménagés demeurent controversées (e.g.^{5,6,7}). Pour les forêts, il n'y a pas de mesure absolue de l'intégrité écologique d'acceptée. Toutefois, une forte intégrité écologique décrirait un écosystème sous dynamique naturelle ou sans influence humaine^{5,8}. Pour plusieurs, l'intégrité écologique d'un écosystème est, en pratique, un jugement de sa condition écologique actuelle⁹. C'est un état relatif caractérisé en comparant l'état actuel d'un écosystème à son état originel⁶. En l'absence de situation témoin ou de point de référence, l'évaluation du caractère intègre d'un écosystème est relative à ce qui reste dans ce territoire par rapport aux autres territoires. C'est par des indicateurs écologiques qu'il est possible de caractériser le statu actuel d'un écosystème et d'y déceler tout changement significatif. Un indicateur écologique est une caractéristique environnementale ou attribut décrivant la condition d'un écosystème ou d'un de ses éléments ou processus¹⁰. Un bon indicateur écologique doit être manipulable par les gestionnaires, pertinent, sensible, prévisible, mesurable localement et à long terme⁶. Cependant, les effets anthropiques sur les écosystèmes ne seraient pas tous révélés par des changements de leurs attributs¹¹. Il faudrait ainsi mesurer l'intégrité des habitats d'un écosystème conjointement à celle de sa biodiversité¹². Cela consiste à mettre en relation des mesures des pressions anthropiques subies par l'écosystème et des mesures de ses communautés bio-indicatrices^{9,13-17}. Cependant, ce mode d'évaluation doit être adapté à chaque contexte forestier local auquel il faut tester spécifiquement les indicateurs écologiques¹³ ce qui est rarement fait.

Indicateurs d'intégrité écologique forestière: Les pressions anthropiques sont désormais, le principal agent modelant les écosystèmes forestiers (ex.¹⁸⁻²⁰). Étudier le degré de pressions anthropiques et de changement subis par les écosystèmes d'une région est donc fondamental à long terme²¹. De la littérature se dégagent des facteurs anthropiques qui modifient les écosystèmes forestiers et leurs communautés sans réel équivalent naturel: **a).** *La perte de superficies forestières:* principalement due aux infrastructures linéaires en milieu forestier, elle détruit les superficies forestières originelles affectant ainsi la faune et ses habitats. Elle diminue notamment la productivité forestière et la diversité aviaire régionales²²⁻²⁴. Les routes, les chemins forestiers et les lignes

électriques créent des corridors qui favorisent des prédateurs aviaires menaçant désormais plusieurs populations d'oiseaux forestiers^{25,26,27}. **b. Les coupes totales récentes:** de fréquence et de sévérité plus élevées que les perturbations naturelles auxquelles on les compare (ex. feux, etc.), les coupes totales n'auraient pas les mêmes effets sur les espèces forestières^{18,28,29}. En forêt boréale mixte, la fréquence élevée des coupes totales entraîne un enfeuillement de la mosaïque forestière^{30,31}. Bien que d'effet temporaire^{32,33}, les coupes totales récentes nuisent à la faune aviaire des peuplements matures exploités et résiduels par les ouvertures qu'elles créent³⁴⁻³⁶. **c. La raréfaction des forêts matures:** les pratiques sylvicoles actuelles éliminent de façon accélérée les peuplements matures et leurs legs structuraux (arbres à fort diamètre, gros chicots etc.) affectant l'intégrité des écosystèmes forestiers et de leurs communautés³⁷. C'est désormais le facteur limitant pour plusieurs espèces aviaires au Canada et au Québec comme: le pic à dos noir (*Picoides arcticus*), le pic tridactyle (*P. tridactylus*) ou le grimpeur brun (*Certhia americana*)³⁸⁻⁴⁴. **d. L'introduction d'essences exotiques:** elle menace l'intégrité et la diversité indigènes en altérant le recrutement des communautés végétales d'origine voire, les fonctions des écosystèmes⁴⁵⁻⁵⁰. On l'associe désormais à l'altération de la composition et du succès reproducteur de plusieurs communautés aviaires^{51,52}. **e. Les plantations et les activités qui y sont associées** (ex. préparation de terrain, etc.): elles entraînent une simplification structurale des peuplements forestiers qui en originent^{45,46}. Les peuplements naturels supportent ainsi une richesse spécifique⁵³ et des densités aviaire plus élevées que les plantations^{54,55}.

Bien que certains des facteurs précédents aient été considéré isolément (ex. % déforestation⁵⁶), pour caractériser l'intégrité écologique d'un écosystème il convient de mesurer leurs effets cumulatifs^{17,57,58}. Or, il n'existe pas d'indice écologique les regroupant.

Bio-indicateurs d'intégrité écologique: En milieu terrestre, se sont les oiseaux qui seraient de bons indicateurs de l'intégrité des écosystèmes^{21,60-62}. Ils sont influencés par des caractéristiques des habitats forestiers (ex. superficie, composition, structure verticale, configuration spatiale etc.) que les activités anthropiques modifient profondément^{35,44,70-72}. Chaque espèce a des traits d'histoire de vie qui la relie aux différents attributs des écosystèmes⁶¹. Or, l'identification d'espèces indicatrices de la biodiversité et de l'intégrité du milieu forestier reste à documenter car peu ont été validées sur le terrain⁶³. Des facteurs tels que les préférences des espèces en habitat, en nourriture, en substrat pour nicher, leur statut migratoire ou leur degré de spécialisation, permettent de les regrouper en guildes^{21,6,64,65}. Les guildes aviaires sont utiles pour estimer l'intégrité écologique d'écosystèmes^{21,61}. Plus que celle d'espèces individuelles, la réponse de guildes aviaires aux variations environnementales serait un bon indicateur de l'intégrité écologique des habitats forestiers. Cependant, il faut que de telles

guildes soient bien définies²¹. En Europe, les changements de structure et de composition du couvert forestier ont été reflétés par les oiseaux insectivores⁶⁶. De même, les espèces aviaires résidentes seraient particulièrement sensibles aux changements et uniquement affectées par ceux de la région concernée⁶⁷. De plus, vue la dynamique naturelle des forêts de l'est du Canada (eg.^{68,69}), des espèces aviaires adaptées aux forêts anciennes et aux perturbations de faible superficie devraient être sensibles aux pressions anthropiques (ex. coupes totales)²¹. Enfin, la représentation relative de multiples guildes devrait varier au sein de la communauté aviaire en fonction des perturbations anthropiques subies par l'écosystème²¹. Cette propriété a été utilisée pour caractériser l'intégrité écologique des écosystèmes à l'aide d'indices des communautés aviaires aux états unis^{21,103} pas encore à notre connaissance au Canada ni au Québec.

Approche multi-échelles: Si les habitats forestiers et la faune aviaire sont des indicateurs reconnus de l'intégrité de forêts régionales²¹ il reste à déterminer à quelle échelle spatiale les mesurer. En effet, les processus influençant un système écologique opèrent à différentes échelles^{80,81}. Ainsi, l'intégrité écologique des écosystèmes doit aussi s'étudier à plusieurs échelles^{80,82}. Ceci requiert une approche à des échelles spatiales multiples mais aussi adéquates. Ces échelles doivent être adaptées aux oiseaux et à la problématique étudiée⁸² soit l'intégrité des écosystèmes forestiers régionaux. Or, la classification écologique des écosystèmes forestiers du Québec subdivise les forêts régionales en unités de paysage nommés les "districts écologiques" d'une superficie d'environ 250 km²^{85,86}. Ces districts combinent des facteurs permanents du milieu (ex. dépôts de surface, altitude etc.) qui peuvent influencer la dynamique naturelle des forêts qu'ils supportent ou même en conditionner les usages humains (ex. relief de plaine/agriculture). Ces unités de paysage ont pourtant été peu utilisées pour évaluer de l'intégrité écologique des écosystèmes forestiers d'une région entière⁸⁷. La faune aviaire, quant à elle, est influencée par des variables forestières à plusieurs échelles (e.g.⁷⁴⁻⁷⁷). Il faut donc quantifier les relations faune aviaire-habitat forestier à plusieurs échelles pour déterminer à laquelle chaque espèce est la plus sensible. En Amérique du Nord, les effets d'activités anthropiques sur les oiseaux ont souvent été étudiés à l'échelle du peuplement ou de l'habitat local (cf. dans⁴⁴). Les études à une échelle spatiale intermédiaire sont un peu moins répandues (cf.⁸⁸). En ce cas, un paysage intermédiaire de 1 km² semble adéquat pour étudier la présence de la plupart des oiseaux forestiers^{35,72,89}. Toutefois, les facteurs influençant les communautés aviaires opéreraient aussi à des échelles plus grandes que le voisinage⁹⁰. Des études ont documenté les effets de facteurs à l'échelle du paysage (ex.^{44,71,72}). Peu ont considéré des paysages d'une superficie équivalent aux unités de gestion forestière (centaines de km² ex. districts écologiques) et plusieurs échelles spatiales à la fois sauf⁴⁴.

2. Objectifs et hypothèses d'étude:

Ce projet vise à évaluer l'intégrité écologique actuelle des écosystèmes forestiers publics du Bas-S^t-Laurent en développant et testant des indicateurs pertinents à plusieurs échelles spatiales.

Objectifs spécifiques:

Obj. 1. Mesurer l'intégrité écologique actuelle des écosystèmes forestiers publics bas-laurentiens:

- Identifier et justifier des variables susceptibles *à priori* d'être indicatrices de l'intégrité écologique d'un écosystème forestier,
- Regrouper les indicateurs d'intégrité écologique retenus en un indice d'intégrité écologique qui sera appliqué sur des forêts régionales publiques aux trois échelles spatiales suivantes: paysage (district écologique 20 000 ha); intermédiaire (paysages intermédiaires 100 ha); locale (station forestière de 0.875 ha).
- Retenir des aires d'étude couvrant le gradient d'intégrité écologique le plus contrasté.

Obj. 2. Analyser la réponse de communautés bio-indicatrices aux variations d'intégrité écologique forestière telle que mesurées par les variables développées en 1 pour les tester:

- Inventorier la faune aviaire au sein des aires d'étude sélectionnées,
- Identifier les guildes aviaires (groupes d'espèces) à considérer,
- Étudier la relation entre les variables forestières développées (indice d'intégrité écologique et indicateurs) et les variables des communautés aviaires aux trois échelles spatiales.
- Déterminer *à posteriori* les meilleures variables et échelles explicatives des variations des communautés aviaires.

H₁. L'indice d'intégrité écologique forestière influencera la réponse de guildes aviaires individuelles.

P₁ : *Si une guilda est bien définie, les espèces qui la constituent auront une réponse similaire aux variations d'intégrité écologique forestière.*

P₂ : *Vu leur faible mobilité, leur exposition constante et exclusive aux facteurs de changement, les espèces résidentes seront plus sensibles aux variations d'intégrité écologique forestière.*

P₃ : *Vu leurs besoins envers des structures affectées par les coupes totales, les espèces de forêt mature seront davantage présentes dans les écosystèmes les plus intègres. L'inverse sera observé pour les espèces de milieu ouvert et en régénération et les généralistes.*

P₄: Les espèces nichant dans des cavités et sur de gros débris ligneux seront davantage présentes dans les écosystèmes les plus intègres.

P₅: Les espèces ayant besoin de structures ligneuses pour se nourrir (tronc-branches, débris ligneux) seront davantage présentes dans les écosystèmes les plus intègres.

H₂. L'indice d'intégrité écologique forestière influencera les indices des communautés aviaires.

P₆: Il y aura corrélations entre l'indice d'intégrité et la représentation relative de guildes de forêts non perturbées et perturbées.

P₇: Il y aura corrélations entre l'indice d'intégrité et la représentation relative de guildes généralistes et spécialistes.

P₈: il y aura corrélations entre l'indice d'intégrité écologique et l'indice de rareté aviaire.

H₃: Il y aura une influence des échelles spatiales sur les relations observées.

P₉: L'influence d'une même variable d'intégrité écologique forestière sur la faune aviaire sera différente selon l'échelle spatiale considérée.

P₁₀: L'échelle de paysage retenue (district) expliquera une proportion significative de la variation totale des communautés aviaires.

3. Méthodes:

Territoire d'étude: Il couvre les forêts publiques de la région administrative du BSL soit 1,5 million d'hectares. Le BSL appartient essentiellement aux sous-domaines bio-climatiques de la sapinière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau blanc⁹². La végétation y est composée de forêts feuillues, résineuses et mixtes exploitées depuis le XVIII^{ème} siècle mais de façon soutenue et mécanisée depuis le XX^{ème} siècle⁹² amenant à la quasi-disparition des écosystèmes forestiers vierges. La plupart des forêts régionales sont des peuplements de seconde voire de troisième venue.

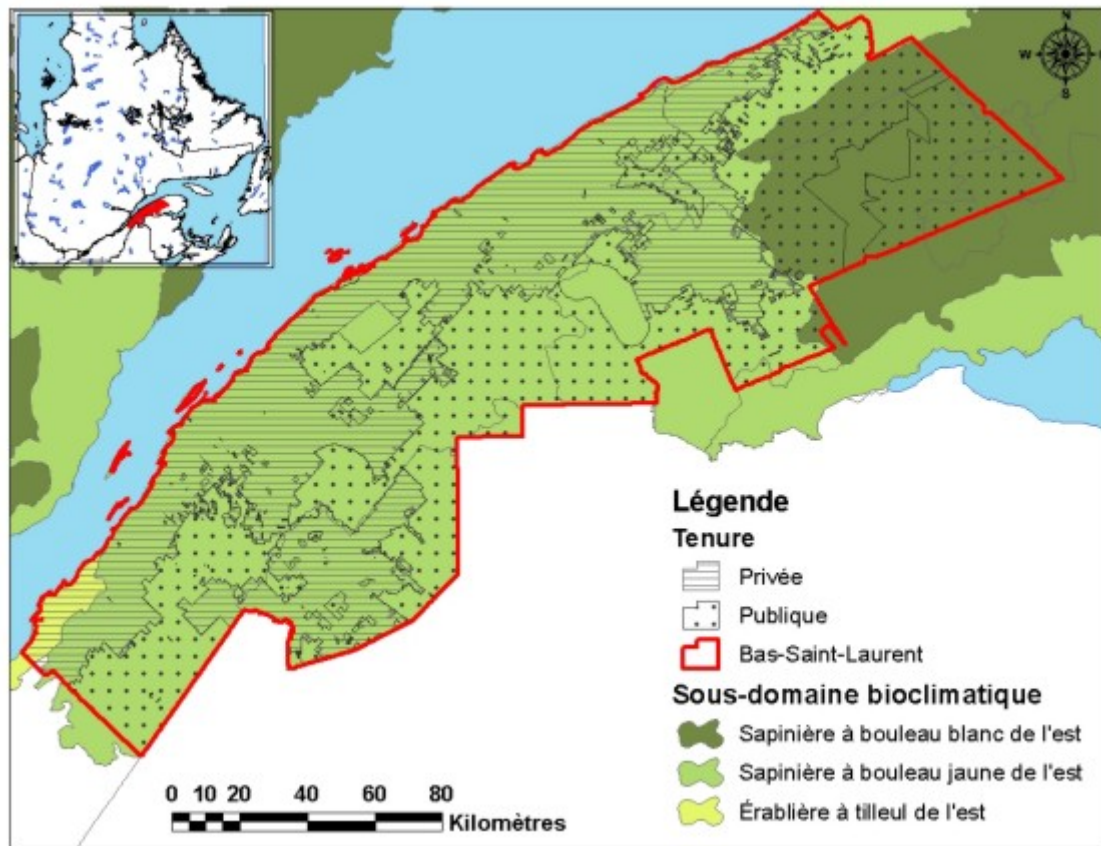


Figure 1: Territoire d'étude.

3. 1. Calcul de l'intégrité écologique des écosystèmes forestiers:

Nous avons retenu trois échelles spatiales pour calculer les indicateurs d'intégrité écologique des écosystèmes forestiers et mener les analyses: Une échelle de paysage (district écologique) pour sa signification écologique et sociale; une échelle intermédiaire de paysage (quadrat de 1 km²) et une échelle locale d'habitat (station de 50 m rayon) pour leur signification biologique chez les passereaux

forestiers. Nos résultats sont associés au développement d'indicateurs et d'un indice d'intégrité écologique et à leur mise en relation à différentes échelles spatiales avec des bio-indicateurs reconnus de l'intégrité écologique: la faune aviaire.

3.1.1. Analyses à l'aide du système d'information géographiques:

Les analyses suivantes ont été réalisées à l'aide du logiciel Arc-MAP 9.0 et des données écoforestières du MRN (inventaires forestiers mis à jour en 2001).

Échelle des districts écologiques: Sur les 118 districts écologiques constituant le BSL, un échantillon de 13 districts écologiques a été retenu. Ces districts appartiennent au sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune et ont une altitude moyenne (districts de colline altitude moyenne de 100 à 400 m). Cette sélection a pour but d'isoler les sources de variabilité naturelle des districts tout en faisant qu'ils soient représentatifs de la région du Bas-S^t-Laurent. Ces districts sont majoritairement situés en tenure publique et non fragmentés par la tenure privée (district d'un seul tenant). Ils reflètent ainsi, uniquement les actions anthropiques exercées en domaine forestier public.

Pour chaque district, cinq indicateurs d'intégrité écologique ont alors été calculés avec les données écoforestières relativement à leur superficie forestière totale le: % de pertes forestières (dues aux routes forestières, aux lignes électriques etc.); % coupes totales récentes (< 10 ans et non plantées); % de plantations; % de peuplements d'essences non indigènes (ex. épinettes de Norvège); % de forêts matures (> 12m). Ces cinq variables sont donc relatives tant à l'utilisation du territoire qu'aux attributs des peuplements forestiers.

Puis, à partir des cinq indicateurs nous avons calculé un indice d'intégrité écologique des écosystèmes forestiers. Pour cela, la valeur respective (variant de 0 à 100 %) de chacun des cinq indicateurs a été transformé en rang (variant de 1 à 3) reflétant le degré d'anthropisation de l'écosystème forestier ou l'écart avec ses conditions d'origine (influence anthropique nulle à minimale, dynamique naturelle de perturbation). Par exemple, plus la perte de superficies forestières était élevée, plus le rang d'intégrité écologique attribué à cet indicateur était faible. Ensuite, en effectuant la moyenne non pondérée du rang des cinq indicateurs pour chaque district nous avons déterminé son degré moyen d'intégrité écologique ou "Indice d'intégrité écologique forestière" (indice variant de 1 = le plus faible, à 3 = le plus élevé). Plus l'indice d'intégrité est élevé et plus le district écologique est considéré *a priori* écologiquement intègre. Il s'agit donc d'un niveau d'intégrité écologique relatif qui est déterminé pour un district par rapport aux autres districts écologiques du territoire à l'étude. Les treize districts écologiques retenus ont ainsi été ordonnés les uns relativement aux autres selon leur indice d'intégrité écologique forestière.

Échelle des quadrats de 1 km²: les mêmes indicateurs que pour les districts seront calculés mais cette fois par quadrat de 1 km².

3.1.2. Échantillonnage sur le terrain:

Échelle locale de la station: Grâce au classement précédent, trois aires d'études ou districts écologiques ont été retenues. Elles représentaient, en effet, le gradient d'intégrité écologique le plus contrasté (maximale; intermédiaire; minimale) (Figure 2). Chaque district a été divisé en 18 catégories d'habitats d'après le type de couvert, la hauteur et la densité des peuplements qui les constituent (Table 1).

Table 1 : Caractérisation des habitats de chaque district écologique.

| Hauteur (Age) | | Classe hauteur* 5, 6, 7, 8 | Classe hauteur 4 | Classe hauteur 1, 2, 3 |
|--------------------------|------------------|---|-----------------------------------|---|
| <i>Densité</i> | | Jeune | Intermédiaire | Mature |
| F | <i>Ouvert</i> ** | 1 | 7 | 13 |
| | <i>Fermé</i> *** | 2 | 8 | 14 |
| M | <i>Ouvert</i> | 3 | 9 | 15 |
| | <i>Fermé</i> | 4 | 10 | 16 |
| R | <i>Ouvert</i> | 5 | 11 | 17 |
| | <i>Fermé</i> | 6 | 12 | 18 |

* *Classes hauteur: 1, 2, et 3 > 10 m; 4 = 3 à 10 m; et 5, 6, 7, 8 < 3 m.*

** *Ouvert = Classe densité C, D, E (<= 50%).*

*** *Fermé = Classe densité A, B (> 50%).*

A l'échelle locale, plusieurs variables forestière ont été mesurées sur le terrain au cours de l'été 2004 (juin-juillet). Les inventaires ont été menés au sein de stations circulaires d'un rayon de 50 m (ou 0.875 ha) correspondants aux stations d'inventaires ornithologiques (cf. 3.2.1). Chaque station fût disposée au sein d'un peuplement relativement homogène. Pour chaque station, les variables environnementales suivantes ont été mesurées par estimation visuelle semi-quantitative et qualitative: type de couvert; groupement d'essences; densité; hauteur; drainage; pente; exposition; recouvrement par essence par strate; recouvrement coniférien. Enfin, la présence, la source (anthropique vs. naturel), l'ancienneté (> 10 ans) et le degré (total vs. partiel) de perturbation subi par la station d'inventaire ont été relevés. Ces données ont servi à classer chaque station sur une échelle subjective d'intégrité écologique allant de 1 à 3. Plus le degré de perturbation anthropique était récent et sévère, plus le niveau d'intégrité était considéré faible.

3.2. Réponse des communautés aviaires aux variations d'intégrité écologique des écosystèmes forestiers:

Pour examiner l'efficacité des variables d'intégrité écologique des forêts développées en 1 à expliquer les variations des communautés aviaires nous avons quantifié leur relation avec des variables des communautés aviaires.

3.2.1. Échantillonnage sur le terrain:

La réponse des communautés aviaires a été mesurée, en été 2004, par l'inventaire des trois districts écologiques d'intégrité écologique forestière contrastée (Figure 2). Ces districts sont tout trois situés dans le secteur du Témiscouata (BSL). Chaque district a été échantillonné selon un plan aléatoire stratifié où les stations d'inventaire ont été disposées de façon à représenter les habitats disponibles et à assurer l'indépendance des données. Au sein des trois districts, ce sont 396 stations d'écoute d'un rayon de 50 m qui furent visitées et ce, une seule fois durant l'été afin de maximiser le nombre de stations couvertes. A chaque station, un observateur relevait pendant 15 min. les mâles des espèces vues ou entendues. Chaque mâle chanteur représente un couple d'oiseaux nicheurs. Les inventaires furent menés de 4h 45 à 9h 30 AM les jours sans vent, ni pluie, pendant la saison de reproduction des oiseaux forestiers (juin-début juillet).

3.2.2. Détermination des guildes aviaires:

D'après la littérature existante^{21,44, 102,103} nous avons regroupé les espèces individuelles selon leurs:

- Statut migratoire: espèces résidentes, migrants de courte distance, migrants de longue distance.
- Habitat préférentiel (stade de succession): espèces de forêt en régénération, espèces de forêt jeune, espèces de forêt mature, espèces généralistes.
- Alimentation: par régime alimentaire (invertivore, granivore, carnivore) et par substrat d'alimentation (sol, feuillage, rameaux, tronc-branches, aérien) définissant des guildes d'alimentation.
- Nidification: selon le substrat sur lequel le nid est posé (sol, arbuste, canopée, cavité) définissant des guildes de nidification.
- Le degré de spécialisation des guildes (à venir) définissant des guildes aviaires spécialistes ou généralistes.

3.3. Analyses statistiques:

La réponse des espèces individuelles puis des guildes aviaires aux variations d'intégrité des écosystèmes sera quantifiée aux trois échelles. Comme variables dépendantes, nous considérerons la

richesse spécifique, l'abondance relative par espèce et par guildes, un indice de rareté aviaire¹⁰², ainsi que deux indices aviaires basés sur la représentation relative de guildes multiples (cf. ²¹ et ¹⁰³). Comme variable indépendante, nous considèrerons soit, chaque indicateur ex. % déforestation etc. soit, l'indice d'intégrité écologique forestière calculé aux échelles retenues. Elles seront mises en relation avec les variables environnementales. Dans un premier temps, chaque variable et échelle sera considérée séparément dans des analyses univariées. Des analyses de corrélations entre les diverses variables environnementales aux différentes échelles seront effectuées par la procédure PROC CORR de SAS⁹⁷. Les effets des variables indépendantes sur les variables dépendantes seront analysés par ANOVA. Nous comparerons les districts et les quadrats ou évaluerons les effets à l'échelle du paysage avoir contrôlé a posteriori les effets de variables aux échelles inférieures (station) par ANOVA à deux facteurs⁴⁴. Nous calculerons des corrélations entre la richesse et l'abondance des espèces et des guildes et les variables d'intégrité écologique forestière²¹. Deuxièmement, nous emploierons des analyses multivariées (Analyse canonique correspondance ACC^{99,100}, analyse décomposition variance) pour comparer la composition spécifique des différents écosystèmes, déterminer l'importance relative des différentes variables environnementales et échelles spatiales sur la composition spécifique aviaire^{44,88}. Les variables environnementales aux échelles spatiales qui expliqueront le mieux la variation totale des patrons des communautés aviaires inventoriées seront retenues pour déterminer le meilleur modèle explicatif de l'indice aviaire (analyses en composantes principales, régressions multiples)²¹. Nous considèrerons aussi le degré d'autocorrélation spatiale¹⁰¹ au sein de nos données aviaires et environnementales par l'inclusion des coordonnées spatiales des stations comme co-variable prédictive¹⁰².

4. Résultats préliminaires:

Les résultats présentés ici portent **uniquement sur l'échelle de paysage** à savoir: les districts écologiques forestiers. Dans un prochain rapport nous présenterons les résultats acquis aux trois échelles spatiales considérées à savoir: les districts écologiques de 20 000 ha, des quadrats de 100 ha et des stations forestières locales de 0.875 ha.

4.1. Intégrité écologique des écosystèmes forestiers:

Table 2: Indicateurs d'intégrité écologique évalués au sein de chaque district écologique.

| Indicateur (% superficie tot. forestière) | | Forêt mat. | Coupes tot. | Plan. | Défor. | Ess. N.i. |
|---|------|------------|-------------|-------|--------|-----------|
| Nom du district écologique | Code | | | | | |
| Collines du lac Tinoute | Y005 | 27,75 | 20,94 | 0,95 | 3,68 | 0,00 |
| Collines du lac de l'Est | Y006 | 26,09 | 24,25 | 17,03 | 5,95 | 0,00 |
| Collines du lac Croche | X006 | 42,44 | 9,37 | 5,50 | 6,31 | 1,24 |
| Collines du lac des Quatre Pattes | I006 | 40,11 | 16,26 | 1,86 | 6,61 | 0,00 |
| Collines du lac Beau | O009 | 33,48 | 18,82 | 18,16 | 6,33 | 2,58 |
| Collines du ruisseau Tamahagan | I011 | 23,66 | 10,64 | 13,42 | 6,55 | 0,15 |
| Collines du lac à l'Ours | I010 | 26,45 | 10,99 | 23,24 | 6,68 | 0,11 |
| Collines de Saint-Éleuthère | Y004 | 30,40 | 16,51 | 15,70 | 6,70 | 0,00 |
| Collines du lac Taché | I002 | 51,53 | 17,87 | 23,09 | 7,03 | 4,93 |
| Collines du lac Sommet | I005 | 44,91 | 17,71 | 17,75 | 7,05 | 1,43 |
| Collines du lac Patapédia | I008 | 19,41 | 22,74 | 14,84 | 7,14 | 1,38 |
| Collines du ruisseau Rossignol | O001 | 38,32 | 6,33 | 28,33 | 7,87 | 3,20 |
| Collines de la rivière Owen | O003 | 25,75 | 13,73 | 19,73 | 8,01 | 2,39 |

On constate (Table 2) que pris individuellement, le district écologique du Lac Patapédia aurait la pire intégrité écologique forestière mesurée par sa proportion de forêts matures (> 12m). Inversement, ce serait le district du Lac Taché, qui supporterait la plus forte intégrité écologique représentée par une proportion de forêts mature de 51, 53%. On note cependant, une amplitude assez faible pour cet indicateur d'intégrité. Le district ayant la plus forte intégrité écologique relativement à sa proportion de coupes totales récentes sont les collines du ruisseau Rossignol. A l'inverse, le district ayant la plus forte proportion de coupes totales sont les collines du lac de l'Est. Ensuite, nous constatons que le district supportant la pire intégrité écologique telle que mesurée par sa proportion de peuplements issus de plantations sont les collines du ruisseau Rossignol. Puis, le district ayant la pire intégrité écologique lorsque mesurée par sa proportion de forêts converties en permanence, est le district des Collines de la rivière Owen. Ce sont les collines du Lac Tinoute qui bénéficient de la meilleure intégrité écologique telle que mesurée par cet indicateur. Les collines du lac Taché supportent la plus faible intégrité écologique mesurée par la plus forte proportion de peuplements d'essences non indigènes. Enfin, quatre

districts écologiques ont la plus forte intégrité relativement à cet indicateur à savoir: les collines du lac Tinoute, du lac de l'Est, du lac des Quatre Pattes, de Saint-Éleuthère.

On constate, à première vue, toute la difficulté de tirer un bilan clair d'une évaluation faisant intervenir plusieurs indicateurs même si leur nombre est restreint. Aucun district écologique ne se dégage d'emblée des autres à la vue de ses indicateurs d'intégrité écologique lorsqu'ils sont pris isolément.

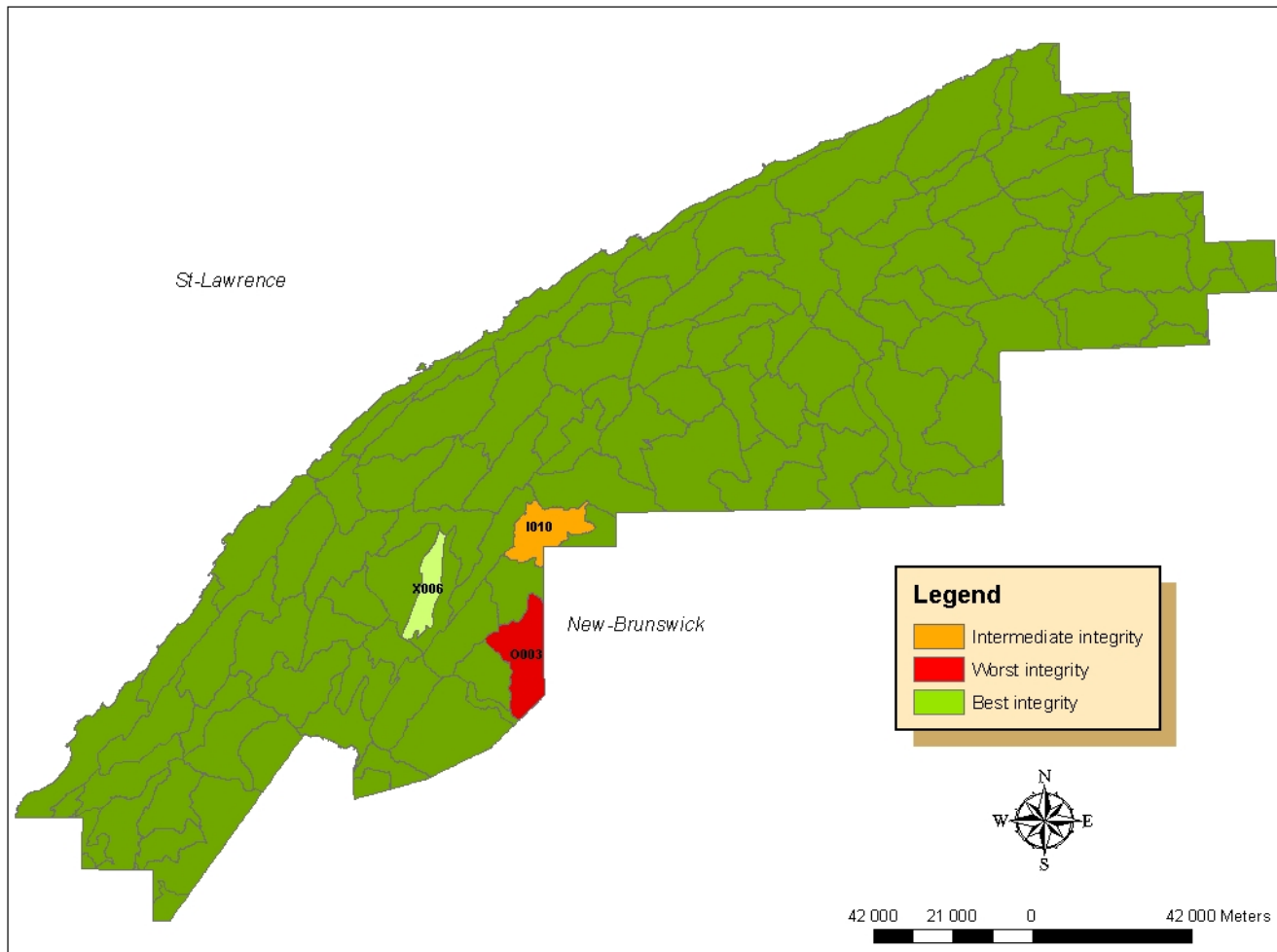
Table 3: Caractérisation des districts écologiques selon leur Indice d'intégrité écologique forestière (moyenne des rangs respectifs des cinq indicateurs d'intégrité).

| Code district | Nom du district | Moyenne rang |
|---------------|-----------------------------------|--------------|
| Y005 | Collines du lac Tinoute | 2,6 |
| Y006 | Collines du lac de l'Est | 1,8 |
| X006 | Collines du lac Croche | 2,8 |
| I006 | Collines du lac des Quatre Pattes | 2,4 |
| O009 | Collines du lac Beau | 1,6 |
| I011 | Collines du ruisseau Tamahagan | 2,2 |
| I010 | Collines du lac à l'Ours | 2 |
| Y004 | Collines de Saint-Éleuthère | 2 |
| I002 | Collines du lac Taché | 1,5 |
| I005 | Collines du lac Sommet | 2 |
| I008 | Collines du lac Patapédia | 1,6 |
| O001 | Collines du ruisseau Rossignol | 1,8 |
| O003 | Collines de la rivière Owen | 1,4 |



Lorsque le niveau moyen d'intégrité écologique forestière est mesurée pour chaque district, on constate alors qu'il devient possible de distinguer en particulier deux districts des autres à savoir: les districts X_006 (Collines du lac Croche) et O_003 (Collines de la rivière Owen).

Figure 2: Les trois districts écologiques retenus comme aires d'étude.



4.2. Comparaison entre les trois districts pour la réponse aviaire aux variations d'intégrité écologique telles que mesurées en 1:

Nous rappelons tout d'abord que le district écologique X_006 (en vert) correspond *a priori* au degré d'intégrité écologique forestière le plus élevé; I_010 (en orange) au niveau d'intégrité intermédiaire et enfin, le district O_003 (en rouge) correspond au degré d'intégrité écologique forestière le plus faible.

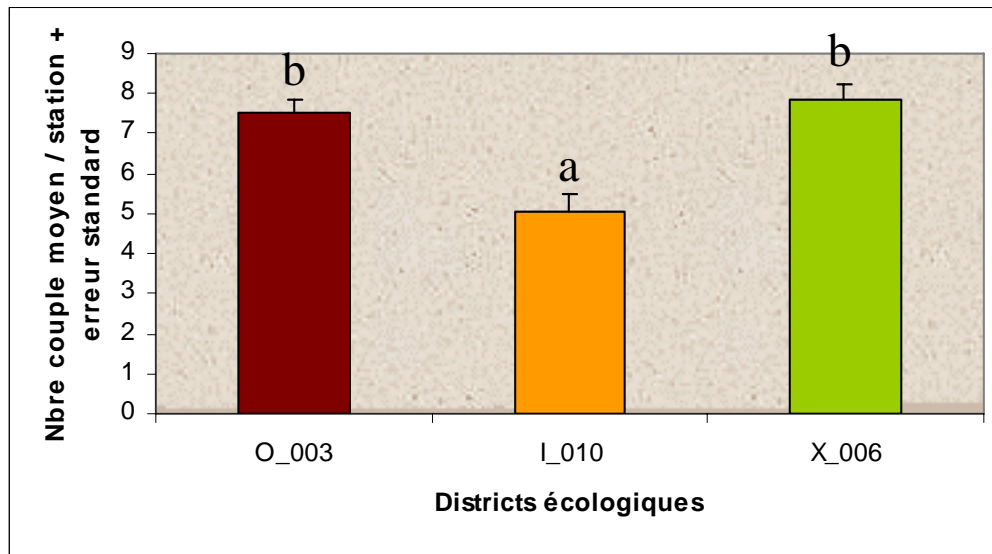
Sur 122 espèces aviaires inventoriées au total, 77 sont associées aux habitats forestiers qui représentaient 2917 individus. Les analyses suivantes portent uniquement sur ces 77 espèces. L'échantillonnage sur le terrain a été réparti comme suit:

- 132 stations ont été inventoriées dans le district X_006 et ont permis de relever 64 espèces;
- 45 stations ont été réalisées dans le district I_010 et représentaient 42 espèces et enfin,
- 219 stations ont été réalisées dans le district O_003 où 69 espèces furent relevées (cf. Annexe 1).

4.2.1. Comparaison des districts par l'abondance et la richesse spécifique moyenne totale par station:

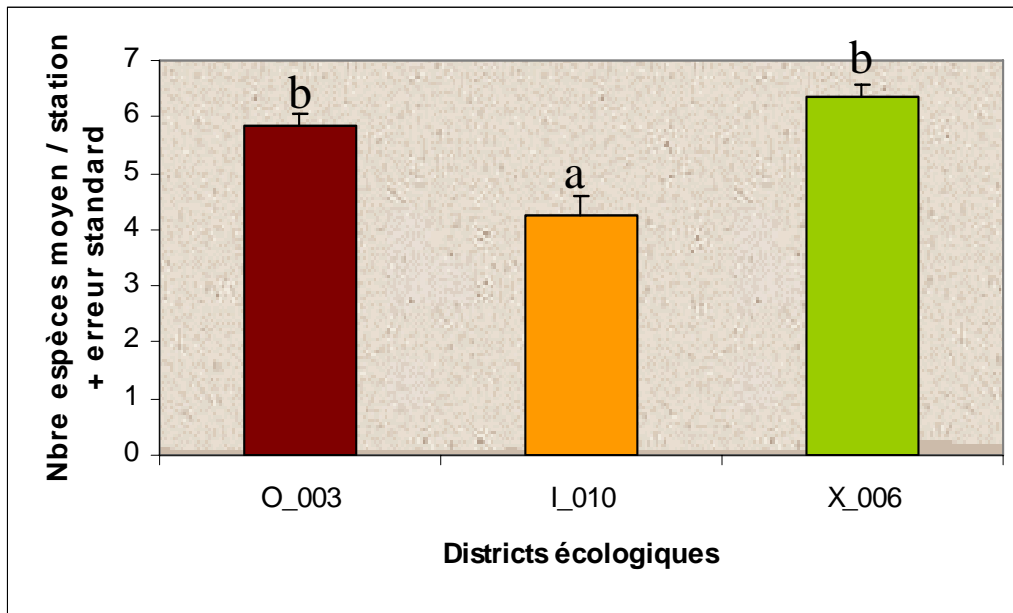
L'analyse (ANOVA à un facteur = district, suivi d'un test de Tukey) montre l'absence de différence significative entre les district X_006 et O_003 dans leur nombre d'individus moyen (ou nombre de couples) par station. En revanche, le district I_010 a une abondance aviaire moyenne significativement plus faible ($F = 8.144$; $P = 0.000$) que celle de ces deux districts. Cependant, bien que non significative, nous notons que l'abondance moyenne aviaire du district X_006, ou le plus intègre, est légèrement plus élevée que celle du district O_003 (Figure 3).

Figure 3: Abondance totale moyenne par districts.



Il n'y a pas non plus de différence significative entre les districts X_006 et O_003 pour leur richesse spécifique moyenne par station. Par contre, le district I_010 supporte significativement ($F = 10.408$; $P = 0.000$) moins d'espèces que les deux autres districts (Figure 4). De plus, nous notons, bien que ce ne soit pas significatif, que le district X_006, ou le plus intègre, supporte une richesse spécifique légèrement plus élevée que celle des districts O_003 et I_010.

Figure 4: Richesse spécifique totale moyenne par districts.

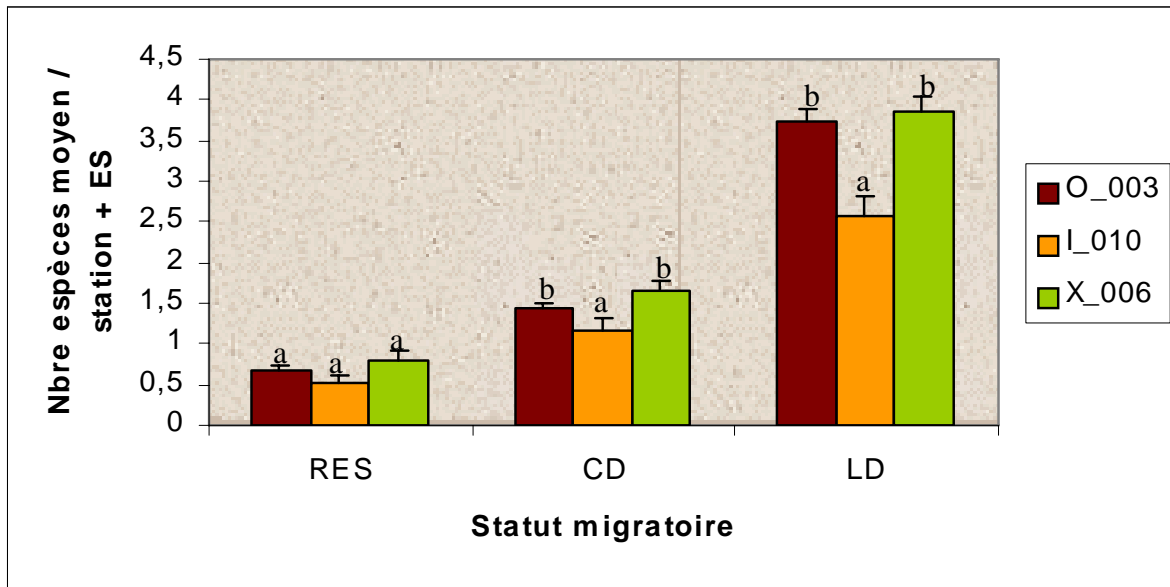


Étant donné qu'il y a en général un seul individu détecté par espèce et par station, nous observons des patrons quasiment identiques dans les résultats d'abondance et de richesse spécifique (cf. figure 3 et 4). Aussi, pour la suite des résultats, et bien que nous ayons toujours considéré les deux variables à savoir abondance et richesse aviaire, seuls les résultats concernant la richesse spécifique aviaire sont ici présentés.

4.2.2. Comparaison des districts par espèces regroupées selon leur statut migratoire:

Il n'y a pas de différences significatives dans le nombre moyen d'espèces résidentes entre les trois districts tel que nous nous y serions attendu. Cependant, le district le plus intègre comporte plus d'espèces résidentes que les deux autres (Figure 5). On constate que la richesse des migrateurs de courte distance diffère significativement entre les trois districts ($F = 3.282$; $P = 0.039$). Il y a moins d'espèces migratrices de courte distance dans le district intermédiaire (I_010) que dans le district le plus intègre (X_006) ($P = 0.047$). La richesse spécifique en migrateurs de longue distance du district le plus (X_006) et le moins intègre (O_003) est significativement plus élevée que celle du district d'intégrité écologique forestière intermédiaire (I_010).

Figure 5: Richesse moyenne des groupes d'espèces par statut migratoire des districts.



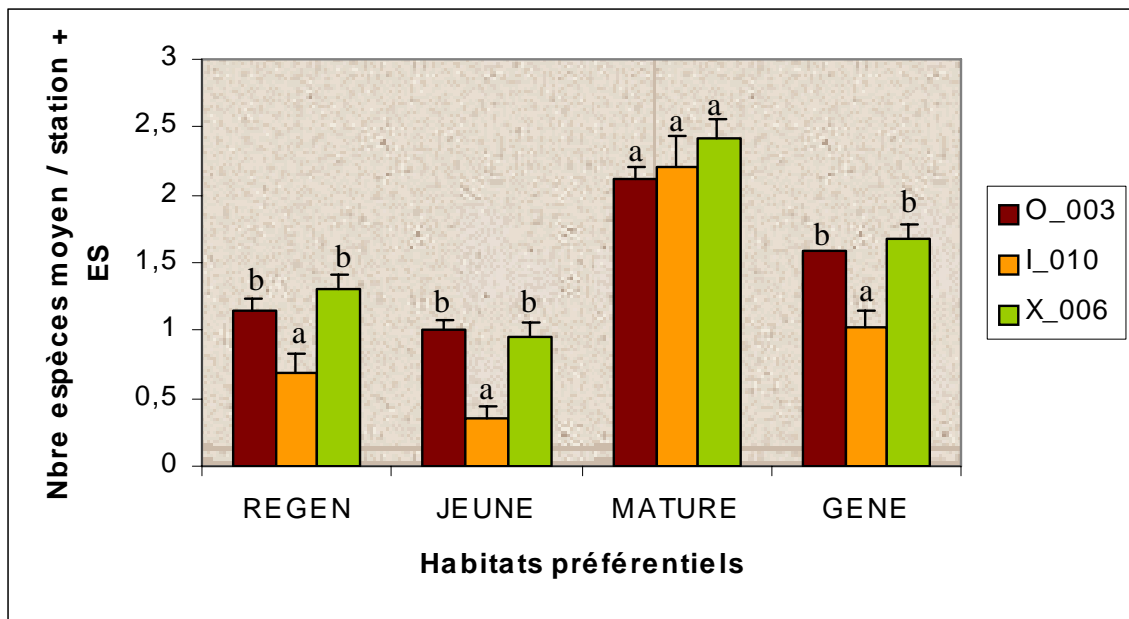
ES = Erreur standard.

4.2.3. Comparaison des districts par espèces regroupées par leurs habitats préférés:

Nous avons ensuite regroupé les espèces d'après leurs habitats préférés ou stades de succession forestière (ex. espèces ayant besoin de forêts en régénération = REGEN; JEUNE; MATURE; ou espèces généralistes GENE) (Figure 6). L'analyse effectuée est une ANOVA à deux facteurs (districts et type de couvert de la station) suivie d'un test de Tukey pour contrôler à posteriori les effets de l'habitat local (type de couvert feuillu, mixte ou coniférien). Cette démarche permet de scinder les effets du paysage (niveau d'intégrité écologique forestière du district) des effets locaux (type d'habitat de la station) sur les oiseaux inventoriés.

La richesse des espèces aviaires de forêt en régénération et de forêts jeunes du district I_010 est significativement plus faible ($P = 0.047$ et $P = 0.025$; $P = 0.001$ et $P = 0.011$) que celles des districts O_003 et X_006 qui ne diffèrent pas entre eux (Figure 6). Il n'y a pas de différence entre les districts pour les espèces de forêt mature. Cependant, on remarquera que la richesse en espèces de forêts matures suit le gradient d'intégrité écologique des districts. En effet, le district le plus intègre (X_006) supporte plus d'espèces de forêt mature que le district d'intégrité intermédiaire I_010, qui supporte à son tour plus d'espèces de forêts mature que le district de pire intégrité écologique (O_003). Enfin, il y a moins d'espèces généralistes au sein du district I_010 qu'au sein du district O_003 ($P = 0.008$) et X_006 ($P = 0.018$). Cependant, ces derniers ne diffèrent pas entre eux pour ces assemblages.

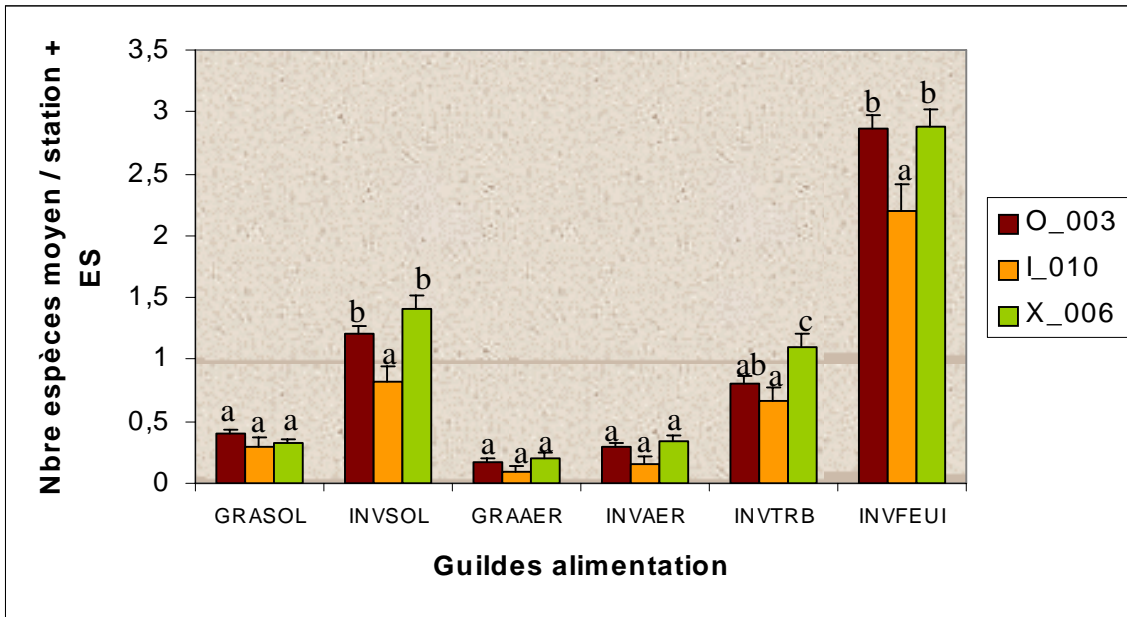
Figure 6: Richesse moyenne par espèces groupées par habitats préférés.



4.2.4. Comparaison des districts par espèces regroupées en guildes d'alimentation:

Il n'y a pas de différences significatives entre les districts pour les espèces granivores se nourrissant au sol ou en milieu aérien (GRASOL et GRAAER) ni pour les oiseaux moucheronneurs (INVAER) (Figure 7). Par contre, le nombre d'espèces d'invertivores se nourrissant dans le feuillage est significativement plus faible au sein du district I_010 qu'au sein du district O_003 ($P = 0.024$) et qu'au sein du X_006 ($P = 0.031$). De même, le nombre d'espèces d'invertivores se nourrissant au sol est significativement plus faible au sein du district I_010 qu'au sein du district X_006 ($P = 0.003$). Enfin, il y a plus d'espèces d'invertivores se nourrissant sur les structures ligneuses (tronc, branches) dans le district le plus intègre (X_006) que dans le district le moins intègre (O_003) ($P = 0.016$) ainsi que dans le district d'intégrité intermédiaire (I_010) ($P = 0.022$).

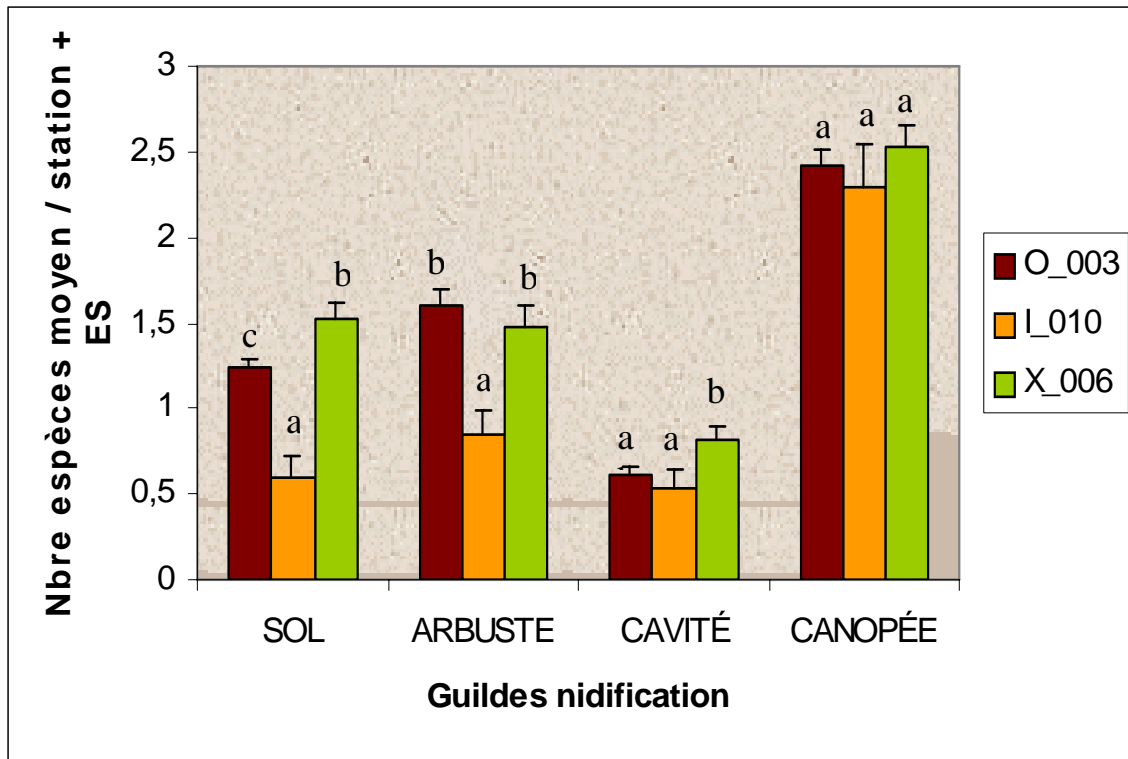
Figure 7: Richesse moyenne en guildes d'alimentation par district.



4.2.5. Comparaison des districts par espèces regroupées en guildes de nidification :

La comparaison des districts (Figure 8) révèle qu'il y a moins d'espèces nichant au sol dans le district L_010 que dans les districts O_003 ($P = 0.000$) et X_006 ($P = 0.000$). Il y a davantage d'espèces nichant au sol dans le district le plus intègre X_006 que dans le district le moins intègre O_003 ($P = 0.012$). Il y a aussi moins d'espèces nichant dans la strate arbustive dans le district L_010 que dans les districts O_003 ($P = 0.001$) et X_006 ($P = 0.015$). Il y a aussi plus d'espèces nicheuses de cavités dans le district le plus intègre, X_006, que dans le district le moins intègre, O_003, et cette différence est presque significative ($P = 0.069$). Enfin, il n'y a pas de différences entre les districts pour les oiseaux nichant dans la canopée.

Figure 8: Richesse moyenne par guildes de nidification par district.



4.2.6. Comparaison des districts par guildes individuelles regroupées en un indice des communautés aviaires:

Après avoir considéré les guildes individuellement, nous avons choisi de considérer de multiples guildes de façon simultanée. Pour cela, et sur le modèle proposé par Canterbury et al. (2000)²¹, nous avons calculé un indice des communautés aviaires qui vise à contraster les espèces aviaires sensibles aux perturbations (espèces de forêt mature) relativement aux espèces tolérantes aux perturbations (espèces de milieu ouvert et de bordure ou de début de succession). Cet indice est construit comme suit:

$$\text{Indice des communautés aviaires} = \ln(\text{nb. espèces forêt mature} + 1) - \ln(\text{nb. espèces de milieu de bordure} + \text{nb. espèces de milieu en régénération} + 1).$$

Un indice des communautés aviaires positif signifie que les communautés aviaires de l'écosystème considéré sont dominées par des espèces aviaires de forêt non perturbée (espèces forêts matures) plutôt que par des espèces de forêt perturbée. Un indice des communautés aviaire négatif indique donc l'inverse.

L'analyse (ANOVA à un facteur = district) révèle une différence significative entre les indices aviaires des districts écologiques. ($F = 3.392$; $P = 0.035$). L'indice aviaire du paysage I_010 est significativement plus élevé ($P = 0.028$) que celui du paysage O_003 mais ne diffère pas de celui du paysage X_006. Enfin, il n'y a pas de différence entre l'indice aviaire du paysage O_003 et X_006 (Figure 9). Cependant, nous notons que l'indice aviaire du paysage X_006 est plus élevé que celui du paysage O_003, même si cette différence n'est pas significative.

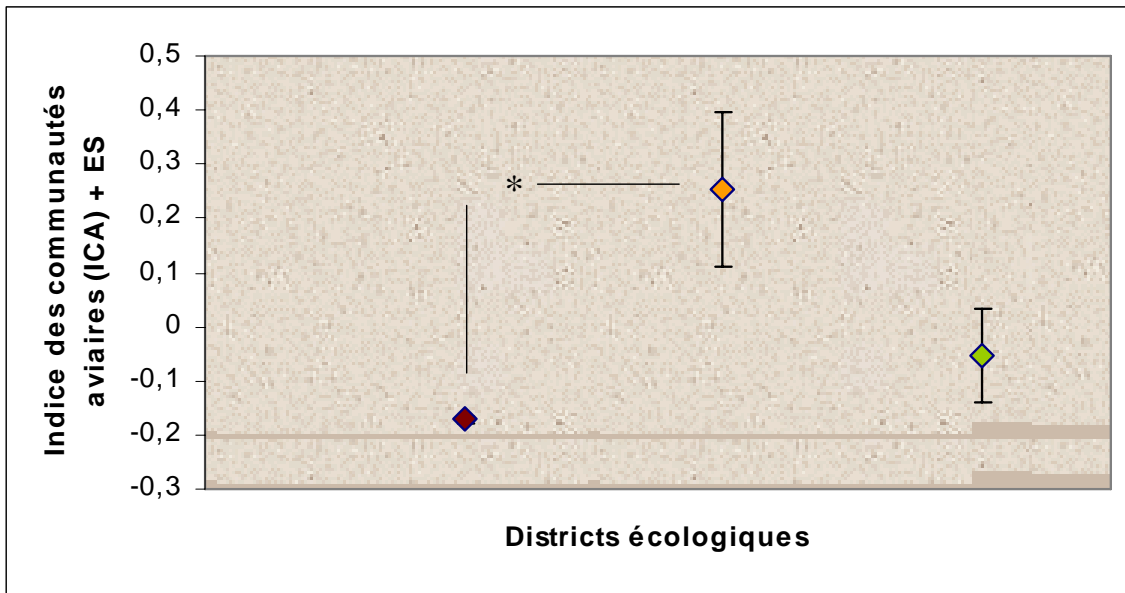


Figure 9: Indice des communautés aviaires des districts écologiques.

4.2.7. Relations entre les indicateurs individuels d'intégrité écologique forestière, l'indice d'intégrité écologique et l'indice des communautés aviaires.

Nous avons ensuite mis en relation l'indice des communautés aviaires et chaque indicateur d'intégrité écologique (Table 4) et l'indice d'intégrité écologique forestière de chaque district (Figure 10).

Table 4: Rappel des indicateurs d'intégrité écologique (%) pour chacun des districts:

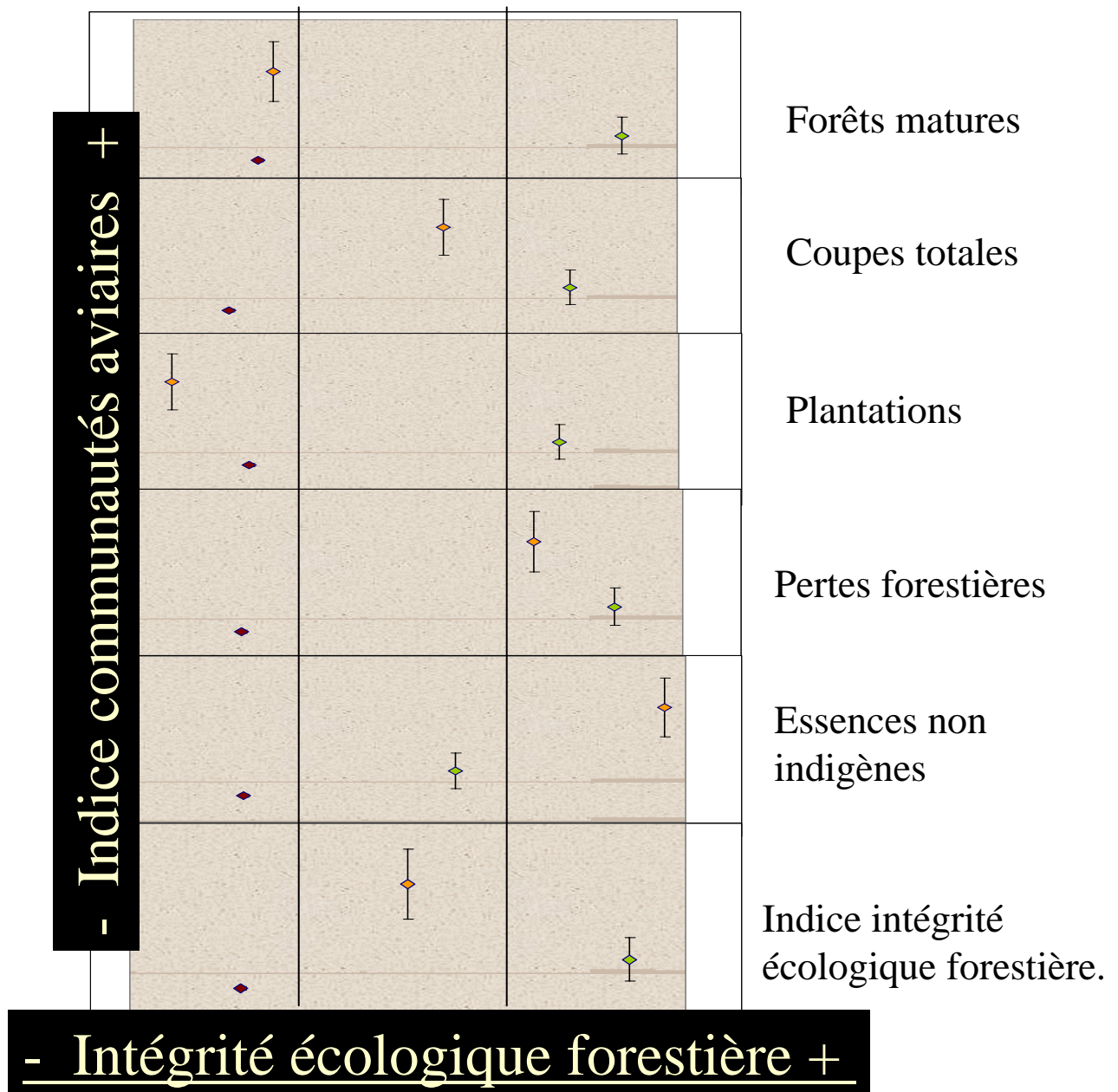
| Code district | Forêt mat. | Coupes tot. | Plan. | Pertes | Ess. N.i | ICA | INDICE INT |
|---------------|------------|-------------|-------|--------|----------|-------|------------|
| X006 | 42,44 | 9,37 | 5,50 | 6,31 | 1,24 | -0,05 | 2,80 |
| I010 | 26,45 | 10,99 | 23,24 | 6,68 | 0,11 | 0,25 | 2,00 |
| O003 | 25,75 | 13,73 | 19,73 | 8,01 | 2,39 | -0,17 | 1,40 |

ICA = Indice des communautés aviaires. Indice INT = Indice d'intégrité.

Nous avons reporté les variations de chaque indicateur d'intégrité écologique et de l'indice d'intégrité des districts en fonction de l'indice des communautés aviaires sur un même graphique afin d'en dégager

les patrons éventuels. Il est à noter que les indicateurs suivants (coupes totales récentes; plantations; pertes forestières; peuplements d'essences non indigènes) ont leur axe d'abscisse inversé. Ceci afin d'observer la relation entre l'augmentation de l'intégrité écologique forestière (de gauche à droite de la figure se référer aux signes + et -) et l'augmentation de l'indice des communautés aviaires (du bas vers le haut de chaque courbe de la figure se référer aux signes + et -). Le point rouge correspond au district O_003 ou de pire intégrité écologique forestière, le point orange correspond au district I_010 d'intégrité intermédiaire et le point vert représente le district X_006 de meilleure intégrité écologique forestière.

Figure 10: Relations entre l'indice des communautés aviaires et chaque variable d'intégrité écologique forestière calculée en section 1.



On constate que quelle que soit la façon d'évaluer l'intégrité écologique forestière (indicateurs seuls ou indice), le district écologique ayant la pire intégrité écologique forestière (point rouge - O_003) est toujours celui ayant le plus bas indice des communautés aviaires de valeur négative (à l'exception de l'indicateur % de plantations). Cependant, aucune relation n'a pu être testée statistiquement (corrélation, régression) en raison du faible nombre de district (n = 3). Nous constatons aussi qu'une forte augmentation de l'intégrité écologique forestière du district (point vert - district X_006) ne semble associée qu'à une assez faible augmentation de l'indice des communautés aviaires (qui demeure négatif). Le district ayant une intégrité écologique intermédiaire supporte toujours l'indice des communautés aviaires le plus élevé (et positif). Enfin, il semble exister une relation plus marquée entre une diminution de la proportion de peuplements d'essences non indigènes d'un district écologique et une augmentation de son indice des communautés aviaires.

4.2.8. Comparaison des districts par espèces regroupées en Indice de rareté aviaire:

Nous avons enfin comparé le potentiel de chaque district à supporter des espèces aviaires rares à très rares au Bas-S^t-laurent. Chaque espèce aviaire du Bas-S^t-Laurent dispose, en effet, d'une cote de rareté régionale fixée par le Service Canadien de la Faune (Desgranges et al. 2003)¹⁰².

0 absente au BSL

1 Abondante au BSL et au Québec

2 Commune au BSL et au Québec

3 Rare dans certaine partie du BSL mais commune au Québec

4 Rare au BSL mais commune au Québec

5 Rare au BSL et peu commune au Québec

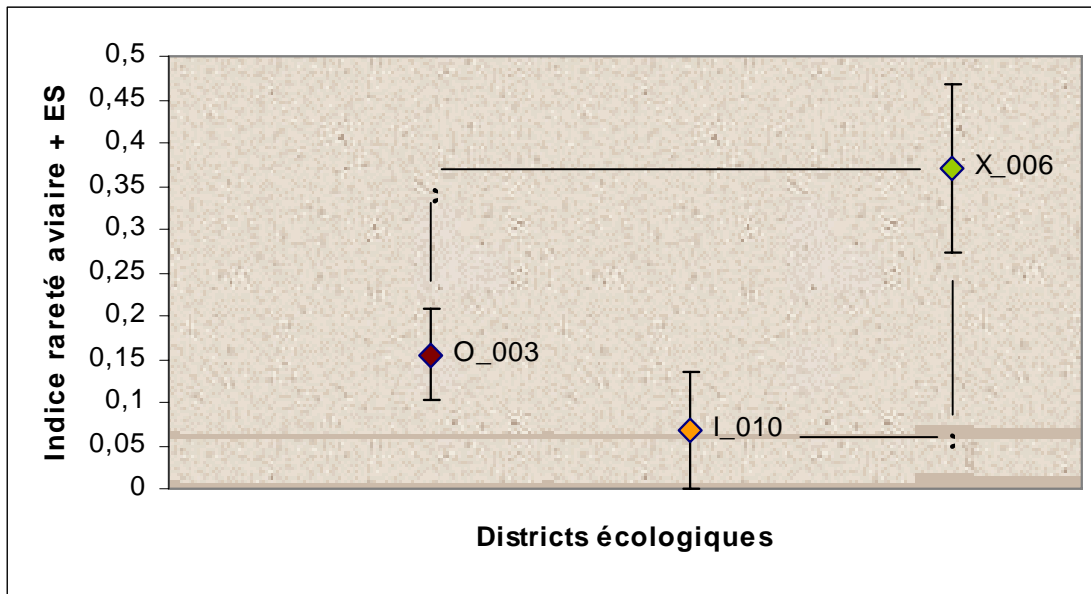
6 Rare au BSL et rare au Québec

Ces mêmes auteurs ont développé l'indice de rareté suivant qui a été appliqué aux données aviaires des trois districts écologiques à l'étude:

$$\text{Indice rareté aviaire} = (\text{Nb. oiseaux cote 3} * 3) + (\text{Nb. Oiseaux cote 4} * 4) + (\text{nb. Oiseaux cote 5} * 5) + (\text{nb oiseaux cote 6} * 6).$$

L'analyse (ANOVA un facteur = site suivie d'un test de Tukey) révèle que le district le plus intègre (X_006) possède aussi un indice de rareté aviaire significativement plus élevé que celui des deux autres districts O_003 et I_010 (P = 0.040 et P = 0.010). Cela signifie qu'il supporte davantage d'espèces aviaires rares à très rares régionalement que les deux autres districts (Figure 11).

Figure 11: Indice de rareté aviaire par district.



Conclusions partielles (échelle du district): Nous constatons que certaines guildes individuelles sont influencées par l'intégrité écologique forestière telle que mesurée : espèce nidifiant au sol, espèce nicheuses de cavité, invertivores se nourrissant sur des structures ligneuses. Lorsqu'on considère plusieurs guildes à la fois, on constate que l'indice des communautés aviaires et les variables d'intégrité écologique forestière développées vont dans le même sens lorsqu'il s'agit d'identifier le district le moins intègre. Enfin, l'indice de rareté aviaire contraste les même district que l'indice d'intégrité écologique forestière à savoir les districts X_006 et O_003.

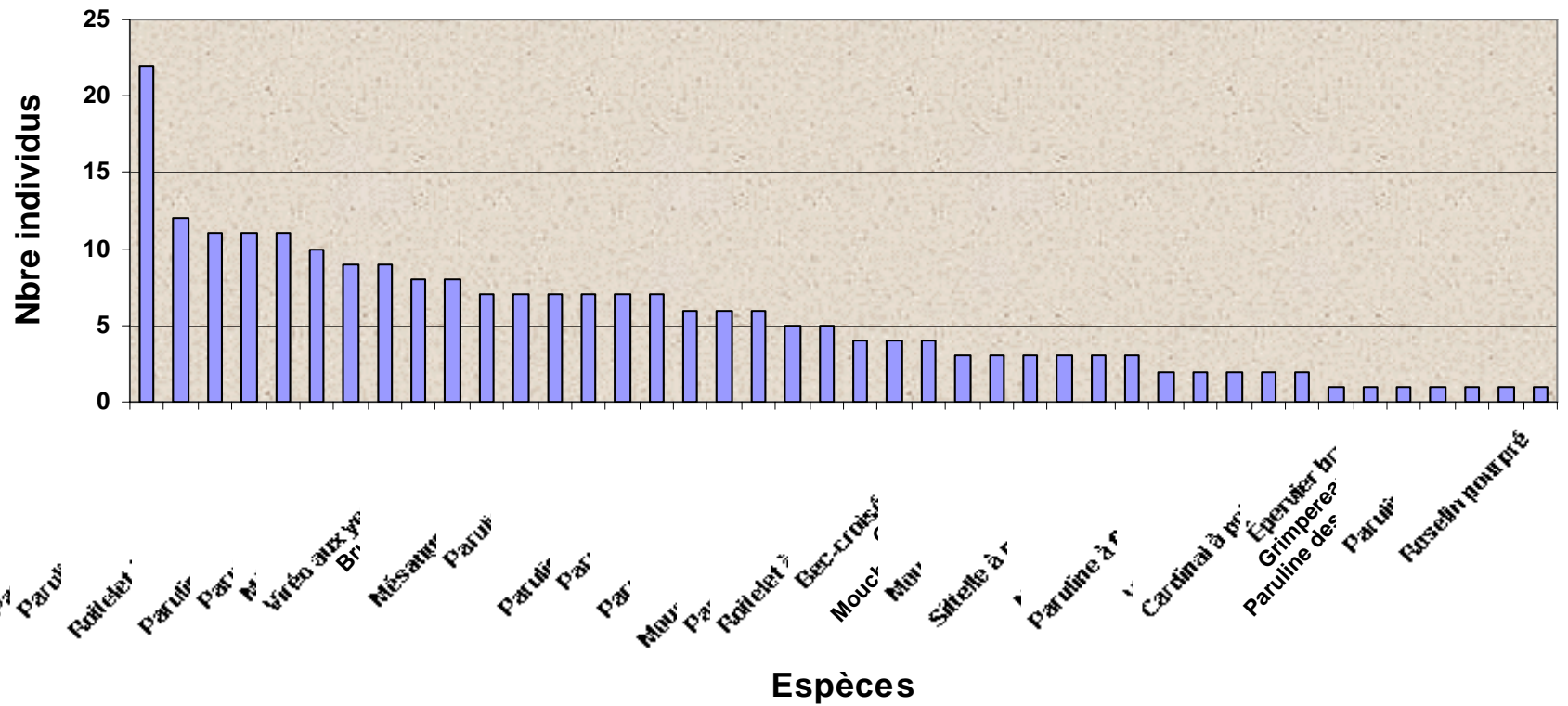
A venir : Dans un premier temps, chaque échelle spatiale sera considérée séparément dans des analyses univariées. Les résultats concernant l'ensemble des variables dépendantes et les deux autres échelles spatiales sont à venir sous peu. Dans un second temps, nous considèrerons les trois échelles spatiales de façon simultanée par des analyses multivariées (Analyse canonique correspondance ACC, analyse décomposition variance). Nous comparerons alors les patrons aviaires des différents écosystèmes et déterminerons l'importance relative des différentes variables forestières et échelles spatiales sur la composition et la structure des communautés aviaires.

5. RÉSUSLTATS ATTENDUS:

Cette étude est l'une des rares à explorer un gradient d'intégrité écologique en milieu forestier et non pas entre un milieu urbain et forestier. Elle permettra de mieux comprendre l'intégrité écologique forestière d'écosystèmes aménagés. L'indice d'intégrité et les indicateurs développés seront des outils facilement mesurables et utiles aux gestionnaires s'ils sont testés. Enfin, nous déterminerons quelle activité anthropique influence le plus la faune aviaire, quelle espèce ou guildes aviaires y est la plus sensible et enfin à quelle échelle spatiale ces relations existent.

ANNEXE 1

Espèces inventoriées I_010



Références bibliographiques: ¹ Daily, G. C. 1997. Nature Services: Societal dependence on ecosystems. Daily ed. Island Press, Washington: 365-374. ² United Nations Conference on Environment & Development. 1992. Rio de Janeiro, 3-14 June. ³ Kimmins, J. P. 1996. Ecos. Health. 2(1): 5-18. ⁴ Franklin, J. F. 1993. Ecol. Appl. 3: 202-205. ⁵ Angermeier, P. L. & J. R. Karr. 1994. Biosc. 44: 690-697. ⁶ Quigley, T.M. et al. 2001. For. Ecol. Manage. 153: 161-178. ⁷ Veeman, T. S. et al. 1999 (eds.). Proceedings 1999 SFM Conference. Alberta's University. 816 p. ⁸ Noss, R.F. 1990. Cons. Biol. 4: 355-364. ⁹ Wells, P. G. 2003. Mar. Poll. Bull. 46(9): 1059-1077. ¹⁰ Fisher, W. S. 1998. Env. Monit. Assess. 51: 23-28. ¹¹ O'Neil et al. 1997. Bioscience 47 :8. 513-519. ¹² Karr, J.R. & E. W. Chu. 1999. Restoring life in runing waters: better ecological monitoring. ¹³ Lindenmayer, D. & M. A. McCarthy. 2002. For. Ecol. Manage. 155: 319-335. ¹⁴ Patel, A., et al. 1999. The Environm. 19: 239-249. ¹⁵ Steedman, R. & W. Haider. 1993. In: Woodley, J. K :Ecological Integrity & the Management of Ecosystems. S^t-Lucie Press. 220p. ¹⁶ Peterseil et al. 2004. Land Use Pol.: 21(3): 307-320. ¹⁷ Jordan, S. J. & P. A. Vaas. 2000. Env. Sc. Pol. 3: S59-S88. ¹⁸ Spies, T. A. et al. 1994. Ecol. Appl. 4: 555-568. ¹⁹ Oliver, C.D. & B. C. Larson. 1990. Forest Stand Dynamics. McGraw-Hill, New York, 467 pp. ²⁰ Yahner, R. H. 1988. Cons. Biol. 2: 333-339. ²¹ Canterbury, G. E. et al. 2000. Cons. Biol. 14(2): 544-558. ²² Soulé, M. E. 1991. In: Hudson, W. E. Landsacpe linkages & biodiversity. Island press, Washington DC. ²³ Saunders, S. C. et al. 2002. Biol. Cons.103: 209-225. ²⁴ Crooks, K. R. et al. 2004. Biol. Cons. 115: 451-462. ²⁵ Darveau et al. 1997. Ecol Appl. 7 : 572-580. ²⁶ Boulet & Darveau. 2000. Can. Field. Nat. 114 : 83-88. ²⁷ Reed, R. A. et al. 1996. Cons. Biol.10: 4: 1098-1106. ²⁸ Hauessler, S. et al. 2002. Silva. Fenn. 36(1): 307-327. ²⁹ Imbeau, L. et al. 2000. Cons. Biol. 15(4): 1151-1162. ³⁰ Gauthier, S. et al. 1996. Env. Monit. Assess. 39: 417-434. ³¹ Bergeron, Y. & B. D. Harvey. 1997. For. Ecol. Manage. 92: 235-242. ³² Edenius, L. & J. Elmberg. 1996. Lands. Ecol. 11: 325-338. ³³ Andrén, H. 1994. Oikos 71: 355-366. ³⁴ Hinsley, S. S. et al. 1995. J. Av. Biol. 26: 94-104. ³⁵ Villard, M. A. et al. 1999. Conserv. Biol. 13: 774-783. ³⁶ DesRochers, A., & S. J. Hannon. 1997. Cons. Biol. 11: 1204-1210. ³⁷ Grove, J. S. 2002. Ecol. Ind. 1(3): 171-188. ³⁸ Ruggiero, L. F. et al. 1991. USDA FS Gen. Techn. Rep. PNW-GTR-285. Portland OR, 533p. ³⁹ Brawn, J. D. et al. 2001. Ann. Rev. Ecol. Syst. 32:251-276. ⁴⁰ Mönkkönen, M., & D. Welsh. 1994. Ann. Zool. Fen. 31: 61-70. ⁴¹ Thompson, I.D. et al. 1999. Condor. 101:311-323. ⁴² Imbeau, L. et al. 2000. Cons. Biol. 15(4): 1151-1162. ⁴³ Kirk, D.A. & K.A. Hobson. 2001. For. Ecol. Manage. 147:217-243. ⁴⁴ Drapeau, P. et al. 2000. Ecol. Monopgrah. 70(3): 423-444. ⁴⁵ Thompson, I. D. & W. J. Curran. 1995. Can. J. Zool. 73: 2059-2064. ⁴⁶ Knight, D. H. et al. 2001. For. Ecol. Manage. 141: 131-142. ⁴⁷ Liebhold, A.M. et al. 1995. For. Sc. 41(2): 1-49. ⁴⁸ Frapier, B. et al. 2003. North. Nat. 10(3): 277-296. ⁴⁹ Hruska, K. 1991. Vegetatio. 92: 161-166. ⁵⁰ Vitousek, P. M. 1986. Ecol. Stud. 58: 163-176. ⁵¹ Schmidt, K. A. & C. J. Whelan. 1999. Cons. Biol. 13: 1502-1506. ⁵² Remes, V. 2003. Cons. Biol. 17 (4): 1127-1133. ⁵³ Moore, S. E. & H. L. Allen. 1999. In : Hunter, M. L. Jr. (ed) Maintaining biodiversity in forest. ⁵⁴ Nilsson, L. 1979. Wildfowl. 30: 129-134. ⁵⁵ Land, D. et al. 1989. J. Wild. Manage. 53: 1165-1171. ⁵⁶ Thiollay, J. M & Z. Rahman. 2002. Biol. Cons. 107(1): 111-122. ⁵⁷ Troyer, M. E. 2001. Ecol. Indic. 2: 211-220. ⁵⁸ Karr, J. R. 1991. Ecol. Appl. 1: 66-84. ⁵⁹ Karr, J. R 1981. Fish. 6(6): 21-27. ⁶⁰ Bradford, D. S. F. et al. 1998 . Env. Monit. Assess. 49: 1-22. ⁶¹ O'Connell, T. J. et al. 1998. Env. Monit. Assess. 51: 145-156. ⁶² Young, J. S. & R. L. Hutto. 2002. For. Sc. 48(2): 373-378. ⁶³ Noss, R. F. 1999. For. Ecol. Manage. 115: 135-146. ⁶⁴ Szaro, R. 1986. Envir. Manage. 10: 681-688. ⁶⁵ Coonquist, M. J. & R. P. Brooks. 1991. Env. Manage. 15 : 701-714. ⁶⁶ Mikusinski, G. & P. Angelstam. 1998. Cons. Biol. 12(1): 200-208. ⁶⁷ Koskimies, P. 1989. Ann. Zool. Fenn. 26: 153-166. ⁶⁸ McCarthy, J. 2001. Env. Rev. 9: 1-59. ⁶⁹ Boulanger, Y. & D. Arseneault. 2004. Can. J. For. Res. 34: 1035-1043. ⁷⁰ Palik, K. & R. T. Engstrom. 1999. In: Hunter Jr., M.L. (Ed.), Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems. Cambridge Univ. Press, Camb: 65-95. ⁷¹ Schmiegelow, F. K. A. et al. 1997. Ecol. 78: 1914-1932. ⁷² Drolet, B. et al. 1999. Condor. 101: 699-704. ⁷³ Norton, M. R. et al. 2000. Ecog. 23: 209-

223.⁷⁴ *McGarigal, K. & W. C. McComb.* 1995. *Ecol. Monogr.* 65: 235-260.⁷⁵ *Mazerolle, M. & M. A. Villard.* 1999. *Ecosc.* 6: 117-124.⁷⁶ *Saab, V.* 1999. *Ecol. Appl.* 9: 135-151.⁷⁷ *Grand, J. & S. A. Cushman.* 2003. *Biol. Cons.* 112: 307-317.⁷⁸ *Kotliar, N. B. & J. A. Wiens.* 1990. *Oikos.* 59: 253-260.⁷⁹ *Fielding, A. H. & P. E. Haworth.* 1995. *Cons. Biol.* 9: 1466-1481.⁸⁰ *Levin, S. A.* 1992. *Ecol.* 73: 1943-1967.⁸¹ *Holling, C.S.* 1992. *Ecol. Monogr.* 62: 447-502.⁸² *Wiens, J. A.* 1989. *Functional Ecol.* 3: 385-397.⁸³ *Ludwig, J. A. et al.* 2004. *Austr. Ecol.* 29 : 108-120. ⁸⁴ *Forman R. T. T. & M. Godron.* 1986. *Landscape Ecology.* Wiley. N.Y. ⁸⁵ *Ministère des ressources naturelles MRN.* 2001. Classification écologique du territoire. 3p. ⁸⁶ *Robitaille, A.* 1995. Cartographie des districts écologiques du MRN. Les états généraux du paysage québécois, QC. Programmes, résumés p. 60. ⁸⁷ *Jensen, M. E. et al.* 2000. *Env. Monit. & Assess.* 64: 197-212.⁸⁸ *Heikkinen, R. K. et al.* 2004. *J. Appl. Ecol.* 41:824-835. ⁸⁹ *Venier, L. A. & L. Fahrig.* 1998. *Oikos.* 82: 483-490. ⁹⁰ *Bennett, A. F. et al.* 2004. *Biol. Cons.* 119: 191-206. ⁹¹ *Girard, C et al.* 2004. *Can. J. For. Res.* 34: 1895-1907.⁹² *MRN.* 2002 site: <http://www.mrn.gouv.qc.ca/>. ⁹³ *Flather, C. H. & M. Bevers.* 2002. *Am. Nat.* 159 : 40-56. ⁹⁴ *Paul, J. F.* 2003. *J. Env. Manage.* 67: 175-185. ⁹⁵ *Whited, D. et al.* 2000. *Land. Urb. Plan.* 49: 49-65.⁹⁶ *Ralph, C. J. et al.* 1995. Report PSW-GTR-149. Forest Service US.⁹⁷ *SAS institute inc.* 1999. SAS for windows. Cary, NC, USA.⁹⁸ *Herrando, S. & L. Brotons.* 2002. *Ecog.* 25: 161-172.⁹⁹ *ter Braak, C. J. F.* 1986. *Ecol.* 67: 1167-1179.¹⁰⁰ *ter Braak, C. J. F.* 1990. CANOCO program. Agr. Math. Group. Nds.¹⁰¹ *Legendre, P.* 1993.¹⁰² ***Desgranges, JL, et al.* 2003.** Identification d'aires prioritaires de conservation par l'analyse de la diversité aviaire: le cas des forêts du Bas-S^t-Laurent. Environnement Canada. 94 p.¹⁰³ *O'Connell, T. J. et al.* 1998. *Env. Monitor. Assess.* 51: 145-156.