



Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue

*Caractérisation de la structure et du dynamisme des peuplements mixtes à
bouleau jaune :
pour une sylviculture irrégulière proche de la nature*

Rapport produit et rédigé par :

Frédéric Doyon, Ing.f., Ph. D.
Benoit Lafleur, M.Sc.

Présenté à

Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier **VOLET I**



Août 2004

REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé grâce au financement en provenance du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier VOLET I et de l'INSTITUT QUÉBÉCOIS D'AMÉNAGEMENT DE LA FORÊT FEUILLUE . Il a été effectué en collaboration avec les unités de gestion du Bas-Saint-Maurice, de la Rivière Rouge et de Portneuf-Laurentides et les industries forestières CLAUDE FORGET Inc., ABITIBI CONSOLIDATED Inc. et GESTOFOR Inc. La prise de données sur le terrain a été assurée par Claudine Boucher et Christine Boyer, des Conseillers Forestiers de l'Outaouais, Denis Doyon, Josée Deslandes, Élise Jolicoeur et Mario Lajeunesse. La lecture des carottes a été effectuée par Srdjan Ostojic, Mario Lajeunesse et Nathalia Rojas. Un remerciement tout particulier à Régis Pouliot pour le traitement informatique des données. Le programme de similarité partielle entre les descripteurs a été développé par Ghislain Manta. Éric Deslauriers, Jean Girard et François Lapalme ont apporté leur aide pour la sélection de peuplements à échantillonner. Finalement, un gros merci aux B&Bs (Le Gîte du Lac Chaud de La Macaza, Les Trois Pignons de La Tuque et plus particulièrement Couette B&B Confitures de Rivière-à-Pierre) qui nous ont reçus avec chaleur pour la campagne d'échantillonnage.

Référence à citer

DOYON, F. et B. LAFLEUR. 2004. Caractérisation de la structure et du dynamisme des peuplements mixtes à bouleau jaune :pour une sylviculture irrégulière proche de la nature. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue (IQAFF), Ripon, Québec. Rapport technique, 57p + 3 annexes.

RÉSUMÉ

La connaissance de la structure des peuplements mixtes à bouleau jaune du Québec et de la dynamique qui en serait responsable est plutôt limitée. Cette étude a pour but de documenter ces aspects. Pour ce faire, 26 peuplements ont été échantillonnés dans 3 régions du Québec, soit les Basses Laurentides de Montréal, la Haute Mauricie et la région de Portneuf. Dans chacune de ces régions, les peuplements étaient choisis pour représenter 3 classes d'âge (jeune, moyen, vieux). Dans chaque peuplement, une grille de 80m X 80m a été délimitée afin de pouvoir caractériser la structure, la composition et la nécromasse ligneuse de chacun des 64 parcelles de 10m X 10m qu'une telle grille constituait. Un arbre a été carotté dans 2 parcelles sur 3 afin de représenter l'historique de croissance de la parcelle à l'aide de la dendrochronologie.

L'analyse de groupement basée de la composition, de la structure et de la nécromasse ligneuse a permis de dégager une typologie des types de bouquets représentés dans les peuplements mixtes à bouleau jaune. Vingt types de bouquet ont été identifiés et caractérisés. La distribution des types de bouquets n'est pas homogène entre les régions et entre les classes d'âge de peuplement. L'abondance en bouquet de *basse futaie inéquienne feuillue* semble être le meilleur indicateur de la classe d'âge du peuplement. Une plus forte abondance des bouquets de *haute futaie inéquienne feuillue* et de *futaie feuillue de vétérans* est révélatrice d'un âge de peuplement plus avancé. La diversité en bouquets ne diffère pas entre les régions et entre les classes d'âge. On trouve en moyenne par peuplement, près de 13 types de bouquet.

La cartographie des bouquets montre une structure spatiale hétérogène. On trouve en moyenne 67.7 bouquets/ha. Les bouquets ont une taille variant entre 100 m² et 529 m² avec une taille moyenne de 151 m². Le niveau de contraste entre les types de bouquets de deux parcelles voisines est maximum pour la classe d'âge moyen et minimum pour la classe d'âge jeune. La distribution des types de voisinage entre parcelles montre que la distribution spatiale n'est pas purement aléatoire et qu'il existe des effets d'attraction et de répulsion entre les types de bouquets.

L'analyse dendrochronologique des carottes prélevées a permis de démontrer la structure d'âge et les patrons de l'historique de croissance des peuplements. La majorité des peuplements mixtes à bouleau jaune ont au moins deux cohortes d'établissement, distinctes de 40 ans en moyenne. Les arbres subissent en moyenne une période de croissance réduite suivi

d'une période de croissance forte à tous les 30 ans. Les périodes de croissance réduite détectées sont de 1912 à 1924, entre 1936 et 1950, de 1976 à 1977, et de 1996 à 2003. Les périodes de croissance forte détectées sont surtout observées entre 1959 et 1975.

Ces résultats nous ont amenés à un modèle conceptuel de la dynamique des peuplements mixtes à bouleau jaune. Ceux-ci seraient structurés par deux régimes de perturbations superposés : un régime de perturbations partielles et un régime de micro-trouées dû au remplacement arbre-par-arbre. Dans notre modèle conceptuel, après perturbation catastrophique, une deuxième cohorte s'installe rapidement suite à une épidémie de TBE, générant la structure irrégulière de 2 cohortes fréquemment observée dans les peuplements échantillonnés. Cette structure est maintenue par un régime de perturbations partielles jusqu'à ce que les bouleaux jaunes deviennent assez gros et en assez grande importance pour effectuer un contrôle sur la dynamique du peuplement. À ce moment, une dynamique de micro-trouées et de remplacement arbre-par-arbre s'installe. Celle-ci se perpétue jusqu'à ce qu'une perturbation catastrophique remette l'écosystème à l'état de départ de notre modèle conceptuel.

Basés sur cette compréhension de la dynamique des peuplements mixtes à bouleau jaune, nous avons proposé une approche sylvicole visant à reproduire les différentes voies dynamiques décrites.

TABLE DES MATIÈRES

<i>Remerciements</i>	I
<i>Résumé</i>	III
<i>Table des matières</i>	V
<i>Liste des tableaux</i>	VIII
<i>Liste des figures</i>	IX
<i>Introduction</i>	10
<i>Matériel et méthodes</i>	11
<i>Sites d'étude</i>	11
<i>Prises de mesures sur le terrain</i>	15
<i>Prises d'échantillons sur le terrain</i>	16
<i>Préparation des échantillons</i>	17
<i>Lecture des carottes</i>	17
<i>Chapitre I. Typologie structurale des bouquets des peuplements mixtes à bouleau jaune</i>	18
<i>Analyse des données</i>	18
<i>Analyse de similarité</i>	18
<i>Analyse de groupement</i>	21
<i>Représentation des bouquets par classes d'âge des peuplements et par région</i>	22
<i>Résultats</i>	22
<i>TYPOLOGIE</i>	22
<i>Bouquets résineux</i>	22
R1 (no. 13). Haut perchis résineux sous vétérans.	23
R2 (no. 17). Haute futaie résineuse.	23
R3 (no. 11). Haut perchis résineux.	23
R4 (no. 12). Basse futaie résineuse.	24
R5 (no. 14). Bas perchis résineux.	24
R6 (no. 15). Bas perchis-gaulis résineux.	24
<i>Bouquets mixtes</i>	24

M1 (no. 5). Haut perchis mixte.	25
M2 (no.3). Bas perchis mixte.	25
M3 (no.8). Futaie mixte inéquienne.	25
M4 (no.10). Futaie mixte inéquienne à forte nécromasse.	25
M5 (no.2). Basse futaie mixte ouverte.	26
M6 (no. 16). Basse futaie mixte.	26
M7 (no. 9). Futaie mixte à forte nécromasse.	26
M8 (no. 20). Bas perchis/gaulis mixte.	27
<i>Bouquets feuillus</i>	<i>27</i>
F1 (no.1). Basse futaie inéquienne feuillue.	27
F2 (no.4). Haut perchis feuillue.	27
F3 (no.7). Futaie feuillue.	28
F4 (no.6). Haute futaie inéquienne feuillue.	28
F5 (no.19). Futaie feuillue de vétérans.	28
F6 (no.18). Haute futaie feuillue.	29
<i>DISTRIBUTION DES TYPES DE BOUQUETS SELON LA CLASSE D'ÂGE ET LA RÉGION</i>	<i>29</i>
<i>Discussion</i>	<i>32</i>
<i>Chapitre II. Distribution spatiale des bouquets</i>	<i>34</i>
<i>Analyse des données</i>	<i>34</i>
<i>Résultats</i>	<i>34</i>
<i>Discussion</i>	<i>37</i>
<i>Chapitre III. Analyse dendrochronologique des bouquets</i>	<i>38</i>
<i>Analyse des données</i>	<i>38</i>
<i>Résultats</i>	<i>39</i>
<i>Structure d'âge des peuplements</i>	<i>42</i>
<i>Historique des perturbations des peuplements</i>	<i>46</i>
<i>Discussion</i>	<i>51</i>
<i>Recommandations</i>	<i>52</i>
<i>Le système sylvicole irrégulier 1/3 : 2/3.</i>	<i>54</i>
<i>Le système sylvicole inéquienne.</i>	<i>55</i>
<i>Le passage de l'irrégulier à l'inéquienne.</i>	<i>55</i>

<i>Le passage de l'inéquienne ou de l'irrégulier à l'équienne.</i>	56
<i>Références</i>	58
<i>ANNEXE 1</i>	59
<i>ANNEXE 2</i>	87
<i>ANNEXE 3</i>	112

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1. Peuplements échantillonnés par région et par classes d'âge</i>	14
<i>Tableau 2. Groupes d'espèces distinguées dans la typologie structurale des bouquets</i>	15
<i>Tableau 3. Coefficient pour évaluer la similarité partielle entre les variables en fonction de la composition des groupes d'espèces</i>	19
<i>Tableau 4. Coefficient pour évaluer la similarité partielle entre les variables en fonction de la taille</i>	20
<i>Tableau 5. Coefficient pour évaluer la similarité partielle entre les variables en fonction du statut</i>	20
<i>Tableau 6. Distribution (%) des types de bouquet par région</i>	30
<i>Tableau 7. Distribution (%) des types de bouquet par classes d'âge des peuplements</i>	31
<i>Tableau 8. Diversité spécifique et indice de Shannon en type de bouquet par région et par classes d'âge ajustées</i>	32
<i>Tableau 9. Taille moyenne des bouquets par type de bouquet</i>	35
<i>Tableau 10. Croissance diamétrale moyenne des essences étudiées</i>	39
<i>Tableau 11. Sommaire des structures d'âge des peuplements échantillonnées</i>	44
<i>Tableau 12. Date des réductions et des détentes de croissance et périodes de croissance lente et de croissance rapide pour chaque peuplement.</i>	49

LISTE DES ÉQUATIONS

<i>Équation 1. Similarité de Gower sans exclusion des double zéros.</i>	18
<i>Équation 2. Calcul de la similarité partielle entre 2 variables (w_{ij}).</i>	21
<i>Équation 3. Indice de similarité permettant la comparaison de valeurs entre variables différentes</i>	21

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1.</i>	<i>Localisation des peuplements échantillonnés.</i>	<i>12</i>
<i>Figure 2.</i>	<i>Indice de similarité moyen entre les parcelles contiguës formant un peuplement par région et par classes âge.</i>	<i>36</i>
<i>Figure 3.</i>	<i>Distribution de l'âge des arbres échantillonnés par espèce. Pour les arbres avec des âges incomplets, l'âge minimal est alors utilisé.</i>	<i>40</i>
<i>Figure 4.</i>	<i>Temps passé en moyenne en période de croissance réduite et période de croissance forte.</i>	<i>41</i>
<i>Figure 5.</i>	<i>Distribution des arbres échantillonnés en fonction de la cohorte d'âge auquel ils appartiennent.</i>	<i>45</i>
<i>Figure 6.</i>	<i>Cumul de tous les peuplements échantillonnés des signaux de réduction et de reprise de croissance par années</i>	<i>47</i>
<i>Figure 7.</i>	<i>Cumul de tous les peuplements échantillonnés des arbres présentant des croissances faibles ou fortes (+) par année.</i>	<i>48</i>
<i>Figure 8.</i>	<i>Modèle conceptuel de la dynamique des peuplements mixtes à bouleau jaune. Les chiffres représentent les cohortes selon lors ordre d'établissement. Voir le texte pour l'explication des différentes voies dynamiques (A, B, C, D)</i>	<i>57</i>

INTRODUCTION

Le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune couvre une large bande qui traverse le Québec, du Témiscamingue jusqu'à la pointe est de la Gaspésie. Dans ce domaine, les peuplements mixtes à bouleau jaune sont très abondants. Or, la connaissance sur le dynamisme naturel de cet écosystème est fort limitée. Il en résulte une sylviculture généralement mal adaptée. En effet, la structure tant verticale qu'horizontale des peuplements mixtes à bouleau jaune (BjR, RBj) est très hétérogène, à l'intérieur d'un même peuplement. Souvent, cette complexité structurale rend difficile l'adaptation des modes sylvicoles traditionnels (équiennes, inéquiennes) à ces forêts. En effet, à l'intérieur d'un même peuplement il est possible de retrouver multiples arrangements de cohortes d'âges différents. Ainsi, certains bouquets présenteront une structure équienne alors que d'autres secteurs auront une structure inéquienne classique. Entre ces deux extrêmes, toutes les gammes d'organisations structurales sont possibles, impliquant aussi plusieurs autres espèces que le bouleau jaune et le sapin baumier, tels l'épinette blanche, l'épinette rouge et le pin blanc, pour ne nommer que celles-là. Cependant, certaines structures irrégulières sont assurément plus récurrentes que d'autres. Il est donc essentiel d'identifier lesquelles, la façon dont elles se présentent sur le terrain en termes de structure et de superficie, et de reconnaître les processus qui les génèrent.

Le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune forme une bande d'environ 100 km de large qui traverse le Québec, du Témiscamingue jusqu'à la pointe est de la Gaspésie. Les peuplements mixtes à bouleau jaune y sont très abondants. Toutefois, nos connaissances sur le dynamisme naturel de cet écosystème demeure limité. Par conséquent, il en résulte une sylviculture souvent mal adaptée aux caractéristiques biotiques et abiotiques de ce type de peuplement. En effet, la structure tant verticale qu'horizontale des peuplements mixtes à bouleau jaune (BjR, RBj) est très hétérogène à l'intérieure d'un même peuplement. Souvent, cette complexité structurale rend difficile l'adaptation des modes sylvicoles traditionnels (équiennes, inéquiennes) à ces forêts. De fait, à l'intérieur d'un même peuplement il est possible de retrouver de nombreux arrangements de cohortes d'âges. Ainsi, certains bosquets présenteront une structure équienne, tandis que d'autres auront une structure inéquienne classique. Entre ces deux extrêmes, toutes les gammes d'organisations structurales sont possibles. Certaines structures irrégulières étant

plus récurrentes que d'autres, il s'avère essentiel de les reconnaître, de décrire la manière dont elle se présentent sur le terrain en terme de structure et de superficie, et d'identifier les processus qui les génèrent.

Les objectifs de cette étude sont de (1) développer une typologie structurale représentative des conditions habituellement observées dans les peuplements mixtes à bouleau jaune, (2) reconnaître la prépondérance de chacun des types structuraux en fonction de l'âge des peuplements, (3) caractériser l'organisation spatiale de ces types structuraux à l'intérieur des peuplements en fonction de l'âge de ceux-ci et (4) relier la présence des types structuraux à l'historique des perturbations naturelles et du dynamisme interne des peuplements.

Ultimement, la caractérisation de l'organisation structurale des cohortes de sapin baumier et de bouleau jaune dans les peuplements mixtes à bouleau jaune permettra de définir une sylviculture irrégulière adaptée à l'hétérogénéité de cet écosystème. En effet, il sera possible d'identifier les intensités de prélèvements, leur rotation, les directives de martelage ainsi que la répartition spatiale des interventions afin d'obtenir une sylviculture imitant les perturbations naturelles qui respecte les principes de la gestion écosystémiques. Ces informations ont été identifiées comme manquantes et cruciales par le Comité sur le manuel d'aménagement.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sites d'étude

Trois sites d'étude ont été visités au cours de l'automne 2003 et du printemps 2004. Ces sites sont localisés dans la région de Portneuf (Réserve faunique de Portneuf et Zec Batiscan-Nelson), La Tuque (Zec Bessonne) et des Basses-Laurentides (Réserve faunique Rouge-Mattawin) (Figure 1). Les peuplements échantillonnés font partie du domaine de la sapinière à bouleau jaune.

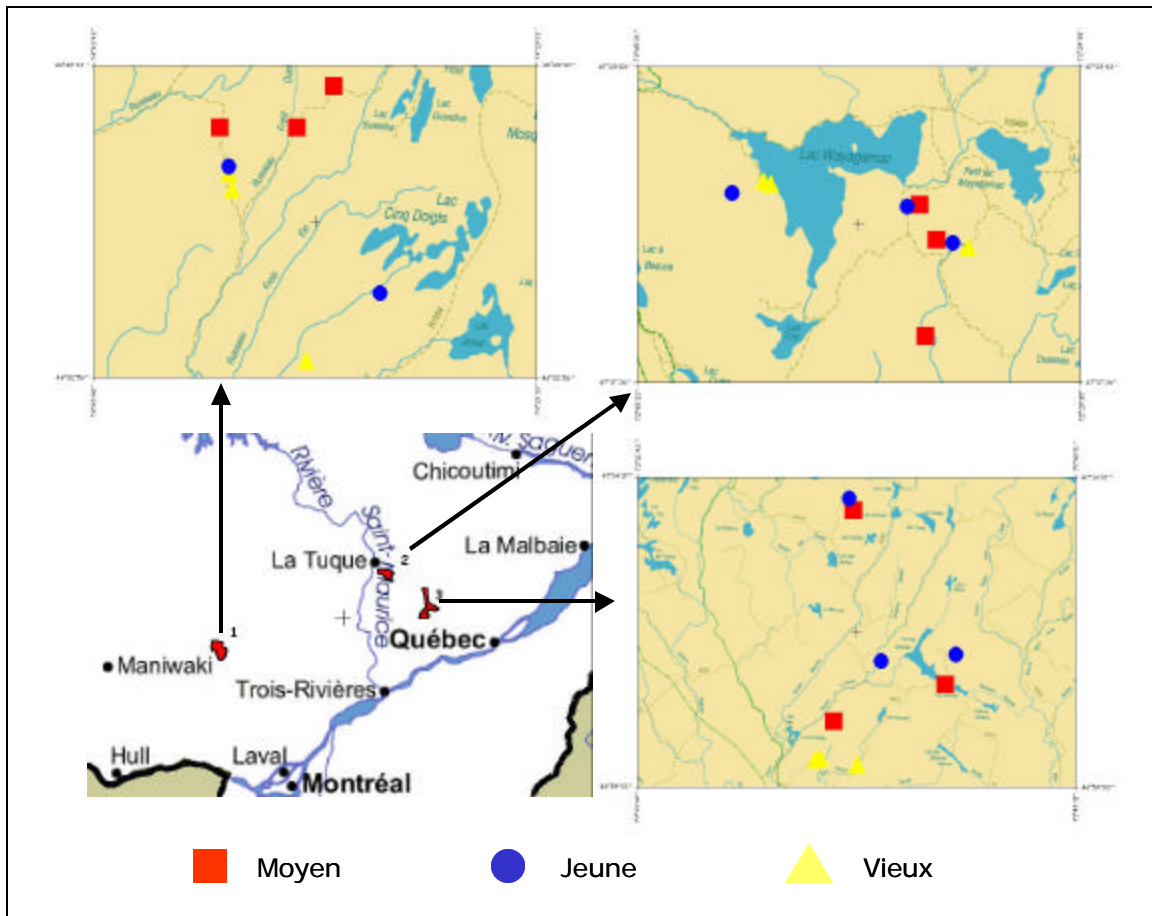


Figure 1. Localisation des peuplements échantillonnés.

Dispositif expérimental

Les peuplements échantillonnés étaient des bétulaies jaune à sapin ou des sapinières à bouleau jaune dont l'appellation cartographique comprenait les groupements d'essences BJR+, BJR-, RBj+ ou RBj. Ceux-ci étaient préalablement localisés à l'aide de la cartographie des peuplements forestiers. Trois classes d'âge ont été identifiées afin de stratifier l'étude en fonction de l'âge des peuplements. Le premier groupe d'âge (JEUNE) est constituée de peuplements équiennes dont la classe d'âge de l'appellation cartographique est 30 ou 50 ans, le deuxième groupe d'âge (MOYEN) est composé de peuplements équiennes dont la classe d'âge de l'appellation cartographique est de 70 ans ou de jeunes peuplements inéquiennes (Jin), alors que le dernier groupe d'âge (VIEUX) est composée de peuplement dont la classe d'âge de l'appellation cartographique de 90 ans et plus ou de vieux peuplements inéquiennes (Vin). Dans chacune de ces classes d'âge et dans chacune des 3 régions, 3 peuplements, d'une superficie d'au moins 10 hectares, ont été échantillonnés (à l'exception faite d'un peuplements de groupe d'âge jeune manquant dans la région des Basses-Laurentides) (Tableau 1). Dans chacune des région, les 9 peuplements ont été sélectionnés de manière à ce que chacun soit de la même combinaison dépôt-drainage (1a – 30). Ces peuplements ont également été choisis en fonction des caractéristiques suivantes : pas d'exploitation forestière récente (répertoriée dans la couverture de l'inventaire forestier mis-à-jour); faire partie de la série évolutive MJ12 ou MJ22; être sur une pente A, B ou C.

Tableau 1. Peuplements échantillonnés par région et par classes d'âge

Région ¹	Classe d'âge	Peuplements	Appellation cartographique	Classe d'âge ajustée ²
BL	Jeune	L. Averdon	RBJ- B3 50	Jeune
BL	Jeune	Rivière Macaza	BJ-R B4 30	Jeune
BL	Moyen	L. Grasmère	RBJ- B3 70	Moyen
BL	Vieux	Ruisseau Froid	BJ+R B2 VIN	Moyen
BL	Moyen	L. Georgiana	BJ+R B2 JIN	Moyen
BL	Moyen	L. Vitard	BJ-R B2 JIN	Vieux
BL	Vieux	Petit L. Jacques	BJ+R B2 VIN	Vieux
BL	Vieux	Zone cerf 06	BJ+R B2 VIN	Vieux
HM	Jeune	L. Duchesne	BJ-R B3 50	Jeune
HM	Moyen	L. Marion Ouest	BJ-R B2 JIN	Jeune
HM	Vieux	L. Wayagamac Est Vin	BJ-R B2 VIN	Jeune
HM	Jeune	L. Wayagamac Est 50	BJ-R B3 50	Moyen
HM	Jeune	L. Trinité	R BJ- B3 50	Moyen
HM	Moyen	Rivière Bessonne	BJ-R B2 JIN	Moyen
HM	Moyen	L. Wayagamac O. Jin	BJ-R B2 JIN	Vieux
HM	Vieux	L. Marion Est	RBJ- B2 VIN	Vieux
HM	Vieux	L. Wayagamac O. Vin	BJ+R C2 VIN	Vieux
PN	Jeune	L. Parke	BJ-R B3 50	Jeune
PN	Jeune	L. Chiron	BJ-R B3 50	Jeune
PN	Moyen	L. Roy	BJ-R B2 JIN	Jeune
PN	Jeune	L. Lebreil	R BJ- B3 50	Moyen
PN	Moyen	L. Lévesque	BJ-R B2 JIN	Moyen
PN	Vieux	Petit Batiscan	BJ-R B2VIN	Moyen
PN	Vieux	L. en Peine II	BJ+R C2 VIN	Vieux
PN	Vieux	L. en Peine I	RBJ- B2 VIN	Vieux
PN	Moyen	L. Jogot	BJ-R B2 JIN	Vieux

¹ BL : Basses Laurentides, HM : Haute Mauricie, PN : Portneuf

² Basée sur la moyenne + écart-type dees arbres sondés pour l'âge dans le peuplement (voir)

Dans chacun des peuplements, 1 bloc de 80m X 80m a été installé, orienté dans le sens nord-sud-est-ouest. Dans le peuplement, le bloc a été positionné de façon à

éviter des changements de conditions environnementales (drainage, pente, microtopographie) et assurer une certaine homogénéité de la végétation.

Chaque bloc a été par la suite délimité puis divisé en parcelles de 10m X 10m, pour un total de 64 parcelles par bloc. Pour ce faire, le bloc était parcouru avec du topofil dans les 2 sens (nord-sud et est-ouest). La distance entre les lignes de topofil était assurée à l'aide d'un filin d'une longueur de 80 m comprenant une marque à tous les 10 m et tendu perpendiculairement à la course du topofil. Une fois le quadrillé complété, l'arbre (ou la gaule) le plus près du coin nord-est de la parcelle était identifié par un ruban sur lequel le numéro de parcelle est indiqué. Le numéro de parcelle est alors déterminé par le numéro de ligne nord-sud et le numéro de rang est-ouest.

Prises de mesures sur le terrain

Afin de caractériser la typologie structurale, l'approche de Doyon et al. (2003) a été utilisée. Cette approche utilise des groupes d'espèces et des classes de tailles pour définir la typologie structurale. Ces regroupements de composition et de structure simplifient la classification tout en étant suffisamment sensibles pour en distinguer les différents types. Ainsi, dans chacune des parcelles, tous les arbres vivants dont le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) était > 9.9 cm ont été dénombrés par groupes d'espèces (Tableau 2).

Tableau 2. Groupes d'espèces distinguées dans la typologie structurale des bouquets

Groupes	Espèces
BOJ	<i>Betula alleghaniensis</i>
BOP-CEP	<i>Betula papyrifera, Prunus pennsylvanica</i>
FT	<i>Acer saccharum, Fagus grandifolia, Ostrya virginiana</i>
FPT	<i>Tilia Americana, Acer rubrum, Fraxinus spp., Prunus serotina, Quercus rubra</i>
PEU	<i>Populus spp.</i>
SAB	<i>Abies balsamea</i>
EPI	<i>Picea spp.</i>
AUTR	<i>Pinus spp., Larix laricina, Tsuga Canadensis, Thuya occidentalis</i>
ARB	Arbustes non-commerciaux tels <i>Acer spicatum, Alnus spp., Salix spp.</i>

Les classes de tailles utilisées étaient les suivantes : gaules (DHP 1.0 à 9.9 cm), perches (DHP 10 à 19.9 cm), moyens fûts (DHP 20 à 39.9 cm), gros fûts (DHP 40 à 59.9 cm) et très gros fûts (DHP > 59.9 cm).

Les arbres morts, i.e., les chicots et les débris ligneux dont le DHP est supérieure à 9.9 cm, ont été dénombrés de la même manière que les arbres vivants. Lorsqu'il était impossible de déterminer l'espèce de l'arbre mort, on distinguait alors si l'arbre mort était un feuillu ou un résineux. Un débris ligneux était inclus dans une parcelle seulement si la base (idéalement la souche) du débris ligneux y était aussi localisée. Les chicots et les débris ligneux ont été divisé en deux classes (jeune et vieux) selon leur niveau de décomposition (% d'écorce restant et présence de mousse; référence). Avec le statut d'arbre vivant, on obtenait ainsi 5 statuts (vivant, chicot jeune, débris ligneux jeune, chicot vieux, débris ligneux vieux)

Les gaules n'ont pas été dénombrées par espèce mais plutôt caractérisées par le pourcentage de recouvrement. Les classes de recouvrement utilisées ont été les suivantes : 0 = 0-5%, 1 = 5-25%, 2 = 25-50%, 3 = 50-75%, 4 = 75-100%.

Au total, l'ensemble des combinaisons de composition, de tailles et de statut ont généré 106 variables. Par exemple, une variable pouvait être BOJ_Vivant_Moyen et une autre variable SAB_Chicot jeune_Petit.

Prises d'échantillons sur le terrain

Entre 48 et 52 arbres ont été sondés à l'aide d'une sonde de Pressler dans chacun des blocs (sauf Lac Marion Est et Lac Parke, Tableau 1) pour analyses dendrochronologiques à raison d'un peu moins d'un arbre par parcelle. Le choix des arbres voulait être représentatif des bouquets en présence. Ainsi, lorsque des parcelles adjacentes étaient jugées similaires, l'arbre d'une seule parcelle était échantillonné. Lors de la sélection des arbres à échantillonner, notre préférence allait vers les arbres de grandes tailles avant celles de petites tailles et les espèces indicatrices de perturbations, donc des espèces intolérantes avant les espèces tolérantes.

Les carottes ont été prises le plus bas possible sur l'arbre. Une seule carotte par arbre a été prise du côté le plus déployé de la cime. Une fois extraites, les carottes

étaient placées dans une paille précautionneusement identifiée par le numéro de bloc, le numéro de parcelle, l'espèce de l'arbre et son DHP avec un crayon indélébile.

Préparation des échantillons

De retour du terrain, les carottes étaient immédiatement mises au congélateur et par la suite maintenues congelées jusqu'au laboratoire où elles étaient alors collées sur une moulure de bois. Les caractéristiques d'identification des carottes étaient aussi écrites sur la moulure de bois (numéro de bloc, le numéro de parcelle, espèce de l'arbre et son DHP). Afin de s'assurer que les carottes sèche droite, une feuille de papier ciré puis une plaque de bois seront mises par-dessus le support rainuré à carottes et puis serré avec des cordes (juste assez pour empêcher les carottes de lever). Une fois séchées, les carottes étaient par la suite sablées. Pour ce faire un premier sablage était fait avec un grain de 100, puis un second avec un grain de 400.

Lecture des carottes

Pour chaque carotte, l'âge des arbres a été déterminé lorsque possible grâce au comptage des cernes annuels à l'aide d'un microscope binoculaire à fort grossissements (40X). De plus, sur ces mêmes carottes, le début des périodes de suppression et des détentes de croissance a été identifié, puis daté. Deux niveaux d'intensité ont été utilisés pour caractériser le début d'une période de suppression ou d'une détente de croissance. Pour les périodes de suppression, on distinguait une réduction à moins de 50% et à moins de 25% de la croissance de l'année précédente. Pour les détentes de croissance, on distinguait les cernes montrant une augmentation 2 fois ou bien 3 fois plus importantes que l'année précédente.

Les périodes de croissance réduite et de croissance forte ont été distinguées sur chaque carotte. Cette évaluation était effectuée de façon subjective. Pour ce faire celui qui effectuait la lecture de la carotte évaluait la croissance sur l'ensemble de la vie de l'arbre et délimitait des zones de croissance faible et forte et en datait le début et la fin. Cette approche, quoique subjective, à l'avantage de capturer rapidement l'information qui est d'intérêt pour l'étude de la dynamique sans devoir passer par la mesure individuelle des cernes.

Chapitre I. Typologie structurale des bouquets des peuplements mixtes à bouleau jaune

ANALYSE DES DONNÉES

Analyse de similarité

Afin de déterminer des groupes homogènes de bouquets et ainsi développer une typologie, une analyse de groupement a été effectuée sur les 1664 parcelles (26 blocs X 64 parcelles). Avant de réaliser le groupement, il a fallu d'abord effectuer une analyse de similarité. Cette analyse détermine le niveau de ressemblance dans les caractéristiques qui décrivent les parcelles.

L'analyse de similarité a été effectuée avec un jeu de données réduit afin de limiter l'influence de variables avec peu d'observation, en ne retenant que les variables ayant plus de 4 occurrences (sur 1664). 79 variables sur 106 ont ainsi été retenues tout en maintenant 99% de l'information contenu dans le jeu de données.

Nous avons utilisé pour l'analyse de similarité un nouvel indice de similarité. Traditionnellement, les indices de similarité comparent deux objets ensemble en faisant la somme des différences entre les descriptions observées pour chaque variable, une à une, dans les deux objets (Équation 1) (Legendre et Legendre 1981). Il n'y a pas de comparaison entre les descriptions d'une variable pour un objet avec la description d'une autre variable pour un autre objet. Cette approche est légitime lorsque les variables sont toutes également différentes entre elles afin de ne pas comparer «des pommes et des oranges» (comme, par exemple, dans le cas de descriptions de communautés d'espèces où chaque espèce est également différente).

Équation 1. Similarité de Gower sans exclusion des double zéros.

$$S_{AB} = 1 - \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_{Ai} - x_{Bi}}{x_{Max} - x_{Min}} \right| / n \quad \text{où } x_i \text{ est une des } n \text{ variables décrivant les objets A et B}$$

Cependant, dans notre cas, certaines variables sont plus ou moins différents entre elles. En effet, intuitivement, le fait qu'une parcelle A possède x BOJ_Vivant_Moyen et aucun BOJ_Vivant_Petit et qu'une parcelle B possède aucun BOJ_Vivant_Moyen

mais x BOJ_Vivant_Petit ne veut pas dire qu'il n'y a aucune ressemblance entre ces deux parcelles. Dans notre cas, les variables ne sont pas également différentes entre elles. Il faut donc développer un indice de similarité qui permette cela.

Notre indice de similarité comprend donc des similarités partielles entre les variables. Ces similarités partielles ont été développées à partir de coefficients pour chacune des trois conditions qui ont défini les variables, c'est-à-dire, pour la composition, la taille et le statut.

Les coefficients de similarité partielle pour la composition visent à mettre ensemble les espèces qui signaleraient des processus écologiques similaires de le cas de la dynamique des bouquets des peuplements mixtes à bouleau jaune. Ainsi, plus un groupe d'espèces est semblable en termes de tolérance à l'ombre et d'autécologie, plus le coefficient de similarité partielle sera élevée. Par exemple, le groupe d'espèce BOP-CEP est jugé similaire au groupe PEU à 75% en terme de comportement dynamique dans les peuplements mixtes à bouleau jaune. À remarquer que cette matrice comporte toutefois passablement de zéro, indiquant que les variables ayant ces 2 groupes d'espèces ne seront pas comparables dans l'indice de similarité.

Tableau 3. Coefficient pour évaluer la similarité partielle entre les variables en fonction de la composition des groupes d'espèces

	ARB ¹	BOJ	BOP	PEU	FPT	FT	FEU	SAB	EPI	RES
ARB	1.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BOJ	0.00	1.00	0.50	0.50	0.75	0.50	0.50	0.00	0.25	0.00
BOP	0.50	0.50	1.00	0.75	0.50	0.25	0.50	0.00	0.00	0.00
PEU	0.50	0.50	0.75	1.00	0.50	0.25	0.50	0.00	0.00	0.00
FPT	0.00	0.75	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.00	0.25	0.00
FT	0.00	0.50	0.25	0.25	0.50	1.00	0.50	0.25	0.00	0.00
FEU	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00
SAB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	1.00	0.50	0.50
EPI	0.00	0.25	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50
RES	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00

¹ Les abréviations correspondent à celles présentées au Tableau 2.

En ce qui concerne les classes de tailles, nous avons appliqué le principe de la proximité des groupes. Une classe de taille était similaire à 75% à la précédente ou

la suivante, à 50% à 2 classes de tailles inférieures ou supérieures et 25% à 3 classes de tailles inférieures ou supérieures (Tableau 4).

Tableau 4. Coefficient pour évaluer la similarité partielle entre les variables en fonction de la taille

	Recrue	Perche	Moyen fût	Gros fût	Très gros fût
Recrues	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00
Perches	0.75	1.00	0.75	0.50	0.25
Moyen fût	0.50	0.75	1.00	0.75	0.50
Gros fût	0.25	0.50	0.75	1.00	0.75
Très gros fût	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00

Finalement, nous avons aussi bâti une table de coefficient de similarité partielle pour le statut avec la même logique que celle utilisée pour les classes de tailles en supposant que l'ordre dans lequel une tige d'un arbre changeait de statut était le suivant : Vivant -> Chicot jeune -> Débris ligneux jeune -> Chicot vieux -> Débris ligneux Vieux (Tableau 5).

Tableau 5. Coefficient pour évaluer la similarité partielle entre les variables en fonction du statut

	Vivant	Chicot jeune	DL ¹ jeune	Chicot vieux	DL Vieux
Recrues	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00
Chicot jeune	0.75	1.00	0.75	0.50	0.25
DL jeune	0.50	0.75	1.00	0.75	0.50
Chicot vieux	0.25	0.50	0.75	1.00	0.75
DL Vieux	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00

¹ DL : Débris ligneux.

Ainsi, pour définir la similarité partielle entre deux variables, il faut connaître quels sont les groupes d'espèces, les tailles et les statuts de chacune des variables et d'en multiplier les coefficients ensemble (Équation 2). Par exemple, la similarité partielle entre BOJ_Vivant_Gros fût et FT_Chicot jeune_Moyen fût serait égal à 0.28 (0.5 * 0.75 * 0.75).

Équation 2. Calcul de la similarité partielle entre 2 variables (w_{ij}).

$$w_{ij} = \text{composition}_{ij} * \text{taille}_{ij} * \text{statut}_{ij}$$

où i et j sont deux variables pour lesquels la similarité partielle est calculée, composition_{ij} , taille_{ij} et statut_{ij} étant les coefficients pour évaluer la similarité partielle.

Connaissant la valeur des similarités partielles entre les variables, il est alors possible de calculer la similarité entre les parcelles. Pour ce faire, nous sommes partis du coefficient de Gower (1971) et l'avons modifié pour inclure la similarité partielle entre les variables grâce à la présence du delta de Kroenecker. Le delta de Kroenecker prend la valeur de la similarité partielle entre les variables (Équation 3). Il prend aussi la valeur zéro pour exclure les « double-zéros » et ne garder, pour les comparaisons entre les variables différentes, que les cas où l'information existe pour les deux variables (Équation 3). Un programme informatique a été développé pour calculer la matrice de similarité entre les 1664 parcelles.

Équation 3. Indice de similarité permettant la comparaison de valeurs entre variables différentes

$$S_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[w_{ij} * \left(1 - \left| \frac{x_{iA}}{x_{\max} - x_{\min}} - \frac{y_{jB}}{y_{\max} - y_{\min}} \right| \right) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}}$$

Où n : nombre de variables décrivant les parcelles
 x_{iA} : valeur que prend la variable i pour la parcelle A
 y_{jB} : valeur que prend la variable j pour la parcelle B
 x_{\min}, y_{\min} : valeurs minimales que prennent les variables i et j
 x_{\max}, y_{\max} : valeurs maximales que prennent les variables i et j
 w_{ij} : similarité partielles entre les variables i et j
 sauf $w_{ij} = 0$: $x_{iA} = 0$ et $y_{jB} = 0$ (exclusion des doubles zéros)
 ($x_{iA} = 0$ ou $y_{jB} = 0$) et $i \neq j$

Analyse de groupement

Une fois les similarité entre les parcelles calculées, une analyse de groupement a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS (SPSS Inc., 2002). Pour le groupement, nous avons utilisé la méthode de groupement par agglomération hiérarchique par les groupement moyen des centroi des (Legendre et Legendre 1984). Le dendrogramme et la cédule d'agglomération a permis de distinguer les types de bouquets.

Représentation des bouquets par classes d'âge des peuplements et par région

Nous avons voulu tester si la distribution des bouquets par classes d'âges et par région était aléatoire ou non. Pour ce faire, nous avons testé dans un tableau de contingence l'homogénéité des distributions la répartition des types de bouquets en fonction de la classe d'âge du peuplement et de la région (SPPS inc. 2001). Pour la classe d'âge, nous avons plutôt utilisée celle ajustée à partir des données dendrochronologiques que celles ayant servies à la stratification puisqu'il y avait désaccord entre l'âge terrain et l'âge des appellation cartographique des peuplements (Tableau 1). Nous avons calculé la diversité spécifique et l'indice de diversité de Shannon (1948) de chaque peuplement et comparer la diversité en bouquet entre les régions et entre les classes d'âges ajustées à l'aide d'une ANOVA à deux facteurs.

RÉSULTATS

TYPLOGIE

Dans les 26 blocs, nous avons identifié 5513 et 7493 tiges vivantes de feuillus et de résineux, 1031 et 1282 chicots de feuillus et de résineux, et 739 et 1311 débris ligneux de feuillus et de résineux respectivement. L'analyse de similarité et de groupement a permis de répartir les 1664 parcelles en 20 types de bouquets. Pour caractériser ces bouquets, nous avons utilisé la surface terrière. Cependant, comme nous n'avons pas mesuré directement le DHP de chaque arbre mais avons plutôt utilisé des classes de tailles pour accélérer la caractérisation des bouquets, nous avons eu recours à la valeur médiane de chaque classe pour calculer la surface terrière [perches (10 à 19.9 cm) : 15 cm, moyens fûts (20 à 39.9 cm) : 30 cm, gros fûts (40 à 59.9 cm) : 50 cm et très gros fûts (> 59.9 cm) : 70 cm]. La section qui suit présente la typologie des bouquets par une description de la composition et de la structure des arbres vivants et des arbres morts.

Bouquets résineux

Ces 6 types de bouquets sont dominés par les essences résineuses (>60%). Notre échantillonnage a identifié 310 parcelles de bouquets résineux (18.6%).

R1 (no. 13). Haut perchis résineux sous vétérans.

Ce bouquet est le plus abondant des bouquets résineux de notre échantillonnage; il est présent dans 144 parcelles (8.7%). Il est surtout caractérisé par la présence d'une cohorte de perches majoritairement dominée par le sapin et les épinettes avec quelques feuillus dont le peuplier. Cette cohorte est chapeautée par de gros bouleaux jaunes et quelques vétérans résineux de plus de 60 cm de diamètre. La surface terrière représentée par les arbres morts (chicots et débris ligneux) est moyenne dans ce type de bouquet (7.47 m²/ha) et provient majoritairement de chicots et de débris ligneux résineux provenant de l'auto éclaircissage de la cohorte des perches ainsi que de feuillus de tailles moyenne. Le recouvrement de la cohorte des gaules est surtout due à la présence de jeunes sapins en sous-étage avec un recouvrement approchant le 50%.

R2 (no. 17). Haute futaie résineuse.

Le deuxième type de bouquet résineux le plus abondant de notre échantillonnage est la grande futaie résineuse représentée par 38 parcelles dans notre échantillonnage (2.28%). Ce type de bouquet est surtout caractérisé par une très forte abondance de la cohorte de gros résineux (épinette :2/3, sapin :1/3). Il possède une forte surface terrière (35.4 m²/ha). La surface terrière représentée par les arbres morts (chicots et débris ligneux) est moyenne dans ce type de bouquet (9.6 m²/ha) et provient majoritairement de chicots et de débris ligneux résineux de tailles moyenne. Le recouvrement de la cohorte des gaules en feuillus est important (plus 50%) mais les résineux demeurent présent (20%) grâce au sapin en sous-étage.

R3 (no. 11). Haut perchis résineux.

Les 4 derniers types de bouquet résineux sont également représentés dans notre échantillonnage avec 32 parcelles (1.92%). Le troisième type de bouquet est surtout caractérisé par forte représentation des résineux dans les classes de taille des petites et des moyennes tiges, essentiellement composée de sapin. Sa surface terrière est très forte (40.0 m²/ha). Les arbres morts couvrent une surface terrière de 12.9 m²/ha et sont essentiellement de débris ligneux résineux de feuillus de moyenne taille. La cohorte des gaules est abondante (80%) et également représentée en feuillus (bouleau jaune et à papier) et résineux (sapin).

R4 (no. 12). Basse futaie résineuse.

Le quatrième type de bouquet ressemble beaucoup au précédent mais le rapport entre les petites tiges et les moyennes tiges est inversé; on a une plus grande abondance des tiges de taille moyenne. Conséquemment, la présence d'épinette y est plus importante. C'est le type de beaucoup dont la présence en résineux est la plus pure (86.4 %). La surface terrière assez forte (33.4 m²/ha). Les arbres morts y sont très abondants (15.5 m²/ha), particulièrement les débris ligneux résineux de petites et moyennes tailles (7.6 m²/ha). La cohorte des gaules y est faiblement représentée, surtout par les résineux (pas plus que 10%).

R5 (no. 14). Bas perchis résineux.

Ce type de bouquet résineux est essentiellement composé de sapin de petite taille, accompagné d'un peu d'épinette et de bouleau à papier, eux aussi de petite taille. De ce type de bouquet, les arbres morts occupent une place importante (16.7 m²/ha). Malgré une faible représentation parmi les arbres vivants, les feuillus compose plus de 60% de la surface terrière des arbres morts. Cette nécromasse est essentiellement observée dans les bouleaux jaunes de moyenne à très grandes tailles. L'abondance des gaules est importante pour les résineux, avec près de 50% de recouvrement. Les gaules de feuillus sont aussi bien présentes (25% de recouvrement).

R6 (no. 15). Bas perchis-gaulis résineux.

Ce type de bouquet est semblable au type R5 mais s'y distingue par deux éléments. Premièrement, la nécromasse y est moins importante (8.7 m²/ha). Celle-ci provient surtout des chicots de bouleaux, dont certains de grosses tailles et de débris ligneux de sapin de moyenne taille. Deuxièmement, l'abondance des gaules de résineux y est la plus importante (80-90% de recouvrement) de tous les types de bouquets.

Bouquets mixtes

Huit types de bouquets sont considérés mixtes. Dans ces bouquets, la surface terrière occupées par les essences résineuses représente plus de 40% et moins de 60%. Notre échantillonnage a identifié 934 parcelles de bouquets mixtes (56.1%).

M1 (no. 5). Haut perchis mixte.

Ce type de bouquet est le plus abondant de tous les types de bouquets (24.5%). Il possède une surface terrière en arbres vivants de moyenne à faible (22.6 m²/ha) alors que celle des arbres morts est moyenne (9.3 m²/ha). Sa structure est caractérisée par une forte abondance de perches de sapin, bouleau jaune, bouleau blanc, et épinette, accompagnées de petits fûts de sapin et bouleau jaune, et de quelques gros fûts de bouleau jaune. Sa nécromasse est surtout caractérisée par la présence de chicots et de débris ligneux de moyenne et grosse tailles, tant feuillus que résineux. Les gaules sont surtout dominées par les arbustes non-commerciaux et quelques feuillus avec environ 60% de recouvrement.

M2 (no.3). Bas perchis mixte.

Le type de bouquet M2 comprend 176 parcelles (10.6%). Il possède une surface terrière en arbres vivants de 24.5 m²/ha. Sa structure est semblable à celle du bouquet de type M1, cependant les tiges de tailles moyennes et grosses sont beaucoup moins présentes. Les petits bouleaux à papier, jaune et les peupliers y sont abondants. Les arbres morts cumulent une surface terrière plutôt faible (7.6 m²/ha), fortement représentée par les chicots jeunes et le débris ligneux vieux de petite taille (surtout en résineux). Le recouvrement total des gaules est moyen, cependant, c'est dans ce type de bouquet que l'abondance des gaules de bouleaux (jaune et blanc) est la plus importante.

M3 (no.8). Futaie mixte inéquienne.

Ce bouquet est représenté par 119 parcelles (7.2%). Sa structure est caractérisée par un perchis/basse futaie de bouleaux, de sapins et d'épinettes, chapeauté par une haute futaie de bouleau jaune. Sa surface terrière est assez importante (28.4m²/ha). Les arbres morts cumulent une surface terrière plutôt faible (8.7 m²/ha). Parmi ceux-ci, on y trouve de vieux débris ligneux feuillus de toutes les tailles provenant de surtout de bouleaux. La strate des gaules est dominée par des feuillus avec un recouvrement avoisinant 40%.

M4 (no.10). Futaie mixte inéquienne à forte nécromasse.

Ce bouquet est représenté par 116 parcelles (7.0%). Sa structure est caractérisée par la présence de tiges dans toutes les classes de tailles, tant pour les feuillus que

pour les résineux. Sa surface terrière en tiges vivantes (24.6 m²/ha) est moins importante que celle en tiges mortes (29.4 m²/ha). Il s'agit donc du type de bouquet possédant la plus forte nécromasse. La majorité de celle-ci provient des vieux débris ligneux de feuillus (surtout des bouleaux jaunes) de fortes tailles. La strate des gaules est dominée par des feuillus avec un recouvrement avoisinant 50%.

M5 (no.2). Basse futaie mixte ouverte.

Le bouquet M5 est représenté par 54 parcelles (3.2%). Ce bouquet est le plus faiblement stocké en arbres vivants de tous les bouquets (13.8 m²/ha). Les arbres morts, majoritairement de vieux débris ligneux de feuillus et de résineux de moyenne taille, constituent une surface terrière faible à moyenne (8.1 m²/ha). La faible surface terrière des arbres vivants permet la prolifération de la strate des gaules, fortement dominée par les arbustes non-commerciaux.

M6 (no. 16). Basse futaie mixte.

Ce type de bouquet, qui représente 2.8% des parcelles échantillonnées, se caractérise par une structure des arbres vivants où les moyens fûts et les perches des sapins et des bouleaux jaunes dominant, tout comme le type M5, mais avec une surface terrière plus élevée (22.8 m²/ha). Quelques gros bouleaux jaunes sont aussi présents, mais pas assez pour en faire une structure inéquienne. Dans ce type, la nécromasse est assez importante (13.4 m²/ha). Elle se caractérise par une forte abondance de débris ligneux feuillus et résineux de toutes les classes de diamètre. Dans ce type de bouquet aussi, la strate des gaules est fortement dominée par les arbustes non-commerciaux feuillus.

M7 (no. 9). Futaie mixte à forte nécromasse.

Ce type de bouquet n'est pas très représenté dans notre échantillonnage (1.0%). La structure est très semblable à celle du bouquet M6 mais s'y distingue par une plus forte abondance des tiges de taille moyenne et grosse des résineux. On y observe aussi des vétérans résineux. Sa surface terrière, tant pour les arbres vivants que pour les arbres morts est aussi plus élevée (25.0 m²/ha et 19.0 m²/ha). Cette très forte nécromasse est essentiellement contenue dans les chicots de résineux (sapin) (11.0 m²/ha) de moyenne taille. L'abondance des gaules y est moyenne à faible,

également distribuée entre les feuillus, les résineux et les arbustes non-commerciaux.

M8 (no. 20). Bas perchis/gaulis mixte.

Ce type de bouquet ne représente que 1.0% dans notre échantillage. Ce bouquet est caractérisé par une très forte densité de très petites tiges (sapin baumier et feuillus peu tolérants). Ce bouquet ressemble au bouquet M2 mais le diamètre moyen des tiges y est encore plus petit. En fait, c'est dans ce bouquet que le diamètre moyen des tiges vivantes et celui des tiges mortes est le plus petit. La surface terrière est de (25.8 m²/ha). La nécromasse y est très faible (4.8 m²/ha). Elle est surtout contenu dans de jeunes chicots de sapin et de vieux débris ligneux de feuillus de toutes tailles. Comme son nom l'indique, les gaules y occupent une place importante. Elles sont dominées par le sapin, l'épinette et le bouleau jaune.

Bouquets feuillus

Nous avons caractérisé 6 types de bouquets feuillus. Dans ces bouquets, la surface terrière occupées par les essences résineuses représente moins de 40%. Notre échantillonnage a identifié 404 parcelles de bouquets feuillus (24.3%).

F1 (no.1). Basse futaie inéquienne feuillue.

Le type de bouquet le plus abondant des bouquets feuillus est le F1 avec 204 parcelles échantillonnées (12.3%). Il se caractérise par une structure inéquienne avec une distribution plutôt équilibrée de la surface terrière dans les différentes classes de taille. Sa surface terrière en arbres vivants de (23.4 m²/ha) est assurée par la dominance du bouleau jaune, bien accompagné de feuillus tolérants et de bouleau à papier. La surface terrière en arbres morts est faible (7.8 m²/ha) et se caractérise par des chicots jeunes de feuillus de moyenne taille. Les gaules feuillus sont abondantes avec un recouvrement d'environ 60%, surtout due à la présence de feuillus tolérants et d'arbustes non-commerciaux.

F2 (no.4). Haut perchis feuillue.

Ce type de bouquet est représenté par 60 parcelles échantillonnées (3.6%). Sa structure est exprimée par une dominance des perches et des petits fûts. Chez les perches, les espèces les plus abondantes sont le bouleau jaune, le bouleau à papier

et le sapin alors que les petits fûts sont surtout du bouleau jaune. La surface terrière en arbres vivants est faible (19.7 m²/ha). La nécromasse est plutôt basse (9.0 m²/ha) et dominée par de jeunes chicots de sapin et bouleau jaune de petite taille. Le recouvrement en gaule est très élevé. Celles-ci sont dominées par les résineux (sapin et épinette) avec un peu de bouleaux (jaune et à papier).

F3 (no.7). Futaie feuillue.

La futaie feuillue est un bouquet représenté par 56 parcelles échantillonnées (3.4%). Le type F3 a une structure semblable au type F2 mais possède des arbres de tailles plus grandes. Le sapin et le bouleau à papier occupent encore une place importante dans les basses cohortes alors le bouleau jaune et les feuillus peu tolérants (érable rouge surtout) se trouvent dans la cohorte de tiges de taille moyenne. Toutes ces tiges vivantes cumulent une surface terrière de 28.1 m²/ha. Les arbres morts forment une surface terrière 11.1 m²/ha et sont composés de vieux chicots de feuillus de taille moyenne et grosse. Le recouvrement en gaule est moyen (environ 25% pour les résineux et 40% pour les feuillus).

F4 (no.6). Haute futaie inéquienne feuillue.

Ce type de bouquet est représenté par 32 parcelles échantillonnées (1.9%). La structure du type F4 est inéquienne. Sa surface terrière est plutôt forte (32.3 m²/ha) et se concentre dans la cohorte des grosses et des moyennes tiges de bouleau jaune. Le sapin domine avec le bouleau jaune et l'épinette, la cohorte des petites tiges. La surface terrière en arbres morts y est des plus faible (4.3 m²/ha) et est composée de jeunes chicots de résineux de petite et moyenne tailles. L'abondance des gaules est très faible avec seulement 2.5% pour les résineux et 30% pour les feuillus.

F5 (no.19). Futaie feuillue de vétérans.

Ce bouquet, quoique faiblement représenté dans notre échantillonnage (30 parcelles, 1.8%), est le plus impressionnant par la taille de ses arbres. En effet, la majeure partie de sa surface terrière en arbres vivants, qui très importante (59.1 m²/ha), provient des très gros et des gros bouleaux jaunes. Ce bouquet possède un sous-étage de perches fortement dominé par le sapin. Sa nécromasse est moyenne (11.6 m²/ha) mais se caractérise par une forte abondance de très gros et gros débris

ligneux de feuillus. Les gaules en feuillus (40% de recouvrement) sont plus abondantes que celles en résineux (20% de recouvrement). Cependant, celles-ci sont essentiellement des arbustes non-commerciaux.

F6 (no.18). Haute futaie feuillue.

Le bouquet de haute futaie feuillue est le moins bien représenté des bouquets feuillus (22 parcelles, 1.3%). La majorité de sa surface terrière en arbres vivants (38.4 m²/ha) est contenue dans les gros bouleaux jaunes. Tout comme presque tous les autres bouquets feuillus, elle possède un sous-étage de perches fortement dominé par le sapin. Les arbres morts cumulent une faible surface terrière (6.1 m²/ha) provenant essentiellement de débris ligneux résineux de petite et moyenne tailles. C'est dans ce bouquet que le couvrement en gaules est le plus important, soit près de 90% pour les feuillus (arbustes non-commerciaux essentiellement) et de 35% pour les résineux (sapin essentiellement).

DISTRIBUTION DES TYPES DE BOUQUETS SELON LA CLASSE D'ÂGE ET LA RÉGION

La distribution des bouquets n'est pas indépendante de la région ($\chi^2=143.9$, dl=38, $p<0.001$). Ainsi, les Basses Laurentides se distinguent statistiquement des deux régions autres par plus de bouquets de futaies inéquienne feuillue (basses et hautes) et moins de bouquets de futaie feuillue de vétérans, de haut perchis résineux et de basse futaie résineuse (Tableau 6). On trouve en Haute Mauricie plus de bouquets de futaies résineuses (basse et haute) et de haute futaie feuillue et moins de bouquets de basse futaie inéquienne feuillue et de bas perchis mixte. Finalement, pour la région de Portneuf, celle-ci se caractérise par une plus grande proportion de bouquets de haut perchis résineux et une quasi absence de haute futaie inéquienne feuillue.

Les classes d'âge des peuplements se distinguent aussi de par leur distribution en types de bouquets ($\chi^2=167$, dl=38, $p<0.001$). Les jeunes peuplements sont caractérisés par forte fréquence des types de bouquets de basse futaie inéquienne feuillue et de basse futaie mixte ouverte (Tableau 7). La fréquence des basses futaies résineuses est plus élevée dans les forêts de classes d'âge « moyen » mais ces forêts sont surtout caractérisées par une plus faible fréquence des bouquets de haut perchis feuillu, bas perchis mixte, basse futaie mixte ouverte et haut perchis résineux. Finalement, les vieux peuplements sont surtout caractérisés par la

présence plus élevée de bouquets de futaies feuillues (moyenne, haute, haute inéquienne et « de vétérans ») s'accompagnant de bas perchis mixte et de haut perchis résineux. Une plus faible fréquence des types de bouquets « basse futaie inéquienne feuillue », « basse futaie mixte ouverte », « basse futaie résineuse » et « haute futaie résineuse » est aussi indicateur de vieux peuplements.

Tableau 6. Distribution (%) des types de bouquet par région

	RÉGION ¹			Total
	BL	HM	PN	
Haut perchis feuillus	3.5	3.5	3.8	3.6
Basse futaie inéquienne feuillue	18.4	8.7	10.4	12.3
Futaie feuillue	3.5	4.0	2.6	3.4
Haute futaie feuillue	0.8	2.4	0.7	1.3
Haute futaie inéquienne feuillue	4.3	1.4	0.3	1.9
Futaie feuillue de vétérans	0.6	2.4	2.3	1.8
Bas perchis/gaulis mixte	0.2	1.2	1.4	1.0
Bas perchis mixte	11.3	7.5	13.0	10.6
Haut perchis mixte	21.3	28.0	23.8	24.5
Basse futaie mixte ouverte	2.9	3.3	3.5	3.2
Basse futaie mixte	2.9	2.6	2.8	2.8
Futaie mixte inéquienne	5.9	6.4	9.0	7.2
Futaie mixte inéquienne à forte nécromasse	8.0	7.3	5.7	7.0
Futaie mixte à forte nécromasse	1.6	0.5	0.9	1.0
Bas perchis-gaulis résineux	2.7	1.0	2.1	1.9
Bas perchis résineux	1.6	2.4	1.7	1.9
Haut perchis résineux	0.6	1.2	3.8	1.9
Haut perchis résineux sous vétérans	7.8	8.3	9.7	8.7
Basse futaie résineuse	0.6	4.0	1.0	1.9
Haute futaie résineuse	1.6	3.8	1.4	2.3

¹ BL : Basses Laurentides, HM : Haute Mauricie, PN : Portneuf.

² Les pourcentages en gras sont statistiquement différents de la valeur attendue.

Tableau 7. Distribution (%) des types de bouquet par classes d'âge des peuplements

	Classes d'âge des peuplements ¹			Total
	Jeune	Moyen	Vieux	
Haut perchis feuillus	4.7	1.4 ²	4.5	3.6
Basse futaie inéquienne feuillue	17.0	14.3	5.7	12.3
Moyenne futaie feuillue	2.8	2.7	4.5	3.4
Haute futaie feuillue	1.2	0.6	2.1	1.3
Haute futaie inéquienne feuillue	0.9	2.3	2.6	1.9
Futaie feuillue de vétérans	1.0	2.1	2.3	1.8
Bas perchis/gaulis mixte	0.9	0.6	1.4	1.0
Bas perchis mixte	10.1	7.0	14.2	10.6
Haut perchis mixte	21.9	28.1	23.8	24.5
Basse futaie mixte ouverte	6.3	1.6	1.7	3.2
Basse futaie mixte	3.6	2.9	1.7	2.8
Futaie mixte inéquienne	6.1	7.2	8.2	7.2
Futaie mixte inéquienne à forte nécromasse	6.9	7.0	6.9	7.0
Futaie mixte à forte nécromasse	0.7	1.6	0.7	1.0
Bas perchis-gaulis résineux	1.6	1.2	3.0	1.9
Bas perchis résineux	1.9	1.8	2.1	1.9
Haut perchis résineux	1.2	0.6	3.8	1.9
Haut perchis résineux sous vétérans	6.9	10.0	9.2	8.7
Basse futaie résineuse	1.0	4.3	0.7	1.9
Haute futaie résineuse	3.3	2.7	0.9	2.3

¹ Classes d'âge des peuplements après analyse dendrochronologique (voir Tableau 1).

² Les pourcentages en gras sont statistiquement différents de la valeur attendue.

La diversité en bouquets, qu'elle soit mesurée à l'aide de la diversité spécifique ou l'indice de Shannon, n'est pas différente entre les régions et les classes d'âge ajustées. On trouve donc en moyenne par peuplement, près de 13 types de bouquet. On note cependant une légère tendance selon laquelle la diversité serait la plus élevée dans la région de Portneuf et plus basse dans la région des Basses Laurentides.

Tableau 8. Diversité spécifique et indice de Shannon en type de bouquet par région et par classes d'âge ajustées

CL_AGE ¹	RÉGION ²	Diversité spécifique		Indice de Shannon	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Jeune	BL	11.000	1.325	1.828	0.155
	HM	13.000	1.082	2.122	0.127
	PN	13.500	0.937	2.276	0.110
Moyen	BL	12.000	1.082	1.947	0.127
	HM	12.667	1.082	2.131	0.127
	PN	15.000	1.325	2.218	0.155
Vieux	BL	11.667	1.082	2.104	0.127
	HM	13.333	1.082	2.119	0.127
	PN	12.667	1.082	2.117	0.127

¹ Classes d'âge des peuplements après analyse dendrochronologique (voir Tableau 1).

² BL : Basses Laurentides, HM : Haute Mauricie, PN : Portneuf..

DISCUSSION

Les peuplements mixtes à bouleau jaune ne sont pas des entités homogènes en terme de structure, de composition et de nécromasse mais plutôt un amalgame de bouquets variés. Les peuplements mixtes à bouleau jaune sont majoritairement composé de « bas et haut perchis mixte », basse futaie inéquiennne feuillue, haut perchis résineux sous vétérans et de futaies mixtes inéquiennes. Ces 6 types de bouquets caractérisent à eux seuls 70% des peuplements mixtes à bouleau jaune.

Du point de vue de la composition, les bouquets mixtes dominant (57.3%), suivi des bouquets feuillues (24.3%), et finalement des bouquets résineux (18.6%).

Les types de bouquets inéquiennes représentent 30.2% des peuplements. L'analyse plus détaillée de ces bouquets montre une abondance plus importante de bouleau

jaune et d'épinettes dans le bouquet. À noter qu'aucun bouquet purement résineux est de structure inéquienne. Contrairement à ce qu'on s'attendait, les bouquets inéquiennes ne sont pas plus abondants dans les plus vieux peuplements. En fait, c'est dans les vieux peuplements qu'ils sont les moins abondants. Cela s'explique par la très faible représentation du bouquet de basse futaie inéquienne feuillue. Cette indication montre que très tôt, la structure inéquienne s'installe dans le peuplement.

La biomasse morte demeure un élément important dans cet écosystème; les chicots et les débris ligneux sont presque toujours abondants. Ils sont aussi de dimension variée, démontrant que le caractère multi-cohorte des peuplements n'est pas qu'une caractéristique récente mais un héritage persistant du fonctionnement de cet écosystème.

L'abondance en bouquet de *basse futaie inéquienne feuillue* semble être le meilleur indicateur du jeune âge d'un peuplement. Une plus forte abondance des bouquets de *haute futaie inéquienne feuillue* et de *futaie feuillue de vétérans* est aussi révélatrice d'un âge de peuplement plus avancé.

Chapitre II. Distribution spatiale des bouquets

ANALYSE DES DONNÉES

Les types de bouquet ont été redistribués à leur parcelle respective pour en compléter la cartographie. Dans cette cartographie, on distingue le niveau de contraste qu'il y a entre deux parcelles contiguës à l'aide de l'indice de similarité calculé au Chapitre I pour l'analyse de groupement.

Une analyse de la taille des bouquets a pu alors être effectuée. Pour ce faire, on a considéré que les parcelles contiguës de même type de bouquet constituait un bouquet. La contiguïté devait être par les côtés et ne pouvait être par les coins des parcelles. Ainsi, nous avons pu dénombrer le nombre de bouquets par type et par peuplements ainsi que la taille d'un bouquet en dénombrant le nombre de parcelles constituant un bouquet.

Afin de voir quel était le niveau de changement spatial en type de bouquet par peuplement, nous avons calculé la moyenne des similarités entre les parcelles contiguës par peuplements et comparer celle-ci en fonction de la région et de la classe d'âge ajustée.

Finalement, nous nous sommes intéressés à distinguer si certains voisinages de type de bouquets étaient plus prépondérants que d'autres. Pour ce faire nous avons procédé à une analyse de contiguïté en confrontant dans un tableau de contingence les fréquences observées de chaque voisinage avec la probabilité de ce type de voisinage. La statistique de Neu et al. a été utilisée pour discriminer les voisinages qui étaient, soit plus, soit moins fréquents qu'aléatoirement attendu. Cette analyse détermine par tableau de contingence si le nombre de fois qu'un type de bouquet est adjacent à un autre type de bouquet est plus élevé qu'aléatoirement. Cette analyse a été effectuée de façon globale, incluant tous les peuplements.

RÉSULTATS

La cartographie des types de bouquets a permis de reconstituer l'arrangement spatial des bouquets pour chaque peuplement (Annexe 1). On y distingue facilement une structure spatiale hétérogène où l'importance des bouquets feuillus, mixtes et

résineux varie d'un peuplement à l'autre. On trouve en moyenne 67.7 bouquets/ha (écart_type = 9.50 bouquets/ha) dans les peuplements mixtes à bouleaux jaunes. Le nombre de bouquets n'est pas différent entre les classes d'âge mais se distingue entre les régions ($p=0.006$). Le nombre de bouquets est plus faible dans les basses Laurentides (61.7 bouquets/ha) que dans la région de Portneuf (75 bouquets/ha).

Les bouquets sont des entités variant entre 100 m² (taille minimum détectable avec notre dispositif) et 529 m². Le type de bouquet le plus grand en moyenne est le haut perchis mixte avec une taille moyenne de 201 m² (Tableau 9). La taille moyenne des bouquets par type de bouquets ne varie pas d'une classe d'âge à l'autre ($p>0.05$). Elle varie par région pour le bas perchis mixte (plus grand dans Basse Laurentides), le haut perchis mixte (plus grand dans Haute Mauricie) et la futaie mixte inéquienne à forte nécromasse (plus grand dans Basses Laurentides).

Tableau 9. Taille moyenne des bouquets par type de bouquet

Type de bouquet	Taille moyenne (m ²)
Haut perchis feuillus	129
Basse futaie inéquienne feuillue	155
Moyenne futaie feuillue	105
Haute futaie feuillue	108
Haute futaie inéquienne feuillue	115
Futaie feuillue de vétérans	102
Bas perchis/gaulis mixte	100
Bas perchis mixte	176
Haut perchis mixte	201
Basse futaie mixte ouverte	124
Basse futaie mixte	133
Futaie mixte inéquienne	116
Futaie mixte inéquienne à forte nécromasse	120
Futaie mixte à forte nécromasse	111
Bas perchis-gaulis résineux	131
Bas perchis résineux	106
Haut perchis résineux	106
Haut perchis résineux sous vétérans	143
Basse futaie résineuse	121
Haute futaie résineuse	115

La similarité entre les parcelles contiguës est différente entre les régions ($p < 0.001$) et entre les classes d'âge ($p < 0.001$). Ainsi, on observe le contraste le plus élevé entre les parcelles de la région de Portneuf et le contraste le plus faible dans la région des Basses Laurentides (Figure 2). Dans toutes les régions, la classe d'âge étant le plus contrasté est la classe d'âge moyenne. Évaluée par classe d'âge, la similarité moyenne entre parcelles contiguës est la plus faible dans les peuplements jeunes et la plus forte dans les peuplements moyens, les peuplements vieux se situant entre les deux. Il y a cependant un effet d'interaction entre la région et l'âge significatif ($p < 0.001$) puisque les jeunes peuplements dans Portneuf ont un niveau de contraste entre les parcelles aussi élevé que les peuplements d'âge moyen (Figure 2). Cette différence permet donc à cette région d'être plus contrastée que celle de la Haute-Mauricie.

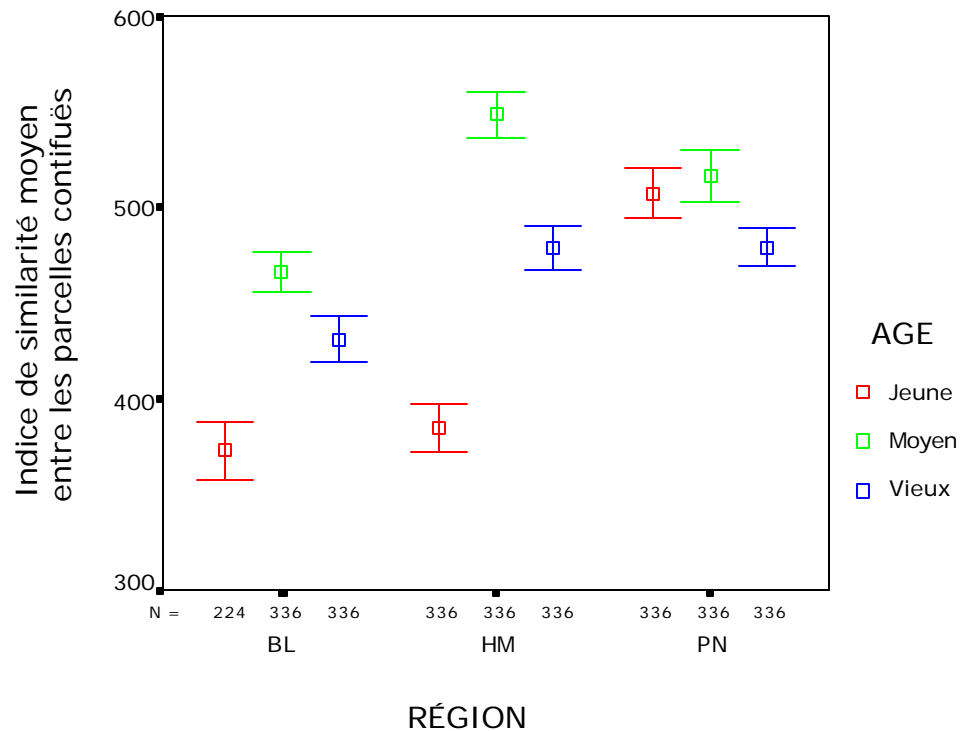


Figure 2. Indice de similarité moyen entre les parcelles contiguës formant un peuplement par région et par classes âge.

L'intervalle de confiance à 95% est présenté.

Lorsque tous les peuplements sont analysés ensemble, l'analyse des contiguïtés a distingué 5 voisinages statistiquement ($p < 0.05$) différent qu'aléatoirement attendu. Les *bas perchis mixtes* sont moins fréquemment adjacents à des *basses futaies inéquiennes feuillues* et des *basses futaies mixtes ouvertes* qu'on aurait été en droit

à s'attendre alors qu'ils se trouvent plus fréquemment adjacents à des *bas perchis résineux*. Les *hauts perchis mixtes* sont moins souvent adjacents à eux-mêmes qu'aléatoirement attendu. Finalement, la *basse futaie mixte ouverte*, se trouve moins fréquemment adjacente à des *hauts perchis résineux sous vétérans*.

DISCUSSION

Les résultats de nos analyses démontrent que les bouquets ne sont pas très grands, en général (148 m²). En considérant que la cime d'un bouleau jaune de 40 cm fait habituellement 10 m de rayon, une trouée occasionnée par la mort d'un individu provoquerai une ouverture de 314 m². Le fait que la taille des bouquets soit plus petite que l'ouverture d'une trouée d'un bouleau jaune mature et le fait que la taille des bouquets ne varie pas en fonction de l'âge du peuplement nous indique que la structure mosaïquée est rapidement mise en place dans le développement du peuplement, avant même qu'une dynamique de remplacement arbre-par-arbre soit installée.

Cependant, l'analyse des contrastes entre les parcelles ajoute un élément d'interprétation intéressant. Malgré que la taille des bouquets ne change pas avec l'âge du peuplement, le contraste entre les bouquets, en terme de structure, de composition et de nécromasse, est plus faible pour les jeunes peuplements (sauf dans Portneuf). Nous avons donc des bouquets de même taille mais qui se ressemblent beaucoup plus dans les jeunes peuplements que des les peuplements d'âge moyen et vieux.

Le contraste entre les parcelles contiguës est maximal pour les peuplements moyens. Rappelons que la diversité n'est pas différente entre les classes d'âge. Nous avons donc à peu près le même nombre de types de bouquets, cependant les types de bouquet qui sont voisins dans les peuplements moyens sont plus différents les uns des autres que dans les deux autres classes d'âge. On aurait à partir de cette stade de développement une divergence qui s'accentuerait pour ensuite converger vers quelque chose de plus semblable au stade de vieux peuplement.

L'analyse des contiguité suggère que l'arrangement spatial des bouquets n'est pas aléatoire puisqu'on note des effets de répulsion et d'attraction pour certaines combinaisons de voisinage. Ce résultat suggère que le fait de trouver un type de bouquet n'est pas indépendant des type de bouquets qui l'avoisinent.

Chapitre III. Analyse dendrochronologique des bouquets

ANALYSE DES DONNÉES

L'âge de tous les arbres provenant de parcelles 1) d'une même essence et 2) d'un même peuplement a été compilé ensemble afin de dresser une indication de la structure d'âge. Dans ces structures d'âge, on distingue les arbres dont l'âge est exact et ceux dont l'âge observé est incomplet (donc âge minimal). Pour calculer la croissance moyenne par essence, nous avons divisé le diamètre par l'âge des arbres dont nous avons l'âge complet.

Une description des cohortes d'âge a été effectuée par peuplement. Une cohorte était constituée lorsque au moins 8 individus s'établissaient durant une période suffisamment courte pour ne pas avoir plus de 2 ans entre chaque individu en moyenne. Les cohortes ont été identifiées par peuplement.

Les dates correspondant à des débuts de période de suppression et de détente de croissance de tous les arbres provenant d'un même peuplement ont été compilées ensemble. Pour ce faire, la valeur du signal d'un arbre assignée à une date a été pondérée en fonction du niveau de réponse. Ainsi, lorsque la réduction de croissance était de 50-25% de la croissance du cerne précédent, le signal avait une valeur de 1 et lorsque la réduction de croissance était <25%, le signal avait une valeur de 2. Pour les détentes de croissance, la valeur du signal était de 1 lorsque la croissance doublait et de 2 lorsque la croissance triplait.

Les périodes de croissance réduite et forte ont été compilées 1) globalement, 2) par essence et, 3) par peuplement.

RÉSULTATS

Au total 1138 carottes des 1144 carottes prélevées ont été gardées pour analyses. Ces carottes proviennent majoritairement de bouleau jaune (49%), de bouleau blanc (11%), d'épinettes (24%) et de sapin (15%). Le diamètre moyen des arbres échantillonnés est de 29.2 cm avec un écart-type de 9.9 cm. L'âge moyen des arbres échantillonnés est 88, 60, 80 et 53 pour le bouleau jaune, le bouleau à papier, les épinettes et le sapin baumier respectivement (Figure 3). On dénote pour 3 des 4 espèces une structure d'âge bi-modale.

En effet, une première cohorte distincte peut être identifiée entre 20 à 70 ans pour les 4 espèces et une deuxième est facilement détectable entre 70 et 140 ans pour le bouleau jaune, le bouleau à papier et les épinettes (Figure 3). Finalement, pour le bouleau jaune et les épinettes, on pourra parler d'une dernière cohorte, elle très étalée, plus âgée que 140 ans.

La croissance diamétrale moyenne du sapin est supérieure à celle des bouleaux et des épinettes de près de 1 mm/an (Tableau 10). Ainsi, sur une période de 100 ans, il en découlera une différence de 10 cm entre un sapin de 48 cm et un bouleau à papier de 38 cm.

Tableau 10. Croissance diamétrale moyenne des essences étudiées

Essence	Croissance diamétrale moyenne (cm/an)	N	Écart type
Boj	.400	448	.156
Bop	.378	107	.129
Epi	.397	240	.157
Sab	.479	125	.145
Toutes	.407	921	.154

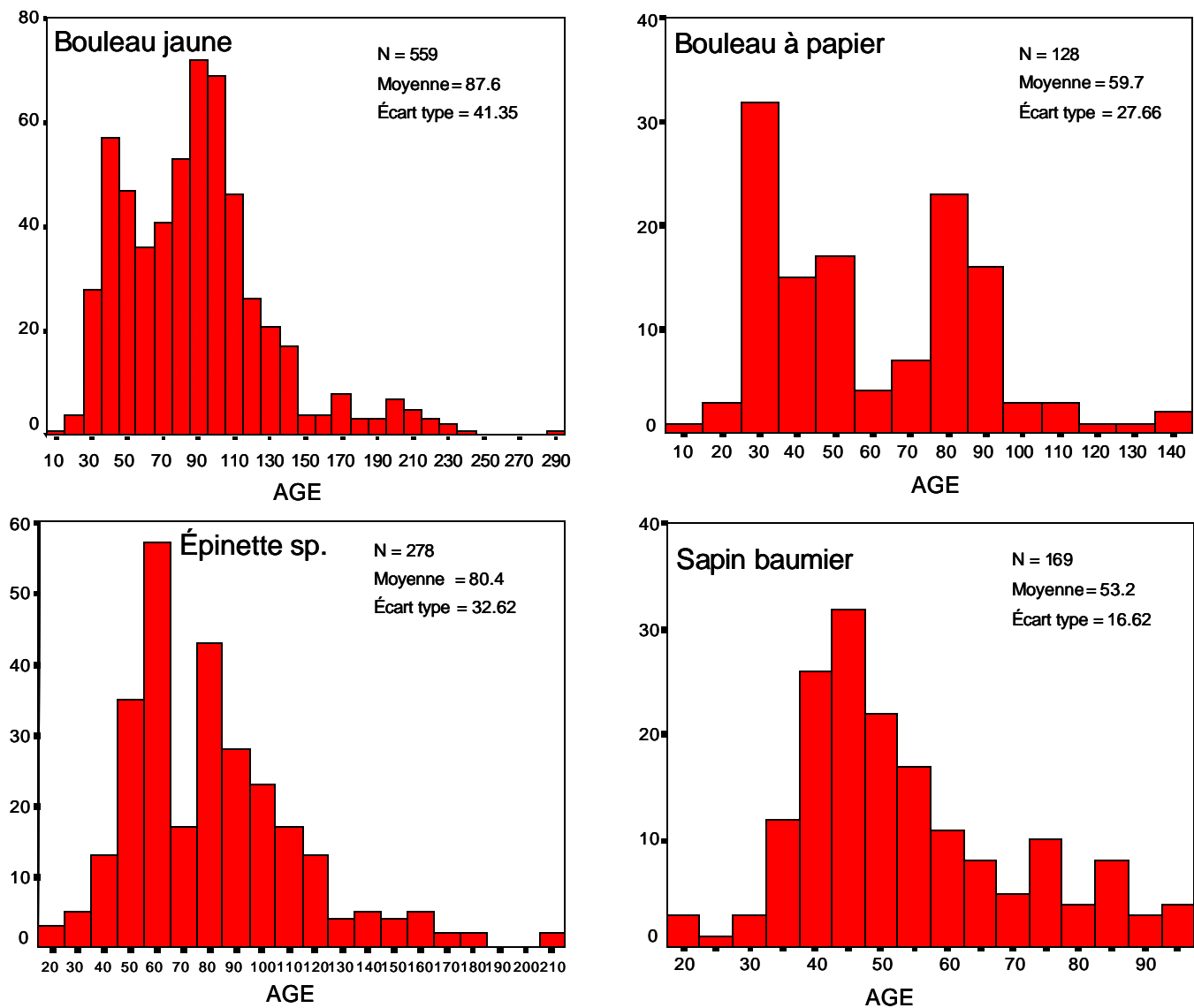


Figure 3. Distribution de l'âge des arbres échantillonnés par espèce. Pour les arbres avec des âges incomplets, l'âge minimal est alors utilisé.

L'analyse des périodes de croissance réduite et de croissance forte nous permet d'identifier combien de temps une tige est en moyenne en croissance réduite ou forte. Ainsi, nous avons identifié qu'un bouleau jaune passe en moyenne 29 et 30 ans en période de croissance forte et réduite respectivement (Figure 4). Pour l'épinette ces deux périodes sont légèrement supérieures, soit 34 et 33 années. Pour le bouleau à papier et le sapin, ces deux périodes sont plus réduites, soit 22 et 18 années et 25 et 15, respectivement. De plus, pour ces deux dernières espèces à longévité plus réduite, on remarque que le temps passé en période de forte croissance est plus élevé que le temps passé en croissance réduite.

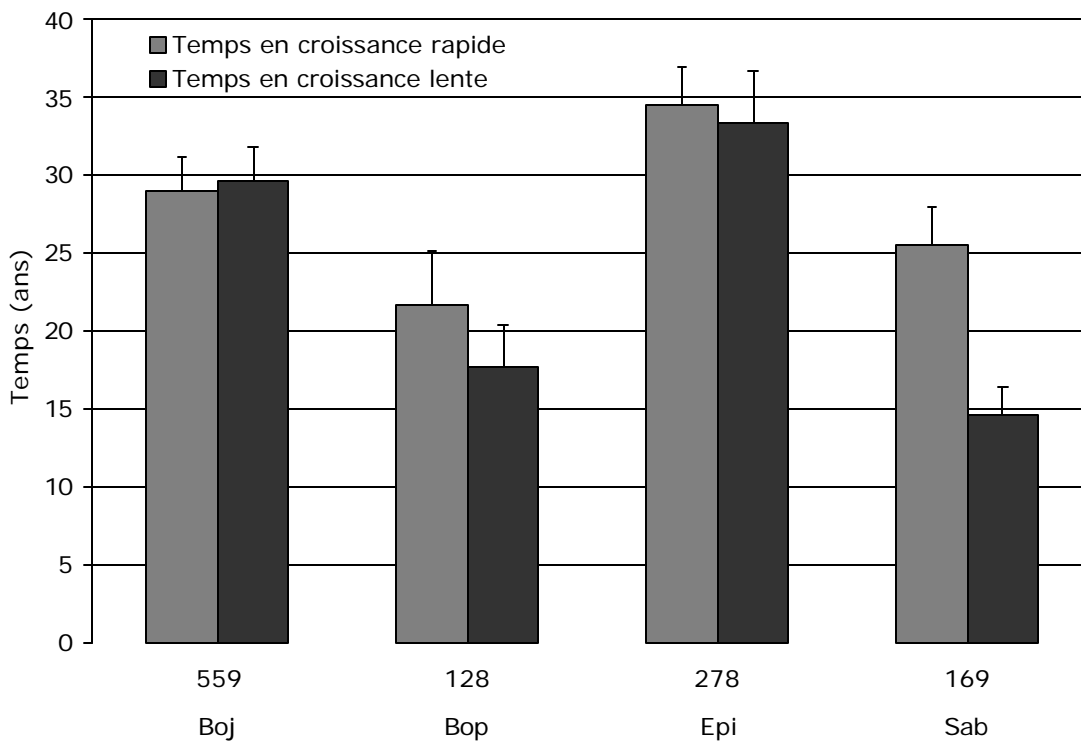


Figure 4. Temps passé en moyenne en période de croissance réduite et période de croissance forte. Les détonateurs indiquent l'intervalle de confiance à 95%. Le chiffre sont les bâtonnets indique le nombre d'arbres utilisés pour cette analyse par espèce.

Ces périodes sont cependant repartis dans le temps en plusieurs épisodes. Un bouleau jaune passera en moyenne par 2.5 périodes de croissance fortes et 2.5 périodes de croissance faible durant sa vie, chacune durant 12 et 13 années, respectivement. Ce sont les épinettes qui expérimentent le plus de changements de périodes de croissance avec, en moyenne, 2.8 périodes de croissance rapide et 2.6

périodes de croissance lente. Chacune de ces périodes dure, en moyenne, 15 (rapide) et 17 (réduite) années. Pour le bouleau à papier et le sapin baumier sapin ces nombres sont plus réduits. Le bouleau passe par 1.9 périodes de croissance rapides et 2.0 périodes de croissances lentes dans sa vie en moyenne, chacune durant 13 et 10 ans alors que le sapin aura 2.1 périodes de croissance rapide durant en moyenne 13 ans et 1.8 périodes de croissance lente, durant 9 ans.

Structure d'âge des peuplements

Les structures d'âge de chaque peuplement a été élaborées (Annexe 2). L'âge moyen des arbres sondés par peuplement varie de 61 à 83 ans (Tableau 11). Cependant, l'écart type autour de cette moyenne est très élevée, démontrant une grande variabilité. Cette variabilité suggère soit un établissement multi-cohorte, qui générerait une structure irrégulière, ou soit un établissement continu, qui, lui, générerait une structure plutôt inéquienne. L'analyse détaillée des cohortes montre que, en général, il existe au moins deux cohortes d'âge dans les peuplements échantillonnés (Tableau 11). Ainsi, le patron d'une structure d'âge bi-modale observé par espèce globalement est aussi perceptible dans plusieurs des peuplements (Figure 5 et Annexe 2). Parmi ceux-ci on trouve, les 10 peuplements suivants : L. Averdon (40 et 100 ans), rivière Macaza (35 et 90 ans), L. Georgiana (40 et 80 ans), L. Duchesne (40 et 80 ans), Lac Marion ouest (60-90 ans), L. Wayagamac est 50 (50-100 ans), L. Chiron (30 et 80 ans), Lac Roy (40 et 90 ans) , Lac Lebreil (40 et 70 ans) et rivière Petit Batiscan (30 et 90 ans) (Tableau 11).

En faisant la différence entre le point médian des deux dernières cohortes, on obtient une bonne appréciation du temps qui sépare l'établissement de ces deux cohortes (Tableau 11). La moyenne de temps s'écoulant entre l'établissement des deux dernières cohortes pour l'ensemble des peuplements échantillonnés est de 40.5 ans +/- 8.4 ans (intervalle de confiance à 95%). Cette durée s'approche de la période entre 2 épidémies de TBE.

Trois peuplements, Ruisseau Froid, Rivière Bessone et Lac en Peine I, sans être inéquienne, possède une structure d'âge irrégulière à 3 cohortes (Annexe 2 et Tableau 11). La présence importante d'une cohorte de vétérans les distingue du groupe précédant.

Certains, peuplements, en majorité assez vieux, sont plutôt inéquiennes. C'est le cas des peuplements L. Vitard, Petit lac Jacques, Zone cerf 06, L. Wayagamac O. Vin, L. Wayagamac O. Jin, L. Lévesque, L. en Peine II et L. Jogot (Figure 5 et Annexe 2). Pour ces peuplements, les cohortes sont petites et pas très compacte (étalement de l'âge des individus élevé); l'établissement semble s'être effectué de façon continue (Annexe 2 et Tableau 11).

Finalement, seulement trois peuplements pourraient être considérés comme équiennes; il s'agit des peuplements du L. Grasmère, L. Wayagamac E. Vin et L. Trinité. C'est trois peuplements ont de faibles écart-types en ce qui concerne l'âge des individus sondés (Tableau 11).

On trouve pratiquement dans tous les peuplements des individus qu'on peut considérer comme vétérans (à l'exception des jeunes peuplements L. Averdon, L. Chiron, et L. Roy) puisqu'ils se distinguent clairement des cohortes principales de par leur âge élevé (Tableau 11, Annexe 2). Ainsi, malgré des moyennes d'âge plus jeune que 100 ans, l'âge maximal détecté dans les peuplements est souvent supérieur à 200 ans (Tableau 11). La moyenne de l'âge maximal des arbres par peuplements est d'au moins 194 ans puisque plusieurs vieux arbres ont un âge incomplet. Les arbres vétérans des peuplements échantillonnés sont généralement des bouleaux jaunes, et parfois des épinettes, d'envergure moyenne (Tableau 11). Par exemple, le plus vieil arbre échantillonné a 293 ans dans le peuplement « Zone du Cerf 06 » malgré un diamètre de seulement 40 cm.

Tableau 11. Sommaire des structures d'âge des peuplements échantillonnés

Peuplement	Âge			Cohorte 1			Cohorte 2			Cohorte 3			Temps entre les deux dernières cohortes	Vétérans (>150 ans)
	Moy.	Écart-type	Max.	Âges	NB. ind.	Étalement ¹	Âges	NB. ind.	Étalement	Âges	NB. ind.	Étalement		
L. Averdon	64	31	127	92-108	15	1.13	38-52	16	0.94				72.5	Aucun
Rivière Macaza	71	37	170	75-109	19	1.84	30-44	16	0.94				68.5	Boj_36
L. Grasmère	86	24	182	72-91	28	0.71	55-68	8	1.75				12.5	Epi_37
Ruisseau Froid	76	37	219	92-113	12	1.83	45-83	22	1.77	32-40	10	0.90	22	Boj_45 Boj_32
L. Georgiana	80	40	228	68-109	25	1.68	37-55	15	1.27				59.5	Boj_36 Epi_17 Boj_44 Boj_44
L. Vitard	85	48	227	59-93	19	1.84	31-46	13	1.23				24.5	Boj_49 Boj_48 Boj_50 Boj_23 Boj_49
Petit L. Jacques	78	43	219	74-96	16	1.44	33-40	13	0.62				30	Boj_32 Boj_36
Zone cerf 06	91	53	200	40-127	30	2.93	28-35	9	0.89				65	Boj_48 Boj_41 Boj_44 Boj_45
L. Duchesne	70	35	237	68-90	21	1.10	34-54	25	0.84				19.5	Boj_26 Boj_47
L. Marion Ouest	75	27	155	80-95	12	1.33	47-70	23	1.04				14.5	Boj_38
L. Wayagamac Est Vin	72	29	189	73-103	20	1.55	33-70	18	2.11				51.5	Boj_42
L. Wayagamac Est 50	77	33	158	78-102	13	1.92	41-61	18	1.17				57.5	Epi_25 Epi_43
L. Trinité	82	37	207	53-82	35	0.86							43.5	Boj_26 Epi_29 Boj_29
Rivière Bessonne	87	40	220	110-117	9	0.89	71-102	17	1.88	43-63	16	1.31	53	Epi_24 Boj_35 Boj_46 Boj_48
L. Wayagamac O. Jin	90	38	205	114-126	8	1.63	80-100	17	1.24				30	Epi_36 Boj_32 Boj_38
L. Wayagamac O. Vin	79	45	264	59-124	19	3.47	28-55	16	1.75				63	Boj_68 Boj_54 Boj_38 Boj_52 Boj_48
L. Chiron	53	26	123	72-90	13	0.59	27-55	32	0.91				20	Aucun
L. Roy	66	33	149	85-95	8	1.38	31-63	30	1.10				18.5	Aucun
L. Lebreil	75	35	202	59-86	26	1.08	33-43	10	1.10				22.5	Boj_34 Boj_31
L. Lévesque	85	31	202	68-115	25	1.92	42-60	14	1.36				59.5	Boj_43
Petit Batiscan	74	35	161	82-102	16	1.31	27-54	21	1.33				64	Epi_40
L. en Peine II	81	34	207	83-109	18	1.50	37-65	21	1.38				62	Boj_45
L. en Peine I	81	33	188	87-117	19	1.63	52-76	13	1.92	36-44	10	0.90	17	Boj_38
L. Jogot	83	42	211	85-95	8	1.38	36-59	24	1.00				20.5	Epi_34 Epi_33 Epi_27 Epi_30 Epi_27

¹ Correspond à la durée moyenne entre l'établissement de chaque arbre faisant partie de la cohorte.

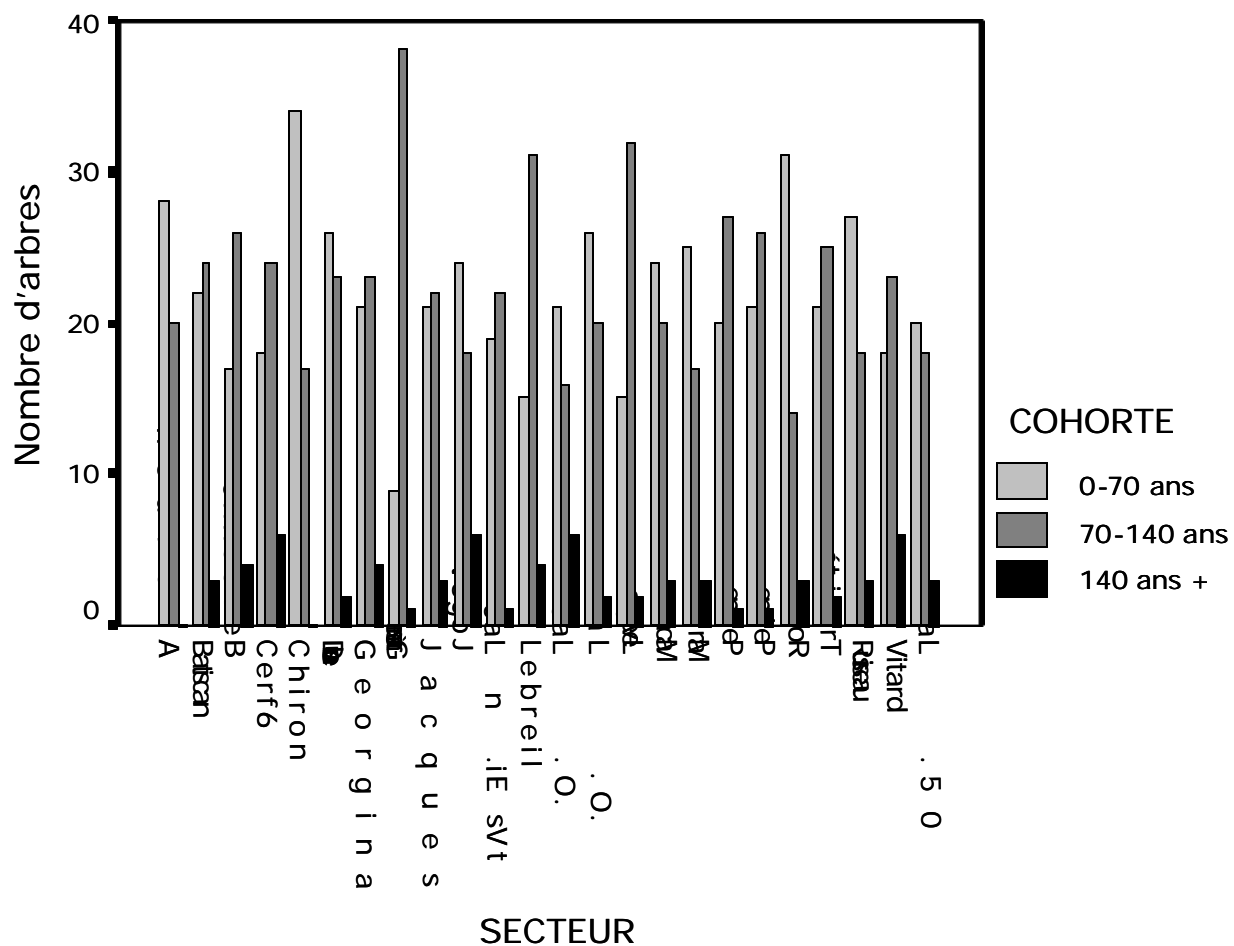


Figure 5. Distribution des arbres échantillonnés en fonction de la cohorte d'âge auquel ils appartiennent.

Historique des perturbations des peuplements

L'analyse de tous les peuplements rassemblés ensemble nous indique un patron général où il est possible de détecter des signaux forts de réduction de croissance et de détente de croissance subites (Figure 6). On observe ainsi 6 dates majeures de réduction subite de croissance. Celles-ci sont 1923, 1976, 1994, 1996, 2000 et 2003. Il y a aussi des détentes de croissance qui sont généralisée : 1951, 1978, 1988, 1995 et 1999. D'autres phénomènes généraux se sont probablement produits avant (réduction subite : 1890, 1869; détentes : 1895) mais il est difficile de les détecter compte tenu que l'effectif se réduit à mesure qu'on revient dans le temps et que les arbres âgés ont aussi plus de chance d'être sous couvert et supprimés en bas âge.

L'analyse des périodes de faibles et de fortes croissances nous renseigne aussi sur les patrons généraux qui ont influencé la croissance. Ainsi, il est possible de distinguer des périodes de faibles et de fortes croissances durant les 150 dernières années (Figure 7). On note 4 périodes de faibles croissances, soit de 1912 à 1924, entre 1936 et 1950, de 1976 à 1977, et 1996 à 2003. En ce qui concerne les périodes de forte croissance, il y en a une qui débute après 1959 jusqu'à 1975, avec un pic inégalé entre 1970 et 1975, et finalement, une légère reprise après la forte décroissance drastique de 1976 (Figure 7).

Ces courbes de cumul des signaux de réduction et de détente de croissance ainsi du cumul des périodes de croissance faible et de croissance forte ont été produites pour chaque peuplement (Annexe 3). Les dates et périodes précédemment mentionnées pour l'ensemble des peuplements se trouvent généralement incluse dans le portrait de chaque peuplement. Par exemple, le patron général de variation des croissances faibles et des croissances rapides observées (Figure 7) se retrouve dans la majorité des peuplements (Annexe 3), avec des variantes spécifiques au peuplement, voir à la région (Tableau 12).

Tous les peuplements

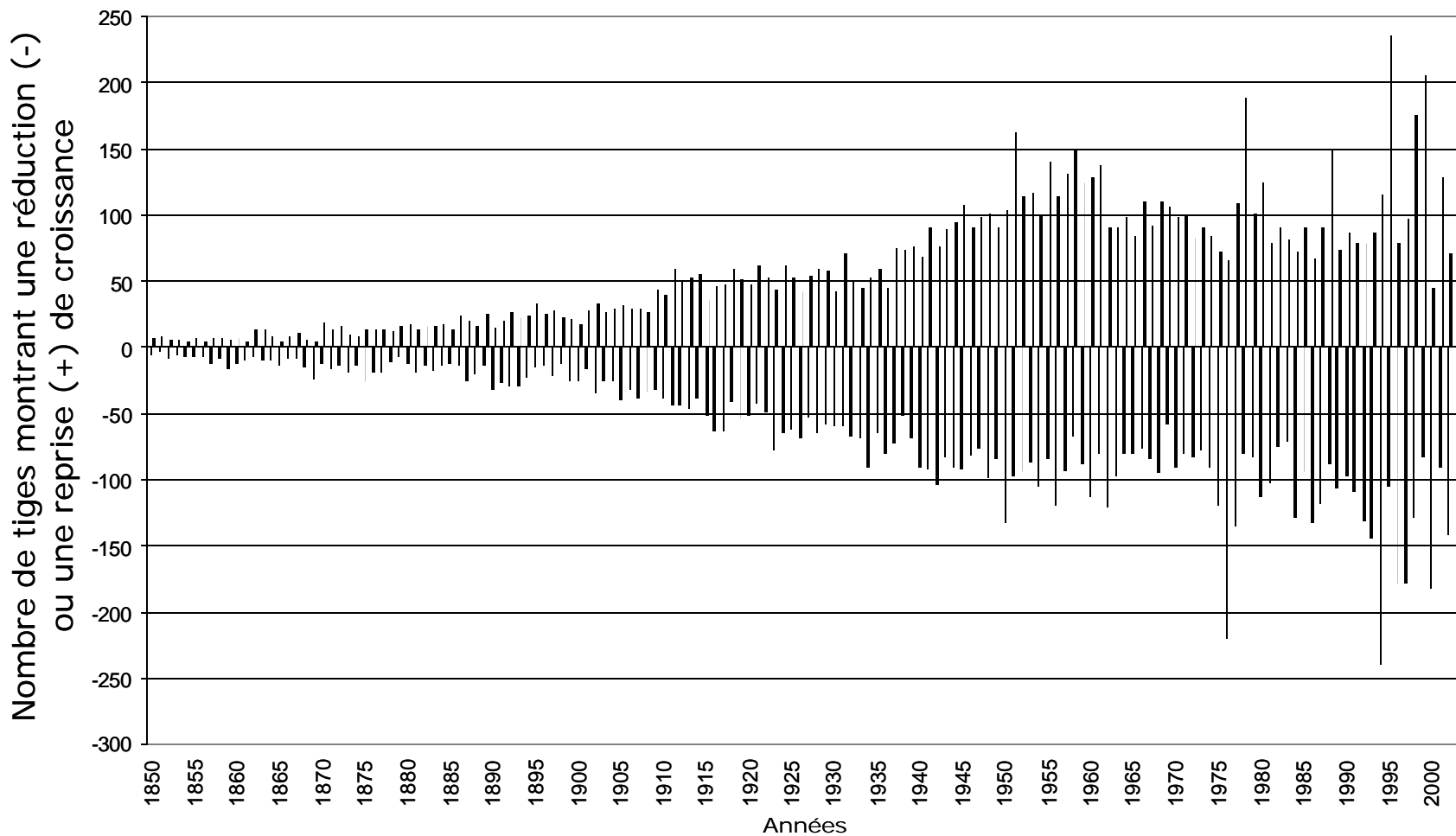


Figure 6. Cumul de tous les peuplements échantillonnés des signaux de réduction et de reprise de croissance par années

Tous les peuplements

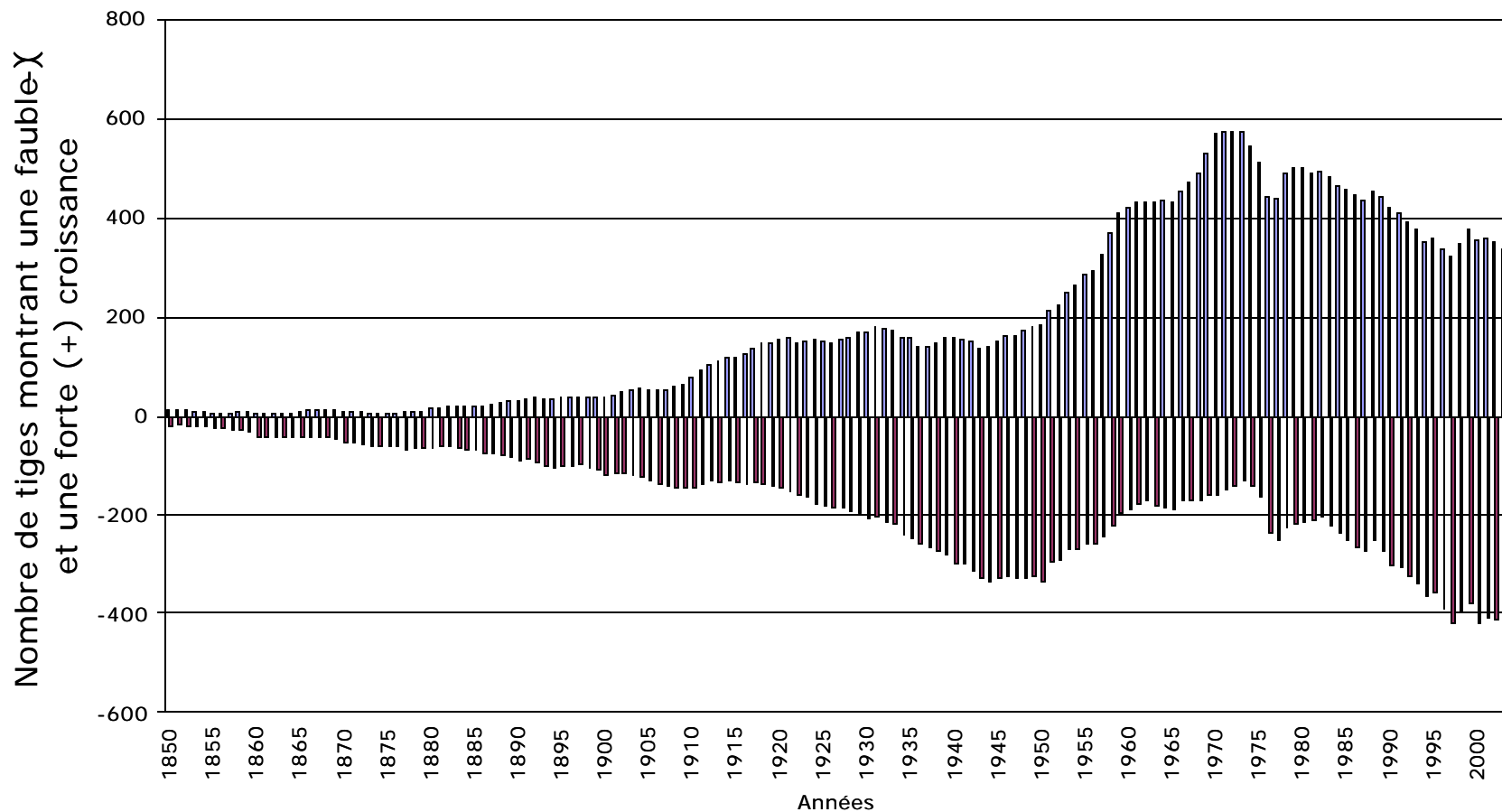


Figure 7. Cumul de tous les peuplements échantillonnés des arbres présentant des croissances faibles ou fortes (+) par année.

Tableau 12. Date des réductions et des détente de croissance et périodes de croissance lente et de croissance rapide pour chaque peuplement.

Peuplements	Suppression	Détente	Croissance réduite	Croissance rapide
L. Averdon	1913, 1942, 1976	1915, 1955, 1979	1940-1950, 1976-1979	1984-1989
Rivière Macaza	1915, 1930, 1946, 1988, 1997, 2000, 2003	1924, 1943, 1977, 1985	1940-1956, 1992-2003	1969-1973, 1985-1990
L. Georgiana	1916, 1976, 1984, 1994, 2003	1929, 1945	1912-1920, 1976-1978, 1994-2000	1961-1973
L. Grasmère	1934, 1943, 1948, 2001, 2003	1935, 1949, 1988, 1990	1877-1886, 1893-1904, 1938-1948, 1964-1971, 1980-2003	1920-1935, 1957-1962, 1971-1979
Ruisseau froid	1929, 1944, 1974, 1986, 1996	1927, 1966, 1988, 1994	1921-1932, 1939-1950, 1976-1977, 1996-2003	1957-1961, 1966-1974
Zone Cerf 06	1901, 1948, 1975, 1991	1847, 1988, 1997, 1998	1888-1894, 1904-1913, 1936-1950, 1994-2003	1952-1961, 1969-1973, 1978-1980, 1987-1988
Petit I. Jacques	1911, 1948, 1957, 1968, 1987	1911, 1966, 1988, 1999	1948-1964, 1989-2003	1969-1974, 1978-1982
L. Vitard	1916, 1934, 1976, 1988, 1997	1902, 1952	1940-1963, 1976-1985, 1991-2003	1915-1920, 1928-1935, 1967-1973, 1986-1988
L. Duchesne	1939, 1980, 1991, 2000		1934-1953, 1997-2003,	1955-1961, 1970-1974
L. Marion Ouest	1950, 1962, 1976, 1986, 1997, 2003	1921, 1951, 1958, 1988, 1998, 1999	1918-1939, 1948-1957, 1987-2003	1914-1917, 1959-1975
Lac Wayagamac Est Vin	1950, 1976, 1984, 1986, 1994, 1996, 2003	1918, 1921, 1951, 1953, 1954, 1961, 1978, 1979, 1988, 1995		1943-1952, 1976-1978
Rivière Bessonne	1938, 1964, 1976, 1977, 1987, 1994, 1996	1986, 1941, 1943, 1978, 1995, 1998, 1999	1937-1940, 1976-2003	1958-1975
L. Trinité	1857, 1956, 1975, 1976, 1994, 1996, 2003	1885, 1939, 1959, 1991, 1995, 1998, 1999, 2001	1921-1930, 1976-2003	1890-1895, 1942-1955,
L. Wayagamac 50	1905, 1913, 1960, 1976, 1977, 2003	1911, 1957, 1958, 1997, 1999	1936-1956, 1966-1972, 1986-2003	1957-1975, 1981-1985

Tableau 11. (Suite)

Lac Wayagamac Ouest Jin	1890, 1907, 1926, 1941, 1950, 1951, 1953, 1956, 1965, 1970, 1976, 1980, 1993, 1994, 1996, 1998, 2000	1903, 1913, 1914, 1932, 1938, 1955, 1957, 1958, 1978, 1988, 1995, 1999	1941-1956	1912-1940, 1958-2003
Lac Wayagamac Ouest Vin	1942, 1953, 1954, 1968, 1990, 1993, 1998	1917, 1938, 1951, 1955, 1956, 1960, 1971, 1977, 1995, 1999, 2001	1943-1955, 1966-1970	1960-1965, 1971-1984
L. Roy	1912, 1921, 1994	1895, 1951, 1970, 1974, 1980, 1995	1994-2003	1955-1995
L. Chiron	1927, 1930, 1950, 1963, 1992, 2000, 2003	1931, 1972, 1974, 1995	1930-1945, 1955-1960	1924-1929, 1961-2003
L. Levesque	1893, 1917, 1925, 1950, 1975, 1989, 1994, 2002, 2003	1934, 1939, 1951, 1968, 1995, 1998	1918-1938, 1940-1945	1908-1911, 1939-1941, 1969-1975, 1987-1989
L. Lebreil	1923, 1943, 1954, 1956, 1959, 1981, 1992, 1994, 2000, 2003	1969, 1960, 1961, 1995, 1998, 1999	1943-1959	1917-1922, 1934-1942, 1963-1984
Rivière Batiscan	1923, 1933, 1956, 1977, 1980, 1994, 1996, 2000, 2003	1924, 1941, 1967, 1996	1926-1948, 1976-1977	1917-1923, 1953-2003
L. en Peine 1	1915, 1962, 1977, 1994, 2000, 2003	1872, 1968, 1978, 1995	1940-1955, 1961-1964, 1976-1978, 1992-2003	1958-1962, 1967-1975
L. en Peine 2	1890, 1923, 1933, 1967, 1976, 1977, 1994, 1997	1918, 1944, 1945, 1968, 1978	1940-1950, 1975-1977	1914-1919, 1966-1974, 1978, 1991
L. Jogot	1906, 1916, 1933, 1976, 1991, 2003	1902, 1911, 1951, 1957, 1961, 1962, 1978, 1994, 1995, 1999	1933-1950, 1976-1977, 1991-1992	1911-1912, 1951-1975, 1978-1990, 1994-2003

Discussion

Les résultats établissent clairement que les peuplements mixtes à bouleau jaune sont composés de tiges originant de différentes périodes de recrutement. En effet, seulement 3 peuplements sur les 24 échantillonnés pourraient correspondre à la définition de peuplement équienne. La majorité des peuplements sont composés soit de deux cohortes ou plus. Les peuplements à 2 cohortes sont généralement de la classe d'âge jeune (6/10) ou moyen (4/10). Les peuplements identifiés comme inéquienne sont essentiellement des peuplements de la classe d'âge vieux (7/8).

Cette caractéristique des peuplements est supportée par plusieurs autres caractéristiques de notre jeu de données. En effet, on observe que l'effectif des populations des espèces d'arbres a une distribution bi-modale en ce qui concerne l'âge des tiges. Il y aurait eu deux grandes périodes de recrutement des tiges dans les dernières 100 années, celles-ci étant distinctes selon l'espèce. Seul le sapin baumier ne montre pas de distribution bi-modale dans son recrutement; son pic d'établissement se situe à 40-50 ans.

Les résultats des périodes de croissances réduites et fortes montrent qu'il y a en moyenne, un événement à tous les 30 ans, qui stimule la croissance, peu importe l'espèce. Cependant, comme le bouleau jaune et les épinettes sont plus longévives, elles expérimentent plus fréquemment cette dynamique. En effet, ces espèces longévives subissent autant de périodes de croissance réduite que de croissance forte alors que le bouleau à papier et le sapin subissent moins de périodes de croissance faible. Ce dernier résultat suggère que la mortalité arrive avant une nouvelle séquence croissance-réduite/croissance-forte.

L'analyse dendrochronologique de périodes de croissance et des signaux de suppression/détente de croissance des peuplements montrent que 2 vagues de croissance sont observables en général, soit deux périodes de forte croissance et 3 périodes de faible croissance, et cela sur une période d'à peu près 100 ans. Ces périodes peuvent être associées à la vague de dépérissement des bouleaux identifiée entre 1940 et 1950 à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) de 1945 et de 1976 pour ce qui est des périodes de croissance faible. Pour ce qui est de l'événement de 1910, les données historiques nous permettent de supposer qu'il s'agirait aussi d'un événement post-épidémies de TBE.

Recommandations

Nos résultats ont dévoilé une dynamique spatio-temporelle complexe pour les peuplements mixtes à bouleau jaune. Cette étude fait la démonstration des points suivants :

- Les peuplements mixtes à bouleau jaune sont spatialement hétérogènes. Ils sont composés de plusieurs types de bouquet, différents en structure, en composition et en quantité de nécromasse.
- La taille des bouquets n'est pas très grande, soit un peu moins que 200 m².
- Les peuplements d'âge moyen sont les plus contrastés en bouquet de types différents.
- Des arbres vétérans sont presque toujours présents dans les peuplements, même les jeunes. Ces vétérans sont des bouleaux jaunes et des épinettes.
- Les peuplements étudiés sont composés généralement de plusieurs cohortes, généralement 2, s'établissant approximativement à tous les 40-60 ans.
- Les peuplements à structure inéquienne sont importants, surtout dans la classe des vieux peuplements. Dans ces peuplements inéquiennes, les gros arbres sont des bouleaux jaunes et des épinettes établis depuis 100-150 ans, originant au moins de deux cohortes précédant la dernière établie.
- Il y a une séquence croissance-réduite/croissance-forte (CR/CF) à tous les 30 ans.
- Le bouleau jaune et les épinettes passent par plus de séquences CR/CF compte tenu de leur longévité.

À la lumière de cette synthèse, il nous apparaît que les peuplements mixtes à bouleau jaune sont structurés par deux régimes de perturbations superposés :

- 1) Un régime de perturbations partielles dont les acteurs principaux sont les épidémies de TBE, pouvant être suivi de chablis, qui eux peuvent être suivi de dépérissement (tel qu'observé entre 1940 et 1950);
- 2) Un régime de micro-trouées dû au remplacement arbre-par-arbre (« gap phase »), contrôlé par les bouleaux jaunes de grandes tailles.

Notre modèle démarre après une perturbation catastrophique. Après perturbation catastrophique (TBE sévère suivi de chablis et dépérissement en cime ou feu), une première cohorte s'installe, composée d'une composition hétérogène où les

bouleaux, les épinettes et le sapin sont présents (Figure 8). Des vétérans (symbole « V » dans les arbres), reliques du peuplement précédent, forment une strate supérieure éparse, leur taille étant dépendante de l'âge du peuplement depuis la dernière perturbation catastrophique. Ce peuplement se développe en une mosaïque de bas et de haut perchis.

Dans le cas qu'il n'y ait pas d'autre perturbation catastrophique, ce peuplement a de forte probabilité de subir une perturbation partielle (Perturbation partielle 1), probablement due à une épidémie de TBE qui revient à tous les 30 -40 ans (Figure 8). À ce moment, pratiquement toutes les hautes perches de sapin de cette cohorte meurent avec quelques épinettes, laissant alors les bouleaux (incluant les vétérans de bouleau jaune) et quelques sapins et épinettes. S'établit alors une deuxième cohorte (symbole « 2 » dans les arbres) composée de bouleau jaune, sapin baumier et épinettes.

S'installe alors le premier mode de dynamique permanente, soit le mode multi cohorte irrégulier. Ce peuplement de 2 cohortes se développe et vient alors un moment où une deuxième épidémie de TBE vient à modifier le peuplement. Deux voies dynamiques s'offrent dans ce modèle (A et B, Figure 8). Cette deuxième perturbation partielle s'attaque encore au sapin de la dernière cohorte établie (« 2 ») et ceux restant de la cohorte précédente (« 1 »), ainsi qu'à quelques épinettes. Le bouleau à papier dépasse alors son âge de maturité et meure subséquentement à cette perturbation. S'établit alors une troisième cohorte (« 3 ») de bouleau jaune, d'épinettes et de sapin. Plusieurs cohortes composent alors ce nouveau peuplement (« V », « 1 », « 2 », « 3 »). Si cette perturbation est assez importante, un retour à une structure irrégulière est privilégié (voie A, Figure 8). Si cette perturbation partielle est plus légère, le peuplement aura alors tendance à se diriger vers une structure inéquienne (voie B, Figure 8).

À partir de ce moment, le régime endogénique de remplacement arbre-par-arbre devient important puisque le bouleau jaune contrôle l'environnement de croissance. Les vieux arbres meurent et se renversent pour produire des microsites adéquats à ces essences. Les perturbations partielles demeurent importantes mais ne font que maintenir la composition et la structure de ce peuplement (voie C, Figure 8).

Viendra un moment où une perturbation catastrophique pourra renverser l'une ou l'autre de ces deux dynamiques et ramener l'écosystème à l'état de départ de notre

modèle conceptuel. Cette perturbation peut-être une combinaison de différentes perturbations sévères (voie D, Figure 8). La moyenne de l'âge maximal des arbres par peuplements nous indique que la période moyenne sans perturbation catastrophique est d'au moins 194 ans.

Nous proposons un système sylvicole basé sur ce modèle conceptuel. Notre étude a permis de distinguer deux structures abondantes dans les peuplements mixtes à bouleau jaune : un premier type de peuplement irrégulier avec 2 cohortes et quelques vétérans et un deuxième de type inéquienne. Quatre voies sylvicoles permettrait de reproduire ce système (A, B, C, D dans Figure 8).

Le système sylvicole irrégulier 1/3 :2/3.

Un premier système qui viserait à maintenir le type de peuplement irrégulier avec 2 cohortes et quelques vétérans correspondrait (voie « A » du modèle conceptuel). Cette voie se traduirait par un système sylvicole irrégulier avec 2 passes, se rapprochant du « Two-cut system ». Par cette approche, approximativement 50% de la surface terrière est récoltée à tous les 50 ans. Afin de maintenir les cohortes du haut, 1/3 de la récolte se fait dans la strate supérieure (16.7% de la surface terrière) en ordre de priorité suivante : le sapin, le bouleau à papier, les épinettes et le bouleau jaunes. Il est important de garder quelques vétérans de bouleau jaune et d'épinette à environ 2 m²/ha. Le reste de la récolte se fait dans la strate inférieure (33.3% de la surface terrière) et vise à récolter en priorité le sapin baumier. Ainsi, un peuplement mixte à bouleau jaune de 30 m²/ha originant d'une perturbation catastrophique voilà 50 ans serait alors traité en récoltant 9 m²/ha de petits fûts de sapins (autour de 20 cm selon la croissance moyenne observée) et 6 m²/ha de grands fûts. La répartition spatiale de ce traitement ne doit pas être systématique, par pied d'arbre, mais plutôt de façon irrégulière, par bouquets de 200 m².

Cinquante ans plus tard, les nouveaux petits fûts de sapin (accompagnés d'un peu de bouleau jaune, d'épinette et parfois de bouleau à papier) constitueront une nouvelle strate inférieure alors que dans la strate supérieure auront été maintenues les cohortes « 2 » et « 3 » des grands fûts qui caractérisent cette structure. Il sera alors possible d'effectuer un prélèvement similaire car ce système irrégulier peut être perpétuer sans fin et maintenir une structure multi-cohorte avec vétérans. Ce système sylvicole devrait couvrir, d'après nous, entre de 40 et 60% des cas des peuplements mixtes à bouleau jaune.

Le système sylvicole inéquienne.

Ce système sylvicole vise à reproduire la voie « C » de notre modèle conceptuel. Il s'applique lorsque le peuplement a atteint un état où le nombre de cohortes en présence est élevé (3 et +). C'est probablement dans cet écosystème, lorsque sa structure le recommande, que le jardinage avec un prélèvement à tous les 30 ans est le plus appropriée au Québec puisque nos analyses montrent que les arbres de cet écosystème passent par une séquence de croissance-réduite/croissance-forte à tous les 30 ans.

Dans ce jardinage, afin de reproduire la dynamique naturelle, il serait préconisé de prélever le sapin avec un diamètre limite (DHP 30 cm) afin de maintenir 2 cohortes de sapin en permanence. En ce qui concerne le bouleau jaune et les épinettes, le prélèvement peut se faire dans toutes les classes de diamètre, tout en maintenant un 2 m²/ha de vétérans (DHP >= 50 cm). Ce système peut lui aussi être utilisé à perpétuité. Ce système sylvicole devrait couvrir entre 30 et 40% des peuplements mixtes à bouleau jaune.

La répartition spatiale des interventions doit se faire par groupes d'arbres (ou bouquets) de 200 m². Ainsi, pour bien appliquer ce mode de prélèvement, il serait avantageux de faire des petites ouvertures dans les endroits où le sapin est abondant. Ces ouvertures sont jugées être suffisantes pour la régénération du bouleau jaune et des épinettes.

Le passage de l'irrégulier à l'inéquienne.

Bien que ces deux premiers systèmes sylvicoles puissent s'appliquer à perpétuité dans un peuplement, ils ne sont pas indépendants l'un de l'autre dans le paysage. En effet, il y aura, de façon plus réduite dans le paysage, des fois où il y aura passage d'un système à l'autre. Ces voies sont aussi intéressantes du point de vue de l'aménagement puisqu'elles permettent de re-balancer les deux systèmes principaux dans le paysage.

Pour ce qui est du passage de l'irrégulier à l'inéquienne (voie « B »), il suffit d'appliquer le système sylvicole inéquienne à un peuplement irrégulier de 2 cohortes. En réduisant le prélèvement à 30 %, le peuplement prendra une structure inéquienne rapidement. Cette voie sylvicole de transition n'amène donc rien de

nouveau en terme de sylviculture. Elle s'appliquerait à 5 à 10 % des peuplements mixtes à bouleau jaune.

Le passage de l'inéquienne ou de l'irrégulier à l'équienne.

La dernière voie à être représentée est celle qui permettrait de passer du système de sylviculture inéquienne ou irrégulière au stade équienne (voie « D »). Elle vise à représenter une perturbation catastrophique qui élimine la majorité des tiges le type de perturbation auquel ce système fait alors référence est probablement une épidémie de TBE sévère suivie d'un chablis total (et peut-être le feu en plus faible partie). La sylviculture qui serait appropriée pour représenter ce phénomène semble être la coupe progressive d'ensemencement par bouquets. Nous préconisons d'appliquer cette sylviculture dans les vieux peuplements inéquiennes ou irrégulier qui n'aurait plus de recrutement en bouleau jaune et épinettes depuis plusieurs années (pas de perches) et dont les tiges de bouleau jaune du couvert supérieur sont de basse qualité. Par cette forme de coupe, un premier passage serait effectué pour récolter 50% de la surface terrière en priorisant le sapin (des gros, au petit), puis les épinettes (petites). Cette première passe se fait sur 50 % de l'aire de coupe, par bouquets. Un deuxième passage viserait à récolter, 10 années plus tard, le couvert supérieur des ouvertures effectuées dans le premier passage et 50% de la surface terrière de l'autre superficie de l'aire de coupe restant en utilisant les directives du premier passage. Finalement, la dernière passe s'effectue 20 années après le premier passage et vise à récolter le couvert supérieur restant. Cette sylviculture s'appliquerait sur 5 à 10 % des peuplements mixtes à bouleau jaune.

Bien sûr les pourcentages d'utilisation des différents systèmes sylvicoles dans le paysage qui sont proposés sont spéculatifs. Ils sont dépendants aussi de la nature de la forêt en place. Par exemple, les systèmes sylvicoles de transition (voie B et voie D) visent à reproduire le passage d'un système de perturbations partielles au régime de remplacement arbre-par-arbre et l'inverse. Ces transitions de régimes de perturbations sont peut-être plus importantes dans la nature que proposées ici. Cette étude ne permet pas de définir qu'elle serait l'importance de ces différents systèmes sylvicole dans le paysage mais les pourcentages proposés peuvent servir de point de départ pour une gestion écosystémique du paysage par l'utilisation d'une sylviculture proche de la nature.

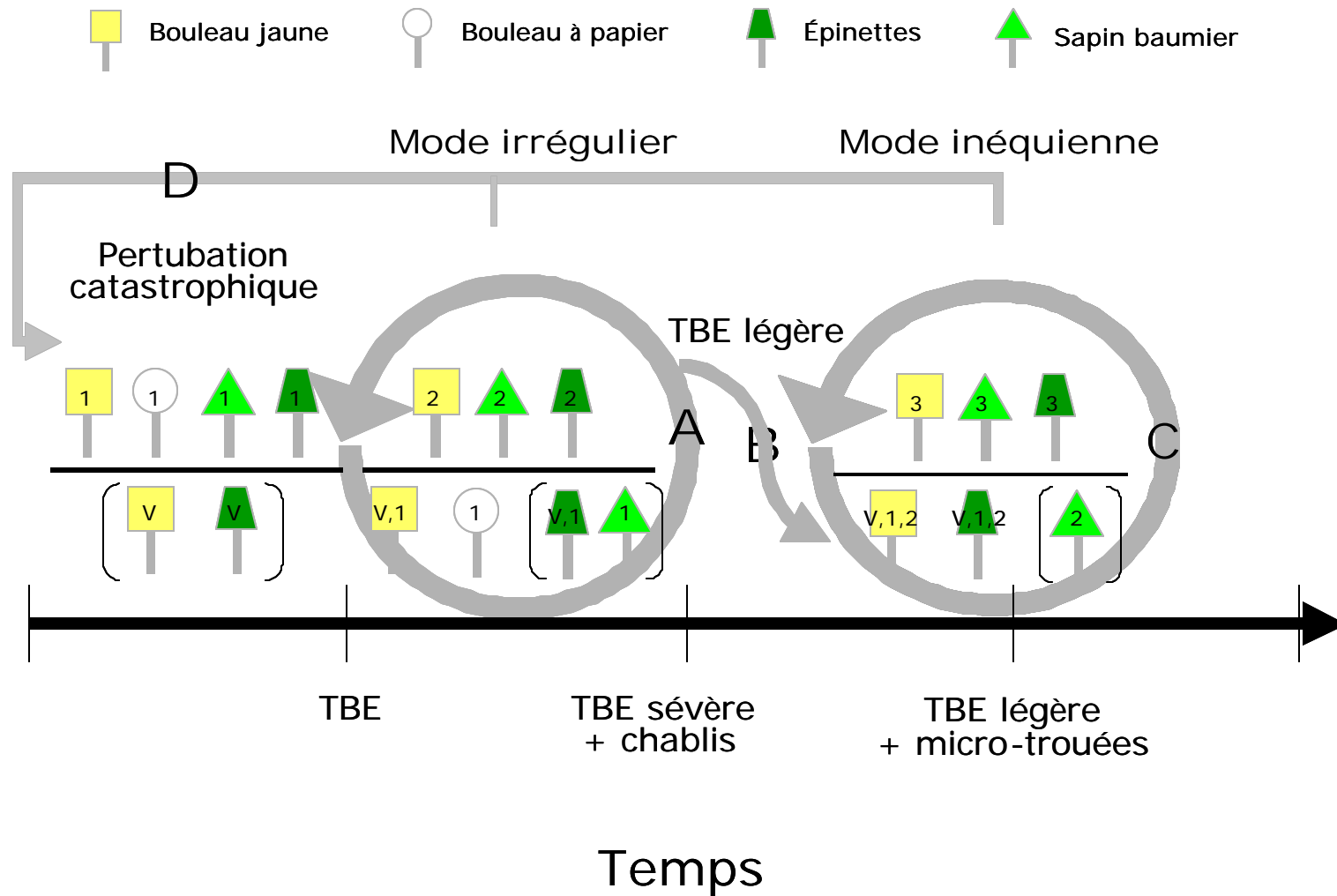


Figure 8. Modèle conceptuel de la dynamique des peuplements mixtes à bouleau jaune. Les chiffres représentent les cohortes selon lors ordre d'établissement. Voir le texte pour l'explication des différentes voies dynamiques (A, B, C, D)

Références

- Doyon, F., P. Nolet et P. Sabbagh. 2003. Pour un retour du sylviculteur: la sylviculture par objectifs. *Aubelle* 143 : 12-15.
- Gower, J. C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27:857-871.
- Legendre, L. et P. Legendre. 1984. *Écologie Numérique. Tome 2 – La structure des données écologiques.* Masson (Paris) et Presses de l'Université du Québec (Québec). 335p.
- Neu, C. W., C. R. Byers, et J. M. Peek. 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. *Journal of Wildlife Management* 38 : 541-545.
- SPSS Inc. 2002. *Statistical Package for Social Science for Windows, Version 11.5.0.* Chicago, Illinois.

ANNEXE 1

Cartographie des bouquets

LÉGENDE

Composition des peuplements

- Feuillu
- Mixte
- Résineux

Structure des bouquets

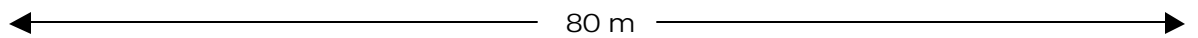
- bF: basse futaie inéquienne
- bFO: basse futaie ouverte
- bP: bas perchis
- bPG: bas perchis/gaulis
- hF: haute futaie
- hFI: haute futaie inéquienne
- hP: haut perchis
- hP/V: haut perchis sous vétérans
- mF: futaie
- mFI: futaie inéquienne
- mFIN: futaie inéquienne à forte nécromasse
- mFN: futaie à forte nécromasse
- mF/V: futaie de vétérans

Degré de similarité

- de 0 à 281.75
- de 281.76 à 406.25
- de 406.26 à 530.75
- de 530.76 à 655.25
- de 655.26 et +

Lac Averdon, Basses Laurentides : Jeune

bF	bFO	bF	bF	bF	HF	mFIN	bFO
bF	hP/V	bF	hP	bF	BF	bFO	hP
mFIN	bF	bF	bF	bF	HF	bF	bF
mF	mFN	bF	bF	bF	BF	bF	bF
bF	bF	bF	bF	bF	BF	bF	bFO
bFO	bFO	hP	hF	bFO	BF	bF	bFO
bFO	bF	bF	mFI	bF	BF	hP	bF
hF	bFO	hP	bF	bF	MF	bF	bFO



46° 37' 22,5' N
74° 40' 04,6' W

Rivière Macaza, Basses Laurentides : Jeune

hP	hP	bF	HP	mF	hP	mF	mF
hP	bP	hP/V	HFI	hP	bP	bP	hP
mF	bP	hP/V	HP	bPG	hP/V	hP/V	hP
hP	hP	hP	BP	bP	hP	bP	hP/V
hP/V	mFIN	mFIN	HP	bP	bP	bP	hP
bP	bP	hP	BP	hP	mFI	hP/V	bPG
bPG	hP/V	hP/V	hP/V	hP/V	bP	bP	bP
hP/V	hP/V	bF	HP	hP/V	hP/V	bP	bP

← 80 m →

46° 34" 36,3' N
74° 34" 23,1' W

Lac Grasmère, Basses Laurentides : Moyen

hP	bP	mFN	mFN	mFN	hP	mFN	hP
hP	hP	hF	bF	mFI	bFO	hP	hP
hP	bP	mF	mFIN	bFO	bF	hP	hP
hP/V	hP	bF	bF	mF/V	hP/V	mFIN	mFI
hP	mFIN	bF	mFIN	bF	bP	mFI	mFI
bF	bF	hP/V	bF	bP	hFI	hF	hP
bF	bF	hP	bF	hP	hP	hF	mFI
bF	bF	hP	bF	mFI	hP	hP/V	bP

← 80 m →

46° 38" 18,3' N
74° 40" 30,7' W

Lac Georgiana, Basses Laurentides : Moyen

hP	hP	mFN	bF	hP/V	hP	hP	hP/V
bF	hP	hP	hP	hP	hFI	hP	mFIN
mFIN	bF	hFI	hP/V	mFIN	hP	hF	mFIN
bF	hP	bF	mFIN	bP	hF	hP	mF
mFIN	hFI	hFI	bF	hP	hP	hP	hP/V
bP	hP	mFIN	hP	hP	hP	hP	hP
bP	hP	hP	mF	mFI	mFI	mF	mFI
hF	mFI	mFIN	mFIN	hP	hP	hF	hP/V

← 80 m →

46° 38" 28,2' N
74° 37" 47,0' W

Lac Vitard, Basses Laurentides : Vieux

hP	hP	bFO	mFIN	hP	hP	hP	mFIN
hP	mFI	mFI	mFIN	mFIN	mFI	hP	hP
hP/V	bPG	bP	hP	hP/V	mFI	hP	bP
bPG	mFIN	hP	bP	bP	hP	bP	hP/V
bP	mFIN	bPG	bP	bPG	bPG	bF	hP/V
hP	mFN	bP	hP	hP/V	hP	bP	hP/V
hP	bP	bP	bP	hP	hP	bP	hP
bP	bP	bP	bPG	hP	bPG	hP/V	hP

← 80 m →

46° 36" 50,1' N
74° 39" 52,8' W

Petit Lac Jacques, Basses Laurentides : Vieux

mFI	bPG	hP	mF	hP	bP	bP	hP
hP/V	hP	mF	hP	hP	hP/V	bP	mFIN
bP	hP	hP	hP/V	hP	hP/V	hP	mFI
bP	bP	bF	hP/V	bP	bP	bPG	bPG
hP/V	bP	mFI	mFIN	bP	hP	hP	mF
bP	bP	hP	hP	bP	bP	bPG	bPG
hP	hP	hP	hP	bP	mFIN	mFI	hF
bP	bP	bP	bP	mFI	bP	mFI	mFI

← 80 m →

46° 37" 12,5' N
74° 40" 02,6' W

Lac Duchesne, Haute Mauricie : Jeune

hP	bFO	hFI	bF	bF	hP	hP	hP
hP	hP	hF	bFO	mFIN	mFIN	bF	mFIN
hP	hP	mFIN	hP/V	bF	hP	mFIN	bFO
bF	hP	hP	bF	mFI	hP	bF	bFO
hP	bP	hP	hP	bF	hP	hP	bP
bP	mF/V	hP	bF	hP/V	hP	bF	hP
hP	bP	hP/V	hP	hP/V	bF	hP	hP
bP	bP	hP	bP	hP	bP	bP	bP

← 80 m →

47° 21" 30,3' N
72° 41" 43,7' W

Lac Wayagamac Est 50, Haute Mauricie : Moyen

hP	hP	hP	hFI	hP	hP/V	hP	hP
hP/V	hP	mFI	hP	bPG	bPG	bF	hP/V
hP	bF	bP	hF	hP/V	hP	hP	bPG
hP/V	mF/V	hP/V	hP/V	hP/V	hP/V	mF	bPG
bF	mFI	bP	bP	bP	bP	bP	bP
bF	hP/V	hP	bP	bP	bPG	hP	bF
hP/V	hP/V	bPG	bP	mFIN	mF	hP	hP
mFI	hP	hP/V	bPG	hF	mFIN	hP	mFI

← 80 m →

47° 21" 29,5' N
72° 34" 59,3' W

Lac Trinité, Haute Mauricie : Moyen

bP	bP	bP	bP	bP	bF	hP	bF
bP	hP	hP	hP	bP	hP	hP	hF
hP/V	hP/V	hP/V	bP	hP/V	hP/V	bP	hP
hP/V	hP/V	bF	bP	hP/V	bF	mFIN	hP
hF	bF	hP/V	hP/V	bP	bF	bF	hP/V
bF	bF	bF	hP	hP	bP	hP/V	hP
hP/V	hP/V	hP	hP	bF	bF	hP/V	hF



47° 18" 19,5' N
72° 34" 31,8' W

Rivière Bessonne, Haute Mauricie : Moyen

hFI	hFI	mF	mFI	hF	hP	bF	hP
hP	hP	hP	mF	mF/V	mFIN	bF	hP
hP/V	bPG	hP	hP	mF	hP	bF	bF
bPG	mFIN	hP	hP	hP/V	bF	hP	mFI
mFI	hP	bP	hP	mF/V	hP	hP	mFIN
hP/V	mFIN	bP	mFIN	mF/V	mF	hP	hP
hP	hP	hP	hP/V	hP	mF/V	bF	mFIN
mFI	bF	hF	hP	hP/V	mFI	hP/V	bF

← 80 m →

47° 20" 39,7' N
72° 34" 19,8' W

Lac Wayagamac O. Jin, Haute Mauricie: Vieux

mFI	hP/V	mFI	hP	hP	hP	mFIN	hP
hP/V	mFI	hP	hP	hP	mFI	hP	hP
mFIN	bFO	hP	mF	mF/V	bP	bPG	bF
hP/V	hP	bP	mFI	HP	bP	hP	mFIN
hP	bP	hP	hF	HP	mFIN	hF	bFO
hP	bP	hP	mFI	HP	hF	bFO	mFIN
mF	bP	hP	hP	mFI	hP	hP	mFI
bP	bP	mF	mF/V	hP	hP	hP	bF

← 80 m →

47° 21" 50,6' N
72° 40" 38,1' W

Lac Marion Est, Haute Mauricie: Vieux

hP	bF	hP	hP	hP	hP	hP	mF
bF	mFI	mF	mF	mF	mFI	hF	hP/V
bF	bF	mF	bF	bP	bP	bF	hP/V
bFO	bF	bF	mF	mFI	mF	mFIN	bF
mF	mFI	hP	hP	mF	bPG	mF	hP/V
hP	hP	hP	hFI	bP	mF	mF	hP
bPG	hP	mF	hP	hP	hP	hP	hP
hP	bP	mFI	hP	hP/V	mFI	hP	hP

← 80 m →

47° 20' 31,6" N
72° 33' 12,1" W

Lac Wayagamac O. Vin, Haute Mauricie: Vieux

bF	hP	HP	bF	mFIN	mFI	hP	mFI
hP	hP	bFO	mF/V	hP	hP	hP	mFIN
mFIN	hF	mFIN	hF	hP	hF	bF	hF
hF	hF	bF	hP	bFO	mFIN	bF	hP
mFIN	mFI	hP	hP	bF	mFI	mFI	hP
mFI	mFIN	hP	mFI	hP	mF/V	mFI	hP
hP	hF	mFIN	bF	bF	hF	hP	bPG
hP	bF	hP	hP	bF	hF	hF	mFIN

← 80 m →

47° 21" 46,9' N
72° 40" 22,8' W

Lac Parke, Portneuf: Jeune

bPG	hP	hP	hP	hP	bF	hP	mFI
hP/V	bP	hP	bF	bF	hP	mFI	bP
bP	hP/V	mFIN	mFI	bF	mFI	bF	bF
bP	hP	bP	hP	bF	hP	bF	hP
mF	hP	hP	bPG	bP	bPG	bPG	bP
mFI	bF	hP/V	hP	bP	bP	mF	hP
bF	bPG	bF	hP	bF	hF	bP	bPG
hP	hP	bF	mF	hP	bF	hP	bF

← 80 m →

47° 05" 01,3' N
72° 03" 43,7' W

Lac Chiron, Portneuf : Jeune

hP	hP/V	bP	hP/V	hP/V	hP	bP	hP
mFI	hP/V	hP	hP	mFIN	bP	mFI	hP
hP	mF/V	bP	mFI	bF	bF	bFO	mFI
mFIN	bF	bF	bP	bFO	hP/V	hP	mFI
hP/V	bF	hP	mFI	mFI	hP	hP	hP/V
hP/V	hP	mFIN	bP	bF	bF	mFI	hP/V
bF	bFO	mFI	mFI	mFI	mFIN	hP	hF
bP	hP	bF	hP	mFI	bF	hP	hP

← 80 m →

47° 05' 31,2" N
72° 58' 44,8" W

Lac Roy, Portneuf: Jeune

bF	bF	hF	hP	mFI	mFIN	hP	hP
hP	mFIN	bP	mFI	hP	hP	mFIN	mFI
bF	bFO	bFO	bF	hP	mFIN	hP/V	hP/V
mFI	bF	hF	bF	mFIN	bP	hP	bFO
hP/V	hP	mFI	bP	mFIN	bFO	hF	mFI
hP	mFI	mFIN	bF	hF	bFO	bFO	mFIN
bF	hP	hP	hP	mFIN	hP	bF	bFO
mF	hP	bF	hP	bF	mFIN	bF	bP

← 80 m →

47° 12" 58,1' N
72° 06" 38,1' W

Lac Lebreil, Portneuf : Moyen

mFIN	mF	bP	hP	hP	hP	mFI	hP/V
bPG	hP/V	mFI	bF	hP	hP	bP	hP
hP	hP	hP/V	bF	hP	bPG	hP	bP
hP	mFI	hF	hP	bPG	hP	bPG	hP
mFIN	bF	mFIN	mF	bP	bP	hP	mF
bF	bFO	bFO	bPG	bP	bF	bF	hP
hP	mFIN	hP	bF	bF	bP	hP	hP/V
hP	hP	bP	hP	mF	bF	mF	bP

← 80 m →

47° 12' 25,1" N
72° 06' 14,6" W

Lac Lévesque, Portneuf : Moyen

bF	mFIN	mFI	bP	bF	hP	hP	bF
hP	mFI	hP	bFO	bP	hP	bF	hP
mFI	bF	bP	hP	hFI	hP	hP	mFIN
hP	hP	mFIN	mFIN	bP	mFI	hP/V	bP
hP	hP	hP	mF/V	mFI	hF	mFI	bFO
hP	hP/V	mF/V	bP	hP	mF/V	hP	hP
hP/V	hP/V	mFIN	hP	bF	bF	hP/V	bF
hP	bF	mFIN	mFI	mF	hP	hF	bF

← 80 m →

47° 01" 58,0' N
72° 06" 54,9' W

Petit Batiscan, Portneuf : Moyen

hP	bP	mFI	bP	hP	hP	mF	mFI
hP	hP	bF	hP	hP	hP	mFI	hP
hP	bF	mF/V	bF	bF	bF	bFO	hP
mFN	bFO	bF	bFO	bF	hF	bF	bF
hP	hP	bF	mFIN	bF	mFN	mFI	bF
hP	bFO	hP	mF/V	bF	bF	hP	hP
hP	hP	hP	hP/V	mFI	hP	mFI	hP
mFI	bP	mFI	mFI	bF	hP	hP	mFI

← 80 m →

47° 04" 03,1' N
71° 59" 00,2' W

Lac en Peine II, Portneuf : Vieux

bF	hP/V	hP/V	bF	hP/V	mF	bP	hP/V
hP	bP	hP	hP	hP/V	hP	mFIN	hP/V
bFO	hP	bF	hP	hP/V	mFIN	hP	hP/V
hF	mFIN	hP	hP	mFIN	bP	hP	hP/V
hP	hP	hP/V	hP/V	hP	bP	bF	hP
hP	mF/V	bF	bP	bP	bP	mF/V	hP
hP	mFI	mF	hP	hP/V	hP	hP/V	hP
hP/V	hP	bP	hP	mF	hP	bP	bP

← 80 m →

47° 00" 05,2' N
72° 07" 46,3' W

Lac en Peine I, Portneuf : Vieux

hP	bP	hP	bP	bP	hP	bP	bF
hP/V	mF/V	hP	mF/V	hP	mFIN	hP	hP
hP/V	hP	bP	hP/V	hP/V	mFIN	bP	hP
hP/V	hP	bP	mFI	hP	hP	mFI	bPG
bF	mFI	mF/V	bP	mF/V	bF	hP	mFI
hP/V	hP	mFI	mFI	mFIN	bFO	mFI	bP
hP/V	hP/V	bF	hP	hFI	hP	hP	mF
mF/V	bP	hP	bP	hP	hP	bF	hP

← 80 m →

47° 00" 01,4' N
72° 08" 06,9' W

Lac Jogot, Portneuf: Vieux

bP	hP/V	hP	bP	hP/V	hP	hF	bP
hP/V	hP/V	bPG	bP	hP/V	hP	hP	bP
bPG	bPG	bPG	hP/V	BP	bP	hP	bP
bPG	bF	bPG	hP	HP	bP	bP	bP
bP	hP/V	mFN	hP	bP	bP	bP	bP
hP	hP/V	bPG	hP	bP	hP	bP	bP
bP	bP	hP/V	mFN	hP	hP	hP	hP
hP	mFN	bPG	bP	bP	bP	bP	hP

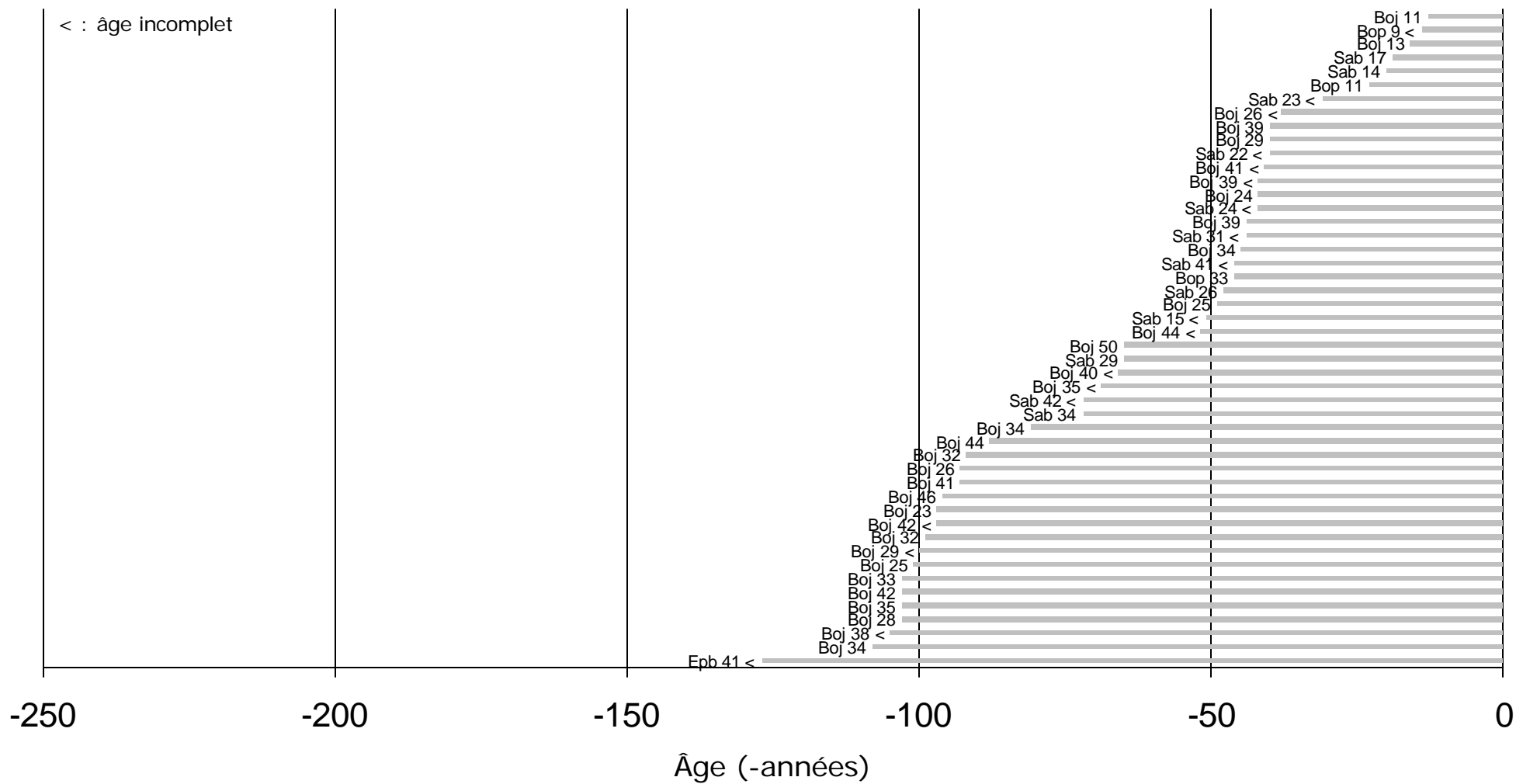


46° 59' 51,6" N
72° 05' 05,8" W

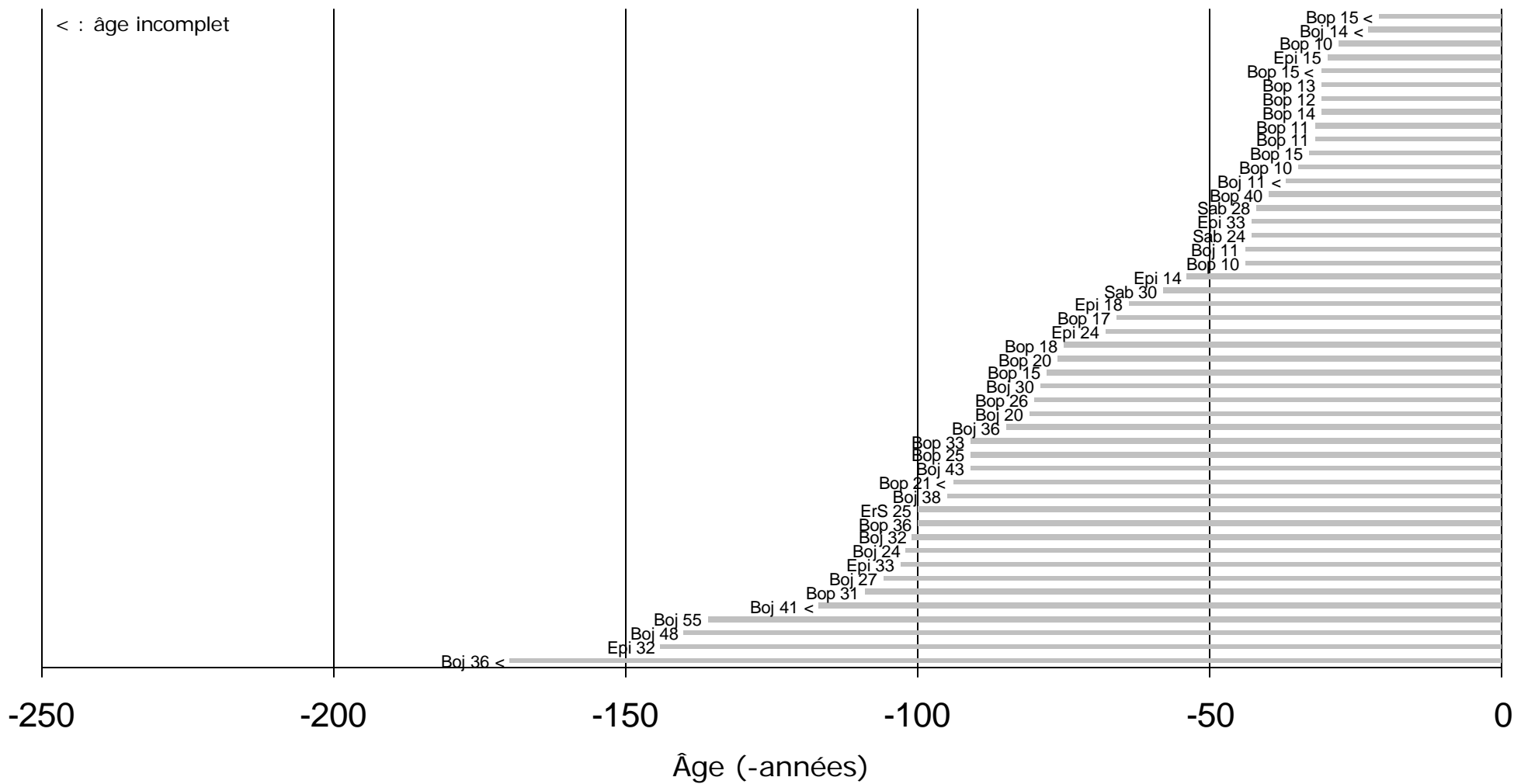
ANNEXE 2

Structure d'âge des peuplements échantillonnés

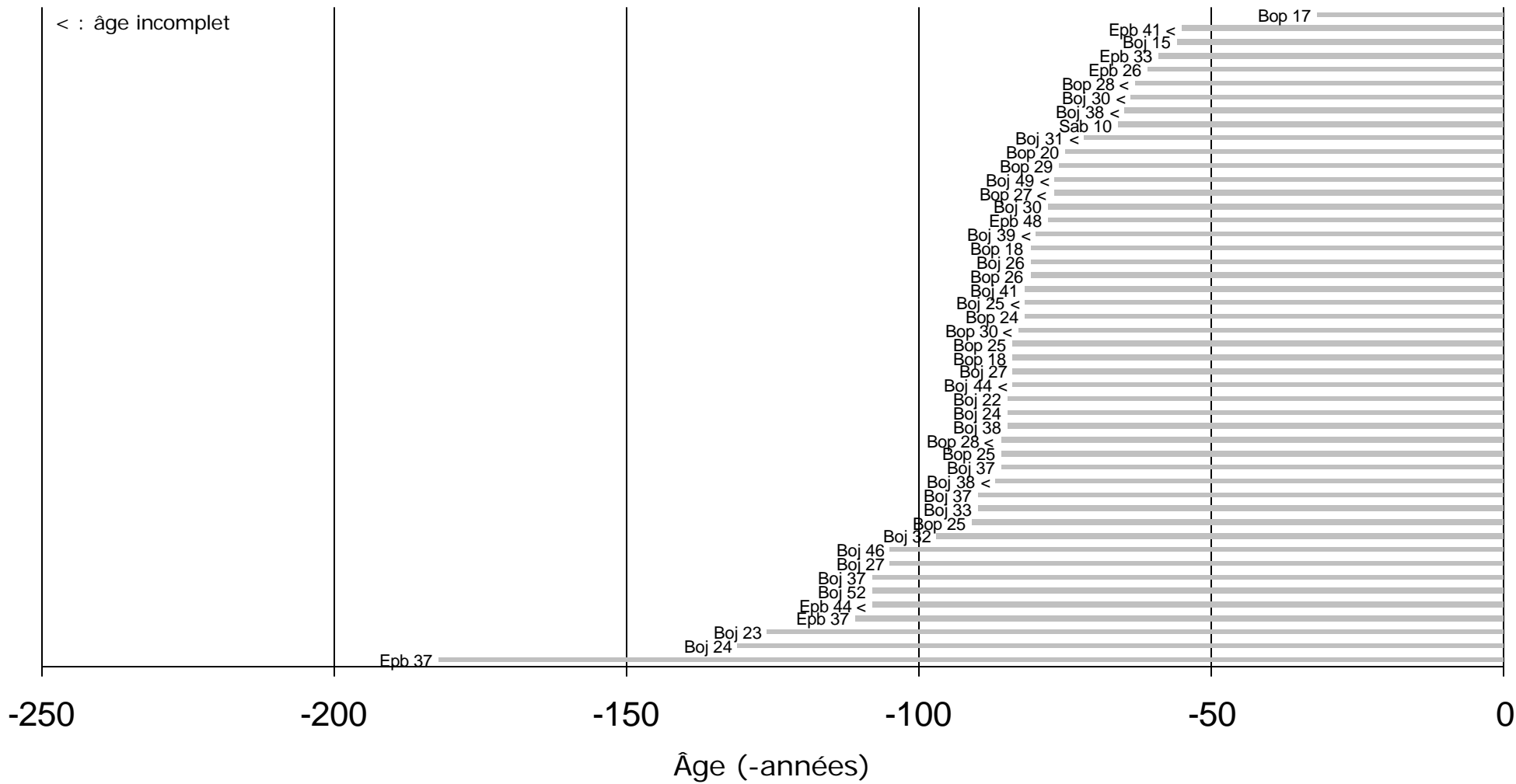
Lac Averdon, Basses Laurentides: Jeune



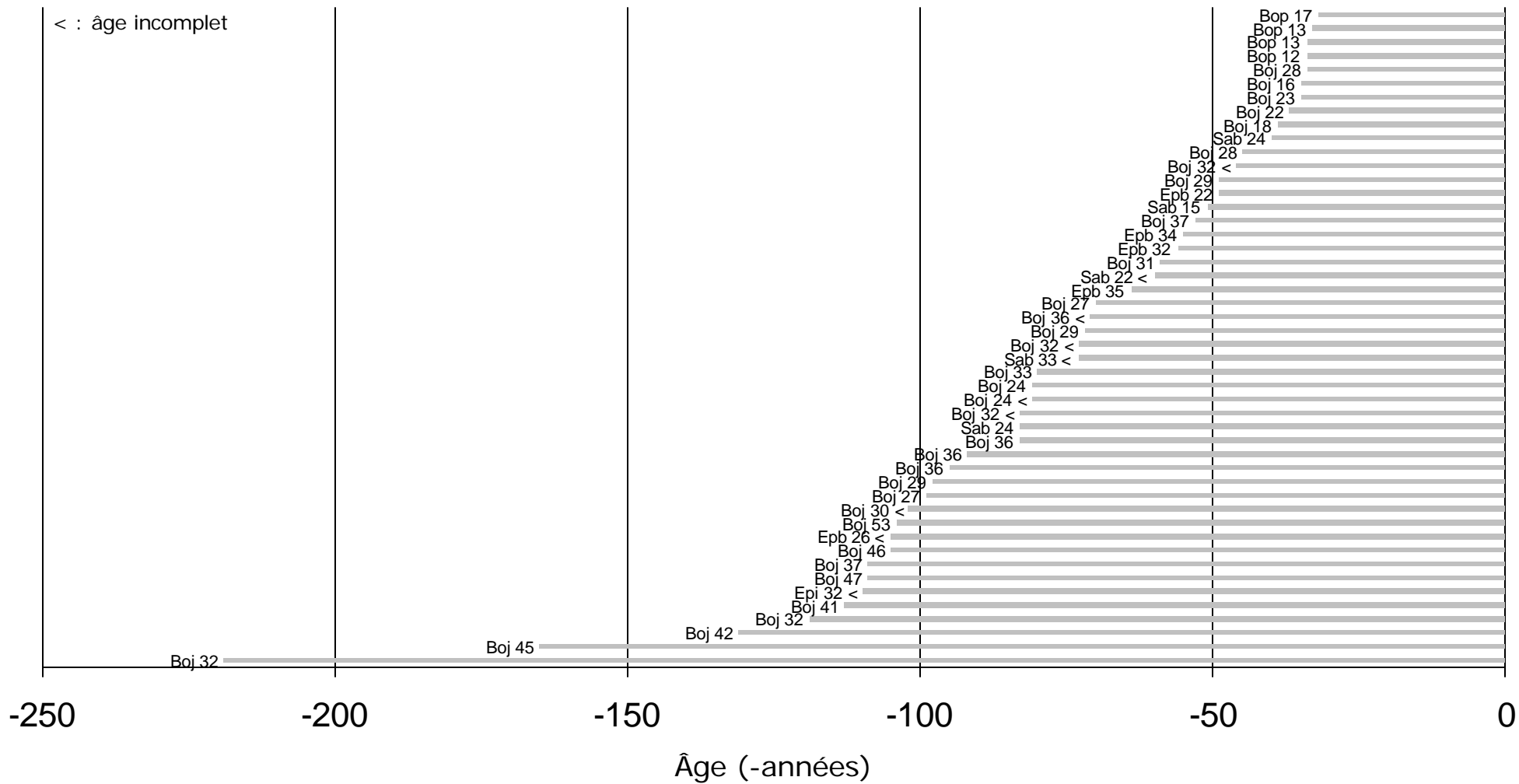
Rivière Macaza, Basses Laurentides: Jeune



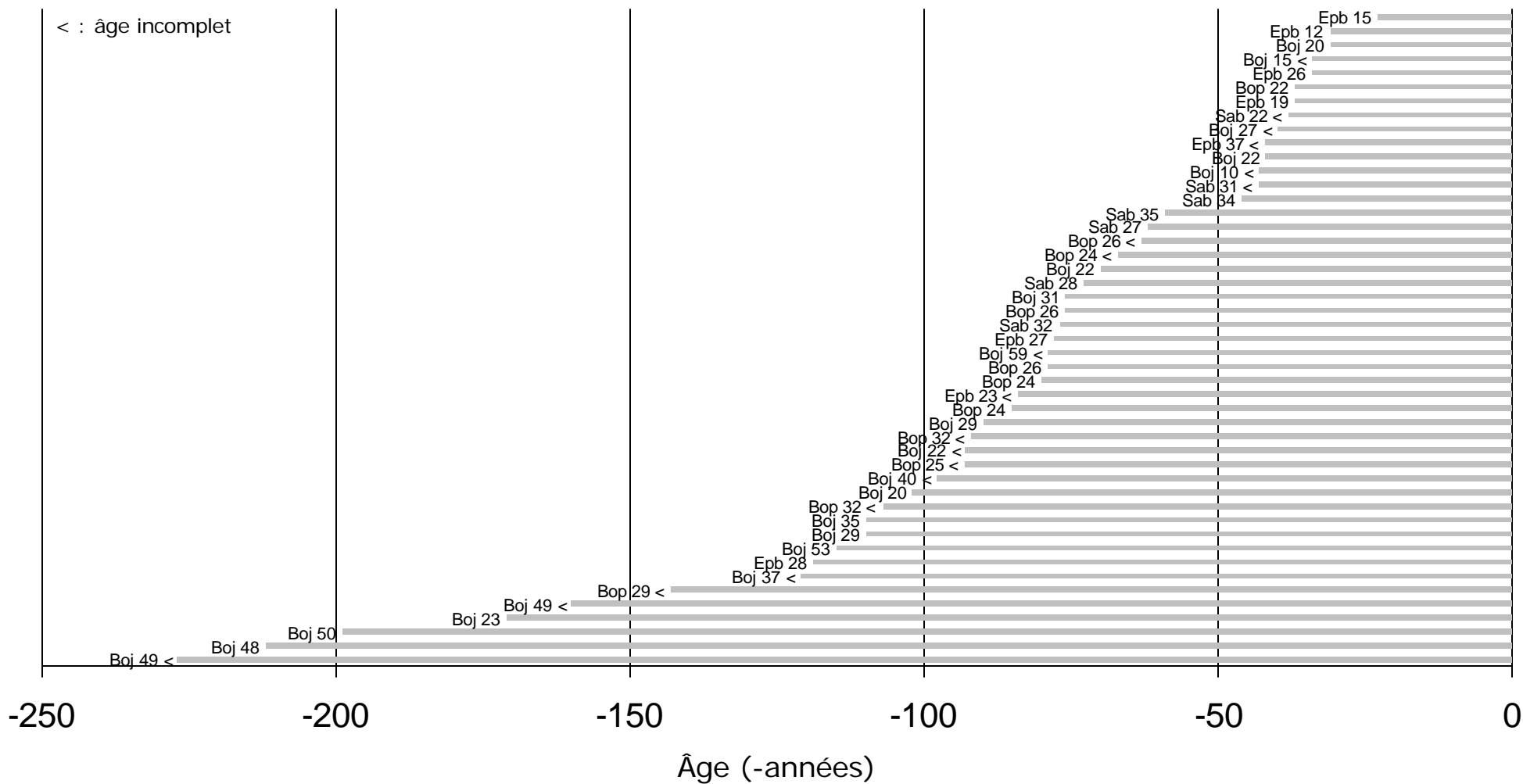
Lac Grasmère, Basses Laurentides: Moyen



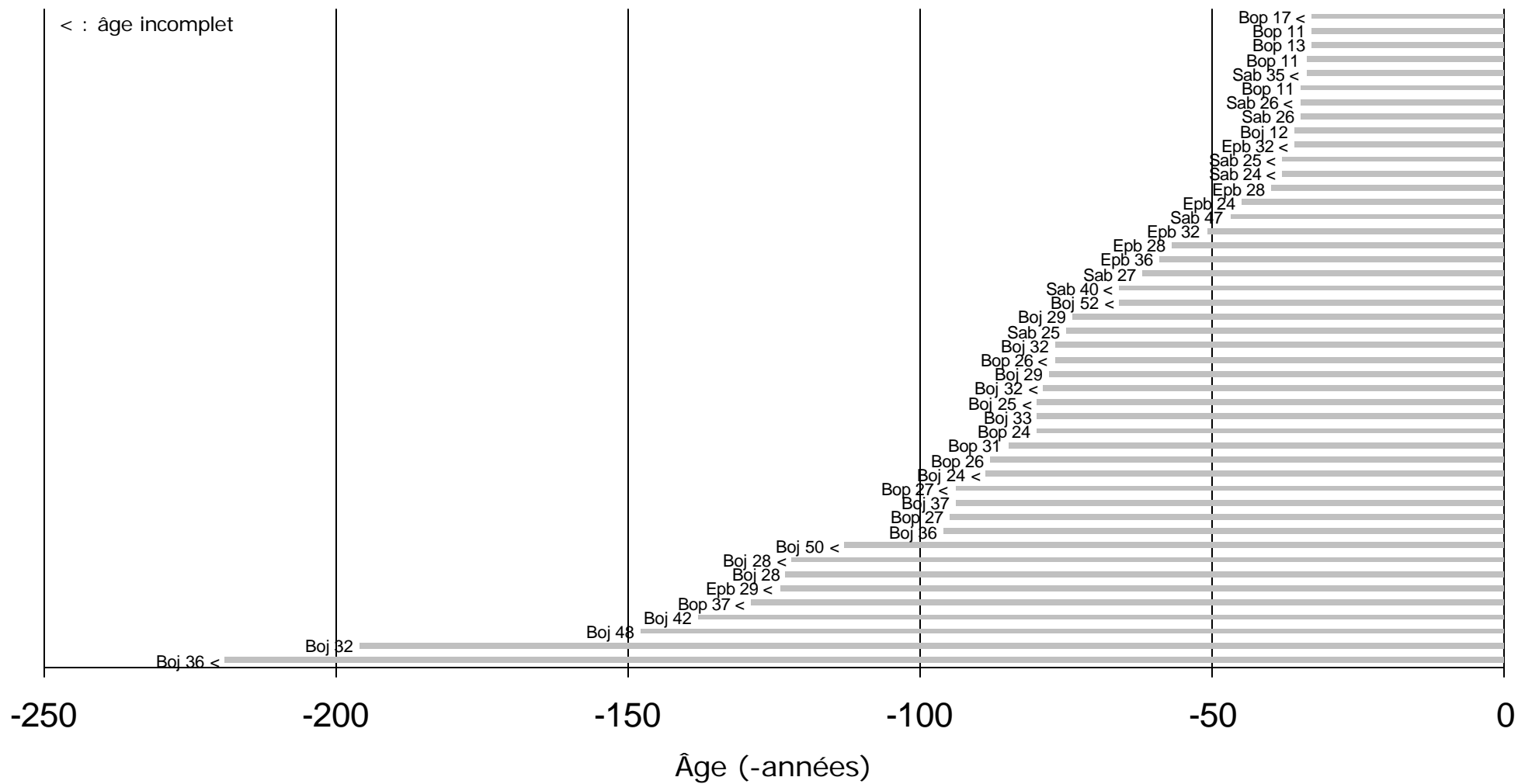
Ruisseau Froid, Basses Laurentides: Moyen



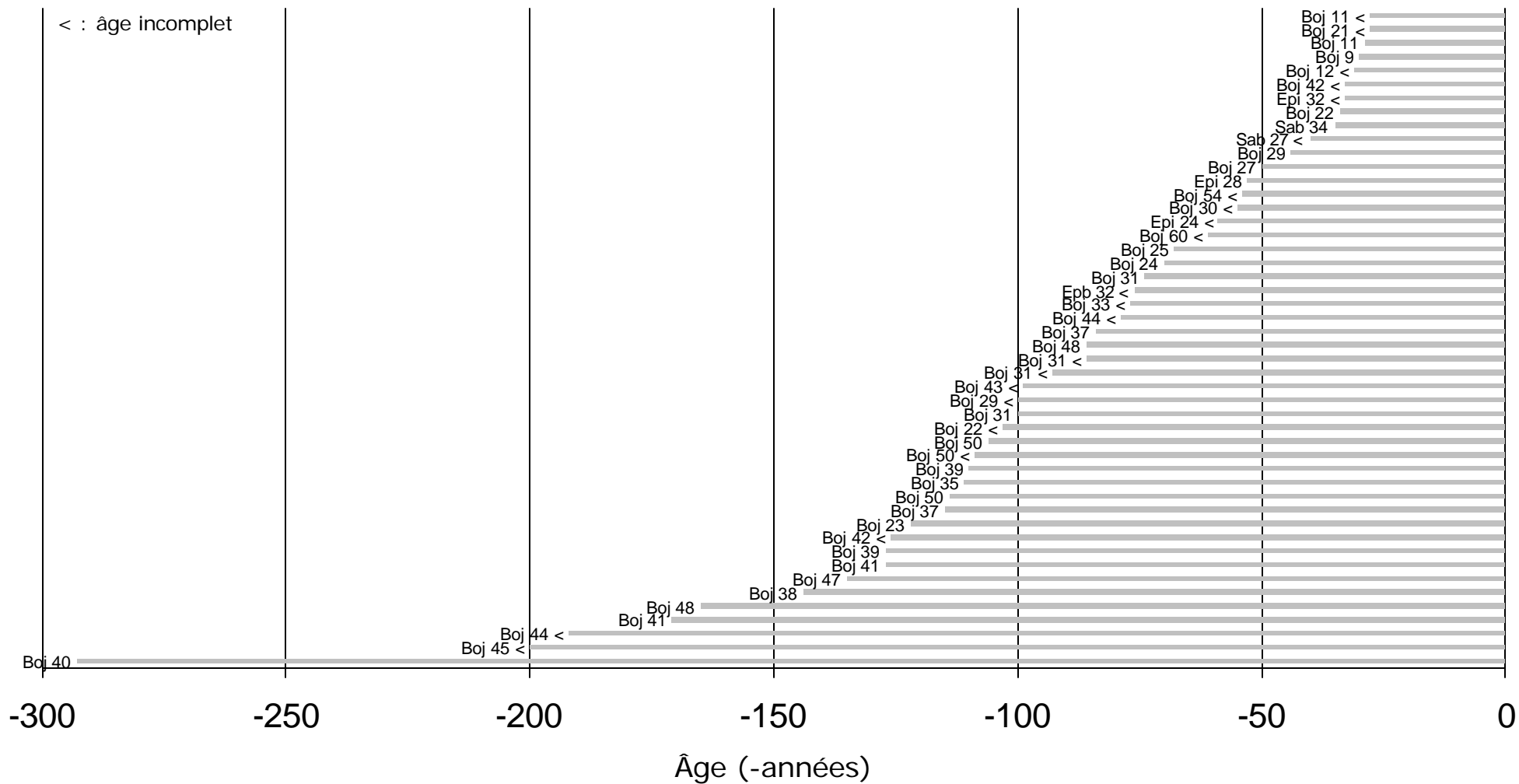
Lac Vitard, Basses Laurentides: Vieux



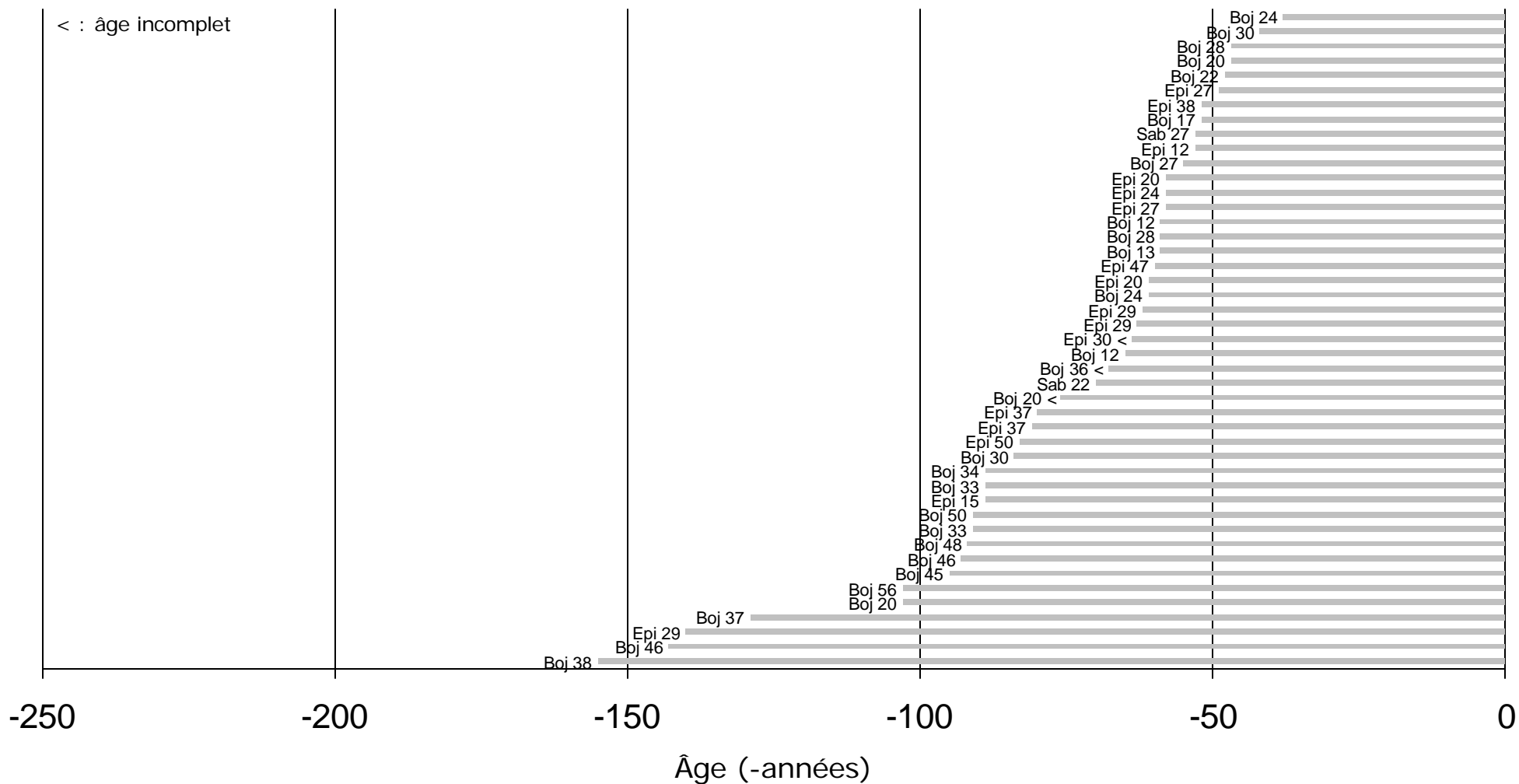
Petit Lac Jacques, Basses Laurentides: Vieux



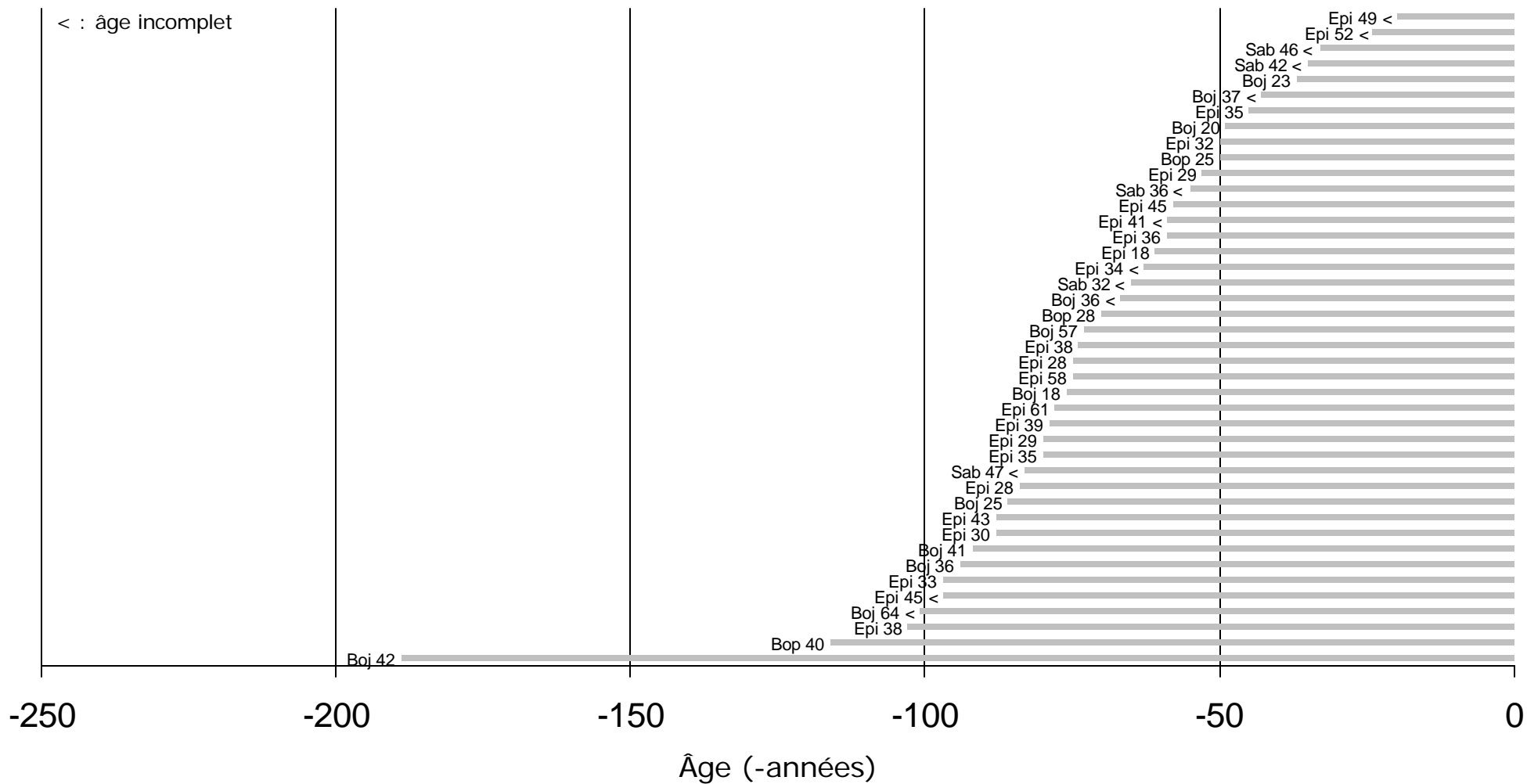
Zone cerf 06, Basses Laurentides: Vieux



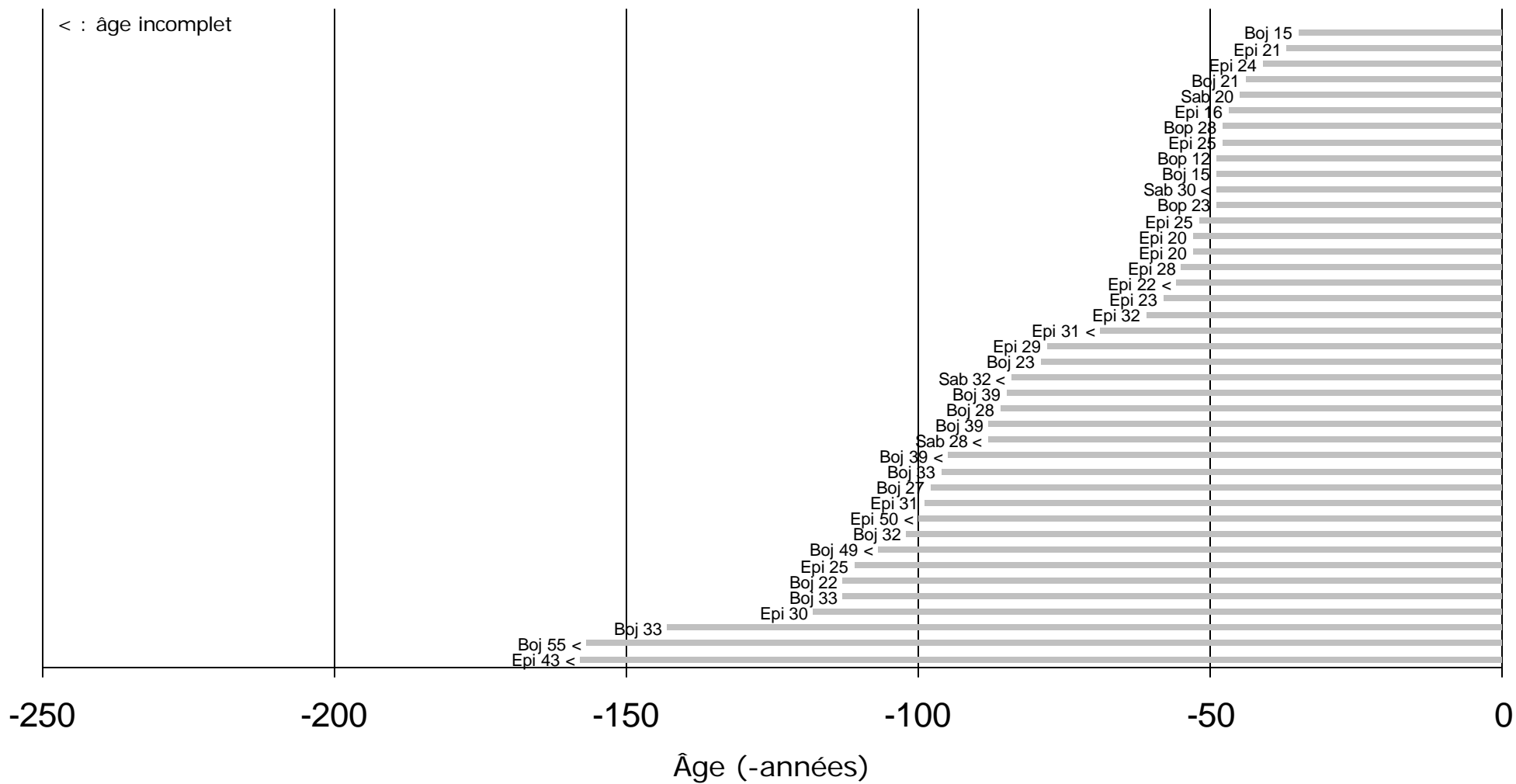
Lac Marion Ouest, Haute Mauricie: Jeune



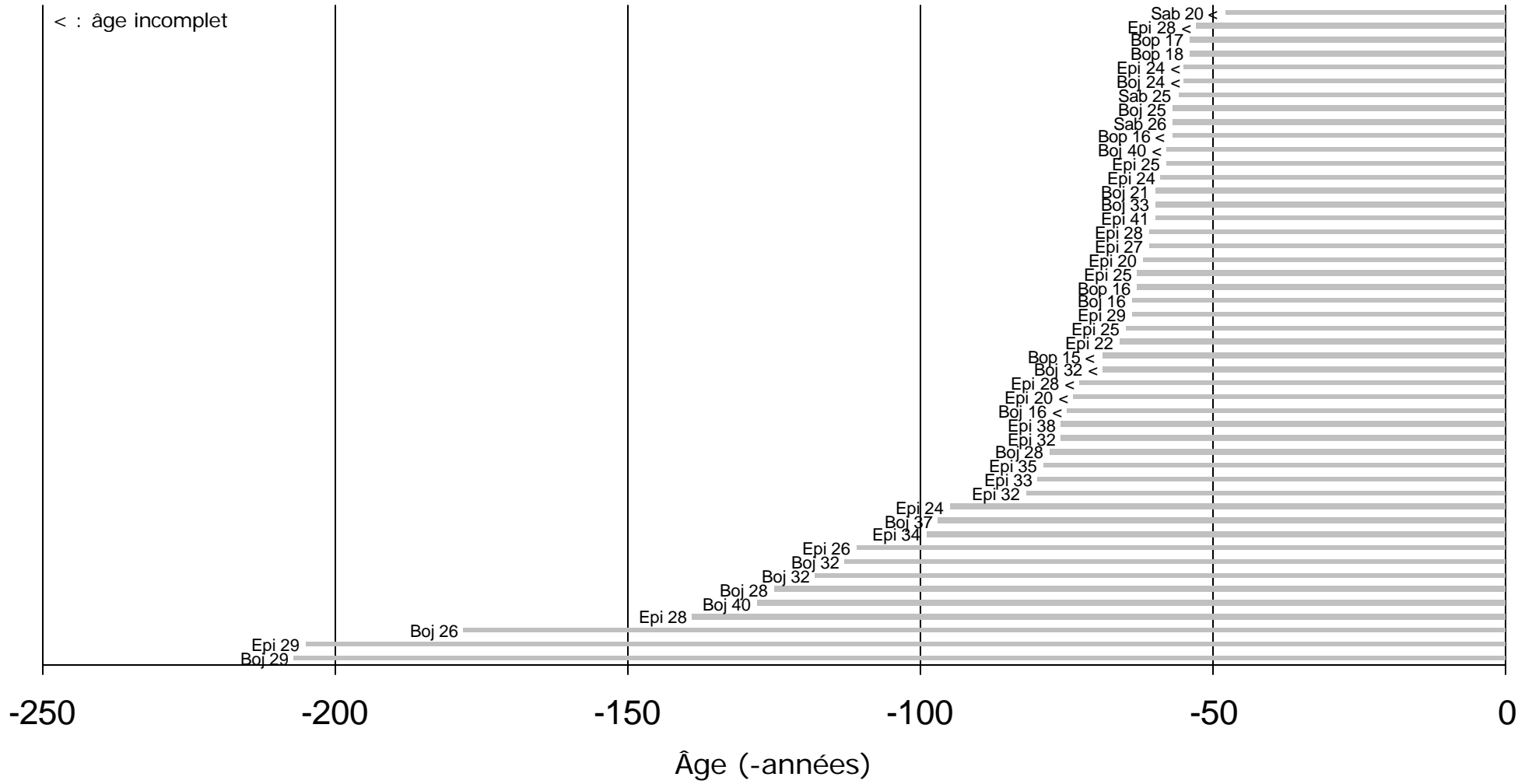
Lac Wayagamac Est Vin, Haute Mauricie: Jeune



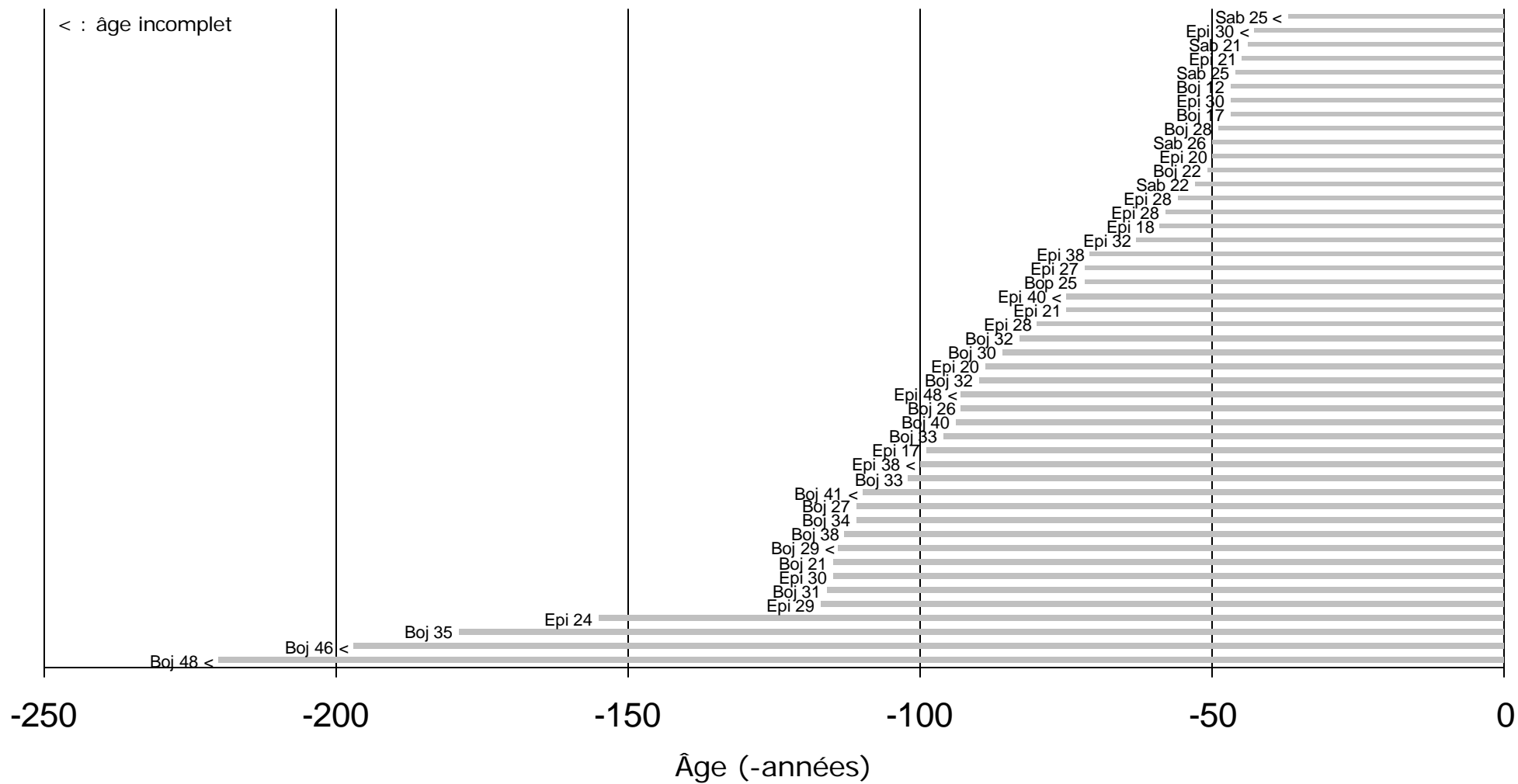
Lac Wayagamac Est 50, Haute Mauricie: Moyen



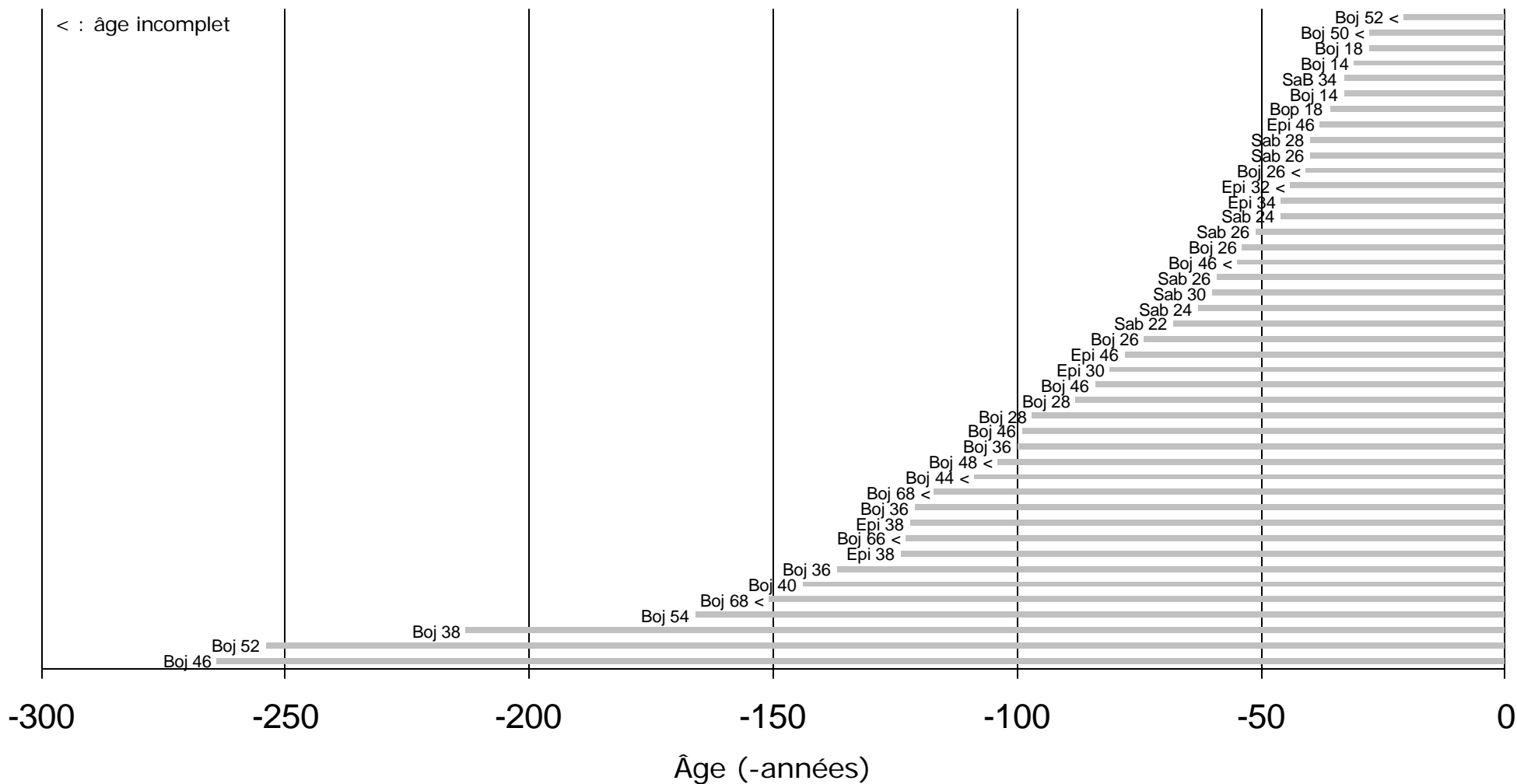
Lac Trinité, Haute Mauricie: Moyen



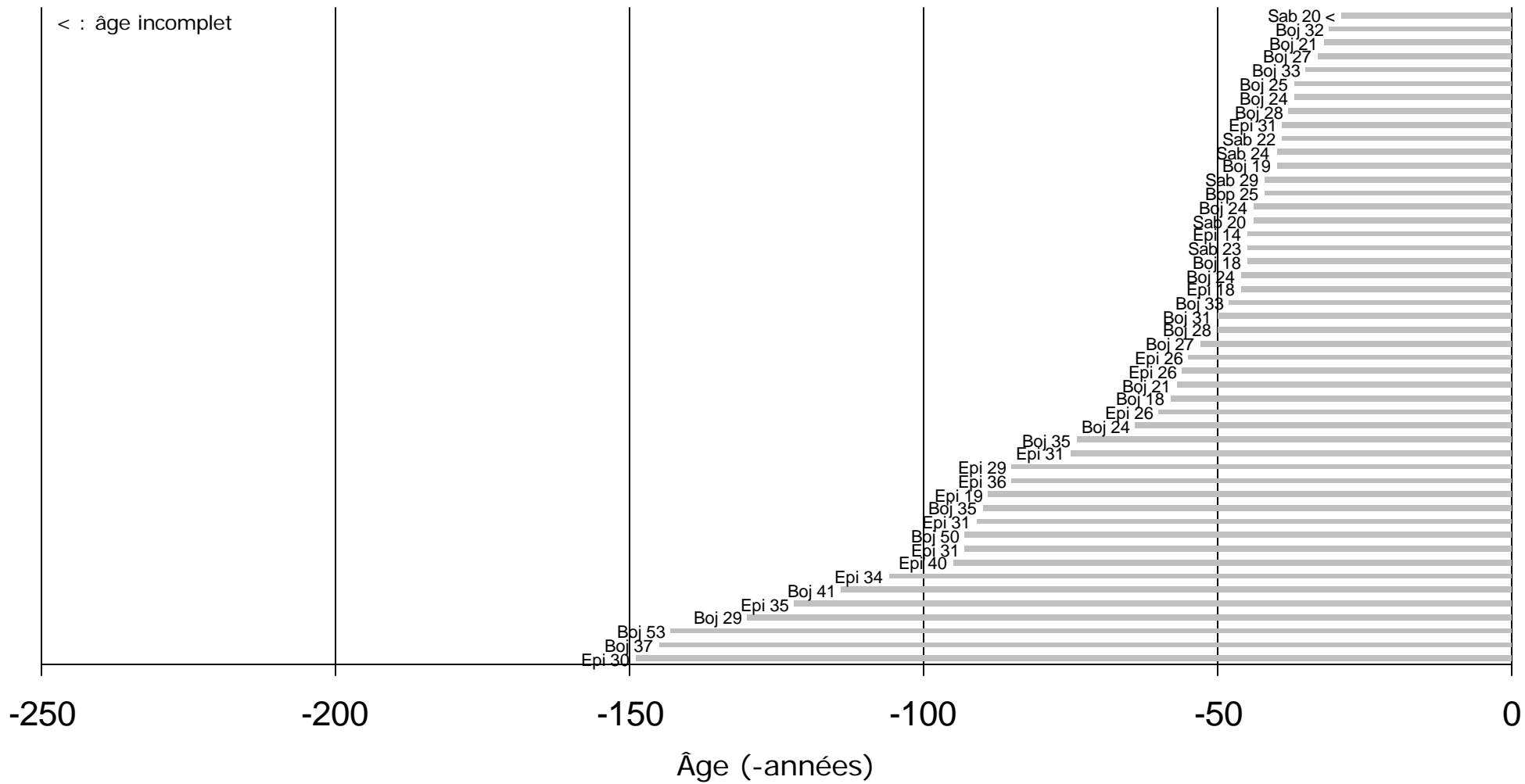
Rivière Bessonne, Haute Mauricie: Moyen



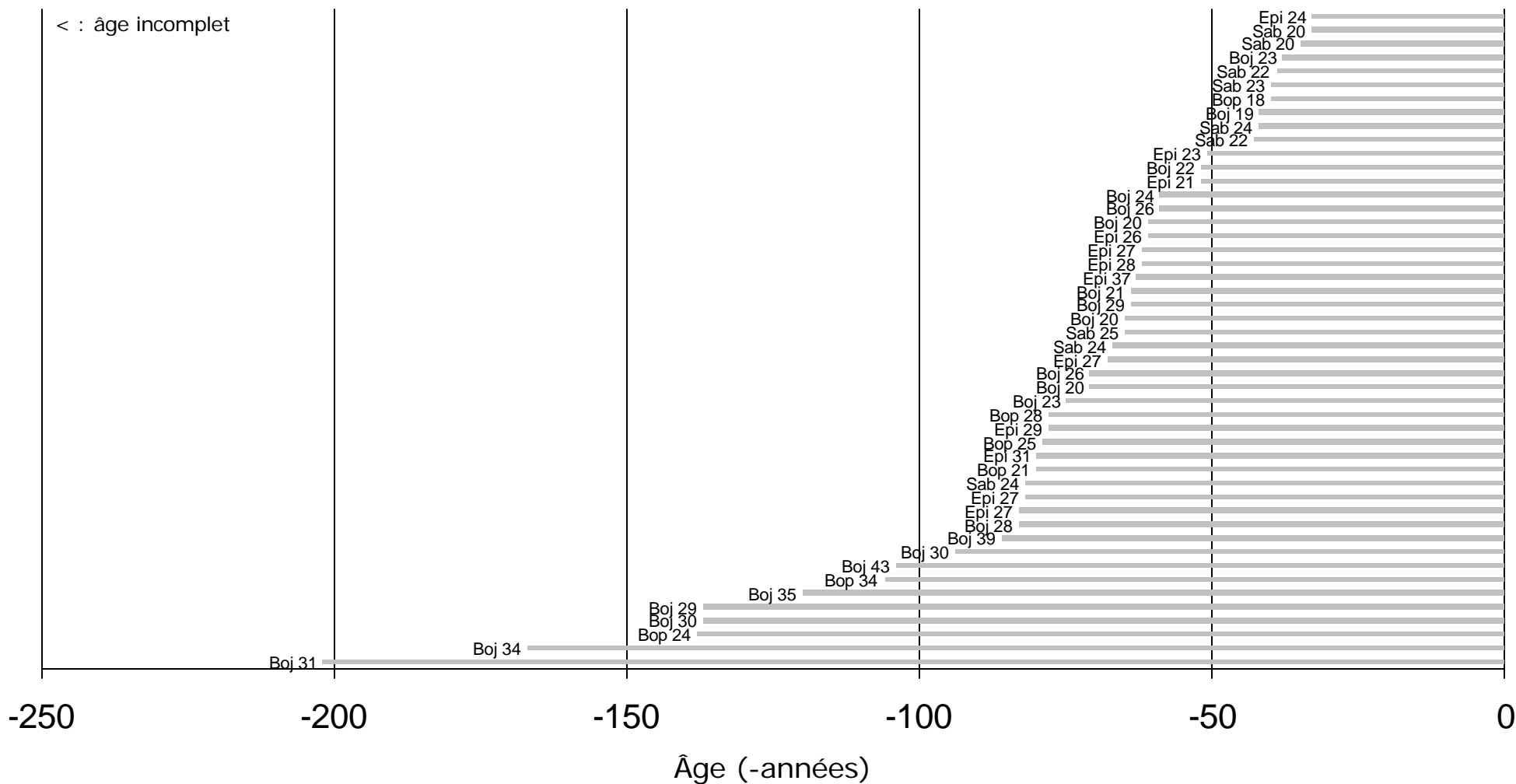
Lac Wayagamac Ouest Vin, Haute Mauricie: Vieux



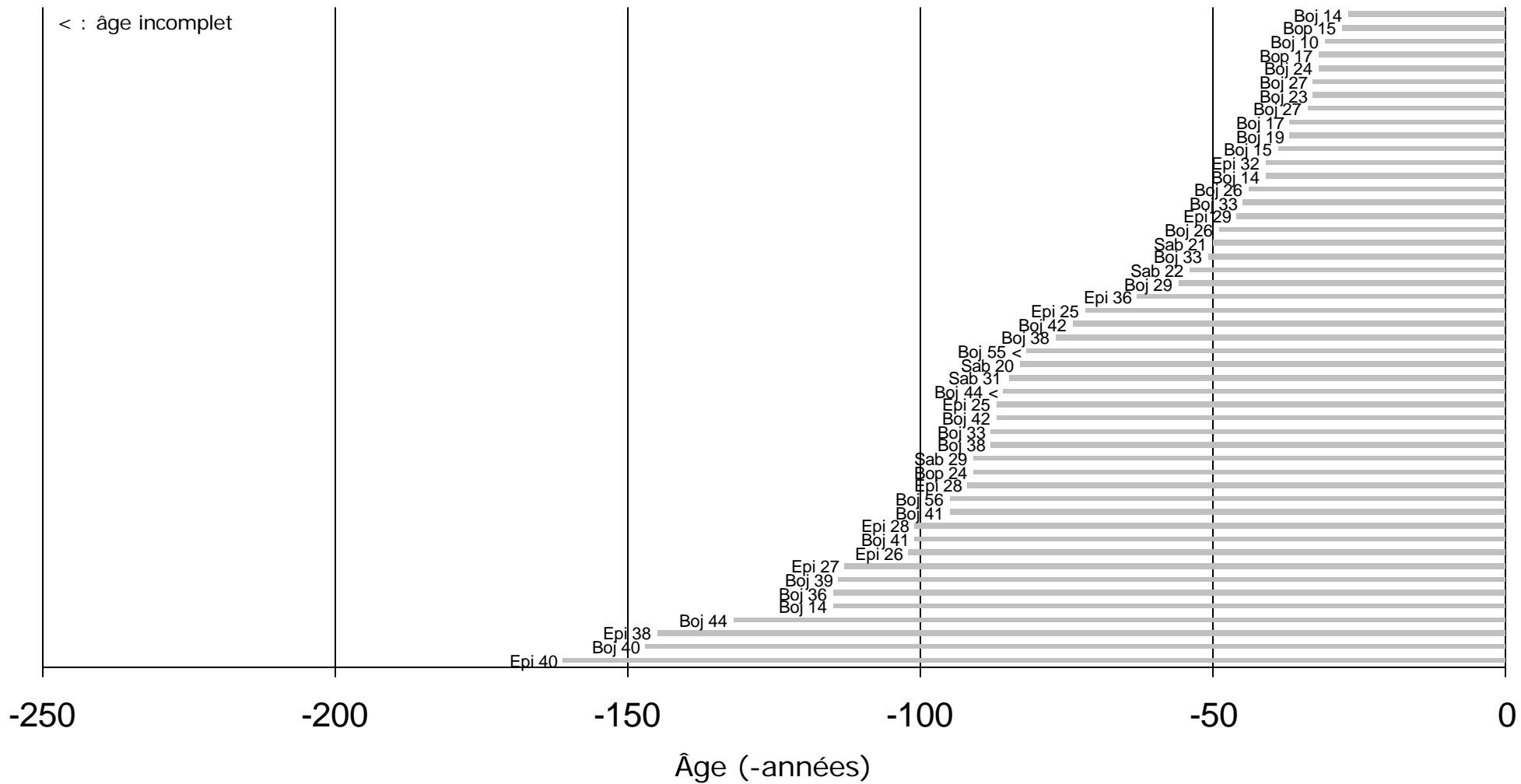
Lac Roy, Portneuf: Jeune



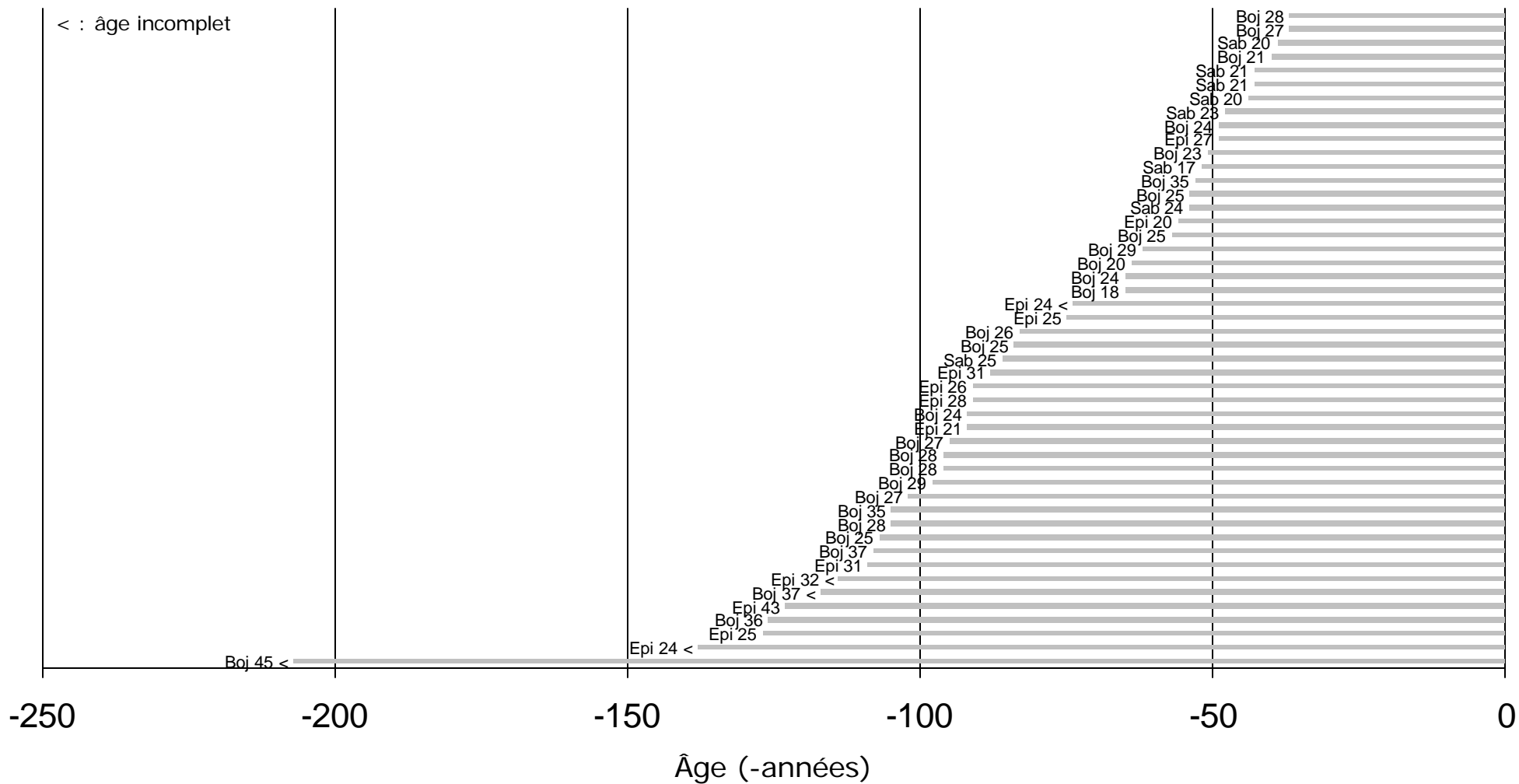
Lac Lebreil, Portneuf: Moyen



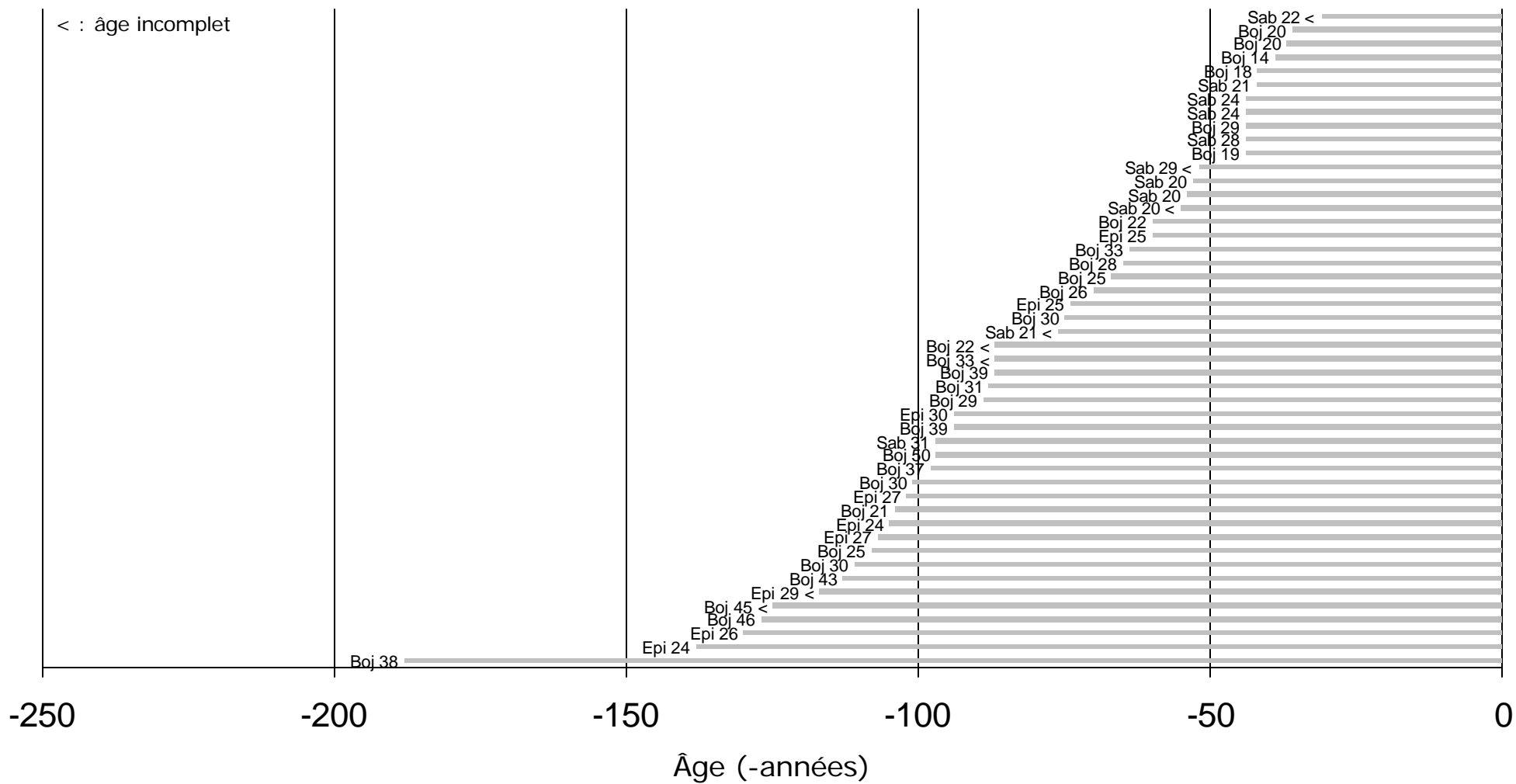
Petit Batiscan, Portneuf: Moyen



Lac en Peine II, Portneuf: Vieux



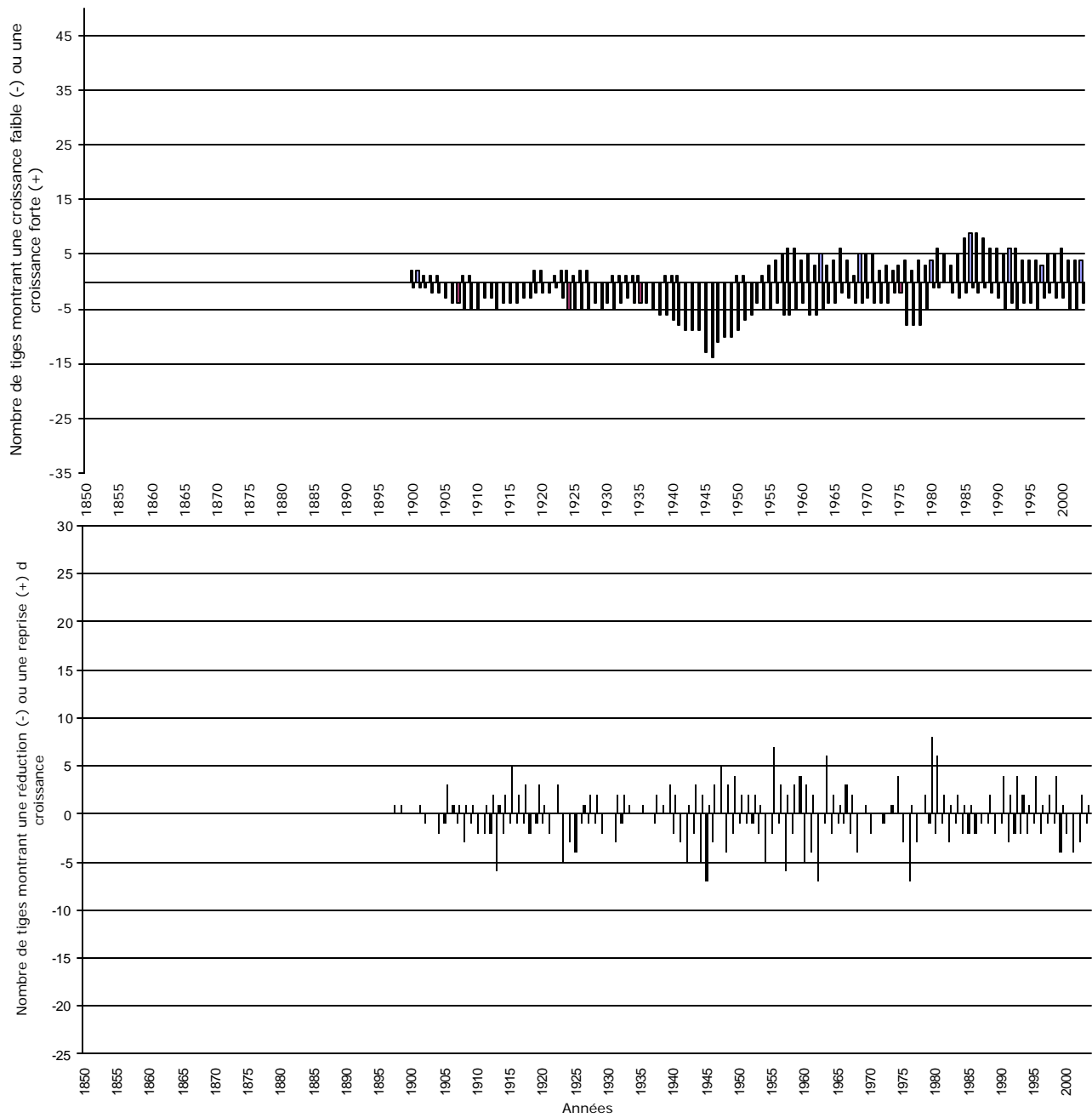
Lac en Peine I, Portneuf: Vieux



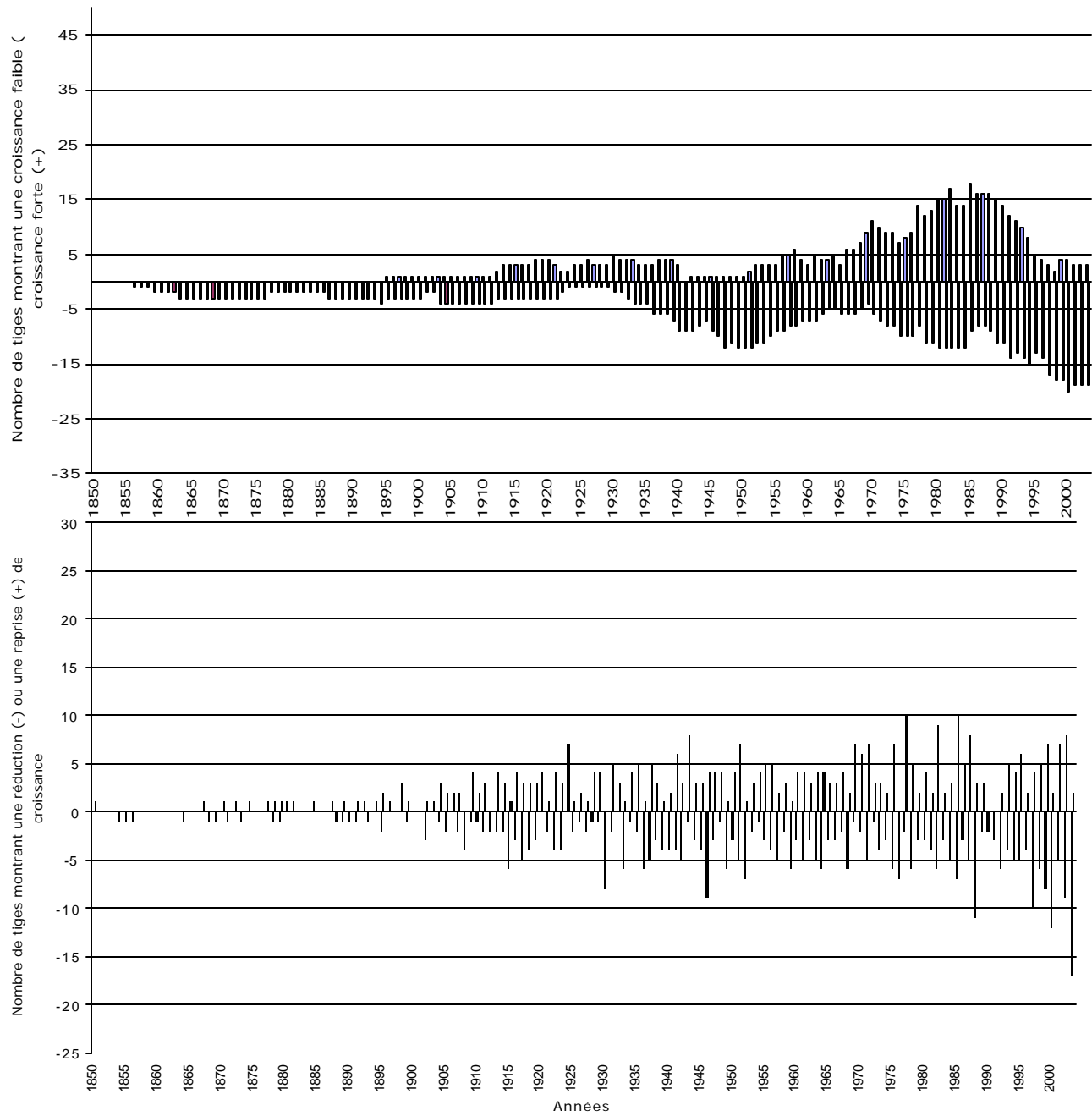
ANNEXE 3

Signaux de réduction et de détente de croissance ainsi que périodes de croissance réduite et de croissance forte pour les peuplements échantillonnés

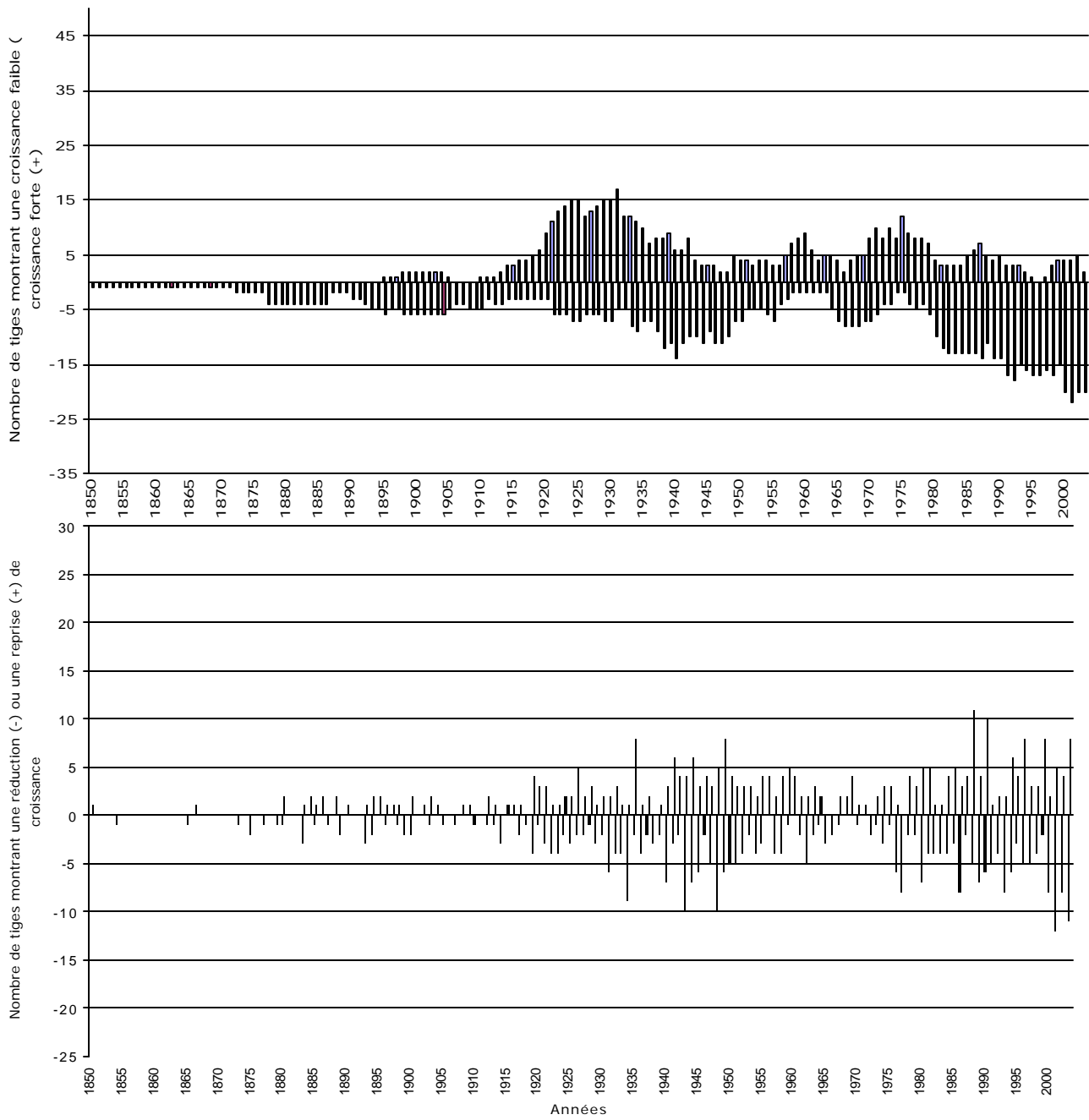
Lac Averdon, Basses Laurentides: Jeune



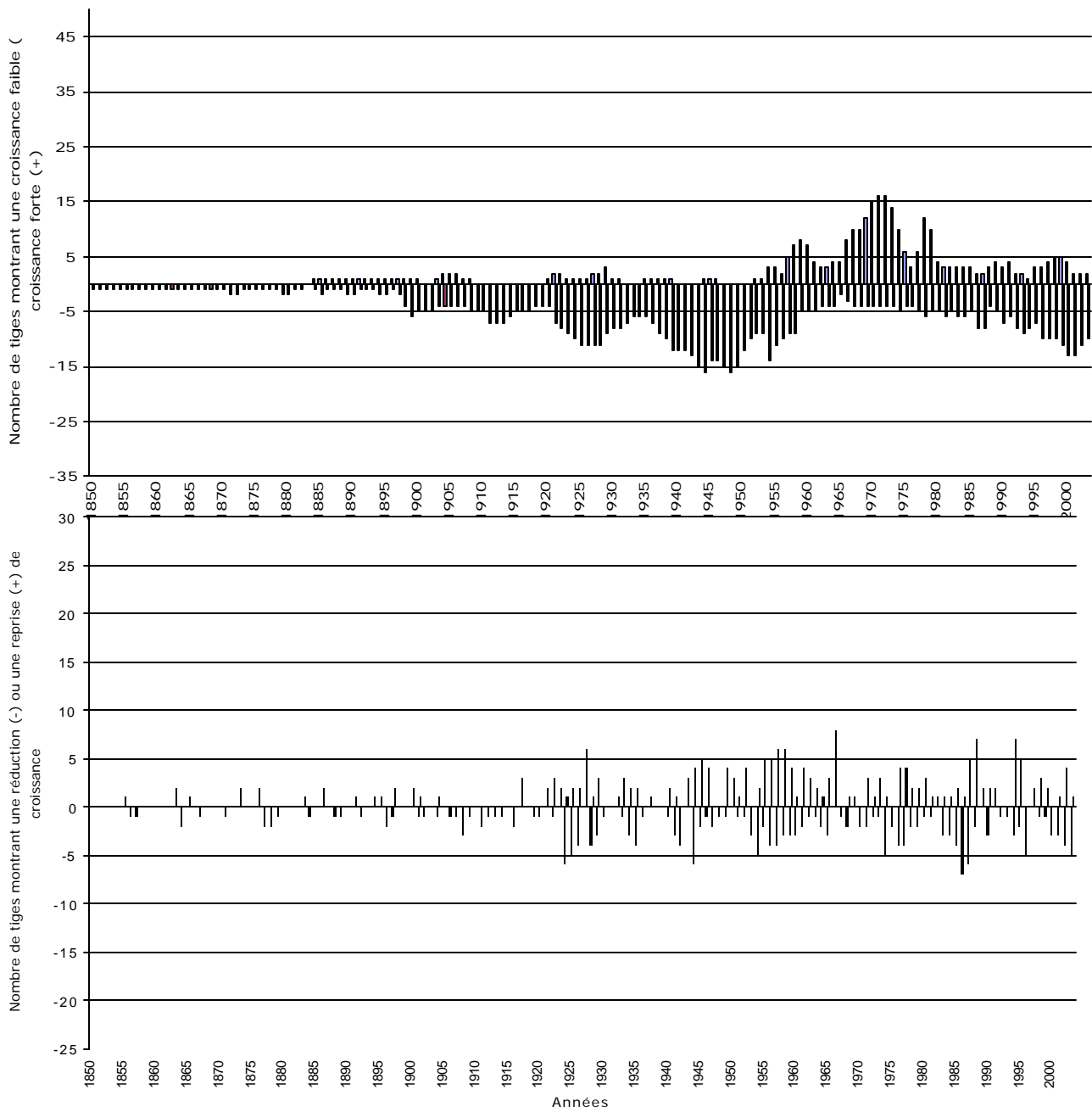
Rivière Macaza, Basses Laurentides: Jeune



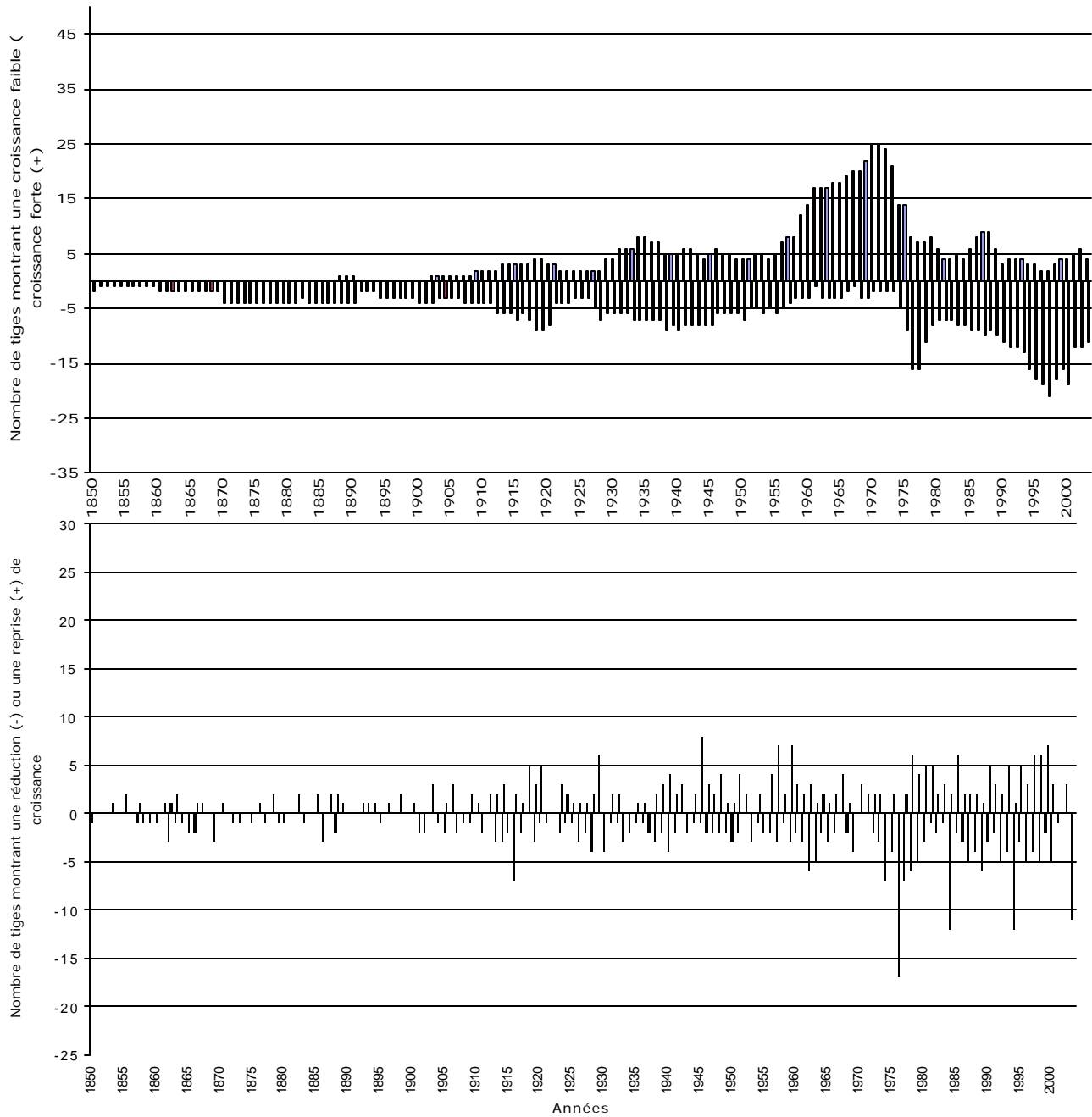
Lac Grasmère, Basses Laurentides



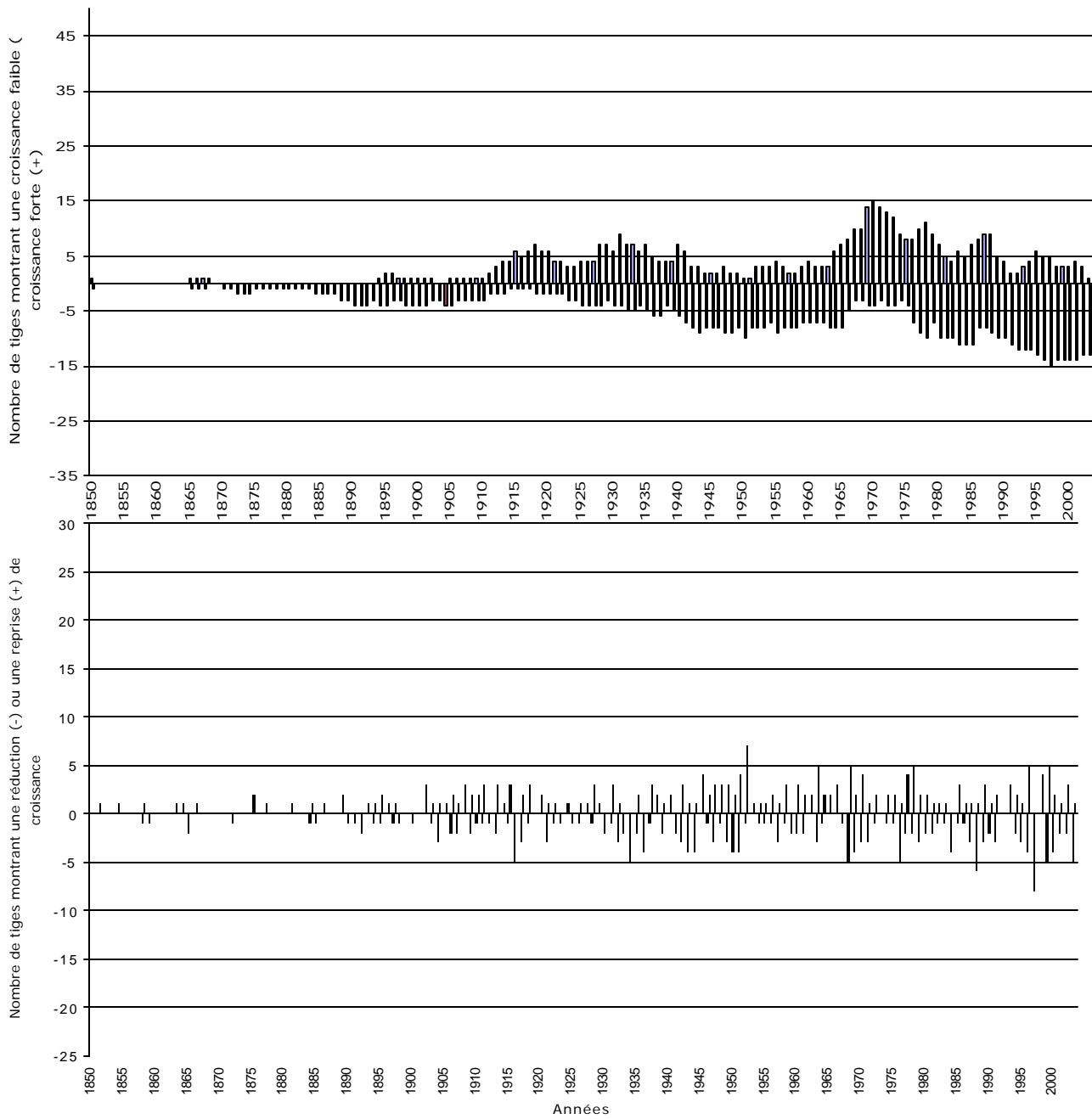
Ruisseau Froid, Basses Laurentides: Moyen



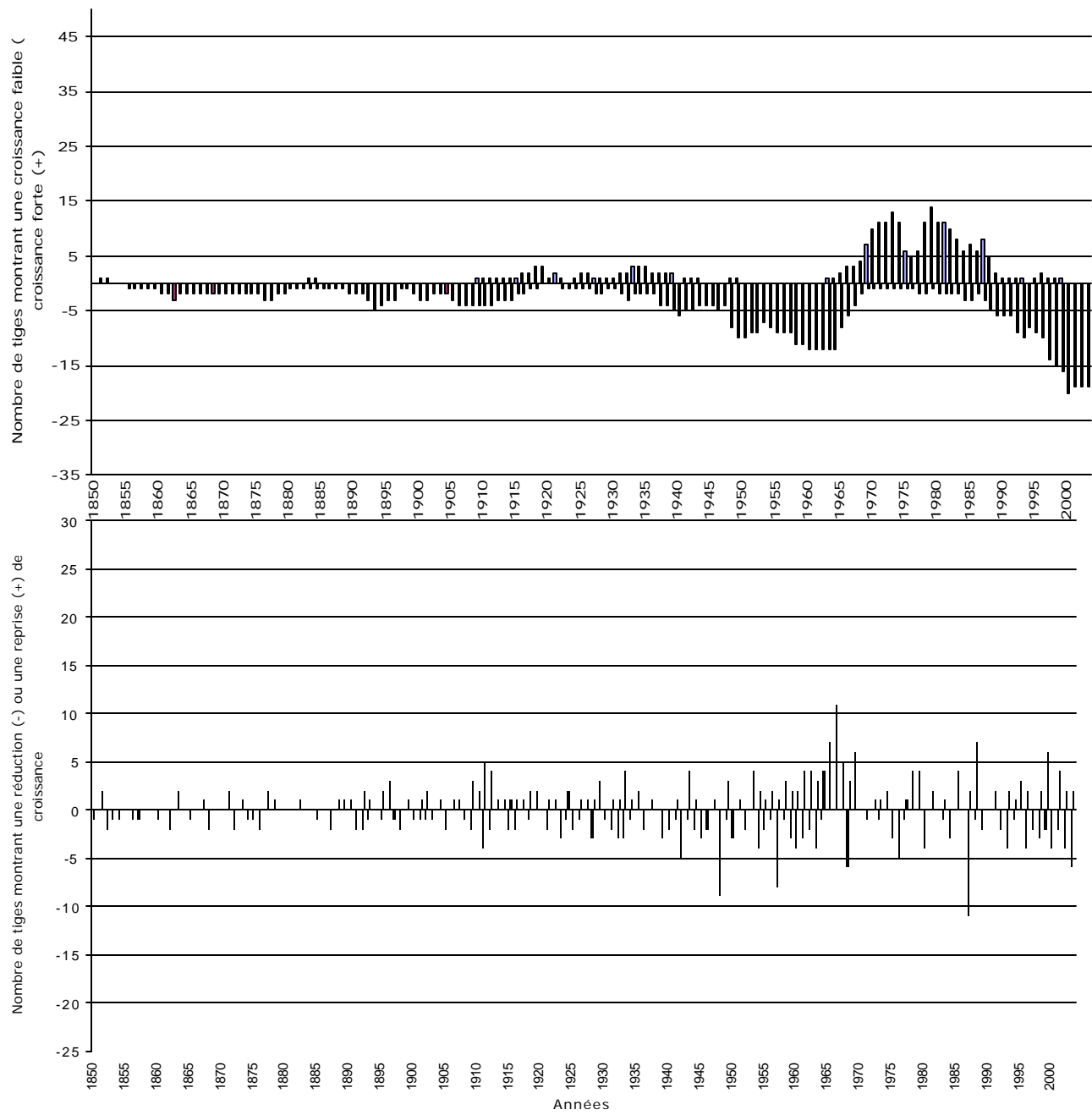
Lac Georgiana, Basses Laurentides: Moyen



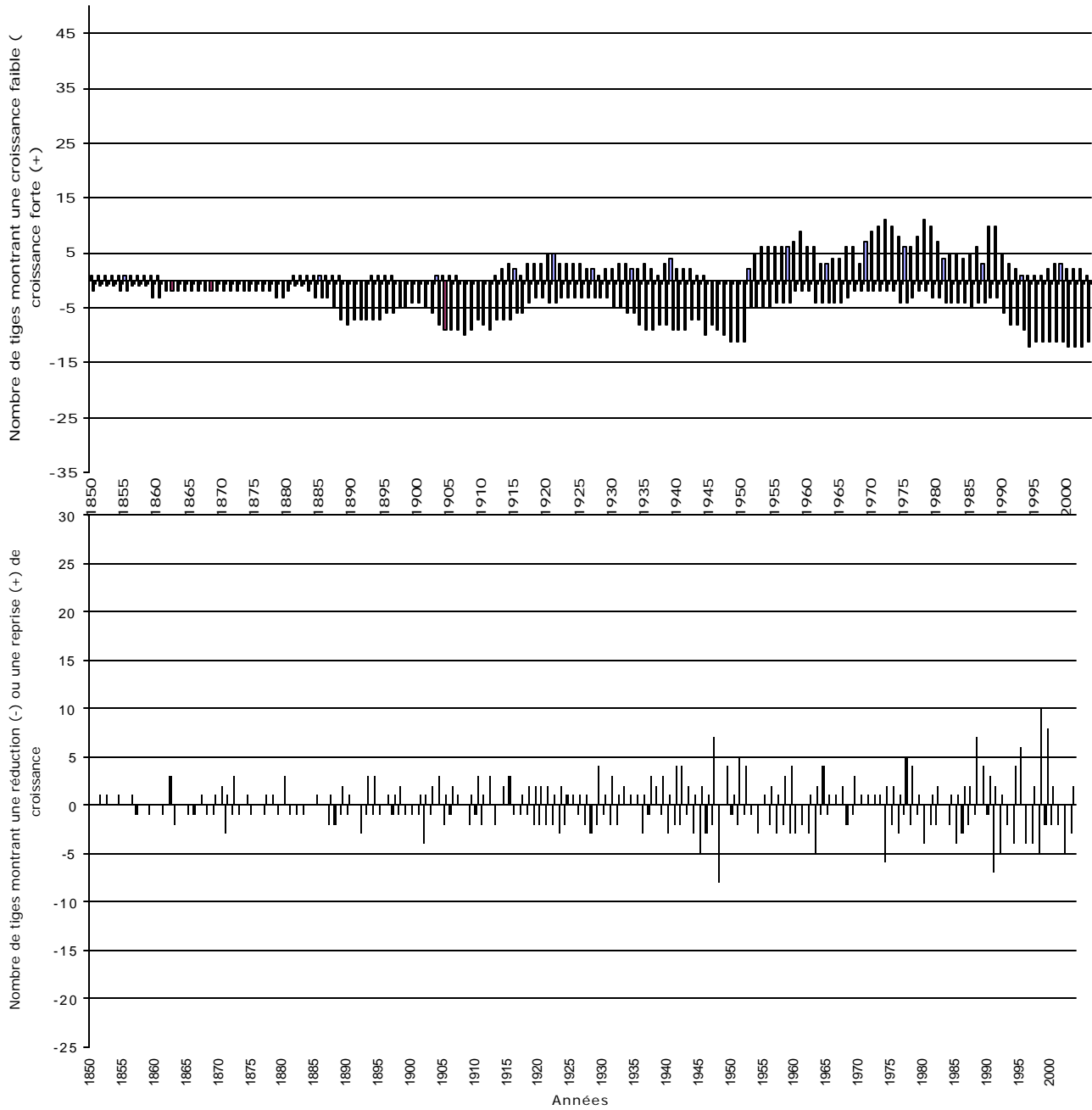
Lac Vitard, Basses Laurentides: Vieux



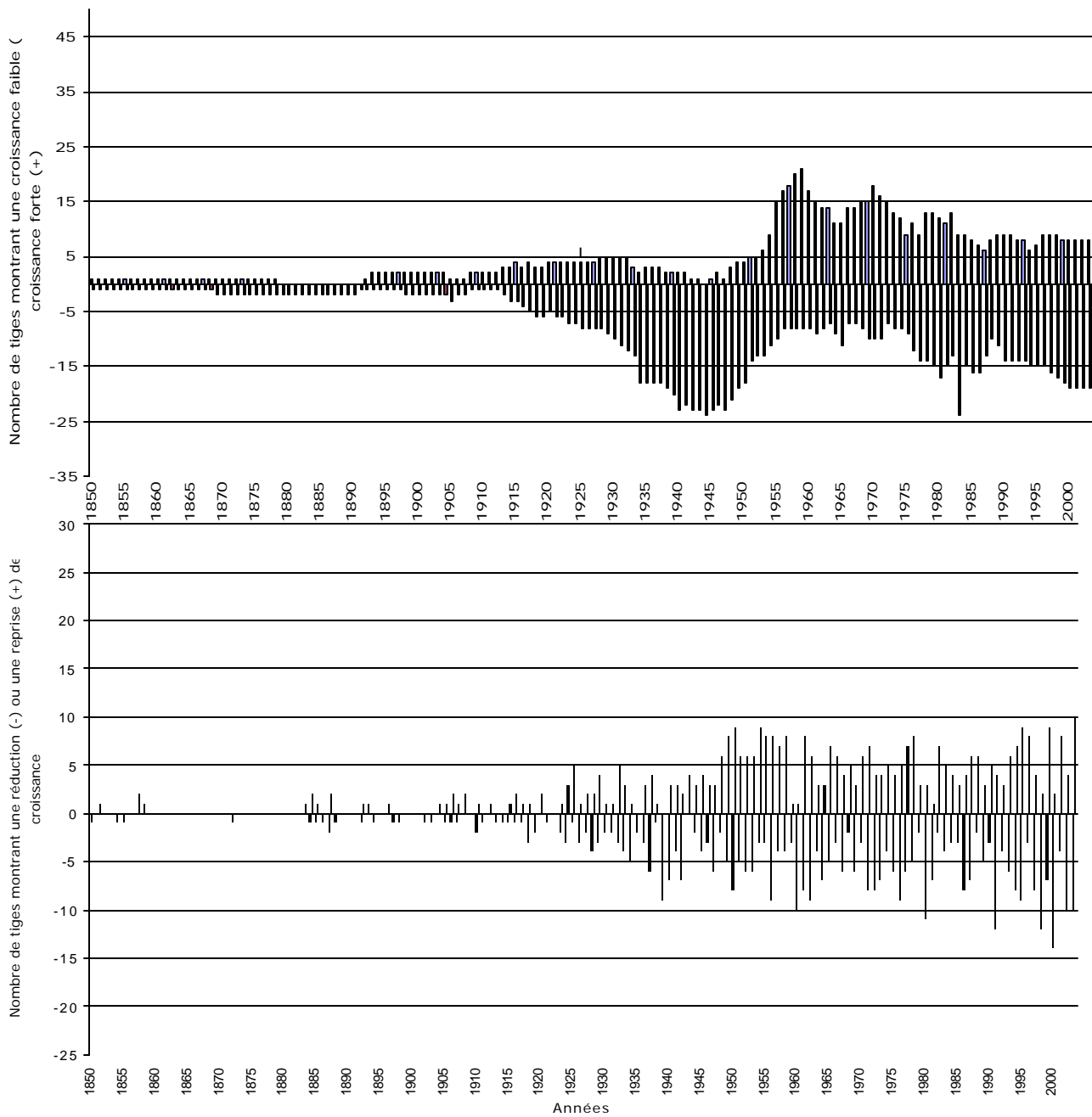
Petit lac Jacques, Basses Laurentides: Vieux



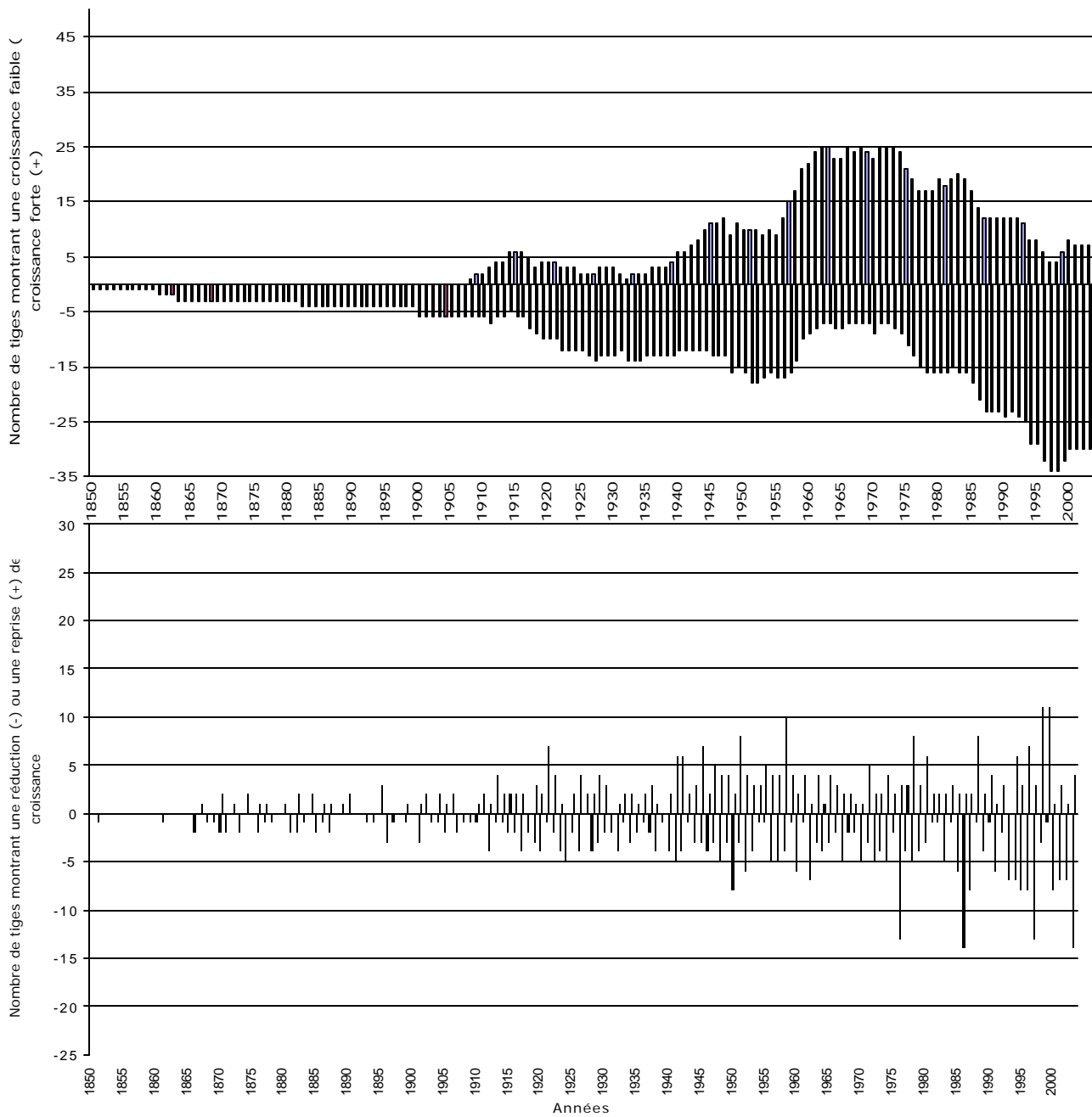
Zone cerf 06, Basses Laurentides: Vieux



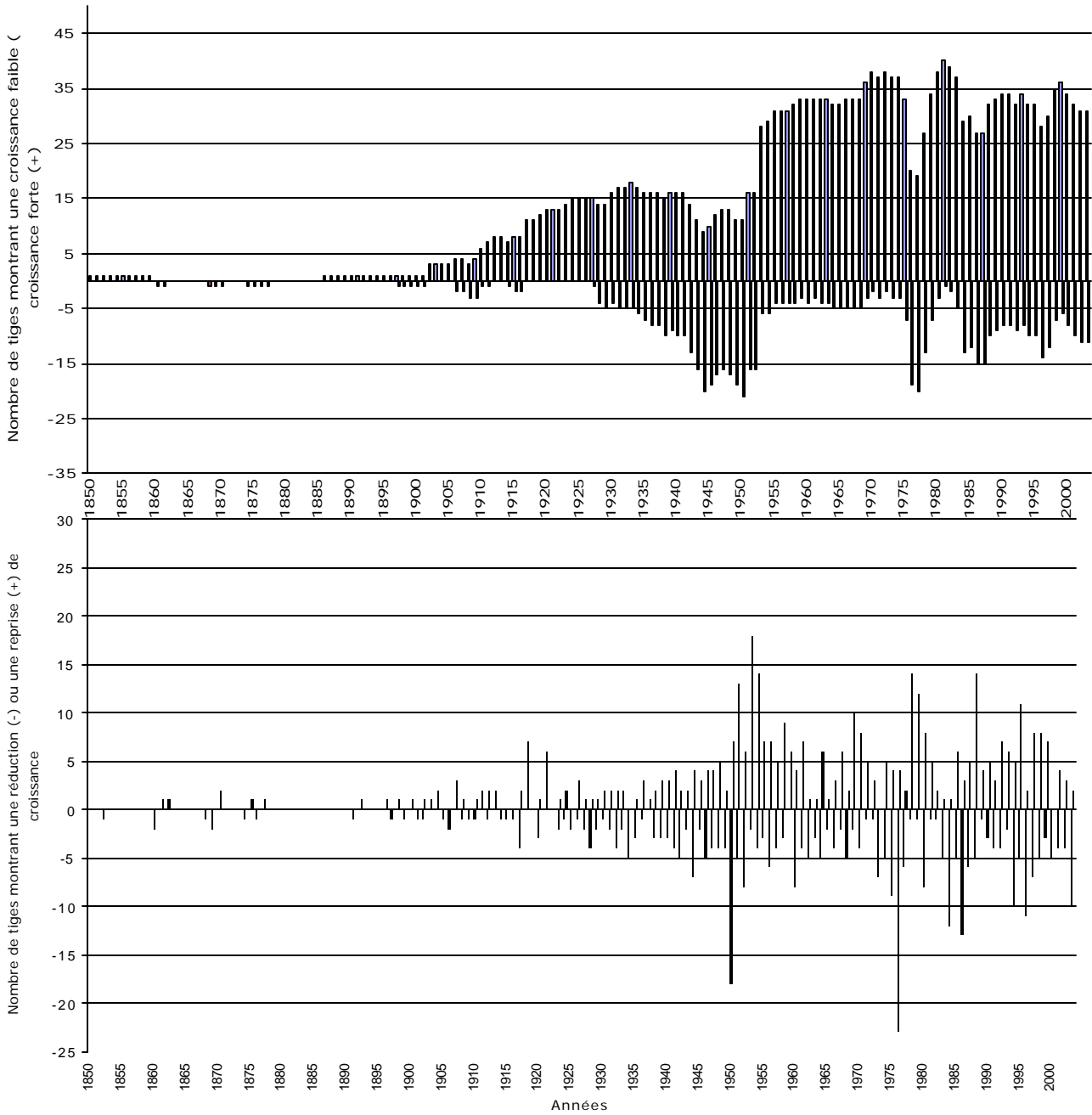
Lac Duchesne, Haute Mauricie: Jeune



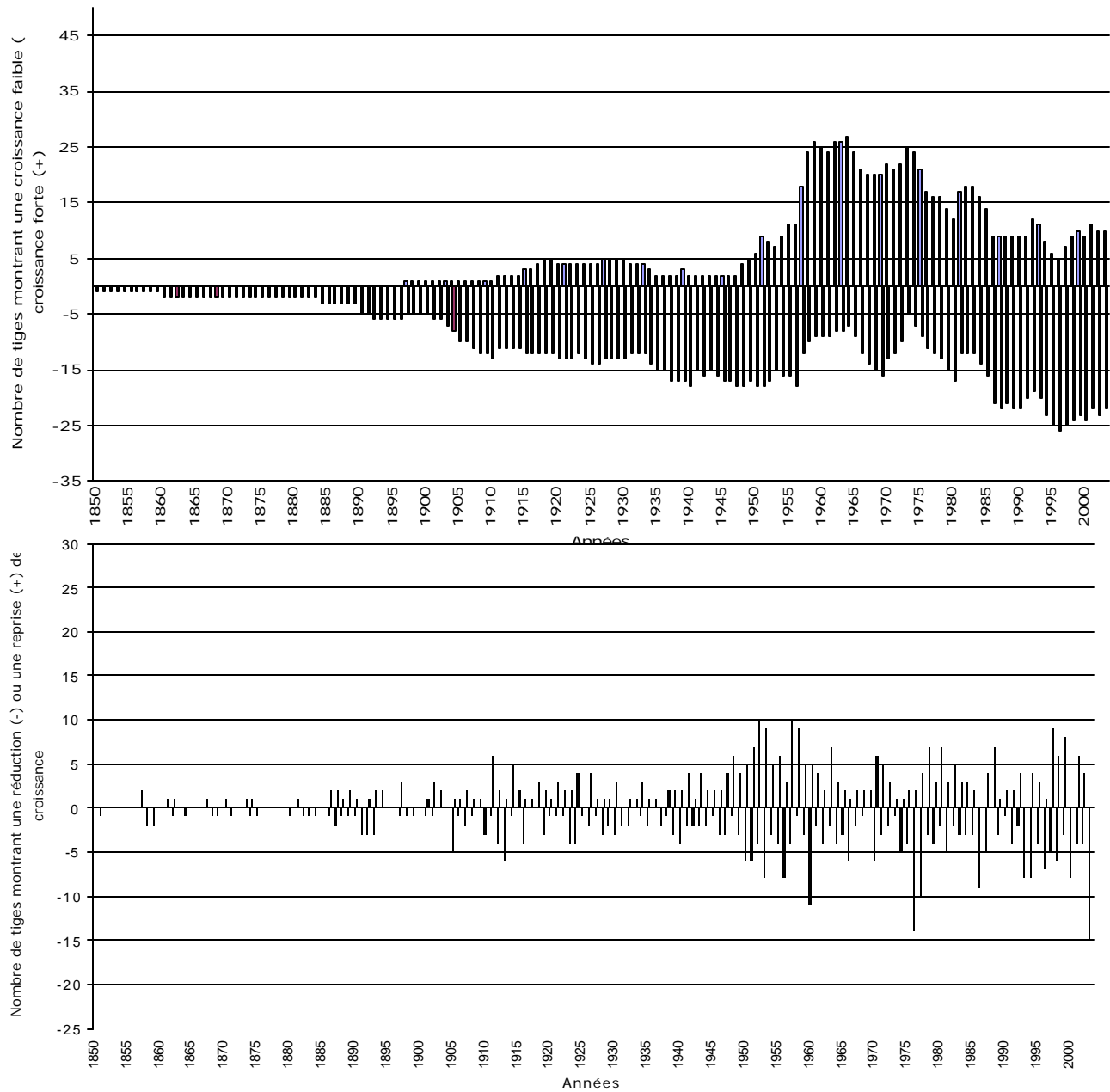
Lac Marion Ouest, Haute Mauricie: Jeune



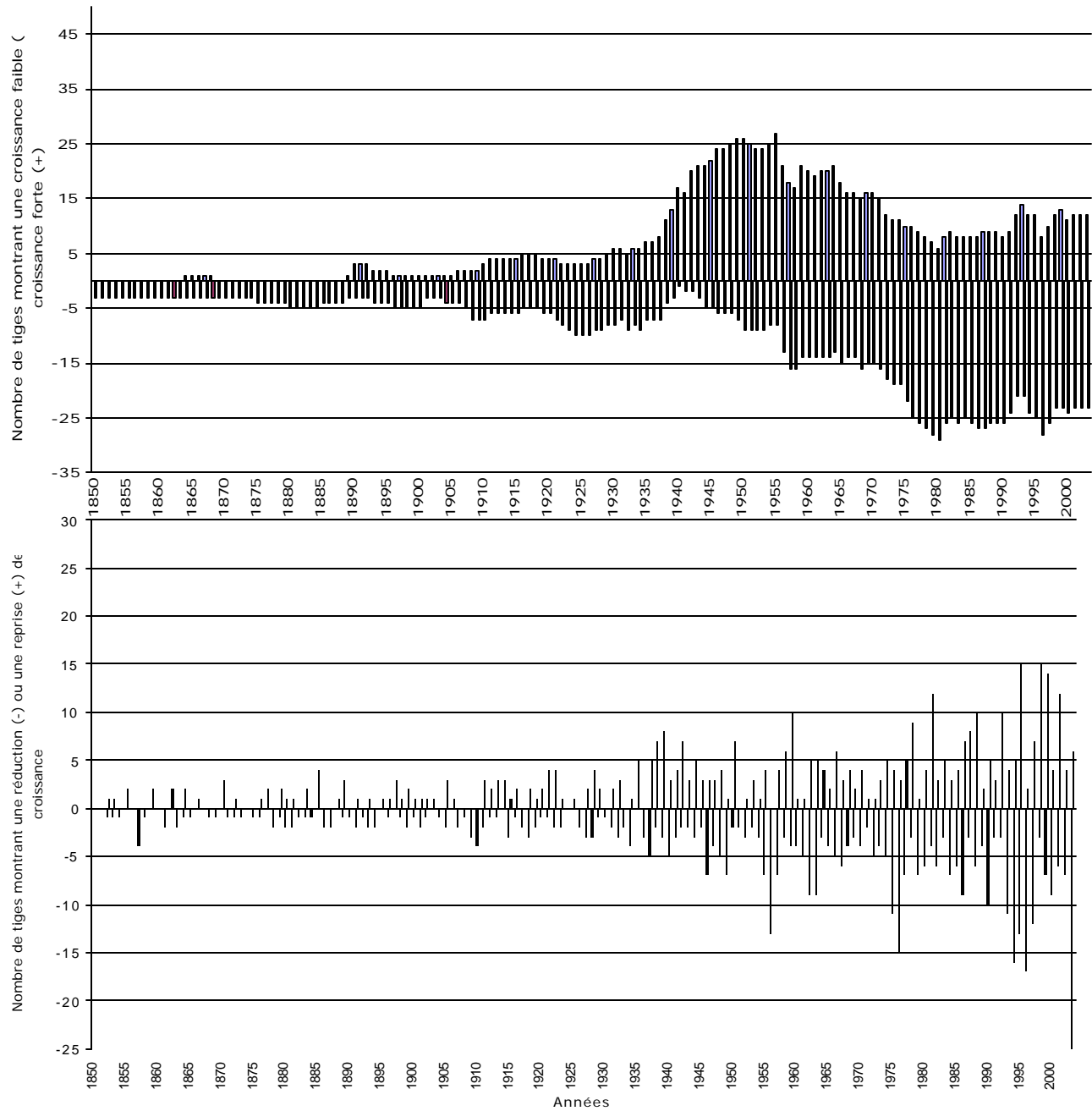
Lac Wayagamac Est Vin, Haute Mauricie: Jeune



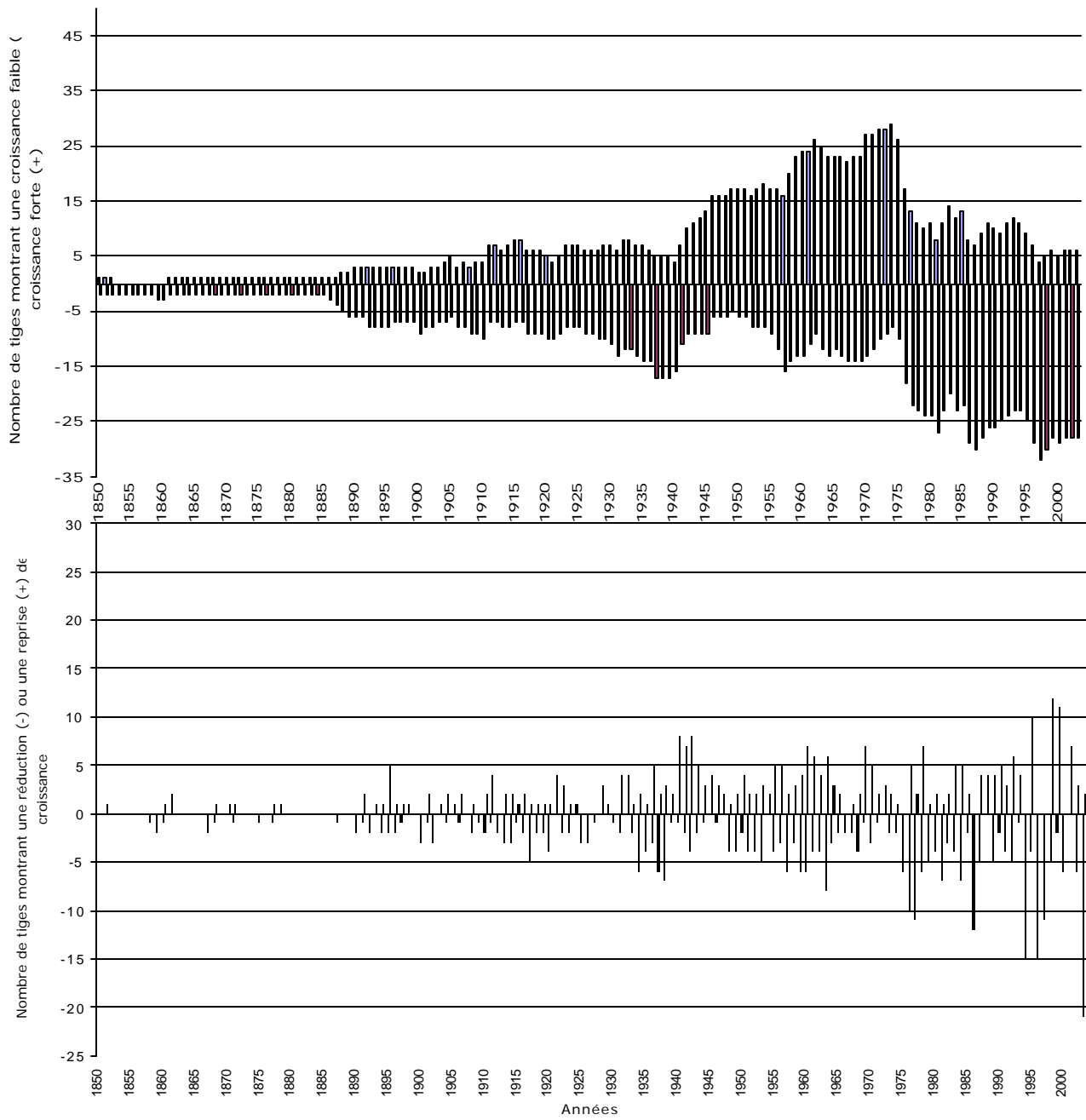
Lac Wayagamac Est 50, Haute Mauricie: Moyen



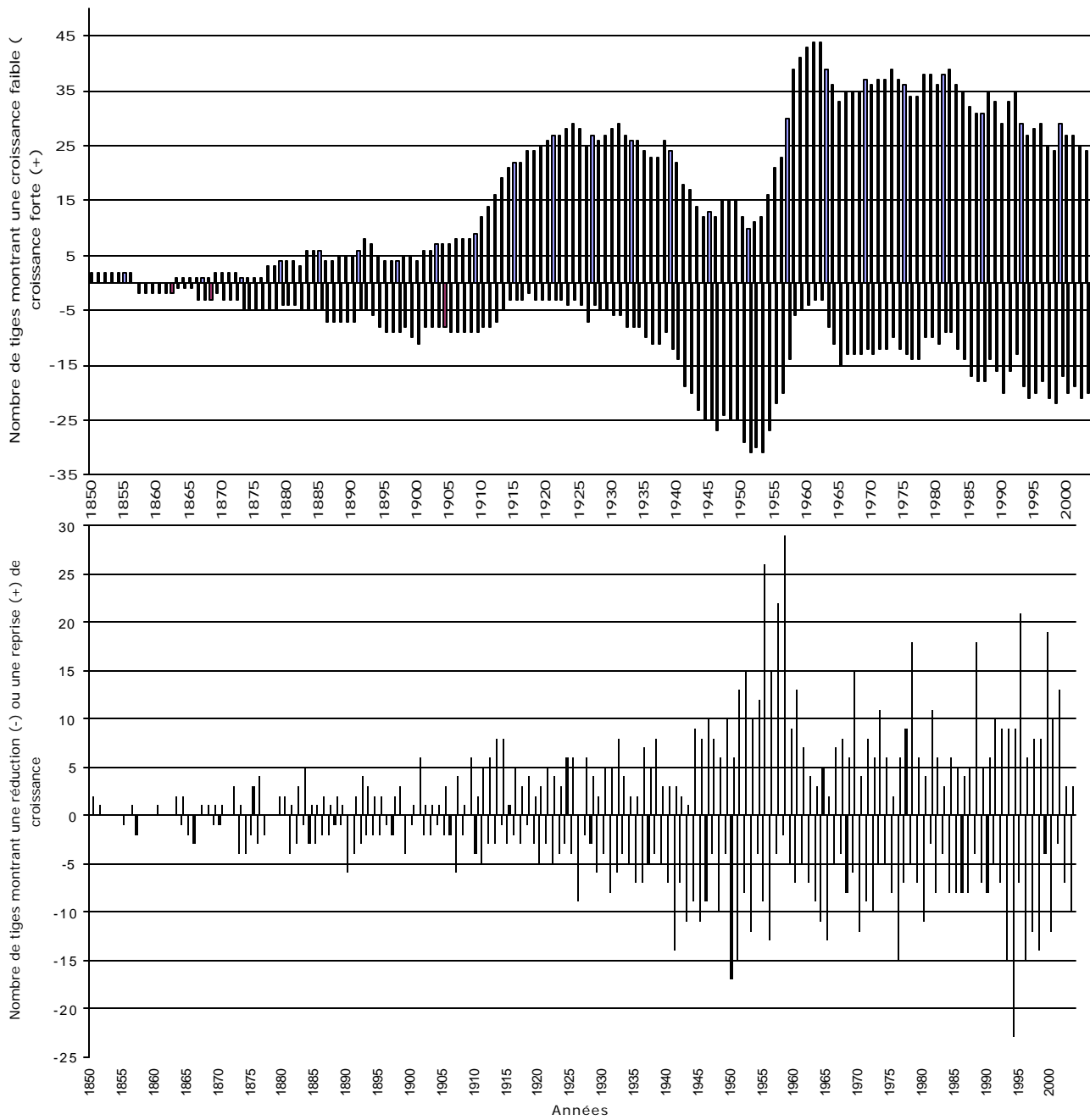
Lac Trinité, Haute Mauricie: Moyen



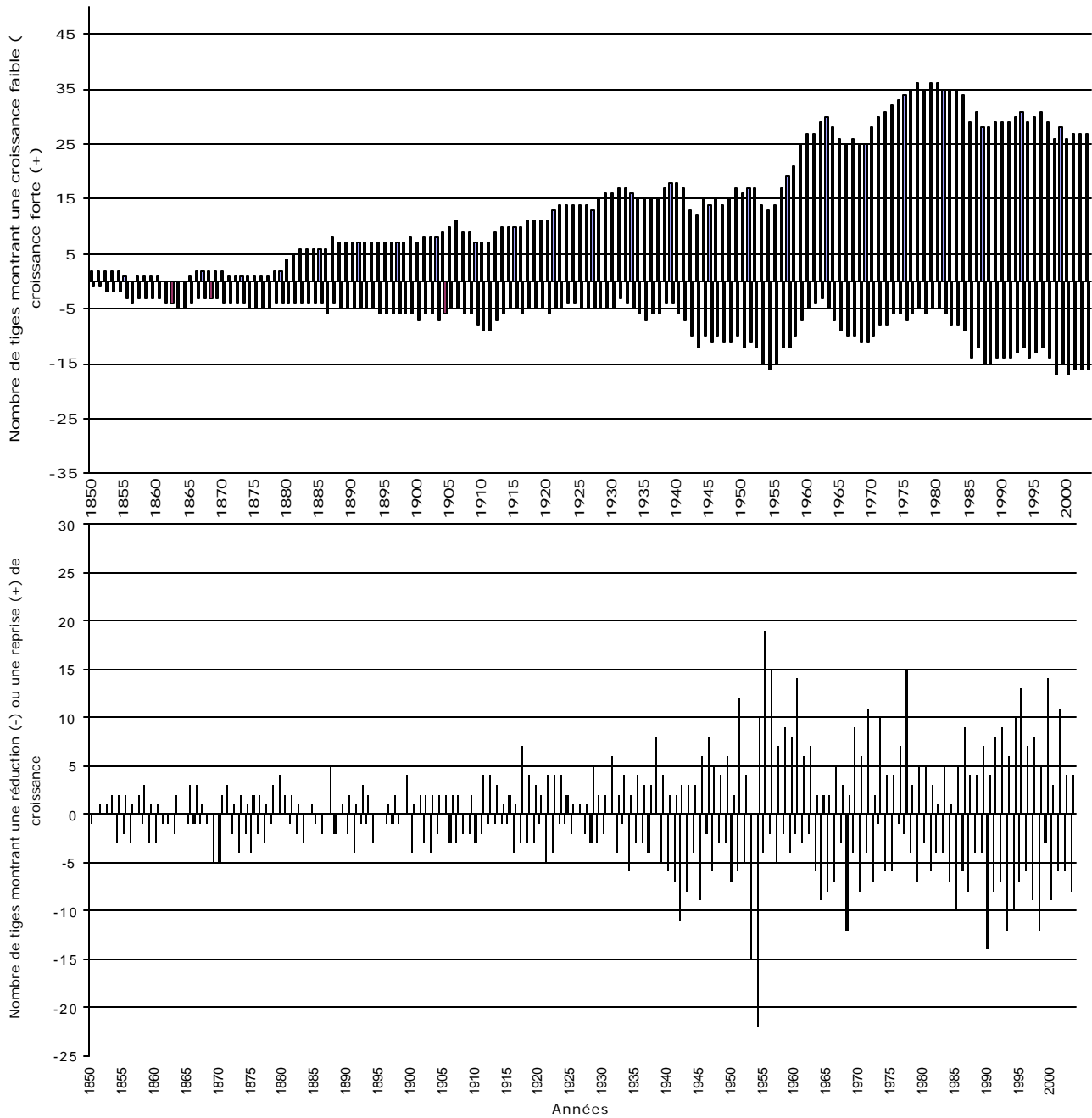
Rivière Bessonne, Haute Mauricie: Moyen



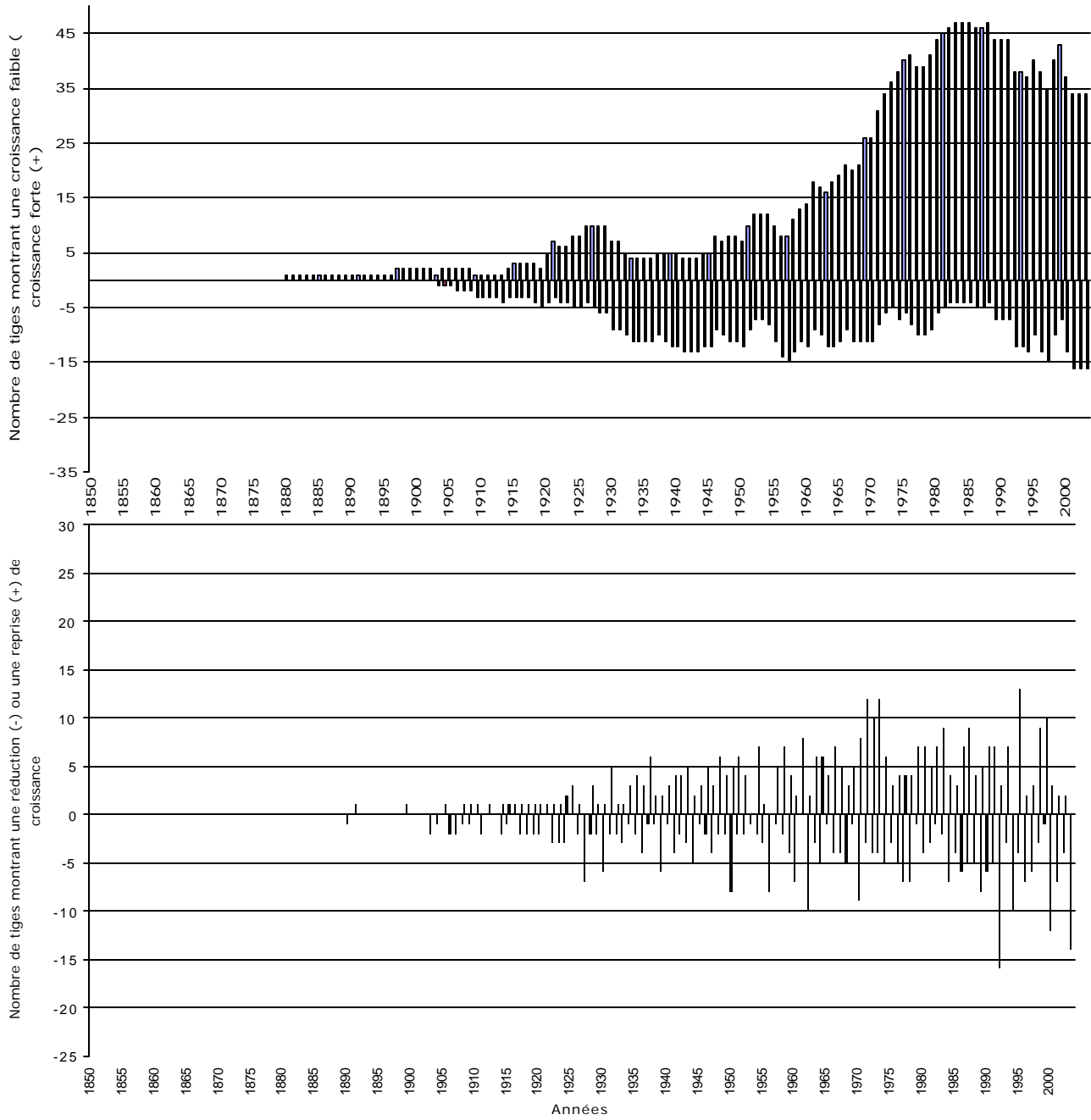
Lac Wayagamac O. Jin, Haute Mauricie: Vieux



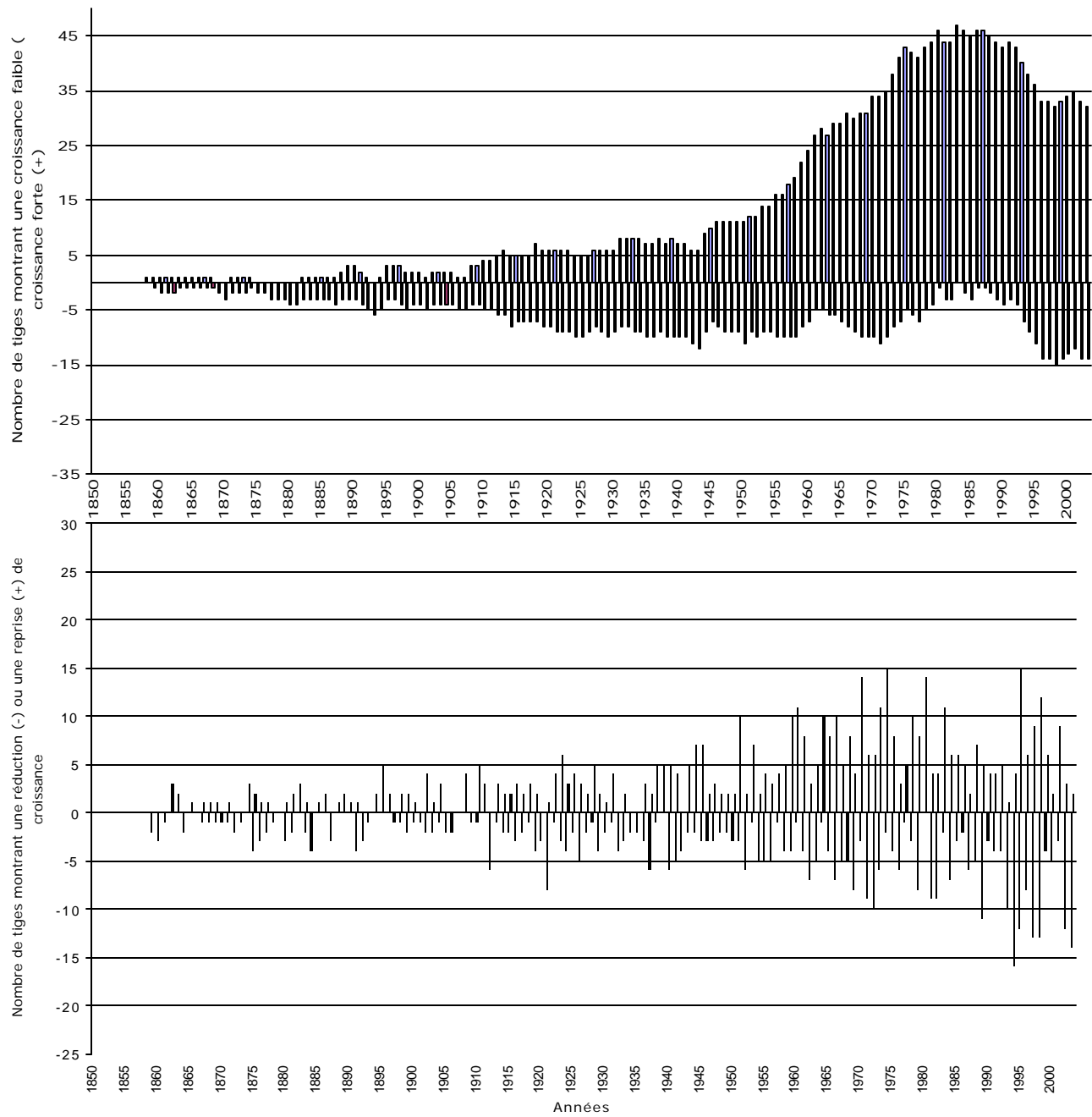
Lac Wayagamac O. Vin, Haute Mauricie: Vieux



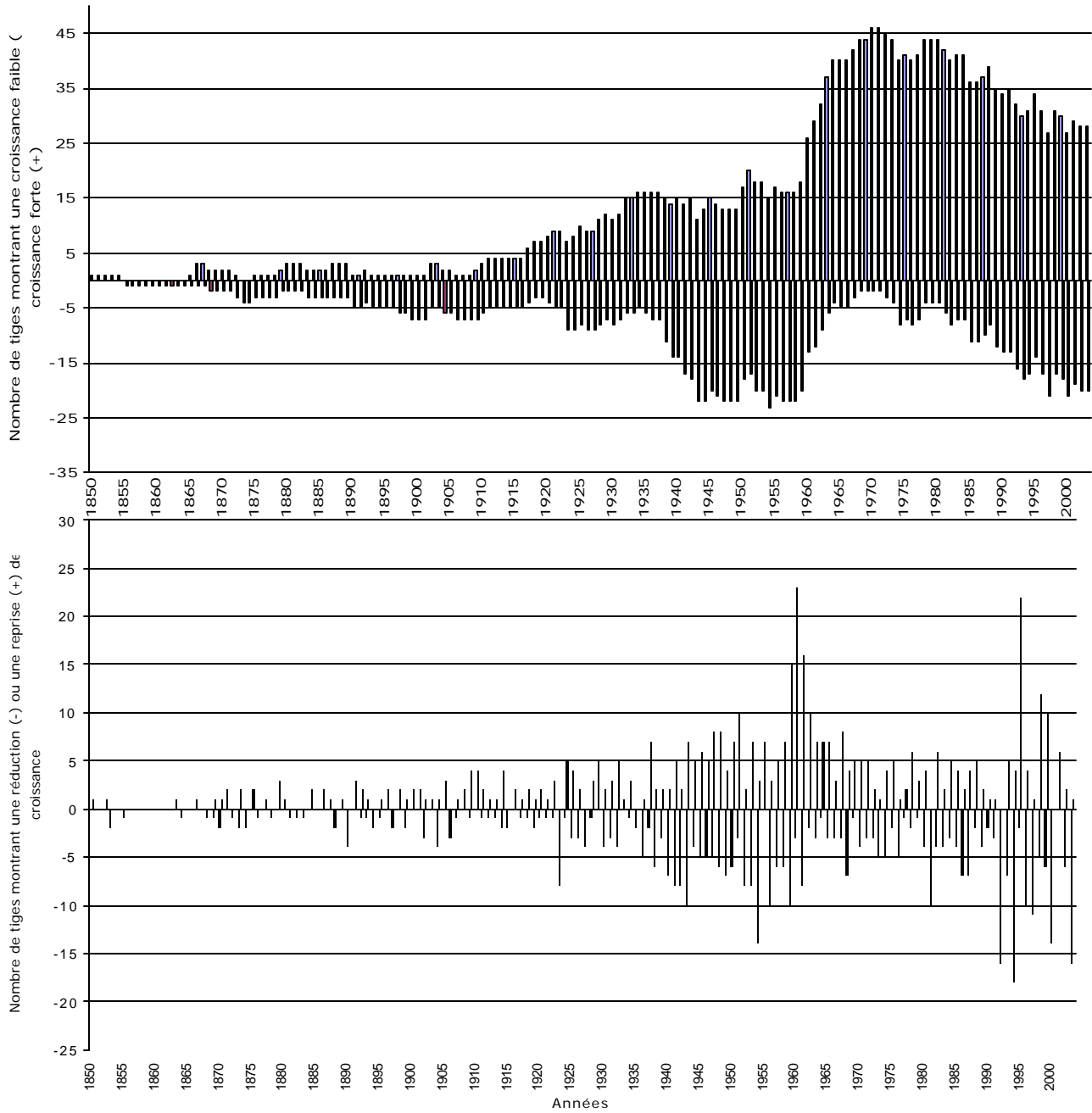
Lac Chiron, Portneuf: Jeune



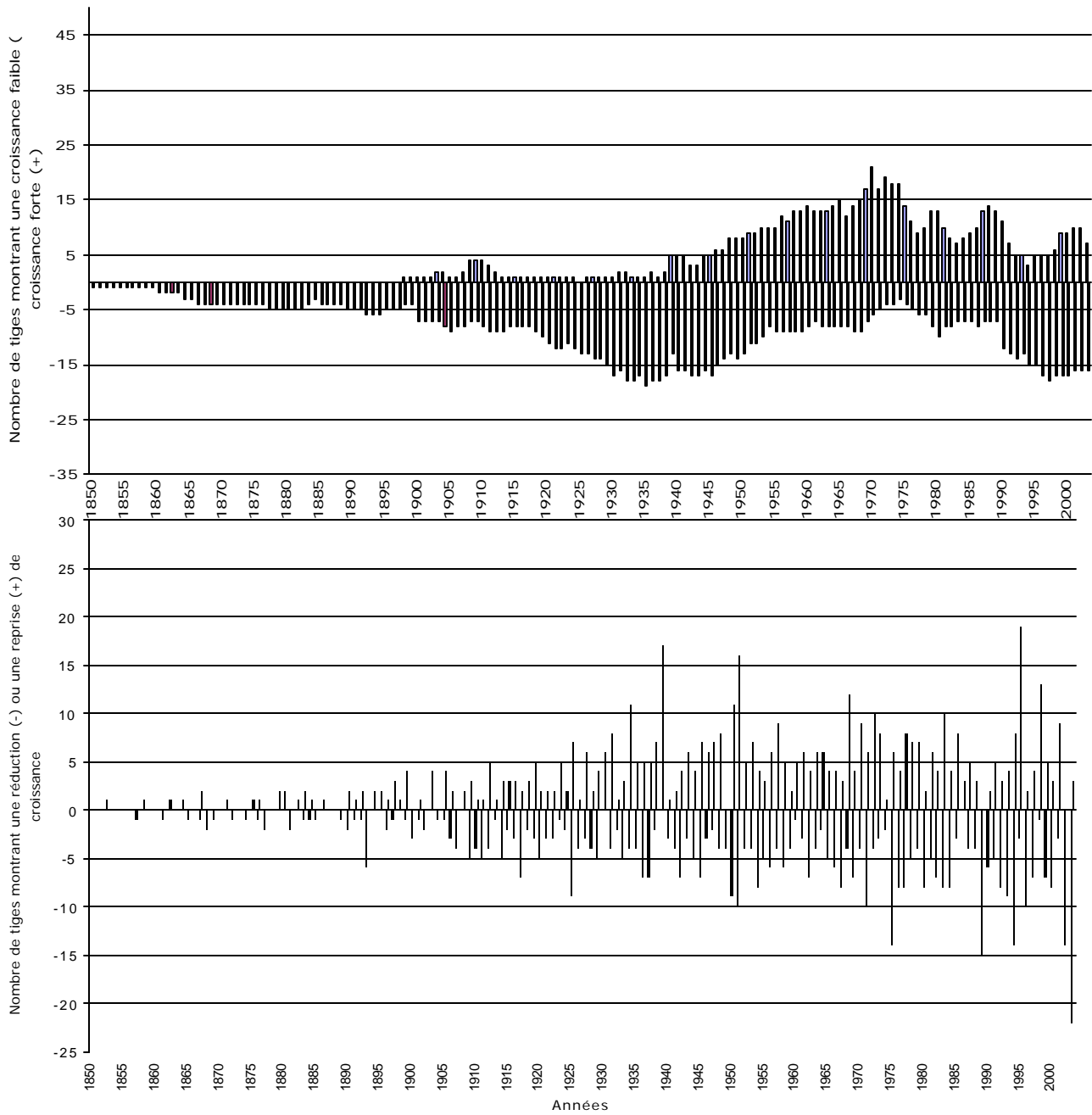
Lac Roy, Portneuf: Jeune



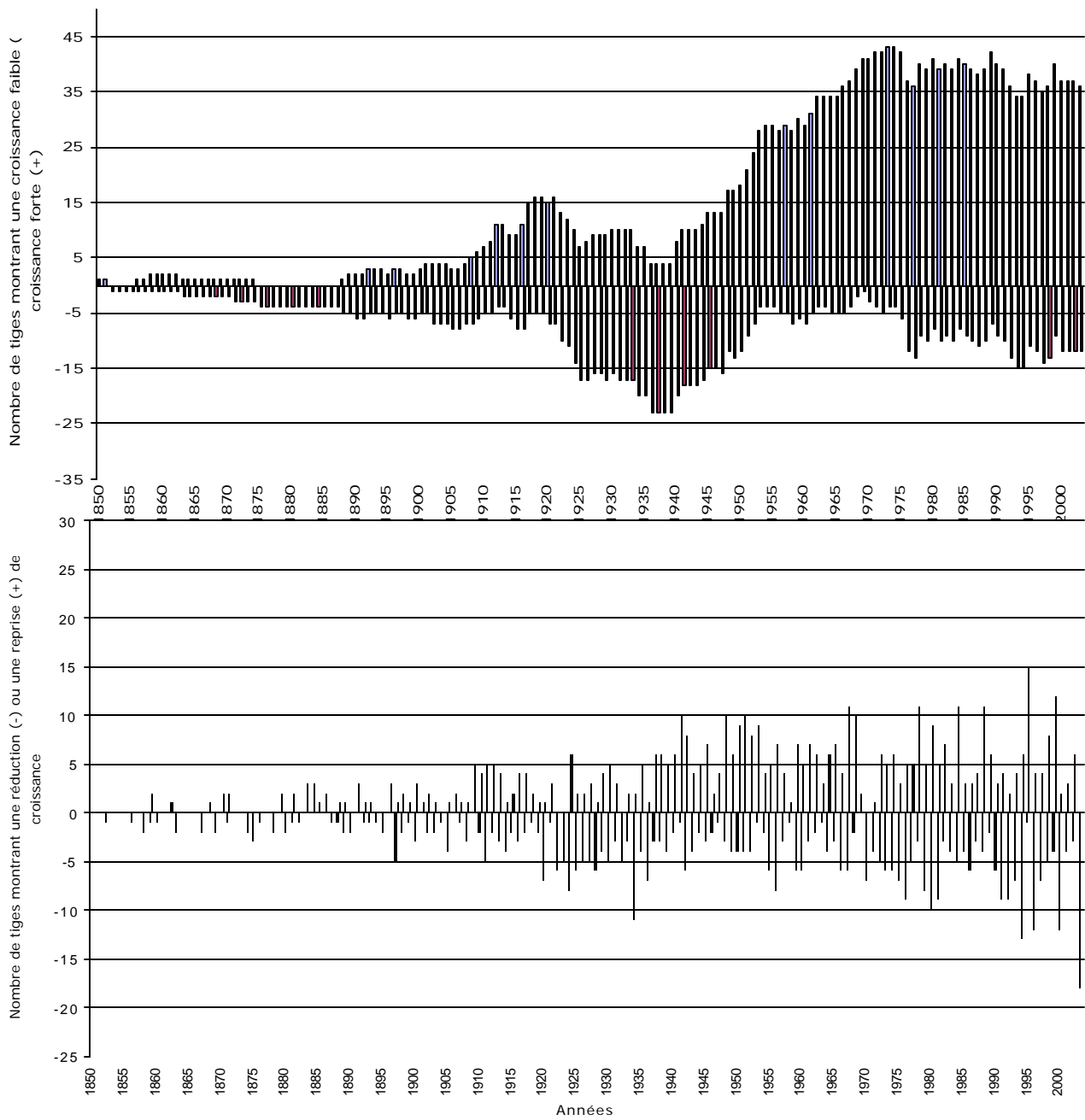
Lac Lebreil, Portneuf: Moyen



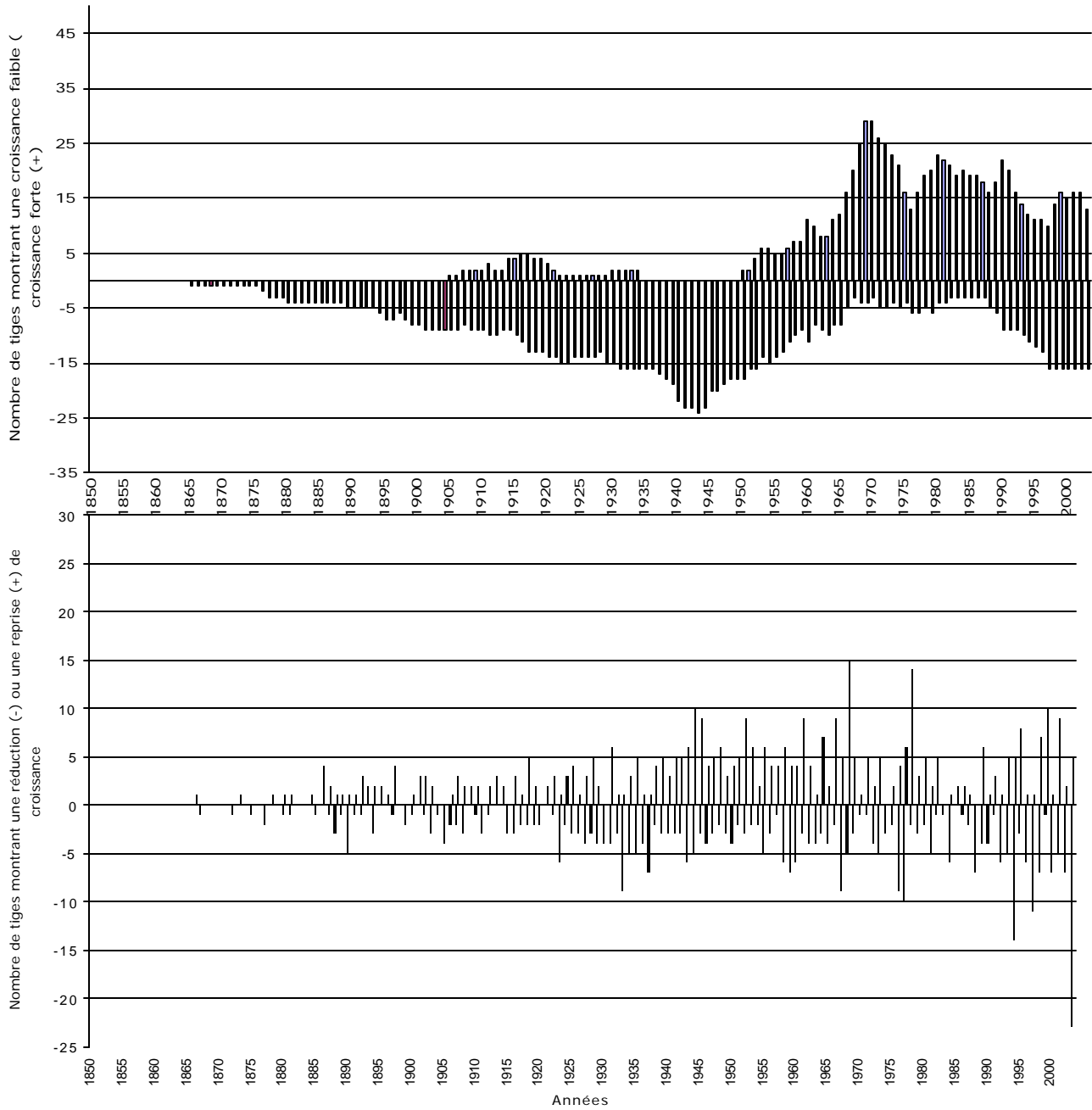
Lac Lévesque, Portneuf: Moyen



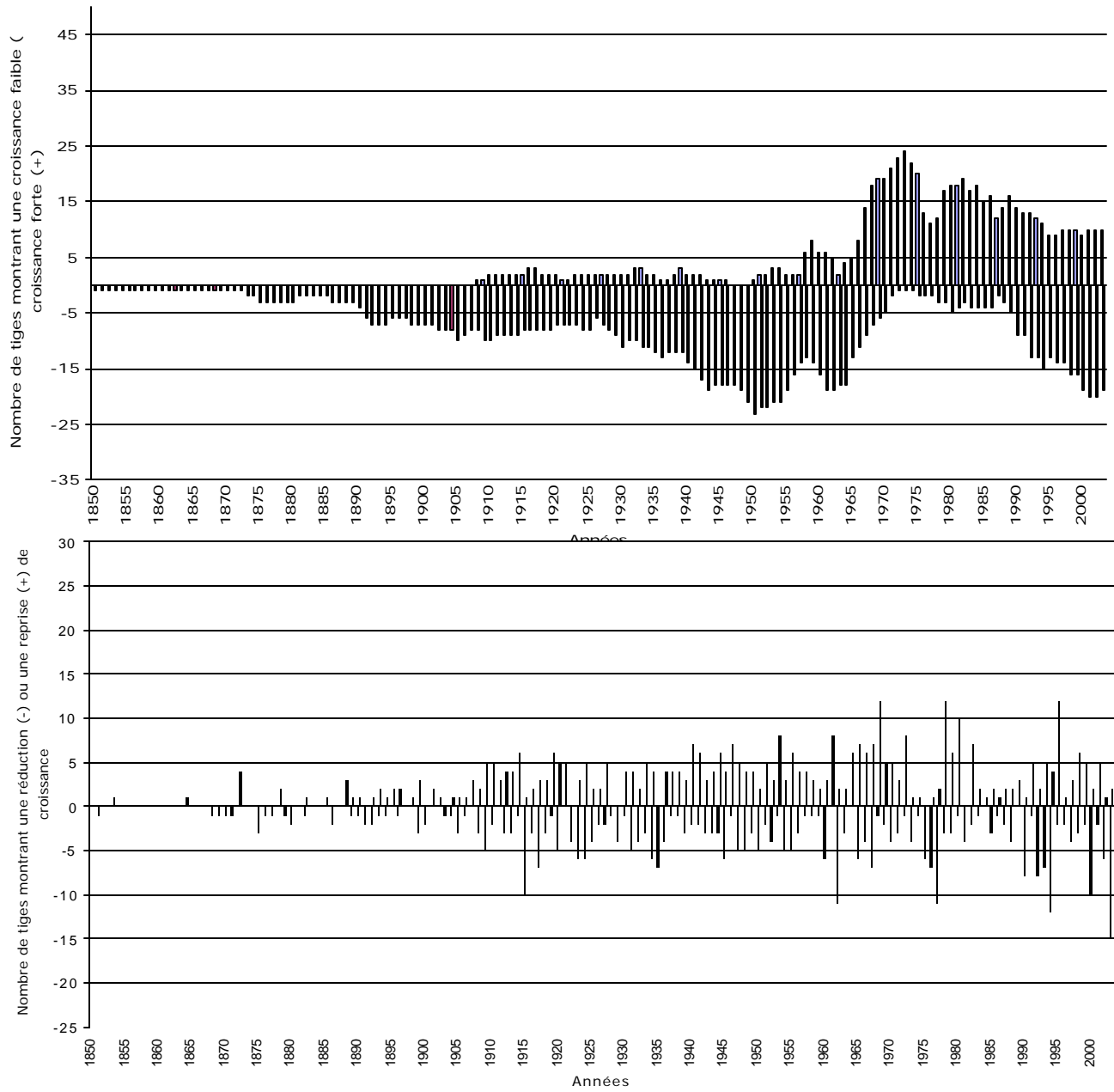
Petit Batiscan, Portneuf: Moyen



Lac en Peine II, Portneuf: Vieux



Lac en Peine I, Portneuf: Vieux



Lac Jogot, Portneuf: Vieux

