Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue

Évaluation de différents régimes de répartition spatiale de coupes sur la biodiversité, le dérangement sonore et la rentabilité économique dans la Réserve Faunique Rouge-Matawin

Rapport produit et rédigé par :

Frédérik Doyon, Ing. f., Ph.D.

Présenté à

Marie-Claude Lambert

Unité de Gestion de la Rivière Rouge (61)

Avril 2002

Remerciements

Ce projet a été réalisé grâce au financement provenant du Programme de Mise en Valeur du Milieu Forestier (Volet I et Volet II) en association avec Claude Forget Inc., Scierie Carrière Ltée, et Émériс Bergeron Ltée. Je tiens à remercier particulièrement Srdjan Ostojic, analyste forestier, qui tout au long de ce projet m'a été d'un support indéfectible. Son travail acharné a rendu possible la réalisation de ce projet. Je remercie aussi Régis Pouliot, géomaticien, qui a étroitement participé à la préparation des données et aux analyses. Ce projet a été rendu possible grâce la participation active de nombreux collaborateurs. Parmi ceux-ci, mentionnons Michel St-Germain, Richard Carignan et Marie-Claude Lambert du MRNQ de l'Unité de gestion de la rivière Rouge (U.G. 61), François Lapalme de chez AISR, représentant de Claude Forget Inc., Marc Riopel de chez MC Forêt, représentant de Émériс Bergeron Ltée, Éric Jolicoeur, représentant de Scierie Carrière, Pierre Bédard, directeur de la Réserve Faunique Rouge Matawin, et Michel Hénault, biologiste à la Société Faune et Parcs du Québec de Mont-Laurier.

Résumé

Évaluation de différents régimes de répartition spatiale de coupes sur la biodiversité, le dérangement sonore et la rentabilité économique dans la Réserve Faunique Rouge-Matawin.
Frédérik Doyon[1]
[1]IQAFF, 88, rue Principale, Saint-André-Avellin, Québec, J0V 1W0

L'organisation spatio-temporelle des activités forestières influence grandement plusieurs valeurs écologiques, sociales et économiques. Cette considération commence à faire son entrée au Québec avec l'application de la « Coupe Mosaïque ». Ce type de coupe, développé pour la forêt boréale, est maintenant privilégié même en zone de forêt feuillue/mixte. Ce projet avait pour but d'évaluer les effets de son application sur différents indicateurs de la biodiversité, du dérangement sonore occasionné par les activités forestières et de la rentabilité économique.

Pour ce faire, un simulateur de récolte spatialement explicite a été programmé pour reproduire deux stratégies de répartition spatiale, soit l'ancienne pratique des « Bandes séparatrices », et la nouvelle option proposée de la « Coupe Mosaïque ». Ces simulations ont été préparées à partir des hypothèses de croissance et des scénarios sylvicoles utilisés pour le calcul de la possibilité de l'Aire Commune 061-02. Les simulations ont permis d'obtenir des projections spatiales de la forêt représentant chaque période de 10 ans sur un horizon de 150 ans pour les deux scénarios de répartition. Des modèles d'indicateurs visant à représenter les trois familles de valeur (biodiversité, dérangement sonore et rentabilité économique) ont été appliqués à chacune des projections obtenues. Ces modèles étaient pour la biodiversité 1) la proportion du paysage selon les différents stades de développement (semis, gaulis, perchis, futaies et vieilles forêts), 2) la distribution des classes de tailles des coupes, 3) la proportion du paysage en forêt profonde, 4) la distribution des classes de tailles de la forêt profonde, 5) la qualité de l'habitat du moucherolle tchébec, 6) la qualité de l'habitat de la paruline verte à gorge noire, 7) la qualité de l'habitat du lièvre d'Amérique, 8) la qualité de l'habitat de la Martre d'Amérique. En ce qui concerne le dérangement sonore, deux indicateurs ont été utilisés : 1) le dérangement sonore occasionné par les chantiers de récolte, et 2) le dérangement sonore occasionné par le camionnage. Finalement, la rentabilité économique a

été comparée entre les deux scénarios en mettant en rapport les revenus obtenus des bois récoltés selon les produits et les revenus provenant des crédits sylvicoles avec les coûts (planification, récolte, construction et maintien des chemins).

La performance des indicateurs varie d'une période à l'autre pour les deux scénarios. Du point de vue de la biodiversité, l'application de la « Coupe Mosaïque » réduit de 5% la proportion du paysage en grands massifs de forêts profondes. Parmi les 4 espèces indicatrices utilisées, seule la martre semble réagir différemment entre les deux scénarios. On observe pour cette espèce une plus grande proportion d'habitats de qualité (IQH> 0.5) pour le scénario de la « Coupe Mosaïque », et cela malgré que la quantité de vieilles forêts soit plus grande dans l'autre scénario. Les indicateurs de dérangement sonores sont les plus sensibles aux changements de répartition spatiale. La Coupe Mosaïque réduit de plus de 50% la quantité de refuges sonores et augmente pratiquement tous les niveaux d'intensité de dérangement sonore sur l'ensemble du territoire. Finalement, la Coupe Mosaïque occasionne des coûts supplémentaires d'exploitation forestière qui sont reliés au maintien d'un réseau routier actif plus important. Cependant, on observe une productivité de récolte supérieure de 5m^3/ha coupé pour la Coupe Mosaïque. Ainsi, cette stratégie semblerait contribuer à une augmentation de la possibilité puisque les peuplements peuvent alors être récoltés plus facilement à leur optimum de volume et/ou de valeur.

À la lumière de ces résultats, les gestionnaires du territoire peuvent donc quantifier les fonctions de compromis entre les valeurs considérées dans cette étude afin de faire un choix éclairé sur la stratégie de répartition spatiale. Ce choix doit être fait judicieusement puisqu'il est plus facile (et surtout moins coûteux !) de fragmenter une forêt que d'en remembrer les massifs ultérieurement.

Table des matières

REMERCIEMENTS ..... **I**

RÉSUMÉ ..... **III**

1 INTRODUCTION **1**

2 SECTEUR D'ÉTUDE **5**

3 PRÉPARATION DES SIMULATIONS FORESTIÈRES **6**

3.1 DÉFINITION DES SCÉNARIOS D'AMÉNAGEMENT FORESTIER ET DE LEURS RÈGLES DE RÉPARTITION SPATIALE 6

3.2 PRÉSENTATION DU SIMULATEUR DE RÉCOLTE SPATIALEMENT EXPLICITE 6

3.3 PRÉPARATION DES COUVERTURES SPATIALES 7

3.4 PRÉPARATION DU MODÈLE DE RÉSEAU ROUTIER 10

3.5 PRÉPARATION DE LA TABLE DES CONTIGUÏTÉS 10

3.6 TRADUCTION DES INFORMATIONS DE SIMULATIONS EN PROVENANCE DE SYLVA II 12

4 PRÉPARATION DES PARAMÈTRES DE SIMULATION POUR LES DEUX SCÉNARIOS **15**

4.1 PRIORITÉS DE RÉCOLTE 15

4.2 NIVEAU DE RÉCOLTE 15

4.3 RÈGLES DE RÉPARTITION SPATIALE 15

4.3.1 Le contrôle des accès aux compartiments *15*

4.3.2 Les règles de contiguï té des blocs de coupe *16*

4.3.3 Les règles de superficie maximale des secteurs coupés *16*

4.3.4 Les règles de superficie maximale des secteurs coupés *16*

4.4 CONTRÔLE DE LA SIMULATION 16

5 DÉVELOPPEMENT DES MODÈLES D'INDICATEURS **17**

5.1 INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ 17

5.1.1 Stade de développement *17*

5.1.2 Superficie et classes de tailles des coupes *17*

5.1.3 Superficie et classes de tailles des forêts profondes *17*

5.1.4 IQH du Moucherolle tchébec *18*

5.1.5 IQH de la paruline verte *20*

5.1.6 IQH du lièvre d'Amérique *22*

5.1.7 IQH de la martre d'Amérique *26*

5.2 INDICATEURS DE DÉRANGEMENT SONORE 29

5.2.1 Dérangement sonore dû au chantier de récolte 29
5.2.2 Dérangement sonore dû au camionnage 29
5.3 INDICATEURS DE RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE 30
5.3.1 Les revenus au bord du chemin 30
5.3.2 Les coûts de récolte 31
5.3.3 Les coûts de construction et de maintien des chemins 31

6 RÉSULTATS : PERFORMANCE DES INDICATEURS 32

6.1 INDICATEURS DE RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE 32
6.1.1 Le volume récolté 32
6.1.2 Les coûts 33
6.1.3 La rentabilité économique 344
6.2 INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ 366
6.2.1 Les stades de développement 366
6.2.2 Les tailles des coupes 400
6.2.3 La forêt profonde 444
6.2.4 Le moucherolle tchébec 488
6.2.5 La paruline verte à gorge noire 511
6.2.6 Le lièvre d'Amérique 544
La martre d'Amérique 57
6.3 INDICATEURS DE DÉRANGEMENT SONORE 600
6.3.1 Le dérangement sonore dû aux chantiers de récolte 600
6.3.2 Le dérangement sonore dû au camionnage 633

7 DISCUSSION 666

7.1 LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE 666
7.2 LA BIODIVERSITÉ 666
7.3 LE DÉRANGEMENT SONORE 688

8 CONCLUSION 700

9 BIBLIOGRAPHIE 711

ANNEXE 1 722

Liste des tableaux

Tableau 1. Type de végétation dans la RFRM..... 5

Tableau 2. Liste des courbes de rendement utilisée..... 13

Tableau 3. Prix offerts au chemin pour les bois des différents produits..... 30

Tableau 4. Coûts ($/m^3) associés aux activités de récolte de bois..... 31

Tableau 5. Coûts associés au maintien du réseau routier selon la classe de chemin..... 31

Tableau 6. Coûts totaux et coûts répartis par m^3 34

Tableau 7. Données de la rentabilité économique 35

Liste des figures

Figure 1: Compartiments utilisés pour les simulations des scénarios de répartition spatiale 8

Figure 2: Sous-compartiments utilisés pour les simulations des scénarios de répartition spatiale ……..9

Figure 3: Modèle de réseau routier..... 11

Figure 4. Valeur de la qualité de l'habitat du moucherolle tchébec en fonction de la proportion en feuillus tolérants (FT)..... 18

Figure 5. Valeur de la qualité de l'habitat du moucherolle tchébec en fonction de la proportion en feuillus intolérants (FI)..... 18

Figure 6. Valeur de la qualité de l'habitat du moucherolle tchébec en fonction de la surface terrière 19

Figure 7. Valeur de la qualité de l'habitat de la paruline verte en fonction de la proportion en pruche..... 20

Figure 8. Valeur de la qualité de l'habitat de la paruline verte en fonction de la proportion en autres essences (pins, sapin, épinette, érables et hêtre)..... 20

Figure 9. Valeur de la qualité de l'habitat de la paruline verte en fonction de la surface terrière ……21

Figure 10. Valeur de la qualité de l'habitat de la paruline verte en fonction du diamètre moyen hauteur-poitrine du peuplement 21

Figure 11. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation du lièvre d'Amérique en fonction du pourcentage de feuillus 22

Figure 12. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation du lièvre d'Amérique en fonction du diamètre moyen à hauteur de poitrine du peuplement 23

Figure 13. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation du lièvre d'Amérique en fonction de la surface terrière du peuplement 23

Figure 14. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert du lièvre d'Amérique en fonction du pourcentage de résineux..... 24

Figure 16. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert du lièvre d'Amérique en fonction du diamètre moyen à hauteur de poitrine du peuplement 24

Figure 17. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert du lièvre d'Amérique en fonction de la surface terrière du peuplement 25

Figure 18. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert de la martre d'Amérique en fonction du pourcentage de résineux..... 26

Figure 19. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert de la martre d'Amérique en fonction du diamètre moyen à hauteur de poitrine du peuplement 26

Figure 20. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert de la martre d'Amérique en fonction de la surface terrière du peuplement..... 27

Figure 21. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation de la martre d'Amérique en fonction du pourcentage de résineux 27

Figure 22. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation de la martre d'Amérique en fonction du stade de développement 28

Figure 23. Répartition des volumes récoltés par produits pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque sur un horizon de 150 ans 33

Figure 24. Ratio revenus/coûts..... 35

Figure 25. Répartition des stades de développement sur l'horizon de 150 pour le scénario Bandes Séparatrices 36

Figure 26. Répartition des stades de développement sur l'horizon de 150 ans pour le scénario Mosaïque 37

Figure 27. Répartition moyenne des stades de développement dans les deux scénarios comparés 37

Figure 28. Carte de la répartition des stades de développement à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices..... 38

Figure 29. Carte de la répartition des stades de développement à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque..... 39

Figure 29. Proportion de la superficie coupée par classes de tailles (ha) de coupes et par période de 10 ans sur un horizon de 150 ans pour le scénario Bandes Séparatrices 40

Figure 30. Proportion de la superficie coupée par des classes de tailles (ha) des coupes par période sur un horizon de 150 ans pour le scénario Mosaïque 41

Figure 31. Carte de la répartition des coupes à l'année 2096 selon leur classe de tailles pour le scénario Bandes Séparatrices..... 42

Figure 32. Carte de la répartition des coupes à l'année 2096 selon leur classe de tailles pour le scénario Mosaïque..... 43

Figure 33. Proportion de la superficie occupée par des massifs de forêts profondes par classes de tailles (ha) par période dix ans sur un horizon de 150 ans pour le scénario Bandes Séparatrices 44

Figure 34. Proportion de la superficie occupée par des massifs de forêts profondes par classes de tailles (ha) par période de dix ans sur un horizon de 150 ans pour le scénario Mosaïque ……45

Figure 35. Carte de la répartition des massifs de forêts profondes à l'année 2096 selon leur classe de tailles pour le scénario Bandes Séparatrices..... 46

Figure 36. Carte de la répartition des massifs de forêts profondes à l'année 2096 selon leur classe de tailles pour le scénario Mosaïque 47

Figure 37. Valeur moyenne d'IQH pour le moucherolle tchébec tout au long de l'horizon de simulation pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque 48

Figure 38. Moyenne des pourcentages du territoire selon les classes de valeur d'IQH du moucherolle tchébec pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque..... 48

Figure 40. Carte des valeurs d'IQH du moucherolle tchébec à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices 49

Figure 41. Carte des valeurs d'IQH du moucherolle tchébec à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque 50

Figure 41. Valeur moyenne d'IQH pour la paruline verte à gorge noire tout au long de l'horizon de simulation pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque ... 51

Figure 42. Moyenne des pourcentages du territoire selon les classes de valeur d'IQH de la paruline verte à gorge noire pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque ……51

Figure 43. Carte des valeurs d'IQH de la paruline verte à gorge noire à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices..... 52

Figure 44. Carte des valeurs d'IQH de la paruline verte à gorge noire à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque..... 53

Figure 45. Valeur moyenne d'IQH pour le lièvre d'Amérique tout au long de l'horizon de simulation pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque 54

Figure 46. Moyenne des pourcentages du territoire selon les classes de valeur d'IQH de le lièvre d'Amérique pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque 54

Figure 47. Carte des valeurs d'IQH du lièvre d'Amérique à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices 55

Figure 48. Carte des valeurs d'IQH du lièvre d'Amérique à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque 56

Figure 49. Valeur moyenne d'IQH pour la martre d'Amérique tout au long de l'horizon de simulation pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque 57

Figure 50. Moyenne des pourcentages du territoire selon les classes de valeur d'IQH de la lièvre d'Amérique pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque 57

Figure 51. Carte des valeurs d'IQH de la martre d'Amérique à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices 58

Figure 52. Carte des valeurs d'IQH de la martre d'Amérique à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque 59

Figure 53. Superficie touchée par le dérangement sonore dû aux chantiers de coupe selon les classes de dérangement (jours*chantier) pour les scénarios Bandes Séparatrices et Mosaïque 60

Figure 54. Carte du dérangement sonore occasionné par les chantiers de coupe durant la période 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices..... 61

Figure 55. Carte du dérangement sonore occasionné par les chantiers de coupe durant la période 2096 pour le scénario Mosaïque 62

Figure 56. Superficie touchée par le dérangement sonore dû au camionnage selon les classes de dérangement (camions-kilomètres perçus) pour les scénarios Bandes Séparatrices et Mosaïque 63

Figure 57. Carte du dérangement sonore occasionné par le camionnage durant la période 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices..... 64

Figure 58. Carte du dérangement sonore occasionné par le camionnage durant la période 2096 pour le scénario Mosaïque 65

1 Introduction

Depuis plus de 10 ans, on reconnaît l'importance d'intégrer l'ensemble des valeurs d'un territoire dans la planification des activités forestières. Parmi celles-ci, une valeur fondamentale à considérer est la biodiversité. Le maintien de la biodiversité est reconnu comme essentiel pour le bon fonctionnement des écosystèmes forestiers (Québec 1996). Or, la biologie de la conservation et l'écologie du paysage nous enseignent que le maintien de la biodiversité passe par la planification à l'échelle du paysage. En effet, pour maintenir l'ensemble des espèces dans un territoire, il faut s'assurer de retrouver une quantité suffisante d'habitats de qualité, et cela, à perpétuité. De plus, la qualité des habitats ne dépend pas seulement de leur structure interne mais aussi de leur contexte de voisinage (Doyon 2000). En effet, avec la venue de l'écologie du paysage, les scientifiques ont démontré que les processus écologiques dépendent fortement de l'arrangement spatial des conditions environnementales. La science de la biologie de la conservation regorge maintenant d'exemples d'espèces répondant à la structure du paysage, les exemples le plus classiques étant l'augmentation de la prédation aux nids d'oiseaux en bordure de forêts et la sensibilité de la chouette tachetée aux paysages fragmentés.

Au Québec, la problématique de l'arrangement spatial des aires de coupes provient principalement de la critique générée par plusieurs groupes de pression au sujet de la superficie des coupes et de la largeur (ou plutôt la minceur!) des séparateurs de coupe. En réponse à cette problématique, le gouvernement du Québec a proposé une approche qui réduit les superficies des blocs coupés et assure une répartition dispersée de celles-ci. Cette coupe, appelée « Coupe Mosaïque », ne permet aucune coupe de superficie supérieure à 50 ha et exige de laisser entre deux coupes un massif de forêts matures équivalant en superficie à la plus grande des deux coupes (Québec 2000). Des crédits sylvicoles sont maintenant offerts pour les compagnies appliquant ce traitement dans leur planification forestière.

Il faut rappeler que la « Coupe Mosaïque » a été développée pour la forêt boréale. Ce type de coupe est maintenant aussi proposé en zone de la forêt feuillue/mixte. Or, la dynamique du paysage de la forêt feuillue et de la forêt mixte est complètement différente de celui de la forêt boréale due aux différences dans le régime de perturbations naturelles, la composition en essences et la succession naturelle des peuplements forestiers. Il existe des études, dans le Nord-

est américain (Lorimer, 1977; Bormann et Likens, 1979; Whitney 1986; Frelich et Lorimer, 1991), et plus spécifiquement au Québec (Nolet et *al.*, 1999, Nolet et al. 2001), qui démontrent l'importance de ces différences dans le dynamisme paysager. L'application de ce régime de répartition spatiale pourrait donc avoir des répercussions importantes sur les processus écologiques naturellement observés dans la forêt feuillue/mixte.

Du point de vue de l'acceptabilité sociale, la « Coupe Mosaïque » peut paraître cependant avantageuse compte tenu de la superficie plus réduite des coupes. Puisque notre étude est réalisée sur le territoire de la Réserve Faunique Rouge Matawin (RFRM), cet aspect est important. En effet, des milliers de personnes s'y récréent chaque année, que ce soit pour des activités avec prélèvement (chasse, pêche) ou du loisir « vert » (canot, vélo, camping, etc.). Or, un autre aspect doit aussi être pris en compte. Un facteur limitant important quant à la satisfaction des clients vis-à-vis un territoire dans lequel ils se récréent est le niveau de dérangement sonore occasionné soit par les activités de récolte forestière ou soit par le camionnage des bois récoltés. En dispersant les coupes forestières comme la CM l'exige, ce niveau de dérangement sonore risque d'être augmenté. De plus, les zones exemptes de sons (refuges sonores) se raréfieront dans le paysage. Il est donc important de vérifier l'impact de ce régime de répartition sur cette valeur. Mentionnons aussi que le dérangement sonore peut affecter aussi les populations animales, particulièrement les espèces qui évitent le contact avec l'homme tel le loup, l'autour des palombes et le pékan, pour ne nommer que celles-là.

Finalement, la dimension économique n'est pas exempte d'être affectée par un changement de régime de répartition spatiale. En dispersant les coupes dans le temps et dans l'espace, il devient plus difficile de faire des économies d'échelles. Ainsi, plus de chemins devront être actifs pour une même période de temps. Or, la construction des chemins et le maintien de leur qualité carrossable constituent des coûts très importants. De plus, l'ouverture de multiples chantiers, avec les coûts de déplacement de la machinerie et des équipes, peut aussi s'ajouter aux coûts précédents. Du point de vue de la possibilité forestière, il est difficile de prédire ce que ce type de coupe peut générer comme conséquence. Il est sûr qu'en donnant accès plus rapidement à l'ensemble du territoire, les peuplements pourront être récoltés plus facilement à leur optimum de volume.

Il est donc essentiel d'étudier l'effet à long terme de ce nouveau régime de répartition spatiale de coupe sur les différentes valeurs du milieu forestier avant de le voir systématisé sur l'ensemble du territoire. Cela est d'autant plus vrai qu'il est plus facile de fragmenter une forêt, telle que la CM risque de le faire, que d'en remembrer les massifs ultérieurement.

Ce projet vise à répondre à cette problématique hautement complexe en employant la modélisation spatiale. Compte tenu de la complexité spatiale que ce problème implique, il est nécessaire d'utiliser des outils spécialisés de modélisation spatiale qui permettent : 1) de simuler différents régimes de coupes et 2) d'en évaluer l'impact sur la biodiversité, le dérangement sonore et le rendement économique à l'aide d'indicateurs de ces aspects fondamentaux du développement durable. Ces modèles d'indicateurs doivent être spatialement explicites pour pouvoir tenir compte des différences de répartition spatiale que les régimes comparés amènent sur la forêt de la RFRM. Ils ont été couplés avec des outils de projection forestière afin de tester différentes stratégies d'aménagement forestier.

Les étapes de ce projet étaient donc :

1. Organisation des bases de données;
2. Définition des scénarios d'aménagement et de leurs règles de répartition spatiale;
3. Choix des indicateurs en relation avec les familles de valeurs « biodiversité », « dérangement sonore » et « rendement économique »;
4. Traduction des informations en provenance de Sylva II sur le stock forestier, sur les hypothèses de croissance des peuplements et sur leurs scénarios sylvicoles associés pour les rendre compatibles avec le simulateur de récolte spatialement explicite;
5. Programmation des scénarios d'aménagement pour le simulateur de récolte;
6. Simulation des scénarios d'aménagement et vérification du réalisme des projections forestières obtenues;
7. Programmation des modèles d'indicateurs;
8. Application des modèles d'indicateurs aux projections forestières obtenues;

9. Analyse des performances des indicateurs et comparaison entre les scénarios;

10. Discussion des résultats obtenus et recommandations pour l'aménagement forestier de la RFRM.

2 Secteur d'étude

Cette étude a été réalisée sur le territoire de la RFRM. La RFRM est un territoire public à vocation mixte, pour lequel des droits exclusifs d'exploitation ont été alloués à la Sépaq pour l'offre de services de récréation (avec ou sans prélèvement) en forêt. La récolte forestière est permise dans ce territoire et deux Unités de Gestion sont responsables de son intendance, soit l'U.G. de la rivière Rouge (61) et l'U.G. de l'Assomption-Matawin (62).

La RFRM est située à la frontière du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau jaune (Robitaille et Saucier 1998). Son territoire est exclusivement forestier. Des 138 138 ha du territoire, on trouve 121 619 ha de forêt productive. Sur les sites mésiques au sud, on retrouve l'érablière à bouleau jaune en mi-pente qui est accompagnée de la sapinière à épinette rouge dans les fonds de vallée et de la sapinière à bouleau jaune aux sommets. Sur les sites mésiques au nord, on trouve la bétulaie jaune à sapin en mi-pente qui est accompagnée de l'érablière à bouleau jaune en haut de pente et de la sapinière à bouleau blanc aux plus hauts sommets. Les fonds de vallée sont souvent recouverts par la sapinière à épinette noire (Robitaille et Saucier 1998). La répartition actuelle des types de végétation exprime ces potentiels (Tableau 1). Le fait que cette forêt soit mitoyenne entre la forêt feuillue et la forêt mixte la rend plus diversifiée et plus complexe mais aussi plus intéressante pour l'étude que nous entreprenons ici.

Tableau 1. Type de végétation dans la RFRM.

Type de végétation	Pourcentage
Feuillus intolérants	4%
Feuillus tolérants	26%
Mixte à dominance feuillue	22%
Mixte à dominance résineuse	15%
Résineux méridionaux (pins, pruches, cèdres)	10%
SEPM	23%

3 Préparation des simulations forestières

3.1 Définition des scénarios d'aménagement forestier et de leurs règles de répartition spatiale

Préparation des simulations forestières

Après différentes rencontres avec les collaborateurs de ce projet, deux scénarios ont été élaborés pour comparaison. Un premier scénario, intitulé « Bandes Séparatrices », vise à reproduire le type d'aménagement qui s'est fait jusqu'à maintenant. Dans ce scénario, les peuplements sous système sylvicole équienne sont récoltés par des blocs d'une superficie variant de 25 à 100 ha avec une moyenne d'environ 50 ha. Chaque bloc est séparé par un séparateur de coupe de 60 m. Des blocs peuvent être ajoutés d'année en année, de façon adjacente l'une à l'autre. Ce type de répartition forme habituellement des secteurs de coupe d'environ 300 ha en moyenne. Les peuplements en sylviculture inéquienne sont aménagés par jardinage avec des rotations qui assurent le renouvellement du volume récoltable.

Un deuxième scénario, intitulé « Mos », applique les règles de la CM. Ainsi, la superficie maximale d'un bloc est fixée à 50 ha avec une moyenne de 25 ha. Un bloc adjacent peut être récolté lorsque la hauteur de la régénération des peuplements récoltés en périphérie atteint plus de 3 mètres de haut.

3.2 Présentation du simulateur de récolte spatialement explicite

Pour rendre compte des différences que ces deux régimes de répartition spatiale imposent sur les valeurs qui nous intéressent, nous devons pouvoir simuler spatialement les activités d'aménagement forestier. L'outil actuellement utilisé au Québec, soit Sylva II, ne permet pas de faire cela. Une nouvelle génération d'outil existe depuis une dizaine d'années ailleurs au Canada qui a cette particularité. Le logiciel GIS-Complan (3.04) développé par Olympic Resource Management Ltd a été utilisé pour cette étude. Grâce à cet outil, il est possible d'introduire des contraintes de contiguïté, de couverts, de répartition des classes de tailles et de hiérarchie spatiale permettant de reproduire moult régimes de répartition spatiale. Il simule la croissance avec des modèles par courbes seulement.

GIS-Complan peut aussi gérer l'information sur le réseau routier. Pour ce faire, il nous faut développer le modèle de réseau routier dans lequel chaque segment est identifié ainsi que le flux de camionnage du bois.

GIS-Complan calcule, en plus des volumes par produits récoltés, les revenus que ceux-ci génèrent ainsi que les coûts des opérations de récolte, de construction et de maintien des chemins, et de transport du bois que l'exploitation des volumes récoltés exigent. En plus du rapport de récolte, il donne à chaque période l'état de chaque peuplement pour les attributs qui sont incorporés dans la table de rendement. Ces attributs peuvent aussi bien concerner le volume par groupe d'essences que toutes autres conditions (DHP moyen, hauteur, densité en chicots/ha, qualité de l'habitat de la martre, etc.), en autant qu'ils puissent être associés à l'âge du peuplement. Cette caractéristique est très intéressante pour l'étude entreprise dans ce projet.

3.3 Préparation des couvertures spatiales

Pour effectuer les simulations, nous sommes partis de la mise à jour pour l'année 1996 des cartes écoforestières du deuxième décennal.

GIS-Complan, le simulateur de récolte spatialement explicite, utilise une approche spatiale hiérarchique pour organiser les activités d'aménagement forestier dans le temps et dans l'espace. Quatre niveaux sont reconnus par Complan :

1. l'unité d'analyse: soit la forêt au complet;
2. le compartiment : unité de contrôle des chantiers;
3. le sous-compartiment : unité correspondant au bloc d'opération le plus petit (coupe);
4. le peuplement : unité d'information la plus petite.

Ces quatre niveaux sont hiérarchiquement emboîtés et par conséquent respectent l'intégrité des limites de divisions. Ainsi, un peuplement appartient à un seul sous-compartiment, qui appartient à un seul compartiment, qui appartient à une seule unité d'analyse.

Pour utiliser la hiérarchie spatiale de Complan, il a donc fallu assigner des polygones pour ces quatre niveaux. Pour les compartiments, nous avons utilisé les parcellaires. 163 compartiments ont été créés, d'une superficie moyenne de 1030.5 ha (±419.4 ha) (Figure 1).

Ceux-ci contrôleront donc l'année d'ouverture d'un secteur pour y établir un chantier de récolte. Cette caractéristique est importante pour reproduire l'effet migratoire des secteurs de coupe que le scénario «Bandes Séparatrices» occasionne.

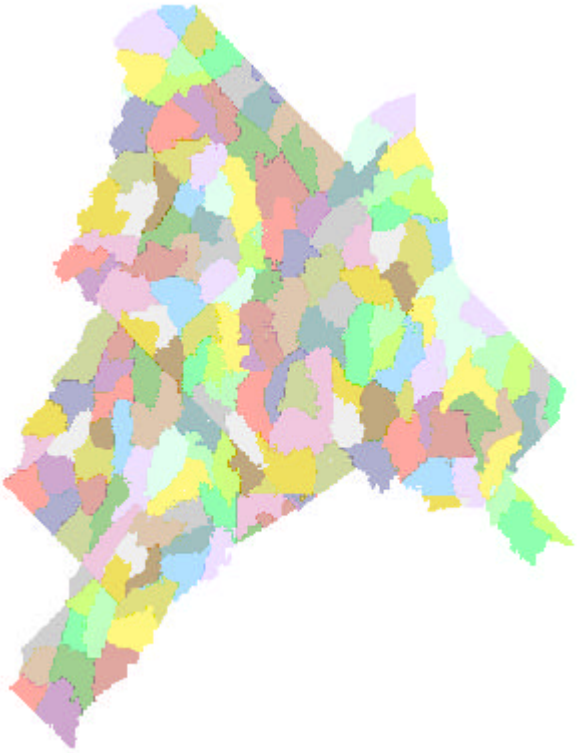


Figure 1: Compartiments utilisés pour les simulations des scénarios de répartition spatiale

Pour les sous-compartiments, il a fallu séparer les compartiments en sous-unités plus petites dans le but de contrôler la superficie des coupes afin de refléter les conditions de superficie maximale exigée par les deux scénarios. De plus, les sous-compartiments doivent être de même système sylvicole. Les systèmes sylvicoles reconnus par Complan sont la coupe totale, la coupe progressive et le jardinage. Un effort a été effectué pour assurer une homogénéité en terme de système sylvicole au sein des sous-compartiments. Plus de deux mille sous-compartiments (2 355) ont ainsi été créés, d'une superficie moyenne de 70 ha (±39 ha) (Figure 2). Puisque ces superficies incluent l'eau, la superficie active terrestre est plus réduite.

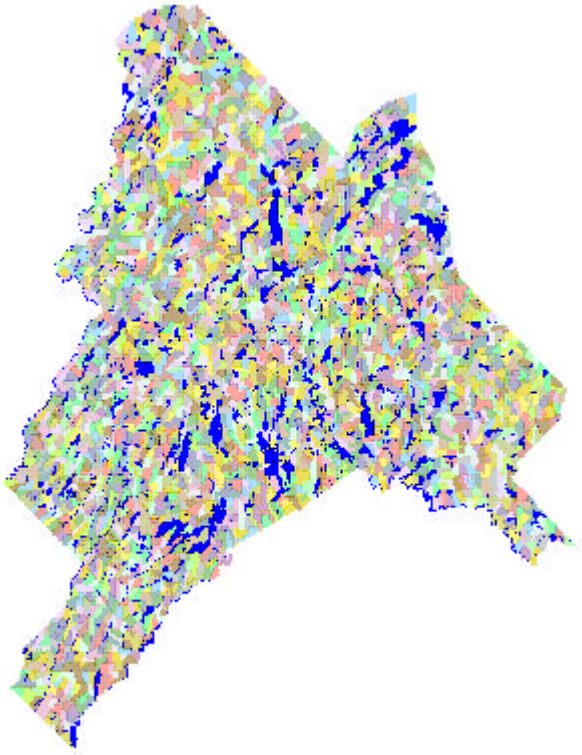


Figure 2: Sous-compartiments utilisés pour les simulations des scénarios de répartition spatiale

Au niveau des peuplements, nous les avons sectionnés pour accommoder la hiérarchie spatiale tout en maintenant l'information de la carte écoforestière. Afin de pouvoir respecter les normes sur les lisières boisées à laisser en bordure des milieux riverains, un tampon de 20 m a été intersecté avec la couverture écoforestière. La résultante de cette intersection a été étiquetée pour y associer ultérieurement un scénario spécial qui respecte les conditions exigées dans ces milieux afin d'y effectuer la récolte de matière ligneuse. Pour le scénario Bandes Séparatrices, il ne nous était pas possible de tracer à l'avance les séparateurs de coupe de 60 m. Pour simuler cela, nous avons plutôt effectué un tampon de 30 m à tous les ruisseaux pour servir de séparateurs de coupe. Cela est généralement ce qui se passe sur le terrain d'après les aménagistes forestiers qui collaborent avec nous dans ce projet. Dans le cas des tampons riverains, un travail de simplification a été nécessaire pour éliminer les petits polygones inférieurs en superficie à 1 ha. Dans le cas des sous-compartiments, les peuplements rattachés à un système sylvicole différent de la majorité du sous-compartiment et dont la superficie était inférieure à 8 ha se voyaient prendre les attributs du polygone forestier adjacent le plus gros.

3.4 Préparation du modèle de réseau routier

Dans ce modèle, il nous faut prévoir l'ensemble des chemins qui seront construits durant toute la simulation, dire à quelle catégorie de chemin chaque segment du réseau appartient, à quel moment le chemin a été construit et dans quel autre segment s'écoule un segment pour acheminer les volumes de bois vers un exutoire. Nous sommes partis du réseau routier existant pour développer le modèle de réseau routier. Puisque chaque sous-compartiment doit être desservi par un chemin, il nous a fallu compléter l'ensemble du réseau. Sept exutoires ont été identifiés. L'assignation des segments d'aval pour le réseau d'écoulement des bois vers l'exutoire s'est faite à partir de l'exutoire dont l'accès était le plus court. Bien évidemment, cette caractéristique ne tient pas compte des emplacements d'usine et de leur spécificité en matière de produits transformés. Ainsi, par exemple, les volumes de peupliers qui sont récoltés du côté ouest de RFRM sortiront par un exutoire de ce côté malgré que l'usine de Lousiana Pacific, qui est le principal preneur de peuplier, soit située à St-Michel-Des-Saints (Figure 3).

3.5 Préparation de la table des contiguïtés

Nous avons établi la table des contiguïtés en présentant tous les voisinages adjacents qui existent entre tous les sous-compartiments. Pour ce faire, nous avons pris la couvertures des sous-compartiments de Arc-View pour la traduire en format Arc-Info. Le format Arc-Info donne automatiquement la topologie de lignes d'une couverture de polygones. Dans cette topologie de lignes, les relations de voisinage sont automatiquement données.

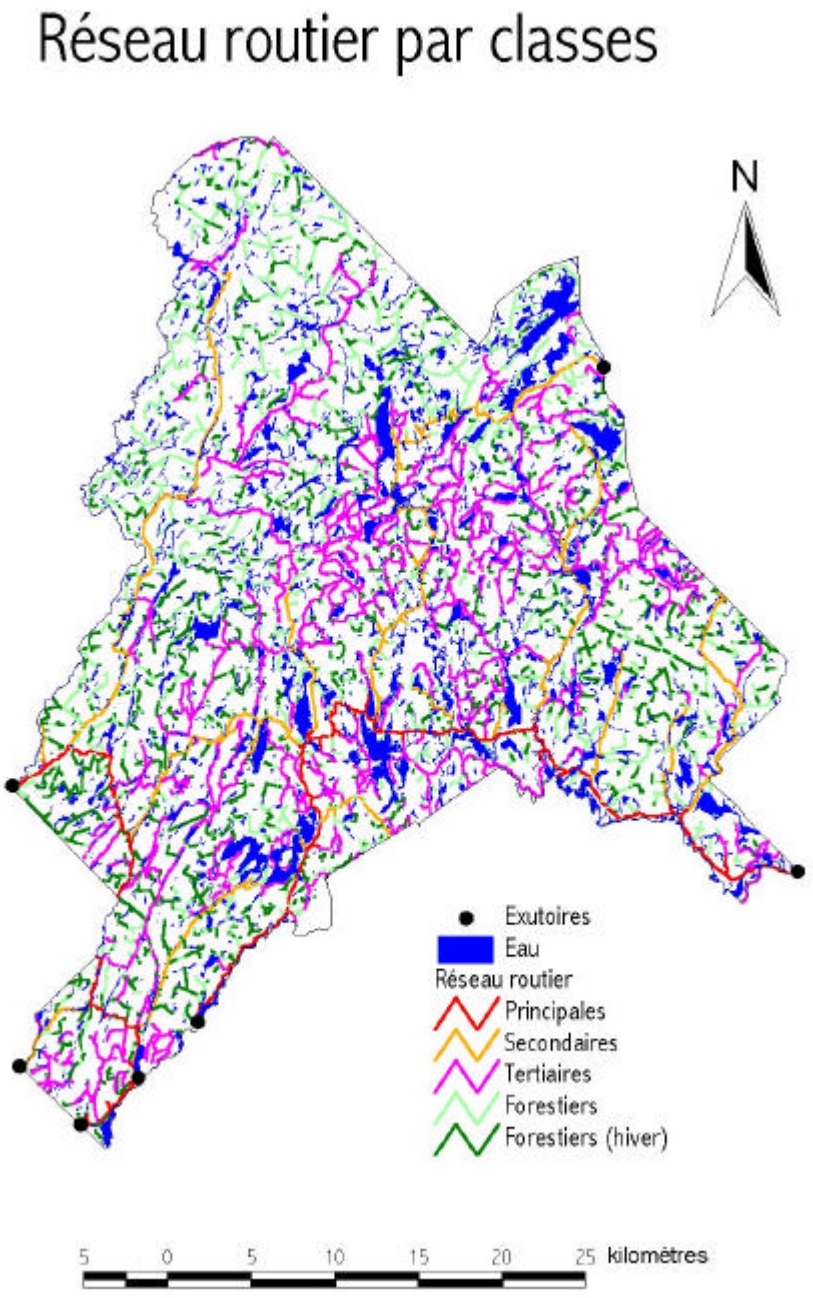


Figure 3: Modèle de réseau routier

3.6 Traduction des informations de simulations en provenance de Sylva II

Pour chaque polygone forestier, nous avons associé une strate d'aménagement correspondante provenant de la simulation sur Sylva II du calcul de possibilité de l'aire commune 061-02. Pour ce faire, la strate cartographique du peuplement était mise en relation avec la strate d'inventaire et puis enfin mise en relation avec la strate d'aménagement. Dans le cas de strates d'aménagement qui possédaient plus d'un scénario sylvicole, les peuplements étaient alors associés à un ou l'autre des scénarios sylvicoles, au hasard, mais de façon à représenter les proportions de superficie associées à chaque scénario sylvicole. Comme Complan utilise des classes d'âge à âge unique, nous avons dû donner un âge moyen pour toutes les strates qui avaient un âge composé (c.-à-d. qu'il n'existe pas d'âge de strates inéquiennes ou irrégulières tel que les 3070 ou les VIN).

Pour chaque strate d'aménagement, nous avons développé des courbes de rendement dans lesquels on observait la variation des volumes par classes d'essences en fonction de l'âge des peuplements. Cette courbe de rendement était développée sur un horizon de 250 ans. Cela a été fait pour permettre à des peuplements d'excéder l'âge de rotation et d'atteindre un statut de vieilles forêts. Pour les strates aménagées par sylviculture équienne, nous avons tout simplement utilisé les familles de courbes telles que donné par Sylva II. Pour les strates aménagées par sylviculture inéquienne, nous avons utilisé le module d'accroissement par taux pour obtenir les volumes par groupes d'essences et par produits sur une rotation de jardinage. Comme GIS-Complan utilise des courbes de rendement qui doivent partir de l'âge 0, une interpolation a été nécessaire pour obtenir les informations entre 0 et l'âge actuel des strates jardinées.

Cet exercice a résulté en une multitude de courbes de rendement. Nous devions donc simplifier cela et réduire le nombre de courbe de rendement. Pour ce faire, nous avons regroupé plusieurs des courbes de rendement et effectué une analyse de groupement qui utilisait les volumes par essences comme descripteurs de similarité. Grâce à cet exercice, le nombre de courbes de rendement de base est passé de 137 à 43 (Tableau 2).

Tableau 2. Liste des courbes de rendement utilisées

No. de groupe	Groupe	Superficie (ha)	Système sylvicole	Nombre de strates d'amén.
1	PGPG, volume élevé	417	CPRS	1
2	SS, volume élevé	1002	CPRS	4
4	EE, volume élevé	479	CPRS	2
5	ER, volume élevé	91	CPRS	1
6	RBJ, volume élevé	2976	CPRS	3
7	SBB, volume moyen	226	CPRS	2
8	RBJ+, volume moyen	3219	CPRS	2
9	SS, volume élevé	4609	CPRS	5
10	SS, volume élevé	4510	CPRS	4
11	SE, volume élevé	2488	CPRS	3
12	EE, volume élevé	3499	CPRS	3
14	ES, volume moyen	1696	CPRS	4
15	EFI, volume élevé	687	CPRS	2
16	EPB, volume élevé	7436	CPRS	1
17	RBB, volume élevé	3951	CPRS	1
18	PE, volume élevé	1993	CPRS	1
20	PE, volume élevé	1493	CPRS	4
21	BJ, volume élevé	940	CPE	1
22	BBS, volume élevé	2945	CPRS	5
23	BJ-R, volume élevé	650	CPRS	2
24	BBR, volume moyen	3717	CPRS	3
25	BJ-R, volume élevé	3001	CPRS	4
26	BJ-R, volume élevé	9132	CPRS	6
28	BB, volume élevé	631	CPRS	3
29	BBS, volume moyen	518	CERS	1
30	BB, volume faible	321	CPRS	1
31	ERBB, volume élevé	6622	CPRS	1
32	ER, volume élevé	2317	CPE	1
33	ERBJ, volume élevé	2412	CPE	2
34	BJR, volume faible	2008	CPRS	5
35	FT, volume moyen	322	CPE	1
36	ER, volume élevé	647	CJ	3
37	RFT, volume élevé	1449	CJ	1
39	RFT, volume élevé	7011	CJ	4
40	ERR, volume élevé	531	CJ	3
41	ER, volume élevé	5074	CJ	5
42	ER, volume élevé	3824	CJ	6
45	ER, volume moyen	847	CJ	2
47	FTR, volume moyen	1675	CJ	3
49	ERBJ, volume élevé	2588	CJ	4
51	ERFT, volume élevé	14510	CJ	15
52	ERBJ, volume faible	654	CJ	2
53	ERBJ, volume élevé	6506	CJ	10

* Les courbes de chacun des groupes sont présentées à l'Annexe 1

Certains attributs ont été ajoutés dans les courbes de rendement pour permettre l'utilisation des indices de qualité d'habitat. Nous avons ajouté le DHP moyen, la hauteur moyenne, la surface terrière et le type d'habitats. Pour les trois premiers attributs additionnels, nous avons utilisé les parcelles permanentes du MRNQ de la région 06 afin d'obtenir une relation avec l'âge et le volume du peuplement.

Le type d'habitats a été utilisé pour faciliter les analyses subséquentes. Le type d'habitat est assigné à chaque peuplement à un moment donné de la simulation. Il généralise sa composition en six classes (voir Tableau 1) et en 5 stades de développement. Ces stades sont : semis, gaulis, perchis, futaies, et vielles forêts.

La simulation des scénarios sylvicoles a été effectuée en respectant les âges de rotation mis dans Sylva II. Les éclaircies commerciales n'ont pas été simulées. Dans le cas des coupes de jardinage, 30% du volume était récolté et la rotation avant le prochain passage était selon les rotations mises dans Sylva II pour assurer le renouvellement du volume. Dans le cas des peuplements sous régime de coupe progressive, 50% du volume était récolté au premier passage et le reste du volume était récolté au second passage. À noter que dans ce cas, on assume que la régénération s'établit dès la réalisation de la première coupe, sans délai. Pour les peuplements en sylviculture équienne qui sont dans les lisières boisées, nous avons permis une récolte 50% de leur volume lorsque le bloc adjacent était récolté. Ainsi, subséquemment, le développement du peuplement résiduel se faisait selon la courbe de rendement de base mais avec seulement 50% du volume.

4 Préparation des paramètres de simulation pour les deux scénarios

4.1 Priorités de récolte

La priorité de récolte a été contrôlée à l'aide de deux paramètres. Le paramètre prioritaire était l'âge excédant l'âge de rotation défini dans le scénario sylvicole. Grâce à ce paramètre, plus un peuplement excédait son âge de rotation plus il devenait prioritaire de le récolter. Le paramètre secondaire était de minimiser les pertes de croissance en volume.

4.2 Niveau de récolte

Après plusieurs essais de rendement soutenu, nous avons établit le niveau de récolte cible pour le territoire à 200 000 m^3 pour les deux scénarios. Avec un territoire de 121 619 ha, cela nous donne une productivité de 1.64 m^3/ha. Cette valeur est comparable à la productivité obtenue dans l'aire commune 0161-02. Ce niveau n'est cependant atteint et maintenu qu'à partir de 60 ans. Il faut mentionner que peu d'effort de normalisation a été fait pour combler ce manque à gagner durant ces premières années.

4.3 Règles de répartition spatiale

C'est à ce niveau que les scénarios ont différé. Les règles qui ont permis le contrôle de la répartition spatiale concernent le contrôle des accès aux compartiments, les règles de contiguïté des blocs de coupe, la superficie maximale des blocs de coupe et les règles d'agrégation des blocs de coupe.

4.3.1 Le contrôle des accès aux compartiments

Premièrement, le contrôle des accès aux compartiments pour le scénario Bandes Séparatrices s'est fait de façon à reproduire la migration sud-nord des secteurs de coupe. Pour ce faire, nous avons supposé qu'un compartiment dans ce scénario n'était disponible pour la coupe que durant 1/3 du temps de la rotation moyenne, soit 27 ans. Ainsi, on observe une augmentation de l'année d'accès des compartiments du sud au nord. Une fois que le nord est atteint, le système recommence par le sud du territoire, ainsi de suite. Il y a donc, pour une période donnée, toujours

1/3 du territoire qui est accessible pour la récolte. Le scénario Mosaïque n'a pas de contraintes à ce niveau. Les peuplements sont accessibles à tout moment.

4.3.2 Les règles de contiguïté des blocs de coupe

Seul le scénario Mosaïque avait cette contrainte spatiale. Celle-ci consistait à permettre une coupe totale attenante à une autre seulement si le peuplement adjacent avait un minimum de 3 m de hauteur.

4.3.3 Les règles de superficie maximale des secteurs coupés

Pour le scénario Mosaïque une superficie maximale des secteurs coupés de 50 ha était définie alors qu'elle était de 300 ha pour le scénario Bandes Séparatrices.

4.3.4 Les règles de superficie maximale des secteurs coupés

Seul le scénario Bandes Séparatrices avait des règles d'agrégation pour permettre aux blocs adjacents de former une aire de coupe plus grande. Ainsi, une fois un sous-compartiment choisi, un autre, adjacent, pouvait être désigné. Dans le cas où plusieurs sous-compartiments lui étaient adjacents, la priorité allait à celui qui partageait le plus de frontières communes avec le premier sous-compartiment choisi. Le second critère était la priorité de récolte tel que défini dans la section 4.1.

4.4 Contrôle de la simulation

Les simulations ont été effectuées sur un horizon de 150 ans, avec un pas de 10 ans. Les résultats sont présentés par période de 10 ans.

5 Développement des modèles d'indicateurs

Le calcul des indicateurs s'est effectué en mode matriciel dans le système d'information géographique à l'aide de l'extension Spatial Analyst. La dimension du pixel utilisé avait 50 m de côté.

5.1 Indicateurs de biodiversité

5.1.1 Stade de développement

Ce premier indicateur présente la proportion des différents stades de développement tout au long de la simulation. Cet indicateur est utile pour vérifier si un scénario d'aménagement maintien l'équilibre des classes d'âge. Il inclut donc en même temps l'indicateur du stade des vieilles forêts. Pour obtenir cet indicateur, il suffit de faire la somme des superficies par stade de développement pour l'ensemble des peuplements forestiers à une période donnée.

5.1.2 Superficie et classes de tailles des coupes

Ce premier indicateur donne la superficie moyenne et la distribution par classes de tailles des assiettes de coupe durant une période donnée. Pour obtenir cette information, toutes les coupes ont été distinguées par période afin d'évaluer la moyenne et la distribution des classes de tailles.

5.1.3 Superficie et classes de tailles des forêts profondes

Une forêt profonde est la proportion des forêts matures (futaies et vieilles forêts) n'étant pas sous l'influence d'une ouverture adjacente. Nous avons utilisé comme distance d'influence 100 m pour les stades de semis et les ouvertures non forestières (eau, dénudé humide, dénudé sec) et 50 m pour les stades gaulis et les aulnaies. Ainsi, toute superficie de forêt mature se voyait retrancher des superficies de bordure selon le type de bordure. La superficie en forêt profonde et le ratio forêt profonde sur forêt mature sont présentés pour chaque période. La distribution par classes de tailles est aussi présentée par période.

5.1.4 IQH du Moucherolle tchébec

Ce passereau forestier utilise les forêts matures bien stockées de feuillus, particulièrement les forêts de feuillus tolérants (Doyon 2000). L'indice de qualité de l'habitat de cette espèce reflète donc ces caractéristiques. Ainsi, plus la proportion de feuillus tolérants, et dans une moindre importance de feuillus intolérants, sera élevé, meilleure sera la qualité de son habitat (Figure 4).

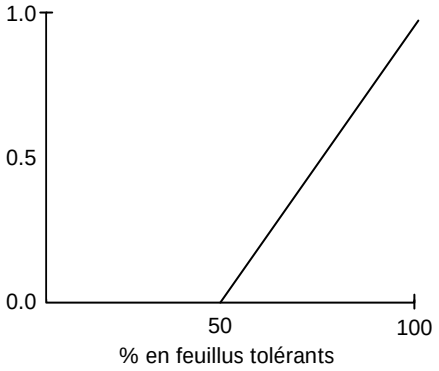


Figure 4. Valeur de la qualité de l'habitat du moucherolle tchébec en fonction de la proportion en feuillus tolérants (FT)

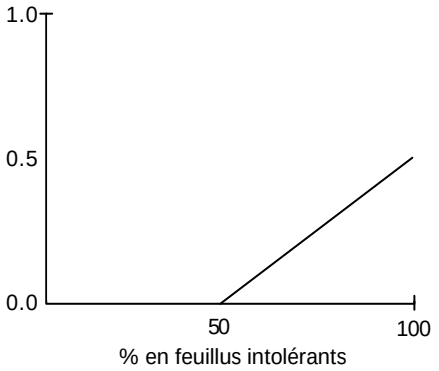


Figure 5. Valeur de la qualité de l'habitat du moucherolle tchébec en fonction de la proportion en feuillus intolérants (FI)

La qualité de l'habitat de ce passereau augmentera avec la surface terrière du peuplement pour atteindre son maximum (valeur de 1) lorsque celle-ci est plus grande ou égale à 30 m^2/ha (Figure 6).

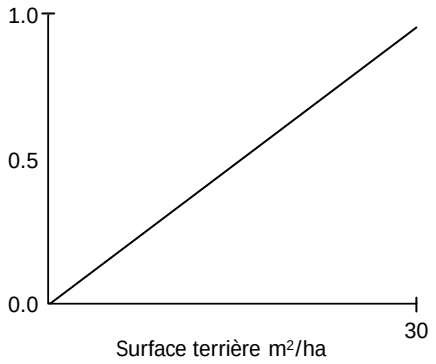


Figure 6. Valeur de la qualité de l'habitat du moucherolle tchébec en fonction de la surface terrière

Pour obtenir l'indice de qualité de l'habitat local du moucherolle tchébec, on utilise l'équation suivante :

$$IQH_{local} = \sqrt{[IQ_{surface\ terrière} * (IQ_{\%\ FT} + IQ_{\%\ FI})]}$$

Cette valeur locale est ajustée par la moyenne obtenue dans une fenêtre de 10 ha autour du pixel central selon la formule suivante :

$$IQH_{final} = 0.66* IQH_{local} + 0.33* \text{Moyenne } (IQH_{local})_{10\ ha}$$

5.1.5 IQH de la paruline verte

Ce passereau forestier utilise les forêts matures bien stockées en pruche et les forêts mixtes associées aux feuillus tolérants (Doyon 2000). Il est aussi abondant dans les vieux peuplements de pins, sapin et d'épinettes lorsque les arbres sont de bonnes dimensions. L'indice de qualité de l'habitat de cette espèce utilise donc la proportion de pruche comme premier indice (Figure 7) et l'importance des autres espèces plus secondaires (pin blanc, pin rouge, sapin, épinettes, érables, hêtre) (Figure 8).

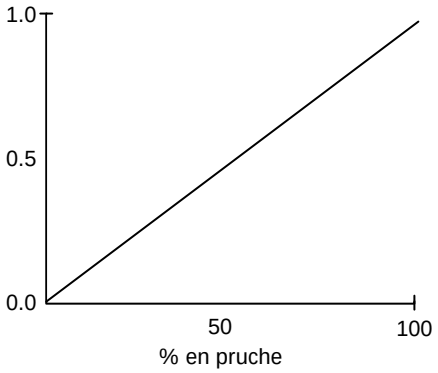


Figure 7. Valeur de la qualité de l'habitat de la paruline verte en fonction de la proportion en pruche

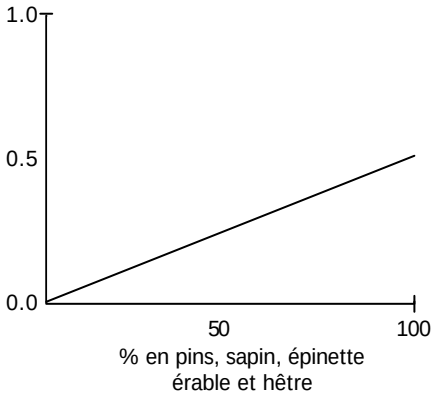


Figure 8. Valeur de la qualité de l'habitat de la paruline verte en fonction de la proportion en autres essences (pins, sapin, épinette, érables et hêtre)

La qualité de l'habitat de ce passereau augmentera avec la surface terrière du peuplement pour atteindre son maximum (valeur de 1) lorsque la surface terrière est plus grande ou égale à 30 m^2/ha (Figure 9).

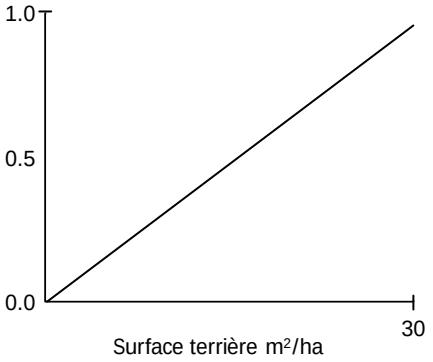


Figure 9. Valeur de la qualité de l'habitat de la paruline verte en fonction de la surface terrière

Comme cet oiseau est un glaneur de haute canopée résineuse, la taille des arbres est importante (Doyon 2000). Ainsi, la qualité de son habitat sera d'autant meilleure que les arbres sont gros. Une valeur maximale de 1 sera attribuée aux peuplements dont le diamètre moyen à hauteur de poitrine est plus grand ou égal à 30 cm (Figure 10).

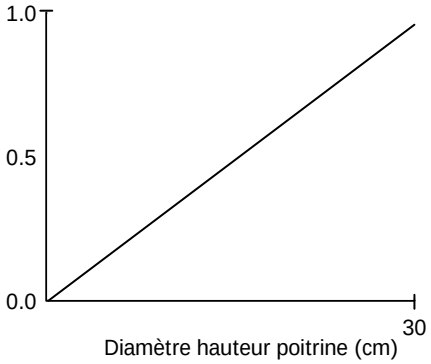


Figure 10. Valeur de la qualité de l'habitat de la paruline verte en fonction du diamètre moyen hauteur-poitrine du peuplement

Pour obtenir l'indice de qualité de l'habitat local de la paruline verte à gorge noire, on utilise l'équation suivante :

$$IQH_{local} = \sqrt{[IQ_{surface\ terrière} * IQ_{DHP} * (IQ_{\%Pruche} + IQ_{\%\ Autres\ essences})]}$$

Cette valeur locale est ajustée par la moyenne obtenue dans une fenêtre de 10 ha et de 100 ha autour du pixel central selon la formule suivante :

$$IQH_{final} = 0.50* IQH_{local} + 0.25* \text{Moyenne } (IQH_{local})_{10\,ha} + 0.25* \text{Moyenne } (IQH_{local})_{100\,ha}$$

5.1.6 IQH du lièvre d'Amérique

L'indice de qualité de l'habitat du lièvre d'Amérique utilise une composante qui décrit son habitat d'alimentation (IQA) et une composante qui décrit son habitat de couvert (IQC). Le lièvre d'Amérique se nourrit en hiver surtout de ramilles d'arbustes et d'arbrisseaux feuillus. La quantité de ramilles accessibles en hiver dépendra donc de la composition du peuplement, de son âge, et de son ouverture. Nous partons avec la prémisse voulant que plus un peuplement sera composé de feuillus, plus il contiendra de ramilles de feuillus. Cependant, dépassé 75%, la quantité de ramilles accessibles est jugée stable (Figure 11).

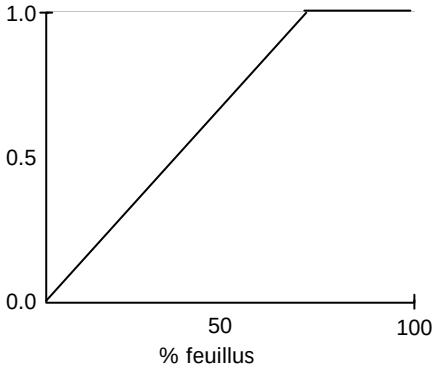


Figure 11. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation du lièvre d'Amérique en fonction du pourcentage de feuillus

Les stades jeunes sont des milieux propices pour le lièvre puisqu'il y trouve une grande quantité de ramilles accessibles. Ainsi, plus le DHP moyen du peuplement sera faible, meilleur sera l'habitat d'alimentation du lièvre (Figure 12).

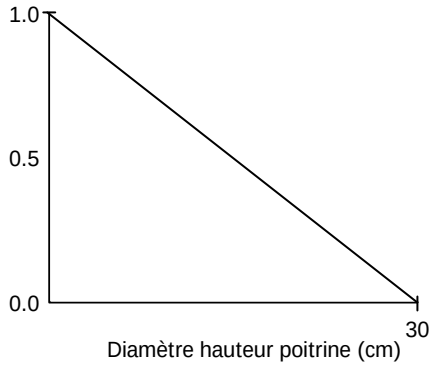


Figure 12. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation du lièvre d'Amérique en fonction du diamètre moyen à hauteur de poitrine du peuplement

La quantité d'arbustes et d'arbrisseaux est aussi généralement dépendante de la lumière au niveau de la sous-végétation. Ainsi, plus la surface terrière sera faible, plus la sous-végétation sera abondante (Figure 13).

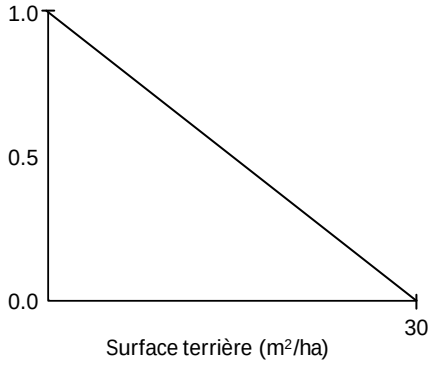


Figure 13. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation du lièvre d'Amérique en fonction de la surface terrière du peuplement

Pour obtenir l'indice de qualité de l'habitat d'alimentation local du lièvre d'Amérique, on utilise l'équation suivante :

$$IQA_{local} = \sqrt{[IQ_{\%Feuillus} * \sqrt{(IQ_{DHP} * IQ_{surface\ terrière})}]}$$

En ce qui concerne l'IQC, on sait que le lièvre se retranche durant les périodes froides dans les jeunes peuplements de résineux. En effet, les jeunes conifères couverts de neige offrent des cavités sub-nivéales qui protègent le lièvre. Ainsi, plus un peuplement sera résineux (Figure 14), plus sa surface terrière sera petite (Figure 15) et plus le diamètre moyen à hauteur de poitrine sera faible (Figure 16), plus le peuplement sera un couvert intéressant pour le lièvre.

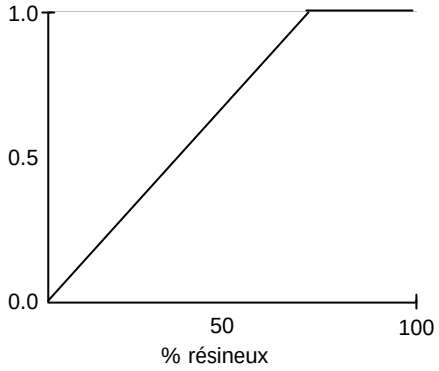


Figure 14. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert du lièvre d'Amérique en fonction du pourcentage de résineux

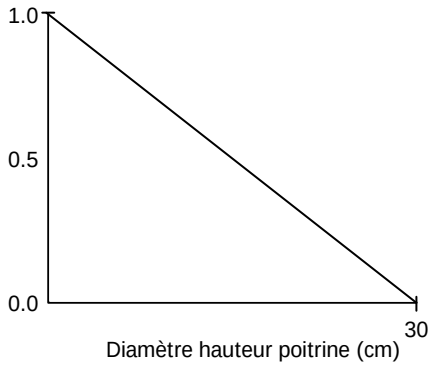


Figure 15. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert du lièvre d'Amérique en fonction du diamètre moyen à hauteur de poitrine du peuplement

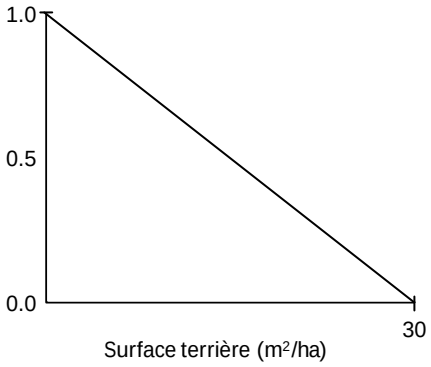


Figure 16. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert du lièvre d'Amérique en fonction de la surface terrière du peuplement

Pour obtenir l'indice de qualité de l'habitat de couvert local du lièvre d'Amérique, on utilise l'équation suivante :

$$IQC_{local} = \sqrt{[IQ_{\%Résineux} * \sqrt{(IQ_{DHP} * IQ_{surface\ terrière})}]}$$

Un bon habitat global pour le lièvre comportera dans un territoire de 12.5 ha une bonne quantité de ramilles pour son alimentation hivernale et un couvert protecteur de qualité. Ainsi pour effectuer notre calcul de l'IQH du lièvre nous évaluons en premier lieu, séparément, la moyenne des valeurs d'IQA et d'IQC dans une fenêtre de 12.5 ha et effectuons une moyenne géométrique de la résultante :

$$IQH_{final} = \sqrt{(\text{Moyenne } (IQA_{local})_{12.5\ ha} * \text{Moyenne } (IQC_{local})_{12.5\ ha})}$$

5.1.7 IQH de la martre d'Amérique

L'indice de qualité de l'habitat de la martre utilise aussi une composante qui décrit son habitat d'alimentation en hiver (IQA) et une composante qui décrit son habitat de couvert en hiver (IQC). Sa grande sensibilité au froid demande un très bon couvert thermique du peuplement. On sait que la martre se retranche durant les périodes froides dans les peuplements de résineux matures avec un couvert fermé. Ainsi, plus un peuplement sera résineux (Figure 17),

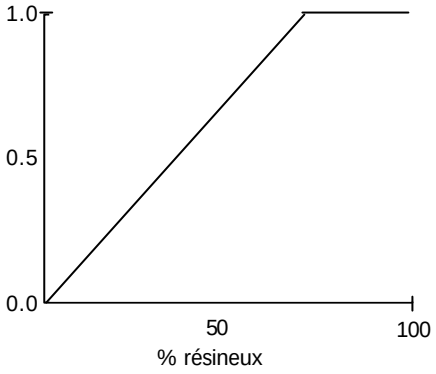


Figure 17. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert de la martre d'Amérique en fonction du pourcentage de résineux

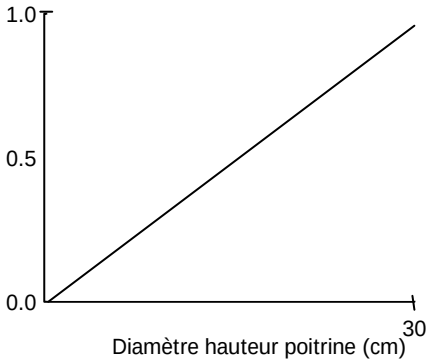


Figure 18. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert de la martre d'Amérique en fonction du diamètre moyen à hauteur de poitrine du peuplement

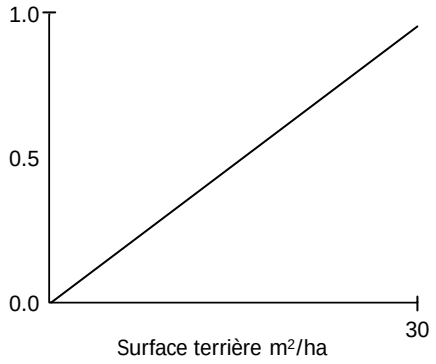


Figure 19. Valeur de la qualité de l'habitat de couvert de la martre d'Amérique en fonction de la surface terrière du peuplement

plus sa surface terrière sera élevée (Figure 15) et plus le diamètre moyen à hauteur de poitrine sera grand (Figure 18), plus le peuplement sera un couvert intéressant pour la martre.

Pour obtenir l'indice de qualité de l'habitat de couvert local de la martre d'Amérique, on utilise l'équation suivante :

$$IQC_{local} = \sqrt{(IQ_{\%Résineux} * IQ_{DHP} * IQ_{Surface\ terrière})}$$

La martre d'Amérique se nourrit en hiver de petits mammifères qui se déplacent sous la neige. Elle utilise les cavités sub-nivéales et les corridors sub-nivéaux pour chasser ceux-ci.. Un habitat idéal pour la martre sera composé de beaucoup de débris ligneux. On sait que les débris ligneux sont souvent plus nombreux dans les peuplements résineux. Ainsi, la qualité de l'habitat d'alimentation de la martre augmentera avec la proportion de résineux, jusqu'à un maximum atteint lorsque cette proportion sera de 75% et plus (Figure 20).

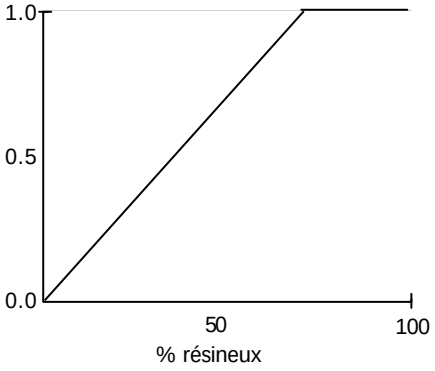


Figure 20. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation de la martre d'Amérique en fonction du pourcentage de résineux

La quantité de débris ligneux dépend aussi du stade de développement du peuplement. Généralement, après une coupe, la quantité de débris ligneux au sol peut être importante. Cependant, pendant les stades suivants, cette quantité est plutôt réduite pour recommencer à augmenter dans le stade de la futaie et des vieilles forêts (Figure 21).

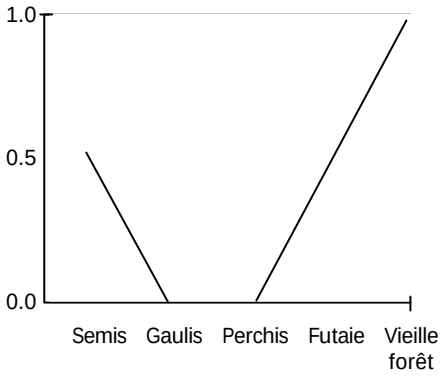


Figure 21. Valeur de la qualité de l'habitat d'alimentation de la martre d'Amérique en fonction du stade de développement

La martre pourra accéder à cette nourriture en autant que celle-ci soit à proximité d'un couvert de qualité. La distance d'accès critique est autour de 200 m. Ainsi, la valeur d'IQA sera pondéré en fonction de la meilleur valeur d'IQC à l'intérieur d'une fenêtre de 200 m de rayon. Pour obtenir l'indice de qualité de l'habitat d'alimentation local de la martre d'Amérique, on utilise l'équation suivante :

$$IQA_{local} = \sqrt{[\ \sqrt{(IQ_{\%Résineux} * IQ_{stade})} * Maximum(IQC_{local})_{200m\ rayon}]}$$

Un bon habitat global pour la martre comportera dans un territoire de 700 ha une bonne quantité de sites d'alimentation hivernale à proximité d'un couvert protecteur de qualité. Ainsi pour effectuer notre calcul de IQH, nous évaluons en premier lieu, séparément, la moyenne des valeurs d'IQA et d'IQC dans une fenêtre de 700 ha et effectuons une moyenne géométrique de la résultante :

$$IQH_{final} = \sqrt{(Moyenne\ (IQA_{local})_{700\ ha} * Moyenne\ (IQC_{local})_{700\ ha})}$$

5.2 Indicateurs de dérangement sonore

5.2.1 Dérangement sonore dû au chantier de récolte

Le dérangement sonore dû aux opérations de récolte dans les chantiers a été calculé en fonction des volumes qui étaient exploités. Pour un chantier de CPRS et de CPE, nous avons comptabilisé 1 journée de chantier par 1000 m^3 récoltés. En ce qui concerne le jardinage, ce taux était de 1 journée de chantier par 340 m^3 récoltés. Pour chaque période de 10 ans, les volumes récoltés étaient associés à chaque chantier. Une zone de dérangement sonore de 1500 m a été considérée comme étant l'étendue perçue, autour du chantier, comme un agacement par les personnes qui se récréent dans la RFRM. Ainsi, pour notre indicateur de dérangement sonore occasionné par les chantiers de récolte, une fenêtre glissante de 1500 m de rayon a balayé la couverture de chantier de chaque période en faisant la somme des jours-chantiers perçus.

5.2.2 Dérangement sonore dû au camionnage

Le dérangement sonore dû au camionnage a été calculé en fonction des volumes récoltés et de la position des coupes par rapport au réseau routier. Chaque m^3 de bois récolté a pu ainsi être associé à tous les tronçons qu'il traversait pour se rendre à l'exutoire. Il a alors été possible de savoir combien de m3 de bois récoltés avaient transigé par chaque segment du réseau routier. Pour le camionnage aussi, une zone de dérangement sonore de 1500 m a été considérée comme étant l'étendue perçue autour d'un chemin comme un agacement par les personnes qui se récréent dans la RFRM lorsqu'un camion passe. Notre indicateur a pu être calculé de la même façon que pour le dérangement sonore occasionné par les chantiers, soit en utilisant une fenêtre glissante de 1500 m pour faire la somme pour chaque pixel des volumes transportés qui étaient perçus. Afin de ramener cela à des unités tangibles, nous avons divisé le résultat par 40 m^3 pour représenter approximativement ce qu'un camion transporte en volume de bois. Comme les pixels ont 50 m de côté, nous avons aussi divisé la résultante de l'étape précédente par 40 pour représenter le transport sur un kilomètre. Les nombres obtenus représentent ainsi l'équivalent du nombre de camions roulant pendant un km perçu.

5.3 Indicateurs de rentabilité économique

Pour la rentabilité économique, nous avons calculé les revenus obtenus de la récolte du bois (RB$), les coûts occasionnés par celle-ci (CR$) et les coûts occasionnés pour la construction et le maintien des chemins du réseau routier (CC$). Les revenus et les coûts sont calculés pour les bois au bord du chemin et non pour les bois rendus à l'usine. La rentabilité économique est donc obtenue en divisant les revenus par les coûts (RB$/(CR$+CC$). Les sections qui suivent décrivent comment les valeurs ont été obtenues.

5.3.1 Les revenus au bord du chemin

Les revenus obtenus de la récolte du bois (RB$), valeur au bord de chemin, ont été calculés de la façon suivante. Nous avons utilisé la matrice des produits qui était dans la simulation du calcul de la possibilité de l'aire commune 061-02 pour avoir les volumes répartis par classes de produits par groupe d'essences. Cette matrice était directement entrée dans GIS-Complan. Les rapports de récolte de GIS-Complan nous donnaient donc directement les volumes par groupes d'essences par classes de produits. Les groupes d'essences étaient définis par souci de respecter la valeur des bois. Pour la valeur des bois au chemin nous avons utilisé les prix obtenus par la Forêt de l'Aigle (FA). La FA vend ses produits sur le marché libre en enchères, ce qui donne une bonne approximation de la valeur réelle des bois (Tableau 1). Ces prix représentent une moyenne sur 4 ans.

Tableau 3. Prix offerts au chemin pour les bois des différents produits

Groupe d'essences	Essences	Prix offerts		
		Déroulage ($/m^3)	Pâte ($/m^3)	Sciage ($/m^3)
Auf	Fra, Tia, Heg, Osv	145.0	23.5	55.3
BOU	Boj, Bop, Chr	257.3	44.0	80.0
ER	Ers, Err	145.0	44.0	70.0
PE	Pet, Peb, Peg	50.0	34.0	32.0
PIN	Pib, Pir	0.0	26.0	85.0
SEPM	SEPM	0.0	20.0	60.0
THO	Tho	0.0	20.0	55.0

5.3.2 Les coûts de récolte

Pour les coûts de récolte, nous avons utilisé les coûts associés à la planification et à la récolte. Ceux-ci ont été distingués selon le système sylvicole, et donc le type de coupe utilisée (Tableau 4). Les coûts ont été ramenés au m^3 de bois. Les crédits sylvicoles offerts pour les travaux de jardinage ont été comptabilisés comme un coût négatif (donc un revenu!).

Tableau 4. Coûts ($/m^3) associés aux activités de récolte de bois

Type de coût	Type de coupe	
	Coupe de jardnage	CPRS
Planification ($/m^3)	5.70	2.75
Récolte ($/m^3)	28.50	23.00
Crédit sylvicole ($/m^3)	-240.00	

5.3.3 Les coûts de construction et de maintien des chemins

Le réseau routier totalise plus de 2 058 km de chemin (Tableau 5). Pour les coûts liés au maintien du réseau routier, nous avons utilisé les coûts préparés par François Lapalme selon la classe de chemin. Ceux-ci se chiffrent en $/km et se répartissent en coût de construction, coût de réactivation, et entretien annuel (Tableau 5). La réactivation d'un chemin est nécessaire lorsque la durée de vie du chemin depuis sa construction est dépassée. Pour tous les chemins existants, nous avons fixé l'année de construction à 1995 puisque les simulations débutent en 1996. Pour les autres chemins, leur construction arrivait selon l'ouverture des compartiments et des sous-compartiments ordonnés par les années de contrôle d'accès et la priorité de la récolte.

Tableau 5. Coûts associés au maintien du réseau routier selon la classe de chemin

Classe de chemin	1	2	3	4	5
Type de chemin	Primaire	Secondaire	Tertiaire	Forestier (été)	Forestier (hiver)
Durée de vie (ans)	300	15	12	10	1
Construction($/km)	45000	35000	25000	13500	6250
Réactivation($/km)	45000	35000	12500	6750	6250
Entretien ($/km)	400	400	400	200	1000
Longueur (km)	113.8	217	737.7	582.8	406.8

6 Résultats : performance des indicateurs

6.1 Indicateurs de rentabilité économique

6.1.1 Le volume récolté

Le volume récolté fluctue sous les 200 000 m^3 jusqu'à la soixantième année de la simulation, après quoi, il maintient le volume ciblé (Figure 22). Durant ces 60 premières années, le volume récolté est plus important pour le scénario Mosaïque que pour le scénario Bandes Séparatrices, occasionnant une moyenne globale sur l'ensemble de l'horizon supérieure (1,938 m^3 Mosaïque vs 1,841 m^3 Bandes Séparatrices respectivement) (Figure 22). Après ces soixante années, les deux scénarios s'équivalent mais la proportion des produits fluctue. Les produits dominants sont le sciage et la pâte. Le déroulage y est marginal mais demeure plus important pour le scénario Bandes Séparatrices. Le revenu moyen au m^3 est de 50.70$ et 50.60$ pour les scénarios Bandes Séparatrices et Mosaïque respectivement.

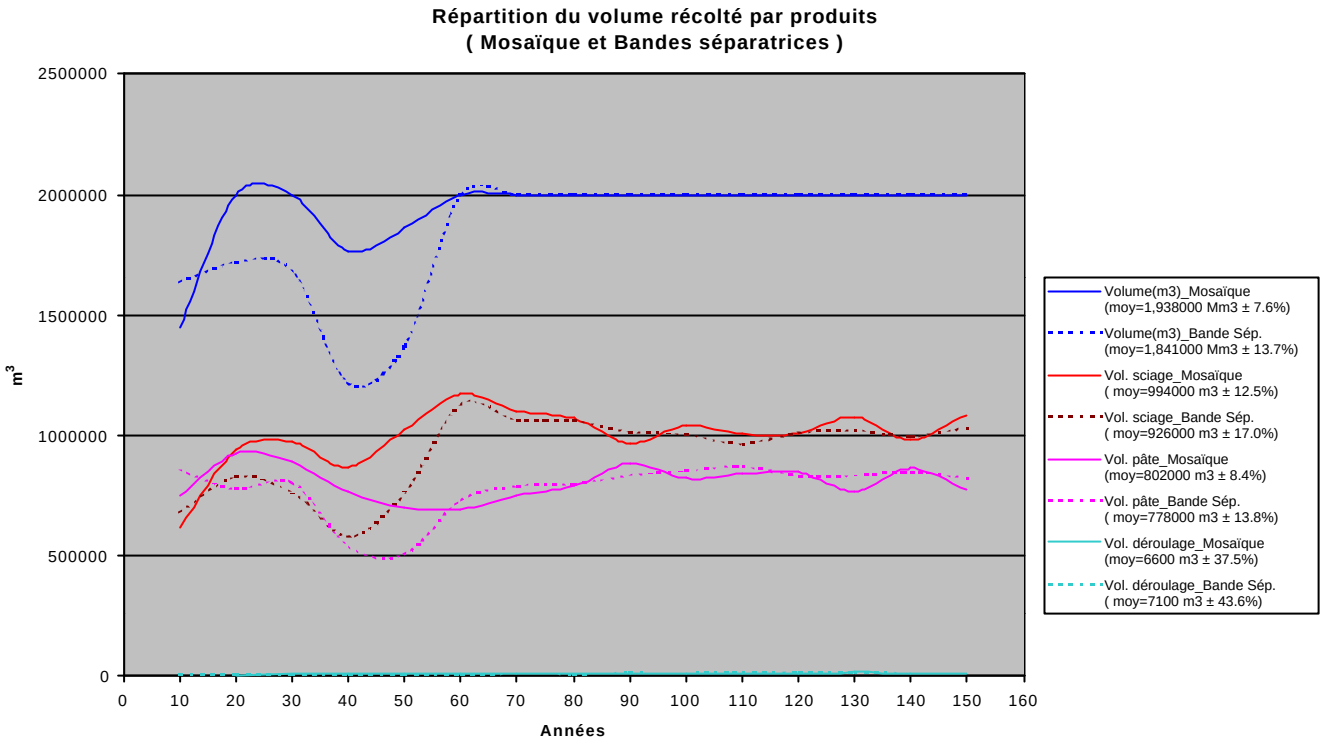


Figure 22. Répartition des volumes récoltés par produits pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaï que sur un horizon de 150 ans

6.1.2 Les coûts

La majorité des coûts reviennent légèrement plus chers (0.16$) par m^3 pour le scénario Mosaïque lorsqu'on considère l'horizon d'évaluation dans son ensemble (Tableau 6). Durant cette période, la productivité de récolte pour les deux scénarios est similaire (200 m^3/ha coupés). Les coûts de maintien du réseau routier ne sont pas très différents entre les deux scénarios (seulement 0.08$/ m^3). Cependant, lorsqu'on considère la période débutant à la soixantième année (2056-2146), cette différence s'accentue; le coût total du m^3 de bois est plus cher (de 0.54$) pour le scénario Mosaïque, et ce malgré une productivité de récolte plus élevée de 5.26 m^3/ha coupés (Tableau 6). Cette différence semble s'expliquer par des coûts de maintien du réseau routier plus importants (+0.16$/$m^3$) et des frais de récolte plus importants (+0.29$/$m^3$).

Tableau 6. Coûts totaux et coûts répartis par m^3

	Bandes séparatrices Total/10 ans	Mosaïque Total/10 ans	Bandes séparatrices par m^3	Mosaïque par m^3
Sur l'ensemble de l'horizon				
Volume récolté (m^3)	1.84	1.94		
Planification ($)	6.88	7.20	3.75	3.72
Récolte ($)	45.39	48.00	24.66	24.77
Construction et réactivation des chemins ($)	5.02	5.32	2.72	2.73
Entretien ($)	3.25	3.57	1.79	1.86
Total ($)	**60.55**	**64.10**	**32.89**	**33.06**
Productivité (m3/ha coupé)	199.87	200.38		
Superficie coupée (ha/10 ans)	9 210.90	9 671.80		
Sur les 90 dernières années				
Volume récolté (m3)	2.00	2.00		
Planification ($)	7.37	7.45	3.69	3.73
Récolte ($)	49.05	49.64	24.53	24.82
Construction et réactivation des chemins ($)	4.82	4.94	2.41	2.47
Entretien ($)	3.44	3.75	1.72	1.88
Total ($)	**64.68**	**65.78**	**32.35**	**32.89**
Productivité (m^3/ha coupé)	205.27	210.53		
Superficie coupée (ha/10 ans)	9 743.20	9 500.00		

6.1.3 La rentabilité économique

Le scénario Bandes Séparatrices est économiquement plus rentable que le scénario Mosaïque avec une différence de 0.0109 sur le ratio de rentabilité (Tableau 7). Ce ratio varie cependant beaucoup dans le temps (Figure 23). Néanmoins, si on considère la période seulement

où les deux scénario génèrent le même volume de bois (2056-2146), cette différence s'accentue à 0.0265. Ainsi, pour les 200 000 m^3 de bois coupés, cela se traduit par une différence de profit de 5 300$.

Tableau 7. Données de la rentabilité économique

	Bandes séparatrices	Mosaïque
Sur l'ensemble de l'horizon		
Revenus ($/m^3)	50.70	50.60
Coût ($/m^3)	32.92	33.08
Ratio revenus/coûts	1.5415	1.5306
Sur les 90 dernières années		
Revenus ($/m^3)	51.04	51.02
Coût ($/m^3)	32.35	32.89
Ratio revenus/coûts	1.5777	1.5512

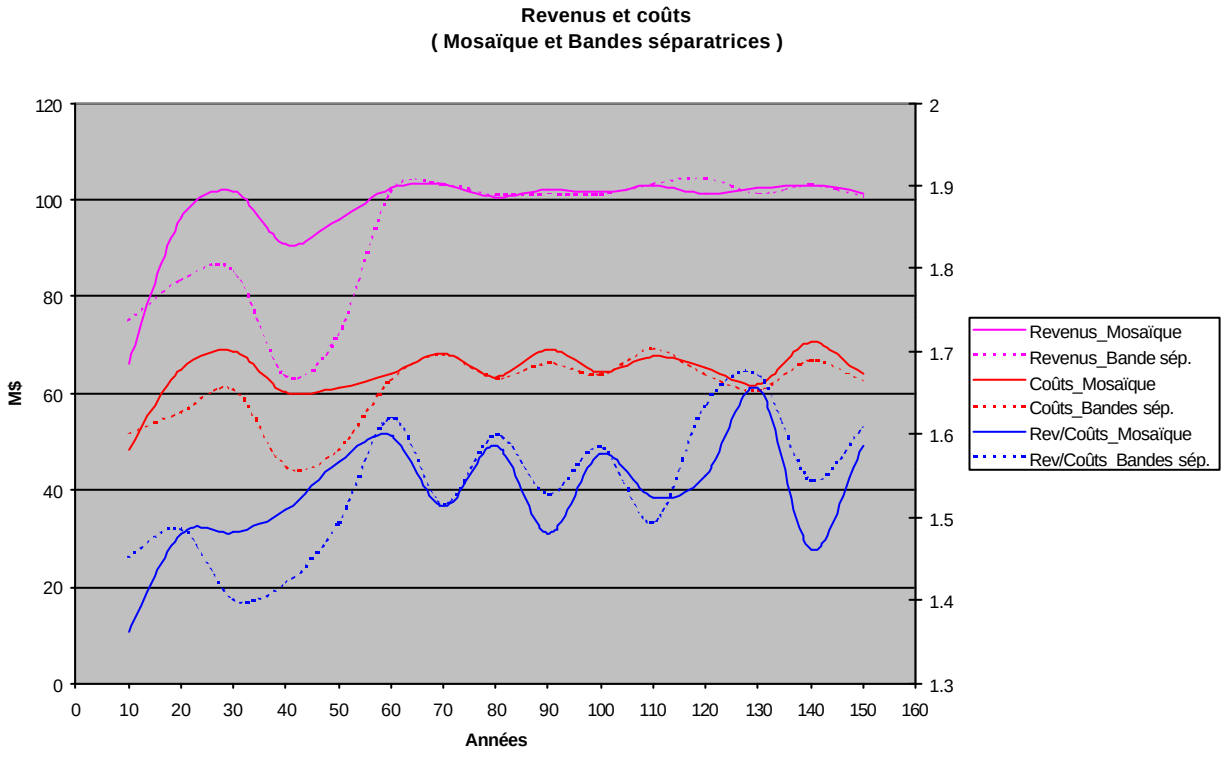


Figure 23. Ratio revenus/coûts

6.2 Indicateurs de biodiversité

6.2.1 Les stades de développement

Au début de l'horizon, on assiste à une augmentation de la quantité de vieilles forêts et de gaulis, pour les deux scénarios (Figure 24, Figure 25). Les classes d'âge deviennent donc plus équilibrées avec la progression de la simulation.

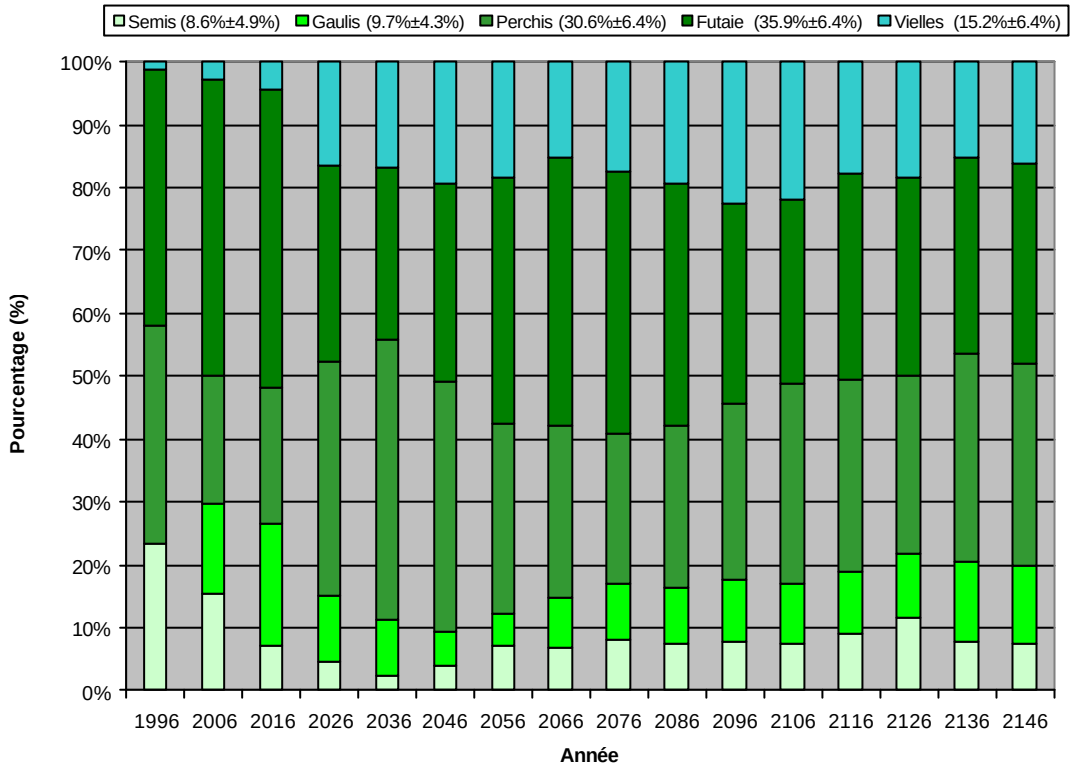


Figure 24. Répartition des stades de développement sur l'horizon de 150 pour le scénario Bandes Séparatrices

En moyenne, tout au long de l'horizon, on retrouve légèrement plus de forêts vieilles dans le scénario Bandes Séparatrices que dans le scénario Mosaïque alors que l'inverse s'observe pour tous les autres stades. Cependant, ces différences ne sont pas significatives. La Figure 27 et la Figure 28 donnent des exemples de la distribution des stades de développement pour l'année 2096 pour les scénarios Bandes Séparatrices et Mosaïque respectivement.

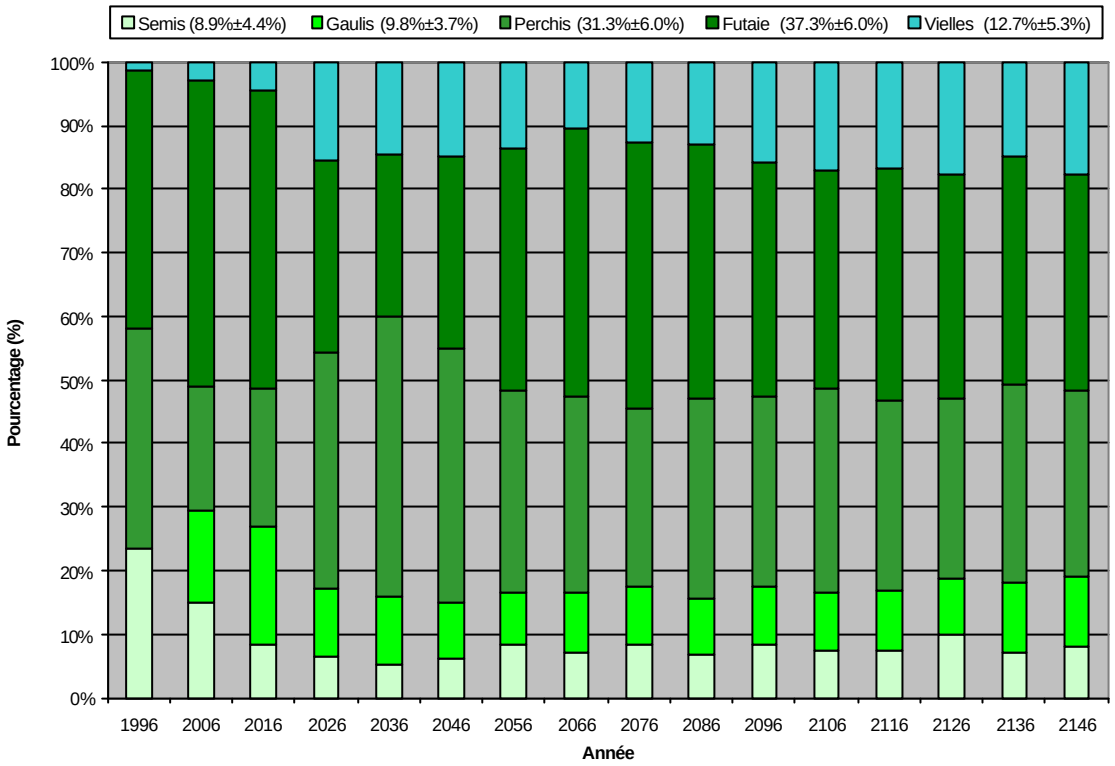


Figure 25. Répartition des stades de développement sur l'horizon de 150 ans pour le scénario Mosaïque

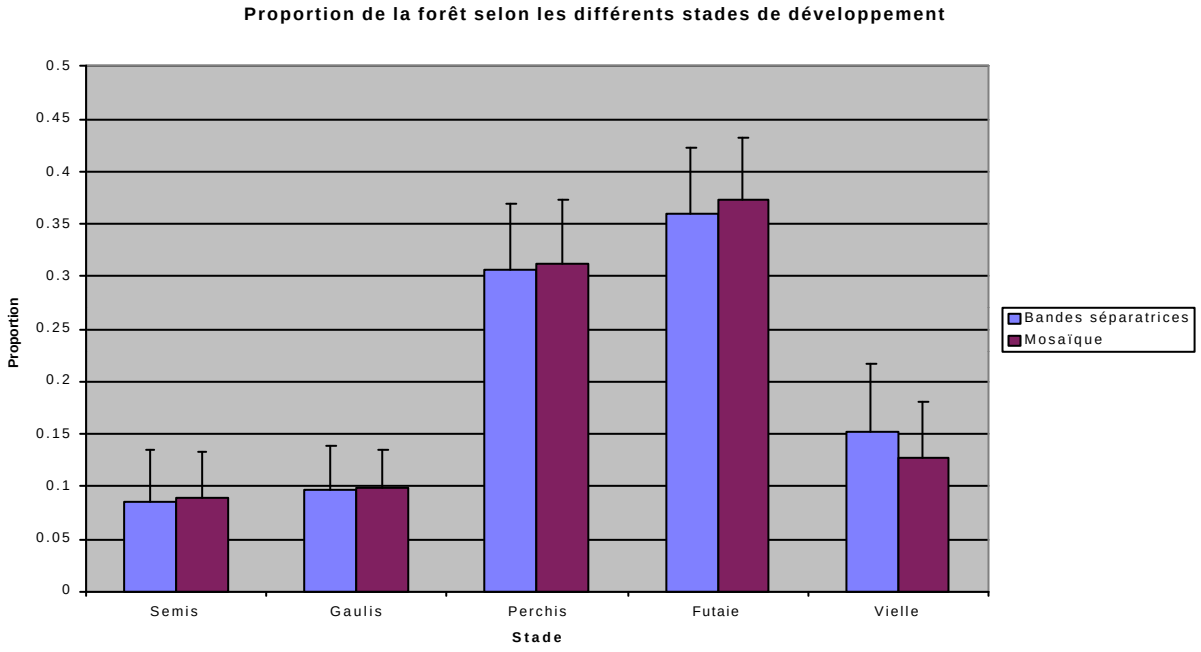


Figure 267. Répartition moyenne des stades de développement dans les deux scénarios comparés

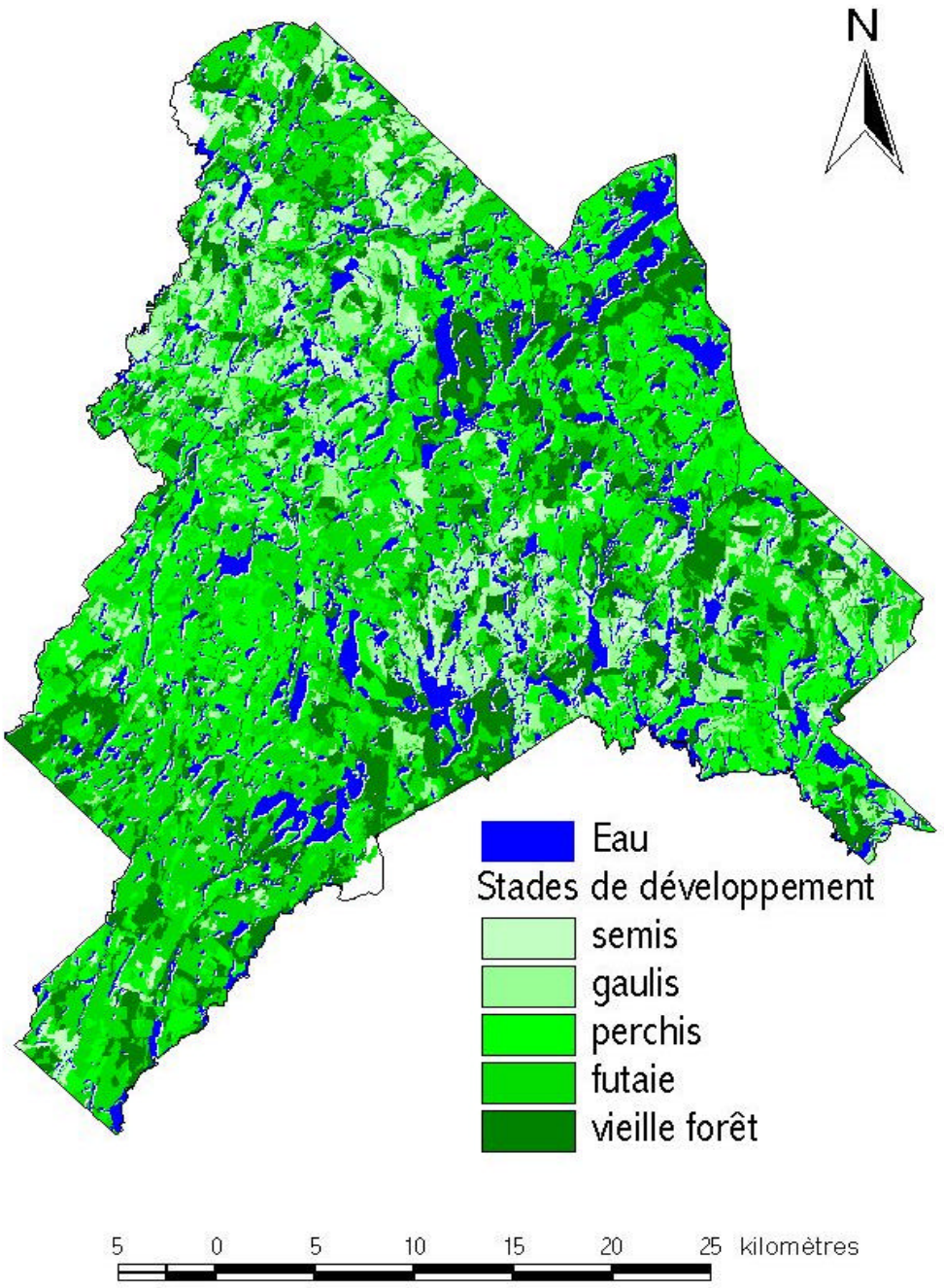


Figure 27. Carte de la répartition des stades de développement à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices

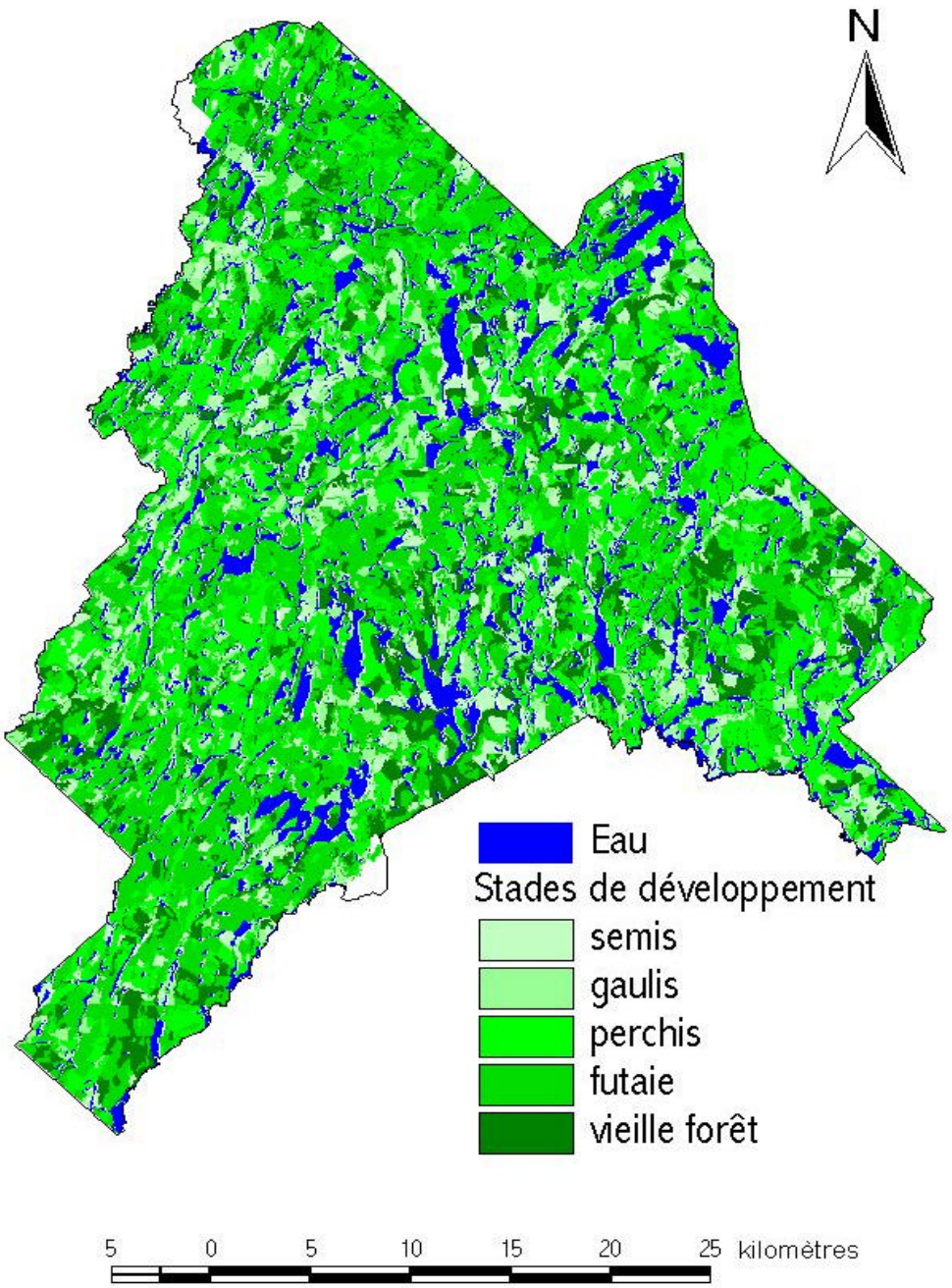


Figure 28. Carte de la répartition des stades de développement à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque

6.2.2 Les tailles des coupes

La taille des coupes est un facteur prépondérant qui différencie les règles de simulation entre les deux scénarios comparés. Bien entendu, les coupes sont plus grandes dans le scénario Bandes Séparatrices. En fait, avec ce scénario, 55% de la superficie occupée par des coupes sont d'une superficie supérieure à 50 ha alors que cette proportion est seulement de 35% pour le scénario Mosaïque. Cette différence se reflète aussi dans la superficie moyenne des coupes et la variation de cette superficie entre les deux scénarios (Bandes Séparatrices : 12.2 ha ± 29.4 ha , Mosaïque :11.1 ha ± 21.5 ha).

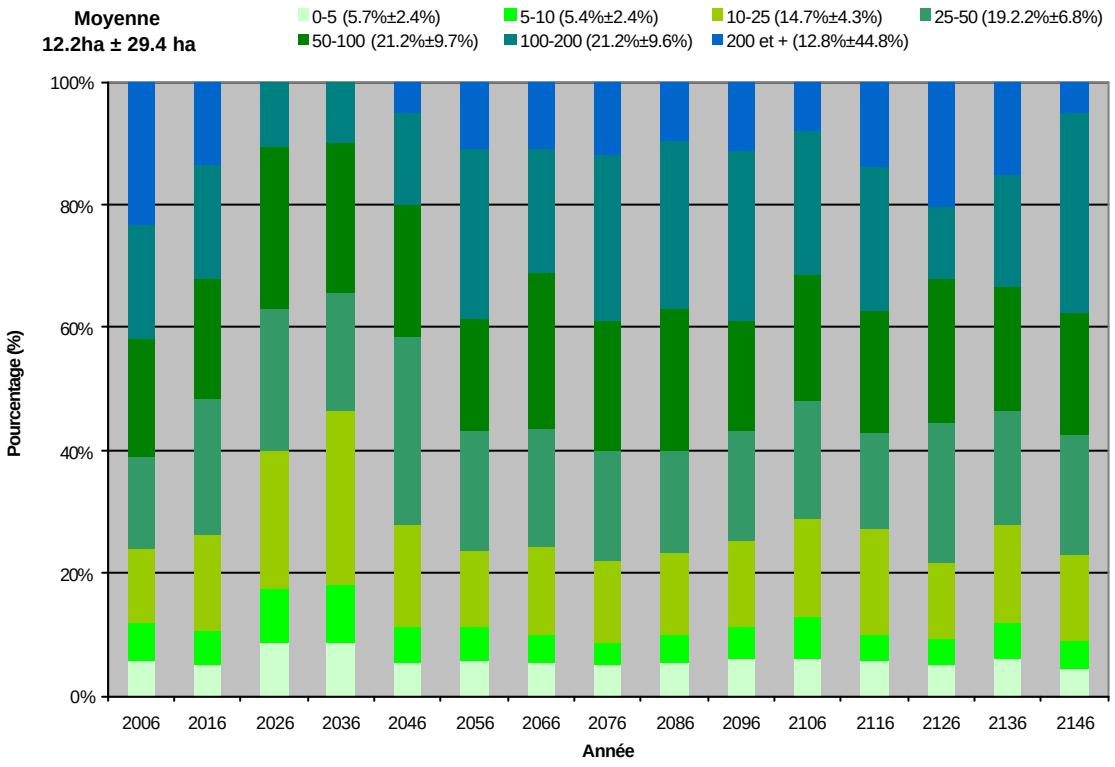


Figure 29. Proportion de la superficie coupée par classes de tailles (ha) de coupes et par période de 10 ans sur un horizon de 150 ans pour le scénario Bandes Séparatrices

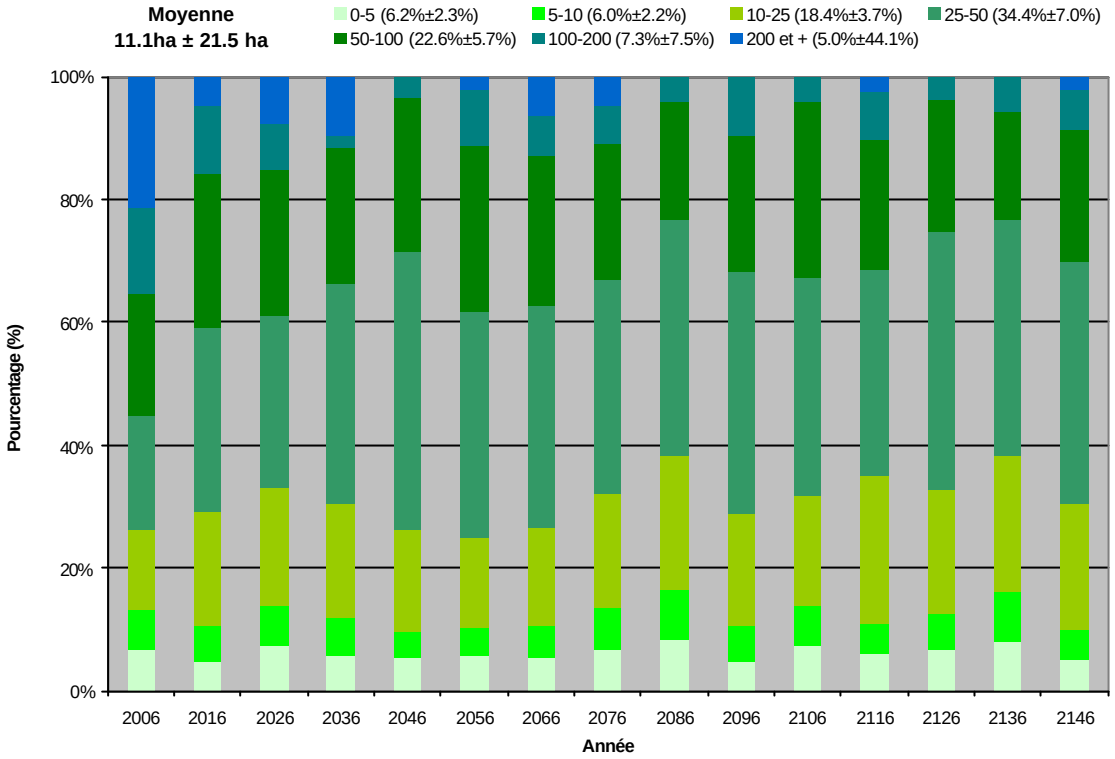


Figure 30. Proportion de la superficie coupée par des classes de tailles (ha) des coupes par période sur un horizon de 150 ans pour le scénario Mosaï que

La carte de la Figure 31 et celle de la Figure 32 montrent bien la différence entre les tailles des coupes entre les 2 scénarios comparés.

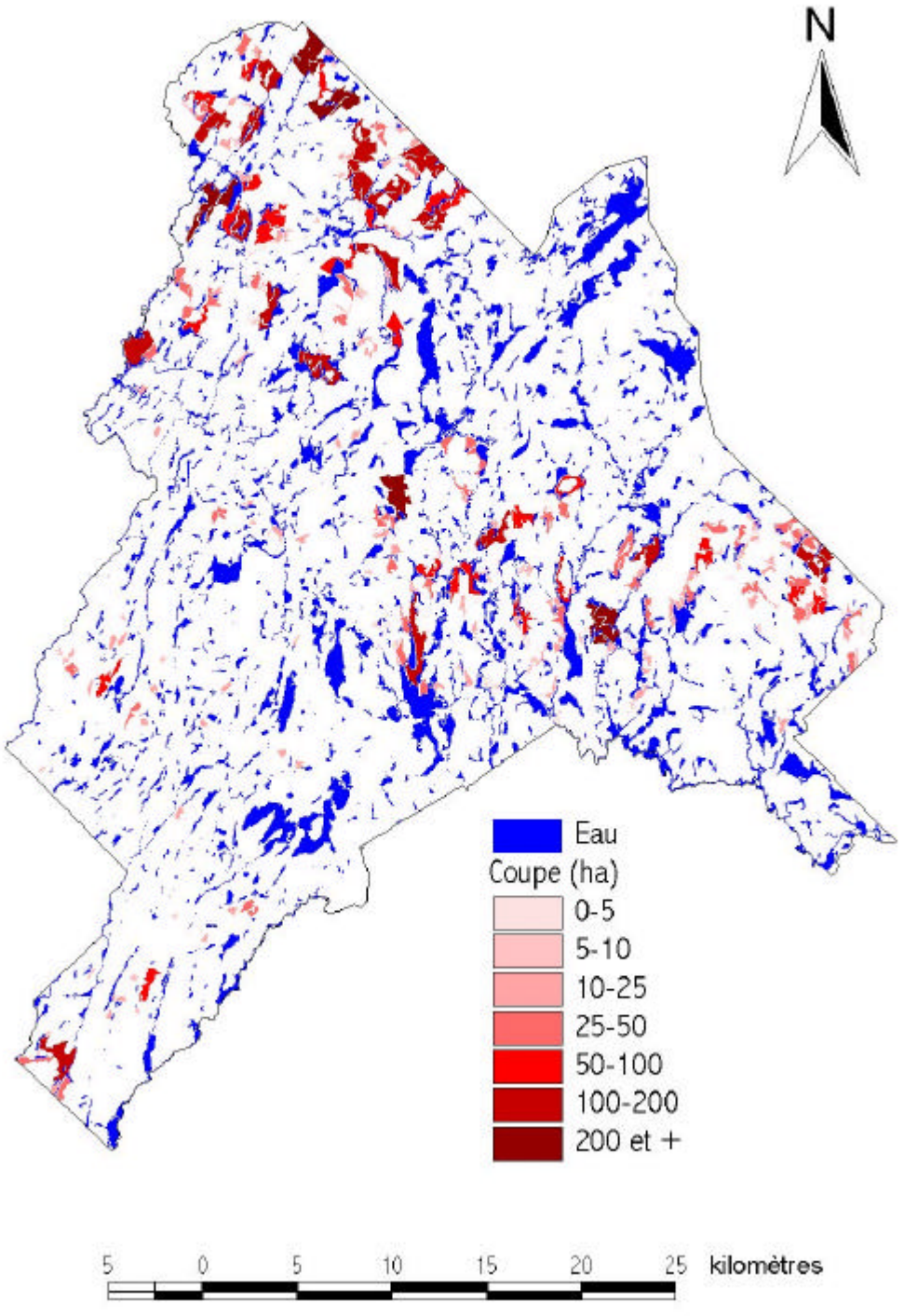


Figure 31. Carte de la répartition des coupes à l'année 2096 selon leur classe de tailles pour le scénario Bandes Séparatrices

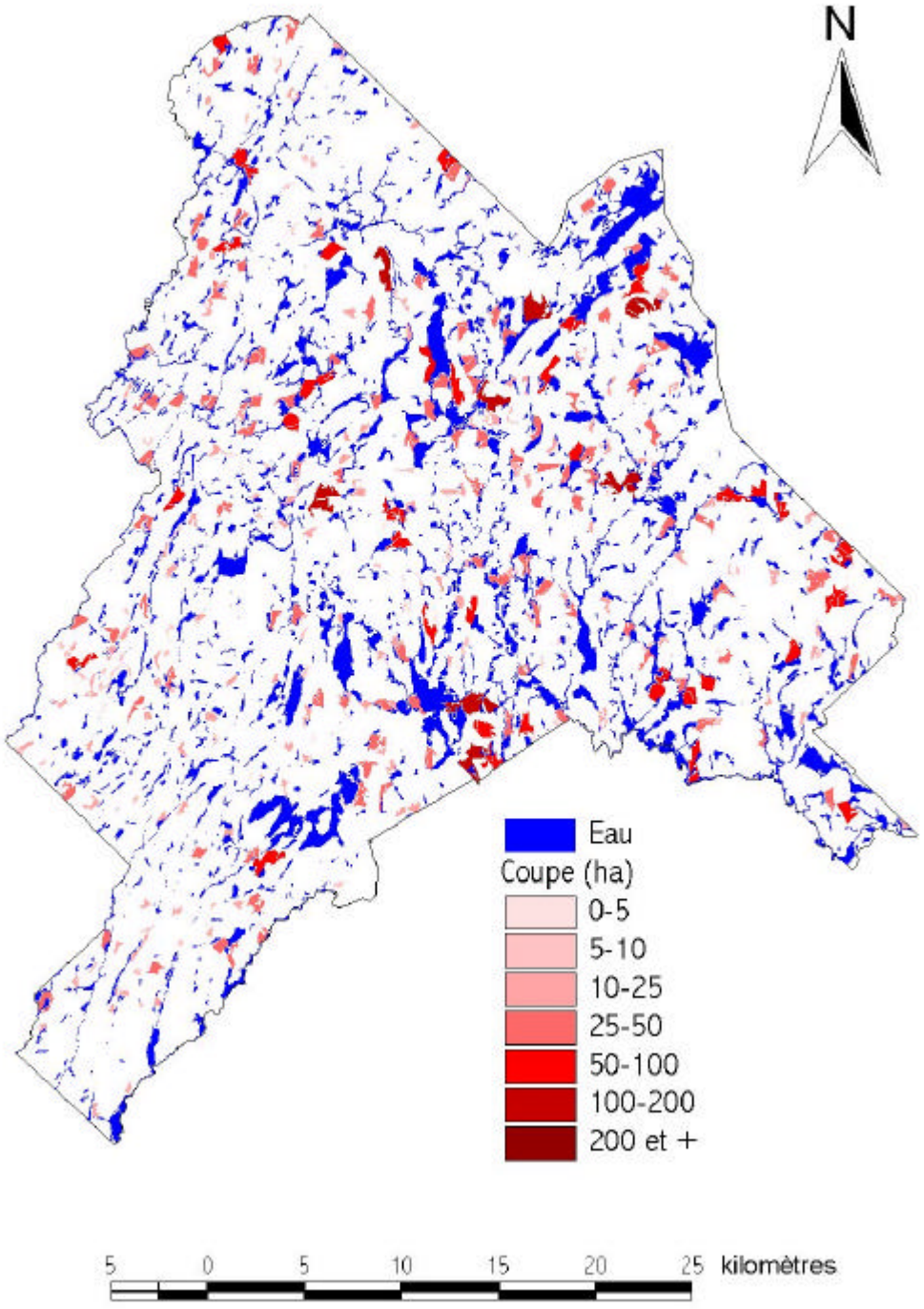


Figure 32. Carte de la répartition des coupes à l'année 2096 selon leur classe de tailles pour le scénario Mosaïque

6.2.3 La forêt profonde

En moyenne sur l'ensemble des périodes, le pourcentage de forêts matures et vieilles en condition de forêts profondes est légèrement supérieur pour le scénario Bandes Séparatrices (64%) que le scénario Mosaïque (62%). Pour le scénario Bandes Séparatrices, la superficie moyenne des massifs de forêts profondes est de 25.1 ha (± 168.7 ha) alors qu'elle est plutôt réduite pour le scénario Mosaïque 18.6 ha (± 113.2 ha). Cela se traduit dans les proportions de superficie de ces massifs par classes de tailles (Figure 33, Figure 34). En effet, on observe que 60.6% de la forêt profonde dans le scénario Bandes Séparatrices est constituée de massif de 200 ha et plus alors que cette proportion est de 53.5% pour le scénario Bandes Séparatrices.

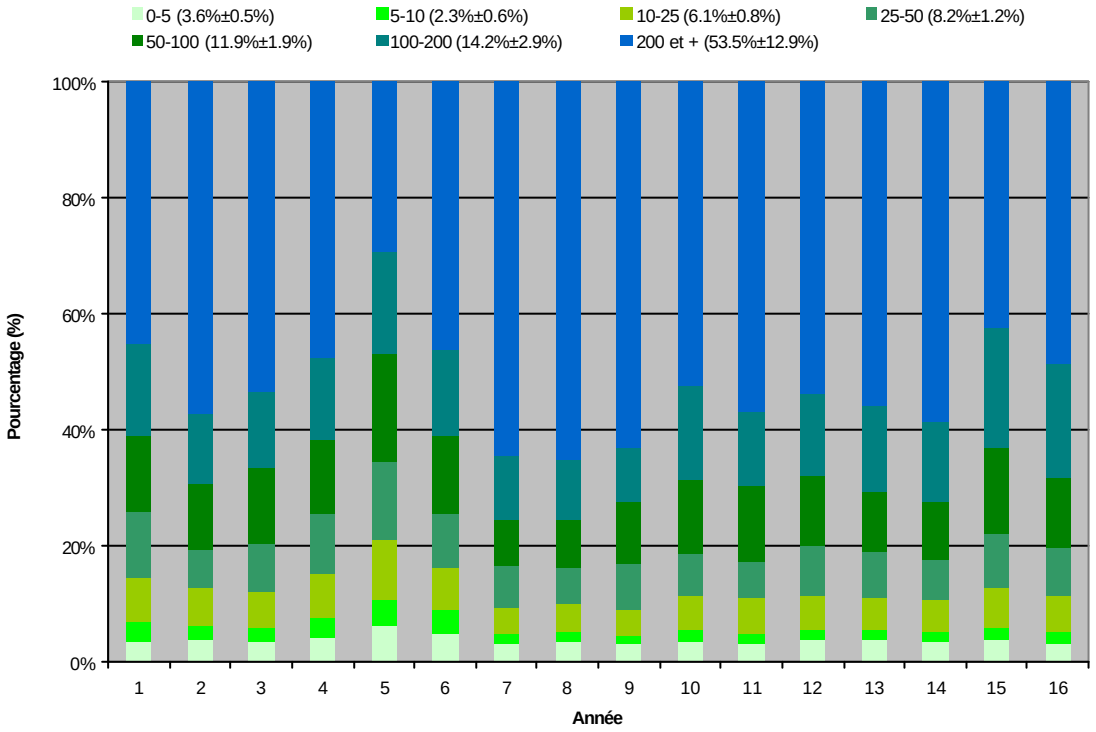


Figure 33. Proportion de la superficie occupée par des massifs de forêts profondes par classes de tailles (ha) par période dix ans sur un horizon de 150 ans pour le scénario Bandes Séparatrices

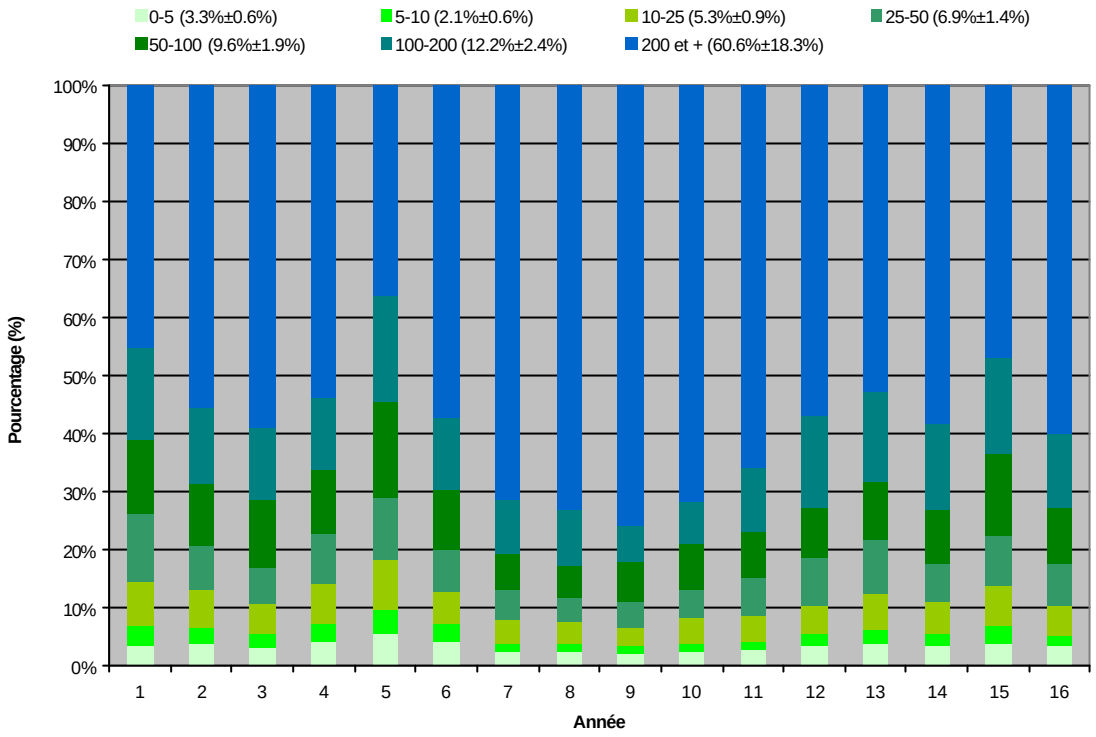


Figure 34. Proportion de la superficie occupée par des massifs de forêts profondes par classes de tailles (ha) par période de dix ans sur un horizon de 150 ans pour le scénario Mosaïque

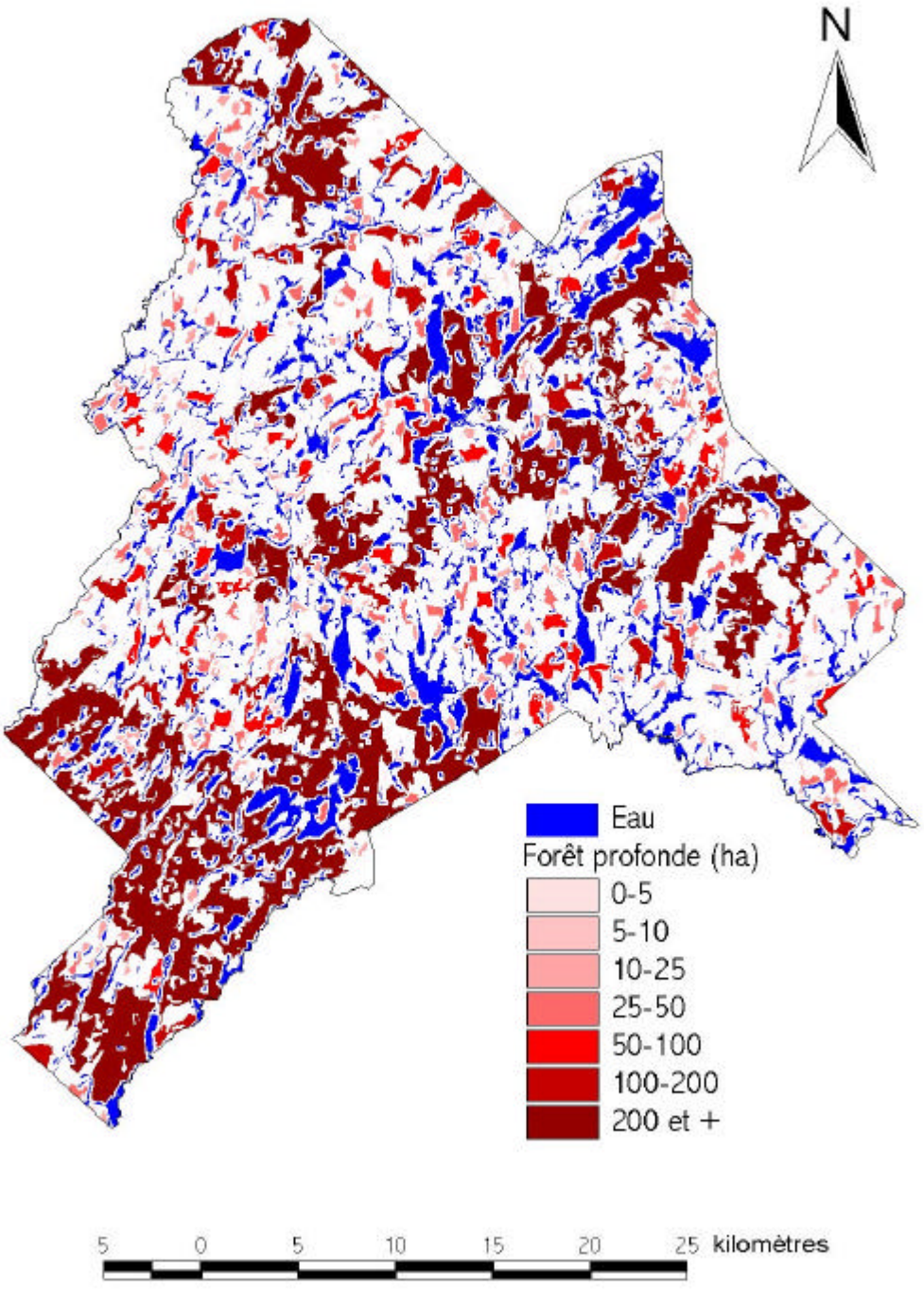


Figure 35. Carte de la répartition des massifs de forêts profondes à l'année 2096 selon leur classe de tailles pour le scénario Bandes Séparatrices

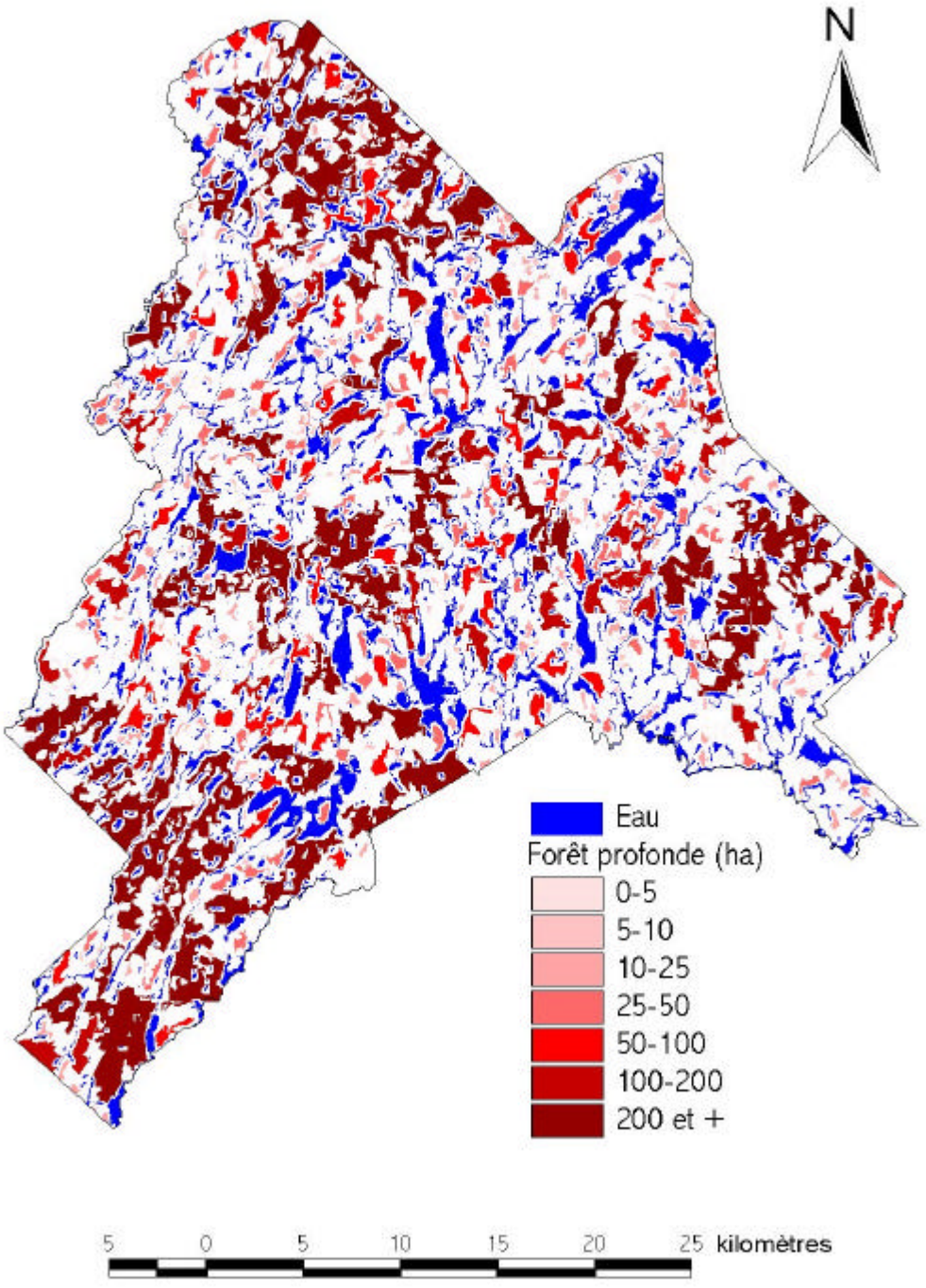


Figure 36. Carte de la répartition des massifs de forêts profondes à l'année 2096 selon leur classe de tailles pour le scénario Mosaïque

6.2.4 Le moucherolle tchébec

L'indice de qualité de l'habitat du moucherolle tchébec est en moyenne supérieur au début de la simulation pour le scénario Bandes Séparatrices mais devient moins bon que le scénario Mosaïque à la fin de la simulation (Figure 37). En moyenne, l'IQH moyen est de 0.541 pour le scénario Bandes Séparatrices et de 0.540 pour le scénario Mosaïque. La répartition par classes de valeur d'IQH est similaire entre les deux scénarios . La Figure 39 et la Figure 40 montrent la carte des valeurs d'IQH pour les deux scénarios à l'année 2096.

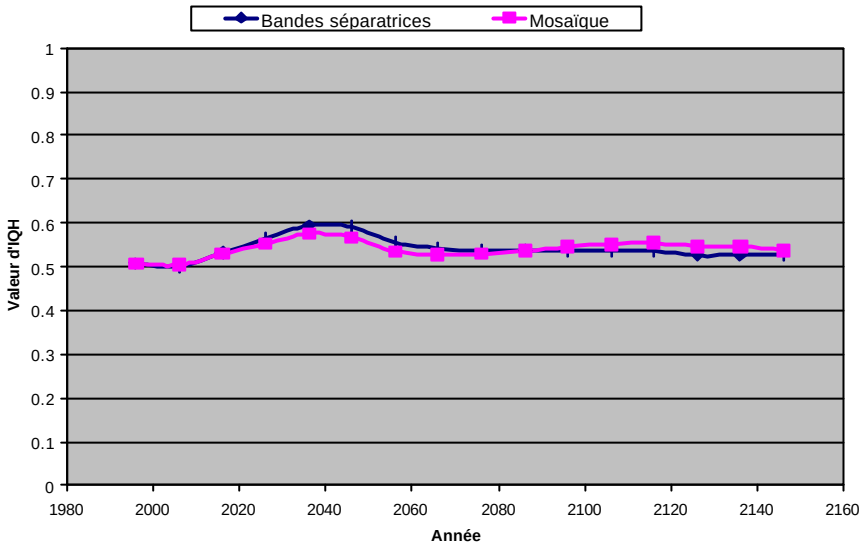


Figure 37. Valeur moyenne d'IQH pour le moucherolle tchébec tout au long de l'horizon de simulation pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque

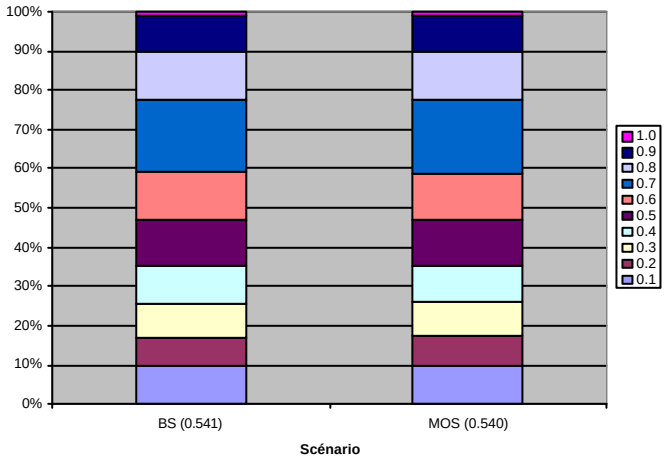


Figure 38. Moyenne des pourcentages du territoire selon les classes de valeur d'IQH du moucherolle tchébec pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque

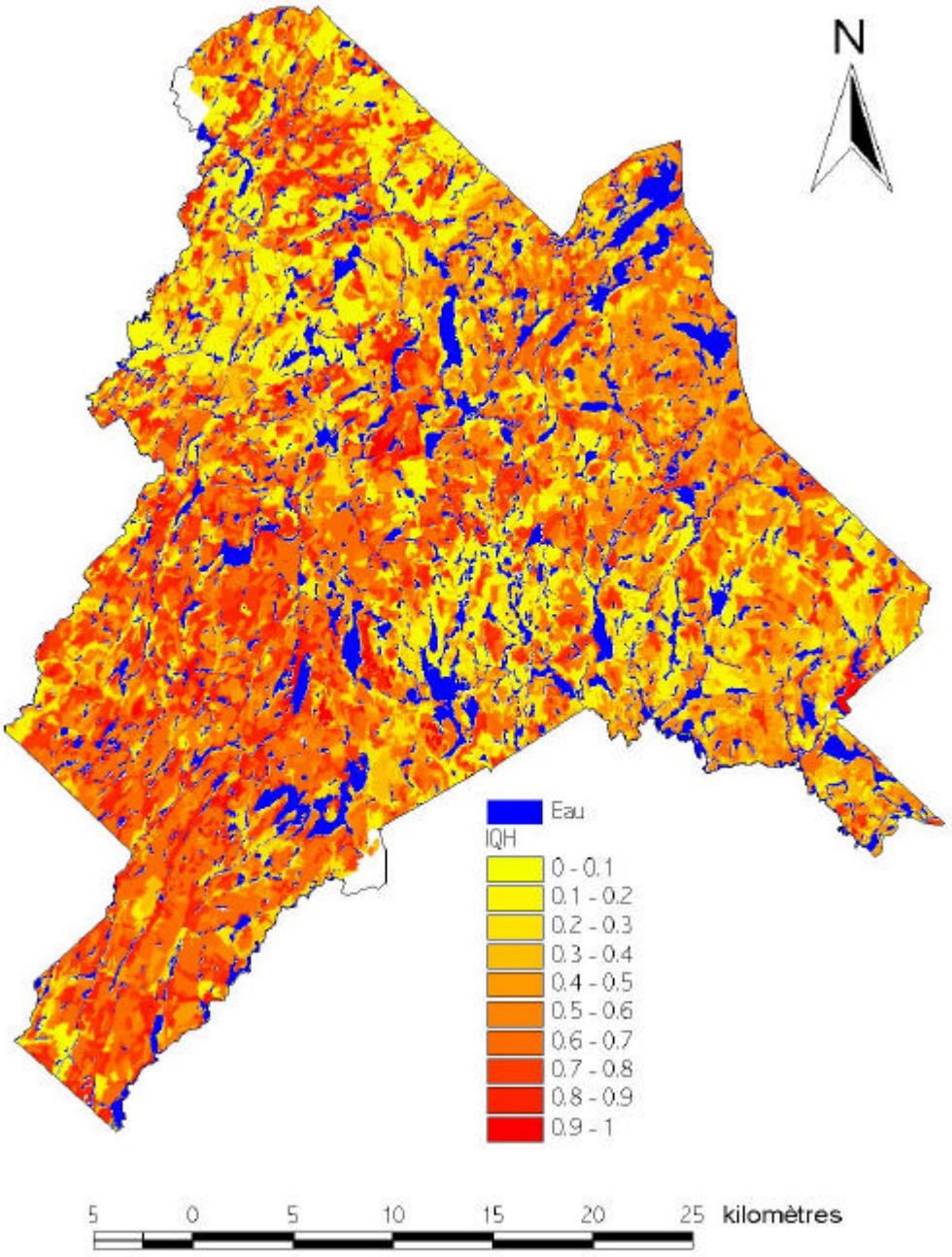


Figure 39. Carte des valeurs d'IQH du moucherolle tchébec à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices

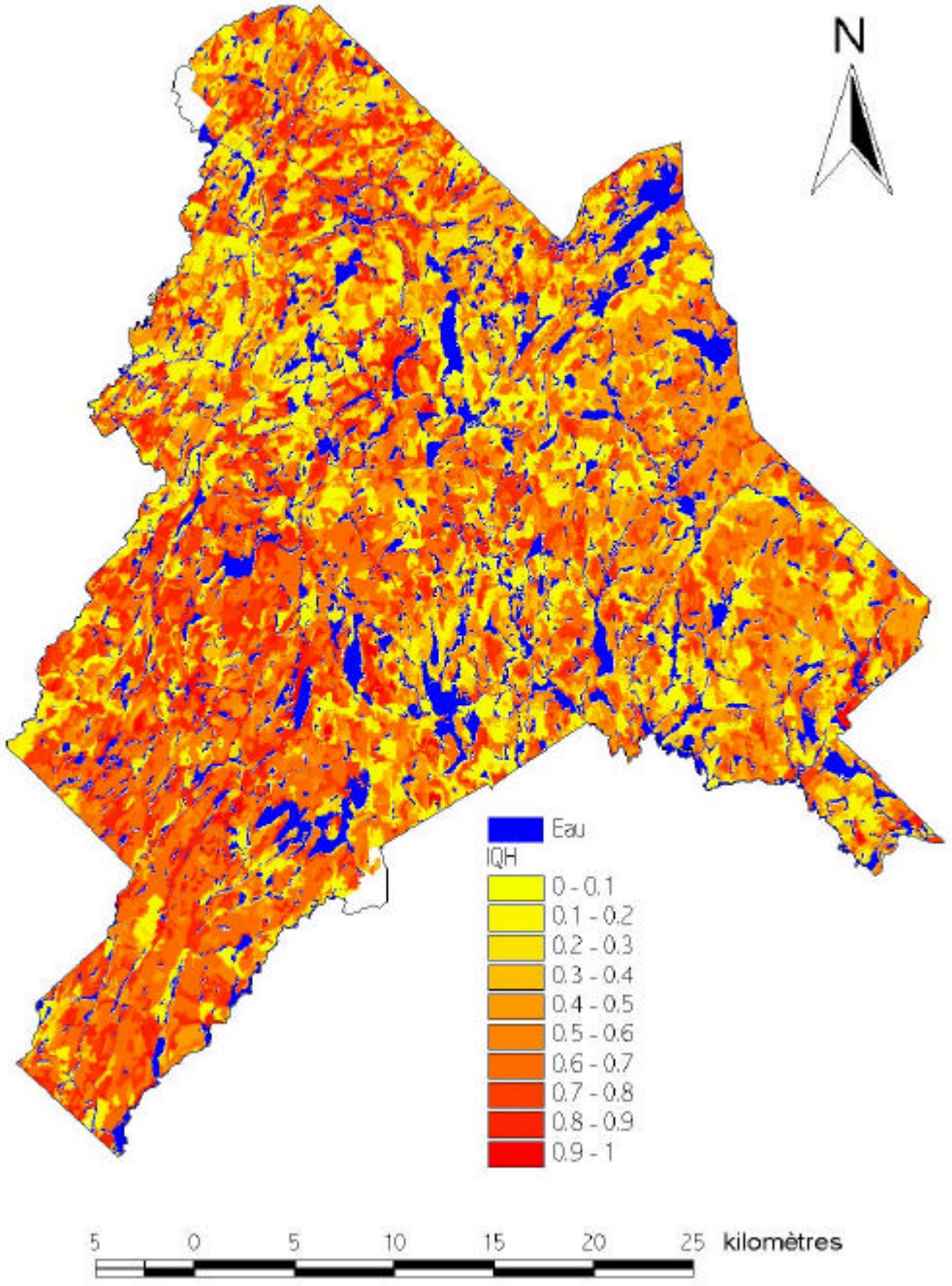


Figure 40. Carte des valeurs d'IQH du moucherolle tchébec à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque

6.2.5 La paruline verte à gorge noire

L'indice de qualité de l'habitat de la paruline verte à gorge noire est en moyenne supérieur au début de la simulation pour le scénario Bandes Séparatrices mais devient moins bon que le scénario Mosaïque à la fin de la simulation (Figure 41). En moyenne, l'IQH moyen est de 0.455 pour le scénario Bandes Séparatrices et de 0.452 pour le scénario Mosaïque. La répartition par classes de valeur d'IQH est similaire entre les deux scénarios (Figure 42). La Figure 43 et la Figure 44 montrent la carte des valeurs d'IQH pour les deux scénarios à l'année 2096.

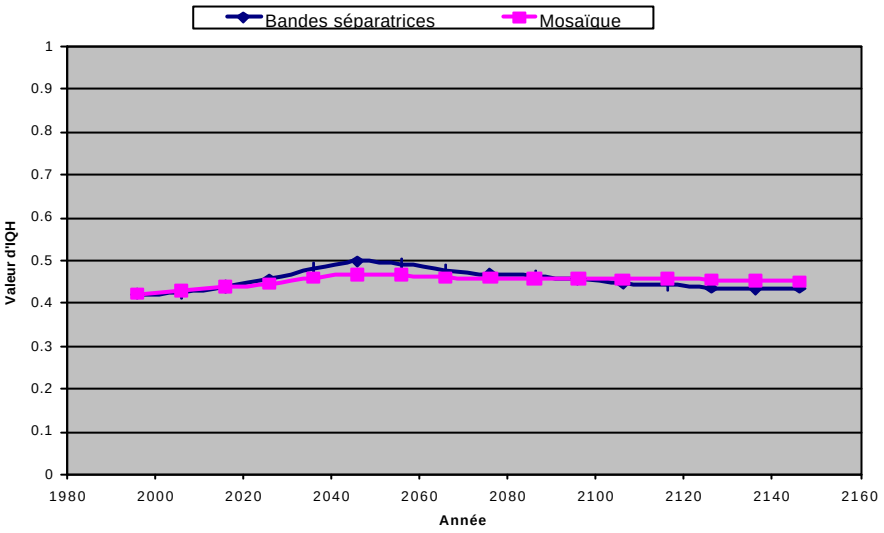


Figure 41. Valeur moyenne d'IQH pour la paruline verte à gorge noire tout au long de l'horizon de simulation pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque

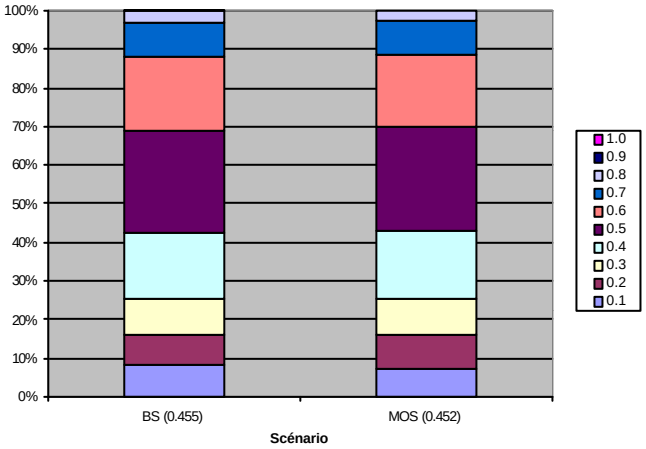


Figure 42. Moyenne des pourcentages du territoire selon les classes de valeur d'IQH de la paruline verte à gorge noire pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque

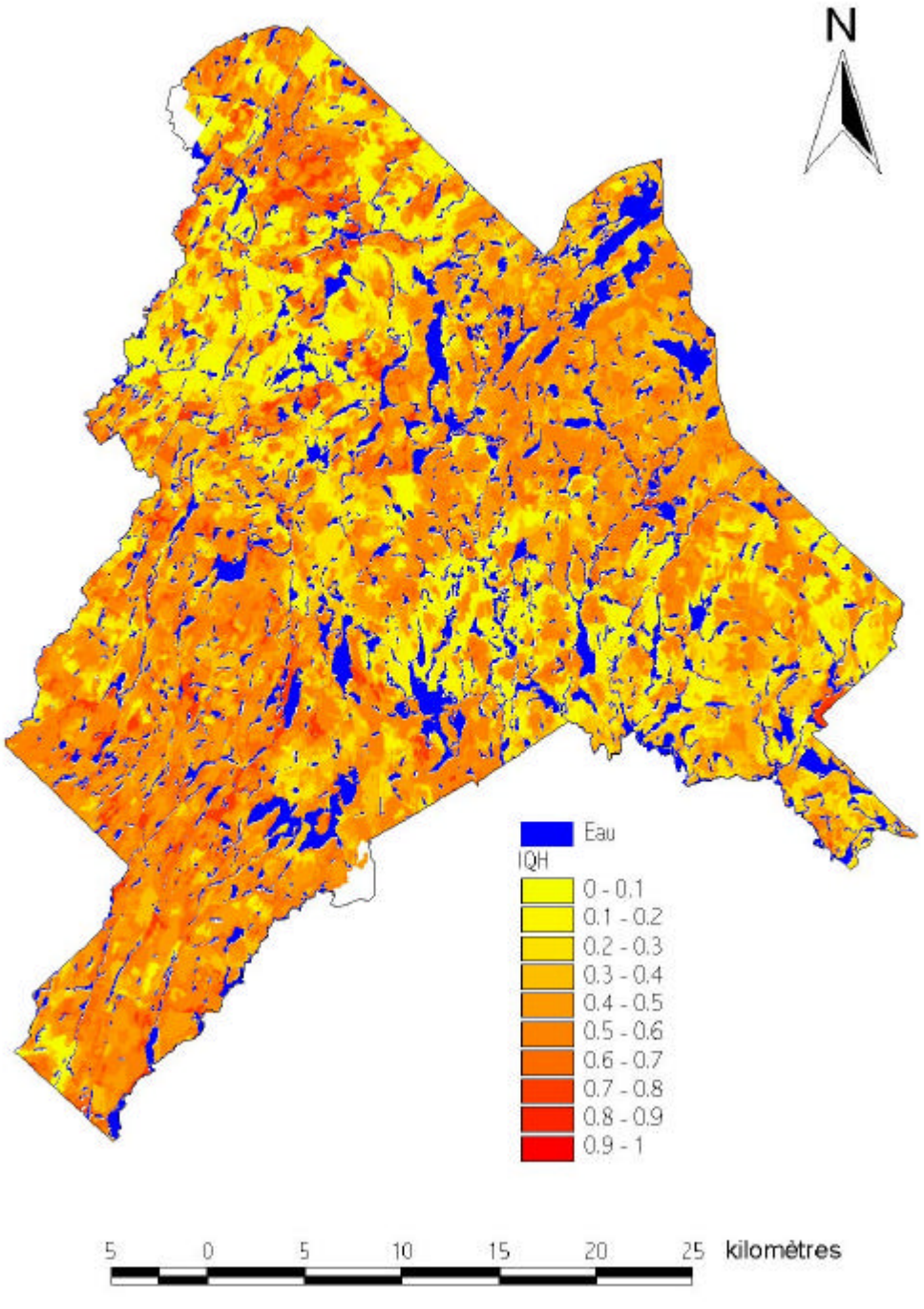


Figure 43. Carte des valeurs d'IQH de la paruline verte à gorge noire à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices

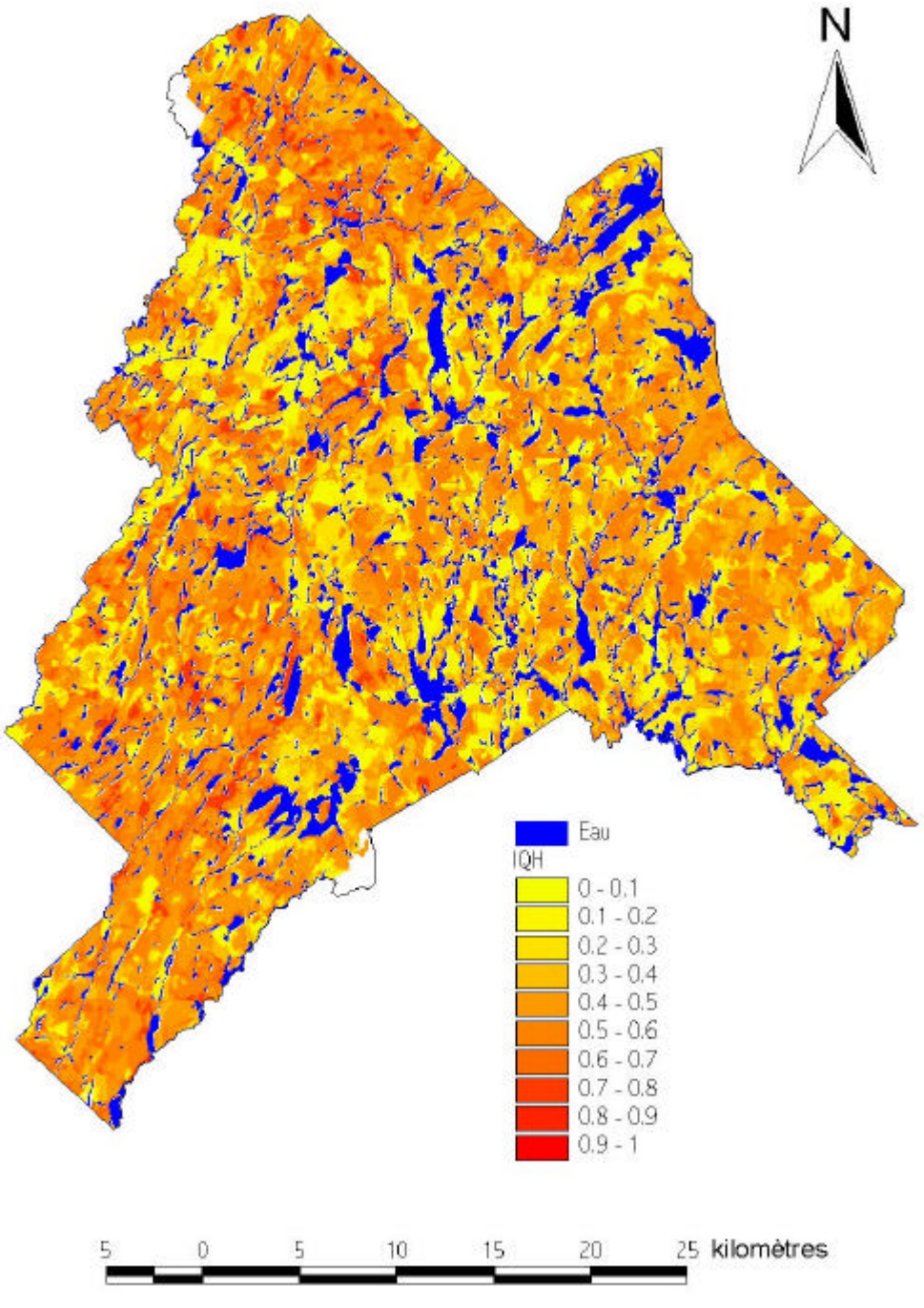


Figure 44. Carte des valeurs d'IQH de la paruline verte à gorge noire à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque

6.2.6 Le lièvre d'Amérique

L'indice de qualité de l'habitat du lièvre d'Amérique est en moyenne supérieur pour le scénario Mosaïque que le scénario Bandes Séparatrices (Figure 45). En moyenne, l'IQH moyen est de 0.432 pour le scénario Bandes Séparatrices et de 0.438 pour le scénario Mosaïque. La répartition par classes de valeur d'IQH est similaire entre les deux scénarios (Figure 46). La Figure 47 et la Figure 48 montrent la carte des valeurs d'IQH pour les deux scénarios à l'année 2096.

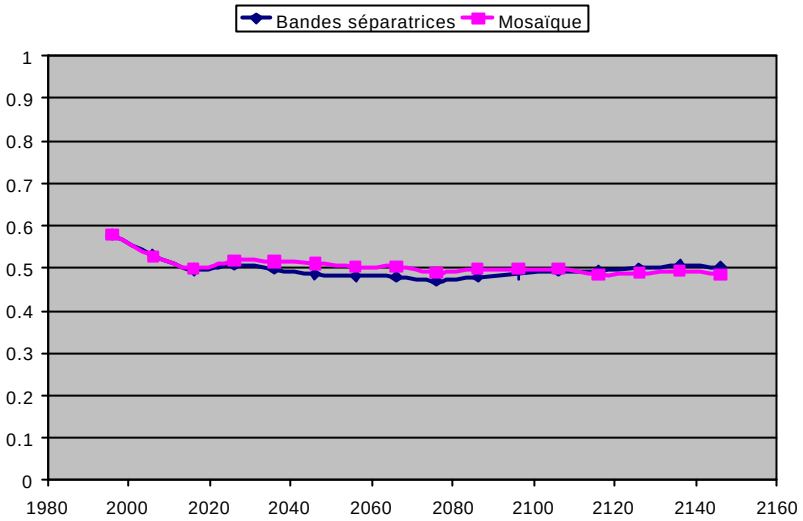


Figure 45. Valeur moyenne d'IQH pour le lièvre d'Amérique tout au long de l'horizon de simulation pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque

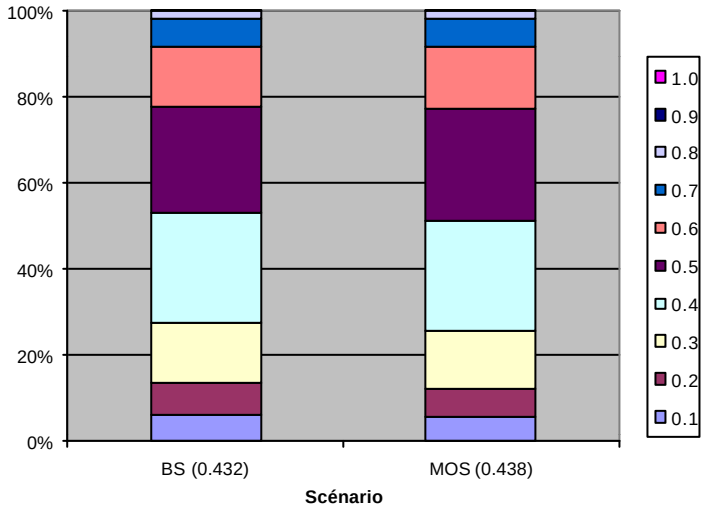


Figure 46. Moyenne des pourcentages du territoire selon les classes de valeur d'IQH de le lièvre d'Amérique pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque

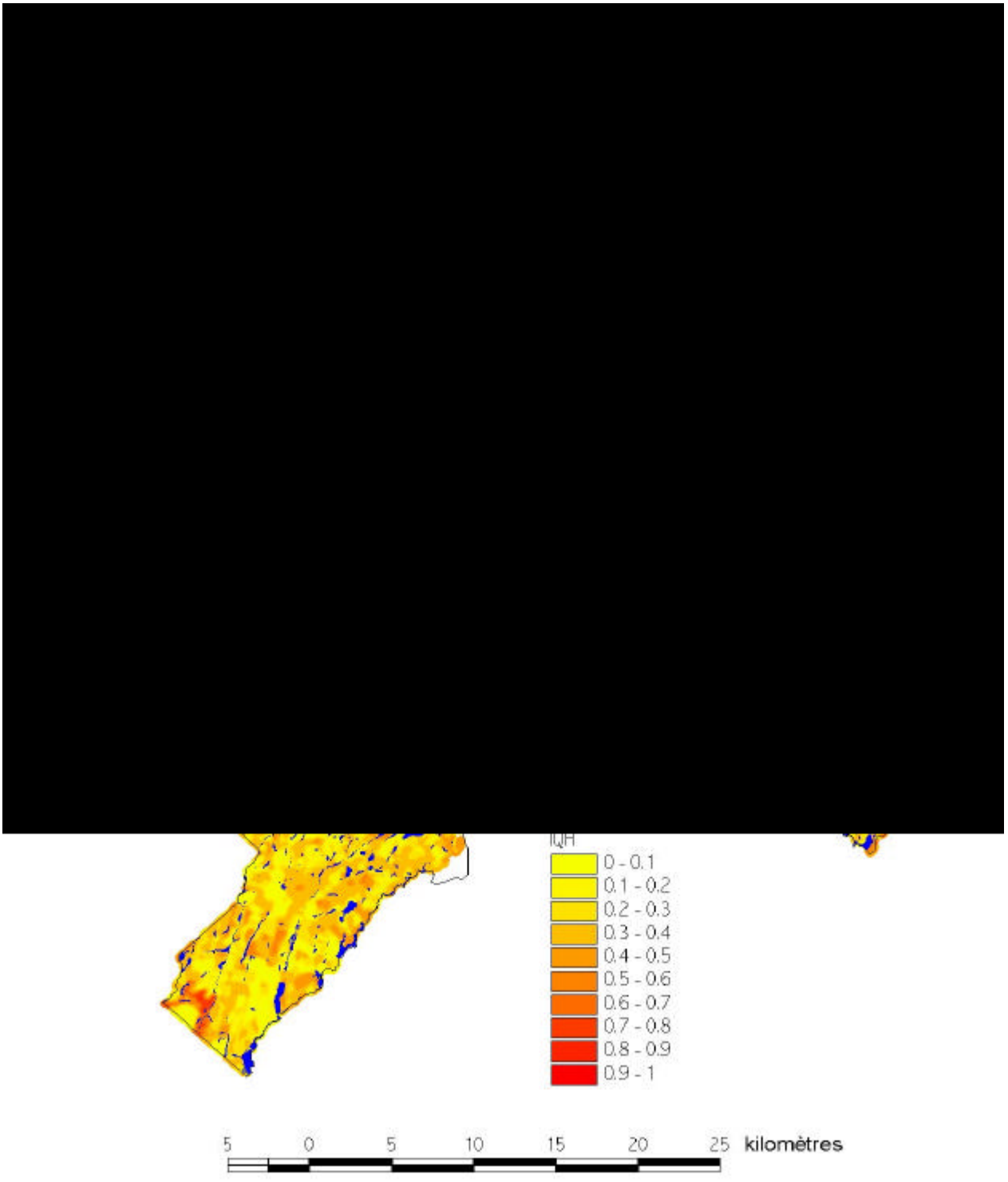


Figure 47. Carte des valeurs d'IQH du lièvre d'Amérique à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices

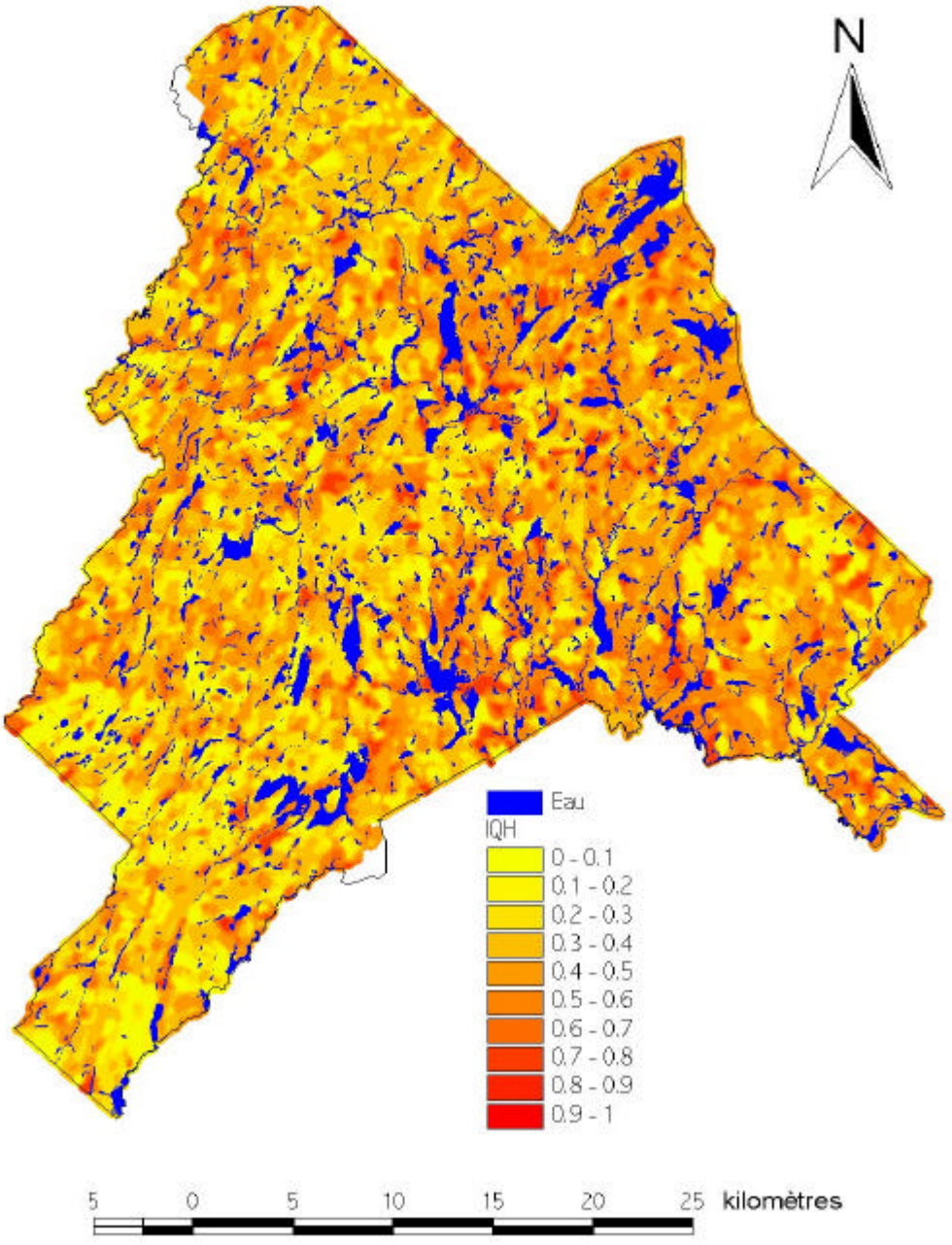


Figure 48. Carte des valeurs d'IQH du lièvre d'Amérique à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque

La martre d'Amérique

L'indice de qualité de l'habitat de la martre d'Amérique est en moyenne supérieur pour le scénario Bandes Séparatrices de 2036 à 2086 alors que le scénario Mosaïque est supérieur à la fin de la simulation (Figure 49). En moyenne, l'IQH moyen est de 0.463 pour le scénario Bandes Séparatrices et de 0.465 pour le scénario Mosaïque. La répartition par classes de valeur d'IQH est cependant différente entre les deux scénarios (Figure 50). En effet, si on met une valeur d'IQH plus grande que 0.5 comme seuil pour définir un habitat de qualité suffisante, le scénario Mosaïque aurait au moins 5% de plus de son territoire en habitat de qualité. Si le seuil devient 0.4, cette différence disparaît (Figure 50). La Figure 51 et la Figure 52 montrent la carte des valeurs d'IQH pour les deux scénarios à l'année 2096.

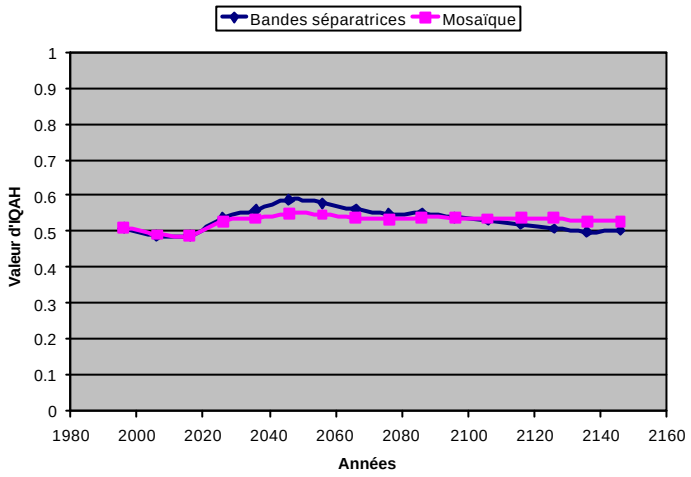


Figure 49. Valeur moyenne d'IQH pour la martre d'Amérique tout au long de l'horizon de simulation pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque

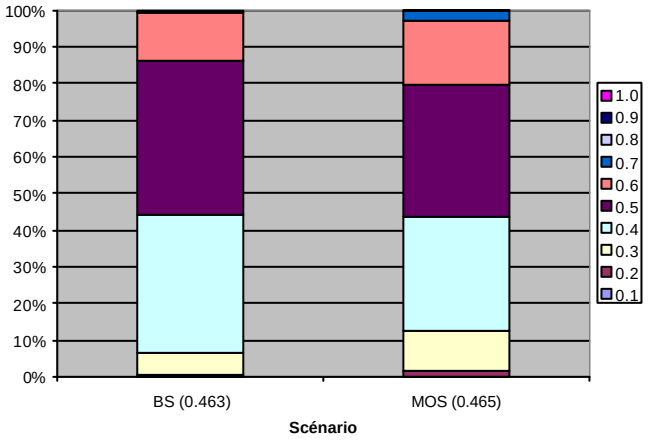


Figure 50. Moyenne des pourcentages du territoire selon les classes de valeur d'IQH de le lièvre d'Amérique pour le scénario Bandes Séparatrices et le scénario Mosaïque

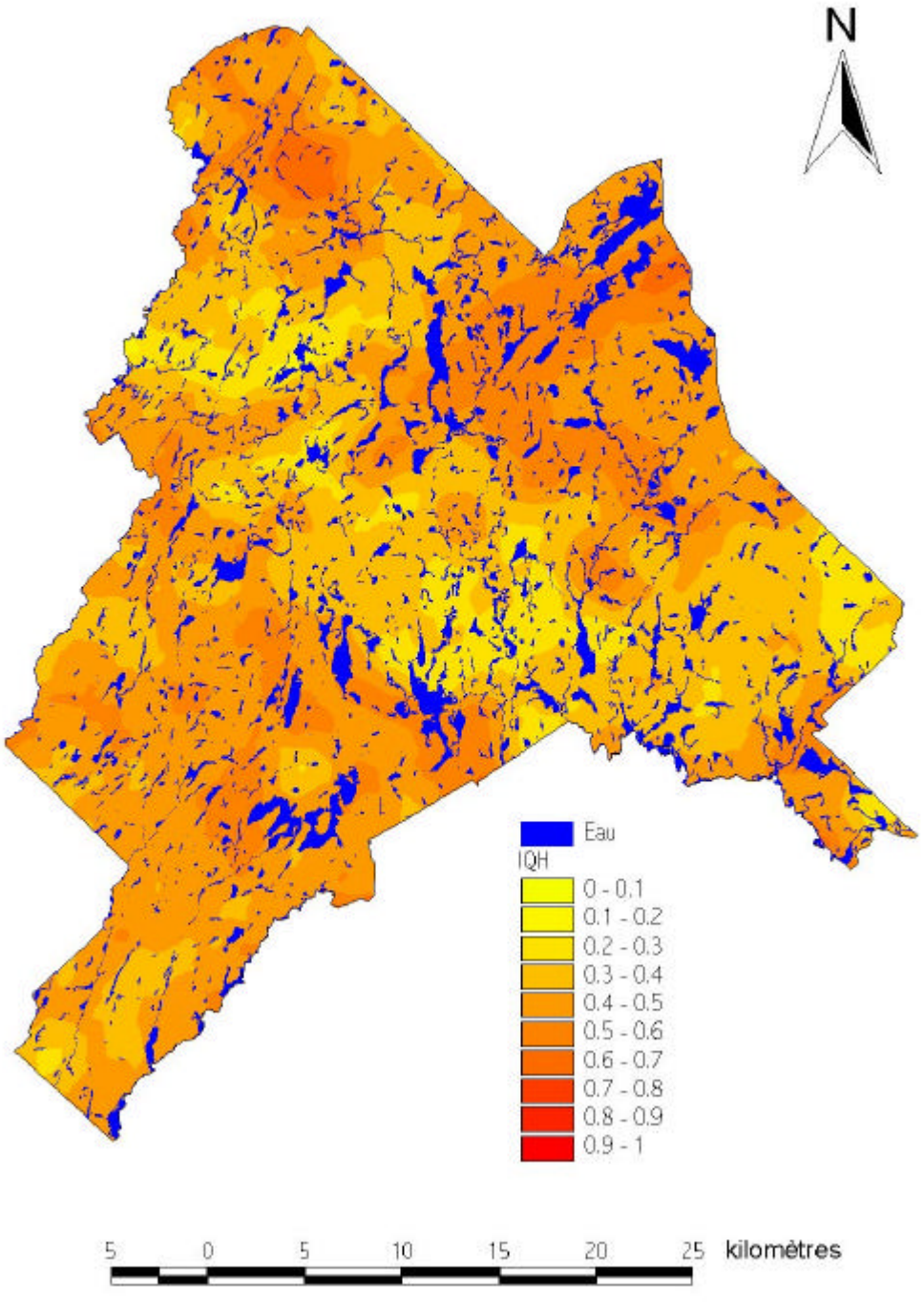


Figure 51. Carte des valeurs d'IQH de la martre d'Amérique à l'année 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices

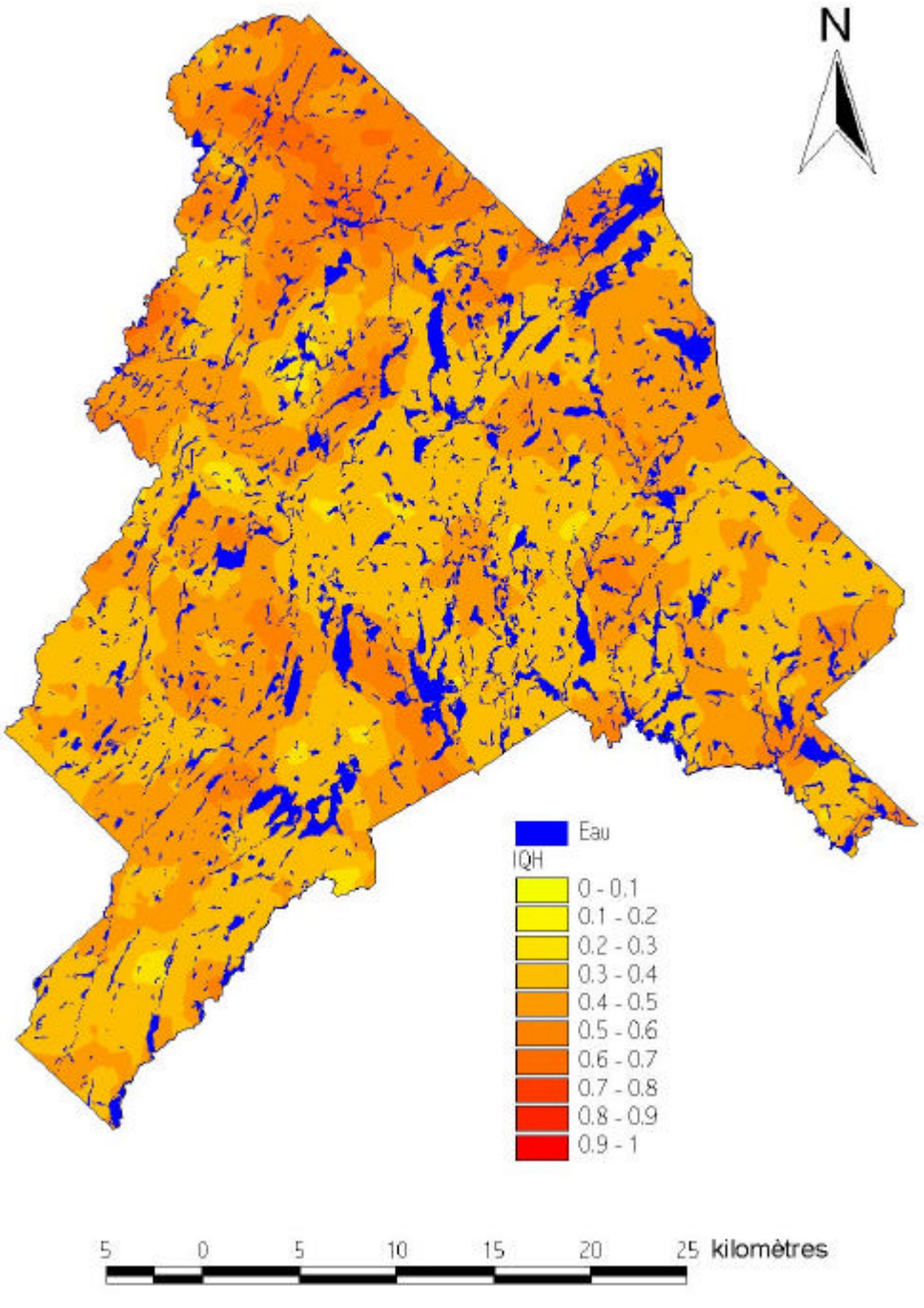


Figure 52. Carte des valeurs d'IQH de la martre d'Amérique à l'année 2096 pour le scénario Mosaïque

6.3 Indicateurs de dérangement sonore

6.3.1 Le dérangement sonore dû aux chantiers de récolte

Le scénario Bandes Séparatrices occasionne moins de dérangement sonore dû aux chantiers de coupe que le scénario Mosaïque. En effet, on obtient une moyenne de 1.125 jour-chantier ±0.955 sur l'ensemble du territoire pour une période de 10 ans pour le scénario Bandes Séparatrices alors que cette moyenne est de 1.282 ±0.877 pour le scénario Mosaïque. L'analyse des superficies par classes de dérangement sonore révèle que sous le scénario Bandes Séparatrices, on trouve un peu plus de 25 000 ha de refuge sonore (0 jours-chantier de dérangement) alors que la moitié (12 700 ha) est un refuge sonore sous le scénario Mosaïque (Figure 53). Cette différence en refuge sonore est facilement observable en comparant la Figure 54 et la Figure 55.

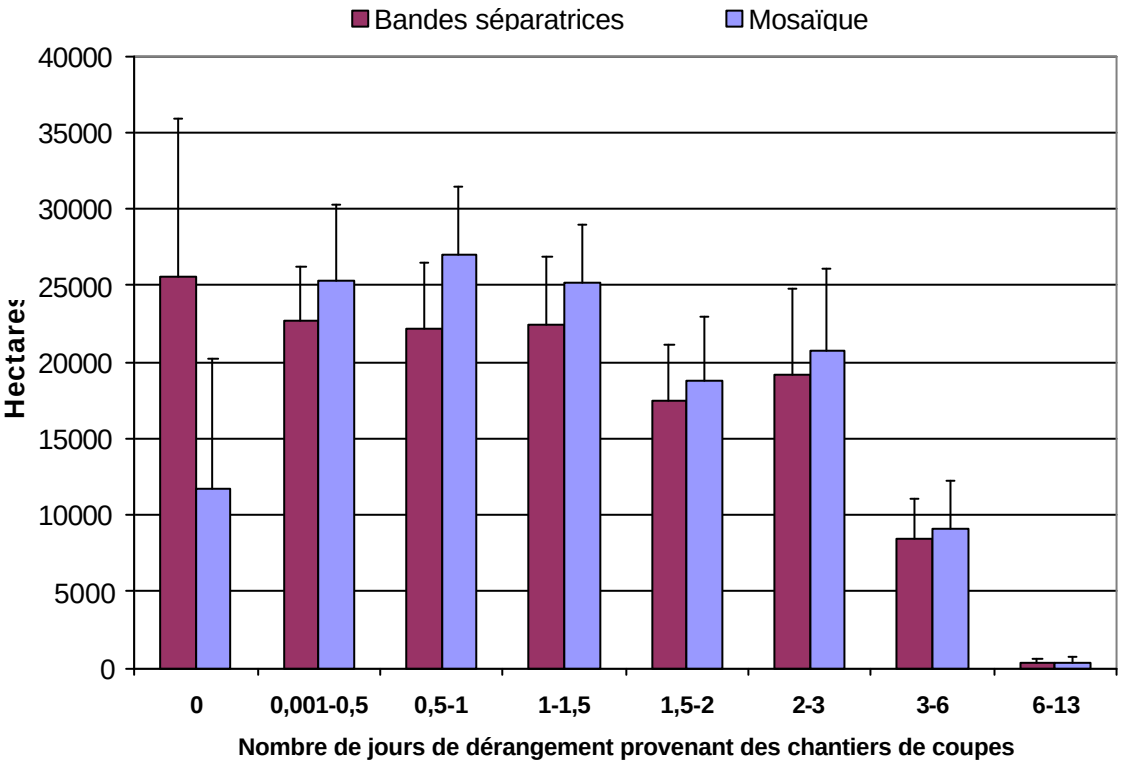


Figure 53. Superficie touchée par le dérangement sonore dû aux chantiers de coupe selon les classes de dérangement (jours*chantier) pour les scénarios Bandes Séparatrices et Mosaïque

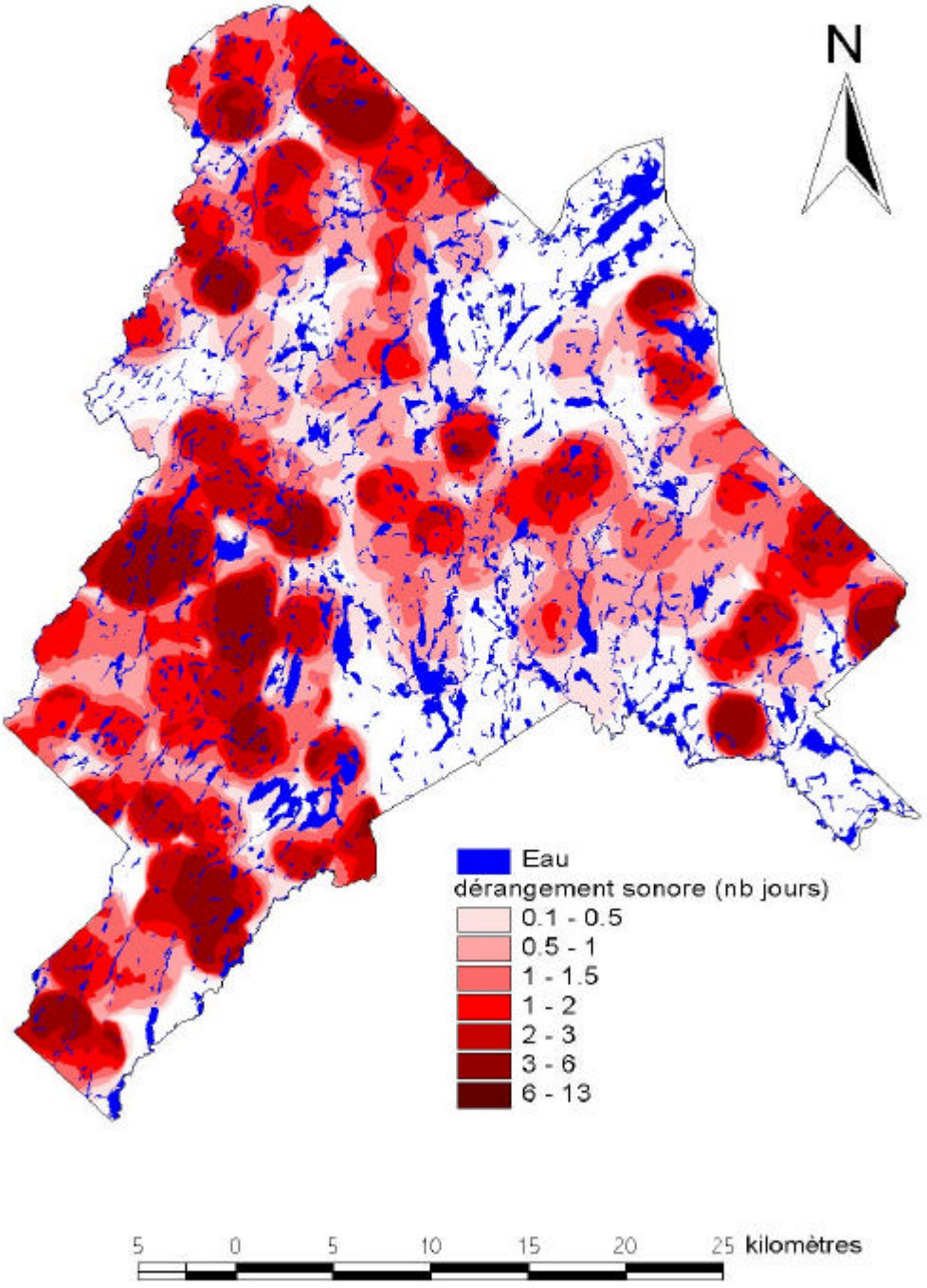


Figure 54. Carte du dérangement sonore occasionné par les chantiers de coupe durant la période 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices

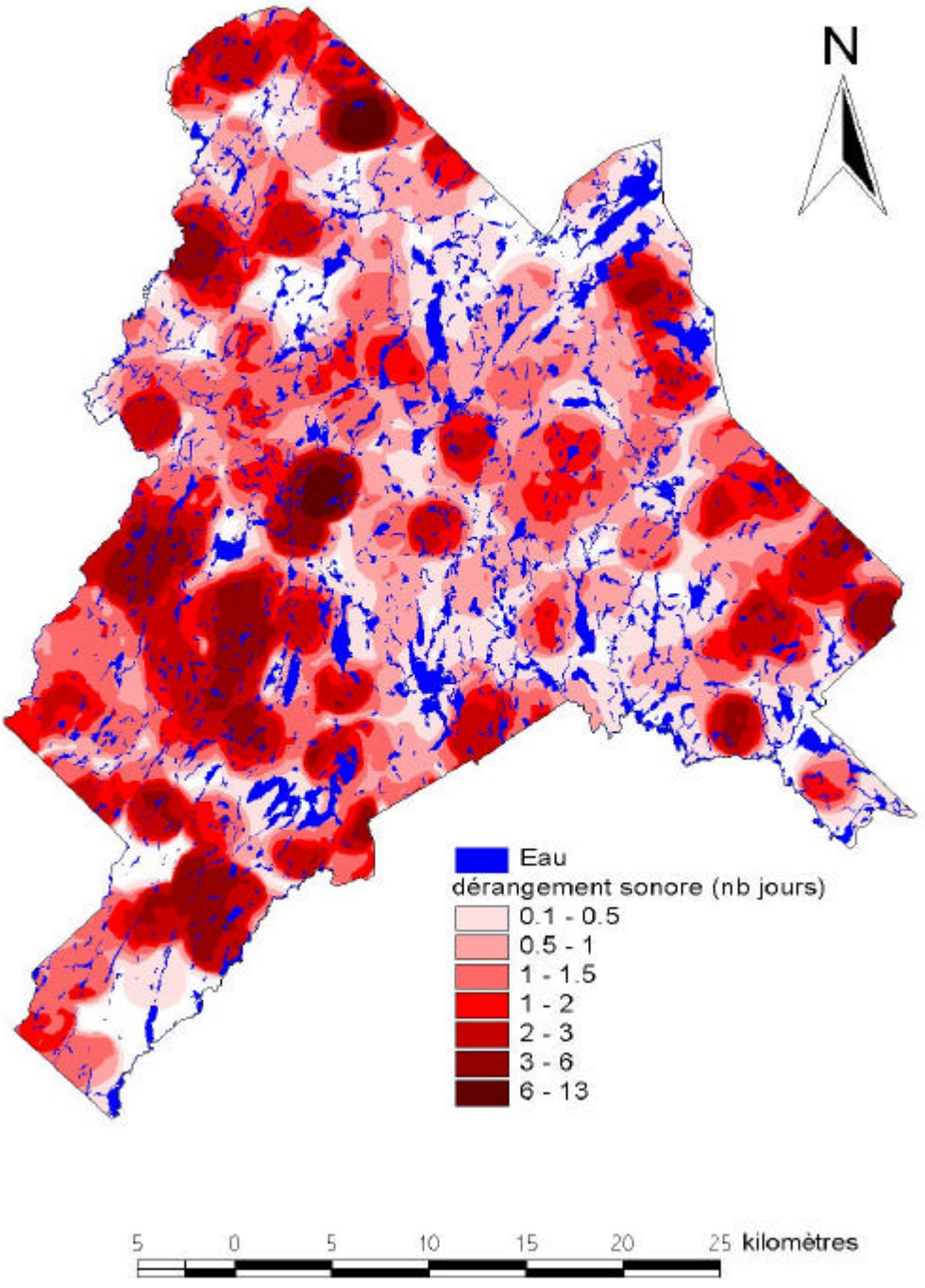


Figure 55. Carte du dérangement sonore occasionné par les chantiers de coupe durant la période 2096 pour le scénario Mosaïque

6.3.2 Le dérangement sonore dû au camionnage

Le scénario Bandes Séparatrices occasionne moins de dérangement sonore dû au camionnage que le scénario Mosaïque. En effet, on obtient une moyenne de 3 352 camions-kilomètres perçus ± 6 291 sur l'ensemble du territoire pour une période de 10 ans pour le scénario Bandes Séparatrices alors que cette moyenne est de 3 633 ± 6 194. L'analyse des superficies par classes de dérangement sonore révèle que sous le scénario Bandes Séparatrices, on trouve un peu plus de 11 700 ha de refuge sonore (0 camion-kilomètres de dérangement) alors que la moitié (5 200 ha) est un refuge sonore sous le scénario Mosaïque (Figure 56). Cette différence en refuge sonore est facilement observable en comparant la Figure 57 et la Figure 58.

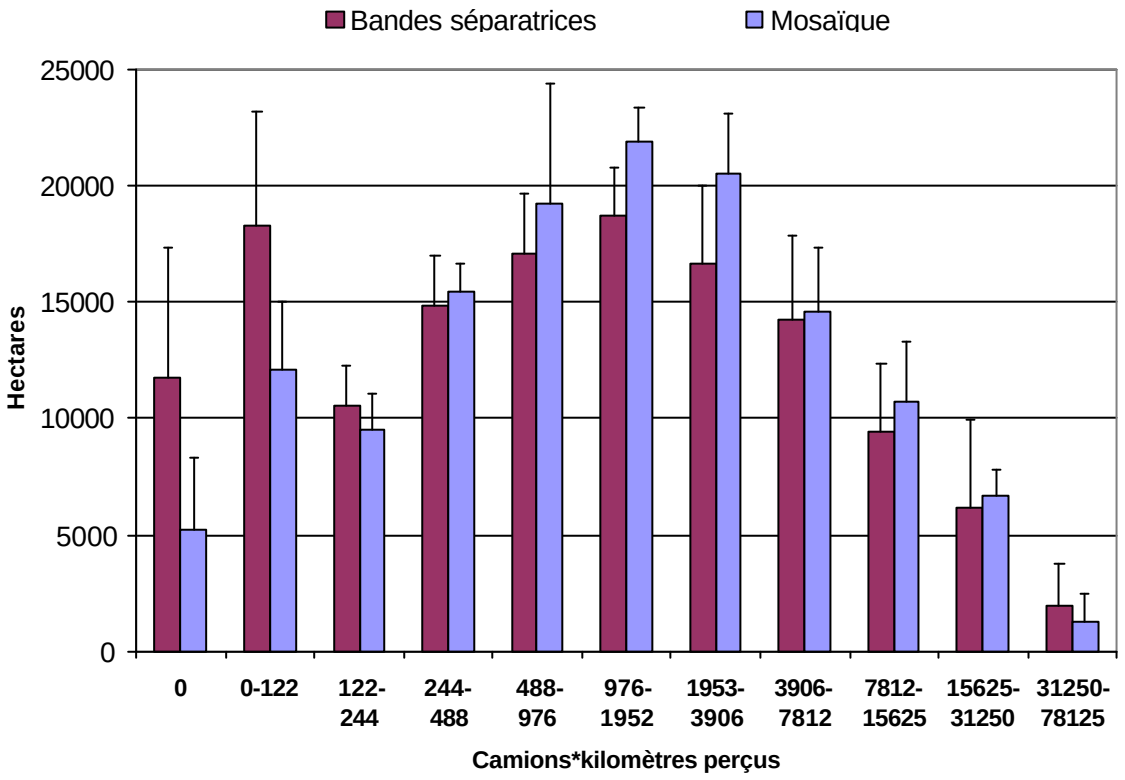


Figure 56. Superficie touchée par le dérangement sonore dû au camionnage selon les classes de dérangement (camions-kilomètres perçus) pour les scénarios Bandes Séparatrices et Mosaïque

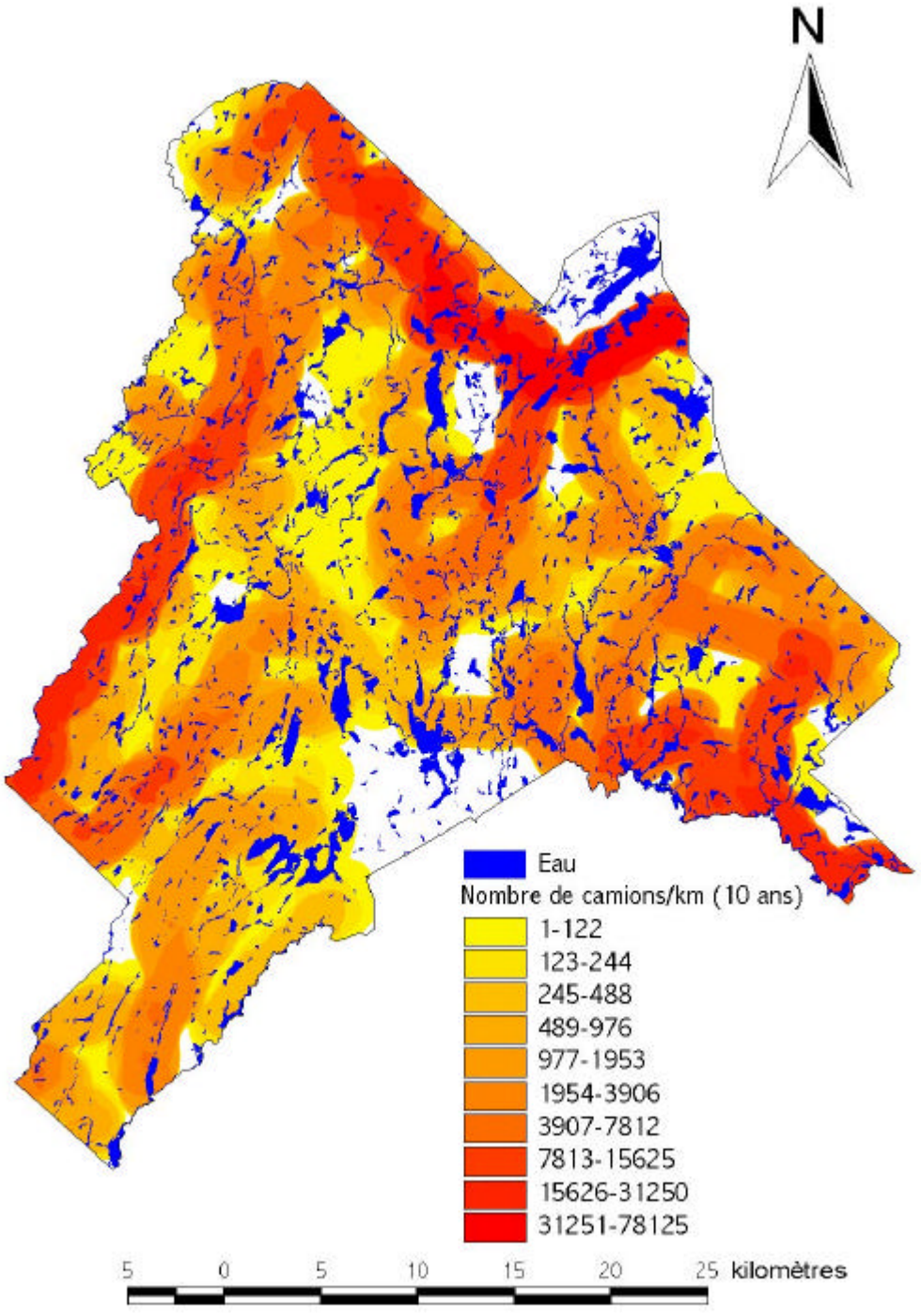


Figure 57. Carte du dérangement sonore occasionné par le camionnage durant la période 2096 pour le scénario Bandes Séparatrices

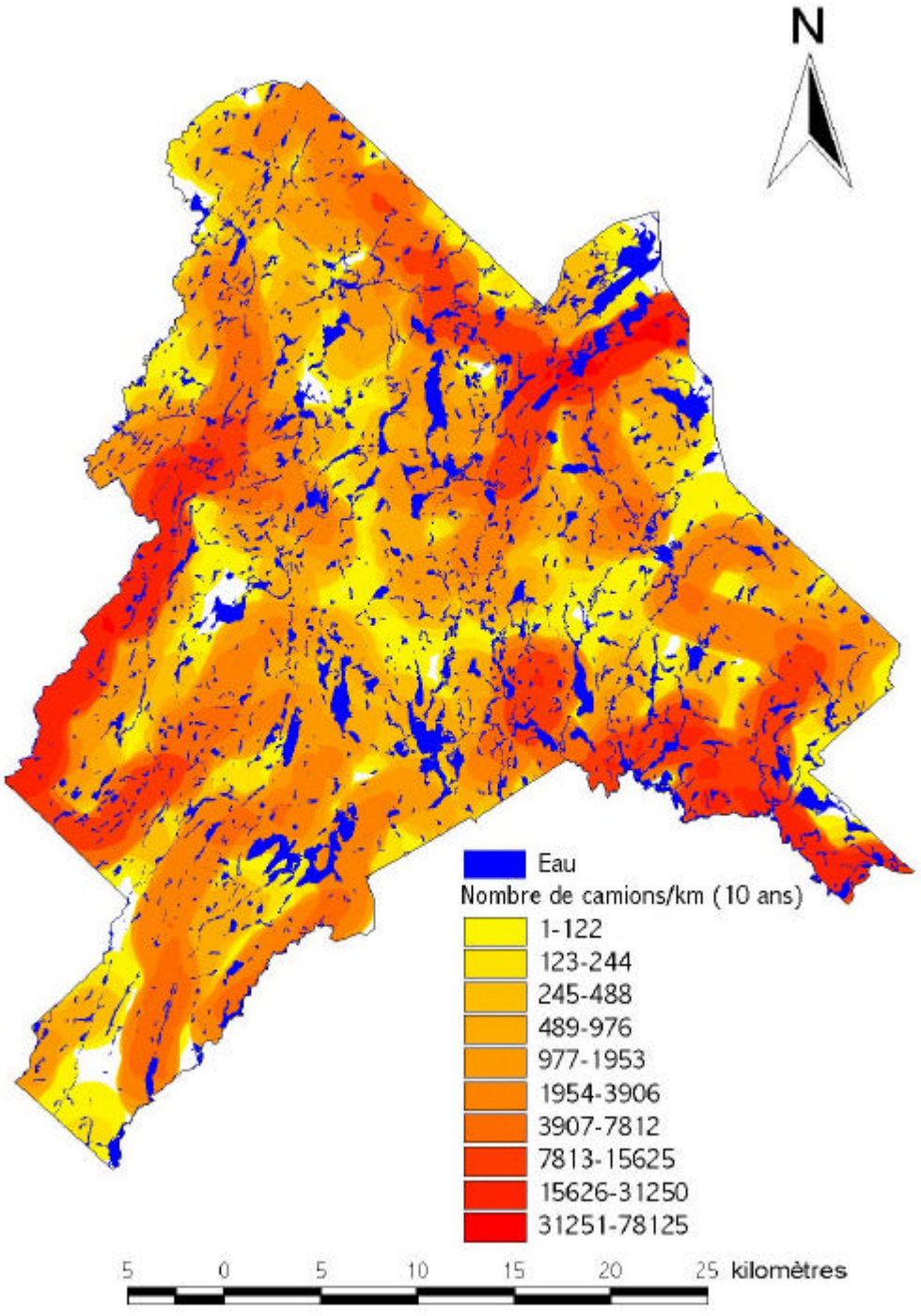


Figure 58. Carte du dérangement sonore occasionné par le camionnage durant la période 2096 pour le scénario Mosaïque

7 Discussion

7.1 La rentabilité économique

L'application de la « Coupe Mosaïque » implique des coûts supplémentaires mais ceux-ci, selon notre analyse, sont plutôt marginaux par rapport à la coupe traditionnelle. Les postes de dépenses qui augmentent sont surtout ceux reliés au maintien du réseau routier. En effet, la répartition spatiale dispersée que présente le scénario Mosaïque exige de pouvoir opérer sur l'ensemble du territoire en tout temps. Ainsi, les efforts pour maintenir le réseau routier carrossable doivent être plus grands. Les différences de dépenses provenant de la récolte et de la planification sont essentiellement dues à la différence de volume récolté selon le système sylvicole; le scénario Mosaïque récolte plus de volume sous régime de jardinage que le scénario Bandes Séparatrices. On peut supposer que la différence serait encore plus grande en réalité car les coûts d'ouverture de chantier (déplacement de la machinerie et des équipes) n'ont pas été inclus. En effet, la « Coupe Mosaïque », avec plus de chantiers de superficie moindre devrait en plus occasionner des coûts totaux supérieurs en ouverture de chantier.

Fait intéressant, la productivité de récolte pour le scénario Mosaïque est supérieure au scénario Bandes Séparatrices pour les 90 dernières années, lorsque la possibilité est stabilisée. Cela veut dire que pour une superficie moindre, le scénario Mosaïque génère 2.6% plus de volume. En ayant accès à l'ensemble du territoire en tout temps, il est plus facile de récolter le volume lorsqu'il est à son optimum pour un peuplement donné avec le scénario Mosaïque. Ainsi, la « Coupe Mosaïque » devrait avoir un effet d'augmentation sur la possibilité. Cet aspect n'est pas exploré en détail dans cette étude car nous devions avoir une possibilité similaire pour pouvoir tester seulement l'effet de la répartition spatiale. Il serait cependant facile de vérifier cette hypothèse ultérieurement.

7.2 La biodiversité

Nous avons utilisé deux familles d'indicateurs pour évaluer l'effet des différents régimes de répartition spatiale sur la biodiversité. Une première famille comportait des indicateurs de biodiversité s'appliquant pour les écosystèmes. Les indicateurs utilisés étaient alors la proportion

du territoire dans les différents stades de développement, incluant ici les vieilles forêts, la distribution des classes de tailles des coupes, la proportion du territoire en forêt profonde et la distribution des classes de tailles des massifs de forêts profondes.

Du point de vue des vieilles forêts, le régime de répartition Bandes Séparatrices permet une légère augmentation de la proportion de la forêt. Cela est due au fait que certains peuplements qui vieillissent ne sont pas accessibles avant qu'ils atteignent un âge bien supérieur à leur âge d'exploitation.

On observe une fragmentation de la forêt plus importante avec le scénario Mosaïque. En effet, tant pour les coupes que pour les forêts profondes, la proportion du territoire dans les grandes classes de tailles est plus faible que pour le scénario Bandes Séparatrices. De plus, il faut aussi mentionner que la variabilité des tailles de coupes est plus faible pour le scénario Mosaïque que le scénario Bandes Séparatrices. C'est deux conditions ont des implications importantes pour la biodiversité. En effet, les conditions de forêts profondes sont importantes pour plusieurs espèces animales. Même si la réduction observée n'est peut être pas importante de façon globale (Bandes Séparatrices :64%, Mosaïque : 62%), cette différence est accentuée pour les massifs de grandes superficies (>200 ha, Bandes Séparatrices :38%, Mosaïque : 33%).

Le fait de diminuer la variation des conditions de tailles a aussi son implication car l'homogénéisation de la structure du paysage peut amener la récurrence de certaines conditions défavorisantes pour certaines espèces. Un principe conservateur demande à ce que les conditions soient variées pour assurer une variété de milieux pour toutes les espèces. Le scénario Bandes Séparatrices réduit la variabilité de 33% lorsque comparé au scénario Mosaïque.

La deuxième famille d'indicateurs de biodiversité concerne les modèles d'IQH d'espèces sélectionnées pour leur sensibilité à l'arrangement spatial de leur habitat. De façon générale, les valeurs moyennes globales d'IQH sont semblables entre les deux scénarios pour toutes les espèces même si cette valeur moyenne fluctue légèrement d'une période à l'autre selon un patron propre à chaque espèce. Pour le moucherolle tchébec, on observe des meilleures valeurs d'IQH au sud, là où sont les peuplements matures de feuillus tolérants. L'effet bonus de la superficie en habitat de qualité dans une fenêtre de 10 ha inclus dans le modèle ne semble pas avoir discriminé les scénarios de répartition spatiale. Nous nous sommes demandés alors si le modèle d'IQH de la

paruline verte à gorge noire, qui utilise un effet bonus de la superficie en habitat de qualité dans une fenêtre de 10 ha et de 100 ha ferait la distinction entre les deux scénarios mais les résultats sont peu concluant dans ce sens quoique la proportion du paysage en valeur d'IQH supérieur à 0.5 est légèrement plus importante pour cette espèce.

Pour le lièvre d'Amérique, les patrons d'IQH sont approximativement identiques pour les deux scénarios. On observe une baisse drastique de la qualité de l'habitat dès le début de la simulation, et cela pour les deux scénarios. Cela est expliqué par le vieillissement de la forêt dans les trois premières périodes de la simulation (Figure 24, Figure 25). Les conditions de lisières favorisées par le scénario Mosaïque n'ont pas augmenté la possibilité d'avoir un habitat d'alimentation de qualité à proximité d'un habitat de couvert de qualité.

L'espèce qui a le plus répondu à l'effet de répartition spatiale est la martre d'Amérique. Bien que les moyennes globales entre les deux scénarios soient semblables, la répartition des proportions par classes de valeur d'IQH est différente. En effet, les très bons habitats pour la martre sont plus importants dans le scénario Mosaïque, et cela malgré qu'il y ait plus de vielles forêts dans le scénario Bandes Séparatrices. Cela peut s'expliquer par le fait que les bons habitats d'alimentation produits par les coupes ont plus de chance de se trouver adjacents à un bon habitat de couvert dans le scénario Mosaïque.

Somme toute, en fonction de l'indicateur de biodiversité sélectionné, certains éléments de la biodiversité seront avantagés par un scénario de répartition spatiale ou un autre. La question reste donc est-ce que cet élément de la biodiversité est à risque si on applique un tel scénario. Or, dans le cas des deux scénarios présentés, aucun élément de la biodiversité ne semble être à risque. Cela ne veut pas dire que pour d'autres indicateurs cela ne serait pas le cas.

7.3 Le dérangement sonore

Le dérangement sonore est probablement la valeur qui risque le plus d'être affectée par un changement de répartition spatiale. Nos résultats montrent que le scénario Mosaïque génère plus de dérangement sonore, tant en ce qui concerne les chantiers de récolte que le camionnage, que le scénario Bandes Séparatrices. Les refuges sonores sur dix ans sont en général deux fois moins importants dans le scénario Mosaïque que Bandes Séparatrices. Cela veut dire qu'il y aura moins

de territoires pour lesquels il est possible de se récréer en forêt sans être importuné par le bruit causé par les activités forestières. Même s'il est difficile de dire quel est le seuil de tolérance des gens en forêt avant que cela n'est un impact sur la clientèle, ces résultats soulèvent une question importante qui n'avait pas été considérée par les « pères » de la « Coupe Mosaïque », peut-être parce qu'elle n'a pas été développée en milieu de forêt habitée comme peut l'être la forêt méridionale.

Cette dimension peut être aussi importante à l'égard de la biodiversité. En effet, plusieurs espèces sont sensibles au dérangement que l'homme peut avoir sur leur habitat. Cela est généralement plus vrai pour les espèces à grand territoire et les carnivores. La présence accrue de l'homme dans le paysage risque d'avoir un impact important. Avec le scénario Mosaïque, en maintenant un accès permanent sur l'ensemble du territoire, on augmente aussi le risque de pénétration de l'homme dans la forêt. Plusieurs scientifiques de la conservation ont fait valoir l'impact négatif important de l'accessibilité à la forêt par l'homme. Les forêts accessibles sont généralement plus fortement utilisées et on observe plus fréquemment du braconnage ou du surprélèvement. Nous avons considéré dans cette étude seulement le dérangement sonore occasionné par les activités forestières mais l'accessibilité à large échelle favorise également la pénétration des véhicules tout-terrain et autre engins motorisés. L'impact de cela sur la biodiversité et sur la satisfaction de la clientèle future de la RFRM est difficile à prévoir mais risque d'être important.

8 Conclusion

L'objectif de départ de ce projet était de vérifier l'effet de différents régimes de répartition spatiale des coupes sur la biodiversité, le dérangement sonore et la rentabilité économique. La modélisation spatiale des scénarios d'aménagement a permis d'effectuer cette comparaison à partir de modèles d'indicateurs. Cette démarche a été rendue possible par l'utilisation d'un simulateur de récolte spatialement explicite.

De l'ensemble des indicateurs utilisés, les deux indicateurs associés au dérangement sonore ont été les plus sensibles aux différences de répartition spatiale qu'il y avait entre les deux scénarios que nous avons comparés. La rentabilité économique était légèrement plus faible pour le scénario appliquant la « Coupe Mosaïque ». Du point de vue de la biodiversité, il semble que les deux scénarios se valent, quoiqu'un certain risque puisse exister dans le cas de la « Coupe Mosaïque » à perdre les grands massifs de forêts profondes.

L'application sans adaptation de la « Coupe Mosaïque » à la forêt méridionale est à notre avis un mauvais transfert technologique. Il est essentiel de développer une approche de forêt mosaïque adaptée à la réalité de la forêt mixte et feuillue. Pour ce faire, il est primordial de reconnaître le modèle de régime de perturbations naturelles comme étant le régime de base à reproduire, du moins en partie. Or, notre connaissance du régime des perturbations naturelles pour ce type de forêt est plutôt méconnue. Des recherches sont donc nécessaires pour fournir cette information essentielle.

Une grande partie du travail que nous avons effectué, et qui n'apparaît pas dans ce rapport, a consisté à paramétriser le simulateur de récolte à partir des informations repêchées de Sylva II et à obtenir, à partir de celles-ci, une simulation satisfaisante pour chacun des deux scénarios. Maintenant que ce travail est accompli, il serait très facile de comparer soit d'autres scénarios avec des objectifs différents, soit d'utiliser d'autres indicateurs pour réévaluer les deux scénarios comparés dans cette étude. Sur ce dernier point, l'IQAFF a développé d'autres indicateurs, soit pour une douzaine d'espèces de la forêt feuillue, qui pourrait être appliqués pour compléter les quatre espèces utilisées dans ce projet. Une telle analyse coûterait une fraction du travail déjà accompli.

9 Bibliographie

Doyon, F. 2000. Effet de différents types de récolte forestière sur les oiseaux en forêt feuillue à l'échelle de l'habitat et du paysage. Thèse de Doctorat, Université du Québec à Montréal. Montréal, Qc. 171 p.

Frelich, L.E. et C.G. Lorimer, 1991. Natural disturbance regimes in hemlock-hardwood forests of the upper great lakes region. Ecological monographs, 61(2): 145-164.

Grumbine, R.E., 1994. What is Ecosystem management. Conservation Biology, 8 : 27-38.

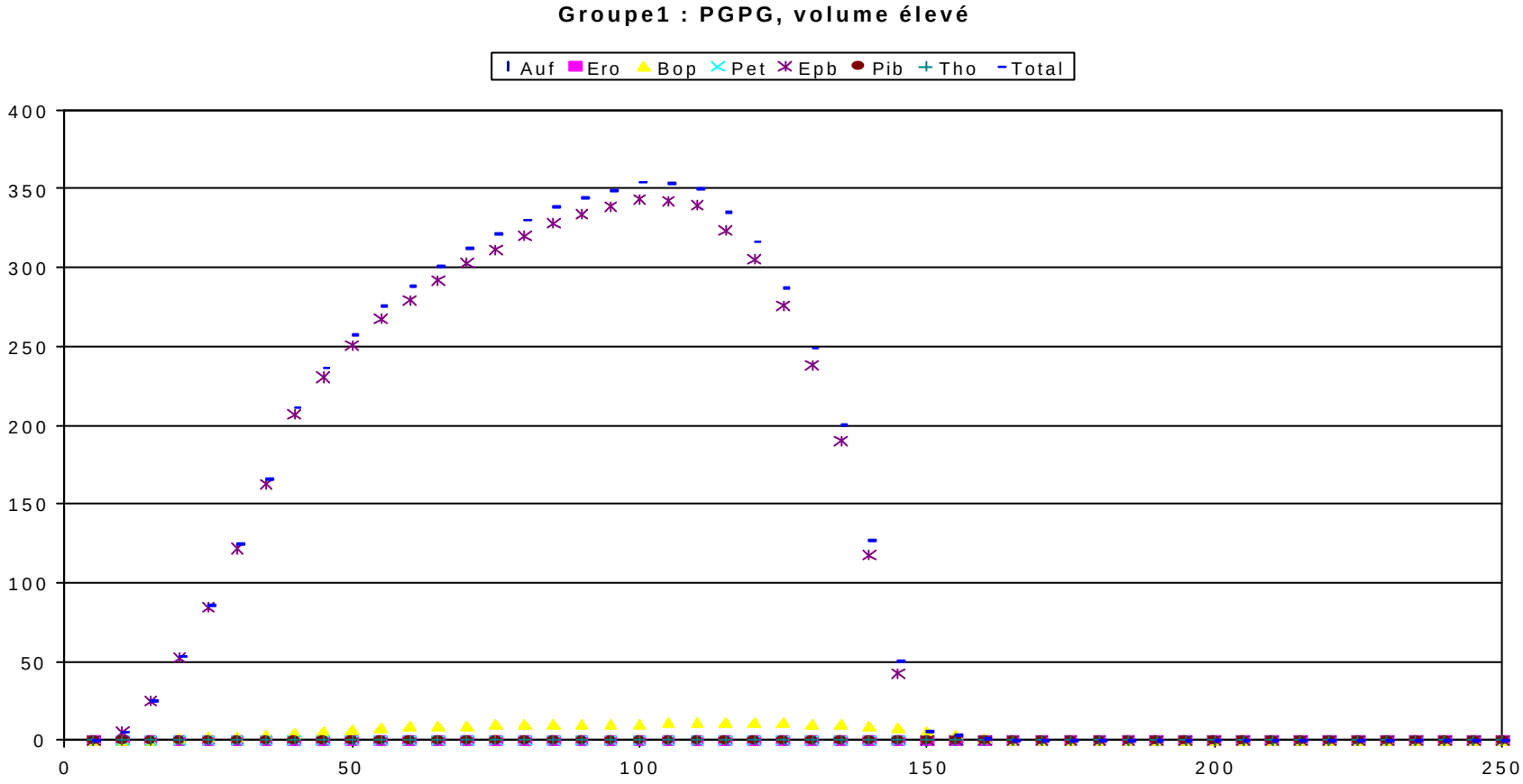
Nolet. P., S. Sougavinsky et F. Doyon, 1999. Caractérisation du régime des perturbations naturelles de la Réserve Faunique Papineau-Labelle. Écoforesterie Consultants. 44 p.

Nolet. P., É. Forget, D. Bouffard et F. Doyon, 2001. Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier du bassin de La Lièvre au cours du 20^{ième} siècle. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. 113 p.

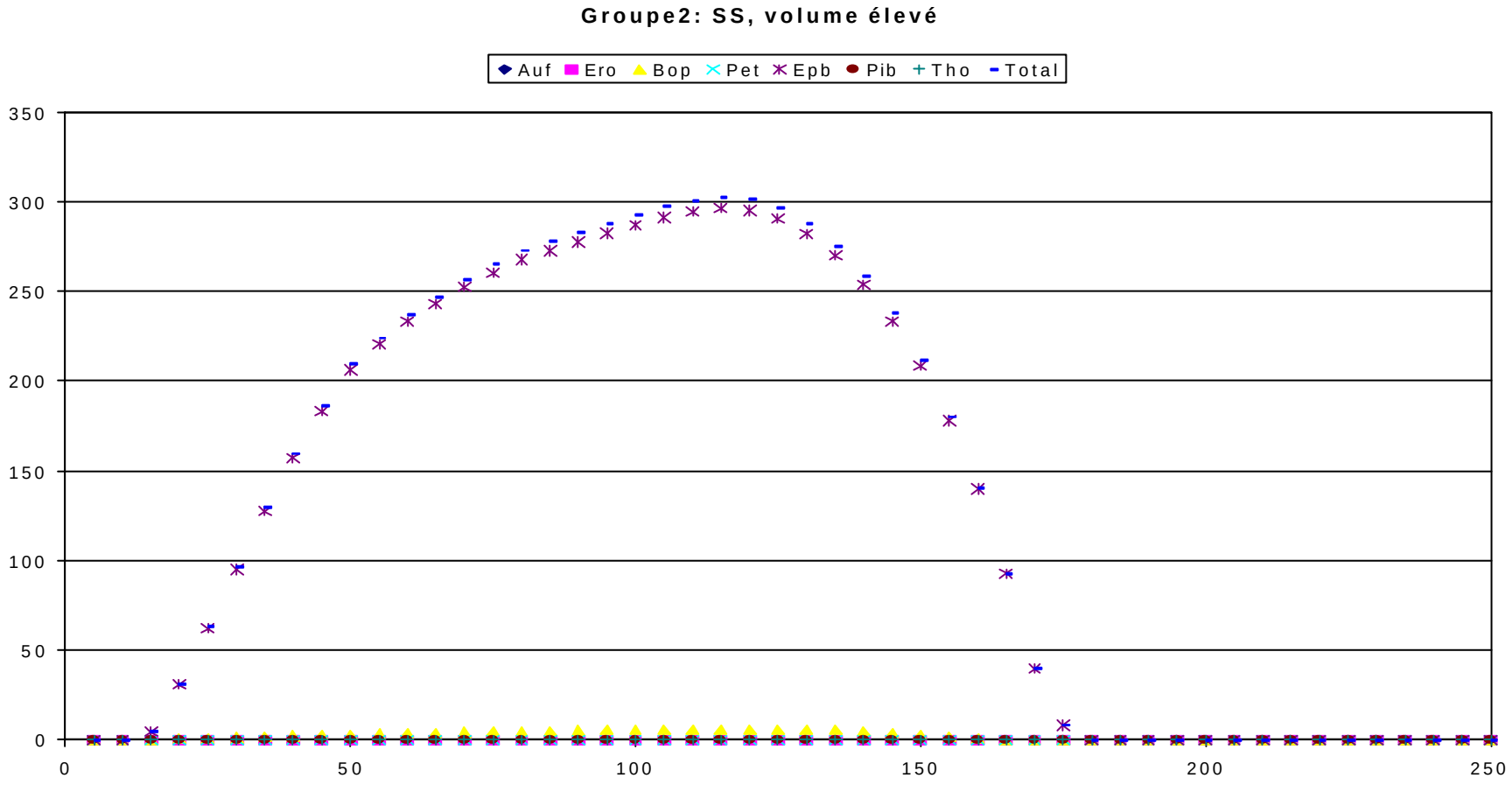
Gouvernement de Québec. 2000. Modalités d'intervention dans le milieu forestier. Fondements et Applications. Les publications du Québec, Ste-Foy, QC. 352 p.

Robitaille, A. et J-P. Saucier, 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. MRN, Gouvernement du Québec. Éd. Les publications du Québec. 213 p.

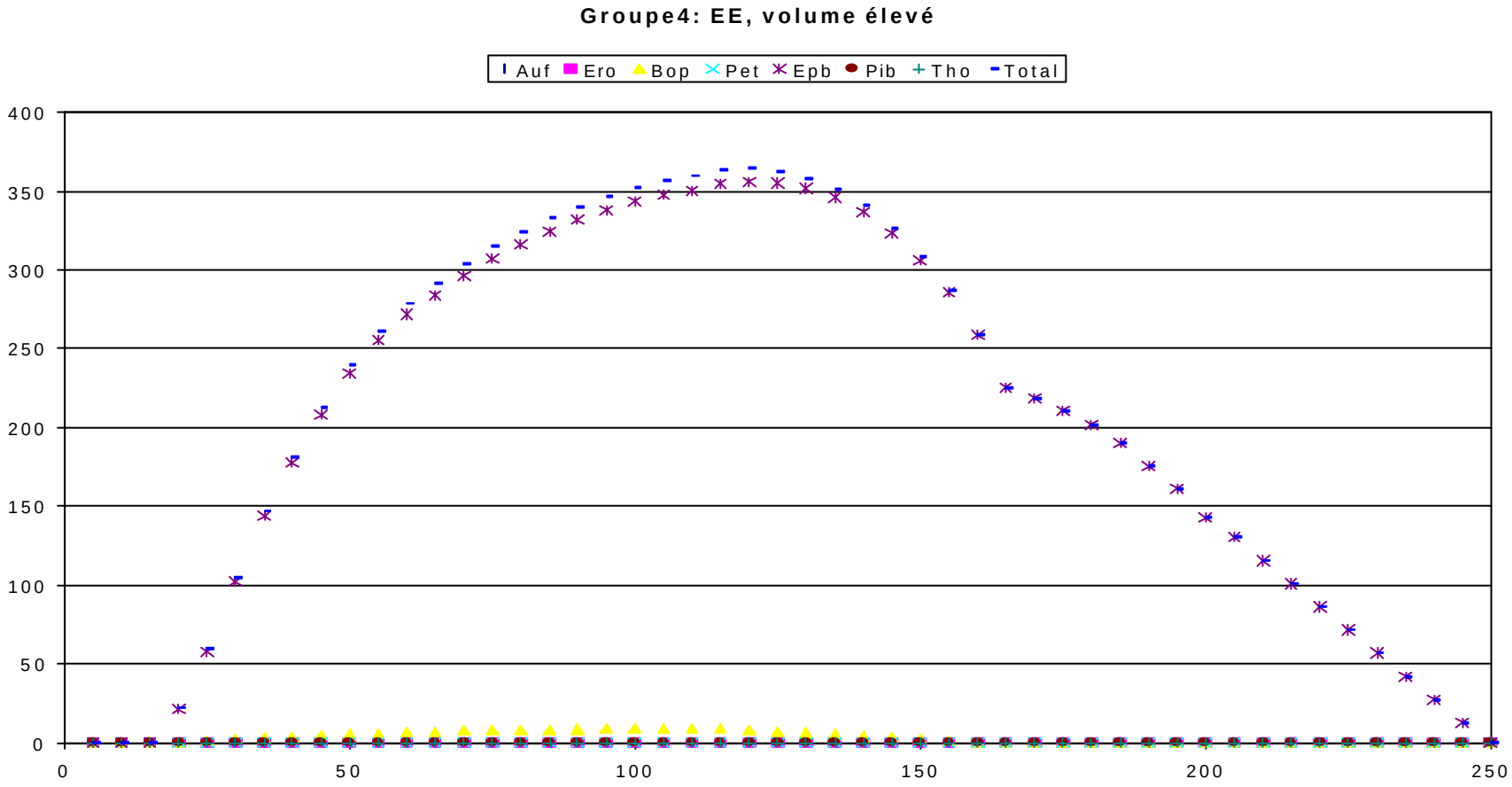
ANNEXE 1



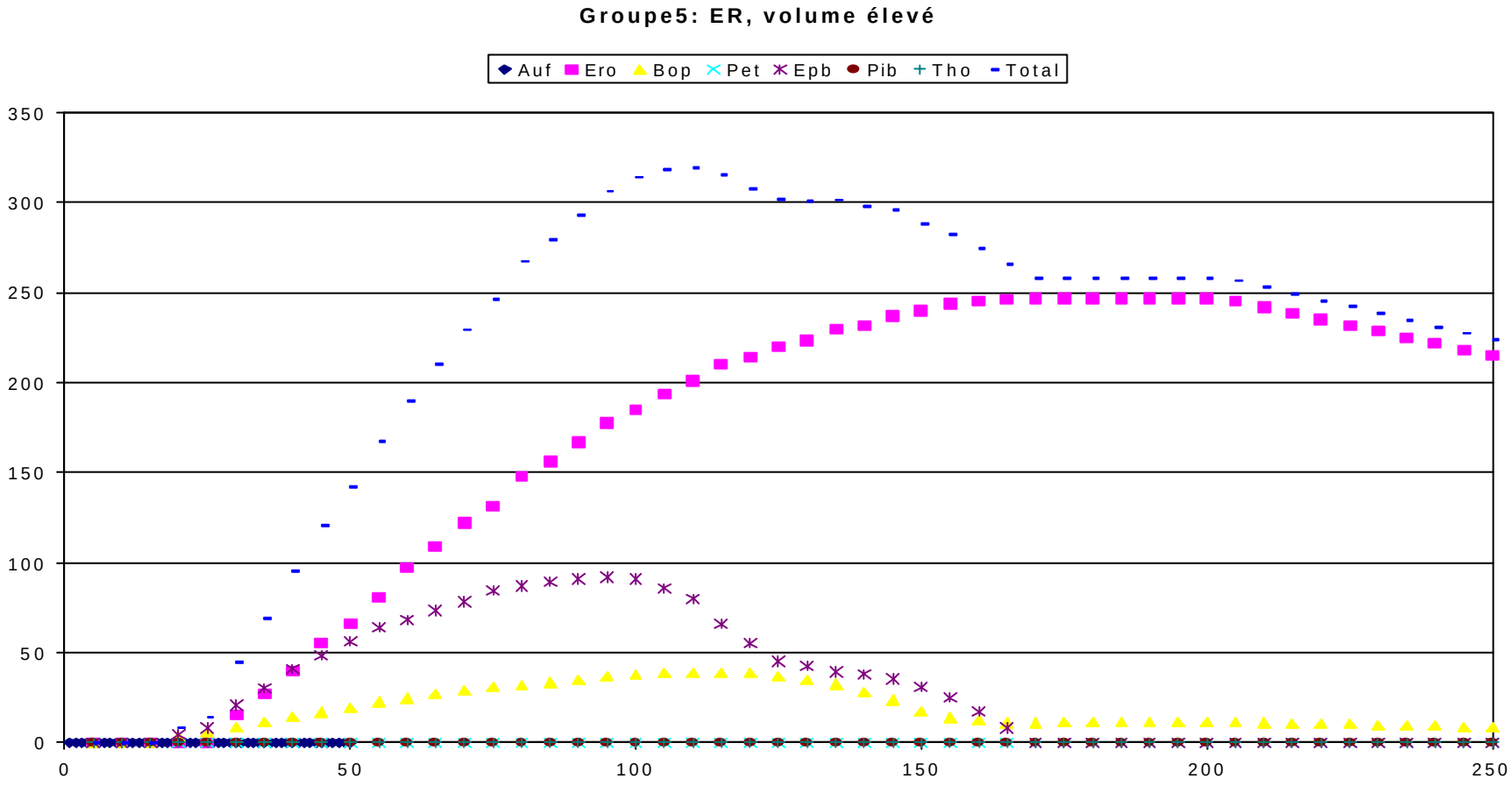
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	71.5	123	155	177	194	208	220	231	240	248	255	262	269	275	309	317	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H_moy (dm)	0	46.8	93.4	121	140	155	167	177	186	194	201	207	213	218	222	194	197	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Habitat	361	361	362	363	363	363	363	364	364	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365



Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP moy (mm)	0	66.2	114	136	152	164	174	182	190	196	202	207	212	216	220	224	226	229	0	0	0	0	0	0	0	0
H moy (dm)	0	53.6	86.6	104	116	126	133	140	145	151	155	159	163	166	169	172	175	177	0	0	0	0	0	0	0	0
Habitat	361	361	362	363	363	363	363	364	364	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365

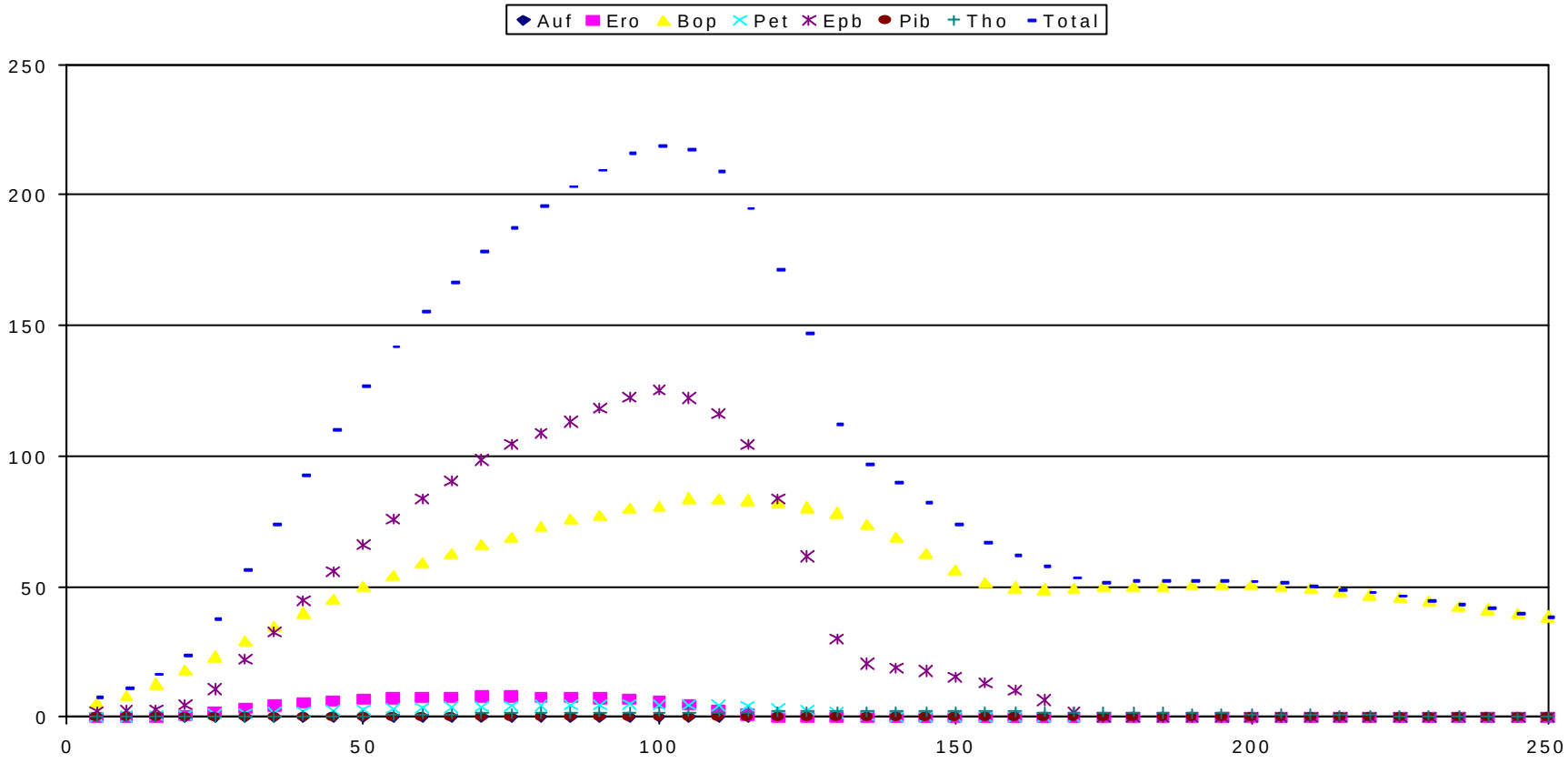


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	66.2	113	136	152	164	174	183	190	197	202	208	212	216	220	223	226	229	232	235	238	240	243	245	248	0
H_moy (dm)	0	53.7	86.8	104	116	126	133	140	146	151	155	159	163	166	169	172	175	177	179	182	184	186	188	190	192	0
Habitat	361	361	362	363	363	363	363	364	364	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365



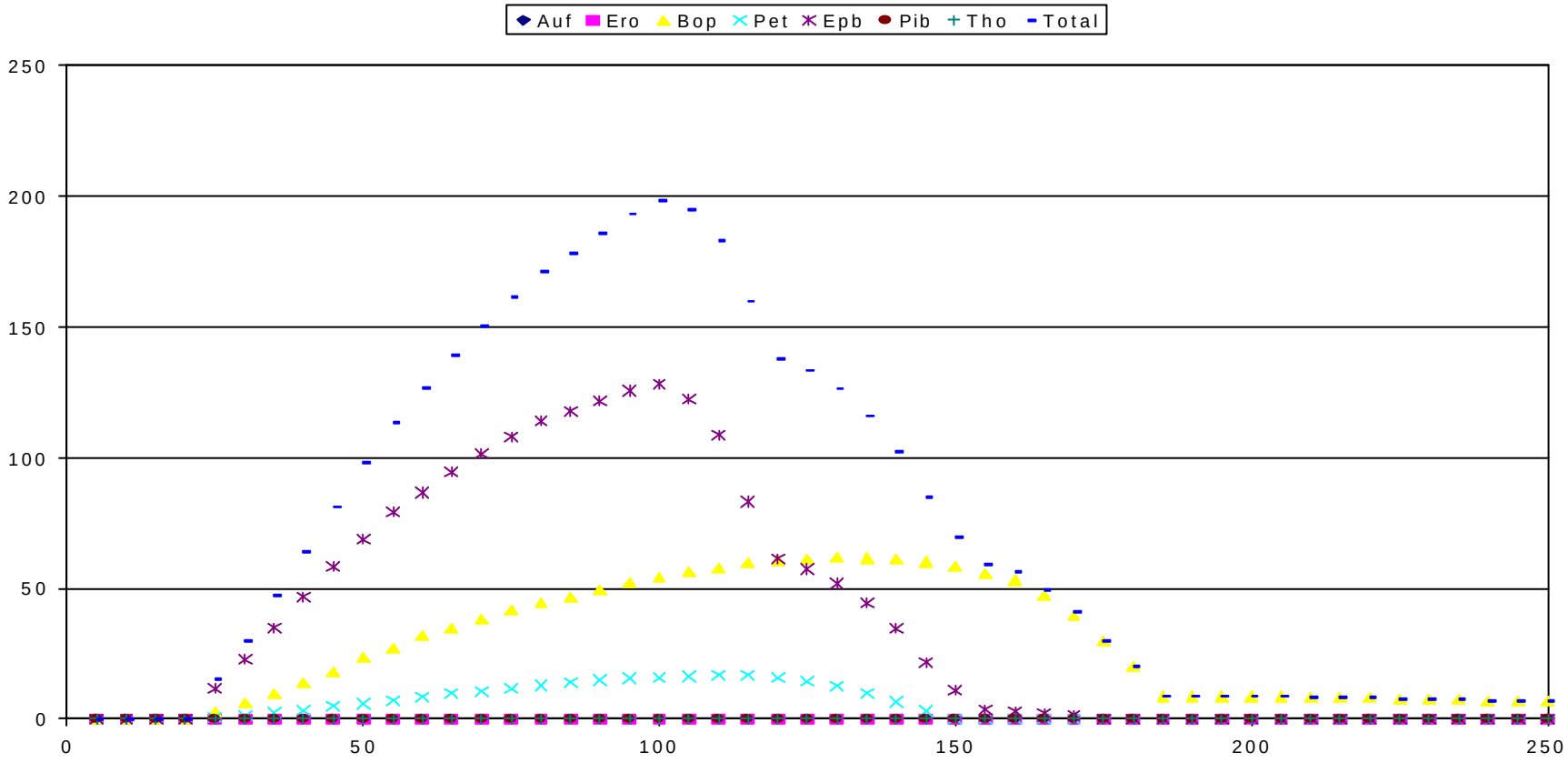
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	48	95.9	119	147	173	195	215	232	248	263	279	299	318	331	343	359	378	389	397	406	414	421	429	436	442
H_moy (dm)	0	47.4	89.6	115	131	144	154	163	171	178	184	191	199	206	212	217	224	231	234	237	240	243	246	249	251	254
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235

Groupe6: RBJ, volume élevé

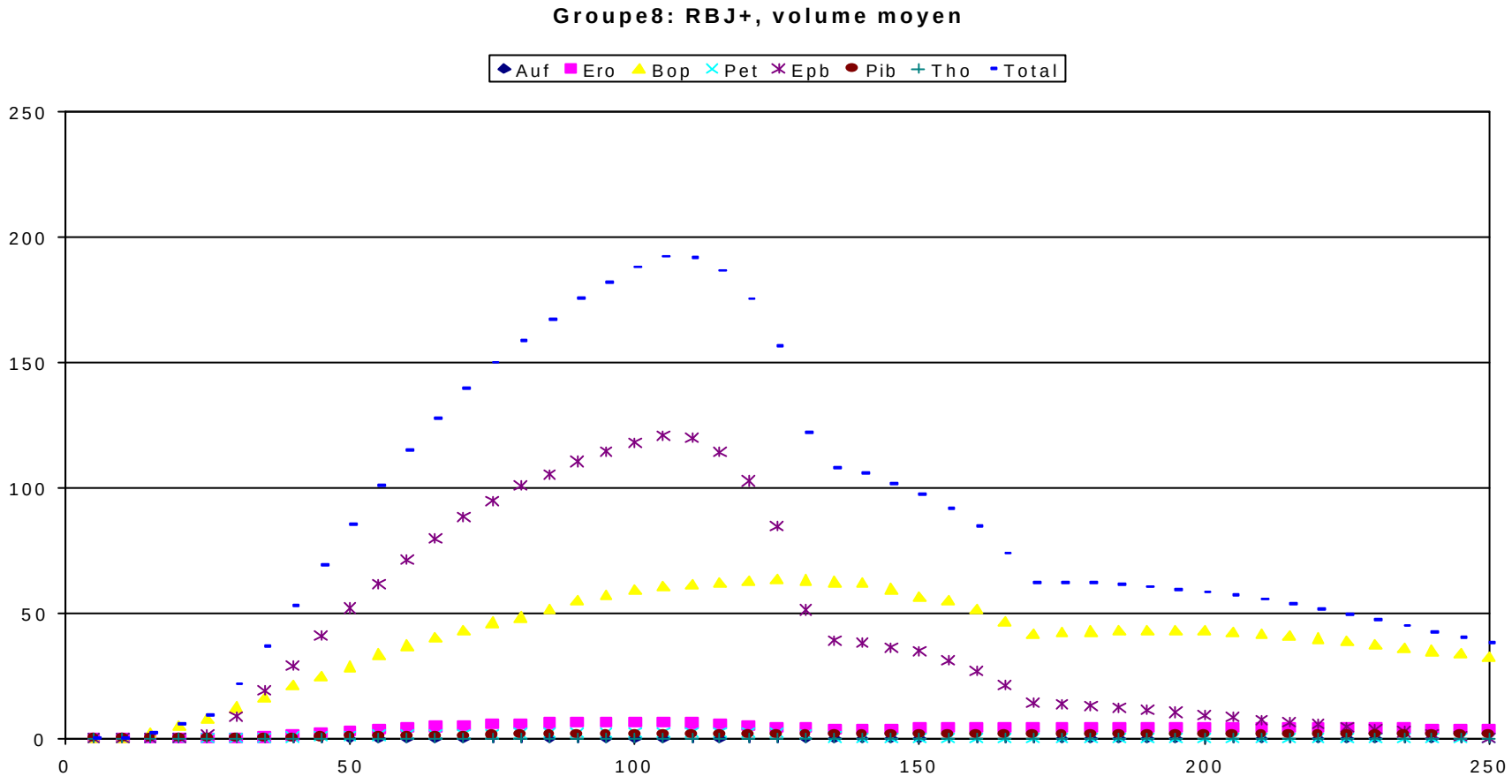


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	45.7	80.1	126	153	172	187	199	210	220	228	237	249	273	284	291	376	411	428	439	449	458	467	476	485	493
H_moy (dm)	0	60.3	94.7	112	124	134	142	149	155	160	164	169	174	182	185	189	203	211	215	218	221	224	227	230	233	235
Habitat	241	241	242	242	243	243	243	244	244	244	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245

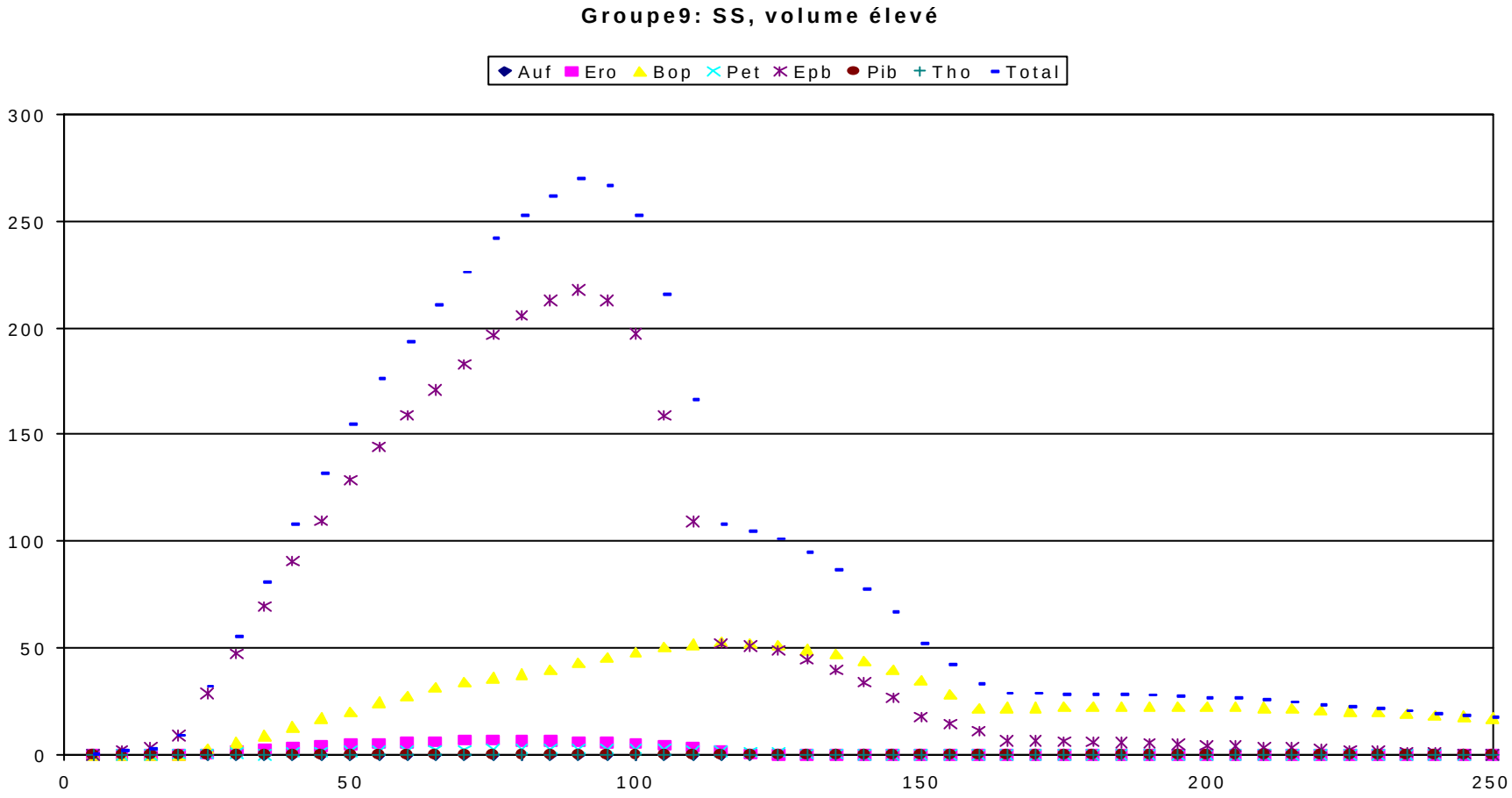
Groupe7: SBB, volume moyen



Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	48.2	96.5	133	154	171	186	198	209	219	228	240	260	268	278	295	312	321	331	441	451	460	469	477	485	493
H_moy (dm)	0	41.4	88.8	108	122	133	142	149	156	162	167	174	183	186	188	190	196	199	203	220	223	225	228	230	233	235
Habitat	241	241	242	242	243	243	243	244	244	244	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245

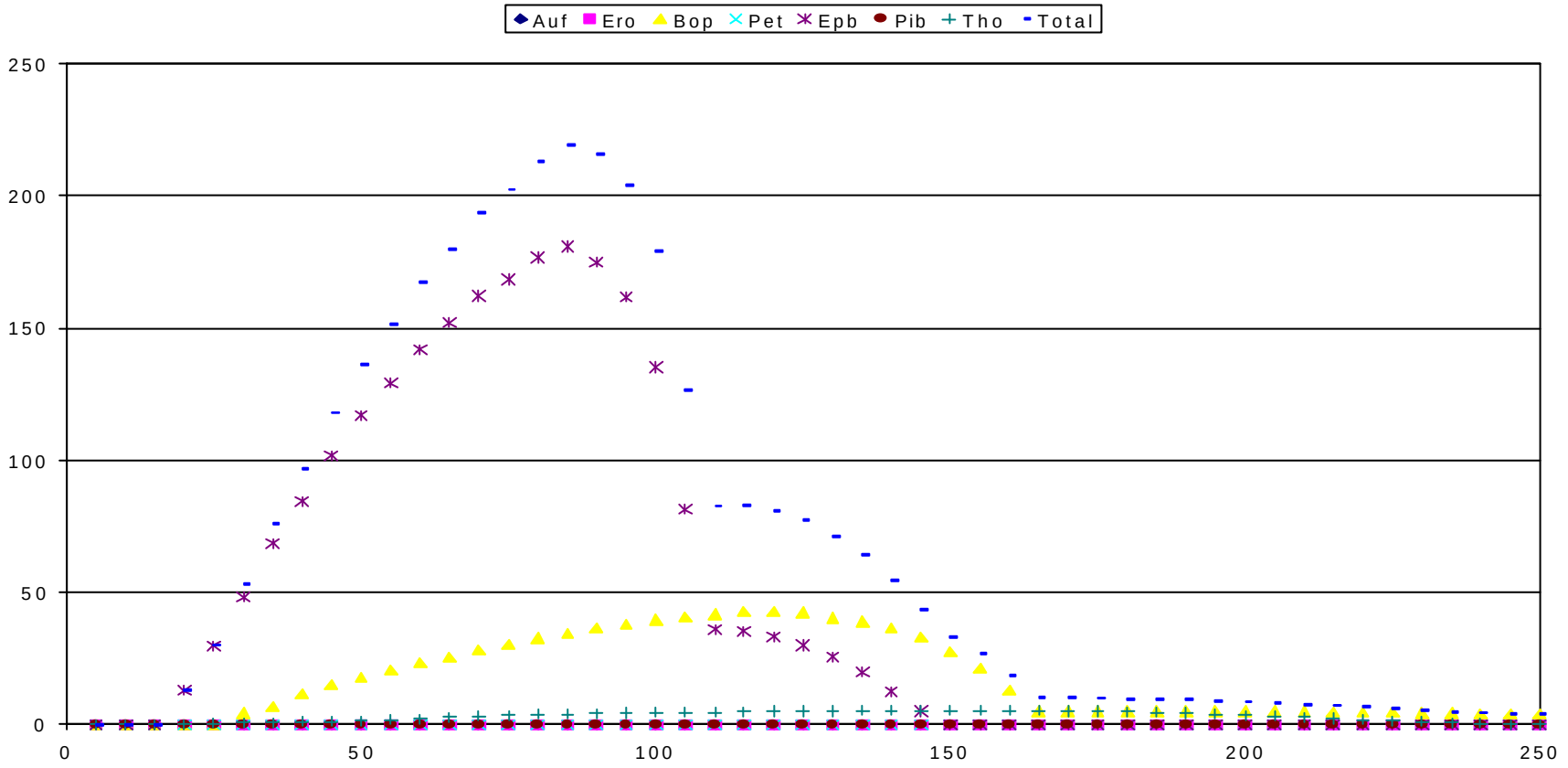


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	34.6	72.5	118	151	175	193	208	221	234	245	255	270	304	324	334	350	375	387	400	415	428	441	456	472	489
H_moy (dm)	0	51.6	90.8	110	123	134	142	150	156	162	167	172	177	187	192	196	201	208	212	216	220	224	228	232	236	241
Habitat	241	241	242	242	243	243	243	244	244	244	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245



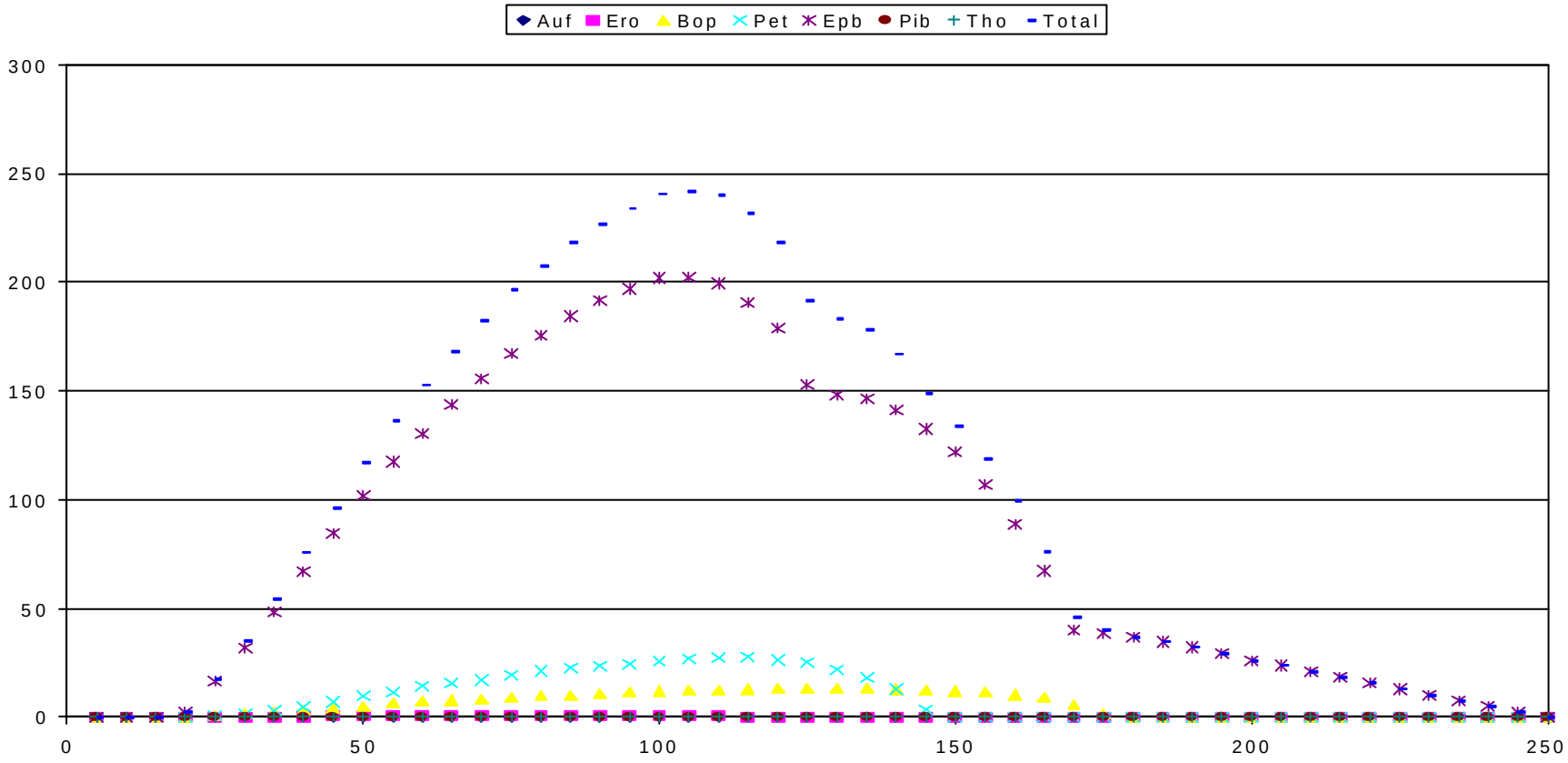
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	77.7	115	134	152	167	179	189	198	206	215	229	248	256	265	280	286	377	389	403	417	430	444	459	475	493
H_moy (dm)	0	57.2	86.8	106	119	129	137	144	149	155	160	166	174	177	181	187	189	205	209	213	216	220	224	227	231	235
Habitat	361	361	362	363	363	363	363	364	364	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365

Groupe10: SS, volume élevé



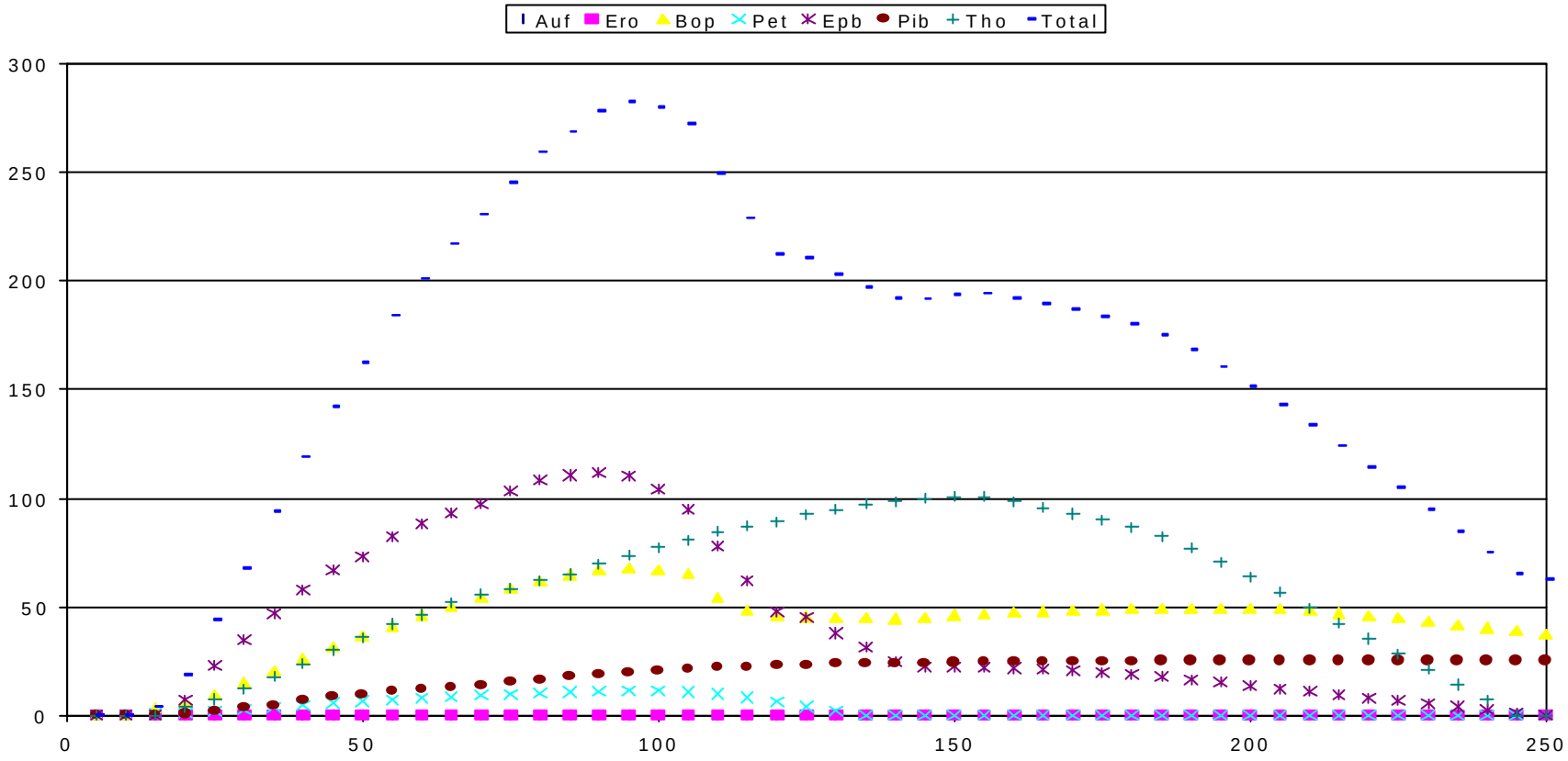
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	57.4	115	134	152	166	177	188	197	205	216	244	254	265	284	312	322	382	393	405	418	431	444	460	479	493
H_moy (dm)	0	45.5	86.5	104	117	127	135	142	148	153	159	168	173	177	183	189	189	193	197	202	206	211	217	223	230	235
Habitat	361	361	362	363	363	363	363	364	364	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365

Groupe11: SE, volume élevé



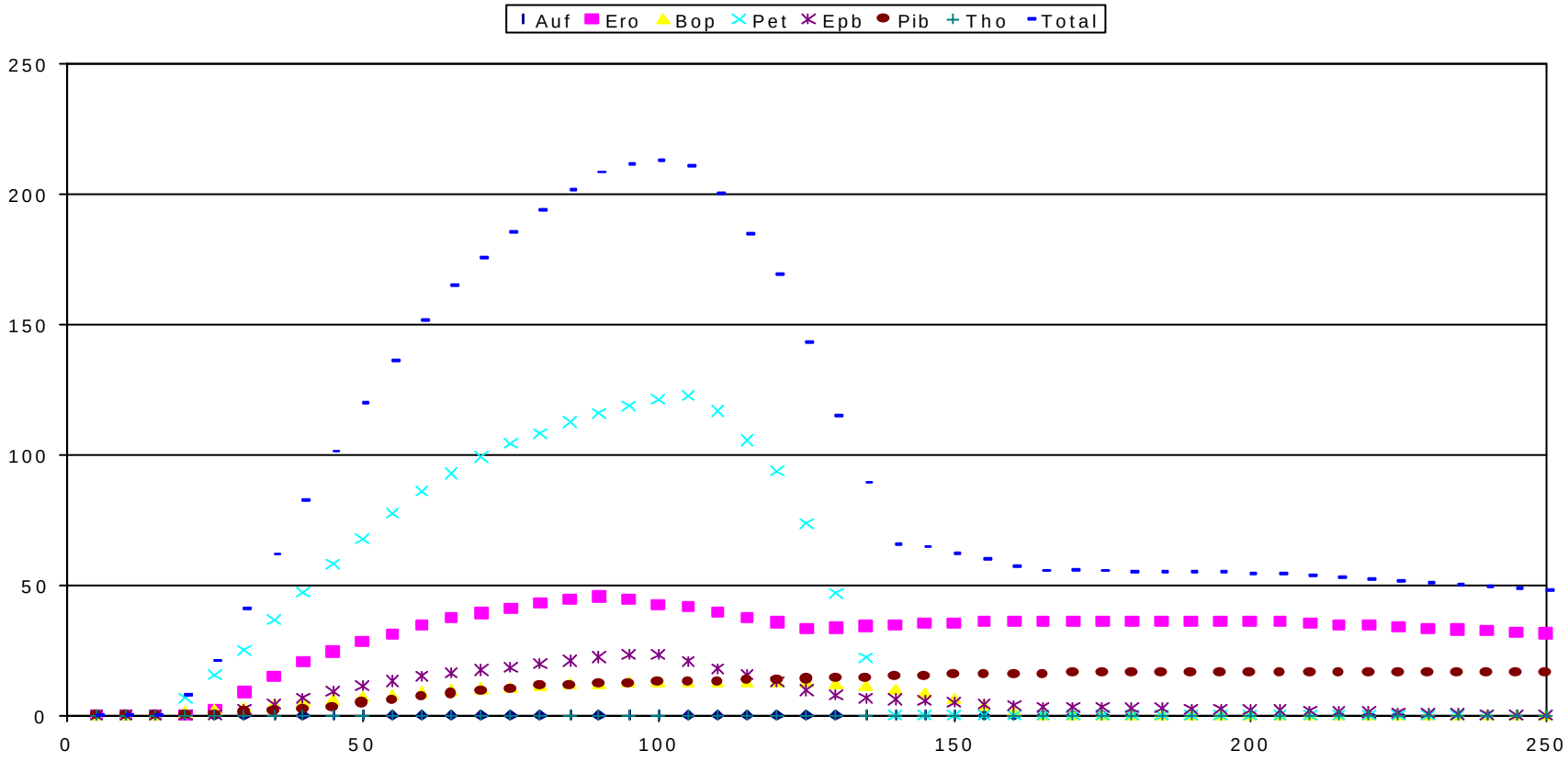
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	59.9	120	147	168	186	201	213	224	233	242	250	258	265	265	261	256	252	232	235	238	240	243	245	248	0
H_moy (dm)	0	48.8	90.7	116	133	147	158	167	176	183	189	195	201	205	207	205	198	191	179	182	184	186	188	190	192	0
Habitat	361	361	362	363	363	363	363	364	364	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365

Groupe17: RBB, volume élevé

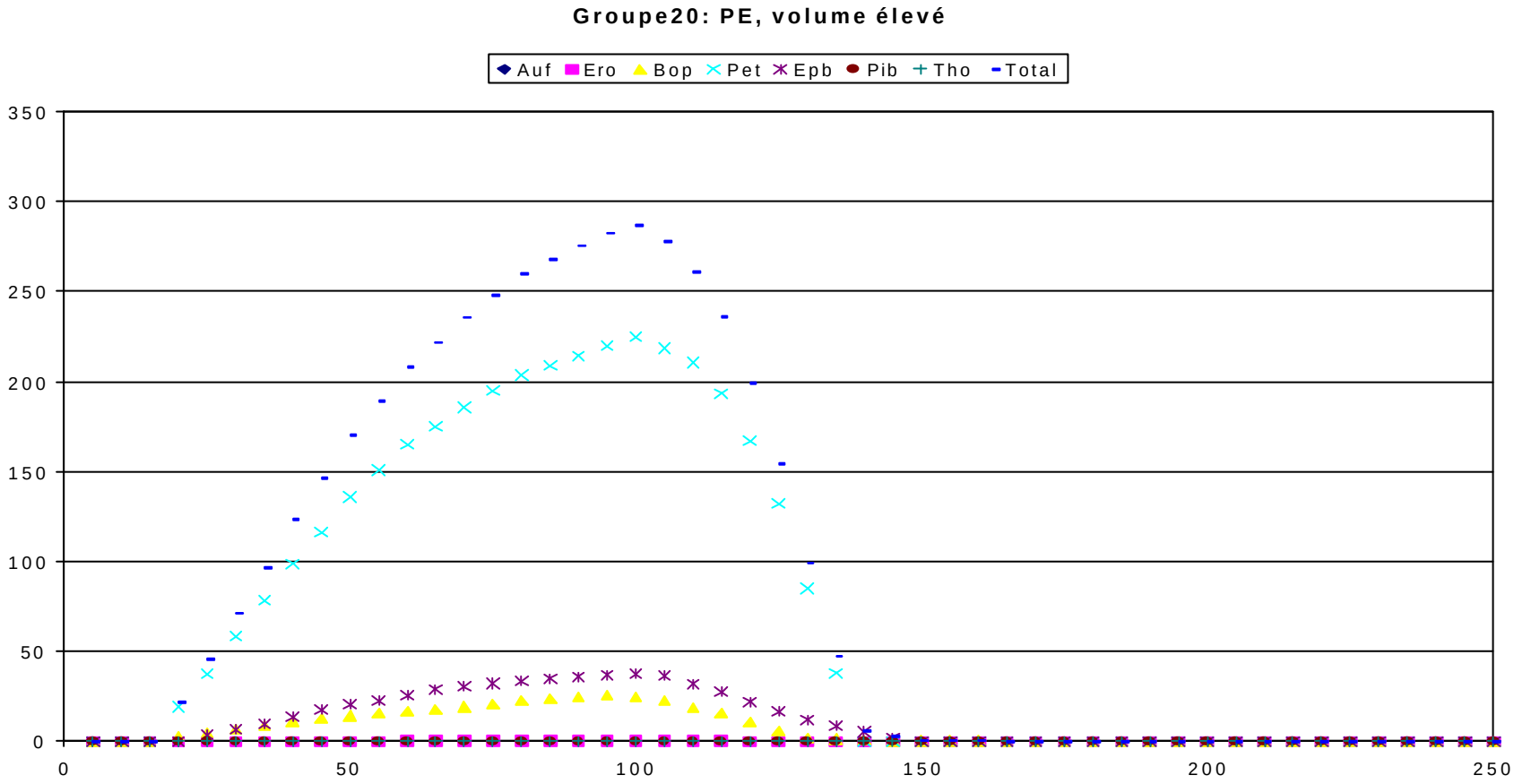


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	37.4	86.9	124	149	171	189	205	219	232	245	260	276	306	322	334	344	355	365	376	388	400	413	428	447	466
H_moy (dm)	0	55.3	82.4	101	115	126	135	142	149	155	160	164	167	171	175	179	183	187	191	195	199	204	209	215	222	229
Habitat	241	241	242	242	243	243	243	244	244	244	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245

Groupe18: PE, volume élevé

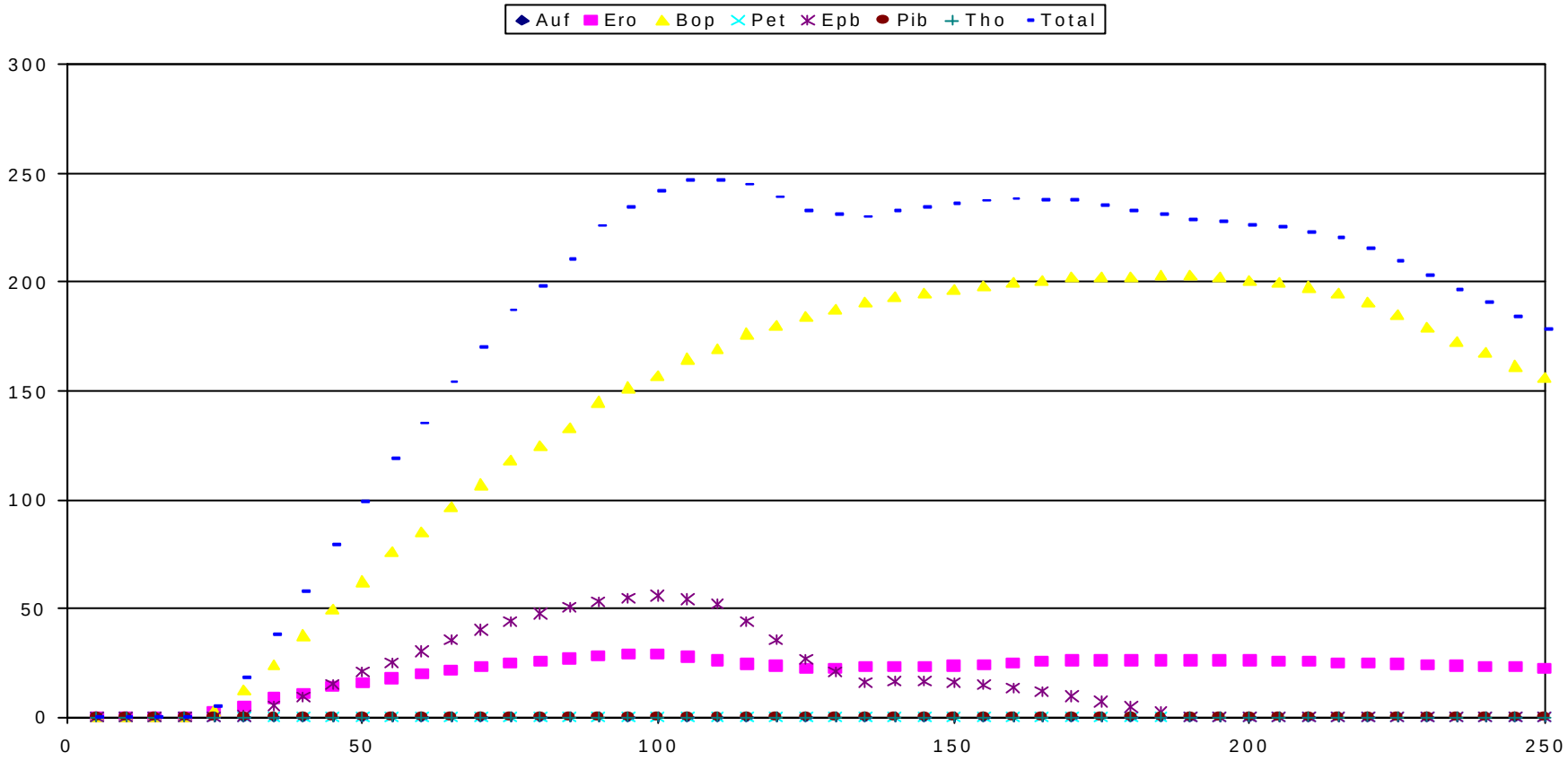


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	47.8	95.6	143	179	208	231	251	267	282	297	311	322	338	328	342	357	369	379	388	397	406	415	423	431	439
H_moy (dm)	0	61	115	138	155	169	181	190	198	206	214	221	225	227	204	210	216	221	224	228	231	235	238	241	244	246
Habitat	111	112	113	113	113	114	114	114	114	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115

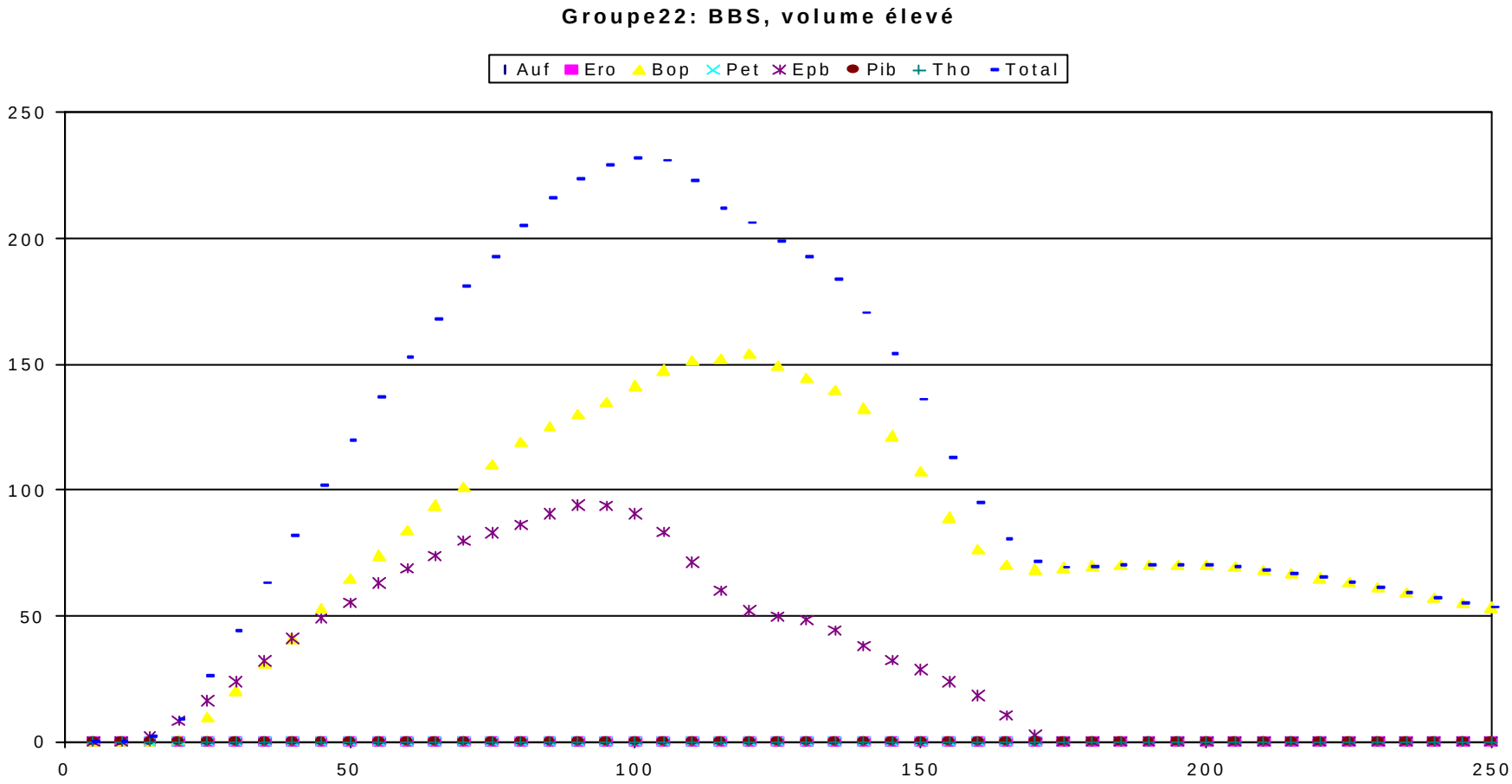


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP moy (mm)	0	48.4	96.9	151	189	219	243	263	281	296	310	325	341	352	224	309	317	324	0	0	0	0	0	0	0	0
H moy (dm)	0	61.5	116	144	163	179	192	203	212	221	228	237	246	254	170	194	197	200	0	0	0	0	0	0	0	0
Habitat	111	112	113	113	113	114	114	114	114	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115

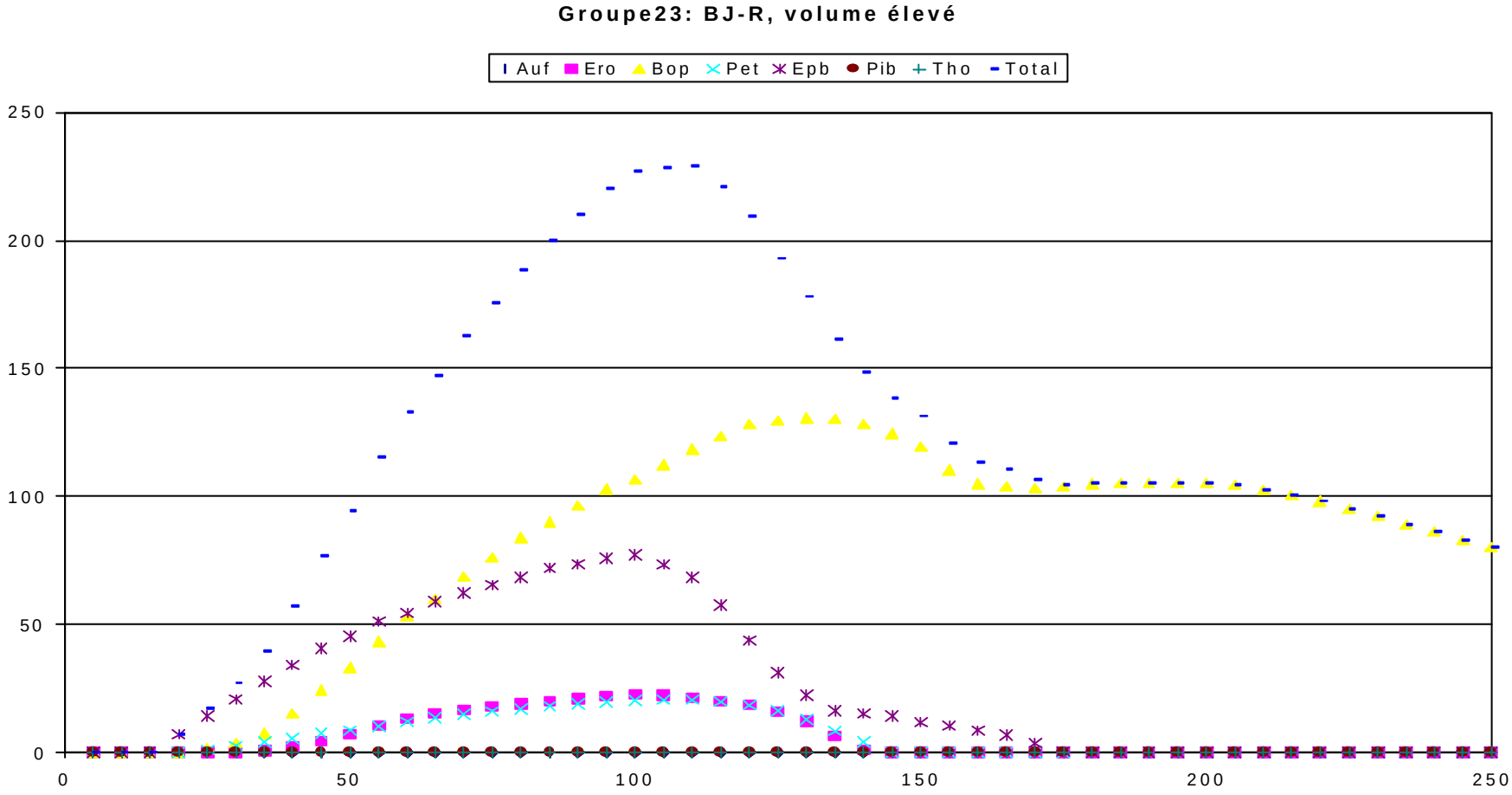
Groupe21: BJ, volume élevé



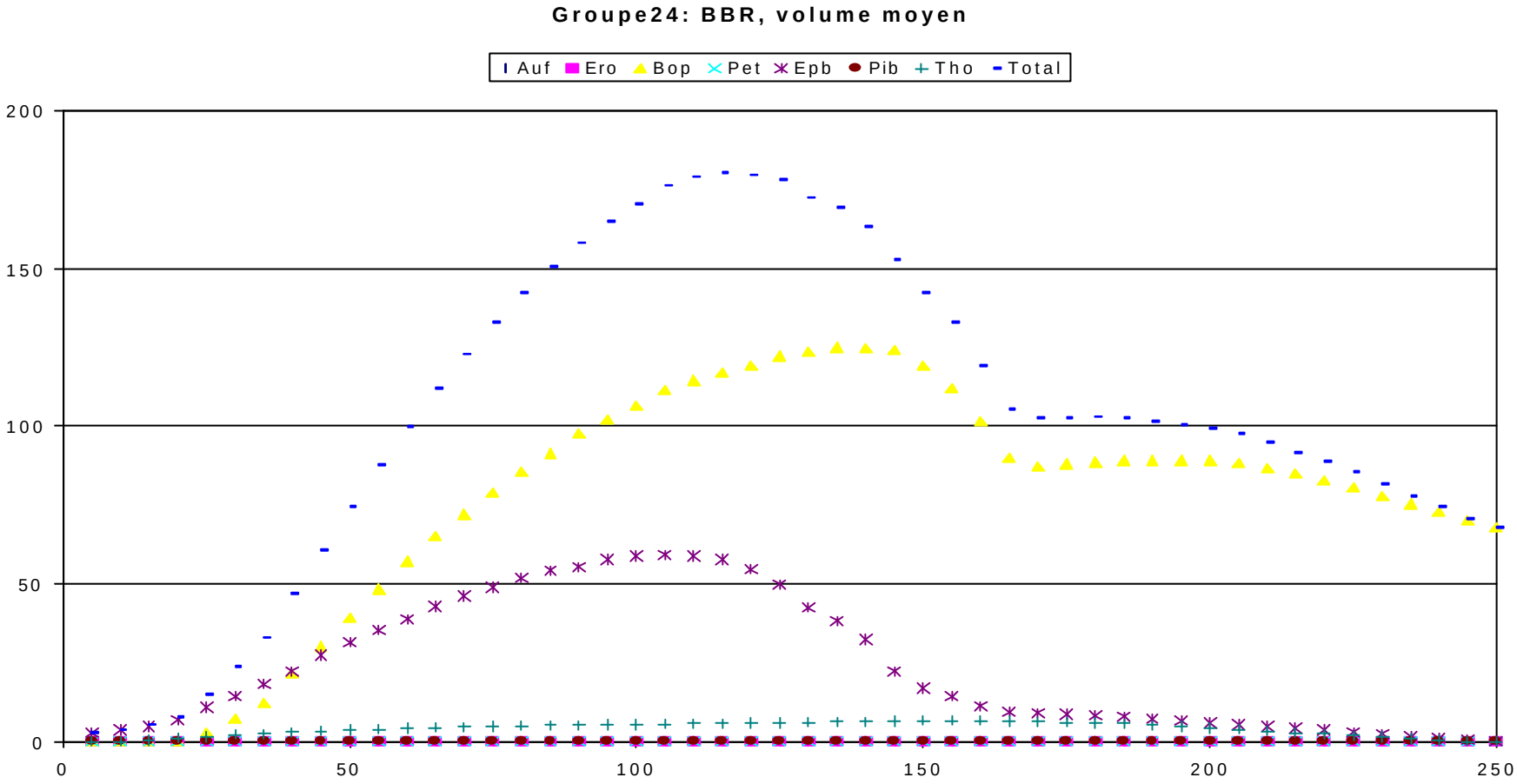
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP moy (mm)	0	33.8	67.6	103	148	183	211	234	254	273	289	307	330	352	368	381	394	408	422	436	445	454	463	471	479	486
H_moy (dm)	0	45.8	97.1	118	131	142	152	159	166	173	179	184	191	197	202	206	210	214	218	222	225	227	230	233	235	238
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125



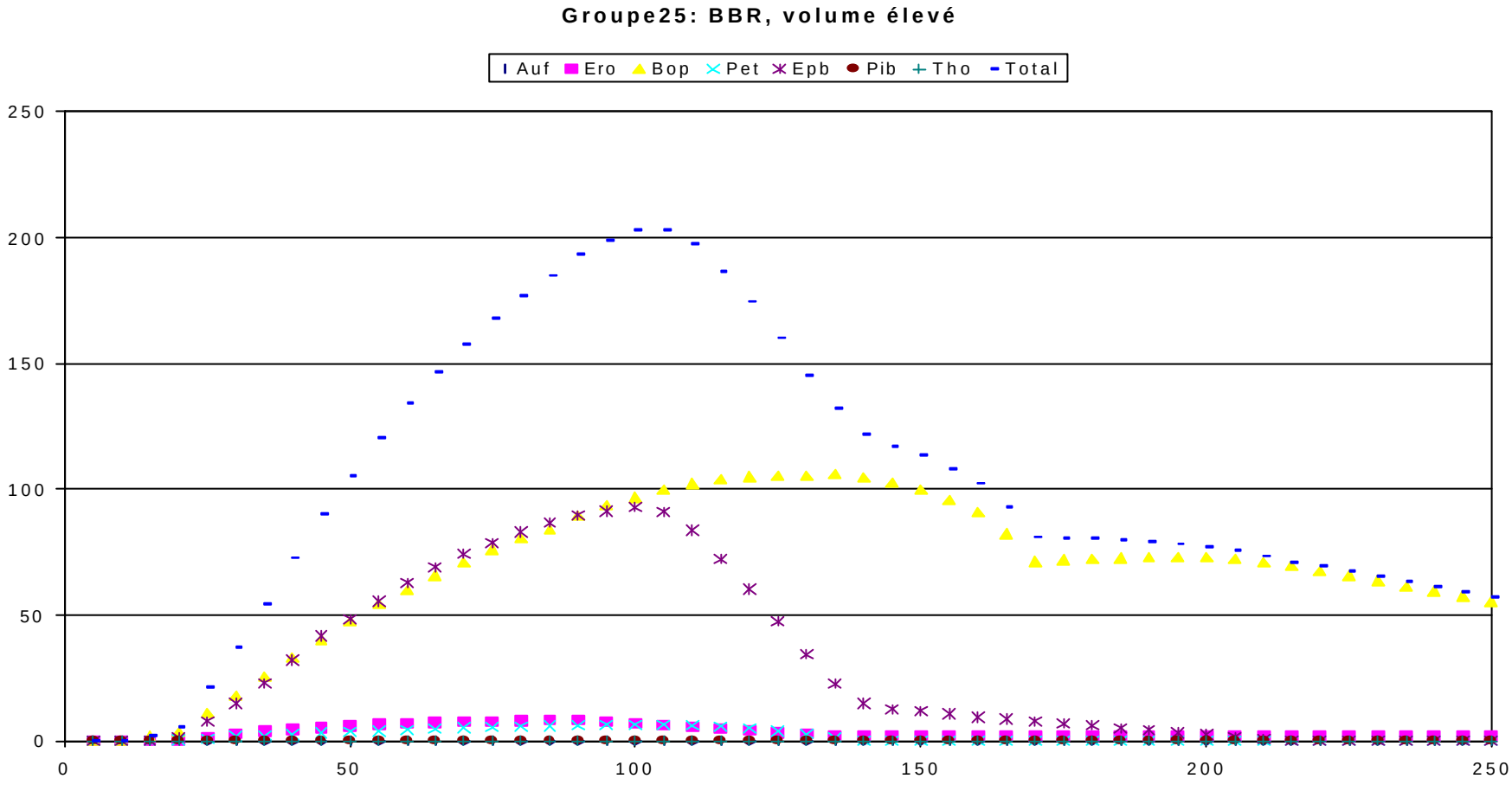
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	66.2	111	127	151	171	188	202	215	226	237	251	264	273	283	291	299	413	431	441	451	460	469	477	485	493
H_moy (dm)	0	53.9	87.3	109	123	133	142	149	156	161	167	172	178	182	186	189	193	212	217	220	223	225	228	230	233	235
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235



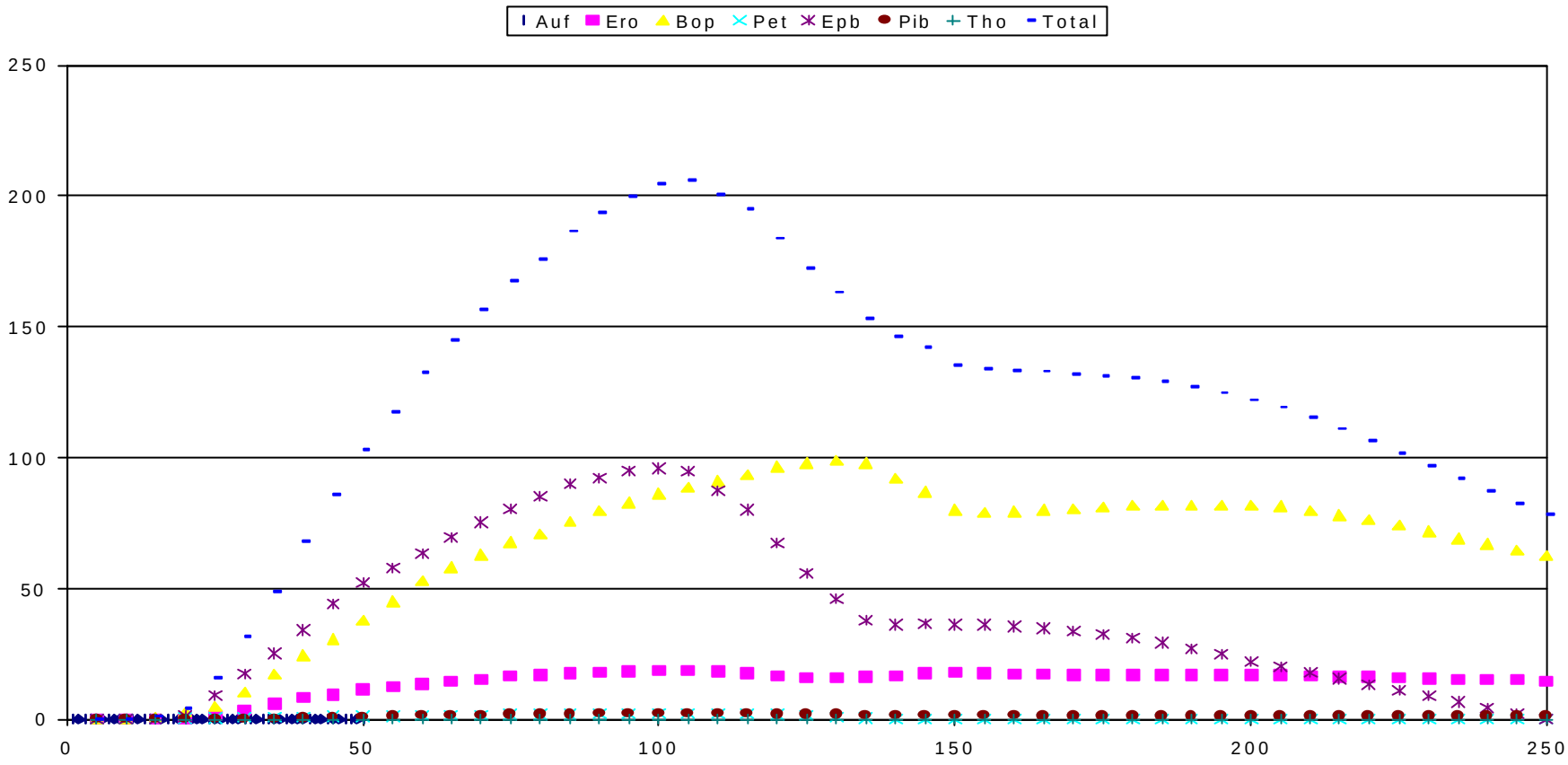
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	57.4	115	134	155	180	204	225	243	259	274	293	318	345	366	381	395	414	431	441	451	460	469	477	485	493
H_moy (dm)	0	46.4	86.5	109	126	139	150	159	166	173	178	185	192	198	201	203	207	212	217	220	223	225	228	230	233	235
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235



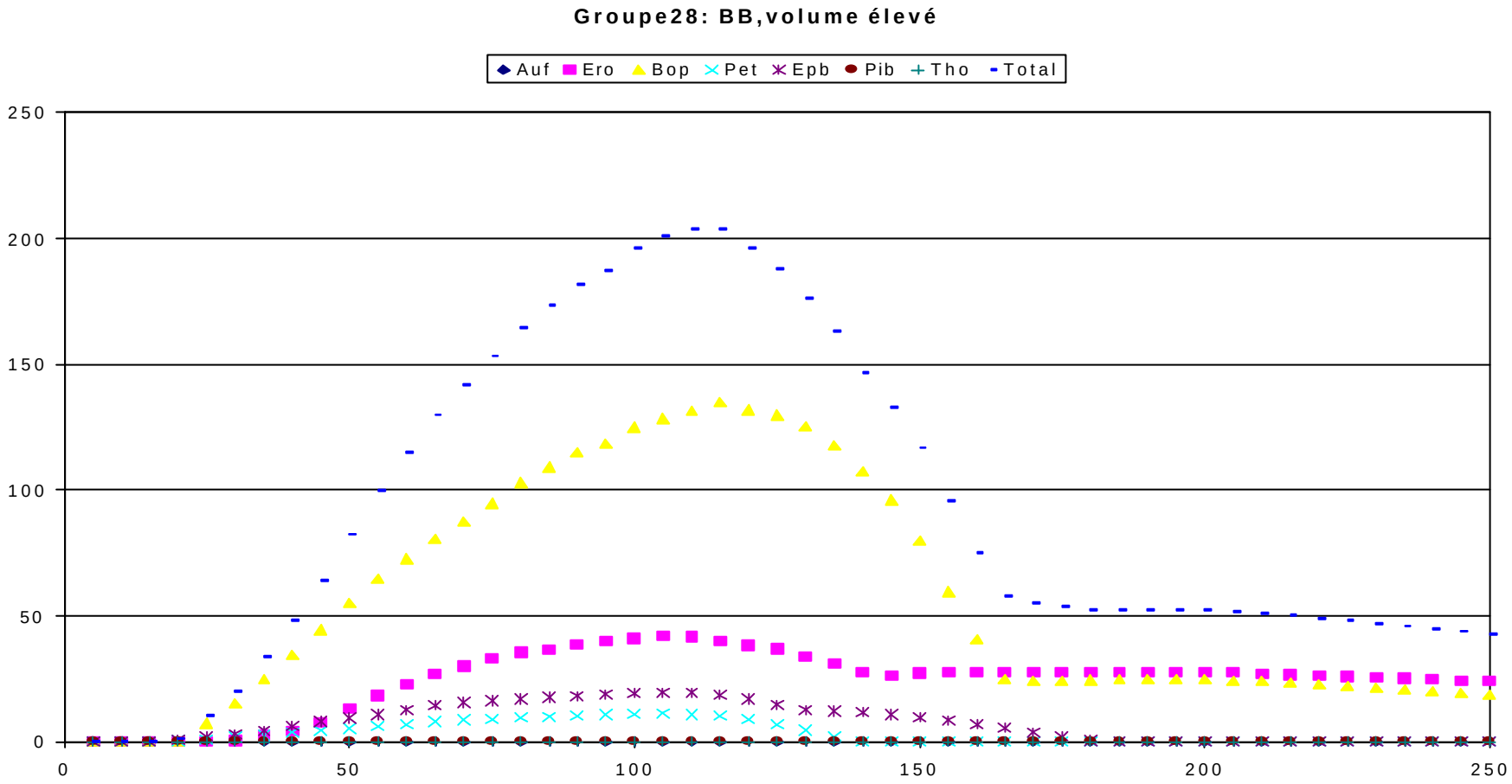
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	77.7	108	127	150	171	189	204	217	230	240	250	261	273	285	300	309	317	410	422	435	446	457	469	481	493
H_moy (dm)	0	57.2	81.7	104	120	132	141	149	155	161	166	171	176	181	185	190	194	196	211	215	219	222	225	229	232	235
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235



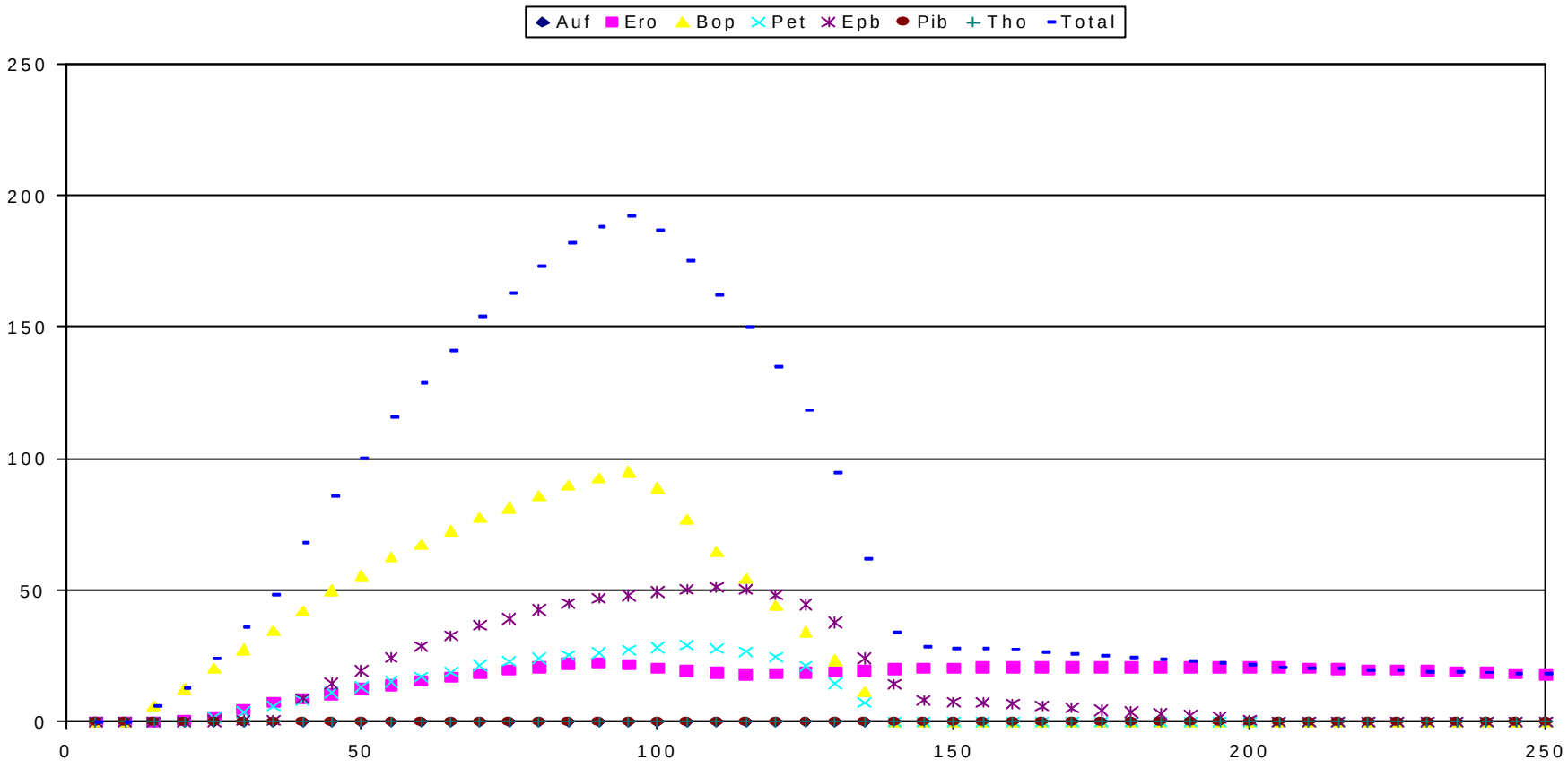
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	77.7	81.6	119	151	179	201	220	236	251	265	282	304	333	363	378	391	401	415	429	443	457	467	476	484	491
H_moy (dm)	0	57.2	93.2	113	127	138	147	154	161	167	173	178	185	192	198	203	207	210	214	218	222	225	228	231	233	236
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235



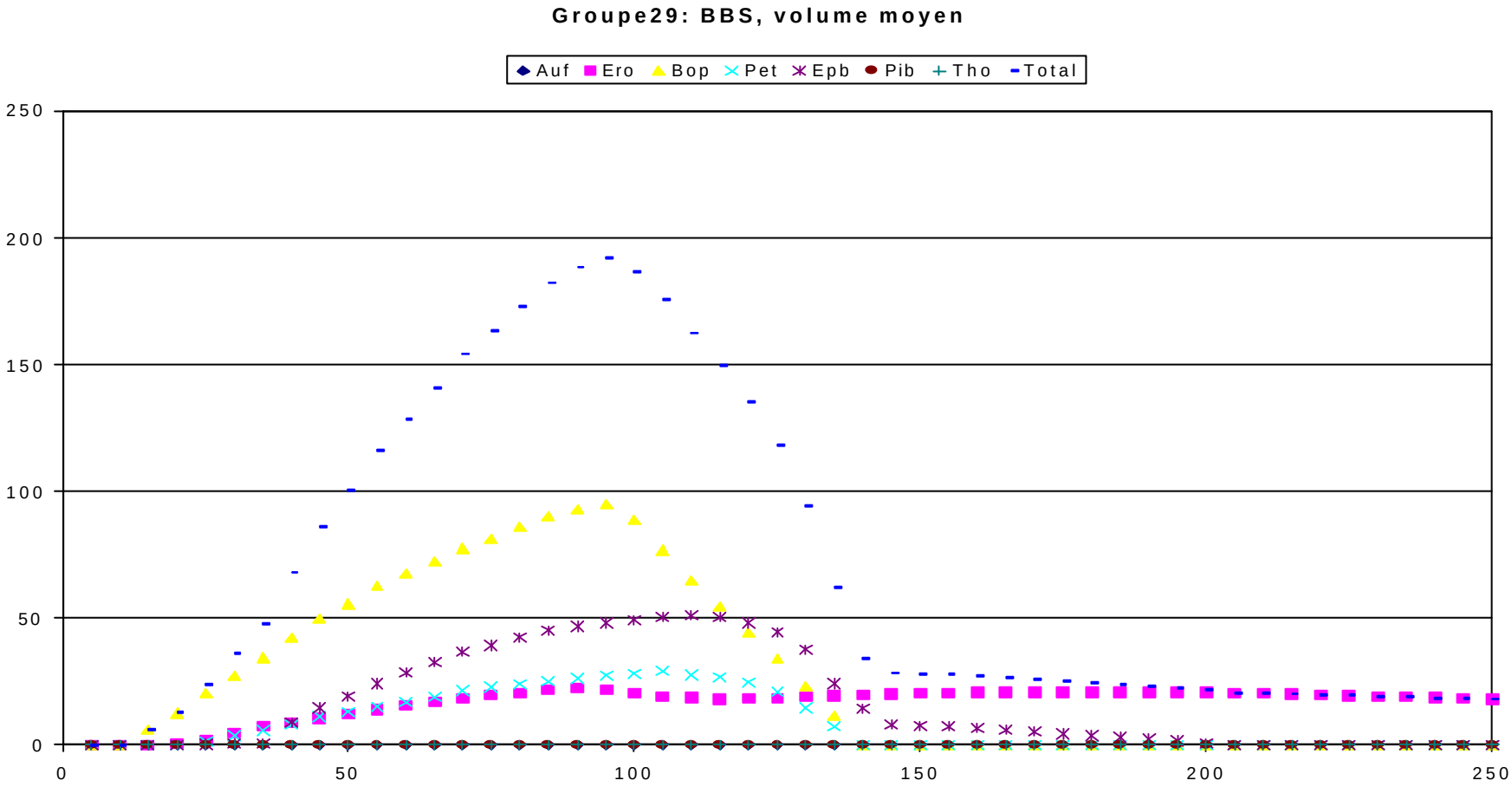
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	36.9	84.8	122	150	177	199	218	234	249	262	278	299	323	339	345	355	366	378	392	406	419	434	448	465	483
H_moy (dm)	0	56.6	92.1	111	126	137	146	154	161	167	172	178	185	191	197	200	203	207	211	215	219	223	227	231	235	240
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235



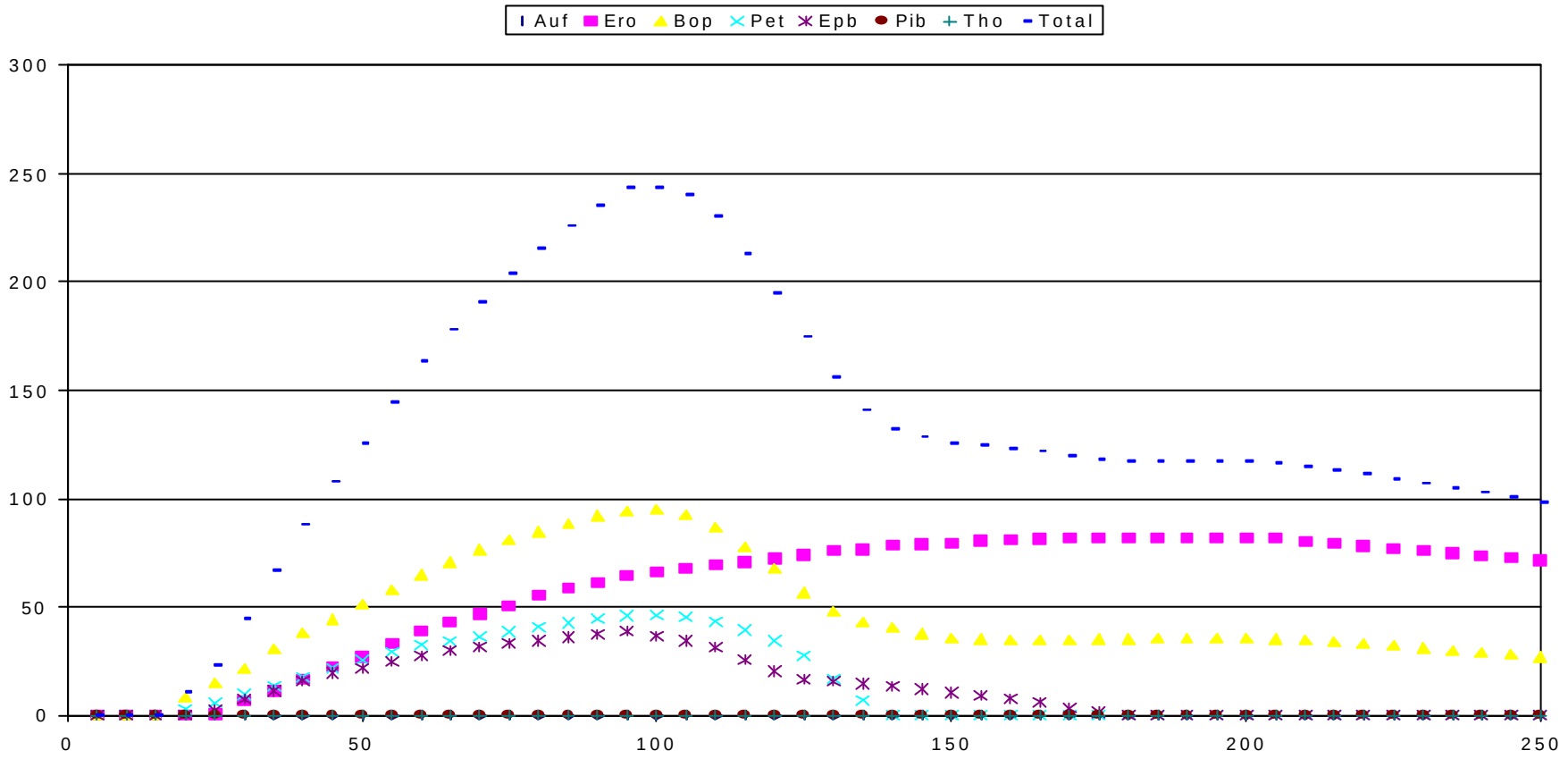
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP moy (mm)	0	54.6	109	123	155	180	200	217	232	245	257	268	278	287	292	313	327	386	406	417	426	434	442	450	457	463
H_moy (dm)	0	51.5	99.2	117	132	143	152	160	166	172	177	181	185	188	189	199	206	220	226	229	232	235	238	241	243	246
Habitat	111	112	113	113	113	114	114	114	114	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115



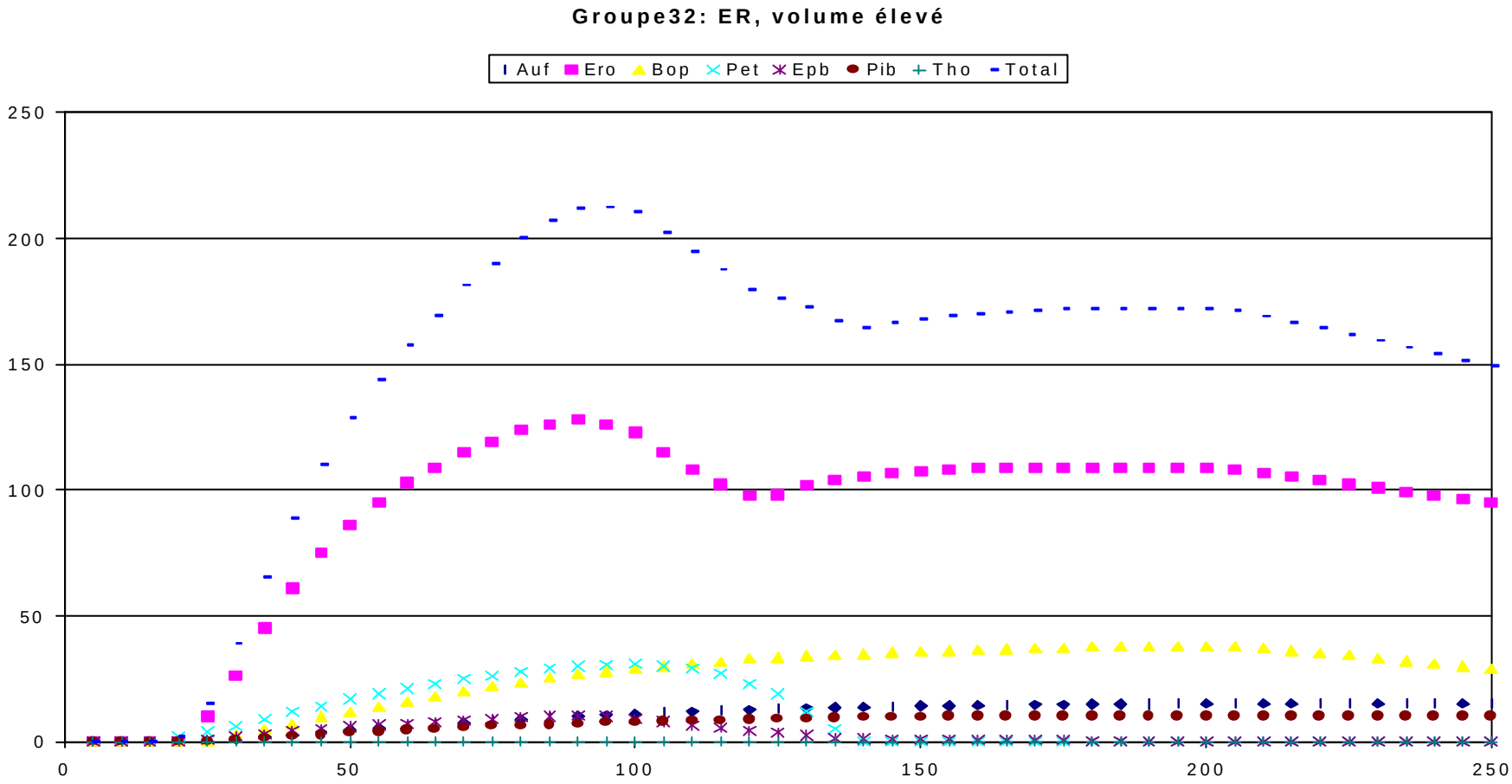
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	35.1	70.7	121	157	182	201	218	232	244	255	263	270	282	293	321	333	348	363	380	398	412	419	427	434	440
H_moy (dm)	0	59	95.8	120	134	145	154	162	168	174	180	186	190	197	199	210	215	221	227	233	239	244	247	249	252	254
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235



Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	35.1	70.7	121	157	182	201	218	232	244	255	263	270	282	293	321	333	348	363	380	398	412	419	427	434	440
H_moy (dm)	0	59	95.8	120	134	145	154	162	168	174	180	186	190	197	199	210	215	221	227	233	239	244	247	249	252	254
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235

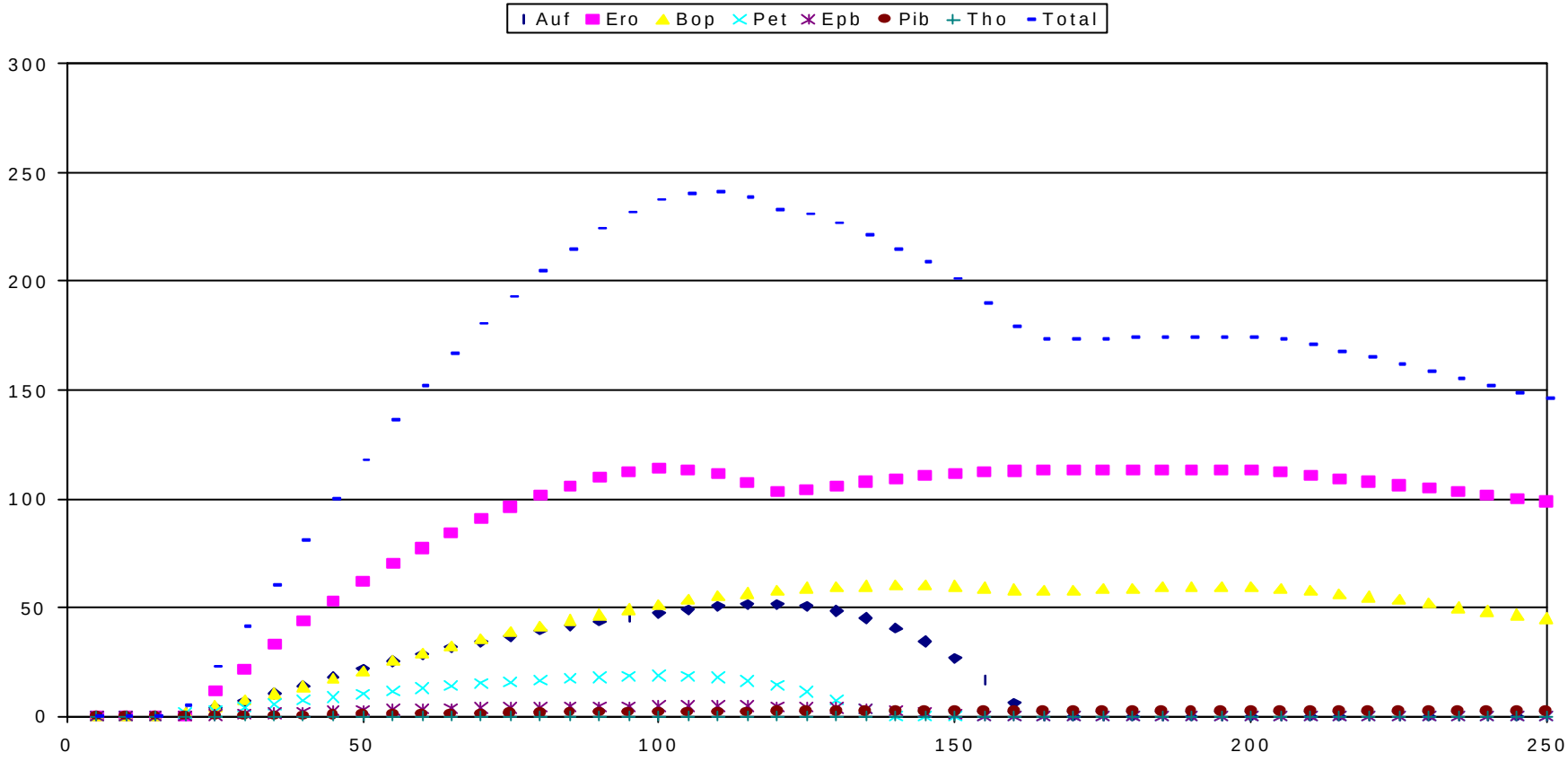


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	38.8	77.5	125	159	186	209	228	245	260	274	288	303	313	319	357	370	386	400	409	418	426	434	441	448	455
H_moy (dm)	0	53.5	101	123	139	152	163	171	179	186	192	198	205	208	206	215	220	225	230	233	236	238	241	244	247	249
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

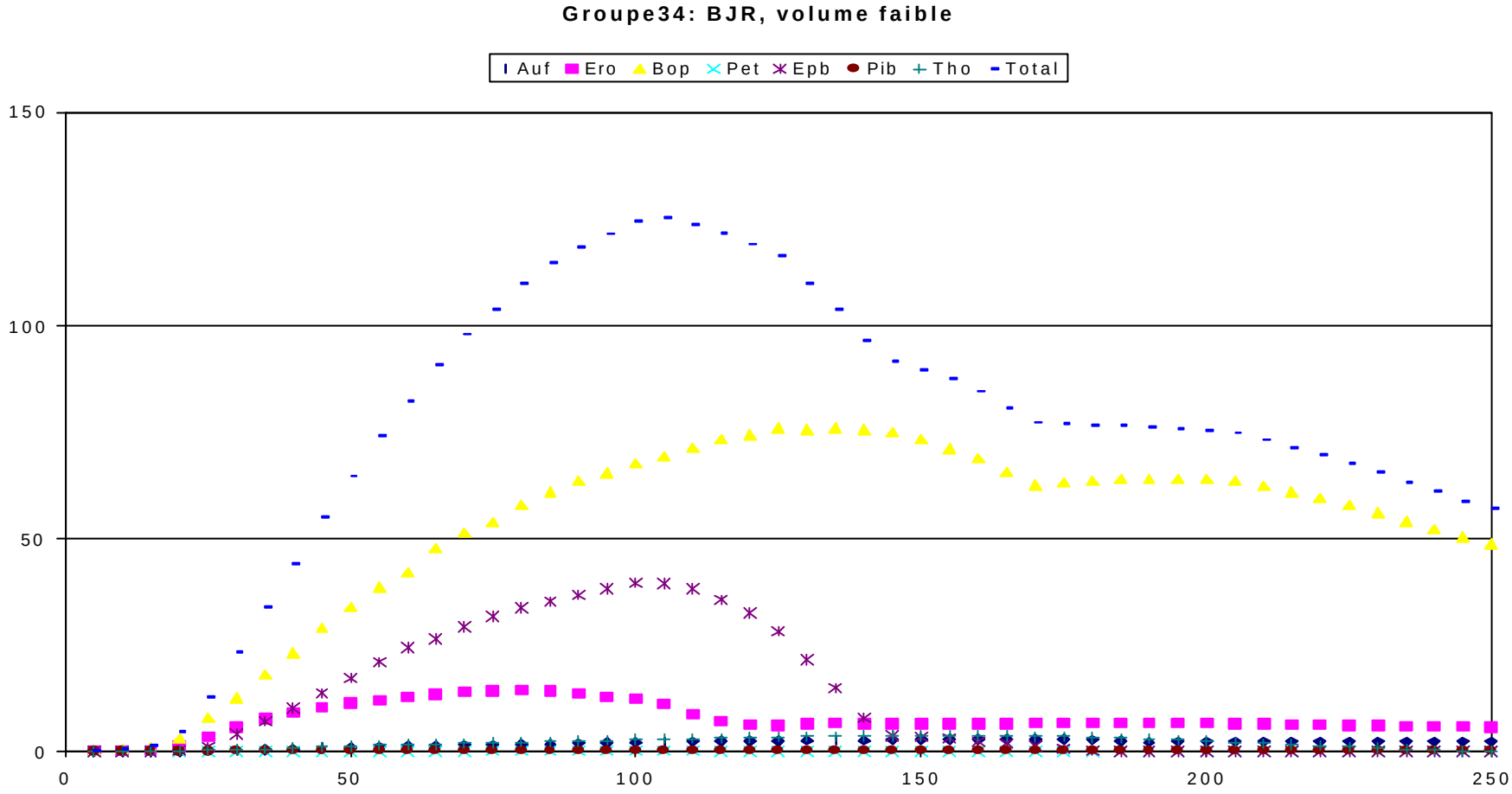


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	50.2	101	125	158	185	207	227	244	259	274	289	302	340	351	363	374	384	394	403	412	420	428	435	441	448
H_moy (dm)	0	60.1	119	127	141	151	160	168	175	181	187	193	196	212	213	217	221	224	227	231	234	237	239	242	244	247
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

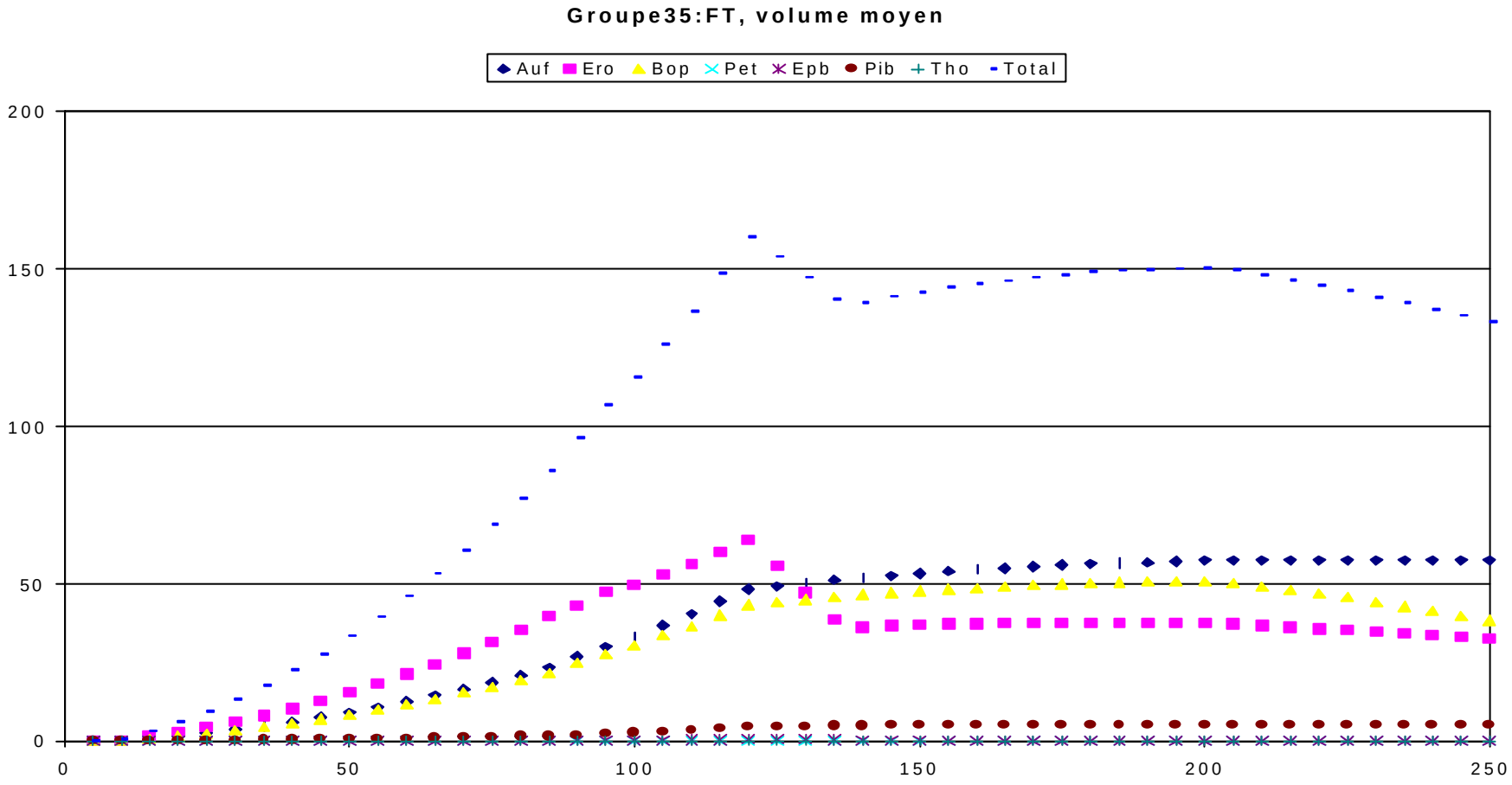
Groupe33: ERBJ, volume élevé



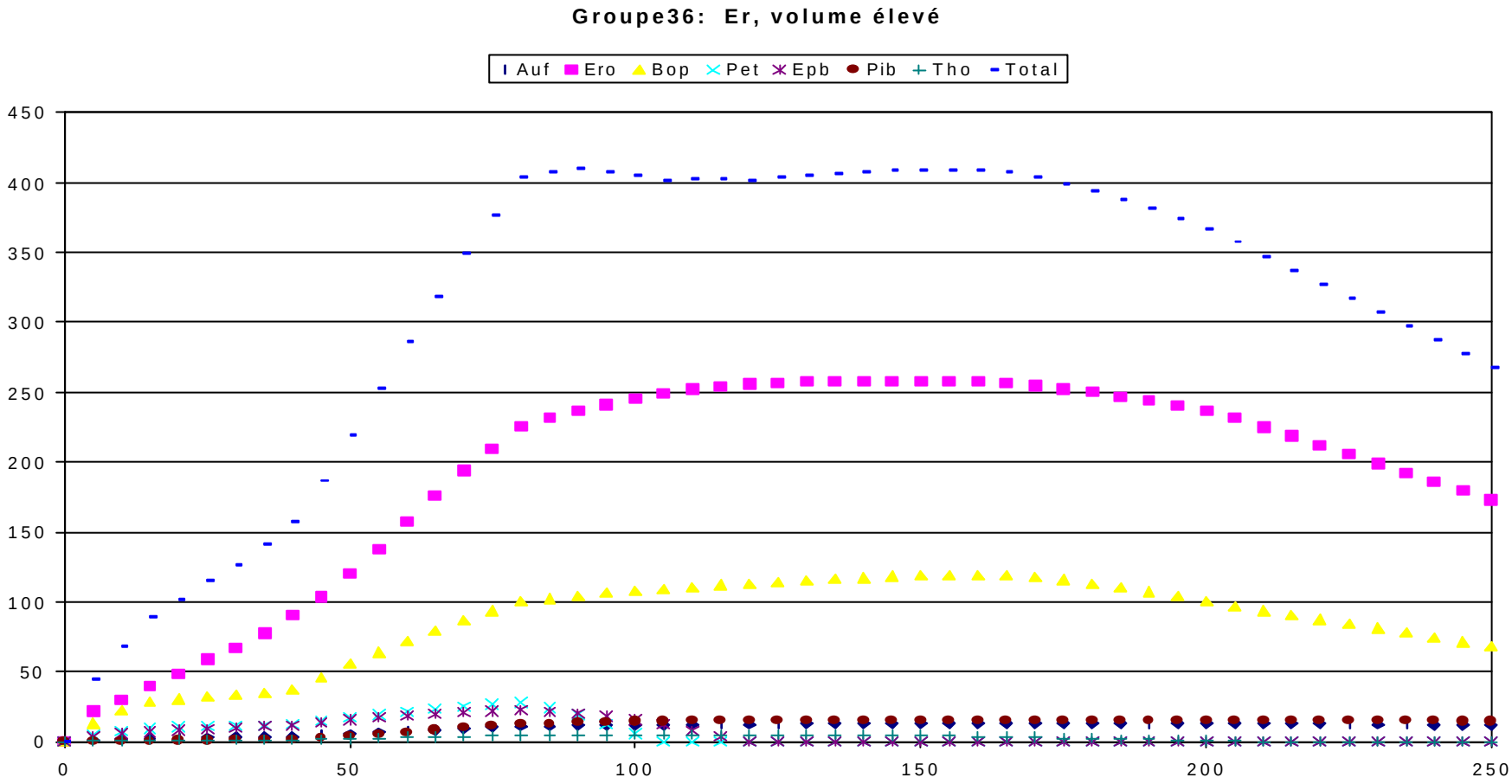
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	39.8	79.6	109	149	183	212	236	256	275	291	305	318	331	344	360	378	391	401	410	419	428	435	442	449	456
H_moy (dm)	0	55.5	105	128	145	157	167	176	184	190	196	201	205	208	211	216	221	225	228	231	234	237	240	242	245	248
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125



Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	35.6	75	114	150	180	204	225	243	260	274	290	309	334	364	383	396	408	422	432	442	452	461	469	477	485
H_moy (dm)	0	54.1	93.6	115	128	139	147	155	162	168	173	178	184	192	200	205	209	213	217	220	223	226	229	232	235	238
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235

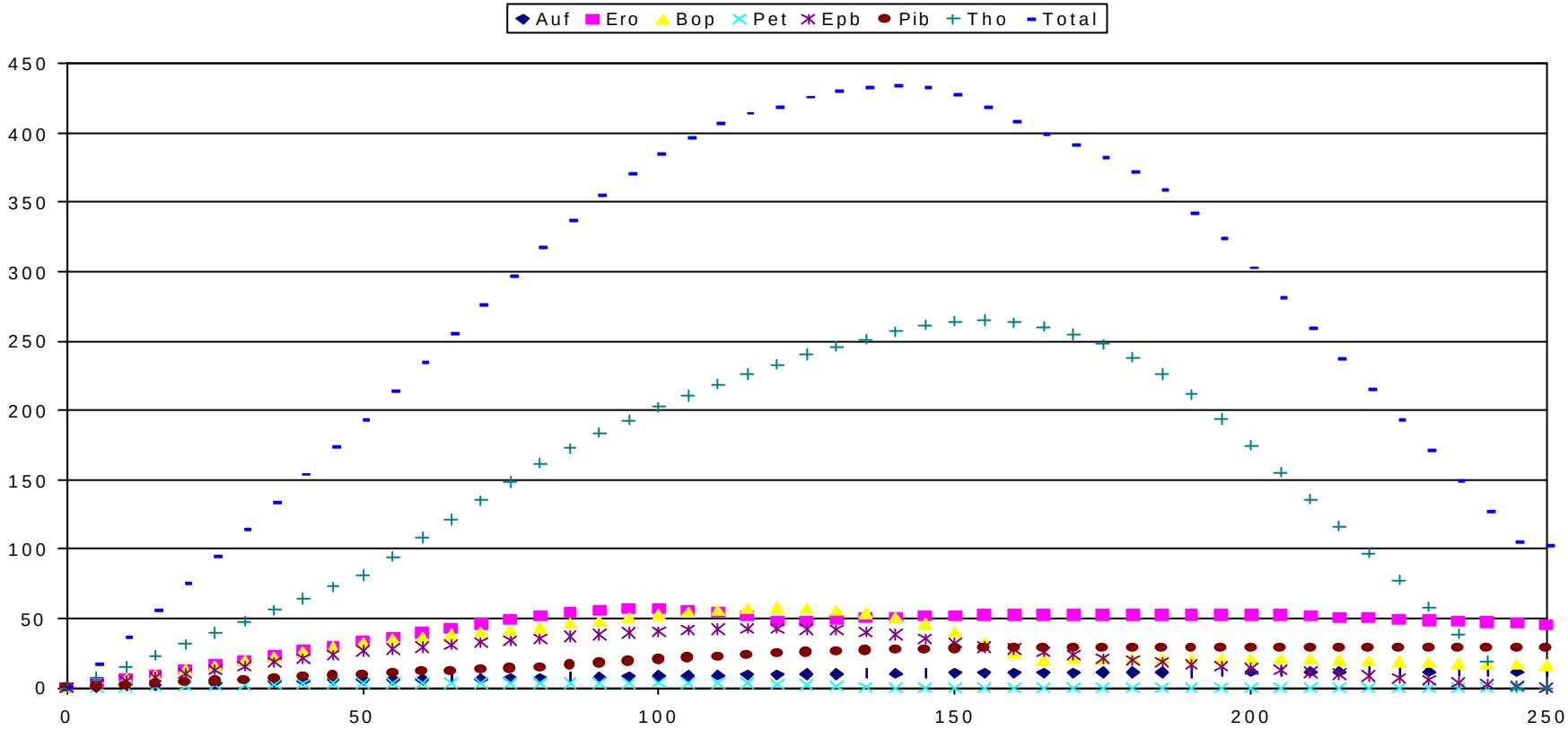


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	37	73.9	111	148	181	207	229	248	266	282	296	309	327	342	369	380	391	400	410	418	426	434	441	448	454
H_moy (dm)	0	67.6	103	123	138	149	158	166	173	179	185	190	194	200	205	216	220	224	227	230	233	236	239	241	244	247
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

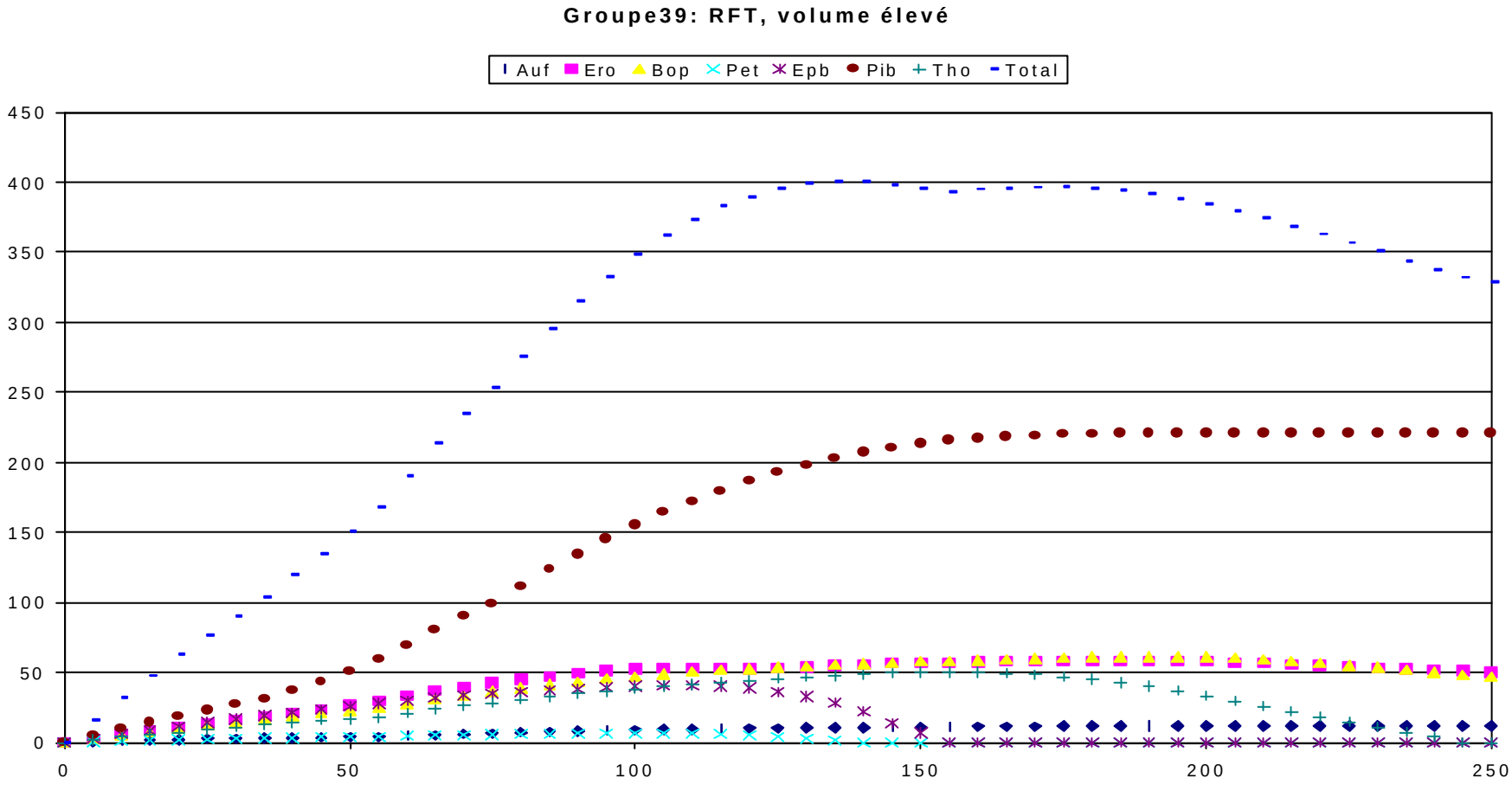


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	38.9	74.2	108	148	184	213	237	259	278	295	312	329	342	355	367	378	388	398	407	415	423	431	438	445	452
H_moy (dm)	0	59.2	100	125	142	154	165	174	181	187	192	198	203	208	212	216	220	224	227	230	234	237	239	242	244	246
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

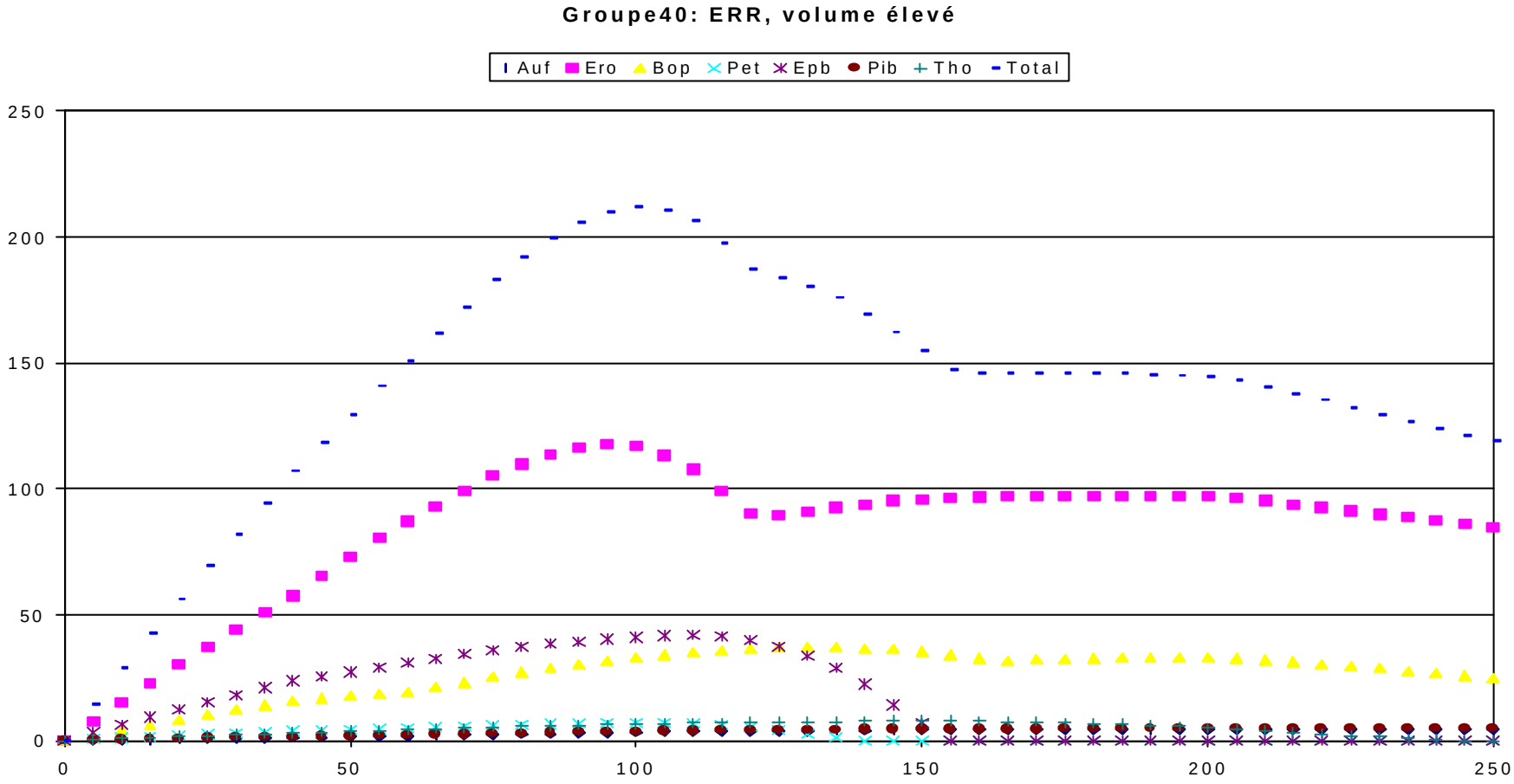
Groupe37: RFT volume élevé



Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	39.2	73.4	106	142	173	197	219	237	254	269	282	296	308	319	330	340	350	360	369	379	390	401	413	430	448
H_moy (dm)	0	38.4	74.9	97.5	114	126	134	142	148	155	160	165	169	173	177	181	184	187	192	196	201	207	213	221	234	245
Habitat	241	241	242	242	243	243	243	244	244	244	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245

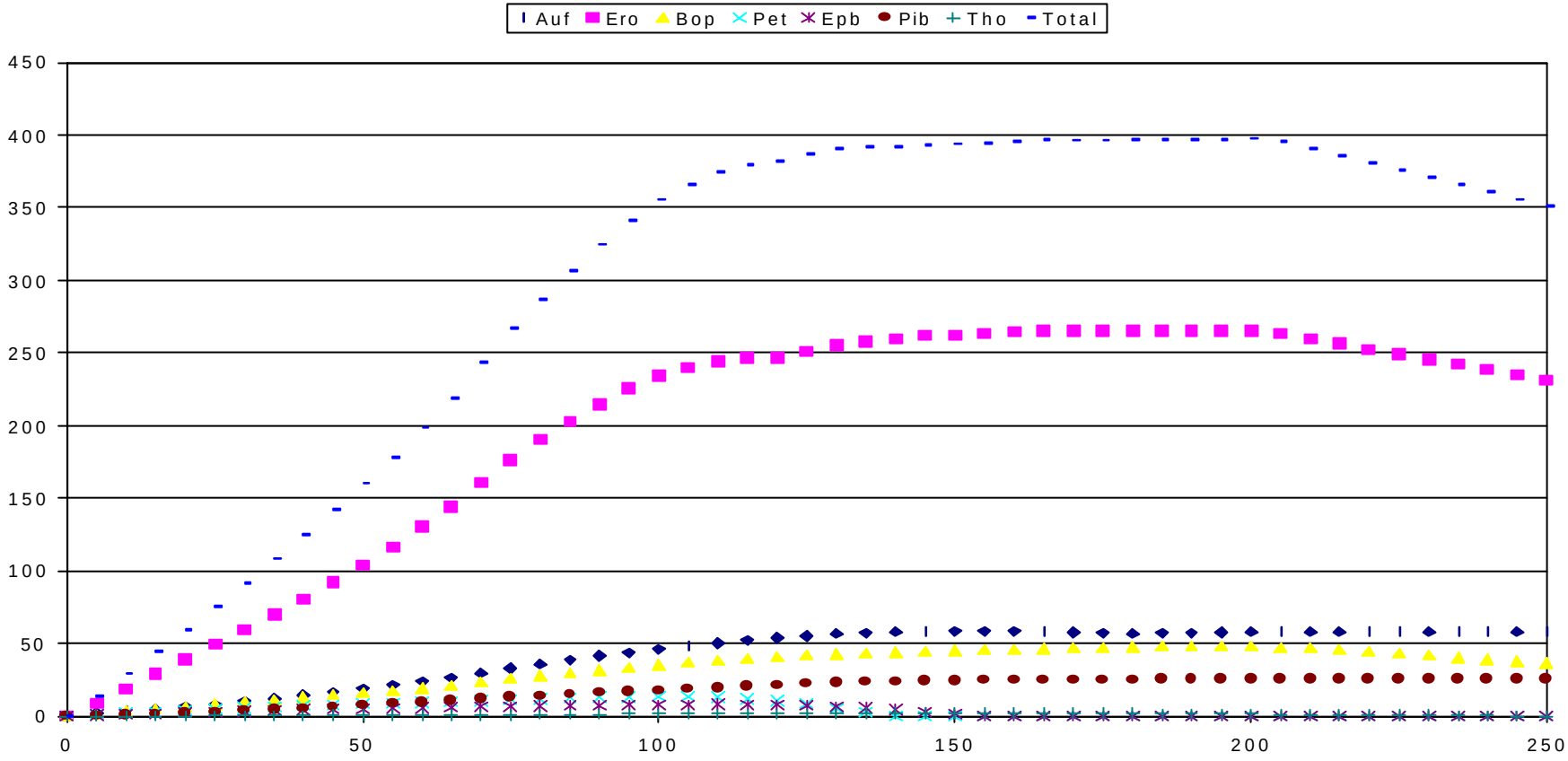


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	41	75.3	107	142	174	199	222	241	258	274	288	301	314	328	343	355	365	374	383	392	400	407	414	420	426
H_moy (dm)	0	39.8	77.1	99.9	116	127	137	145	152	158	163	168	172	176	180	185	189	192	196	199	203	206	209	211	214	216
Habitat	241	241	242	242	243	243	243	244	244	244	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245

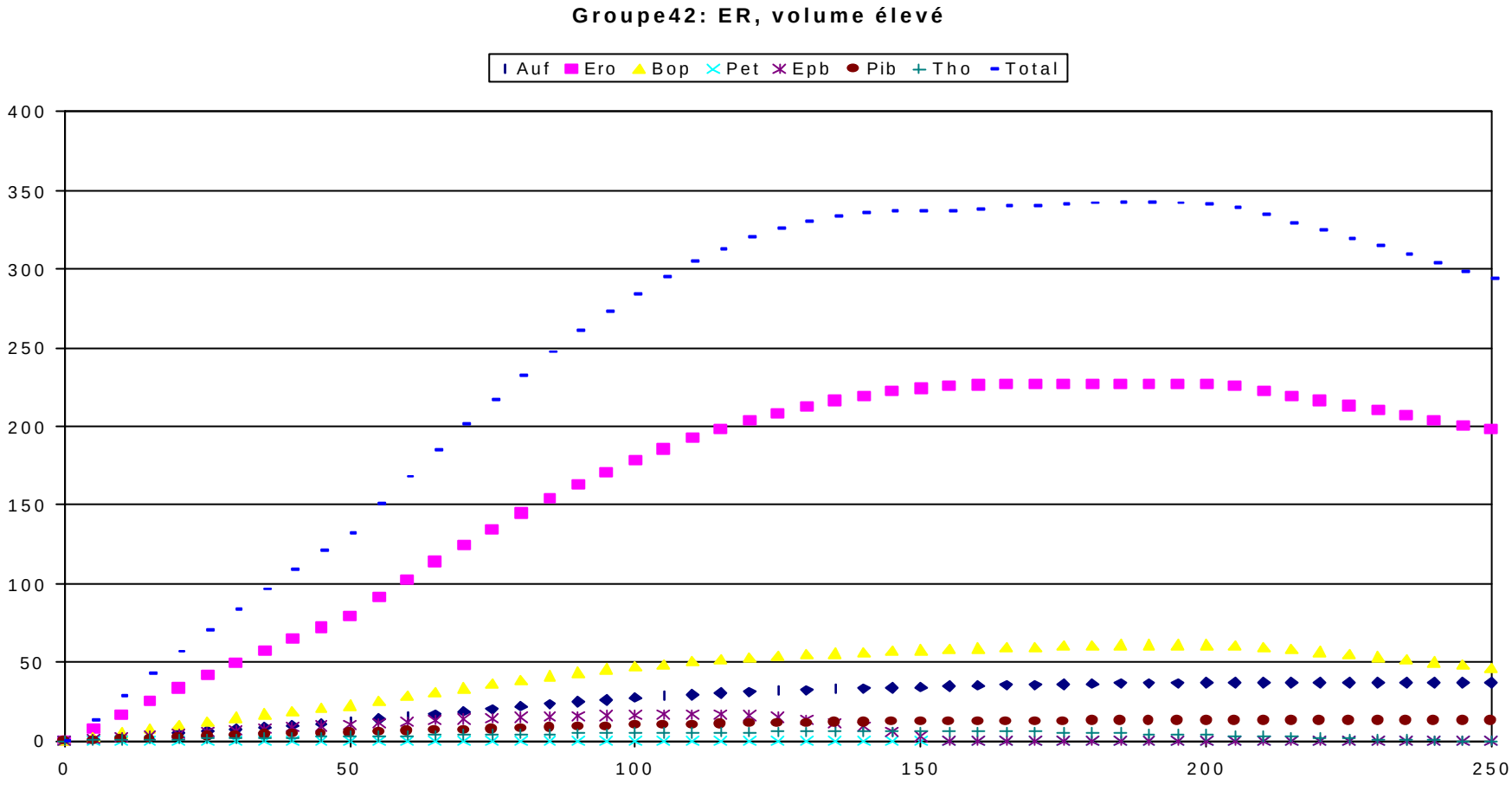


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	45.7	82.5	117	150	177	199	219	236	251	264	278	293	311	328	351	372	384	394	403	412	421	428	436	443	450
H_moy (dm)	0	63.5	98.5	119	134	145	155	163	170	176	181	186	192	199	204	212	219	223	226	230	233	236	239	242	245	248
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235

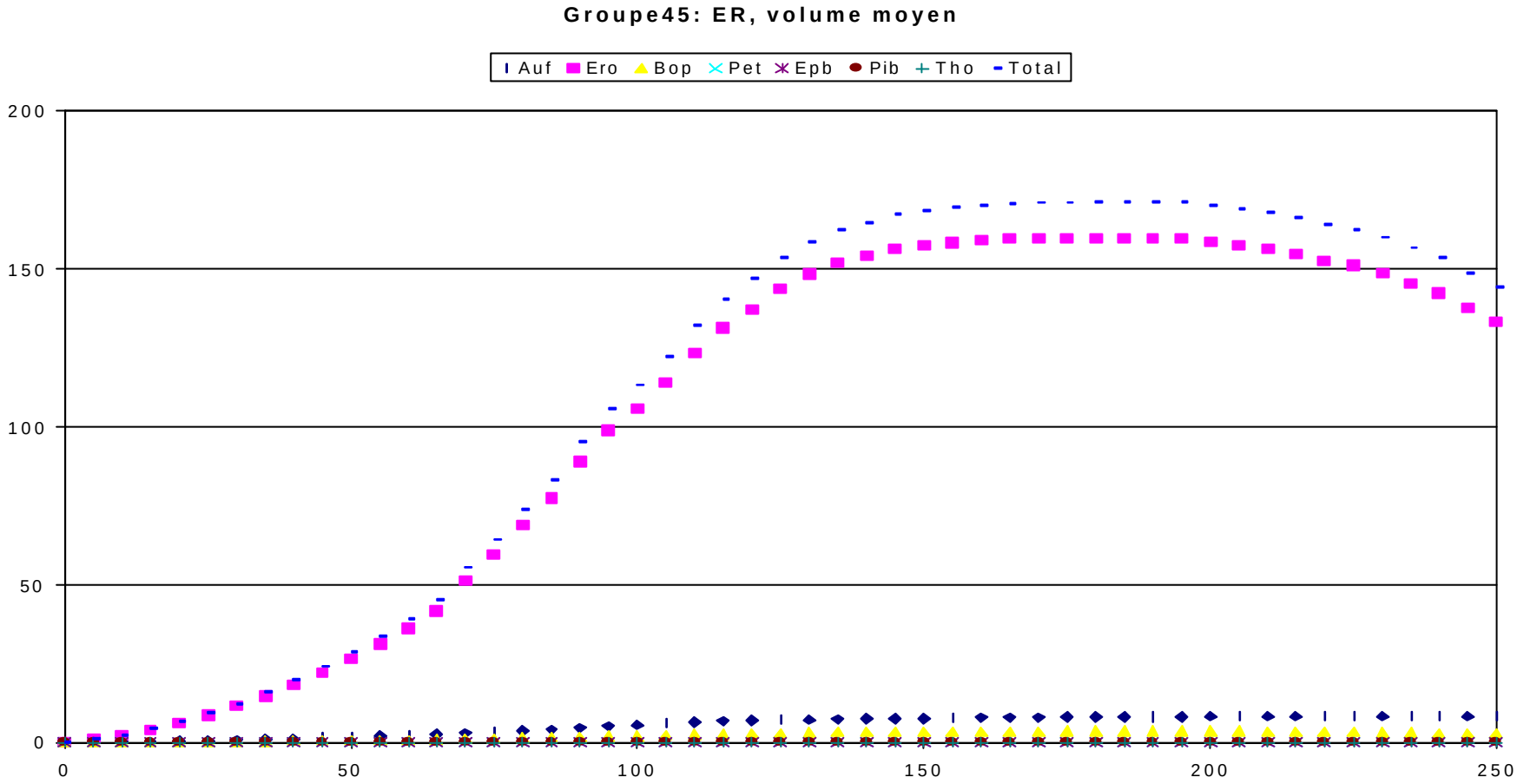
Groupe41: ER, volume élevé



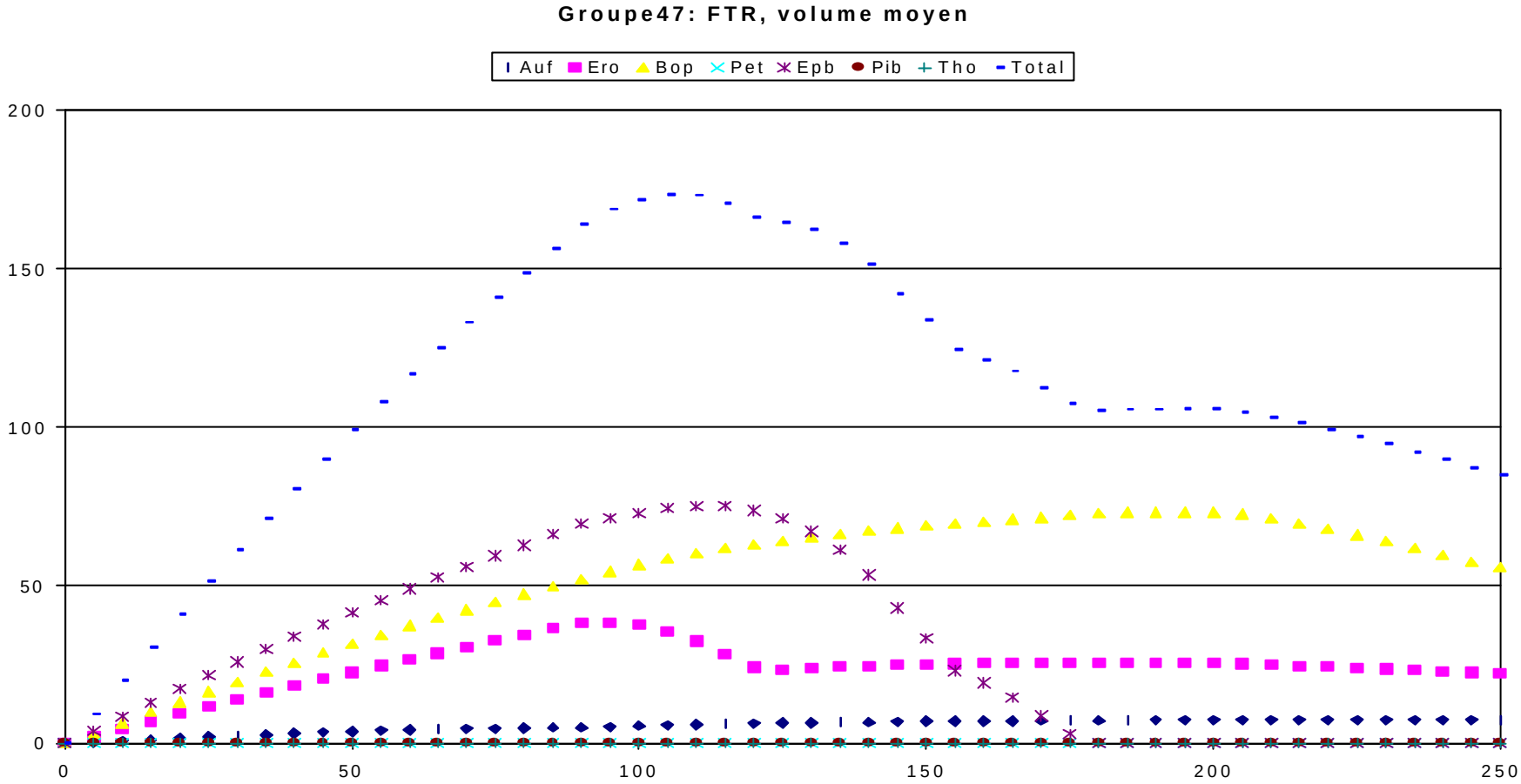
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	35.7	69.8	104	145	181	210	234	256	275	292	307	321	334	346	359	370	380	390	399	407	415	423	430	436	443
H_moy (dm)	0	62	103	126	143	156	167	176	184	190	197	202	206	210	214	218	222	226	229	232	235	238	241	243	246	248
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125



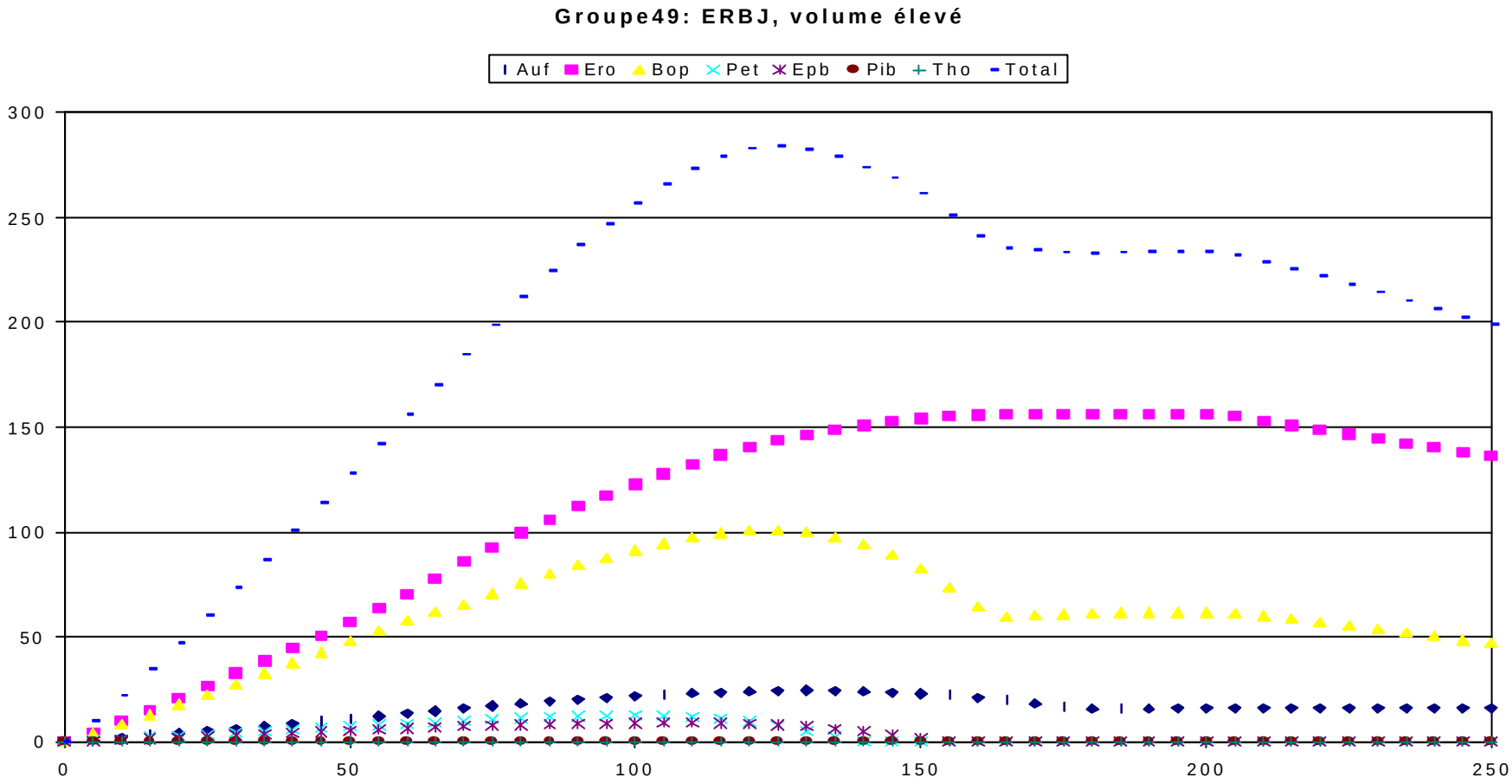
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	36.5	69.8	102	143	178	207	232	253	272	289	305	319	333	347	361	373	383	393	402	411	419	426	434	440	447
H_moy (dm)	0	59.2	98.6	122	138	151	162	171	179	186	192	198	203	208	213	218	222	225	229	232	235	238	241	244	246	249
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125



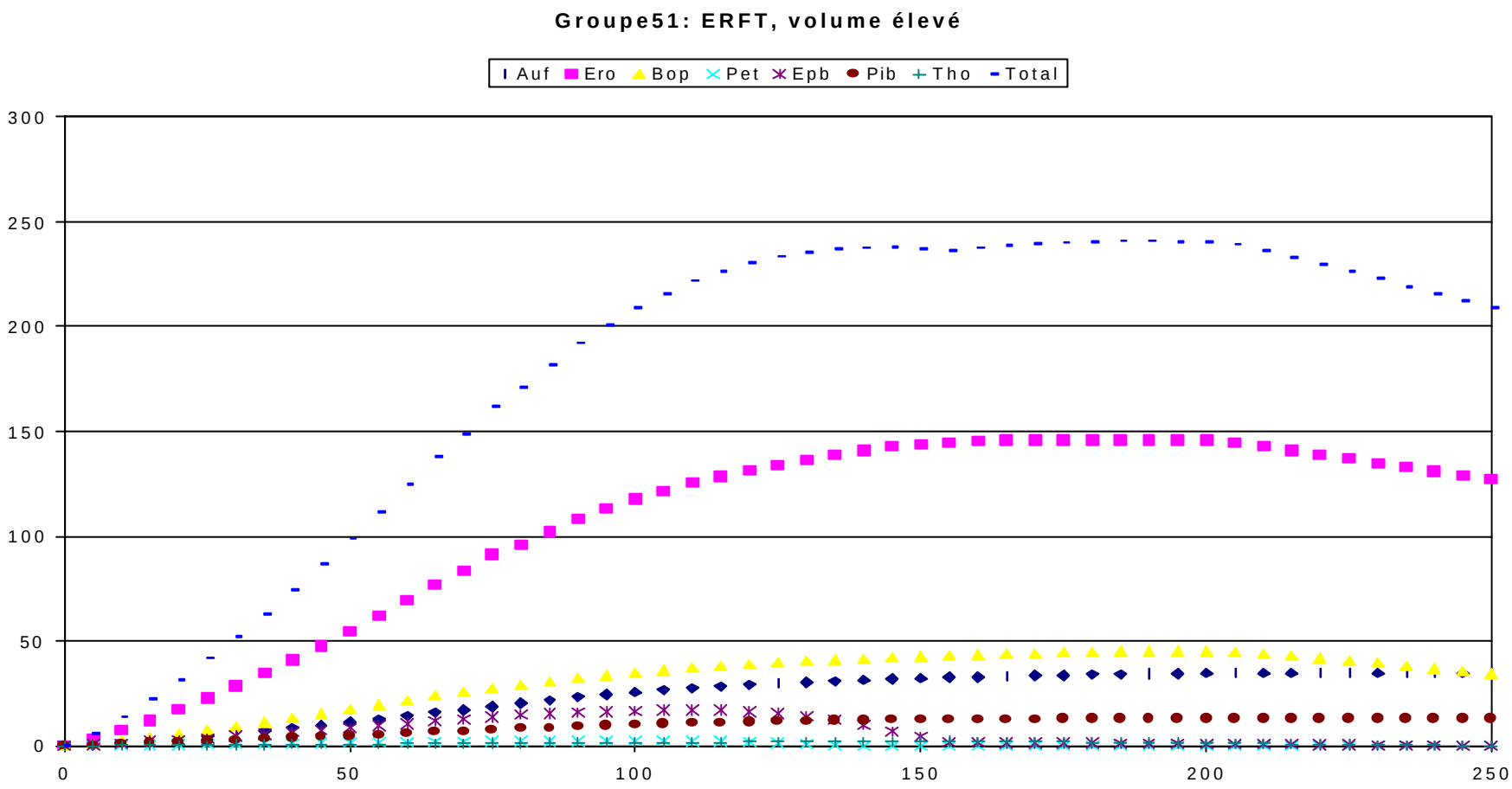
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	32.8	65.5	98.3	141	178	208	233	255	274	291	307	321	334	346	358	368	378	387	396	405	413	420	428	434	441
H_moy (dm)	0	65.2	106	130	147	160	170	179	187	194	200	206	211	216	220	224	228	231	235	238	241	244	247	249	252	254
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125



Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	54.1	91.1	121	151	176	196	214	229	242	254	266	285	299	318	344	369	393	417	427	436	445	453	461	468	475
H_moy (dm)	0	60.8	93.8	113	127	137	146	153	160	165	170	175	183	188	194	202	209	216	222	225	228	231	234	237	239	242
Habitat	231	231	232	233	233	233	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235

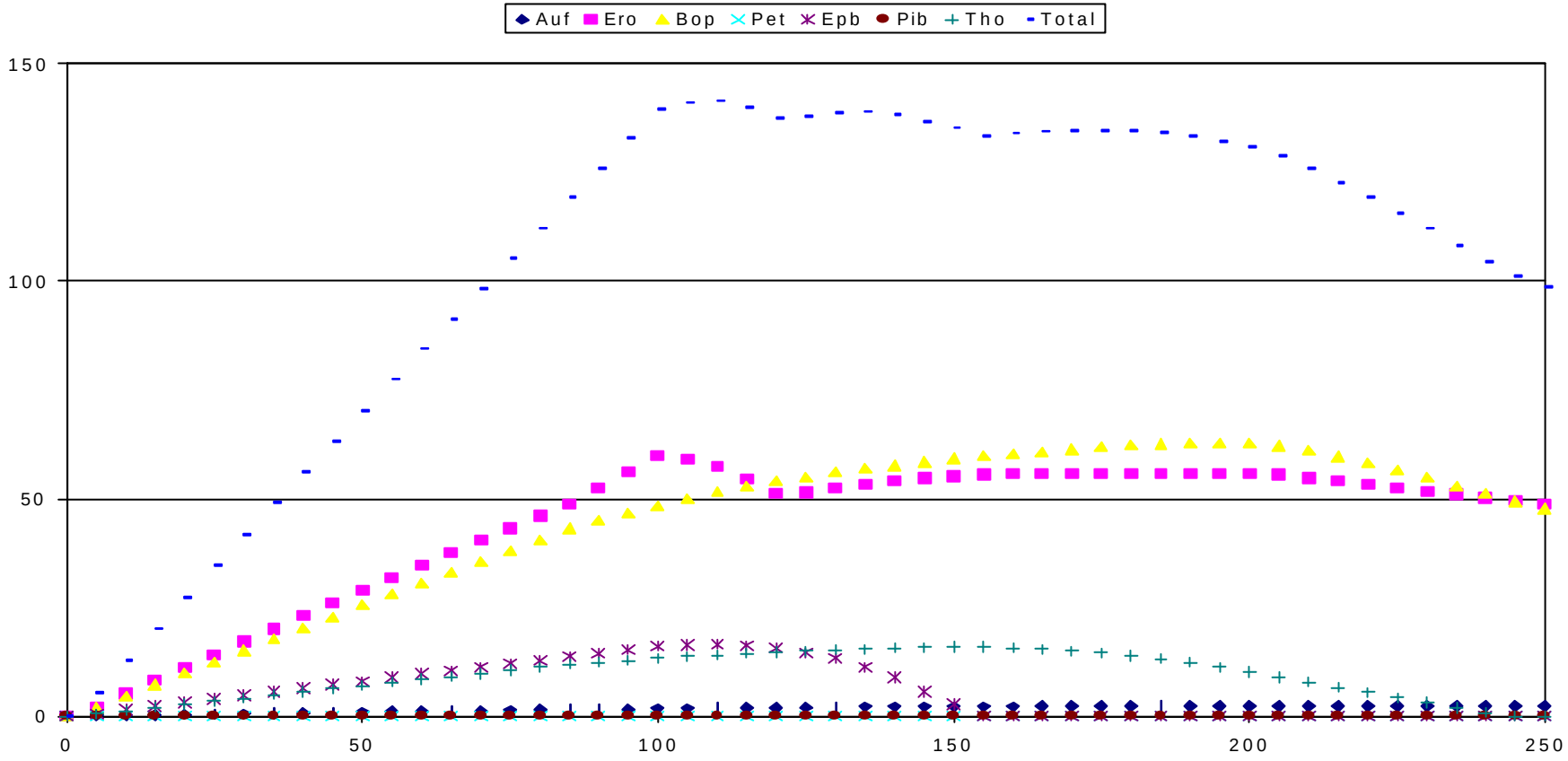


Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	36.8	71.9	111	149	180	205	226	245	261	276	289	301	312	323	336	378	388	398	407	416	424	432	439	446	453
H_moy (dm)	0	64.2	102	124	140	152	162	171	178	185	191	196	200	204	208	213	223	227	230	233	236	239	242	245	247	250
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125



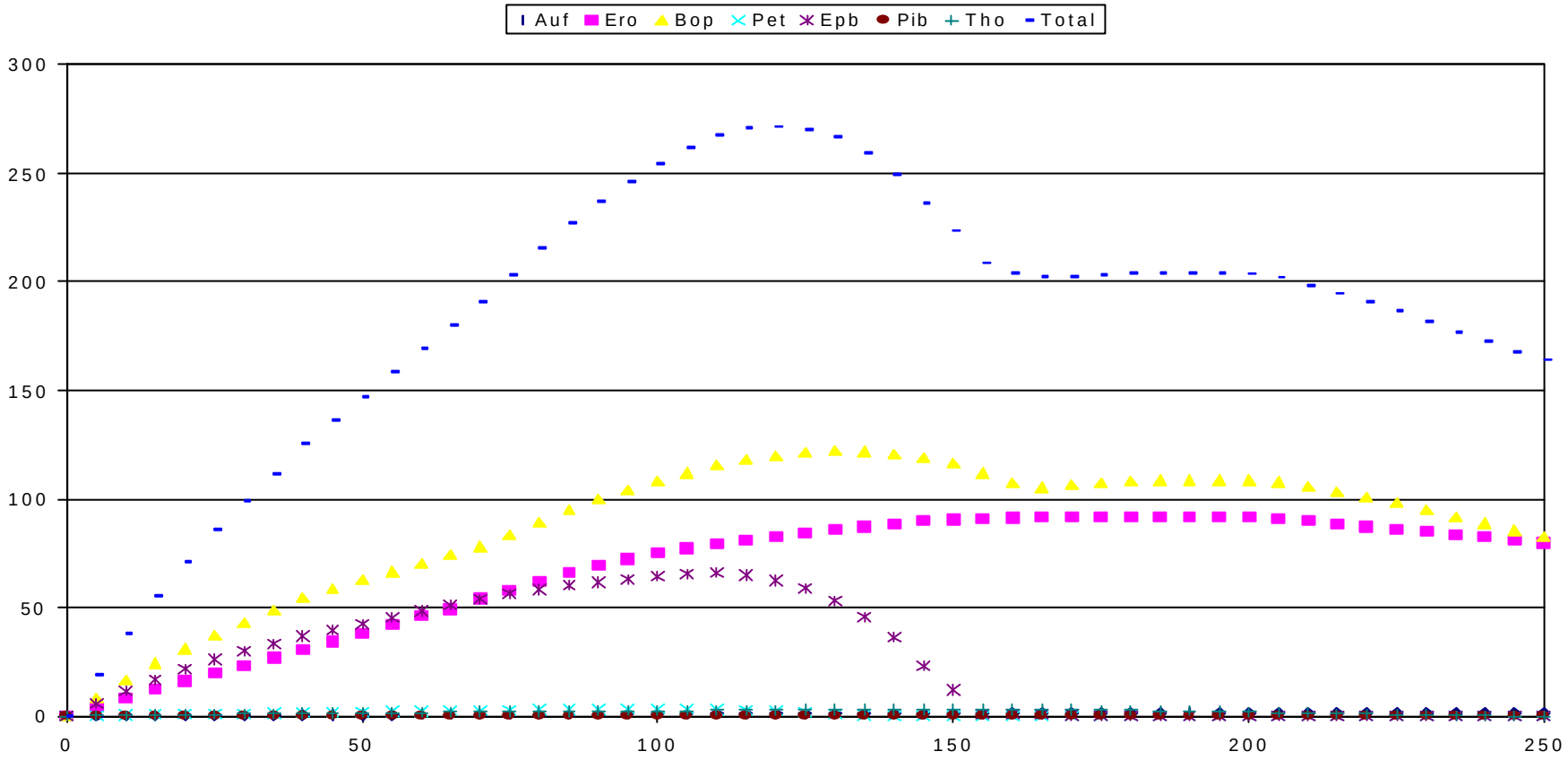
Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	37	71	103	144	179	207	231	252	271	288	303	317	331	345	360	372	382	392	401	410	418	426	433	440	446
H_moy (dm)	0	59	98	122	138	151	162	171	178	185	191	197	202	207	212	217	221	224	228	231	234	237	240	243	245	248
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Groupe52: ERBJ, volume faible



Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	42	79	114	149	179	204	225	243	259	272	286	319	334	350	368	382	393	404	414	424	433	442	450	458	466
H_moy (dm)	0	60	94	114	128	139	148	156	162	168	174	178	193	198	203	208	213	217	220	224	228	231	235	239	242	245
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Groupe53: ERBJ, volume élevé



Âge	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
DHP_moy (mm)	0	48	83	115	148	178	202	223	242	258	273	287	301	316	333	361	388	399	410	419	428	437	445	453	460	467
H_moy (dm)	0	58	94	115	130	142	152	161	168	175	180	186	191	196	202	210	217	221	224	228	231	234	237	239	242	245
Habitat	121	121	122	122	123	123	123	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125