



Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Définition des strates d'échantillonnage et allocation des placettes-échantillons temporaires de l'unité de sondage 09451

Quatrième inventaire écoforestier du Québec méridional
2016

Rédaction

Jean-Gabriel Élie, ing.f., M.Sc., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Carl Bergeron, ing.f., M.Sc., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Collaboration

Sylvain Bernier, stat., M.Sc., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Robin Lefrançois, tech.f., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Jean Mercier, tech.f., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Philippe Morin, tech.f., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Ian Paiement, ing.f., M.Sc., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Isabelle Pomerleau, ing.f., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Révision linguistique

Hélène D'Avignon, ing.f., rédactrice professionnelle

Photographie de la page couverture

Robin Lefrançois, tech.f., Direction des inventaires forestiers, MFFP

Diffusion

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Direction des inventaires forestiers

5700, 4^e Avenue Ouest, local A-108

Québec (Québec) G1H 6R1

Téléphone : 418 627-8669

Ligne sans frais : 1 877 936-7387

Télécopieur : 418 646-1995

inventaires.forestiers@mffp.gouv.qc.ca

<http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/inventaire/index.jsp>

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Référence

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2016. Définition des strates d'échantillonnage et allocation des placettes-échantillons temporaires de l'unité de sondage 09451, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, secteur des forêts, Direction des inventaires forestiers, 29 p.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction : Description générale des processus liés à l'inventaire

Processus général de l'inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM)
Processus spécifique de la planification du sondage

Section 1

Unité de sondage et population cible : compilation des superficies incluses et exclues

Section 2

Composition en essences des peuplements écoforestiers : portrait et analyse

Section 3

Analyse de regroupement de la composition en essences : méthode et résultat

Section 4

Densité et hauteur des peuplements écoforestiers : portrait et analyse

Section 5

Regroupement des densités et hauteurs : méthode et résultat

Section 6

Allocation des placettes-échantillons aux strates d'échantillonnage : analyse et ajustements

Section 7

Synthèse de la stratification de l'échantillonnage et de l'allocation des placettes-échantillons

INTRODUCTION

Le présent rapport présente les données, l'analyse et les méthodes qui ont conduit à la définition des strates d'échantillonnage et à l'allocation des placettes-échantillons de l'unité de sondage 09451.

Processus général de l'inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM)

L'inventaire écoforestier vise à acquérir et à diffuser les connaissances sur les écosystèmes forestiers québécois. Il permet notamment de qualifier et de quantifier la superficie des peuplements forestiers et les volumes marchands bruts de bois sur pied. Le processus comporte quatre grandes activités qui sont réalisées sur une période de quatre ans. Ces étapes successives sont les suivantes :

Année 0 : Acquisition des photographies aériennes numériques

Années 1 et 2 : Cartographie écoforestière

Produite par photo-interprétation des images numériques, elle consiste à délimiter, à qualifier et à évaluer les superficies des peuplements écoforestiers selon des critères précisément établis.

Année 3 : Sondage

Consiste à établir des placettes-échantillons temporaires (PET) dans le but d'acquérir des mesures de variables dendrométriques dans les peuplements cartographiés.

Année 4 : Compilation forestière

Consiste à associer des variables dendrométriques mesurées dans les placettes à différentes échelles d'agrégation des peuplements de la carte écoforestière, allant des peuplements individuels jusqu'à l'unité de sondage.

Processus spécifique de la planification du sondage

Le processus de planification du sondage comporte quatre grandes étapes ici résumées.

1) Définition de l'unité de sondage et de la population cible

L'unité de sondage (US) correspond au territoire dans lequel est établi un échantillonnage terrain de variables dendrométriques et écologiques et des attributs des stations forestières au moyen de placettes-échantillons temporaires. Une US est définie pour chaque unité d'aménagement (UA), chaque agence de mise en valeur des forêts privées et pour certaines réserves forestières (095001 et 096001). Les critères retenus dans la définition de l'US sont le mode de gestion et les usages des territoires forestiers (usages surfaciques et zones d'application de modalités d'intervention [ZAMI]). Ainsi, compte tenu de l'objectif d'échantillonner seulement les forêts aménagées, seuls certains modes de gestion sont considérés dans la définition de l'US. Quant aux usages, ils permettent de distinguer différentes utilisations du territoire et de leur attribuer des mesures de protection particulières. Un code d'impact sur la possibilité forestière est associé à chacun de ces usages et ceux ayant une valeur située entre « 01 » et « 06 » sont exclus de l'US. Enfin, la carte écoforestière sert de base pour la définition de la population cible à échantillonner dans l'US, soit les peuplements écoforestiers productifs accessibles de 7 m ou plus de hauteur.

2) Objectifs poursuivis et plan d'échantillonnage

Le sondage de type PET est planifié et réalisé selon un plan d'échantillonnage à deux degrés à probabilités de sélection variables (méthode d'échantillonnage probabiliste). Les probabilités de sélection sont définies en fonction de regroupements caractérisés par une composition en essences, une densité et une hauteur, à partir de l'intensité d'échantillonnage fixée pour chacun d'eux lors de la planification du sondage. Comme ces regroupements s'apparentent beaucoup aux strates d'échantillonnage d'un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié, on utilisera les termes « strates » et « strates d'échantillonnage » dans le reste du document pour en simplifier la lecture et la compréhension. Ainsi, ce type de plan d'échantillonnage permet de contrôler minimalement le nombre de PET alloué par strate contrairement à un plan d'échantillonnage aléatoire simple ou systématique. La méthode d'estimation des variables dendrométriques par essence utilisée à la compilation (imputations k-NN) est telle que l'échelle d'estimation est - non pas la strate d'échantillonnage, mais le peuplement écoforestier. Il en découle que les objectifs poursuivis par la stratification de l'échantillonnage sont d'assurer que chacune des strates est représentée dans l'échantillon global tout en assurant l'allocation d'une quantité suffisante de placettes-échantillons dans les principales compositions d'essences.

Puisqu'on vise des estimations par essence, les attributs de la carte écoforestière qui définissent les strates sont d'abord les essences et leur proportion relative de la surface terrière totale, et ensuite la densité et la hauteur des peuplements. Ces attributs permettent de tenir compte des gradients appréhendés des variables dendrométriques d'intérêt. Le regroupement des différentes compositions en essences est réalisé avec une analyse de classification. Dans le cas des densités et des hauteurs, on a utilisé les centiles (30e, médiane et 70e) pour scinder, lorsque cela était possible et en fonction de la superficie, les regroupements des compositions en essences.

3) Allocation des PET aux strates d'échantillonnage

La prescription ou allocation des PET consiste à déterminer le nombre de PET qui sera implanté dans chacune des strates d'échantillonnage. Dans le contexte d'application de la méthode k-NN, on considère que l'allocation doit être proportionnelle à la superficie des strates. Cependant, il est souhaitable dans certains cas de moduler le taux d'échantillonnage, par exemple lorsqu'un nombre élevé de PET a été prévu dans des strates d'une très grande superficie, dont la composition en essences est très homogène. Le nombre de PET est ainsi réduit dans ces strates puis est ensuite réparti dans d'autres strates d'échantillonnage de plus faible superficie ou de composition en essences plus hétérogène ou plus rare.

4) Production du plan de sondage

Lors de la production du plan de sondage, on minimise les risques de biais potentiels rattachés à la sélection des placettes en faisant appel à une méthode d'échantillonnage probabiliste. La détermination des lieux précis d'implantation des placettes se fait en quadrillant le territoire à sonder selon deux échelles de travail. On quadrille d'abord le territoire à l'aide d'une grille de tuiles d'une dimension déterminée, ensuite on quadrille chaque tuile à l'aide d'une grille de points équidistants les uns des autres d'une distance minimale fixée. Chaque point représente ainsi un lieu potentiel d'implantation d'une placette. Seules les placettes faisant partie des peuplements formant la population cible sont considérées.

On réalise ensuite le choix final des placettes à sonder en sélectionnant de façon aléatoire (probabilités variables) un ensemble de tuiles, puis une série de points dans chacune des tuiles (pour la formation des virées d'inventaire). La probabilité de sélection associée à un point à l'intérieur d'une tuile est déterminée à partir du nombre de placettes visé par strate et du nombre de placettes admissibles à la sélection (placettes potentielles).

Processus de l'inventaire écoforestier du Québec méridional de l'US 09451

Les différentes étapes du processus de même que la période à laquelle elles ont été réalisées ou seront complétées sont présentées dans le tableau suivant.

Prise de photographies aériennes	Acquisition et diffusion	2013
Cartographie écoforestière	Production	juin 2014 - décembre 2015
	Diffusion - statut primaire	mai 2016
	Diffusion - statut final	mai 2017
Sondage terrestre	Production	été 2016
	Diffusion	mai 2017
Compilation forestière	Diffusion	été 2017

Paramètres et hypothèses initiaux de l'US 09451

Quelques données de base ont été considérées dans la détermination du nombre de strates d'échantillonnage, leur superficie et dans l'allocation des PET aux strates. Ces données sont listées en tableau puis présentées plus en détail ci-après.

Superficie sondée (ha)	807 628
Nombre total de PET à implanter	600
Hypothèse initiale du facteur d'expansion (« Fe ») des valeurs à l'hectare d'une PET : allocation proportionnelle à la superficie sondée (ha / PET)	1 346
Superficie minimale (ha) des strates d'échantillonnage à définir (environ 10 PET)	13 460
Superficie maximale (ha) des strates d'échantillonnage à définir (environ 25 PET)	33 651

Superficie sondée

Il s'agit de la superficie de la population cible, soit celle des polygones des peuplements forestiers, productifs, accessibles, de 7 m ou plus de hauteur et localisés dans l'unité de sondage définie par des subdivisions territoriales. Le détail des inclusions et exclusions de superficies est présenté à la section 1.2.

Nombre total de PET à implanter

Le nombre de placettes-échantillons à implanter dans chaque territoire de sondage est déterminé en fonction de la complexité des écosystèmes et de la diversité des essences, selon trois degrés d'intensité. Dans les forêts plus homogènes situées dans la portion nord du Québec méridional, on a prévu implanter 600 placettes par unité de sondage, tandis qu'on en a prévu 750 dans la zone intermédiaire, et 900 dans la portion sud qui se compose de forêts plus complexes. On notera que le taux d'échantillonnage peut être ajusté au besoin dans le cas de certains territoires peu diversifiés ou d'une faible superficie.

Facteur d'expansion

Le facteur d'expansion correspond au poids de sondage associé à chacune des unités sélectionnées (placettes) dans la population sondée (unité de sondage). Plus explicitement, on définit le facteur d'expansion ici comme étant le produit de deux facteurs : le premier permet de convertir les données mesurées dans une placette-échantillon lors du sondage terrain à des valeurs à l'hectare (PET/ha), tandis que le second correspond à la superficie de la population cible représentée par chacune des placettes sélectionnées (ha/PET). Dans le présent rapport, on ne considère que le deuxième facteur, puisque dans le cadre de la planification du sondage terrestre, on travaille à l'échelle de la population cible et non pas à l'échelle de la placette. Le premier facteur sera intégré dans l'équation lorsque les données des placettes seront disponibles et que les résultats de compilations seront produits. La valeur initiale du deuxième facteur, qui résulte de l'orientation d'obtenir un échantillonnage aléatoire et uniforme de la population cible, est donnée par le ratio entre les deux paramètres précédents, soit entre la superficie de la population cible et le nombre de PET prévu dans l'unité de sondage. Il correspond à une même constante pour chaque placette. Cependant, nous verrons à la section 6 que des ajustements de ce ratio peuvent être appliqués en fonction de la composition en essences des strates.

Superficie des strates d'échantillonnage

Le nombre total de strates d'échantillonnage et leur superficie ne sont pas précisément définis *a priori*. Cependant, les paramètres précédemment décrits, combinés à la recherche d'un certain équilibre entre considérer un maximum d'attributs de la carte écoforestière (suppose de définir un grand nombre de strates) et conserver la possibilité d'ajuster le facteur d'expansion de chacune des strates (suppose de définir peu de strates), définissent quelques balises. C'est ainsi que l'on vise à définir des strates pour lesquelles approximativement entre 10 et 25 PET seront allouées. En multipliant ces nombres de placettes par le facteur d'expansion, on obtient des balises approximatives - encore une fois sur la superficie minimale et maximale des strates à définir.

1. Unité de sondage et population cible

1.1 Définition de l'unité de sondage basée sur les subdivisions territoriales

On présente ici les superficies incluses et exclues basées sur les données territoriales considérées pour définir l'unité de sondage. Ces données ont été vérifiées, puis corrigées lorsque cela était nécessaire, à la suite de l'exercice de validation des intrants à la définition des unités de sondage réalisé à l'automne 2015.

Territoire d'intérêt		Mode de gestion		Superficie	
Périmètre	Sondage	Code	Nom	ha	%
09451	Oui	01	Unité d'aménagement (UA)	1 445 155	80,2%
		28	Concession minière publique sur unité d'aménagement (UA)	30	0,0%
	Non	02	Territoire forestier résiduel (TFR) libre de droit au sud de la limite nordique	42 361	2,4%
		06	Forêt d'expérimentation sur unité d'aménagement (UA)	44	0,0%
		09	Bleuetière de type forêt-bleuet (production mixte) sur unité d'aménagement (UA)	1 505	0,1%
		15	Écosystème forestier exceptionnel désigné (EFE)	881	0,0%
		20	Petite propriété privée	20 710	1,1%
		50	Réserve écologique	72 605	4,0%
		52	Eaux (lacs importants, fleuve et réservoir)	16 540	0,9%
		53	Réserve aquatique et/ou habitat floristique menacé	111 613	6,2%
		54	Réserve de biodiversité	63 531	3,5%
		55	Projet de refuge biologique exclu de la production forestière	3 982	0,2%
		59	Refuge biologique désigné	20 400	1,1%
		60	Autre terrain vacant	9	0,0%
		66	Forêt d'expérimentation	8	0,0%
		71	Lot mixte	9	0,0%
		81	Bleuetière de type conventionnel sur territoire forestier résiduel (TFR)	867	0,0%
		90	Réserve indienne et terre de catégorie 1A	736	0,0%
92	Autre terrain fédéral	77	0,0%		
				1 801 062	100,0%

Usage forestier				Superficie	
Sondage	Code	Nom	Code d'impact	ha	%
Non	AE	Transport aérien	01	28	0,0%
	AP	Aire protégée	01	81	0,1%
	AR	Site récréatif	01	6	0,0%
	CM	Camping aménagé	01	31	0,0%
	ES	lieu d'enfouissement de matières résiduelles	01	6	0,0%
	GE	site géologique exceptionnel	01	14	0,0%

Usage forestier				Superficie	
Sondage	Code	Nom	Code d'impact	ha	%
Non	HB	Habitation	01	42	0,0%
	IN	Site industriel	01	1 378	1,1%
	LC	Terrain sous bail	01	8	0,0%
	LS	Rivière à saumon	01	3 460	2,8%
	MH	Milieu humide d'intérêt	01	1 114	0,9%
	PA	Base de plein air	01	2	0,0%
	PG	Projet gouvernemental	01	100 659	81,0%
	PM	Prise d'eau municipale	01	3	0,0%
	PU	Périmètre d'urbanisation	01	45	0,0%
	RG	Réserve écologique	01	2	0,0%
	SA	Site agricole	01	4 674	3,8%
	SG	Site archéologique	01	5	0,0%
	ST	Station de mesure	01	3	0,0%
	TP	Réseau de transport à distance des polluants atmosphériques	01	738	0,6%
	TT	Réseau de télécommunication	01	27	0,0%
	VI	Site de villégiature	01	2	0,0%
	VR	Site de villégiature regroupée	01	78	0,1%
	ZC	Zone de conservation	01	11 834	9,5%
				124 239	100,0%

Zone d'application des modalités d'intervention			Superficie	
Sondage	Usage associé	Code d'impact	ha	%
Non	AP	05	1 167	9,0%
	CM	05	11	0,1%
	CR	06	1 917	14,8%
	CT	01	13	0,1%
	CU	05	5	0,0%
	ES	05	6	0,0%
	LS	03	4 735	36,5%
	PA	05	3	0,0%
	PE	01	102	0,8%
	PM	01	6	0,0%
	PZ	05	3	0,0%
	RG	05	1 209	9,3%
	RH	05	8	0,1%
	RP	06	847	6,5%
	RR	05	52	0,4%

Zone d'application des modalités d'intervention			Superficie	
Sondage	Usage associé	Code d'impact	ha	%
Non	RS	05	5	0,0%
	SGP	01	328	2,5%
	SS	05	2	0,0%
	VI	01	2 472	19,1%
	VR	05	67	0,5%
			12 957	100,0%

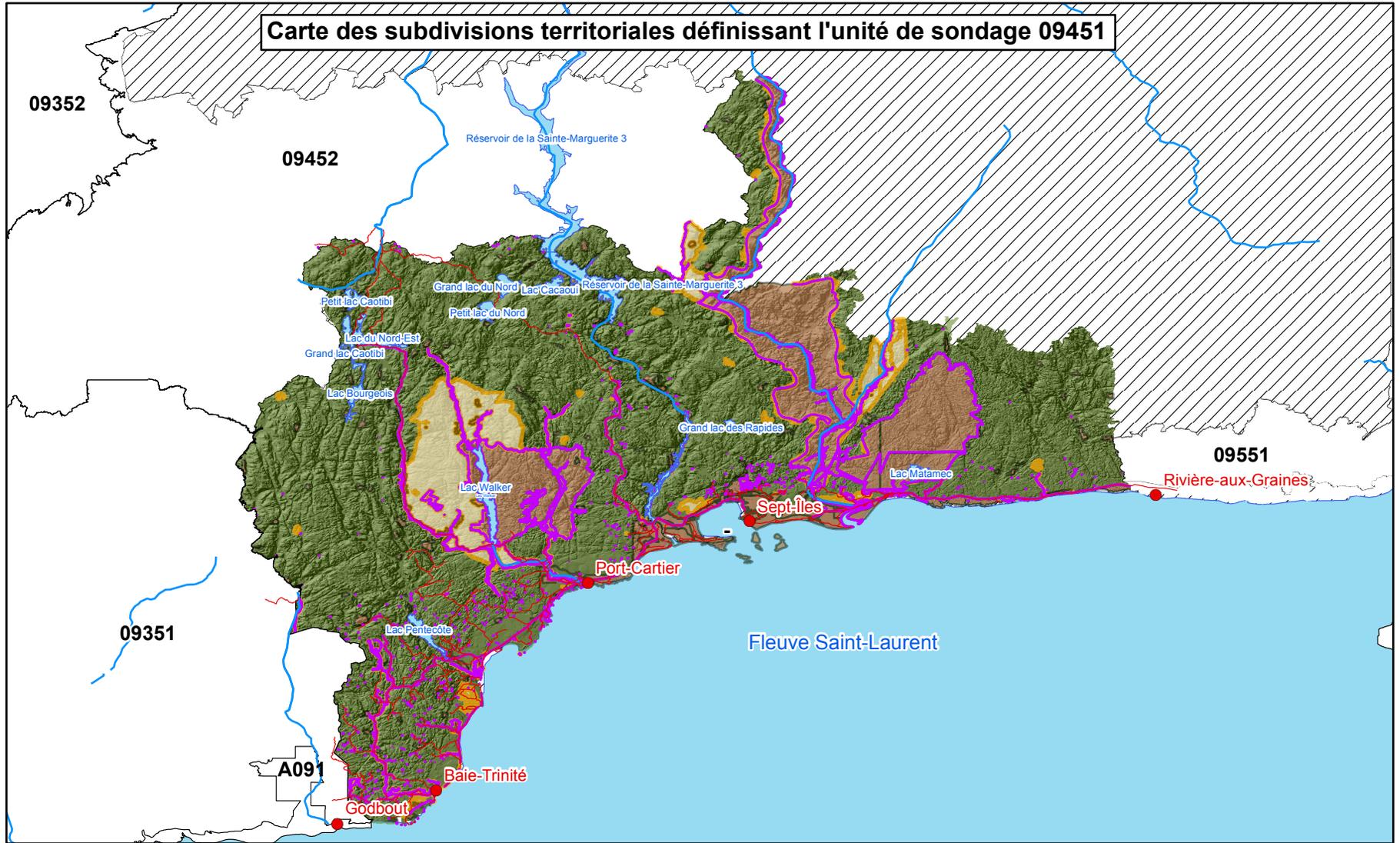
La synthèse des inclusions et exclusions basées sur les subdivisions territoriales est présentée sur la carte apparaissant à la fin de la présente section.

1.2 Définition de la population cible

La population cible est définie à partir des attributs de la carte écoforestière, des réseaux hydrographiques et de chemins et d'une couverture de pentes numérique. Le tableau qui suit présente la compilation des inclusions et exclusions.

Sondage	Description	Superficie	
		ha	%
Oui	Peuplements écoforestiers de 7 m ou plus de hauteur - Stratification AIPF	807 628	62,0%
Oui		807 628	62,0%
Non	Étendue d'eau	75 650	5,8%
	Terrain à vocation non forestière	7 051	0,5%
	Terrain forestier inaccessible (pente «F» ou «S»)	114 758	8,8%
	Terrain forestier improductif	181 597	13,9%
	Peuplements écoforestiers de moins de 7 m de hauteur	116 335	8,9%
Non		495 391	38,0%
		1 303 019	100,0%

Carte des subdivisions territoriales définissant l'unité de sondage 09451



Territoire sondé

- Unité de sondage 09451
- Territoire non sondé**
- Mode de gestion
- Usage forestier
- Zone d'application des modalités d'intervention

- Territoire non sondé et non cartographié
- Hydrographie surfacique
- Hydrographie linéaire
- Réseau routier
- Limite des unités de sondage

Frontières

- Frontière internationale
- Frontière interprovinciale
- Frontière Québec—Terre-Neuve-et-Labrador (cette frontière n'est pas définitive)

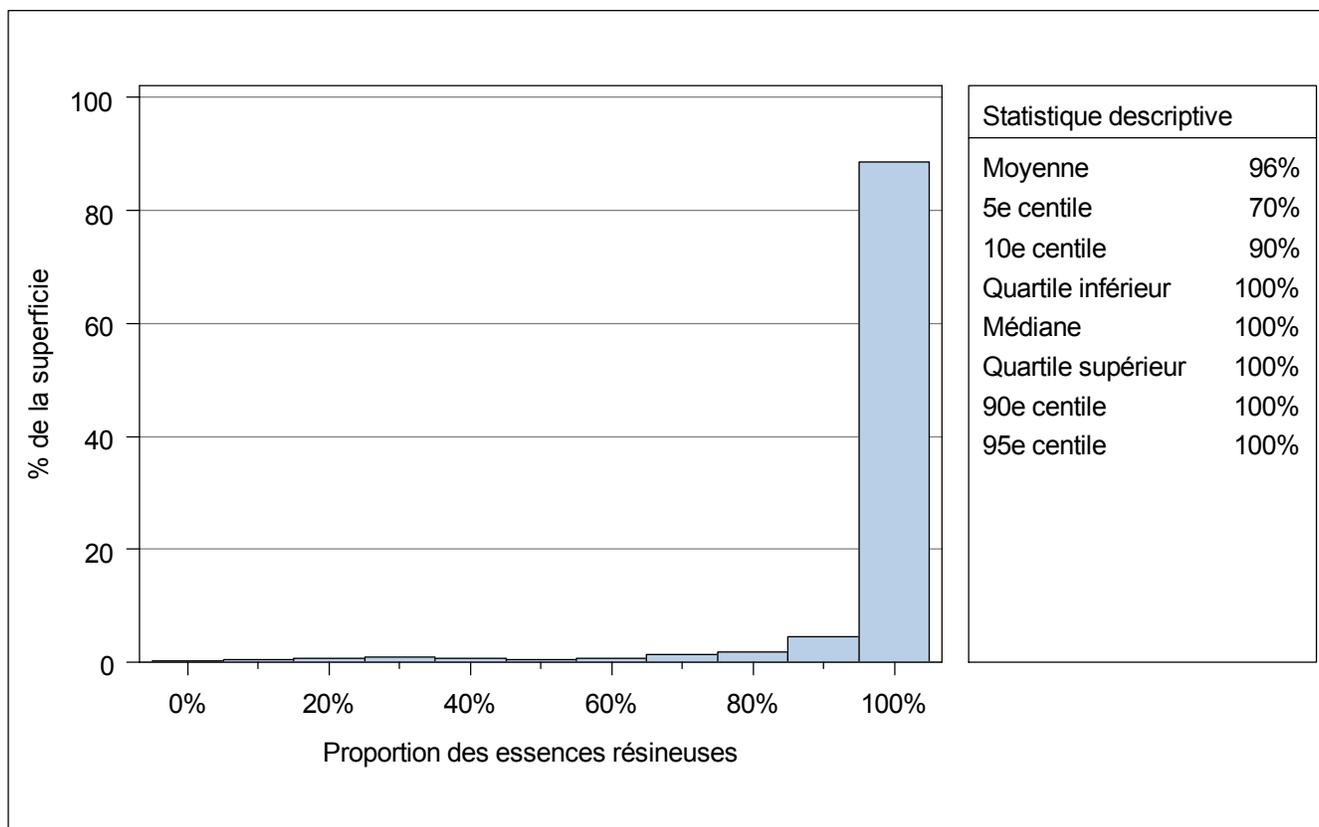
2. Portrait et analyse de la composition en essences des peuplements

2.1 Types de couvert

Les types de couvert sont définis en fonction de la proportion des essences résineuses identifiées sur la carte écoforestière. Le tableau qui suit présente leur superficie et leur importance relative.

Type de couvert		Proportion des essences résineuses		Superficie	
Code	Nom	min	max	(ha)	(%)
F	Feuillu	0%	24%	10 768	1%
MF	Mixte à dominance feuillue	28%	48%	11 520	1%
MR	Mixte à dominance résineuse	50%	74%	20 102	2%
R	Résineux	76%	100%	765 238	95%
		0%	100%	807 628	100%

Plus précisément, l'importance relative en termes de superficie des différentes proportions d'essences résineuses dans les peuplements est présentée dans l'histogramme ci-dessous.



2.2 Importance relative des essences identifiées sur la carte écoforestière

La stratification écoforestière « AIPF » (MFFP-DIF 2015, chapitre 2) donne directement la proportion de la surface terrière totale (surface terrière relative) occupée par chacune des essences identifiées dans chaque peuplement. Il est donc aisé de déduire l'importance relative de chaque essence de l'ensemble des peuplements cibles de l'US. Pour ce faire, il suffit de sommer les produits des proportions de la surface terrière totale des essences avec la proportion de la superficie totale occupée par chaque peuplement. Cette importance relative de chaque essence est ici présentée par type de couvert, puis pour tous les types de couvert.

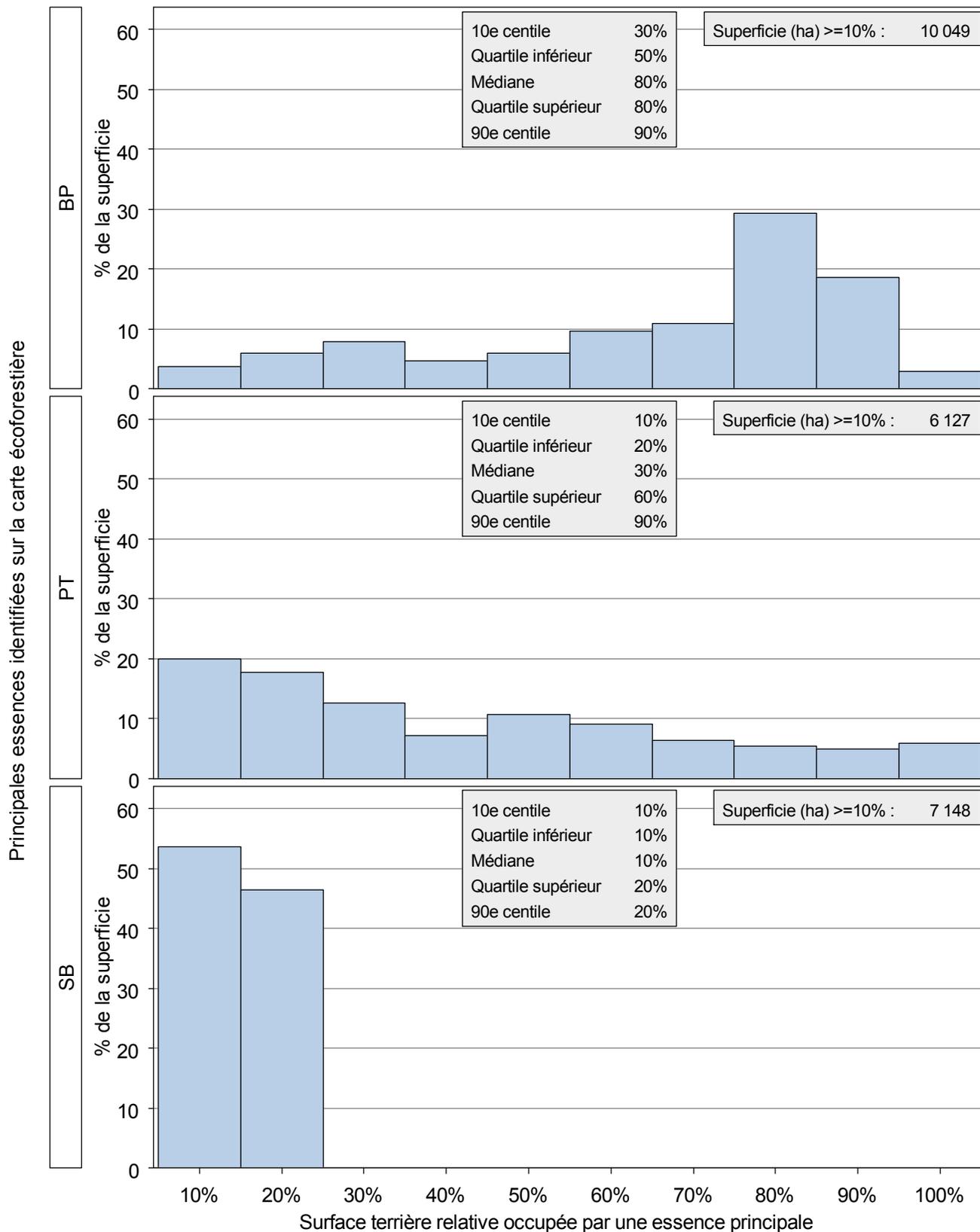
Essence			Type de couvert				
Type	Code	Nom	F	MF	MR	R	Tous
Feuilleuse	BP	Bouleau blanc (à papier)	61,27%	49,42%	29,71%	0,63%	2,86%
	ES	Érable à sucre	0,00%	0,09%	0,00%	0,00%	0,00%
	FI	Feuillus intolérants à l'ombre	0,00%	0,01%	0,20%	0,13%	0,13%
	FN	Feuillus non commerciaux	0,55%	0,98%	0,81%	0,01%	0,05%
	FX	Feuillus indéterminés	0,00%	0,02%	0,00%	0,01%	0,01%
	PA	Peuplier baumier	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	PT	Peuplier faux-tremble	24,06%	15,10%	6,30%	0,07%	0,76%
			85,89%	65,63%	37,03%	0,85%	3,81%
Résineuse	EB	Épinette blanche	0,41%	1,18%	1,66%	1,02%	1,03%
	EN	Épinette noire	2,63%	8,93%	20,09%	66,83%	63,99%
	ML	Mélèze laricin	0,01%	0,05%	0,09%	0,45%	0,43%
	PG	Pin gris	0,00%	0,01%	0,01%	0,19%	0,18%
	PR	Pin rouge	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%
	RX	Résineux indéterminés	0,85%	0,02%	0,02%	0,03%	0,04%
	RZ	Résineux planté indéterminé	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
	SB	Sapin baumier	9,72%	24,12%	41,08%	30,62%	30,51%
	SE	Sapin et épinette blanche	0,49%	0,06%	0,01%	0,00%	0,01%
	TO	Thuya occidental	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
			14,11%	34,37%	62,97%	99,15%	96,19%
			100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

2.3 Distribution des surfaces terrières relatives occupées par les principales essences identifiées sur la carte écoforestière

Les pages qui suivent montrent au moyen d'histogrammes la distribution de la surface terrière relative (exprimée en %) des principales essences identifiées sur la carte écoforestière. Pour qu'une essence ait été considérée dans le calcul de la surface terrière, elle devait occuper $\geq 10\%$ de la surface terrière totale du peuplement cartographié auquel elle faisait partie. Cette condition permet de constater, par exemple, si une essence est essentiellement présente à titre d'essence compagne ou si, à l'inverse, elle est essentiellement présente dans des peuplements purs, voire strictement monospécifiques. Ces distributions de surfaces terrières relatives sont présentées ci-dessous par type de couvert.

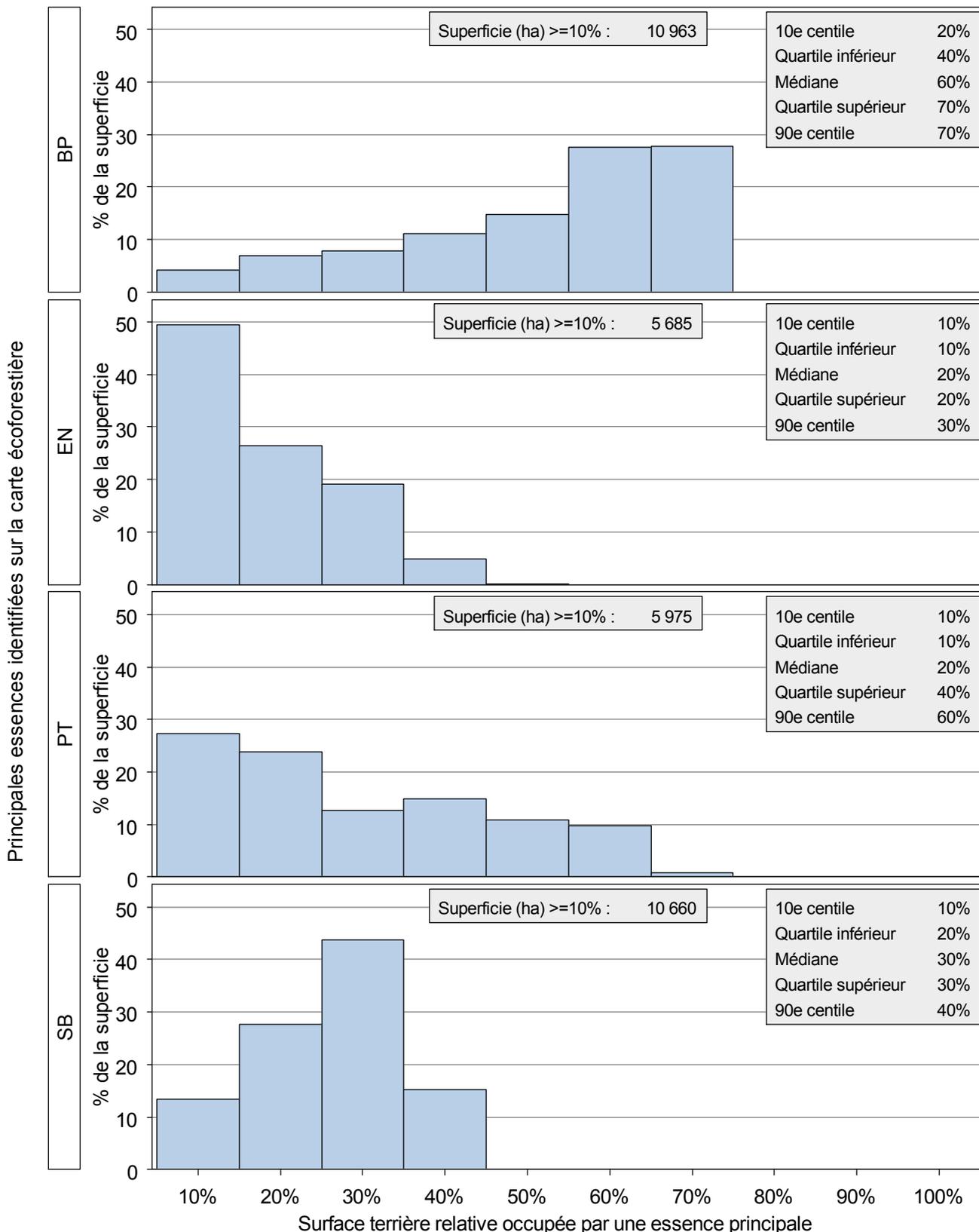
Type de couvert : Feuillu

Superficie totale du type de couvert : 10 768 ha



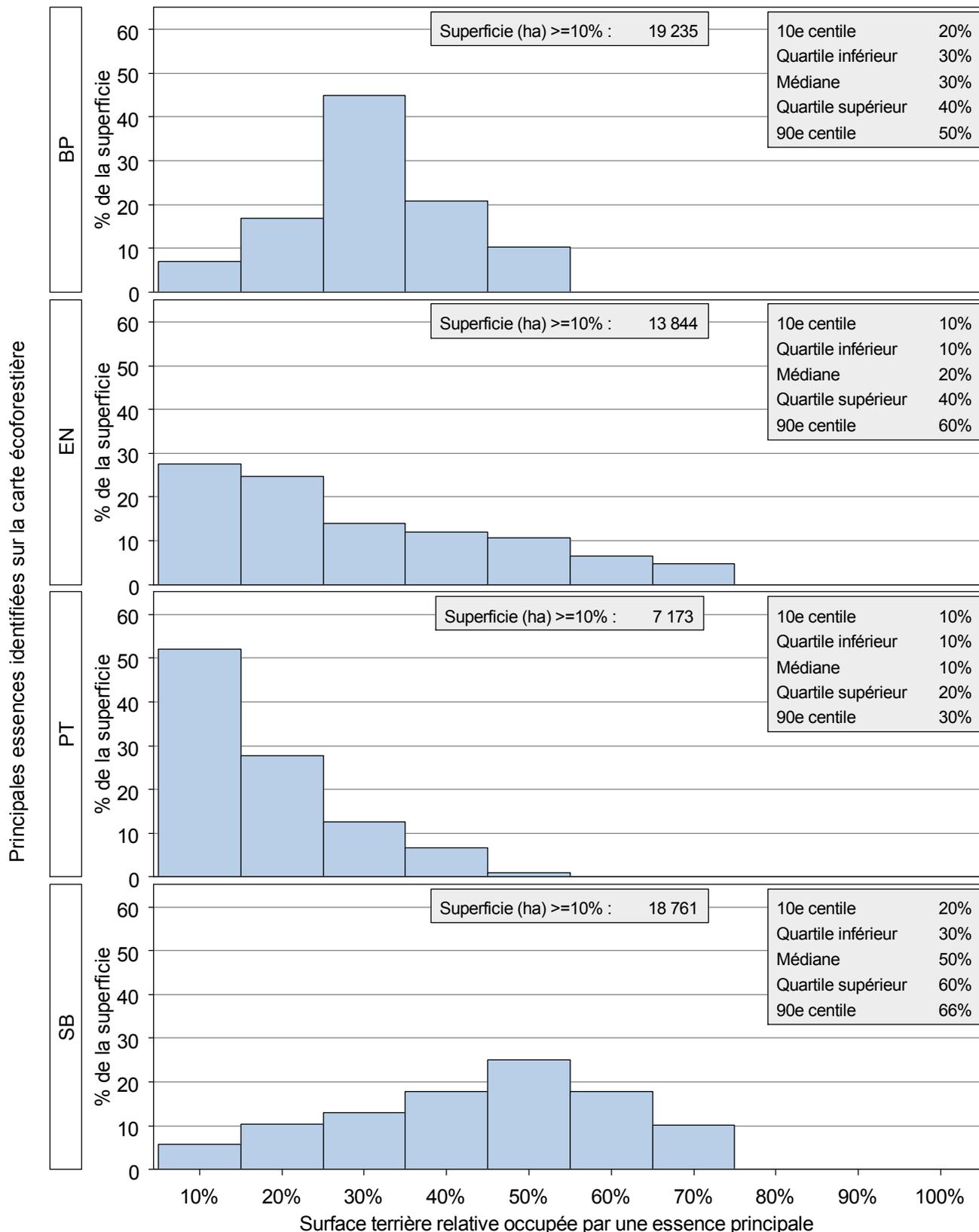
Type de couvert : Mixte à dominance feuillue

Superficie totale du type de couvert : 11 520 ha



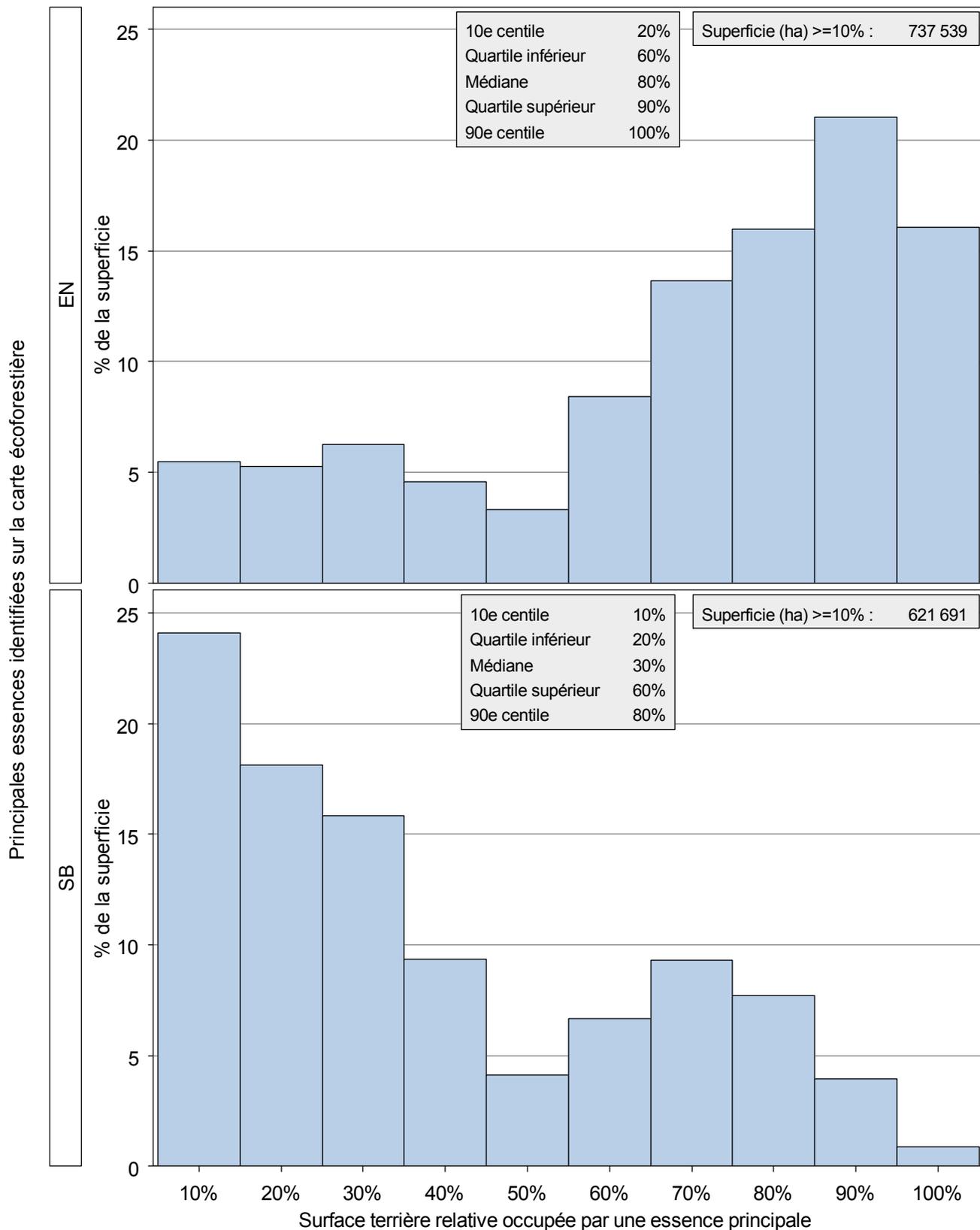
Type de couvert : Mixte à dominance résineuse

Superficie totale du type de couvert : 20 102 ha



Type de couvert : Résineux

Superficie totale du type de couvert : 765 238 ha



3. Regroupement de la composition en essences des peuplements

3.1 Méthode

La diversité des compositions en essences découlant de la stratification « AIPF » est telle qu'il est difficile d'utiliser une approche empirique pour définir objectivement les groupes à retenir. Une façon simple de le faire est de préciser d'abord les essences que l'on considère comme importantes dans l'unité de sondage et d'effectuer ensuite une analyse de classification entre les peuplements en considérant la surface terrière relative de chacune des essences retenues pour l'analyse.

Cette analyse de classification a été retenue pour la définition des regroupements de la composition en essences des peuplements écoforestiers. L'analyse réalisée est de type hiérarchique (méthode de Ward) et la similarité des peuplements a été quantifiée par une mesure de « distance » (procédure CLUSTER, SAS Institute Inc. 2010; Daigle et Rivest 2010). La notion de distance dont il est ici question est la même que celle utilisée dans la méthode k-NN qui permet d'estimer des variables dendrométriques par peuplement dans le processus des compilations forestières.

Les variables d'analyse utilisées sont, pour chaque peuplement, les surfaces terrières relatives des principales essences identifiées sur la carte écoforestière. Une analyse spécifique a été menée pour chaque groupe de type de couvert ou d'origine retenu.

3.2 Résultat

Le tableau ci-dessous présente la compilation des superficies des groupes considérés.

Groupe retenu pour l'analyse de classification	Élément considéré		Superficie	
	Origine des essences	Type de couvert	(ha)	(%)
Feuille-Mixte à dominance feuillue	naturelle	Feuille - Mixte à dominance feuillue	22 282	3%
	plantation	Feuille - Mixte à dominance feuillue	6	0%
			22 288	3%
Mixte à dominance résineuse	naturelle	Mixte à dominance résineuse	20 100	2%
	plantation	Mixte à dominance résineuse	2	0%
			20 102	2%
Résineux	naturelle	Résineux	764 965	95%
	plantation	Résineux	273	0%
			765 238	95%

* Note : Dans le cas où la faible abondance de peuplements d'origine de plantation sur le territoire ne permet pas de former un groupe distinct pour l'analyse de classification, on les combine avec les peuplements d'origine naturelle du même type de couvert.

Au final, 9 groupes synthèses de la composition en essences des peuplements ont été définis. Les surfaces terrières relatives des essences des variables d'analyse des groupes définis sont présentées dans les tableaux qui suivent. On y trouve, par regroupement, les variables d'analyse utilisées et, pour chacune de ces variables, les valeurs du 10e et 90e centile en superficie. Ainsi, pour un groupe donné et une essence donnée, les valeurs du 10e et du 90e centile indiquent qu'environ 80 % des superficies ont une proportion de la surface terrière totale comprise entre les valeurs de ces centiles. Enfin, on a défini les appellations (étiquettes) des groupes à partir de la moyenne des surfaces terrières relatives des variables d'analyse.

Groupes définis dans le cas des types de couvert feuillu et mixte à dominance feuillue

Regroupement des essences	Centile	Variables d'analyse retenues (% des essences)			
		BP	EN	PT	SB
Nom du groupe synthèse	en superficie				
BP60PT20SB20	10e	20	0	0	0
	90e	80	20	60	30

Groupes définis dans le cas du type de couvert mixte à dominance résineuse

Regroupement des essences	Centile	Variables d'analyse retenues (% des essences)			
		BP	EN	PT	SB
Nom du groupe synthèse	en superficie				
SB40EN20BP30PT10	10e	10	0	0	10
	90e	42	50	20	60

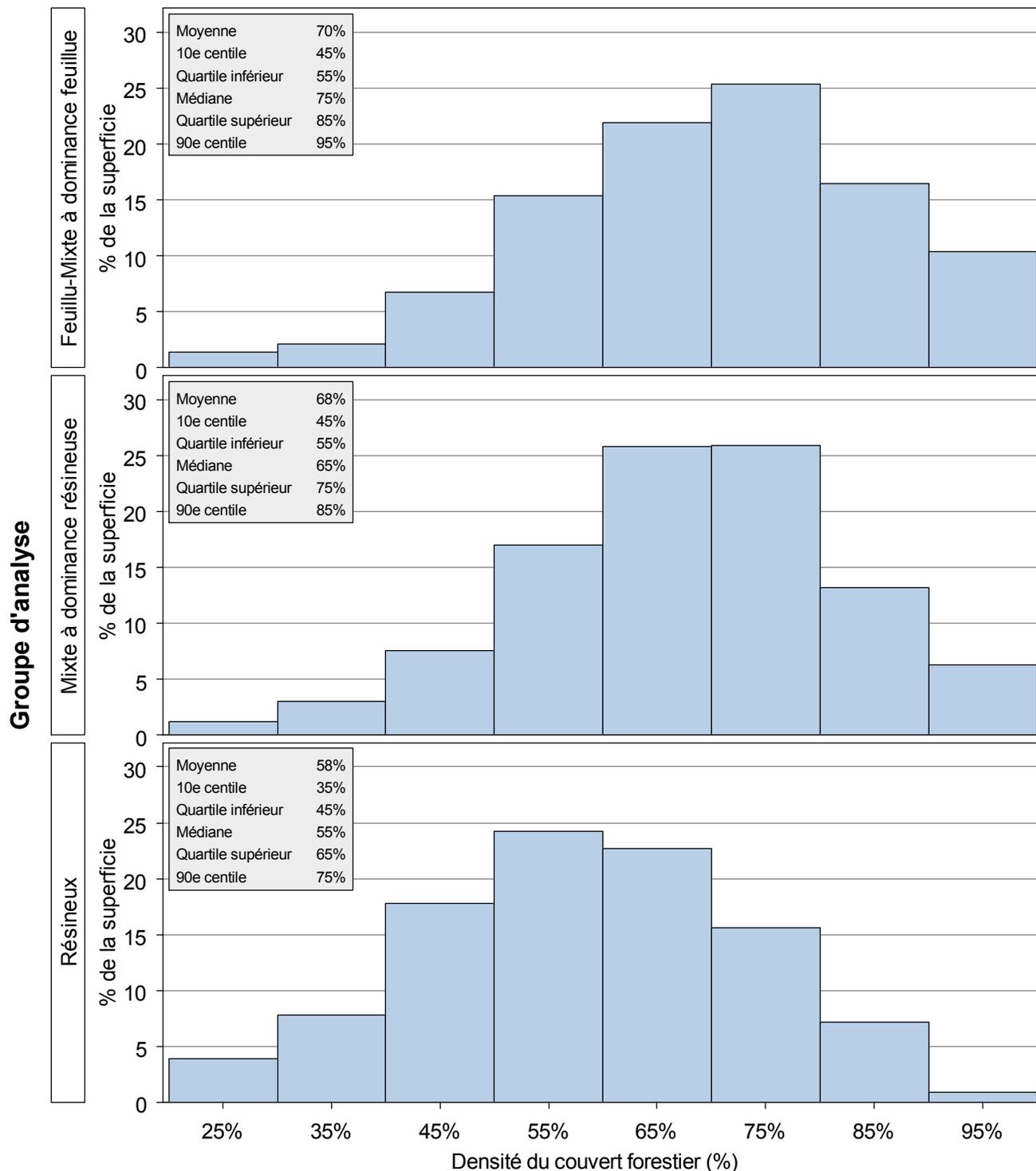
Groupes définis dans le cas du type de couvert résineux

Regroupement des essences	Centile	Variables d'analyse retenues (% des essences)	
		EN	SB
Nom du groupe synthèse	en superficie		
EN100	10e	90	0
	90e	100	0
EN60SB40	10e	50	40
	90e	60	50
EN70SB30	10e	70	30
	90e	70	30
EN80SB20	10e	80	20
	90e	80	20
EN90SB10	10e	80	10
	90e	90	10
SB60EN30	10e	20	60
	90e	40	70
SB80EN10	10e	0	70
	90e	20	90

4. Densité et hauteur des peuplements

4.1 Portrait de la densité des peuplements

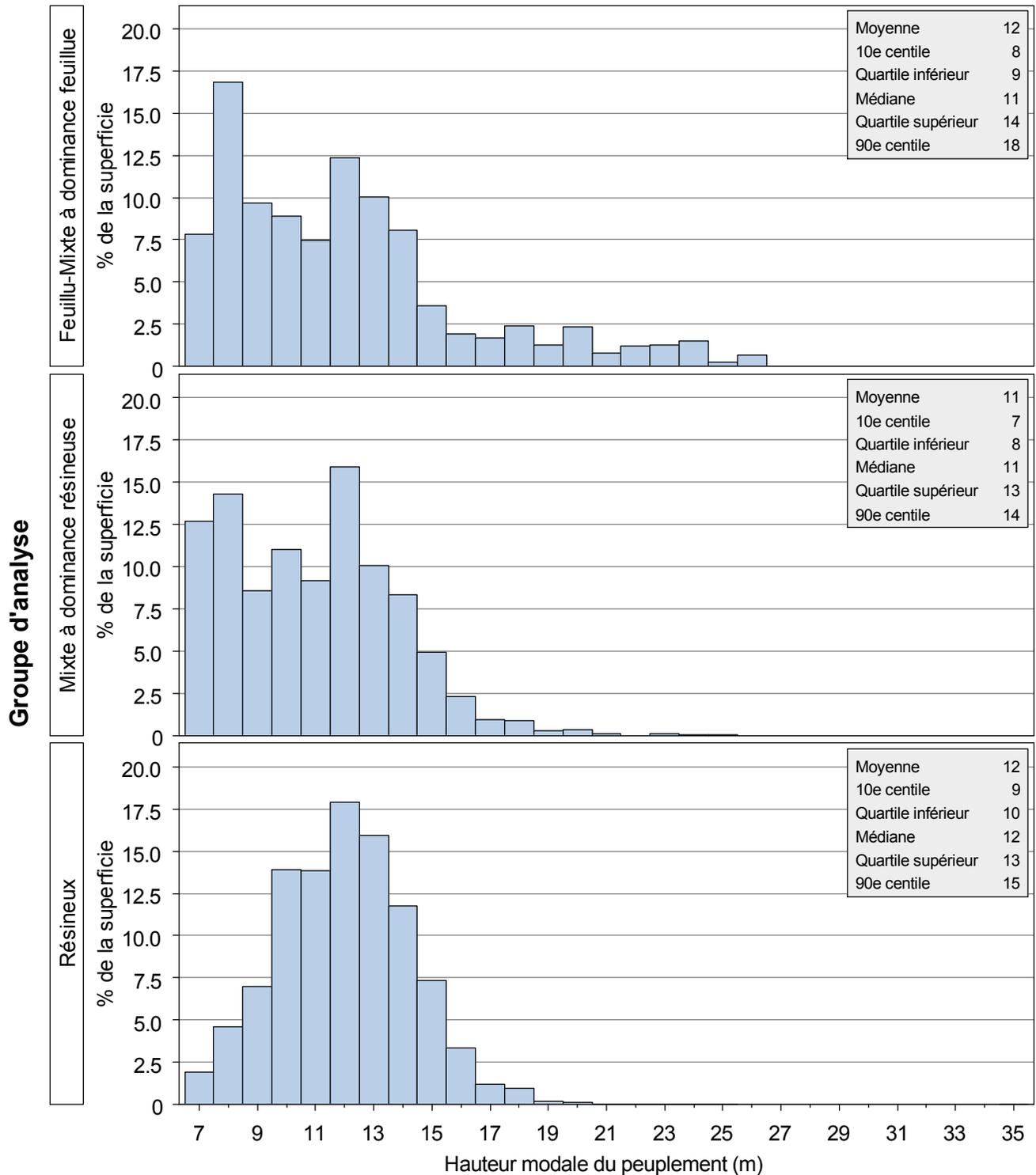
Les graphiques ci-dessous présentent au moyen d'histogrammes la distribution des densités des peuplements en fonction des groupes considérés.



Distribution de la densité des peuplements écoforestiers

4.2 Portrait de la hauteur des peuplements

Les graphiques ci-dessous présentent au moyen d'histogrammes la distribution des hauteurs (en mètres) des peuplements en fonction des groupes considérés. L'intervalle interquartile (différence entre le quartile supérieur et le quartile inférieur) est une statistique intéressante qui permet d'évaluer la variabilité de la hauteur à l'intérieur des groupes.



Distribution de la hauteur des peuplements écoforestiers

5. Regroupement des densités et des hauteurs des peuplements

5.1 Méthode

Afin de considérer les gradients anticipés des variables dendrométriques comme la surface terrière et le volume marchand brut à l'échelle des peuplements, on a défini en fonction de la distribution des valeurs de densité et de hauteur des sous-groupes appartenant à certains groupes synthèses de la composition en essences. Le choix de ces deux attributs de la stratification écoforestière est justifié par leur corrélation relativement élevée avec les variables dendrométriques d'intérêt (Husch et al. 2003).

La méthode qui permet de considérer les valeurs de densité et de hauteur est basée sur les centiles (30e, médiane et 70e) en superficie de ces deux variables. Ces valeurs de centiles permettent de définir 2 (> ou < à la médiane) ou 3 (<30e centile, entre le 30e et le 70e et >70e centile) sous-groupes de superficie relativement homogène, et ce, autant dans le cas de la densité que de la hauteur. En fonction de la superficie des groupes synthèses de la composition en essences créés à la section 3, on détermine la possibilité de scinder ces groupes en tenant compte des sous-groupes de densité et de hauteur, de façon à obtenir des strates finales dont la superficie se situe à l'intérieur des balises de superficies minimale et maximale définies précédemment. Ainsi, les groupes synthèses des essences demeurent intacts (cas de faible superficie où aucun sous-groupe n'a été défini) ou sont scindés en 2 (cas où un seul des deux attributs est considéré), 4, 6 ou 9 sous-groupes. Dans les cas particuliers où on a défini un nombre inégal de sous-groupes entre la densité et la hauteur (cas avec 2 ou 6 sous-groupes), on retient un plus grand nombre de sous-groupes de l'attribut ayant le plus grand intervalle interquartile des valeurs standardisées.

5.2 Résultat

Parmi les 9 groupes synthèses de la composition en essences des peuplements, 7 ont été scindés en 3 à 5 sous-groupes en fonction des valeurs de densité et de hauteur. Il en résulte un nombre final de 30 strates d'échantillonnage. L'étendue des valeurs de densité et de hauteur par strate d'échantillonnage est présentée dans le tableau qui suit.

Groupe synthèse des essences		Strate d'échantillonnage finale		Densité (%)		Hauteur (m)	
Type	Essence	NOMREGRO		Min.	Max.	Min.	Max.
F-MF	BP60PT20SB20	F-MF BP60PT20SB20	70 12	25	95	7	26
MR	SB40EN20BP30PT10	MR SB40EN20BP30PT10	70 11	25	95	7	25
R	EN100	R EN100	35 13	25	45	11	19
		R EN100	35 9	25	45	7	10
		R EN100	65 13	55	95	11	20
		R EN100	65 9	55	95	7	10
	EN60SB40	R EN60SB40	45 10	25	55	7	12
		R EN60SB40	45 14	25	55	12	25
		R EN60SB40	70 10	65	95	7	12
		R EN60SB40	70 14	65	95	12	22
	EN70SB30	R EN70SB30	40 10	25	45	7	11
		R EN70SB30	40 14	25	45	12	20
		R EN70SB30	65 10	55	95	7	12
		R EN70SB30	65 14	55	95	12	21

Groupe synthèse des essences		Strate d'échantillonnage finale		Densité (%)		Hauteur (m)	
Type	Essence	NOMREGRO		Min.	Max.	Min.	Max.
R	EN80SB20	R EN80SB20	40 10	25	45	7	11
		R EN80SB20	40 14	25	45	12	35
		R EN80SB20	65 10	55	95	7	12
		R EN80SB20	65 14	55	95	12	20
	EN90SB10	R EN90SB10	45 11	25	45	10	12
		R EN90SB10	45 14	25	45	13	20
		R EN90SB10	45 8	25	95	7	9
		R EN90SB10	65 11	55	95	10	12
		R EN90SB10	65 14	55	95	13	20
	SB60EN30	R SB60EN30	50 11	25	55	7	12
		R SB60EN30	50 14	25	55	13	25
		R SB60EN30	75 11	65	95	7	13
		R SB60EN30	75 14	65	95	13	23
	SB80EN10	R SB80EN10	45 15	25	55	7	35
		R SB80EN10	75 11	65	95	7	14
		R SB80EN10	75 15	65	95	14	23

6. Allocation des PET aux strates d'échantillonnage

6.1 Méthode et analyse

L'allocation des PET aux strates d'échantillonnage est déterminée entre autres à partir des hypothèses et des paramètres présentés en introduction. Rappelons qu'afin de respecter l'orientation générale de représentativité de l'échantillonnage, on prévoit attribuer une allocation initiale proportionnelle à la superficie. Pour une strate donnée, le ratio entre la superficie de la strate et le facteur d'expansion donne donc le nombre de PET à établir dans la strate selon l'hypothèse initiale.

La méthode k-NN qui sera utilisée dans la production des estimations de variables dendrométriques par essence à l'échelle des peuplements est telle qu'elle exige un minimum d'observations des essences pour qu'on puisse être en mesure de les estimer. À l'opposé, au-delà d'un certain seuil, il n'est probablement pas utile d'établir l'échantillonnage de façon strictement proportionnelle à la superficie des peuplements monospécifiques, composés d'une combinaison d'essences très fréquente ou occupant une très grande superficie. Par conséquent, les spécificités de chaque groupe synthèse de la composition en essences des peuplements de même que le nombre de placettes qui leur est alloué selon l'hypothèse initiale dictent la pertinence de maintenir ou non d'allouer des PET de façon strictement proportionnelle aux superficies. Les éléments à analyser pour ensuite préciser les ajustements de l'allocation des PET sont les suivants :

- 1) L'importance relative des essences (section 2.2)
- 2) Le nombre de placettes prévu par essence identifiée sur la carte écoforestière
- 3) La diversité des combinaisons d'essences et de leur surface terrière relative associée

Il est difficile d'établir des règles absolues qui dicteraient de façon objective les ajustements à appliquer. Cela résulte de la diversité des éléments à considérer d'une part, et des spécificités qu'impose la méthode d'estimation k-NN à l'échelle des peuplements d'autre part. Quelques constats concernant chacun des éléments d'analyse considérés peuvent être soulevés.

1) Le tableau de l'importance relative des essences (section 2.2) permet d'identifier grossièrement les essences pour lesquelles on vise des estimations à l'échelle des peuplements. Les essences principales présentant une importance relative supérieure à toutes les autres essences dans l'unité de sondage 09451 sont les suivantes :

EN, SB

Il faut donc s'assurer d'avoir un échantillonnage adéquat de ces essences pour obtenir des estimations k-NN par peuplement de qualité.

À l'opposé, les essences ayant moins de 1 % d'importance relative (tous les types de couvert confondus) sont généralement trop marginales pour qu'un ajustement de l'intensité d'échantillonnage soit justifié. Ces essences sont les suivantes :

PT, ML, PG, FI, RX, SE, FX, PR, ES, TO, RZ, PA

Enfin, certaines essences ont une importance relativement faible, mais sont non marginales (1% à 5%) :

BP, EB

Si l'on vise des estimations fiables à l'échelle des peuplements, ou à tout le moins à l'échelle de l'unité de sondage, les peuplements où on a identifié ces essences avec une importance relative faible pourraient nécessiter un plus grand nombre de placettes que ce qui a été prévu initialement.

2) Le nombre de placettes des essences cartographiées qui résulte d'une allocation proportionnelle à la superficie peut être évalué en calculant, pour chaque essence, le rapport entre la superficie (ha) où l'essence est identifiée sur la carte et la valeur initiale du facteur d'expansion (1 346 ha/PET). Le tableau qui suit présente cette information. On a seulement utilisé dans le calcul les superficies où le pourcentage de l'essence est de 20 % ou plus afin de ne pas tenir compte des peuplements où l'essence n'occupe que 10 % de la surface terrière totale (essence compagne).

Essence			Nombre de PET par groupe d'analyse			
Type	Code	Nom descriptif	F-MF	MR	R	Tous
Feuillue	BP	Bouleau blanc (à papier)	15	13	7	36
	ES	Érable à sucre	0	0	0	0
	FI	Feuillus intolérants à l'ombre	0	0	1	1
	FN	Feuillus non commerciaux	0	0	0	0
	PT	Peuplier faux-tremble	7	3	1	10
Résineuse	EB	Épinette blanche	0	0	12	12
	EN	Épinette noire	2	7	518	528
	ML	Mélèze laricin	0	0	5	5
	PG	Pin gris	0	0	2	2
	PR	Pin rouge	0	0	0	0
	RZ	Résineux planté indéterminé	0	0	0	0
	SB	Sapin baumier	9	13	351	373
	TO	Thuya occidental	0	0	0	0

3) On peut mesurer la diversité des groupes synthèses des essences formés en calculant un indice de diversité nommé « Indice de Shannon » (Spellerberg 2008). Cet indice permet de tenir compte du nombre d'essences distinctes et de l'importance de chacune d'elles en proportion de la surface terrière totale, et ce, pour l'ensemble des peuplements constituant un groupe synthèse donné. L'indice, une fois transformé, permet de comparer directement entre eux les groupes synthèses et ainsi déterminer les groupes les plus variables. On pourrait donc l'utiliser comme indicateur pour moduler la prescription de PET, lorsque cela est nécessaire.

Indice de diversité de Shannon	Groupe synthèse des essences		Nombre de PET
en nombre équivalent d'essences	Type	Nom	(Fe=1 346 ha/PET)
3.88	MR	SB40EN20BP30PT10	15
3.44	F-MF	BP60PT20SB20	17
2.42	R	EN60SB40	61
2.39	R	SB60EN30	70
2.11	R	EN70SB30	77
1.88	R	SB80EN10	66
1.69	R	EN90SB10	116
1.65	R	EN80SB20	78
1.14	R	EN100	100

6.2 Résultats

Les différents ajustements qui ont été apportés au nombre de PET alloué à chacun des groupes synthèses sont présentés dans le tableau qui suit. Ces ajustements ont été appliqués à la suite de l'analyse des deux éléments à considérer décrits à la section précédente.

Ajustement de l'allocation des PET								
Intensité d'échantillonnage		Facteur d'expansion (ha / PET)	Groupe d'analyse Type et essences	Superficie		Allocation des PET (n)		
Groupe	Niveau			(ha)	(%)	Initiale	Ajustée	Écart
Initiale	0%	1 346	R EN70SB30	104 031	12,9%	77	77	0
			R EN80SB20	105 072	13,0%	78	78	0
			R SB80EN10	88 506	11,0%	66	66	0
				297 609	36,8%	221	221	0
Diminuée	-20% de PET	1 683	R EN100	134 759	16,7%	100	80	-20
			R EN90SB10	156 385	19,4%	116	93	-23
				291 144	36,0%	216	173	-43
Augmentée	+9% de PET	1 235	R EN60SB40	81 671	10,1%	61	66	5
			R SB60EN30	94 814	11,7%	70	77	6
	+100% de PET	673	F-MF BP60PT20SB20	22 288	2,8%	17	33	17
			MR SB40EN20BP30PT10	20 102	2,5%	15	30	15
				218 875	27,1%	163	206	43

En raison de la méthode d'échantillonnage appliquée liée au processus de réalisation du plan de sondage, il peut y avoir des écarts entre le nombre de PET planifié par strate d'échantillonnage (tableau précédent, colonne 'Ajustée') et le nombre de PET final. Les résultats finaux sont présentés dans le tableau suivant.

Allocation finale des PET								
Intensité d'échantillonnage		Facteur d'expansion (ha / PET)	Groupe d'analyse Type et essences	Superficie		Allocation des PET (n)		
Ajustement prévu	Ajustement plan de sondage			(ha)	(%)	Initiale	Finale	Écart
0%	-11% de PET	1 500	R SB80EN10	88 506	11,0%	66	59	-7
	+5% de PET	1 284	R EN70SB30	104 031	12,9%	77	81	4
	+15% de PET	1 167	R EN80SB20	105 072	13,0%	78	90	12
				297 609	36,8%	221	230	9
-20% de PET	-26% de PET	1 818	R EN90SB10	156 385	19,4%	116	86	-30
	-18% de PET	1 643	R EN100	134 759	16,7%	100	82	-18
				291 144	36,0%	216	168	-48
+100% de PET	+97% de PET	675	F-MF BP60PT20SB20	22 288	2,8%	17	33	16
	+107% de PET	648	MR SB40EN20BP30PT10	20 102	2,5%	15	31	16
				42 390	5,2%	31	64	32
+9% de PET	+1% de PET	1 335	R SB60EN30	94 814	11,7%	70	71	1
	+10% de PET	1 219	R EN60SB40	81 671	10,1%	61	67	6
				176 486	21,9%	131	138	7

7. Synthèse des strates définies et de l'allocation des PET

Le tableau suivant présente les strates finales formées, leur superficie, le nombre de PET à implanter et le facteur d'expansion. Notez le recalcul des facteurs d'expansion pour la considération d'un nombre entier de PET à implanter, et non de fraction de PET. Ces facteurs serviront à pondérer les PET dans la compilation des résultats à l'échelle de l'US et de certaines sous-populations.

Strate d'échantillonnage			Superficie		PET	PET cumulée		Facteur d'expansion
Numéro	Nom		Strate (ha)	Cumulée (%)	n	n	%	ha / PET
1	R EN90SB10	65 11	52 031	6,4%	31	31	5,2%	1678
2	R EN100	65 13	51 981	12,9%	33	64	10,7%	1575
3	R EN70SB30	65 14	48 521	18,9%	35	99	16,5%	1386
4	R EN80SB20	65 14	43 402	24,3%	35	134	22,3%	1240
5	R EN90SB10	65 14	39 264	29,1%	21	155	25,8%	1870
6	R EN100	35 9	38 317	33,9%	21	176	29,3%	1825
7	R SB80EN10	75 11	32 536	37,9%	24	200	33,3%	1356
8	R SB80EN10	45 15	31 696	41,8%	23	223	37,2%	1378
9	R SB60EN30	75 11	30 417	45,6%	21	244	40,7%	1448
10	R EN70SB30	65 10	30 092	49,3%	22	266	44,3%	1368
11	R EN80SB20	65 10	29 518	53,0%	20	286	47,7%	1476
12	R EN90SB10	45 11	29 337	56,6%	16	302	50,3%	1834
13	R SB60EN30	75 14	27 773	60,0%	22	324	54,0%	1262
14	R EN60SB40	70 14	26 766	63,4%	17	341	56,8%	1574
15	R EN60SB40	45 14	25 308	66,5%	22	363	60,5%	1150
16	R EN100	35 13	25 104	69,6%	18	381	63,5%	1395
17	R SB80EN10	75 15	24 274	72,6%	12	393	65,5%	2023
18	R SB60EN30	50 14	22 625	75,4%	20	413	68,8%	1131
19	R EN90SB10	45 8	22 411	78,2%	11	424	70,7%	2037
20	F-MF BP60PT20SB20	70 12	22 288	80,9%	33	457	76,2%	675
21	MR SB40EN20BP30PT10	70 11	20 102	83,4%	31	488	81,3%	648
22	R EN100	65 9	19 356	85,8%	10	498	83,0%	1936
23	R EN80SB20	40 10	16 986	87,9%	22	520	86,7%	772
24	R EN60SB40	70 10	15 629	89,9%	15	535	89,2%	1042
25	R EN80SB20	40 14	15 165	91,7%	13	548	91,3%	1167
26	R SB60EN30	50 11	14 000	93,5%	8	556	92,7%	1750
27	R EN60SB40	45 10	13 967	95,2%	13	569	94,8%	1074
28	R EN70SB30	40 14	13 715	96,9%	13	582	97,0%	1055
29	R EN90SB10	45 14	13 342	98,6%	7	589	98,2%	1906
30	R EN70SB30	40 10	11 703	100,0%	11	600	100,0%	1064

RÉFÉRENCES

Daigle, G., et L.-P. Rivest (2010). Analyses de regroupement des parcelles de l'UAF 012-54 à partir des variables photo-interprétées. Québec, Service de consultation statistique, Université Laval, 25 p.

Husch, B., T.W. Beers et J.A. Kershaw (2003). Forest mensuration. Fourth edition. John Wiley & Sons, Inc. New-York. 443 p.

MFFP-DIF (2015). Norme de stratification écoforestière, Quatrième inventaire écoforestier du Québec méridional (octobre 2008, réédition - septembre 2015). Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Direction des inventaires forestiers. 101 pages. Accessible en ligne à l'adresse : <http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/inventaire/pdf/norme-stratification-2015.pdf>

SAS Institute Inc. (2010). SAS/STAT 9.22 User's Guide. Cary, NC., SAS Institute Inc.

Spellerberg, I.F. (2008). Shannon-Wiener Index dans 'Encyclopedia of Ecology'. Elsevier B.V. pages 3249-3252.