

Titre : Évaluation des prévisions du modèle NATURA-2014 sur les végétations potentielles MS2, RE2 et RS2 des domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses

Responsables : Isabelle Auger, stat. ASSQ, M. Sc.

Collaborateurs : Hugues Power, ing.f., Ph. D.

Date : Avril 2016

1- Contexte

Lors du calcul des possibilités forestières pour la période 2013–2018, le Bureau du forestier en chef (BFEC) a utilisé le modèle de croissance forestière NATURA-2009 (Pothier et Auger 2011) pour simuler la croissance des peuplements formant les strates d'aménagement situées sur les végétations potentielles MS2 (sapinière à bouleau blanc), RE2 (pessière noire à mousses ou à éricacées) et RS2 (sapinière à épinette noire) dans les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses (Poulin 2013). Pour le calcul des possibilités forestières de la période 2018–2023, le BFEC utilise le modèle de croissance NATURA-2014 (Auger *et al.* en préparation) pour simuler la croissance de ces mêmes types de peuplement. Cette version du modèle résulte d'un nouvel étalonnage du modèle de 2009 après l'ajout de mesures provenant du 4^e inventaire écoforestier dans les placettes-échantillons permanentes (PEP) établies par la Direction des inventaires forestiers. Les 2 versions du modèle ont la même structure.

L'ajout de données pour l'étalonnage de la version 2014 du modèle NATURA rend le modèle plus robuste et plus habile à représenter l'évolution moyenne des peuplements forestiers dans les conditions de croissance des 40 dernières années. Toutefois, ces conditions n'ont pas été constantes, en raison des effets des changements climatiques (GIEC 2013) et des effets cycliques des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clemens [TBE]) sur la forêt boréale. Les mesures prises de 2007 à 2012 et ajoutées lors de l'étalonnage de la version 2014 de NATURA couvrent une majorité d'intervalles de croissance ayant débuté à la fin des années 1990, pendant lesquels peu d'effets de la TBE étaient observés. Les superficies forestières infestées par la TBE lors de l'épidémie actuelle se sont maintenues sous les 50 000 ha jusqu'en 2006, et ont augmenté jusqu'à 2 226 000 ha en 2012. Ce maximum demeure inférieur à celui de l'épidémie des années 1970, puisque plus de 32 000 000 d'hectares ont été

On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence
© Gouvernement du Québec

infestés en 1975 et que plus de 2 000 000 d'hectares de forêt ont été infestés par année de 1970 à 1986 (DPF 2015). Ainsi, les données supplémentaires utilisées pour étalonner NATURA-2014 reflètent une mortalité plus faible et un recrutement plus fort du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) que celles utilisées pour paramétrer NATURA-2009 (Tableau 1). Cette différence dans les données d'étalonnage peut engendrer des différences dans les prévisions des 2 versions du modèle.

Tableau 1. Accroissement (Acc.), mortalité (Mort.) et recrutement (Rec.) moyens des arbres dans les PEP utilisées pour étalonner NATURA-2009 et dans les mesurages ajoutés pour étalonner NATURA-2014, par essence (ESS) et végétation potentielle (VP). Diff. : Différence entre les valeurs moyennes de 2014 et de 2009; n : nombre d'arbres.

ESS*	VP	Accroissement (cm/10 ans)					Mortalité (proportion/an)					Recrutement (nb recrues/nb vivants/an)				
		n 2009	n 2014	Acc. 2009	Acc. 2014	Diff.	n 2009	n 2014	Mort. 2009	Mort. 2014	Diff.	n 2009	n 2014	Rec. 2009	Rec. 2014	Diff.
BOP	MS2	21 524	6236	1,5	1,2	-0,28	25 078	8146	1,4 %	2,1 %	0,7 %	28 750	7435	2,1 %	1,9 %	-0,2 %
	RE2	1593	587	1,1	1,0	-0,06	1918	755	1,7 %	1,8 %	0,1 %	2290	707	2,3 %	2,0 %	-0,2 %
	RS2	7162	1787	1,1	1,0	-0,08	8918	2476	1,9 %	2,1 %	0,3 %	9264	2180	1,7 %	1,7 %	0,0 %
EPN	MS2	5965	1493	1,8	2,0	-0,24	7148	1632	1,6 %	1,5 %	0,1 %	8157	2029	2,3 %	3,1 %	-0,7 %
	RE2	54 817	19 781	1,0	1,0	-0,04	61 745	21 963	1,1 %	1,1 %	-0,1 %	71 145	24 745	1,7 %	1,8 %	0,0 %
	RS2	34 238	9439	1,2	1,3	-0,10	39 981	11 057	1,3 %	1,5 %	-0,3 %	44 710	12 468	1,9 %	2,1 %	-0,3 %
PEU	MS2	8907	2422	2,8	2,7	-0,09	11 217	3667	2,1 %	3,0 %	0,9 %	11 561	3563	1,9 %	3,0 %	1,0 %
	RE2	1329	428	1,7	1,8	0,05	1773	657	2,5 %	2,8 %	0,3 %	1678	502	1,8 %	1,8 %	0,0 %
	RS2	2311	803	2,0	2,2	0,21	2986	1217	2,2 %	2,8 %	0,5 %	3064	993	1,9 %	1,9 %	0,1 %
PIG	MS2	706	304	1,8	2,0	0,16	854	368	1,7 %	1,4 %	-0,3 %	868	356	1,2 %	1,7 %	0,6 %
	RE2	11 547	4999	1,2	1,2	0,03	13 383	6195	1,4 %	1,4 %	0,0 %	15 114	6254	1,2 %	1,5 %	0,3 %
	RS2	1780	1103	1,6	1,7	0,10	2068	1287	1,4 %	1,1 %	-0,2 %	2596	943	1,6 %	1,4 %	-0,2 %
SAB	MS2	35 440	13 994	2,1	2,5	0,43	49 492	16 029	3,0 %	1,7 %	-1,4 %	52 928	21 412	3,4 %	4,0 %	0,6 %
	RE2	2768	809	1,3	1,6	0,28	3954	1094	2,8 %	2,7 %	-0,1 %	4121	1404	2,7 %	3,7 %	1,0 %
	RS2	24 271	5913	1,4	1,7	0,32	33 630	7713	2,6 %	2,3 %	-0,4 %	34 362	9544	2,4 %	3,2 %	0,7 %
Pour le SAB :																
Les données ajoutées à NATURA-2014 ont des valeurs plus grandes, en moyenne, que celles de NATURA-2009																
Les données ajoutées à NATURA-2014 ont des valeurs plus petites, en moyenne, que celles de NATURA-2009																

* BOP : bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marshall); EPN : épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.); PEU regroupe le peuplier baumier (*Populus balsamifera* Linnaeus), le peuplier à feuilles deltoïdes (*Populus deltoïdes* Marshall), le peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata* Michaux) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michaux); PIG : pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.); SAB : sapin baumier.

Le BFEC a demandé à la Direction de la recherche forestière (DRF) de documenter l'exactitude des prévisions des modèles de croissance NATURA-2009 et NATURA-2014 dans les peuplements situés sur les végétations potentielles MS2, RE2 et RS2, par sous-domaine bioclimatique et groupe d'essences. Pour répondre à cette question, nous avons effectué 2 analyses. Dans la première, nous avons calculé le biais obtenu sur une simulation à court terme (de 0 à 30 ans) du volume marchand brut des PEP avec les 2 versions de NATURA. Dans la seconde, nous avons comparé le comportement simulé du volume à long terme de chacune des versions du modèle avec le volume observé dans les placettes-échantillons temporaires (PET) du 3^e et du 4^e inventaire écoforestier.

2- Méthode

2.1. Jeux de données

Deux jeux de données ont été utilisés dans les analyses. Le premier contient les données des PEP situées dans les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses, sur les végétations potentielles MS2, RE2 et RS2. Les placettes sélectionnées devaient soit avoir, au premier mesurage, au moins 50 % de leur surface terrière marchande totale composée d'essences résineuses, dont plus de 50 % en épinette noire, sapin baumier ou pin gris, soit avoir au moins 50 % de leur surface terrière marchande totale en essences feuillues, dont au moins 50 % en feuillus intolérants. Les groupes d'essences des résineux tolérants (RT), des résineux intolérants (RI) et des feuillus intolérants (FI) sont les mêmes que ceux utilisés dans le modèle NATURA-2009, et définis dans Pothier et Auger (2011).

Les PEP sélectionnées ont ensuite été divisées selon le type de peuplement, selon qu'elles avaient plus de 50 % de surface terrière en épinette noire (EPN 50 %), plus de 50 % en sapin baumier (SAB 50 %), plus de 50 % en pin gris (PIG 50 %) ou plus de 50 % en feuillus intolérants (FI 50 %). Lorsque le nombre de placettes le permettait, les groupes EPN 50 % et SAB 50 % ont été subdivisés selon que l'espèce principale représente de 50 à 75 % (EPN 50–75 % et SAB 50–75 %) ou plus de 75 % de la surface terrière (EPN 75 % et SAB 75 %). Les caractéristiques dendrométriques des 3 251 PEP sélectionnées sont présentées au tableau 2.

Le deuxième jeu de données contient les PEP sélectionnées dans le premier jeu de données. Leur premier mesurage a servi de peuplement initial pour des simulations à long terme (100 ans) effectuées avec NATURA-2009 et NATURA-2014. À celles-ci, nous avons ajouté les PET (3^e et 4^e inventaires écoforestiers) situées dans les mêmes domaines bioclimatiques, végétations potentielles et types de peuplement que les PEP sélectionnées. Ces données ont servi à vérifier le comportement à long terme des 2 versions du modèle.

Tableau 2. Caractéristiques dendrométriques au premier mesurage des PEP retenues pour le calcul du biais à court terme, par sous-domaine bioclimatique (SDOM), végétation potentielle (VP) et type de peuplement (n : nombre de placettes).

SDOM	VP	Type de peuplement	n	Âge moyen* (années)	Volume marchand brut (m ³ /ha)*				
					Total	Résineux tolérants	Sapin baumier	Résineux intolérants	Feuillus intolérants
4est	MS2	FI 50 %	47	43 (19–85)	79 (3–238)	9 (0–44)	10 (0–47)	1 (0–21)	81 (0–201)
		SAB 50 %	51	44 (16–76)	111 (5–260)	23 (0–79)	99 (23–198)	0 (0–2)	18 (0–109)
4ouest	MS2	FI 50 %	193	50 (14–132)	103 (7–263)	9 (0–55)	11 (0–109)	2 (0–155)	100 (0–315)
		SAB 50 %	91	44 (16–94)	98 (2–289)	17 (0–58)	33 (0–128)	1 (0–24)	35 (0–150)
	RE2	EPN 50 %	115	53 (20–114)	74 (3–256)	67 (12–195)	2 (0–37)	14 (0–136)	7 (0–60)
		PIG 50 %	70	47 (14–100)	140 (3–303)	20 (0–98)	1 (0–15)	138 (6–304)	7 (0–73)
	RS2	EPN 50 %	70	59 (18–132)	76 (3–214)	60 (11–148)	6 (0–37)	3 (0–85)	13 (0–62)
		FI 50 %	32	55 (35–79)	93 (9–227)	17 (0–78)	10 (0–41)	4 (0–55)	67 (0–222)
SAB 50 %	41	47 (24–85)	64 (8–172)	22 (0–70)	21 (0–86)	0 (0–6)	16 (0–89)		
5est	MS2	FI 50 %	63	47 (16–97)	65 (1–232)	11 (0–79)	11 (0–63)	0 (0–0)	63 (6–197)
		SAB 50 %	212	57 (16–129)	111 (2–322)	24 (0–160)	92 (0–412)	0 (0–0)	11 (0–97)
	RS2	EPN 50 %	65	71 (19–160)	88 (1–226)	79 (6–253)	15 (0–61)	0 (0–0)	4 (0–69)
		SAB 50 %	78	71 (23–157)	86 (6–233)	29 (0–115)	57 (3–185)	0 (0–0)	5 (0–57)
5ouest	MS2	FI 50 %	178	52 (15–152)	105 (3–297)	12 (0–94)	11 (0–130)	2 (0–40)	101 (3–358)
		SAB 50 %	82	52 (21–94)	100 (12–239)	15 (0–87)	62 (0–132)	0 (0–5)	29 (0–149)
	RE2	EPN 50 %	124	58 (18–162)	81 (4–264)	79 (8–299)	2 (0–25)	12 (0–102)	4 (0–77)
		PIG 50 %	96	43 (14–96)	92 (5–319)	19 (0–108)	0 (0–7)	92 (11–261)	4 (0–95)
	RS2	EPN 50 %	56	63 (25–136)	109 (8–272)	92 (15–237)	9 (0–40)	5 (0–71)	15 (0–112)
		FI 50 %	45	56 (16–111)	104 (11–352)	17 (0–124)	14 (0–73)	6 (0–67)	90 (15–389)
		SAB 50 %	39	58 (21–110)	76 (6–166)	19 (0–75)	45 (5–181)	0 (0–4)	18 (0–84)
	6est	MS2	SAB 50 %	74	93 (29–174)	146 (38–292)	26 (0–132)	109 (15–308)	0 (0–0)
RE2			EPN 50 %	347	111 (24–205)	67 (2–299)	67 (4–295)	3 (0–37)	0 (0–47)
RS2		EPN 50–75 %	204	119 (28–214)	99 (7–294)	68 (5–170)	30 (0–108)	0 (0–1)	2 (0–44)
		EPN 75 %	193	117 (30–236)	91 (4–309)	80 (8–228)	10 (0–39)	0 (0–12)	4 (0–155)
		SAB 50–75 %	127	112 (32–197)	100 (14–284)	43 (2–170)	56 (2–201)	0 (0–14)	2 (0–26)
		SAB 75 %	74	101 (34–208)	126 (13–298)	19 (0–49)	98 (13–349)	0 (0–1)	4 (0–89)
6ouest	RE2	EPN 50 %	354	91 (14–209)	89 (2–334)	81 (2–343)	1 (0–28)	5 (0–93)	1 (0–41)
		PIG 50 %	88	50 (18–97)	75 (3–289)	22 (0–100)	0 (0–8)	62 (2–251)	2 (0–63)
	RS2	EPN 50 %	42	89 (31–154)	132 (5–323)	92 (9–273)	13 (0–60)	4 (0–46)	15 (0–100)

* Valeur moyenne. L'étendue des données est indiquée entre parenthèses.

2.2. Analyse

2.2.1. Biais à court terme

Nous avons simulé la croissance en volume marchand brut des placettes du premier jeu de données avec NATURA-2009 et NATURA-2014 sur l'horizon de temps propre à chaque placette, en respectant l'intervalle

de temps écoulé entre 2 mesurages (10 ans en moyenne). Les caractéristiques d'une PEP au premier mesurage ont servi à prédire le volume au 2^e mesurage. Les prévisions obtenues au 2^e mesurage ont ensuite servi à prédire le volume au 3^e mesurage, et ainsi de suite, jusqu'au dernier mesurage de chaque PEP.

Afin d'évaluer le biais à court terme, nous avons ensuite calculé la différence entre le volume marchand brut de la placette et le volume prédit par les modèles à chaque mesurage, c'est-à-dire pour des horizons de simulation de 10 à 30 ans. Cette approche permet de quantifier le biais cumulatif après plus d'un pas de simulation. Nous avons calculé le biais moyen par groupe d'essences dans tous les groupes d'au moins 30 placettes parmi les combinaisons de sous-domaine bioclimatique, végétation potentielle, type de peuplement et horizon de simulation. Un biais négatif indique que les prévisions surestiment le volume des placettes, alors qu'un biais positif indique qu'elles le sous-estiment.

Pour comparer l'exactitude des prévisions pour chaque décennie (années 1970, 1980 et 1990), nous avons simulé la croissance en volume marchand brut des PEP avec NATURA-2009 et NATURA-2014 pour chaque intervalle séparant 2 mesurages successifs. Comme pour le calcul du biais à court terme, nous avons utilisé les caractéristiques des PEP mesurées au début de chaque intervalle comme peuplement initial pour prédire le volume à la fin de l'intervalle. Nous avons ensuite calculé le biais à chaque intervalle pour évaluer l'exactitude des prévisions de chaque décennie, sans accumulation du biais d'un intervalle à l'autre. Comme pour le biais à court terme, nous avons calculé le biais moyen par groupe d'essences dans tous les groupes d'au moins 30 placettes parmi les combinaisons de sous-domaine bioclimatique, végétation potentielle, type de peuplement et horizon de simulation.

2.2.2. Biais à long terme

Nous avons comparé visuellement les biais à long terme de NATURA-2009 et NATURA-2014 en générant 4 courbes à l'aide du 2^e jeu de données :

- Deux courbes d'évolution moyenne des simulations à long terme du volume marchand brut du groupe d'essences principal des PEP simulé avec NATURA-2009 et NATURA-2014 sur une période de 100 ans, à partir des caractéristiques du premier mesurage.
- Une courbe d'évolution moyenne des simulations sur 100 ans avec NATURA-2014 incorporant un indice de réduction de croissance due à la TBE durant la 4^e et la 8^e décennie pour simuler la présence de défoliation causée par la TBE pour les groupes d'essences SAB, RT et FI. La valeur de cet indice a été fixée à 3, ce qui équivaut à 6 années de défoliations sévères au cours de la décennie (voir Pothier et Auger 2011 pour plus de détails).
- Une courbe qui estime la relation entre le volume du groupe d'essences principal des PET et l'âge du peuplement.

Ces 4 courbes ont été générées pour chaque combinaison de sous-domaine bioclimatique, végétation potentielle et type de peuplement, et tronquées à l'âge maximal mesuré dans les PET. Nous avons utilisé la méthode des « B-splines » pénalisées, qui permet de paramétrer une courbe lisse à travers un nuage de données (Eilers et Marx 1996). Lors de la transformation « spline » cubique, le paramètre de lissage était fixé à 10 dans tous les cas. Le nombre de nœuds, quant à lui, était fixé à 10 pour les 3 premières courbes et variait 3 à 9 pour celle avec les PET, selon le groupe et la quantité de données disponibles à des âges plus grands. Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel SAS/STAT® (SAS Institute 2013).

3- Résultats

En général, pour les 2 principaux groupes d'essences, les biais sur les prévisions à court terme du volume obtenues avec NATURA-2014 sont soit plus petits (différence de plus de 5 % en valeur absolue : cellules vertes du tableau 3) que ceux des prévisions obtenues avec NATURA-2009, soit semblables (différence de 5 % et moins : cellules bleues du tableau 3). En valeur absolue, ils sont généralement égaux ou inférieurs à 10 % (23 des 35 types de peuplement : cellules vertes du tableau 4) ou varient de 11 à 20 % (8 des 35 types de peuplement : cellules bleues du tableau 4). Pour le 3^e groupe d'essences, cependant, les différences entre les 2 versions du modèle sont plus marquées : pour 10 des 18 types de peuplement évalués, les différences dépassent 5 % en valeur absolue. Pour 7 d'entre eux, NATURA-2014 a un biais absolu plus petit que NATURA-2009, et l'écart en valeur absolue entre les 2 versions varie de 6 à 39 % (cellules vertes du tableau 3). Dans les 3 autres types de peuplement, NATURA-2014 a un biais absolu plus grand que NATURA-2009, et l'écart en valeur absolue varie de 9 à 31 % (cellules oranges du tableau 3). NATURA-2014 surestime le volume dans 11 cas sur 18 (Tableau 3). Lorsqu'évalué indépendamment pour chacune des décennies, le biais sur les prévisions du volume de sapin pour la décennie 1990 est diminué de moitié avec la version de 2014 comparativement à celle de 2009 pour 10 des 13 types de peuplement (Tableau 5).

Les 2 versions de NATURA produisent généralement des courbes semblables pour les simulations du volume du groupe d'essences principal sur un horizon de 100 ans (Annexe 1). Ces 2 courbes sont généralement semblables à la courbe moyenne du volume des PET pour les peuplements de moins de 75 ans, mais s'éloignent des volumes observés pour certains peuplements plus âgés.

En général, les 2 versions de NATURA ont des biais à court terme semblables, et leurs simulations à long terme se rapprochent de la courbe moyenne du volume des PET. Malgré tout, nous observons des différences entre les prévisions pour certains types de peuplement. Ces cas sont détaillés dans les paragraphes suivants.

Tableau 3. Comparaison du biais moyen des prévisions du volume marchand brut de NATURA-2009 et NATURA-2014 pour les 3 groupes d'essences principaux par sous-domaine bioclimatique (SDOM), végétation potentielle (VP), type de peuplement, horizon de simulation et groupe d'essences (n : nombre de placettes; FI : feuillus intolérants; RI : résineux intolérants; RT : résineux tolérants; SAB : sapin baumier). Les couleurs reflètent la comparaison entre les versions 2009 et 2014 au terme de la période de simulation.

SDOM	VP	Type de peuplement	Horizon	Groupe d'essences 1				Groupe d'essences 2				Groupe d'essences 3						
				Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)
4est	MS2	FI 50 %	10 ans	FI	47	81	-9	-12	SAB	34	14	15	4	RT	38	11	6	8
		SAB 50 %	10 ans	SAB	51	99	7	7	RT	48	24	0	0	FI	44	21	7	1
4ouest	MS2	FI 50 %	10 ans	FI	192	100	4	1	SAB	132	17	27	0	RT	124	14	6	-11
			20 ans		141	106	7	2		112	22	52	4		97	18	8	-22
			30 ans		81	102	5	-2		68	33	67	15		58	26	19	-16
		SAB 50 %	10 ans	SAB	83	36	5	-17	FI	88	36	17	11	RT	79	20	-14	-38
			20 ans		56	38	36	-17		62	51	38	33		56	22	-5	-45
			30 ans		47	46	58	-3		48	63	45	39		43	34	17	-22
	RE2	EPN 50 %	10 ans	RT	115	67	1	-6	RI	43	37	-4	5	FI	55	14	-14	-5
			20 ans		82	89	15	2							41	19	-11	6
			30 ans		46	106	17	-1										
	RS2	PIG 50 %	10 ans	RI	70	138	-17	-1	RT	56	26	7	3	FI	30	17	-23	-13
			20 ans		43	132	-50	-15		37	29	20	9					
	RS2	EPN 50 %	10 ans	RT	70	60	3	-12	FI	49	19	-4	-4	SAB	51	8	-18	-39
20 ans				49	77	24	2		39	21	-4	-4		37	12	11	-42	
30 ans			33	94	28	1												
SAB 50 %		10 ans	FI	31	69	-8	-8											
	20 ans	SAB	37	24	-12	-27	RT	36	25	-2	-27	FI	38	17	0	-4		
			20 ans		33	25	12	-37		31	38	30	1		32	19	6	3

Le biais de NATURA-2014 est plus petit que celui de NATURA-2009 au terme de la période de simulation (différence de plus de 5 % en valeur absolue).

Les biais des 2 versions de NATURA sont semblables au terme de la période de simulation (différence de 5 % et moins en valeur absolue).

Le biais de NATURA-2014 est plus grand que celui de NATURA-2009 au terme de la période de simulation (différence de plus de 5 % en valeur absolue).

Tableau 3. (suite)

SDOM	VP	Type de peuplement	Horizon	Groupe d'essences 1				Groupe d'essences 2				Groupe d'essences 3						
				Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)
5est	MS2	FI 50 %	10 ans	FI	63	63	-6	-7	SAB	50	14	39	29	RT	49	14	-4	-13
		SAB 50 %	10 ans	SAB	212	92	13	5	RT	193	26	6	-4	FI	146	16	8	-7
			20 ans		85	80	18	9		81	29	16	-1		68	19	23	0
	30 ans			51	90	12	1		46	30	15	-10		44	22	47	18	
	RS2	EPN 50 %	10 ans	RT	65	79	4	-4	SAB	53	18	1	-6					
		SAB 50 %	10 ans	SAB	78	57	-5	-7	RT	75	31	11	1					
20 ans				31	46	-12	-14		31	33	24	9						
5ouest	MS2	FI 50 %	10 ans	FI	178	101	1	-2	RT	118	19	9	-9	SAB	107	18	36	4
			20 ans		98	127	7	5		67	20	9	-28		57	16	26	-45
			30 ans		59	112	2	-2		49	29	29	-10		42	25	54	-15
		SAB 50 %	10 ans	SAB	78	65	27	16	FI	72	33	11	6	RT	65	20	1	-18
			20 ans		46	35	-8	-52		52	52	33	29		43	27	7	-25
			30 ans		32	36	9	-54		36	52	29	24					
	RE2	EPN 50 %	10 ans	RT	124	79	5	-2	RI	57	25	-14	-7	FI	46	11	-42	-32
			20 ans		67	87	6	-9		32	26	-28	-7					
			30 ans		35	94	8	-13										
		PIG 50 %	10 ans	RI	96	92	-22	-3	RT	78	23	6	0					
			20 ans		56	98	-42	-5		50	29	17	2					
RS2	EPN 50 %	10 ans	RT	56	92	8	-2	FI	49	18	-28	-26	SAB	31	16	13	-16	
	FI 50 %	10 ans	FI	45	90	-3	1	SAB	31	20	31	9	RT	39	19	23	7	
	SAB 50 %	10 ans	SAB	39	45	9	-2	RT	32	23	9	-10	FI	35	21	-3	-5	

Le biais de NATURA-2014 est plus petit que celui de NATURA-2009 au terme de la période de simulation (différence de plus de 5 % en valeur absolue).

Les biais des 2 versions de NATURA sont semblables au terme de la période de simulation (différence de 5 % et moins en valeur absolue).

Le biais de NATURA-2014 est plus grand que celui de NATURA-2009 au terme de la période de simulation (différence de plus de 5 % en valeur absolue).

Tableau 3. (suite et fin)

SDOM	VP	Type de peuplement	Horizon	Groupe d'essences 1				Groupe d'essences 2				Groupe d'essences 3						
				Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	Groupe	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)
6est	MS2	SAB 50 %	10 ans	SAB	74	109	9	6	RT	66	29	8	12	FI	40	22	14	2
			20 ans		36	83	9	3		33	30	10	23					
	RE2	EPN 50 %	10 ans	RT	347	67	-2	-2										
			20 ans		246	66	-4	-6										
			30 ans		114	58	-5	-11										
	RS2	EPN 50-75 %	10 ans	RT	204	68	5	3	SAB	203	31	7	3					
			20 ans		140	66	2	-2		135	27	0	-10					
			30 ans		47	58	-6	-11		44	25	1	-13					
		EPN 75 %	10 ans	RT	193	80	-1	-3	SAB	173	11	16	8	FI	45	16	4	-1
			20 ans		128	73	-3	-10		119	11	20	7					
30 ans				56	55	-2	-21											
SAB 50-75 %	10 ans	SAB	127	56	6	6	RT	127	43	8	8							
	20 ans		84	48	-2	-3		85	44	12	13							
SAB 75 %	10 ans	SAB	74	98	-1	3	RT	68	21	12	13							
	20 ans		34	81	-2	7		31	21	18	23							
6ouest	RE2	EPN 50 %	10 ans	RT	354	81	2	-2	RI	108	17	-15	-6					
			20 ans		190	88	-1	-6		42	16	-20	5					
			30 ans		102	91	-6	-12										
	PIG 50 %	10 ans	RI	88	62	-19	-1	RT	80	24	17	18						
		20 ans		40	69	-45	-1		38	30	24	28						
	RS2	EPN 50 %	10 ans	RT	42	92	6	2	FI	31	21	-13	-12					

Le biais de NATURA-2014 est plus petit que celui de NATURA-2009 au terme de la période de simulation (différence de plus de 5 % en valeur absolue).

Les biais des 2 versions de NATURA sont semblables au terme de la période de simulation (différence de 5 % et moins en valeur absolue).

Le biais de NATURA-2014 est plus grand que celui de NATURA-2009 au terme de la période de simulation (différence de plus de 5 % en valeur absolue).

Tableau 4. Évaluation du biais moyen des prévisions du volume marchand brut de NATURA-2014 pour les 3 groupes d'essences principaux par sous-domaine bioclimatique (SDOM), végétation potentielle (VP), type de peuplement, horizon de simulation (n : nombre de placettes; FI : feuillus intolérants; RI : résineux intolérants; RT : résineux tolérants; SAB : sapin baumier). Les couleurs reflètent la valeur absolue du biais au terme de la période de simulation.

SDOM	VP	Type de peuplement	Horizon	Groupe d'essences 1			Groupe d'essences 2			Groupe d'essences 3					
				Groupe	n	Vol. (m ³ /ha)	Biais (%)	Groupe	n	Vol. (m ³ /ha)	Biais (%)	Groupe	n	Vol. (m ³ /ha)	Biais (%)
4est	MS2	FI 50	10 ans	FI	47	81	-12	SAB	34	14	4	RT	38	11	8
		SAB 50	10 ans	SAB	51	99	7	RT	48	24	0	FI	44	21	1
4ouest	MS2	FI 50	10 ans	FI	192	100	1	SAB	132	17	0	RT	124	14	-11
			20 ans		141	106	2		112	22	4		97	18	-22
			30 ans		81	102	-2		68	33	15		58	26	-16
	SAB 50	10 ans	SAB	83	36	-17	FI	88	36	11	RT	79	20	-38	
		20 ans		56	38	-17		62	51	33		56	22	-45	
		30 ans		47	46	-3		48	63	39		43	34	-22	
RE2	EPN 50		10 ans	RT	115	67	-6	RI	43	37	5	FI	55	14	-5
			20 ans		82	89	2						41	19	6
			30 ans		46	106	-1								
	PIG 50	10 ans	RI	70	138	-1	RT	56	26	3	FI	30	17	-13	
		20 ans		43	132	-15		37	29	9					
	RS2	EPN 50	10 ans	RT	70	60	-12	FI	49	19	-4	SAB	51	8	-39
20 ans				49	77	2		39	21	-4		37	12	-42	
30 ans				33	94	1									
FI 50	10 ans	FI	31	69	-8										
	SAB 50	10 ans	SAB	37	24	-27	RT	36	25	-27	FI	38	17	-4	
20 ans			33	25	-37		31	38	1		32	19	3		

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation est égal ou inférieur à 10.

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation varie de 11 à 20.

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation est supérieur à 20.

Tableau 4. (suite)

SDOM	VP	Type de peuplement	Horizon	Groupe d'essences 1			Groupe d'essences 2			Groupe d'essences 3					
				Groupe	n	Vol. (m³/ha)	Biais (%)	Groupe	n	Vol. (m³/ha)	Biais (%)	Groupe	n	Vol. (m³/ha)	Biais (%)
5est	MS2	FI 50	10 ans	FI	63	63	-7	SAB	50	14	29	RT	49	14	-13
			10 ans	SAB	212	92	5	RT	193	26	-4	FI	146	16	-7
		20 ans		85	80	9		81	29	-1		68	19	0	
		30 ans		51	90	1		46	30	-10		44	22	18	
	RS2	EPN 50	10 ans	RT	65	79	-4	SAB	53	18	-6				
			10 ans	SAB	78	57	-7	RT	75	31	1				
		20 ans		31	46	-14		31	33	9					
		20 ans													
5ouest	MS2	FI 50	10 ans	FI	178	101	-2	RT	118	19	-9	SAB	107	18	4
			20 ans		98	127	5		67	20	-28		57	16	-45
			30 ans		59	112	-2		49	29	-10		42	25	-15
		SAB 50	10 ans	SAB	78	65	16	FI	72	33	6	RT	65	20	-18
			20 ans		46	35	-52		52	52	29		43	27	-25
			30 ans		32	36	-54		36	52	24				
	RE2	EPN 50	10 ans	RT	124	79	-2	RI	57	25	-7	FI	46	11	-32
			20 ans		67	87	-9		32	26	-7				
			30 ans		35	94	-13								
		PIG 50	10 ans	RI	96	92	-3	RT	78	23	0				
			20 ans		56	98	-5		50	29	2				
			20 ans												
RS2	EPN 50	10 ans	RT	56	92	-2	FI	49	18	-26	SAB	31	16	-16	
	FI 50	10 ans	FI	45	90	1	SAB	31	20	9	RT	39	19	7	
	SAB 50	10 ans	SAB	39	45	-2	RT	32	23	-10	FI	35	21	-5	

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation est égal ou inférieur à 10.

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation varie de 11 à 20.

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation est supérieur à 20.

Tableau 4. (suite et fin)

SDOM	VP	Type de peuplement	Horizon	Groupe d'essences 1			Groupe d'essences 2			Groupe d'essences 3					
				Groupe	n	Vol. (m ³ /ha)	Biais (%)	Groupe	n	Vol. (m ³ /ha)	Biais (%)	Groupe	n	Vol. (m ³ /ha)	Biais (%)
6est	MS2	SAB 50	10 ans	SAB	74	109	6	RT	66	29	12	FI	40	22	2
			20 ans		36	83	3		33	30	23				
	RE2	EPN 50	10 ans	RT	347	67	-2								
			20 ans		246	66	-6								
			30 ans		114	58	-11								
	RS2	EPN 50-75	10 ans	RT	204	68	3	SAB	203	31	3				
			20 ans		140	66	-2		135	27	-10				
			30 ans		47	58	-11		44	25	-13				
		EPN 75	10 ans	RT	193	80	-3	SAB	173	11	8	FI	45	16	-1%
			20 ans		128	73	-10		119	11	7				
			30 ans		56	55	-21								
	SAB 50-75	10 ans	SAB	127	56	6	RT	127	43	8					
20 ans			84	48	-3		85	44	13						
SAB 75	10 ans	SAB	74	98	3	RT	68	21	13						
	20 ans		34	81	7		31	21	23						
6ouest	RE2	EPN 50	10 ans	RT	354	81	-2	RI	108	17	-6				
			20 ans		190	88	-6		42	16	5				
			30 ans		102	91	-12								
	PIG 50	10 ans	RI	88	62	-1	RT	80	24	18					
		20 ans		40	69	-1		38	30	28					
	RS2	EPN 50	10 ans	RT	42	92	2	FI	31	21	-12				

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation est égal ou inférieur à 10.

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation varie de 11 à 20.

Le biais absolu au terme de l'horizon de simulation est supérieur à 20.

Les prévisions à court terme du volume marchand brut par groupe d'essences obtenues avec NATURA-2014 pour les peuplements de type SAB 50 % sur la végétation potentielle MS2 dans les sous-domaines 4ouest et 5ouest sont biaisées (Tableau 4). Les volumes de sapin baumier (essence principale) et des résineux tolérants (3^e groupe d'essences) sont surestimés, tandis que le volume des feuillus intolérants (2^e groupe d'essences) est sous-estimé (Tableau 4). Pour les prévisions à long terme, la courbe moyenne des simulations du volume de sapin baumier obtenue avec NATURA-2014 se situe nettement sous celle des PET, mais est néanmoins plus près du volume des PET que celle obtenue avec NATURA-2009 (Annexes 1d et 1o).

Les prévisions à long terme du volume de sapin baumier obtenues avec NATURA-2014 pour les peuplements de type SAB 50 % sur la végétation potentielle MS2 dans les sous-domaines 4est et 5est surestiment le volume moyen des PET (Annexes 1b et 1k), et ce, bien qu'aucun biais à court terme ne soit observé (Tableau 4). Toutefois, lorsqu'on introduit un effet de la défoliation due à la TBE durant la 4^e et la 8^e décennie dans la simulation à long terme avec NATURA-2014, la courbe moyenne se rapproche de celle des PET (Annexes 1b et 1k). C'est aussi le cas pour la courbe des prévisions du volume à long terme pour la végétation potentielle RS2 dans le sous-domaine 5est (Annexe 1m), pour laquelle on observe cependant un léger biais négatif à court terme (Tableau 4).

Les prévisions à court terme obtenues avec NATURA-2014 sur les peuplements de type SAB 50 % sur la végétation potentielle RS2 dans le sous-domaine 4ouest surestiment le volume de sapin baumier (Tableau 3). Les biais sont aussi plus grands avec NATURA-2014 qu'avec NATURA-2009. À l'inverse, les simulations à long terme sous-estiment le volume moyen du sapin baumier par rapport à celui observé dans les PET (Annexe 1i).

En général, les prévisions à court terme de NATURA-2014 pour le pin gris dans les peuplements de type PIG 50 % sont beaucoup moins biaisées que celles de NATURA-2009 (Tableau 3). Dans les simulations à long terme, les courbes des 2 versions de NATURA sont assez près de celle des PET (Annexes 1f et 1q), sauf pour la végétation potentielle RE2 dans le sous-domaine 6ouest (Annexe 1bb), où le volume des peuplements plus âgés est sous-estimé par les 2 versions du modèle.

Dans les peuplements de type FI 50 % sur les végétations potentielles MS2 et RS2, le volume de feuillus intolérants (groupe d'essences principal) est sous-estimé par les 2 versions de NATURA dans les simulations à long terme, et ce, dans tous les sous-domaines (Annexes 1a, 1c, 1h, 1j, 1n, 1s). Dans les simulations à court terme, cependant, celles-ci sont peu biaisées et assez semblables pour les 2 versions de NATURA (Tableau 3). Dans les peuplements de type FI 50 % sur la végétation potentielle MS2 et pour 3 des 4 sous-domaines, les simulations à court terme de NATURA-2014 surestiment le volume de résineux tolérants et sous-estiment le volume de sapin baumier. (Tableau 4).

Dans les peuplements de type EPN 50 % sur la végétation potentielle RE2, dans les sous-domaines 4ouest et 5ouest, le volume de résineux tolérants (groupe d'essences principal) est surestimé par les 2 versions de NATURA dans les simulations à long terme (Annexes 1e et 1p), tout comme dans les prévisions à court terme pour NATURA-2014 dans le sous-domaine 5ouest (Tableau 4). Même si les biais à court terme de NATURA-2014 sont légèrement supérieurs à ceux obtenus avec NATURA-2009 dans le sous-domaine 5ouest, ils le sont de moins de 5 % en valeur absolue (Tableau 3).

Dans les types de peuplement EPN sur la végétation potentielle RS2 dans le sous-domaine 6est, le volume des résineux tolérants est surestimé à court terme par NATURA-2014, et le biais y est plus grand que celui de NATURA-2009, particulièrement pour le type de peuplement EPN 75 % (Tableau 3). Cependant, ces différences ne se reflètent pas clairement dans les simulations à long terme (Annexes 1w et 1x). À long terme, se sont plutôt dans les sous-domaines 5est et 6ouest que les simulations des 2 versions de NATURA s'éloignent de la courbe des PET, en surestimant le volume de résineux tolérants dans le sous-domaine 5est et en le sous-estimant le sous-domaine dans 6ouest (Annexes 1l et 1cc).

4- Discussion

De manière générale, les prévisions de NATURA-2009 et NATURA-2014 présentent des biais relativement similaires pour la plupart des groupes formés par l'essence, le sous-domaine bioclimatique, la végétation potentielle et le type de peuplement. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les 2 versions du modèle NATURA ont la même structure et partagent une grande partie de leurs données. En général, leur comportement à long terme est semblable.

Cependant, certaines différences sont observées entre les 2 versions. Celles concernant le sapin baumier pourraient s'expliquer par l'effet de la TBE. La version 2009 du modèle, dont une grande proportion des données provient de la période la plus fortement touchée par l'épidémie de TBE des années 1970, prédit des rendements en sapin baumier plus faibles que la version 2014, qui inclut des données d'une période plus productive et pendant laquelle le recrutement est plus fort (Tableau 1). Lorsque le biais est calculé indépendamment pour chacune des décennies de 1970 à 2000, on remarque que NATURA-2014 performe systématiquement mieux que NATURA-2009 pour le sapin baumier pendant la période 1990–2000 (Tableau 5).

Bien que les biais de NATURA-2014 soient parfois grands lorsqu'on compare l'évolution à long terme des modèles avec les PET, ils semblent s'en rapprocher davantage que NATURA-2009 (Annexe 1). Les fortes différences observées entre les 2 versions du modèle s'expliquent d'abord par le fait que NATURA-2009 tend à largement sous-estimer les volumes. En effet, le tableau 3 montre que les biais de NATURA-2009 tendent à être positifs pour toutes les essences sauf le pin gris. De manière générale, NATURA-2014 tend

Tableau 5. Comparaison des biais moyens des prévisions du volume marchand brut de sapin baumier de NATURA-2009 et NATURA-2014 par sous-domaine bioclimatique (SDOM), végétation potentielle (VP), type de peuplement et décennie du mesurage (n : nombre de placettes). Les couleurs reflètent la comparaison entre les versions 2009 et 2014 au terme de la période de simulation.

SDOM	VP	Type de peuplement	1970				1980				1990				2000			
			n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)	n	Volume observé (m³/ha)	Biais 2009 (%)	Biais 2014 (%)
4est	MS2	FI 50 %								30	20	17	8					
		SAB 50 %								43	109	2	-2					
4ouest	MS2	FI 50 %	97	16	12	-21	95	21	42	7	120	28	58	32				
		SAB 50 %	89	34	4	-19	43	37	28	-9	57	50	55	27				
	RS2	EPN 50 %	48	8	-16	-37					40	20	46	25				
		SAB 50 %	47	17	-42	-60												
5est	MS2	FI 50 %								49	17	44	33					
		SAB 50 %	136	81	14	7	96	87	7	-2	115	100	11	2				
	RS2	EPN 50 %					30	18	-3	-9								
		SAB 50 %	49	43	-2	-4	42	54	-7	-10	35	63	-7	-10				
5ouest	MS2	FI 50 %	56	13	14	-26	56	13	18	-26	96	25	51	25				
		SAB 50 %	58	61	22	13	47	33	-17	-47	52	51	40	21				
	RS2	EPN 50 %									32	13	27	-5				
		SAB 50 %									30	52	22	9				
6est	MS2	SAB 50 %	37	95	16	12	55	98	-2	-7								
	RS2	EPN 50-75 %	100	34	18	14	172	28	-6	-12	33	32	6	2	74	20	-13	-18
		EPN 75 %	102	11	19	11	146	11	10	2					74	9	-2	-9
		SAB 50-75 %	72	57	12	13	103	54	-8	-8					41	31	-29	-27
		SAB 75 %	30	102	13	18	53	92	-10	-6								

- Le biais de NATURA-2014 est plus petit que celui de NATURA-2009 au terme de la période de simulation (différence de plus de 5 % en valeur absolue).
- Les biais des 2 versions de NATURA sont semblables au terme de la période de simulation (différence de 5 % et moins en valeur absolue).
- Le biais de NATURA-2014 est plus grand que celui de NATURA-2009 au terme de la période de simulation (différence de plus de 5 % en valeur absolue).

plutôt à surestimer le volume, ce qui accentue les différences de prévisions entre les 2 versions. Ensuite, les biais à long terme les plus marqués pour NATURA-2014 s'observent dans les peuplements majoritairement composés de sapin (Annexe 1). Les prévisions de ces peuplements sont alors comparées à des PET qui ont subi la dernière épidémie de TBE, et dont les volumes risquent d'être moins grands. L'ajout d'un effet TBE lors de la simulation permet de rapprocher les prévisions à long terme des observations faites avec les PET.

Comme nous l'avons montré, les différences les plus marquées entre NATURA-2009 et NATURA-2014 touchent le sapin baumier, et ces différences pourraient s'expliquer en bonne partie par l'ajout de données provenant de périodes où les peuplements forestiers du Québec étaient peu affectés par la TBE. Il est donc essentiel de bien prendre en compte l'impact de la TBE lors des simulations à long terme du volume des peuplements résineux. Les intervalles de croissance affectés par la TBE avaient été identifiés au préalable pour les 2 versions du modèle. Cette identification était toutefois imparfaite, puisqu'elle reposait sur une estimation de la défoliation à partir d'un survol aérien. Comme NATURA-2009 incluait proportionnellement plus d'intervalles de croissance affectés par la TBE, ses prévisions ont probablement été influencées par le phénomène. Cette hypothèse est renforcée par l'examen du tableau 5. On y voit que, bien que la version 2009 performe parfois mieux lors des décennies 1970 et 1980, NATURA-2014 performe systématiquement mieux dans les années 1990. Il est donc préférable d'utiliser NATURA-2014 en sachant que les rendements prédits seront supérieurs à ceux observés en période d'épidémie de TBE. L'utilisation de l'option de défoliation due à la TBE incluse dans la version 2014 pourrait alors permettre de rapprocher les prévisions des observations.

Les analyses comparant le comportement à long terme des modèles de croissance NATURA-2009 et NATURA-2014 sont limitées par la quantité de données disponibles. Il est donc essentiel de poursuivre le mesurage périodique des PEP afin de valider à plus long terme les biais futurs engendrés par l'utilisation de NATURA.

5- Recommandations

La cohérence entre les volumes observés dans les PET et les prévisions de rendement de NATURA-2014 nous permet de croire que la nouvelle version du modèle ne présente pas de prévisions aberrantes, sauf pour les peuplements de sapin du sous-domaine 4est sur la végétation potentielle MS2 et du sous-domaine 5est sur les végétations potentielles MS2 et RS2. Le plus souvent, les prévisions de NATURA-2014 sont plus près des volumes observés dans les PET que les prévisions de NATURA-2009. Jumelée à une approche prudente d'évaluation des effets de la TBE sur le rendement des forêts (en particulier pour les peuplements précédemment mentionnés), la version 2014 du modèle NATURA devrait

donc être privilégiée, en prenant compte, lorsqu'approprié, de l'effet de la TBE directement dans son module de défoliation.

6- Références

Auger, I. *et al.*, en préparation. *NATURA-2014 : mise à jour du modèle de prévision de la croissance à l'échelle du peuplement pour les forêts du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière.

[DPF] Direction de la protection des forêts, 2015. *Aires infestées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec en 2015*. Gouvernement du Québec, ministère de la Forêt de la Faune et des Parcs, Direction de la protection des forêts. 17 p.

[https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/fimaq/insectes/tordeuse/TBE_2015_P.pdf]

Eilers, P.H.C. et Marx, B.D, 1996. *Flexible smoothing with B-splines and penalties*. Statistical Science 11: 89–121.

[GIECC] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013. *Changements climatiques 2013 - Les éléments scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs*. Contribution du groupe de travail 1 au 5^e rapport d'évaluation du GIEC. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 204 p.

[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf]

Poulin, J., 2013. *Évolution des strates. Fascicule 2.4*. Dans : *Manuel de détermination des possibilités forestières 2013–2018*. Gouvernement du Québec, Bureau du forestier en chef. Roberval, QC. pp. 55–61.

[http://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2013/01/055-61_MDPF_Evolution.pdf]

Pothier, D. et I. Auger, 2011. *NATURA-2009 : un modèle de prévision de la croissance à l'échelle du peuplement pour les forêts du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 163, 56 p.

[<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Auger-Isabelle/Memoire163.pdf>]

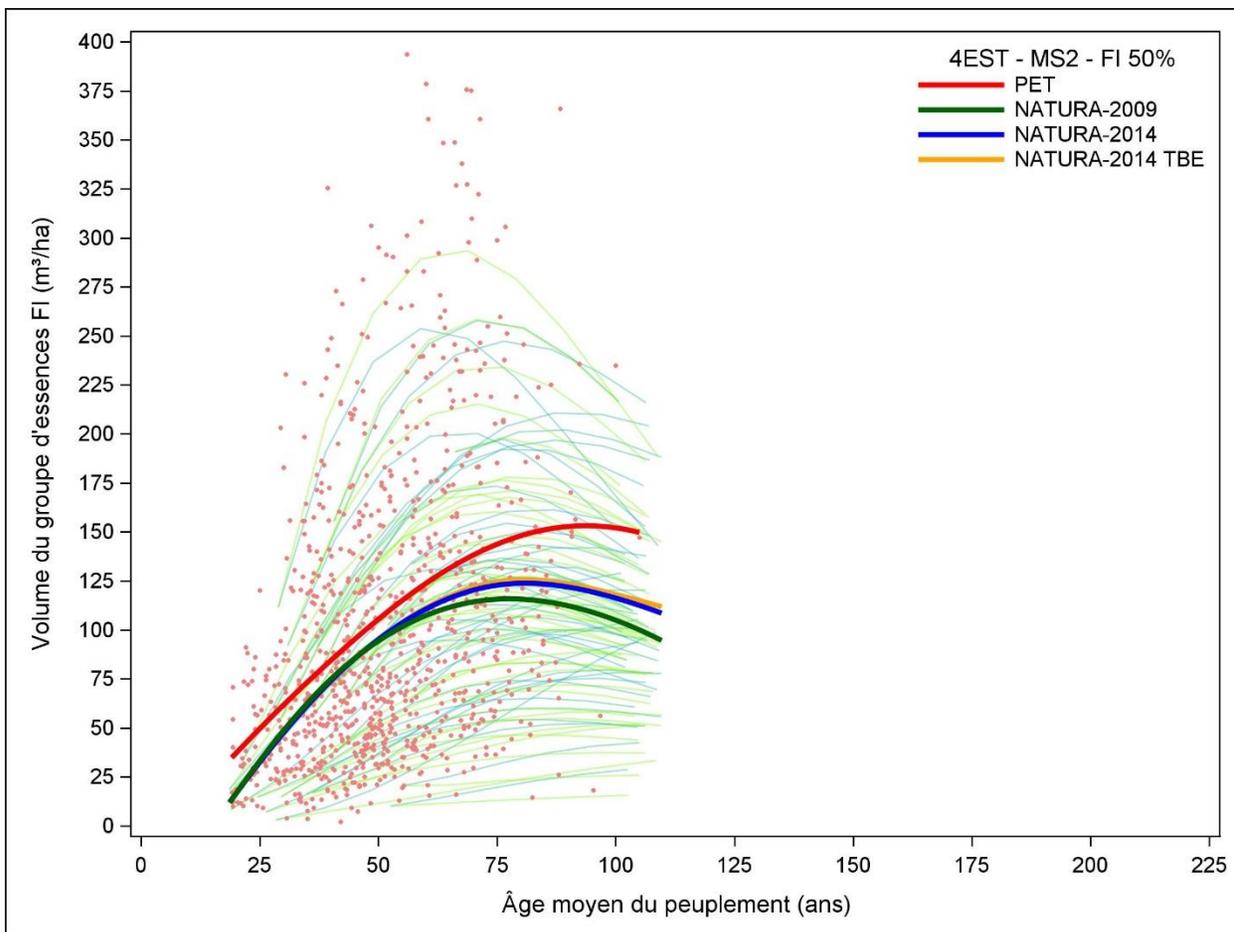
SAS Institute Inc., 2013. *SAS/STAT® 12.3 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC (États-Unis).

7- Annexe

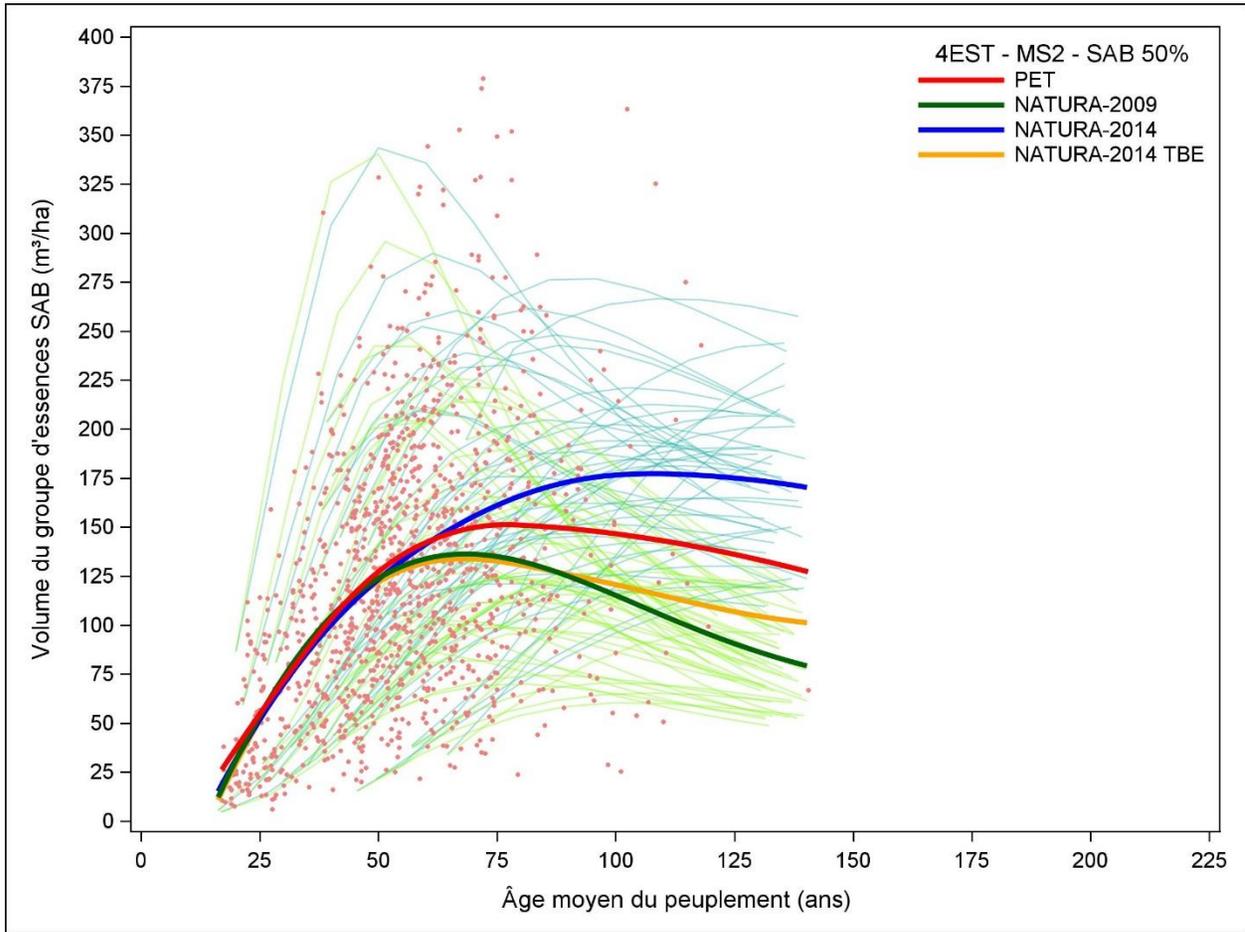
Cette annexe contient les graphiques des simulations sur 100 ans avec NATURA. On retrouve un graphique par sous-domaine bioclimatique, végétation potentielle et type de peuplement. Le tableau ci-dessous recense les graphiques contenus dans l'annexe.

Lettre du graphique	Sous-domaine	Végétation potentielle	Type de peuplement
a	4est	MS2	FI 50 %
b	4est	MS2	SAB 50 %
c	4ouest	MS2	FI 50 %
d	4ouest	MS2	SAB 50 %
e	4ouest	RE2	EPN 50 %
f	4ouest	RE2	PIG 50 %
g	4ouest	RS2	EPN 50 %
h	4ouest	RS2	FI 50 %
i	4ouest	RS2	SAB 50 %
j	5est	MS2	FI 50 %
k	5est	MS2	SAB 50 %
l	5est	RS2	EPN 50 %
m	5est	RS2	SAB 50 %
n	5ouest	MS2	FI 50 %
o	5ouest	MS2	SAB 50 %
p	5ouest	RE2	EPN 50 %
q	5ouest	RE2	PIG 50 %
r	5ouest	RS2	EPN 50 %
s	5ouest	RS2	FI 50 %
t	5ouest	RS2	SAB 50 %
u	6est	MS2	SAB 50 %
v	6est	RE2	EPN 50 %
w	6est	RS2	EPN 50-75 %
x	6est	RS2	EPN 75 %
y	6est	RS2	SAB 50-75 %
z	6est	RS2	SAB 75 %
aa	6ouest	RE2	EPN 50 %
bb	6ouest	RE2	PIG 50 %
cc	6ouest	RS2	EPN 50 %

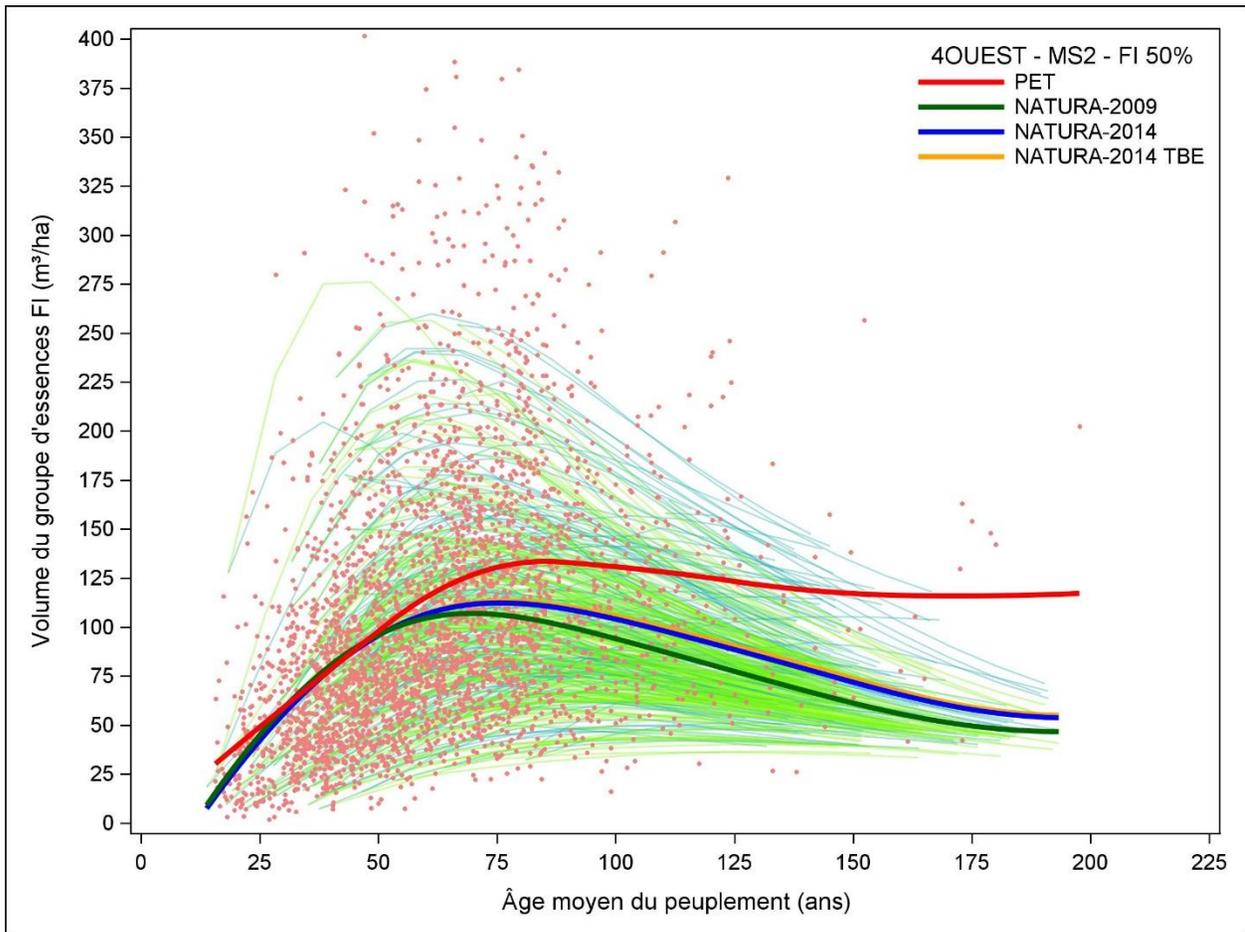
a) Sous-domaine bioclimatique 4est, végétation potentielle MS2, type de peuplement FI 50 %



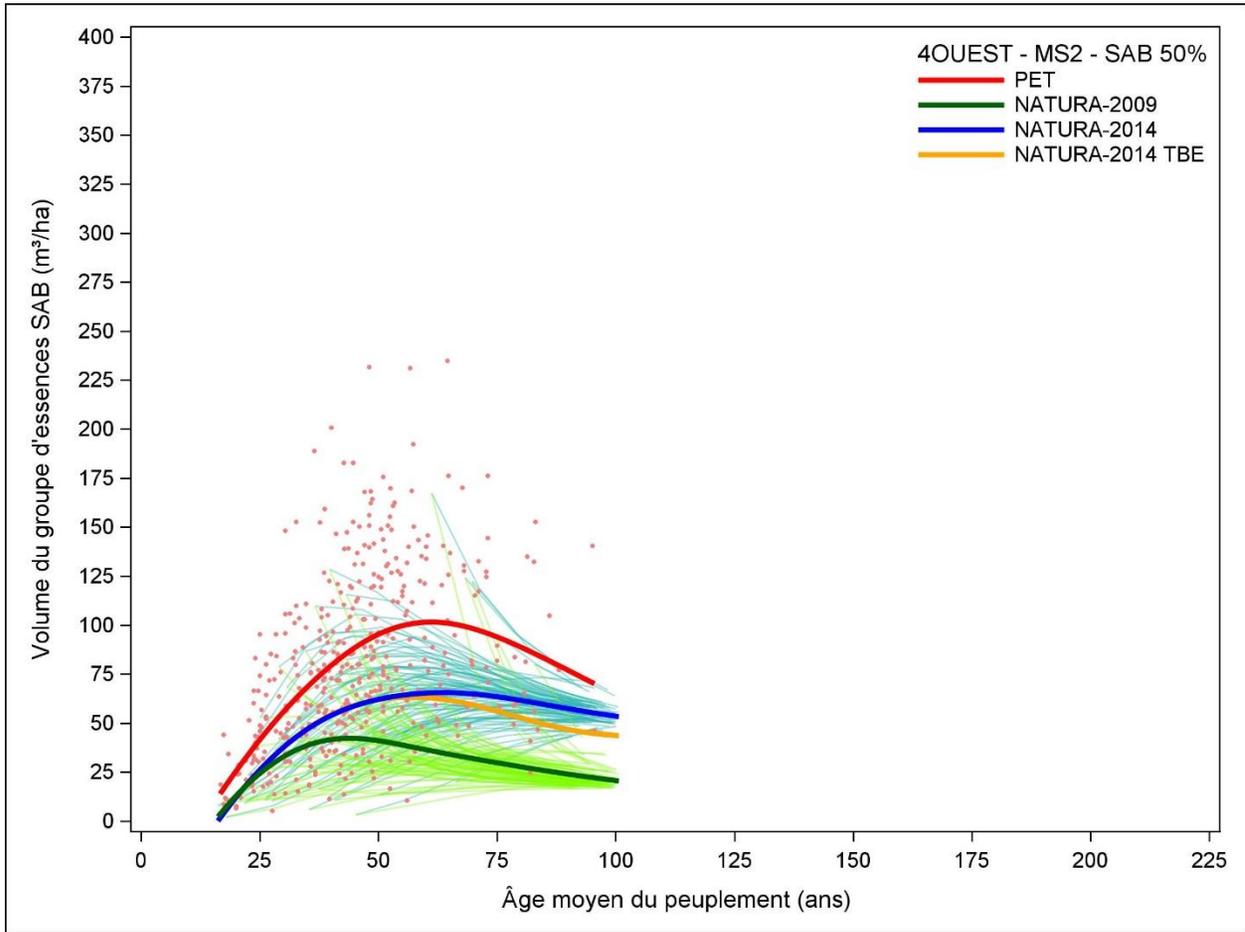
b) Sous-domaine bioclimatique 4est, végétation potentielle MS2, type de peuplement SAB 50 %



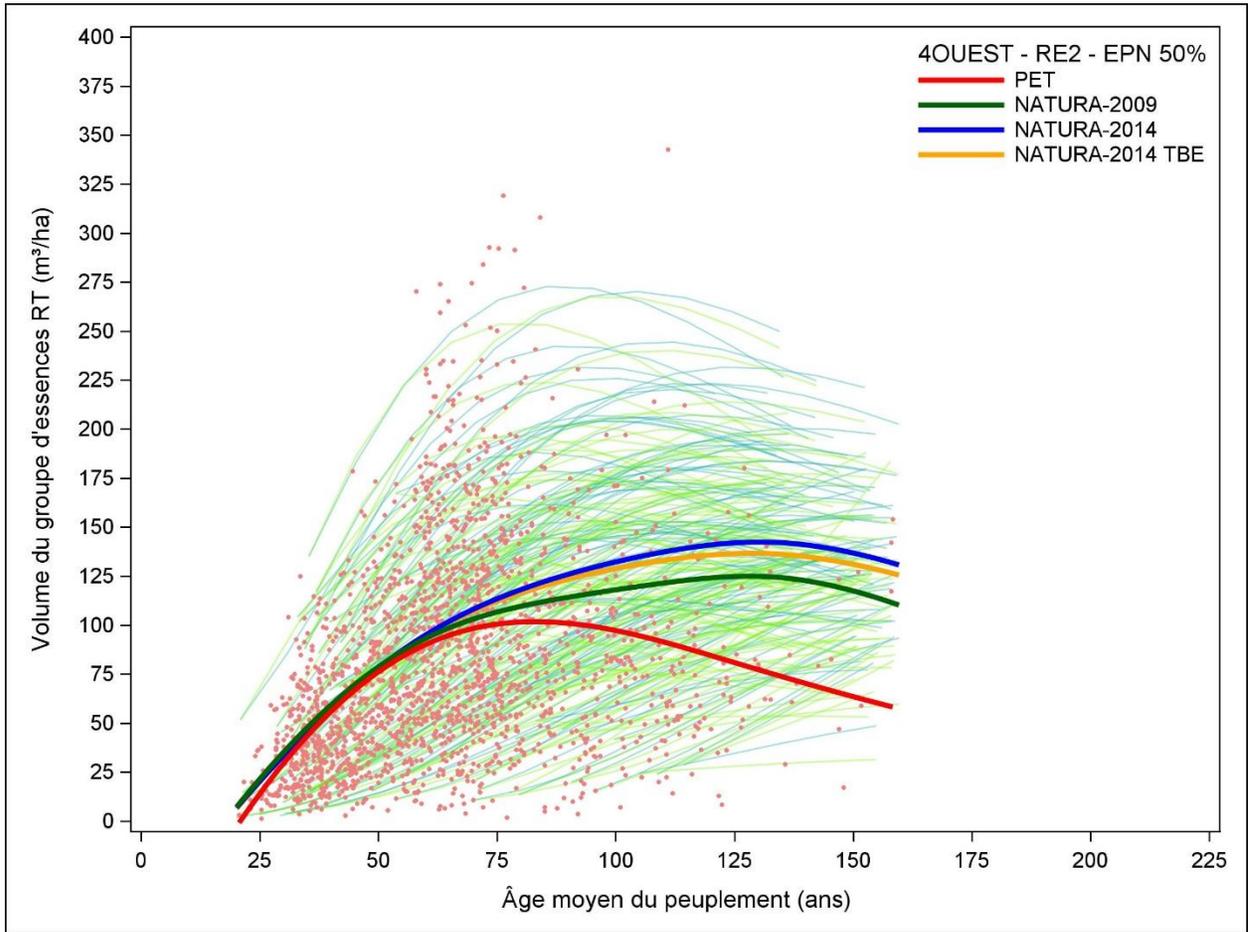
c) Sous-domaine bioclimatique 4ouest, végétation potentielle MS2, type de peuplement FI 50 %



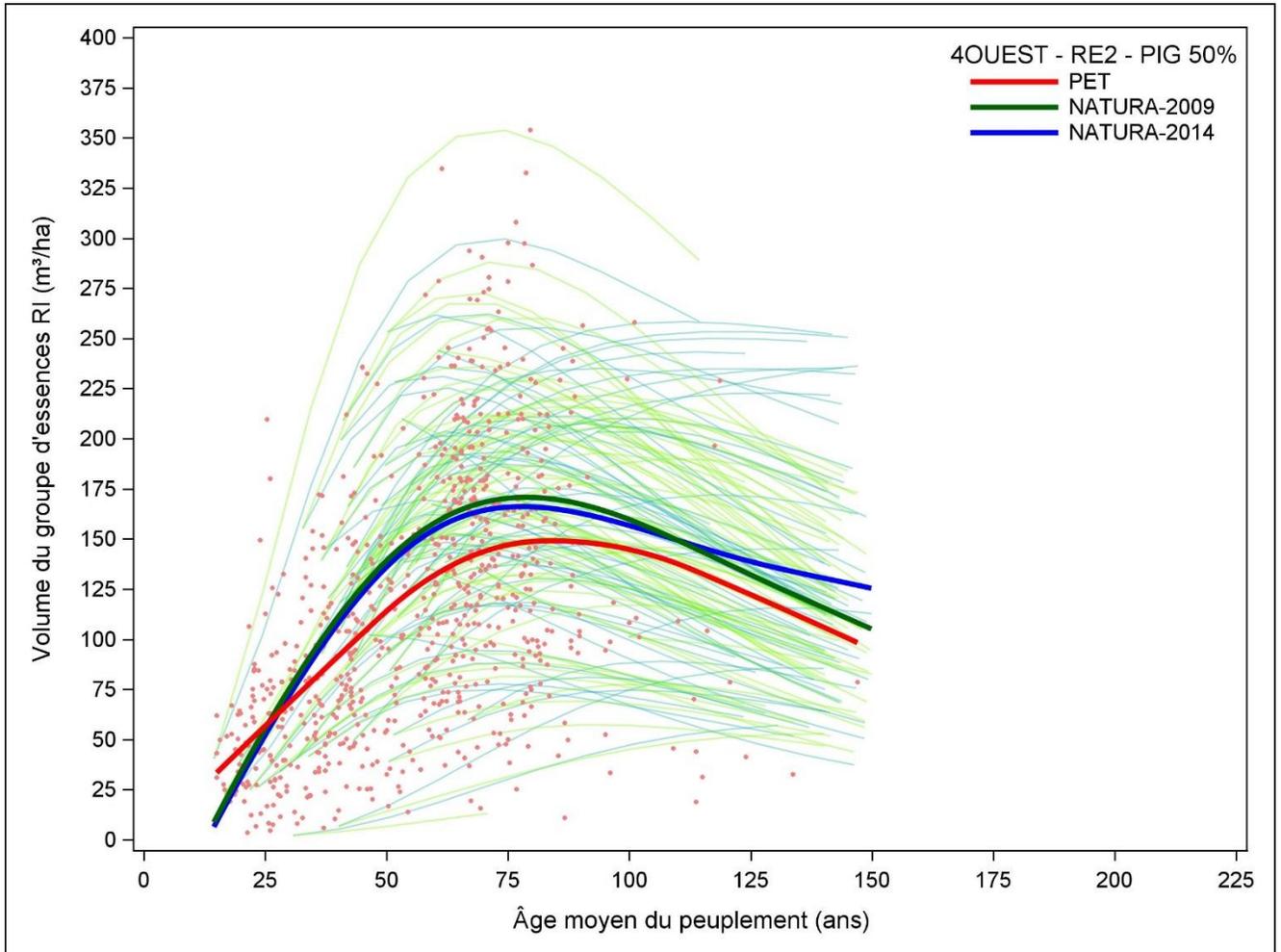
d) Sous-domaine bioclimatique 4ouest, végétation potentielle MS2, type de peuplement SAB 50 %



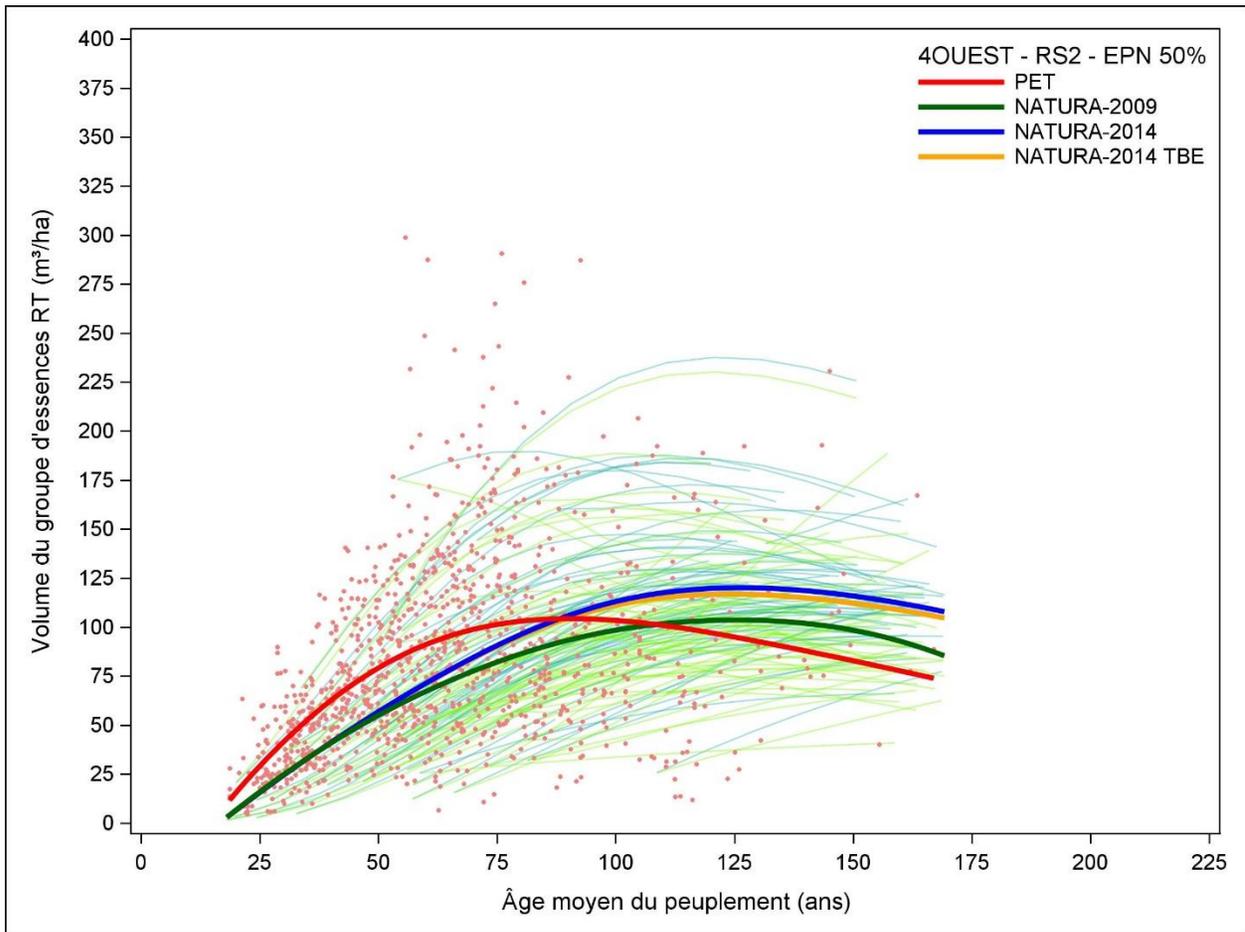
e) Sous-domaine bioclimatique 4ouest, végétation potentielle RE2, type de peuplement EPN 50 %



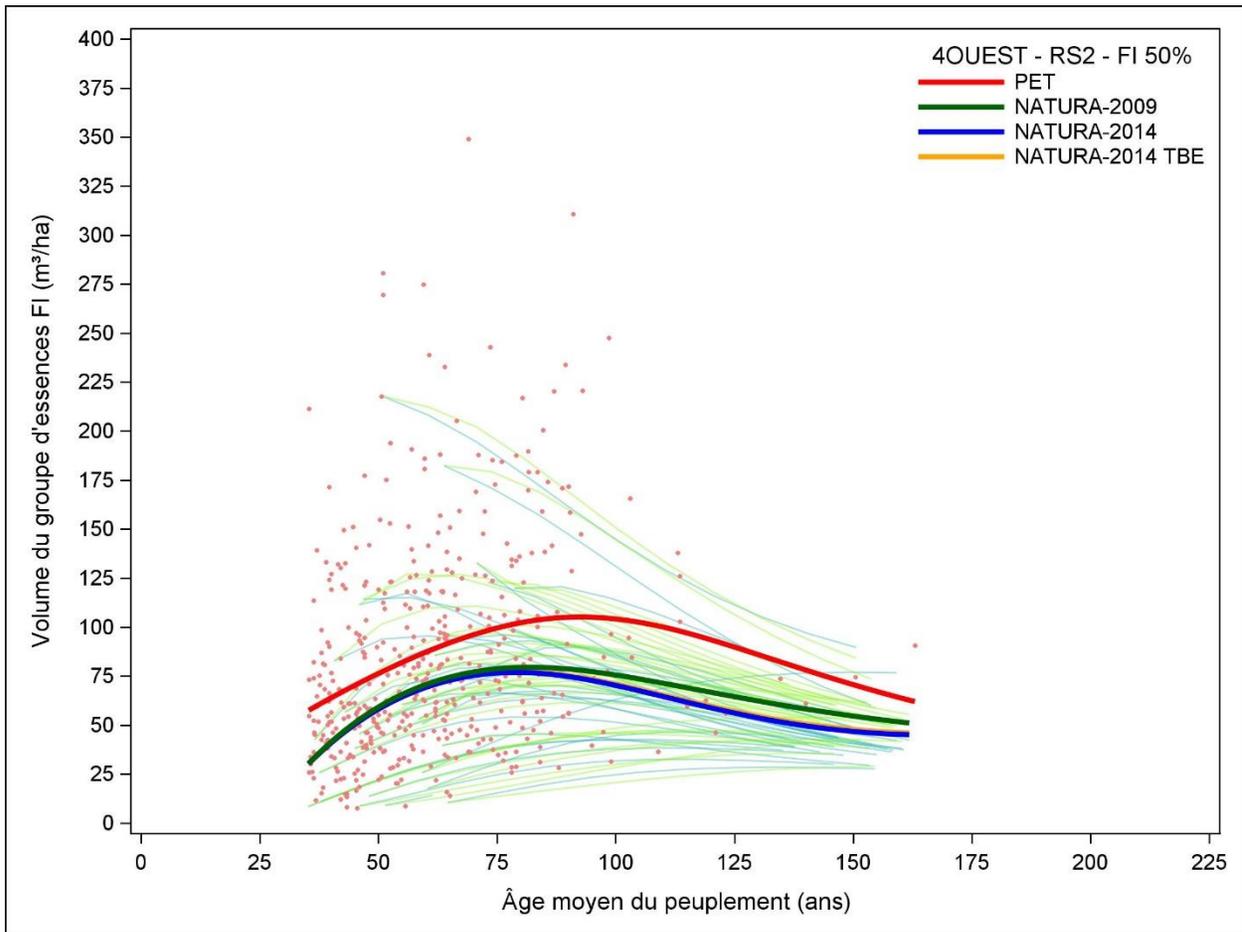
f) Sous-domaine bioclimatique 4ouest, végétation potentielle RE2, type de peuplement PIG 50 %



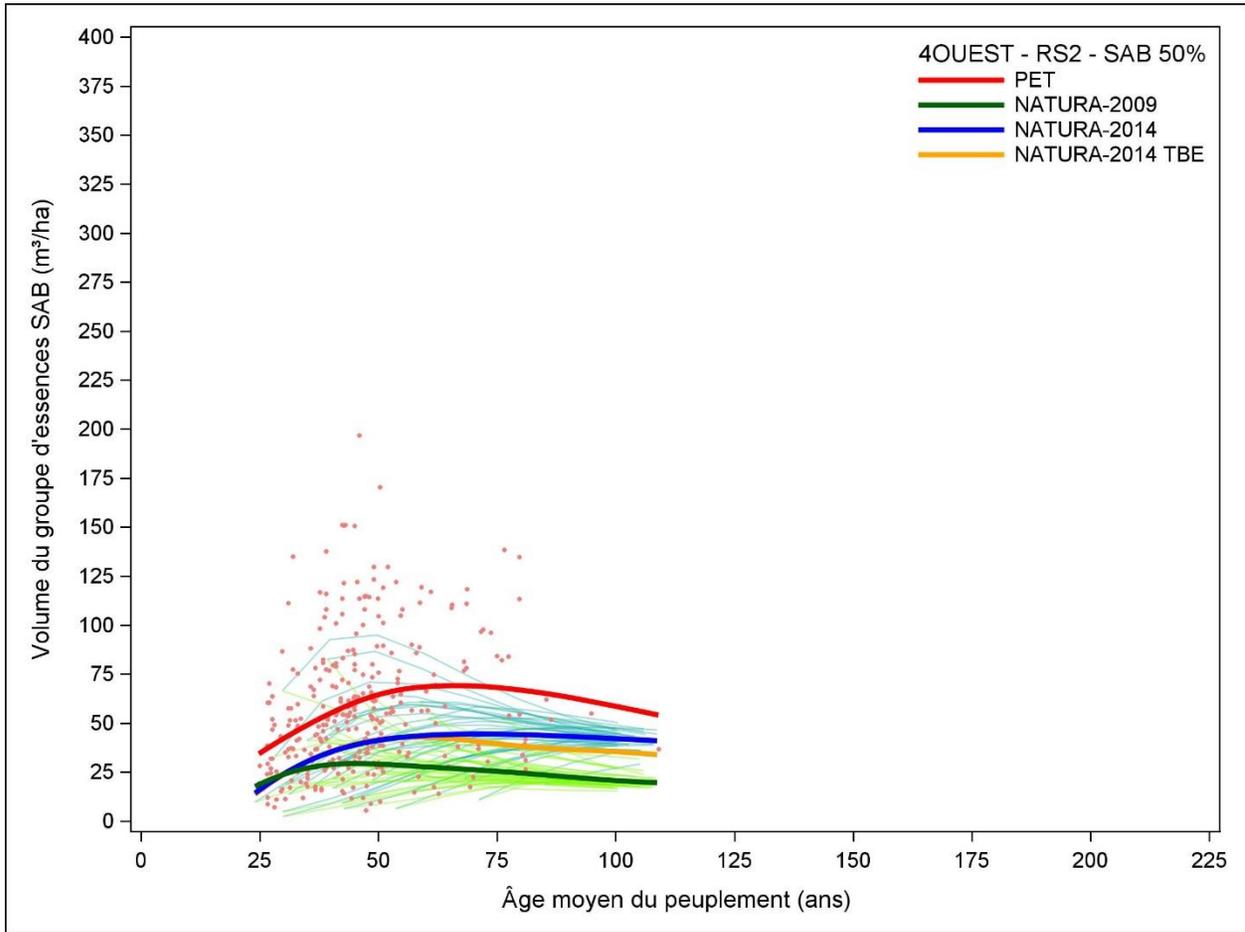
g) Sous-domaine bioclimatique 4ouest, végétation potentielle RS2, type de peuplement EPN 50 %



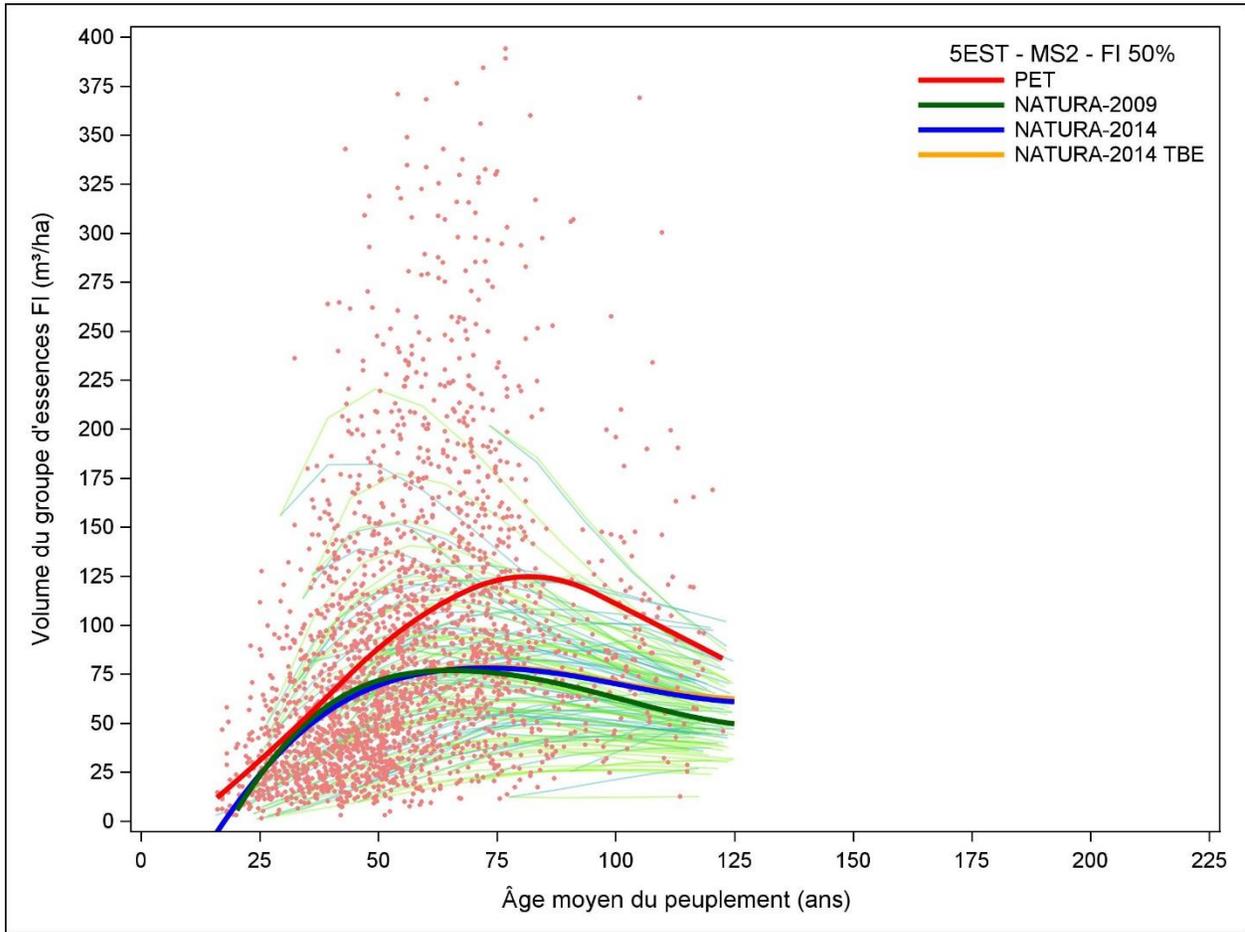
h) Sous-domaine bioclimatique 4ouest, végétation potentielle RS2, type de peuplement FI 50 %



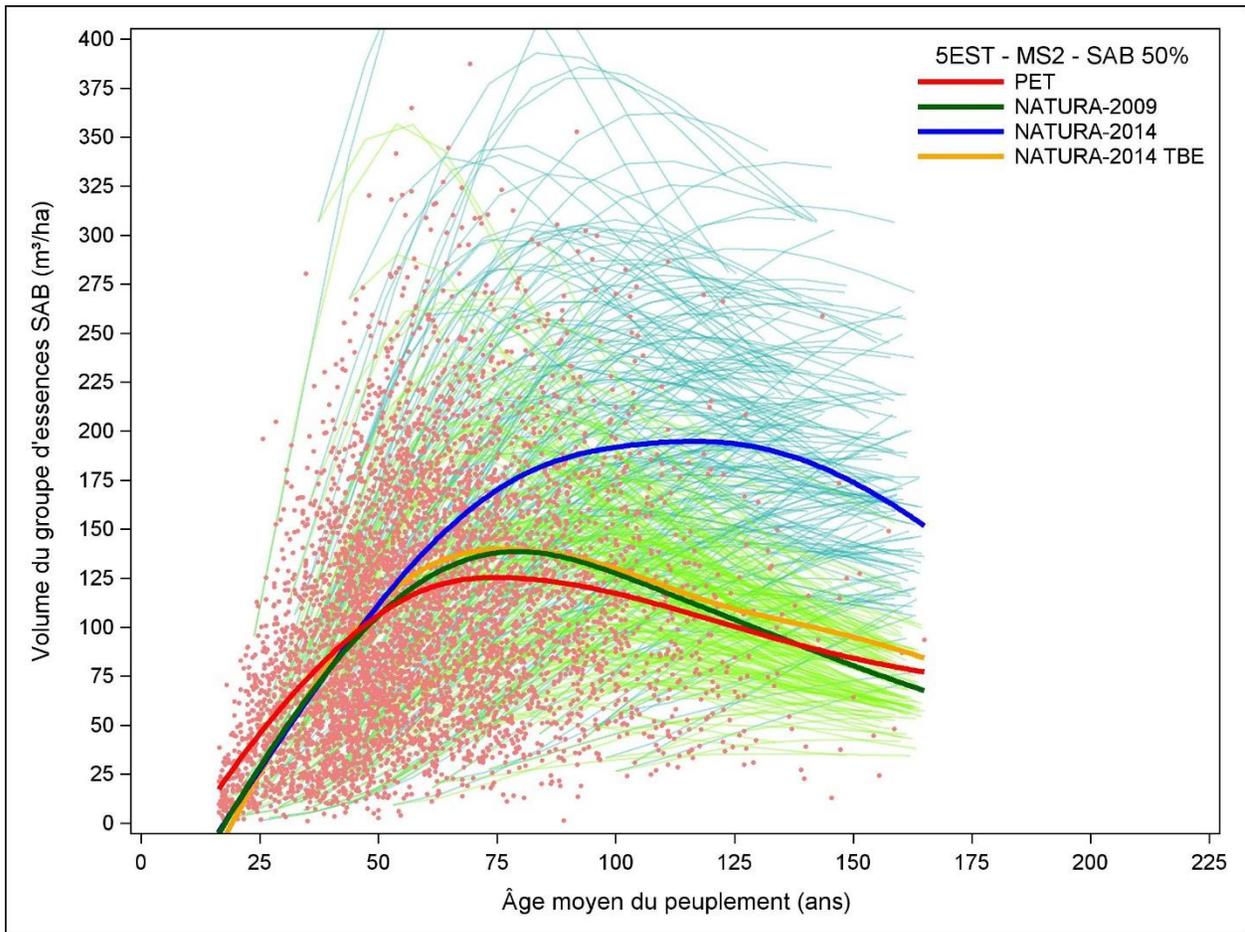
i) Sous-domaine bioclimatique 4ouest, végétation potentielle RS2, type de peuplement SAB 50 %



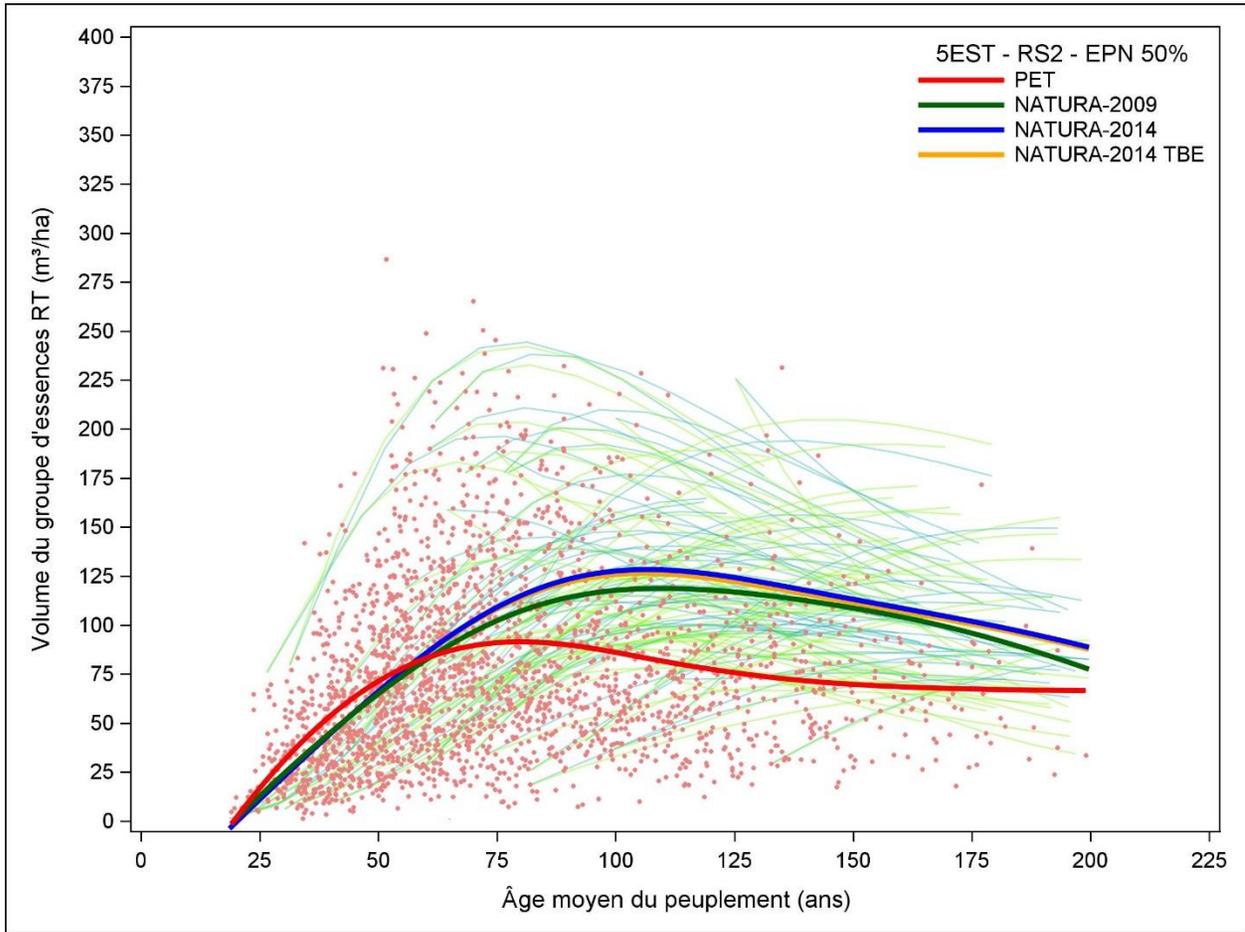
j) Sous-domaine bioclimatique 5est, végétation potentielle MS2, type de peuplement FI 50 %



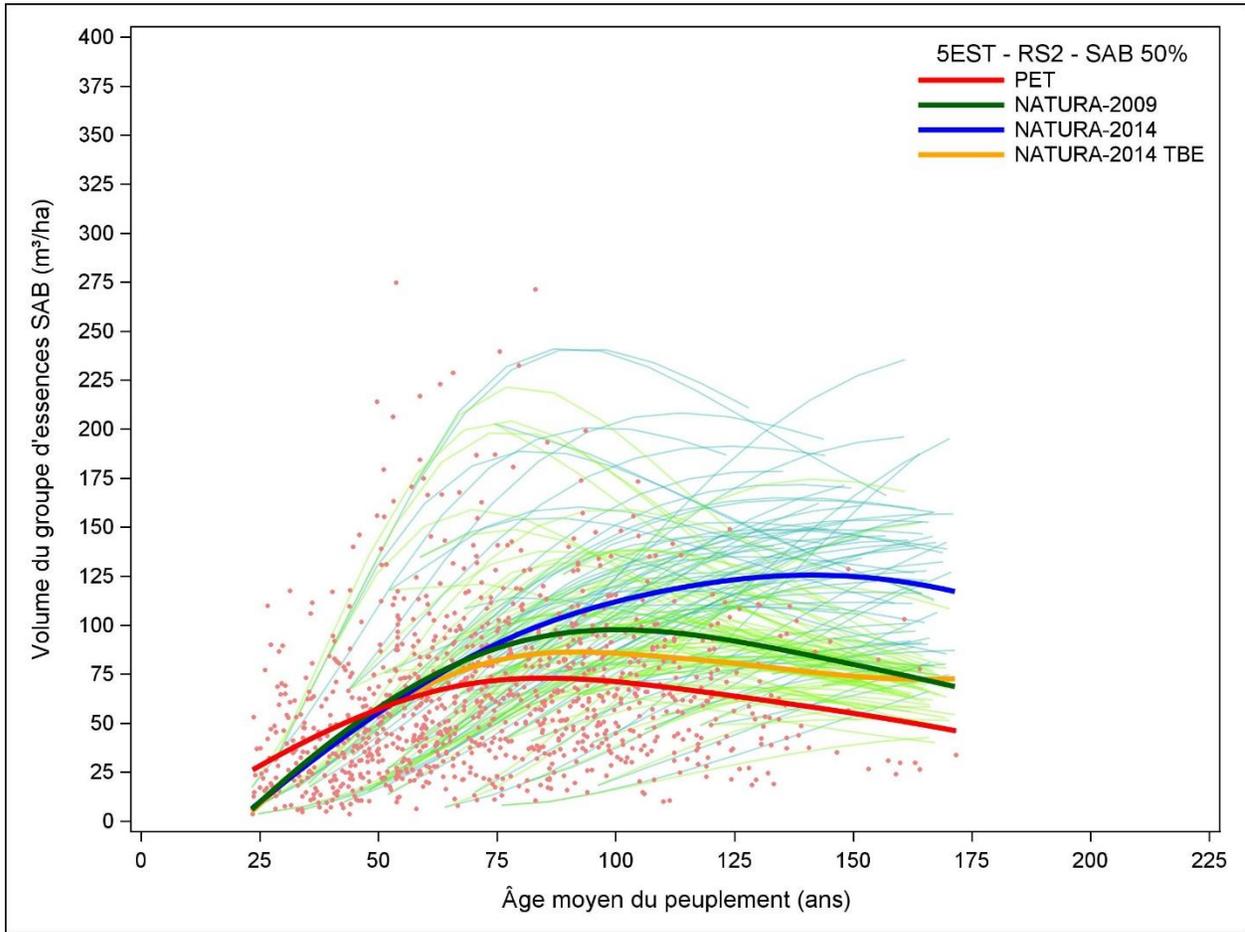
k) Sous-domaine bioclimatique 5est, végétation potentielle MS2, type de peuplement SAB 50 %



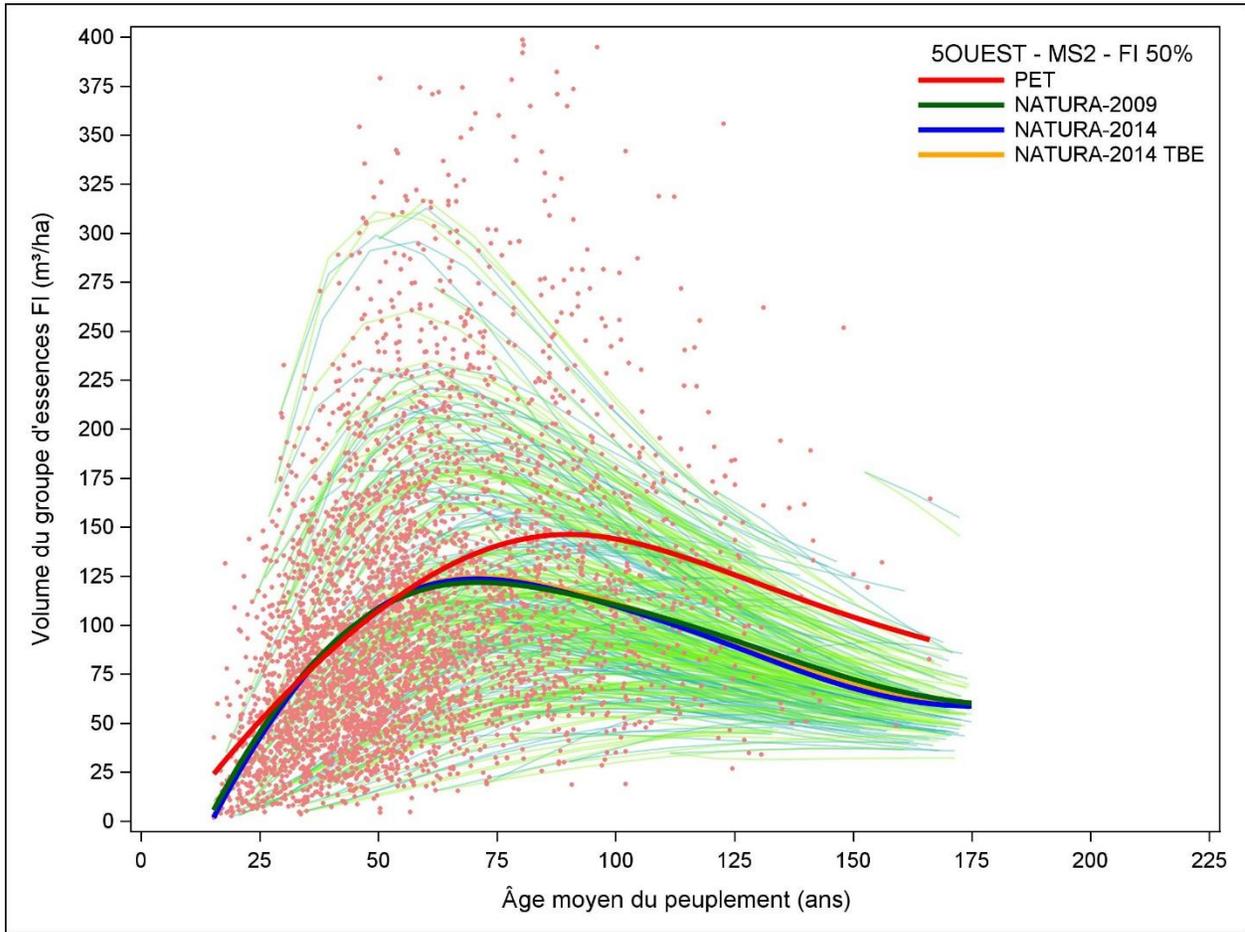
l) Sous-domaine bioclimatique 5est, végétation potentielle RS2, type de peuplement EPN 50 %



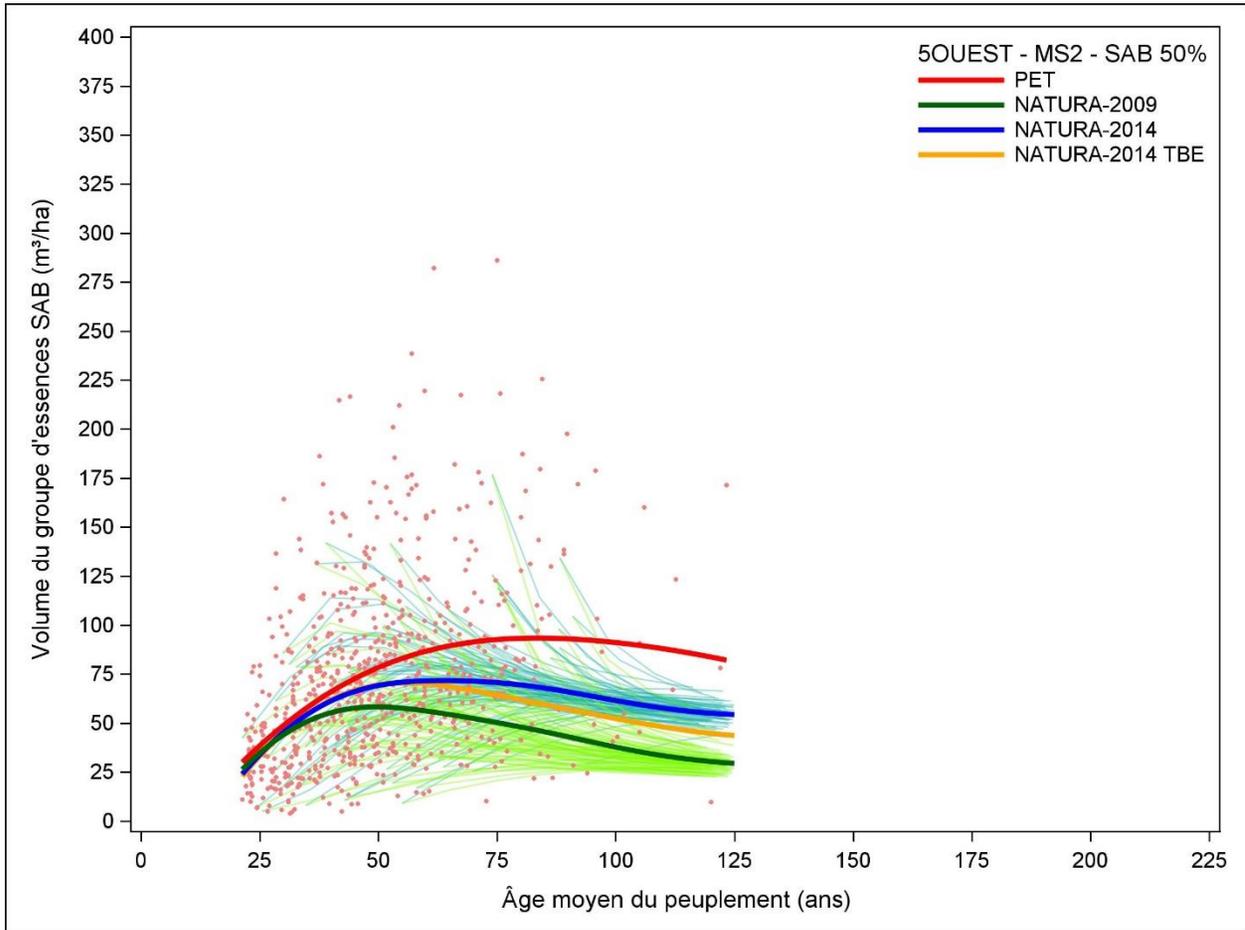
m) Sous-domaine bioclimatique 5est, végétation potentielle RS2, type de peuplement SAB 50 %



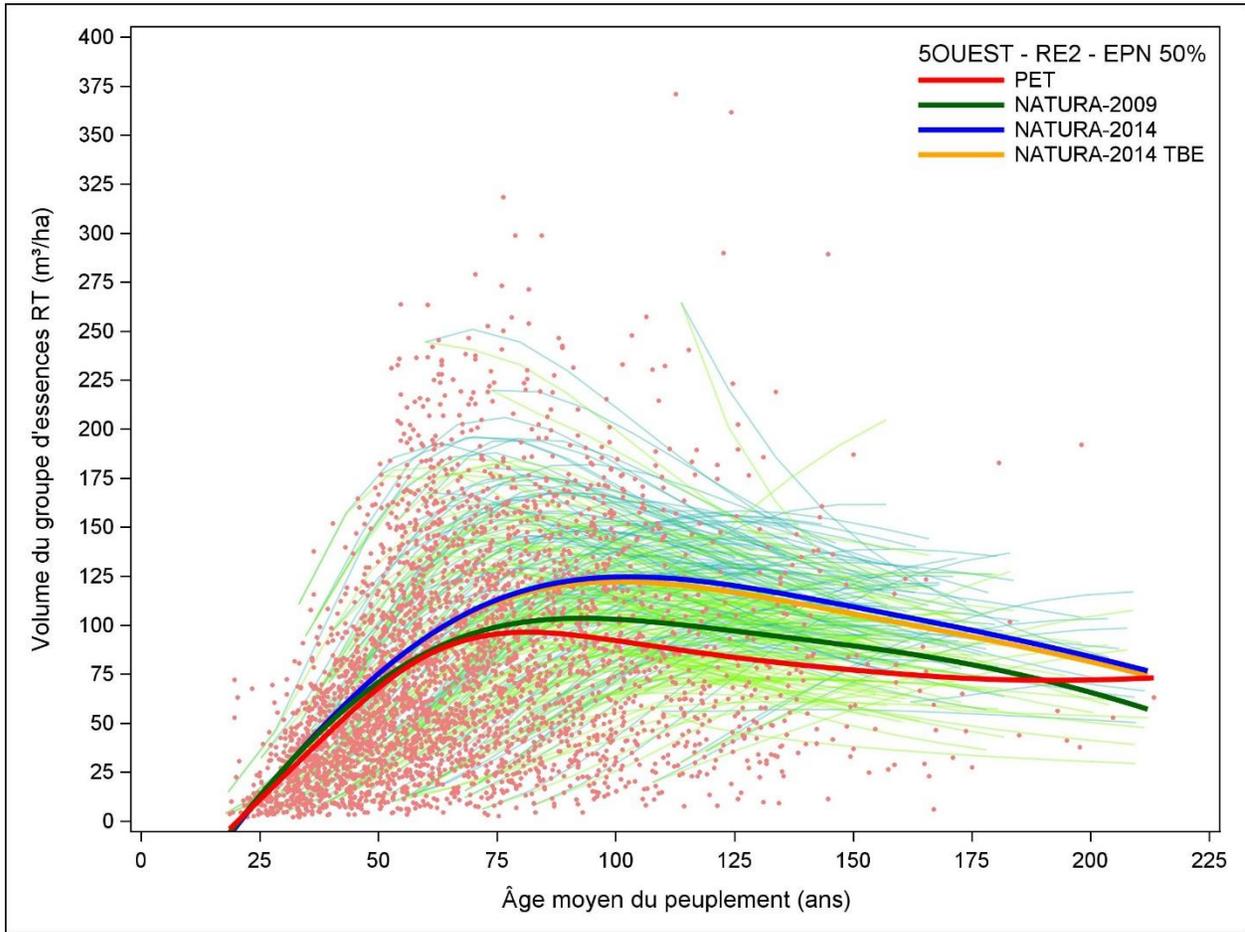
n) Sous-domaine bioclimatique 5ouest, végétation potentielle MS2, type de peuplement FI 50 %



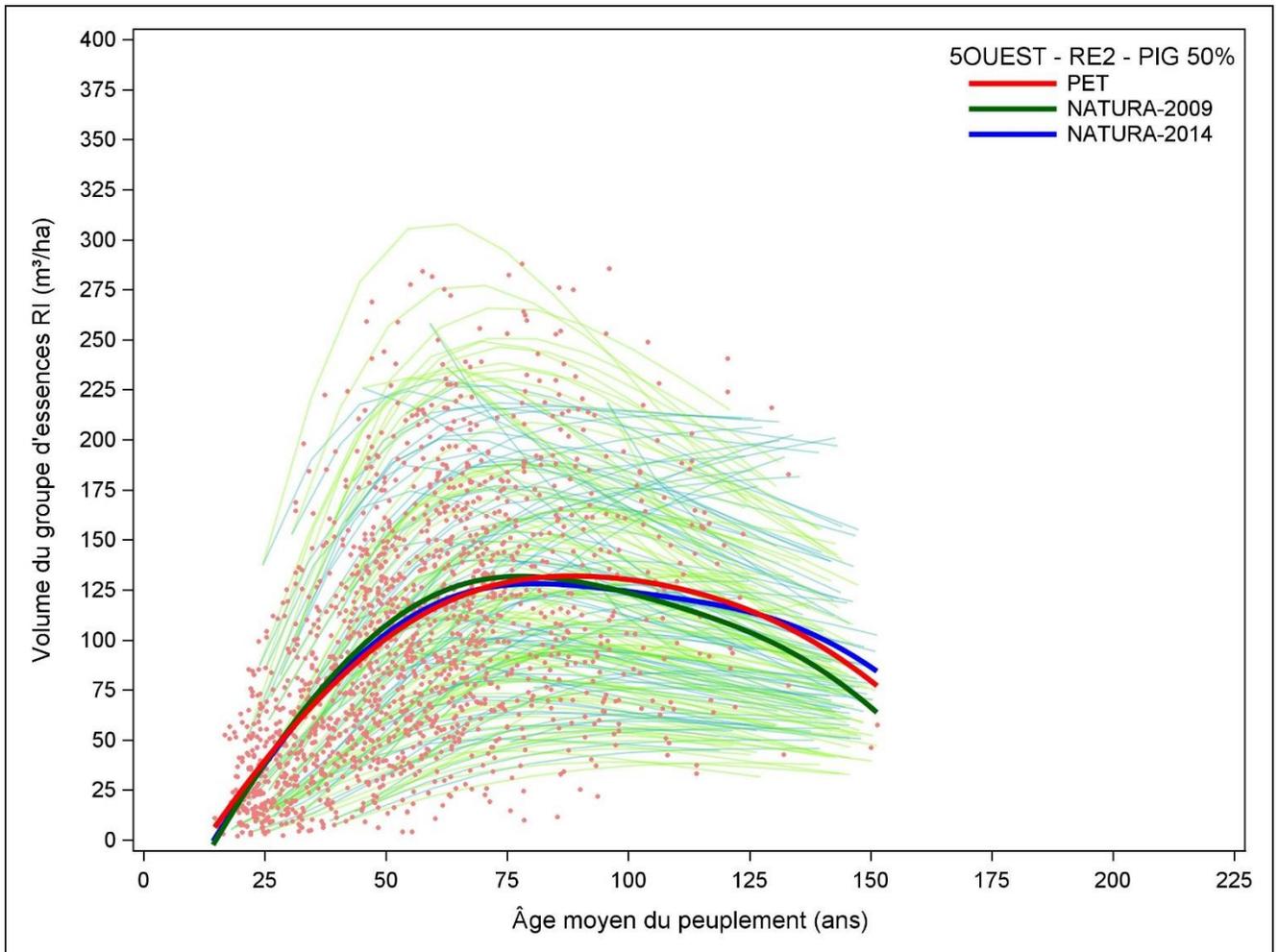
o) Sous-domaine bioclimatique 5ouest, végétation potentielle MS2, type de peuplement SAB 50 %



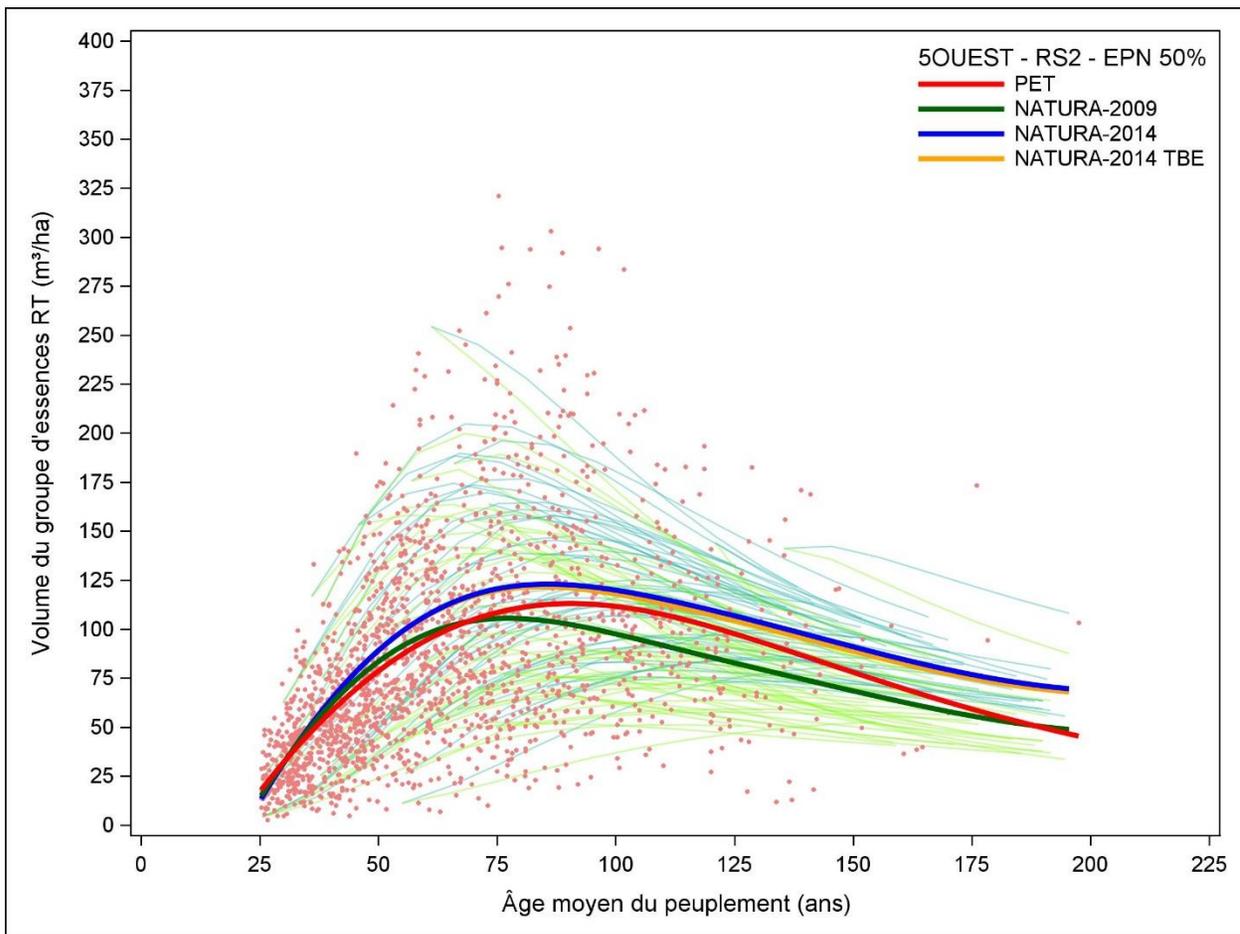
p) Sous-domaine bioclimatique 5ouest, végétation potentielle RE2, type de peuplement EPN 50 %



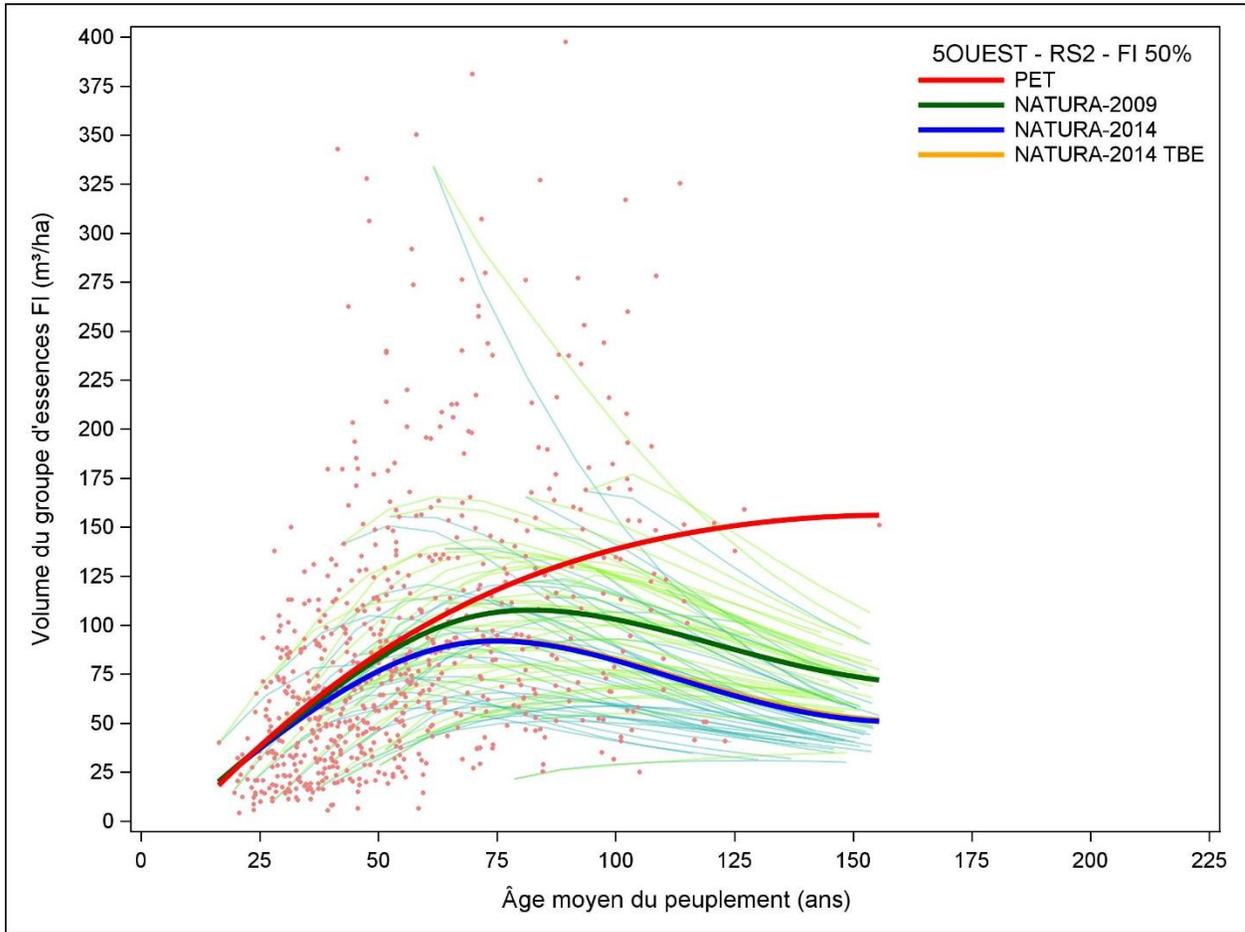
q) Sous-domaine bioclimatique 5ouest, végétation potentielle RE2, type de peuplement PIG 50 %



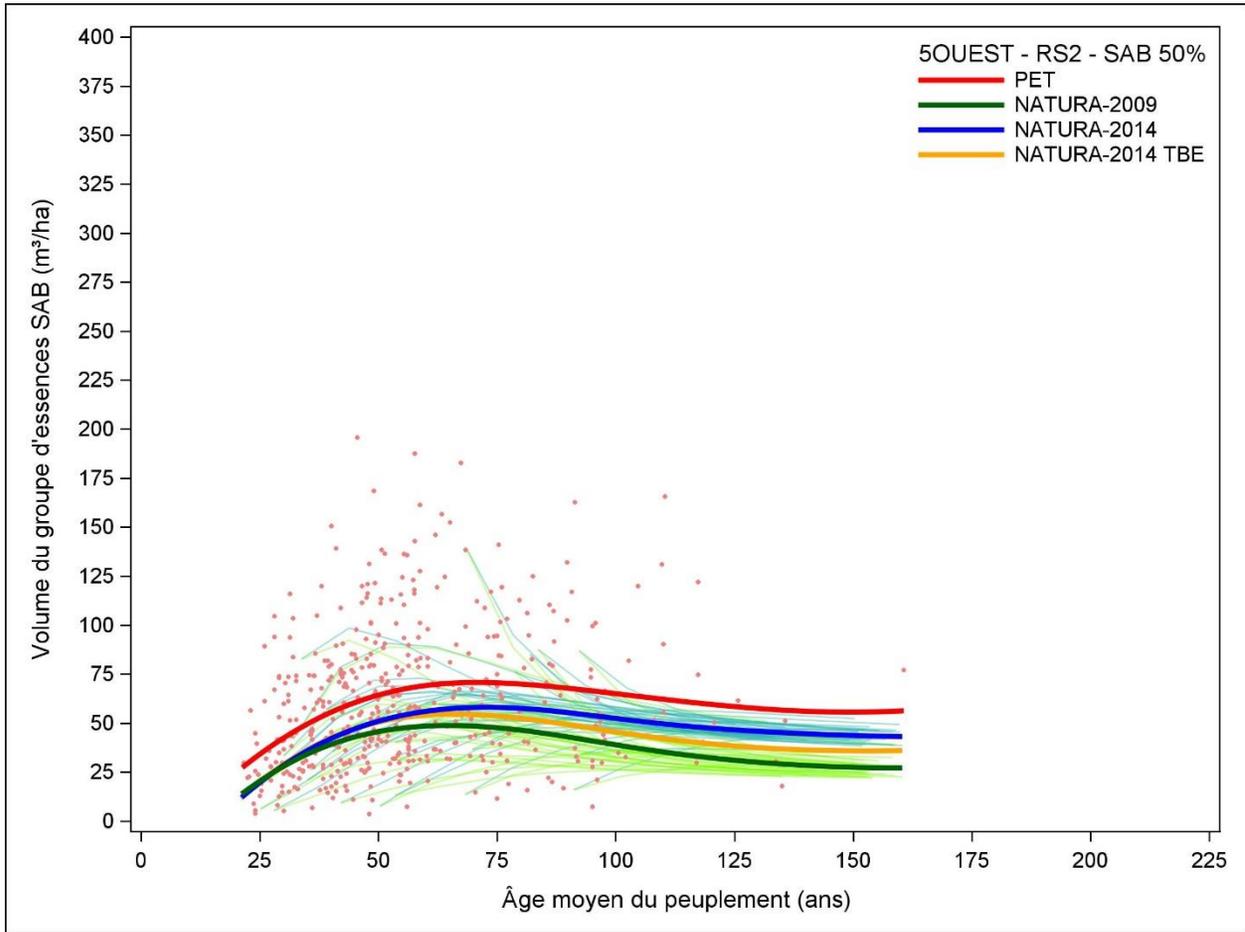
r) Sous-domaine bioclimatique 5ouest, végétation potentielle RS2, type de peuplement EPN 50 %



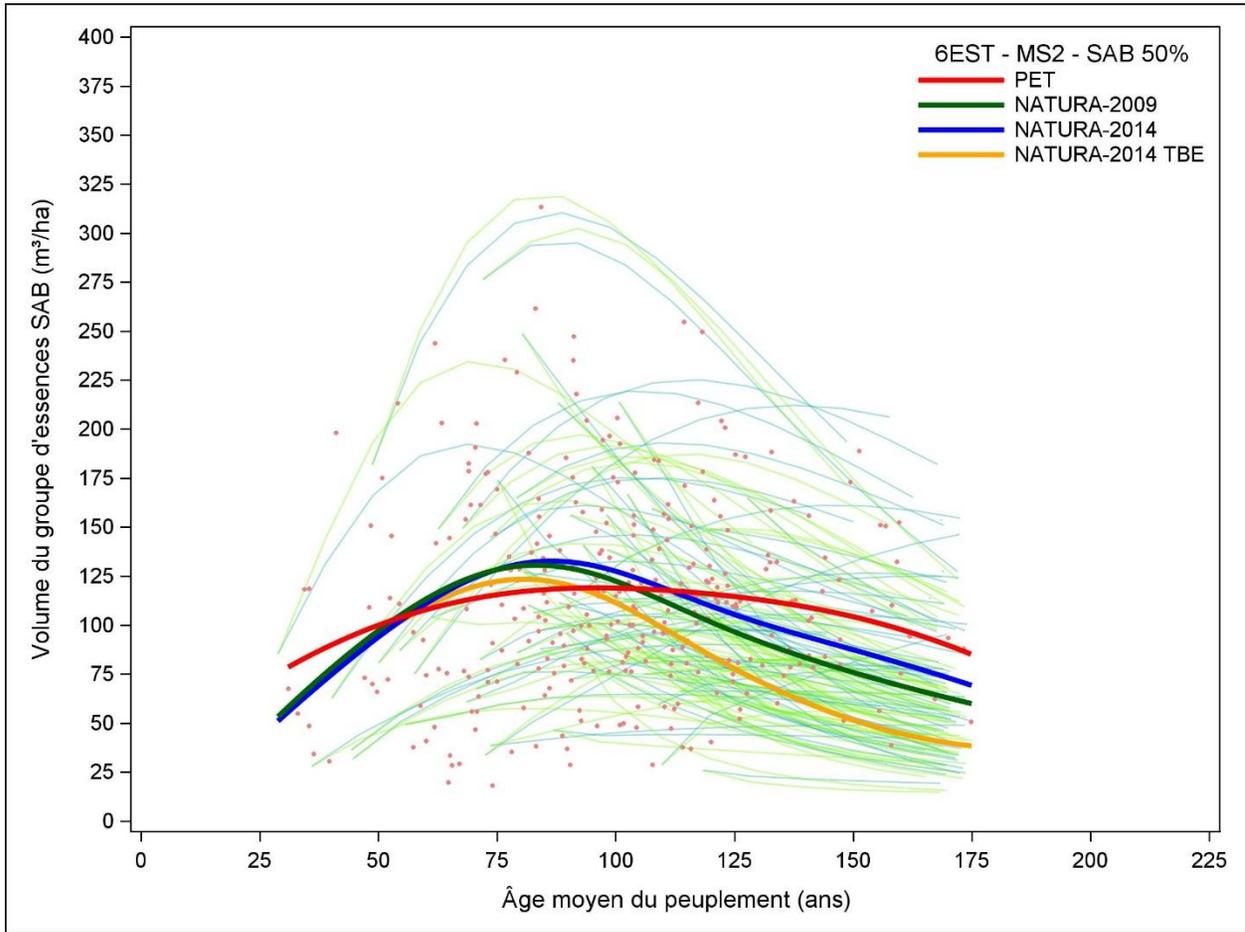
s) Sous-domaine bioclimatique 5ouest, végétation potentielle RS2, type de peuplement FI 50 %



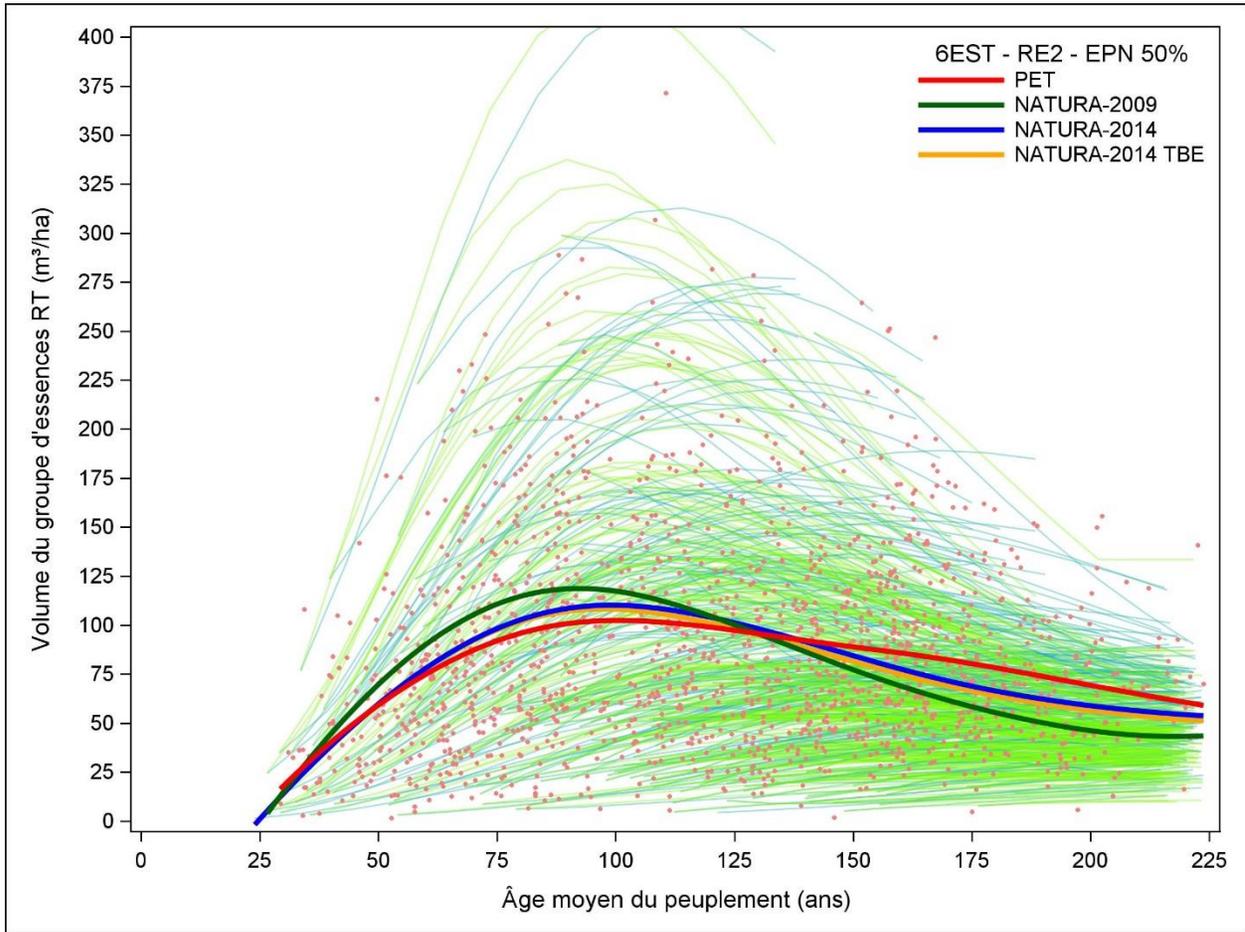
t) Sous-domaine bioclimatique 5ouest, végétation potentielle RS2, type de peuplement SAB 50 %



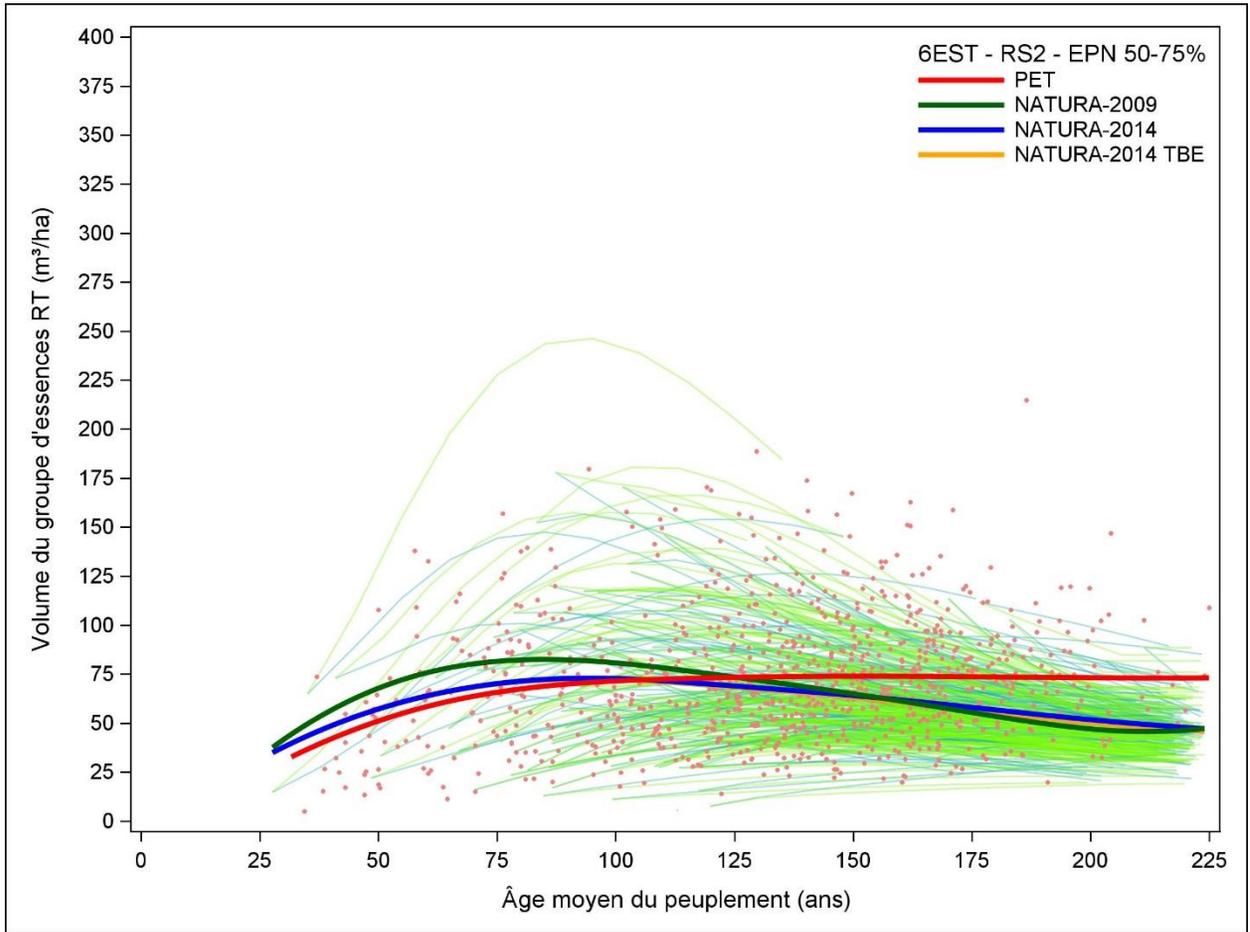
u) Sous-domaine bioclimatique 6est, végétation potentielle MS2, type de peuplement SAB 50 %



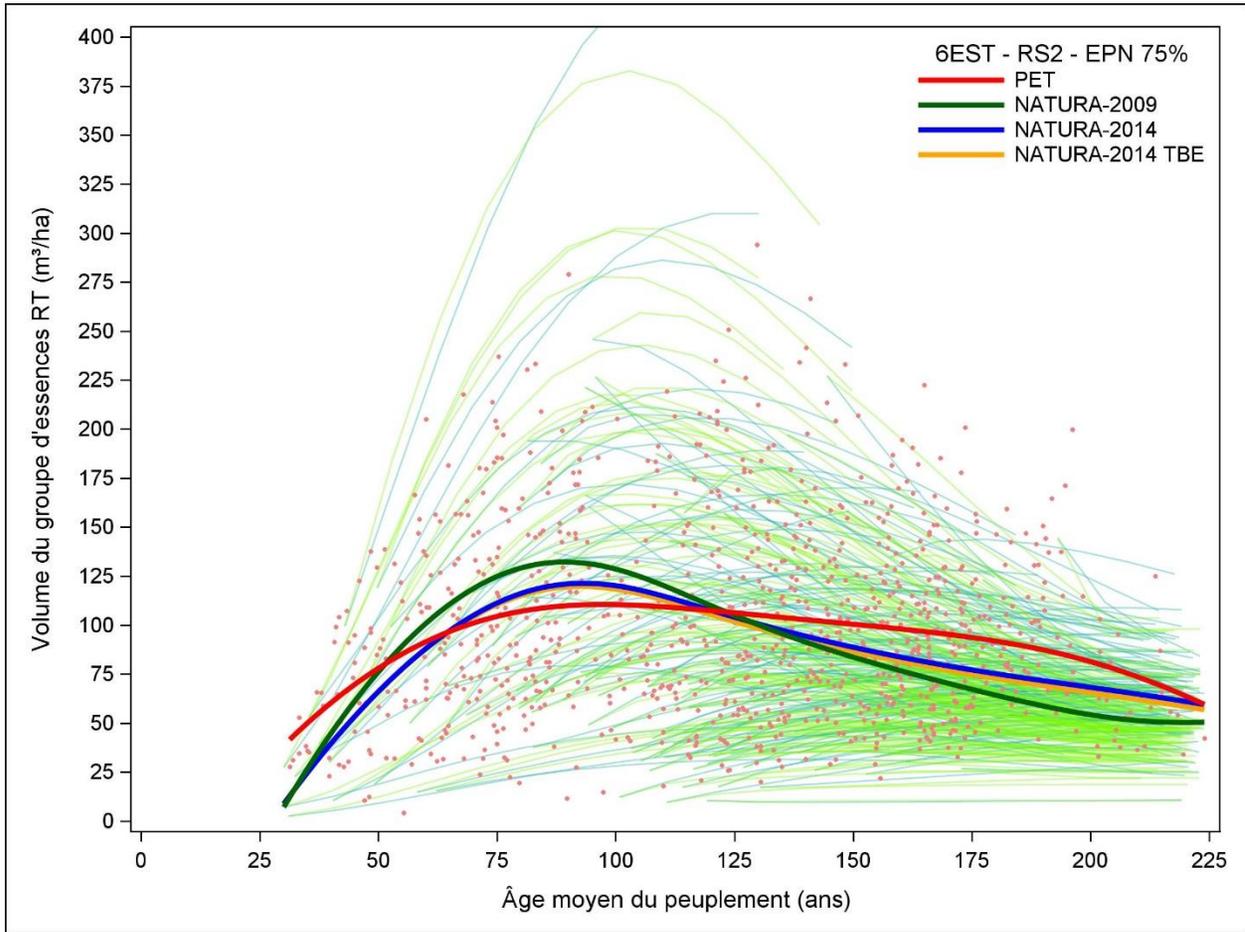
v) Sous-domaine bioclimatique 6est, végétation potentielle RE2, type de peuplement EPN 50 %



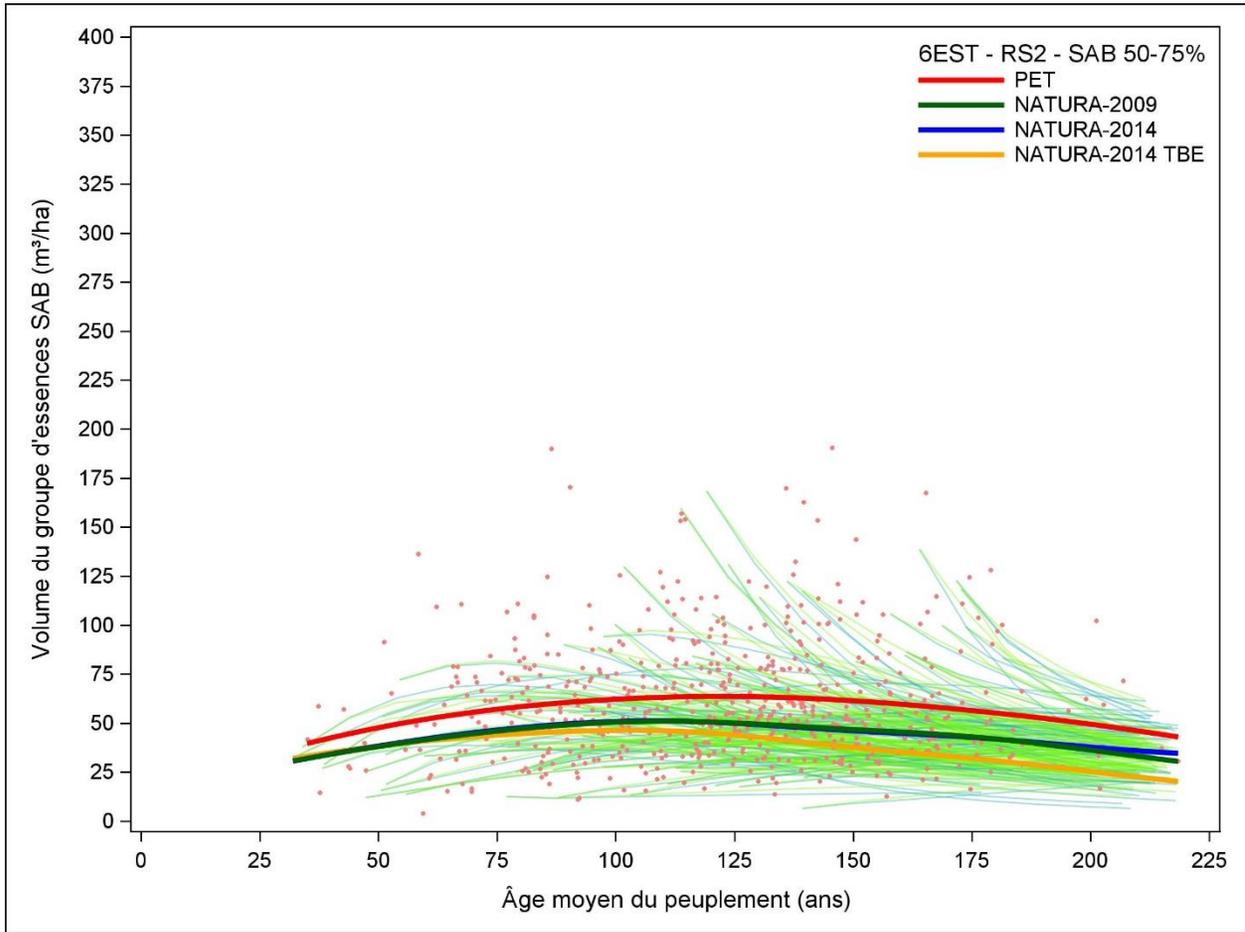
w) Sous-domaine bioclimatique 6est, végétation potentielle RS2, type de peuplement EPN 50–75 %



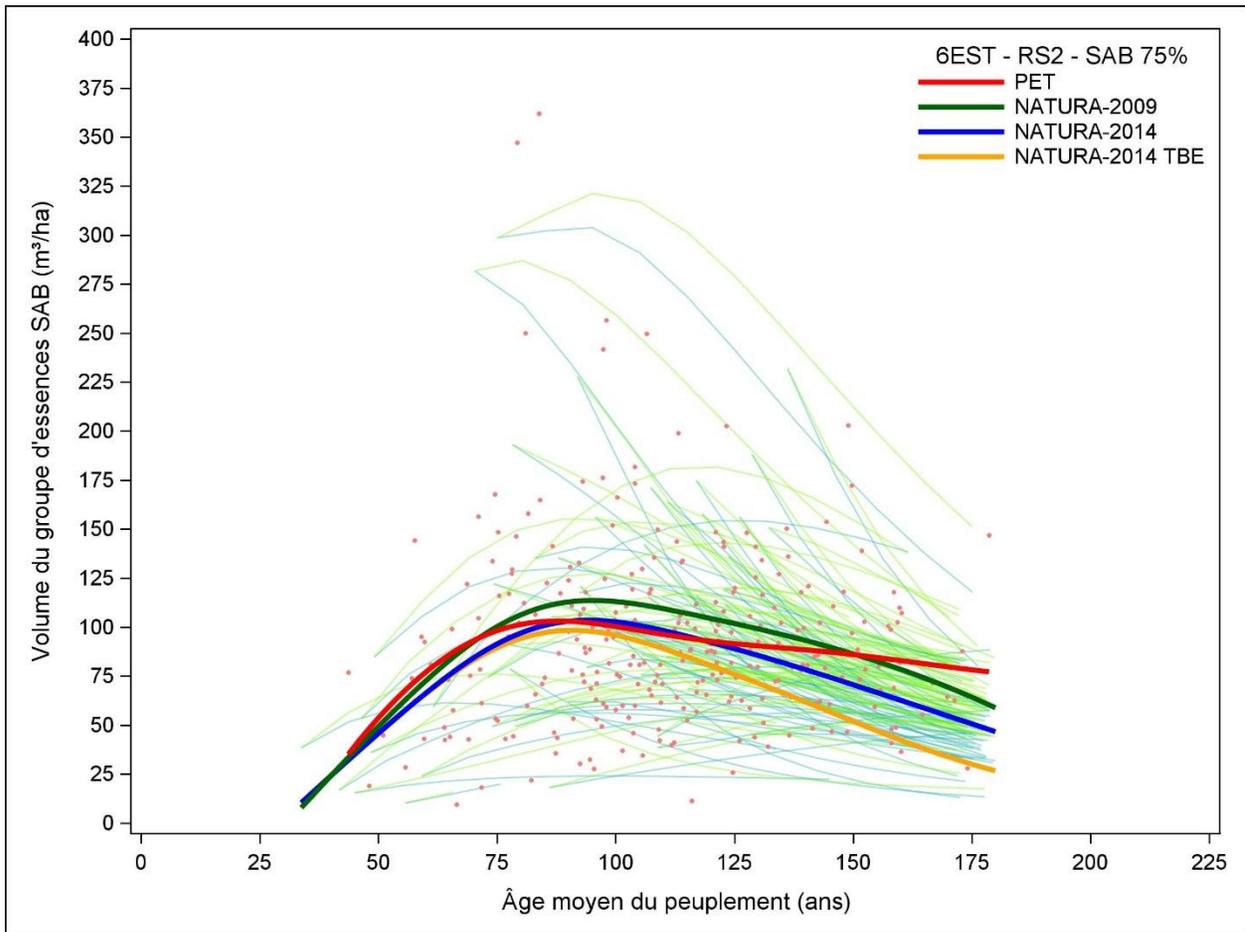
x) Sous-domaine bioclimatique 6est, végétation potentielle RS2, type de peuplement EPN 75 %



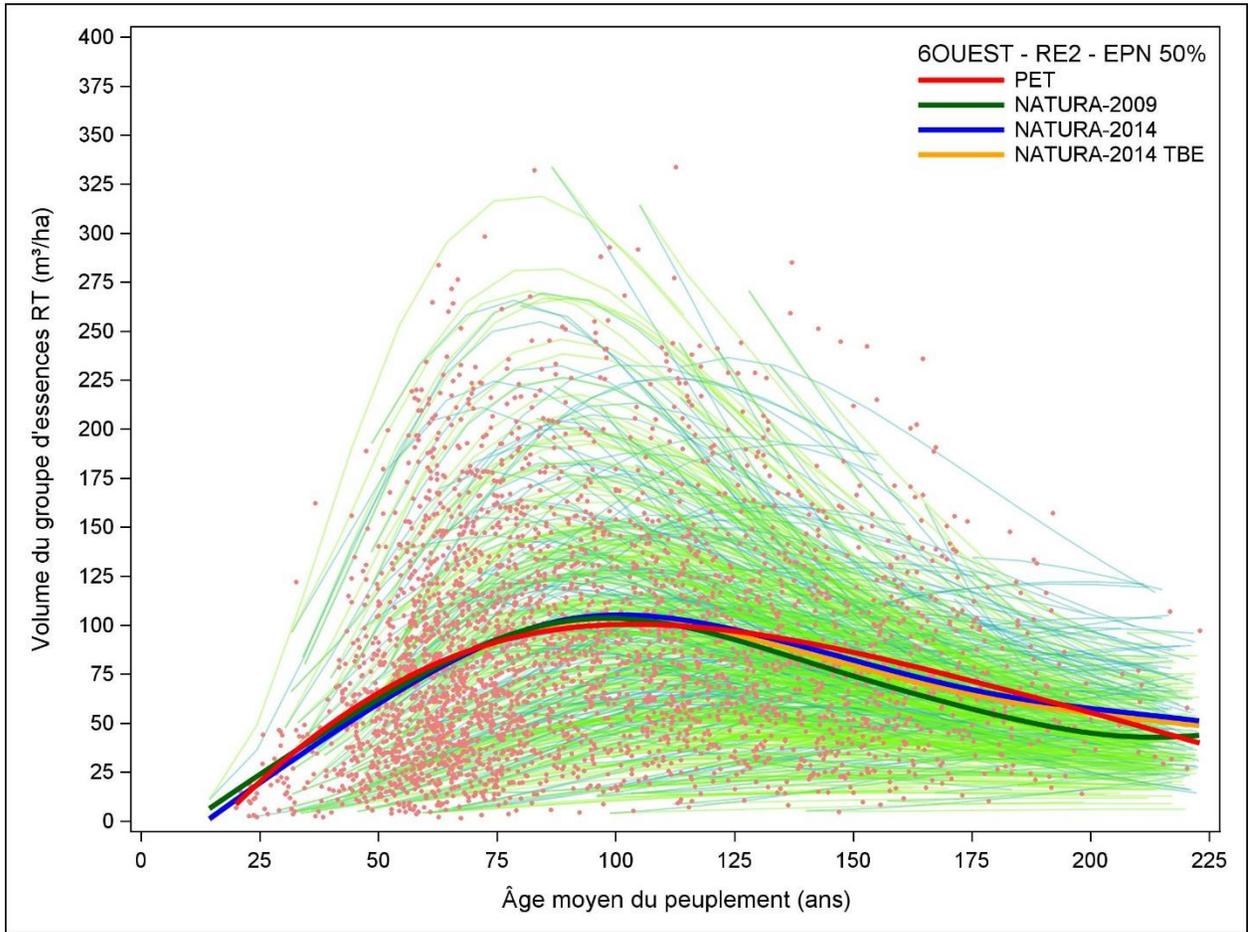
y) Sous-domaine bioclimatique 6est, végétation potentielle RS2, type de peuplement SAB 50–75 %



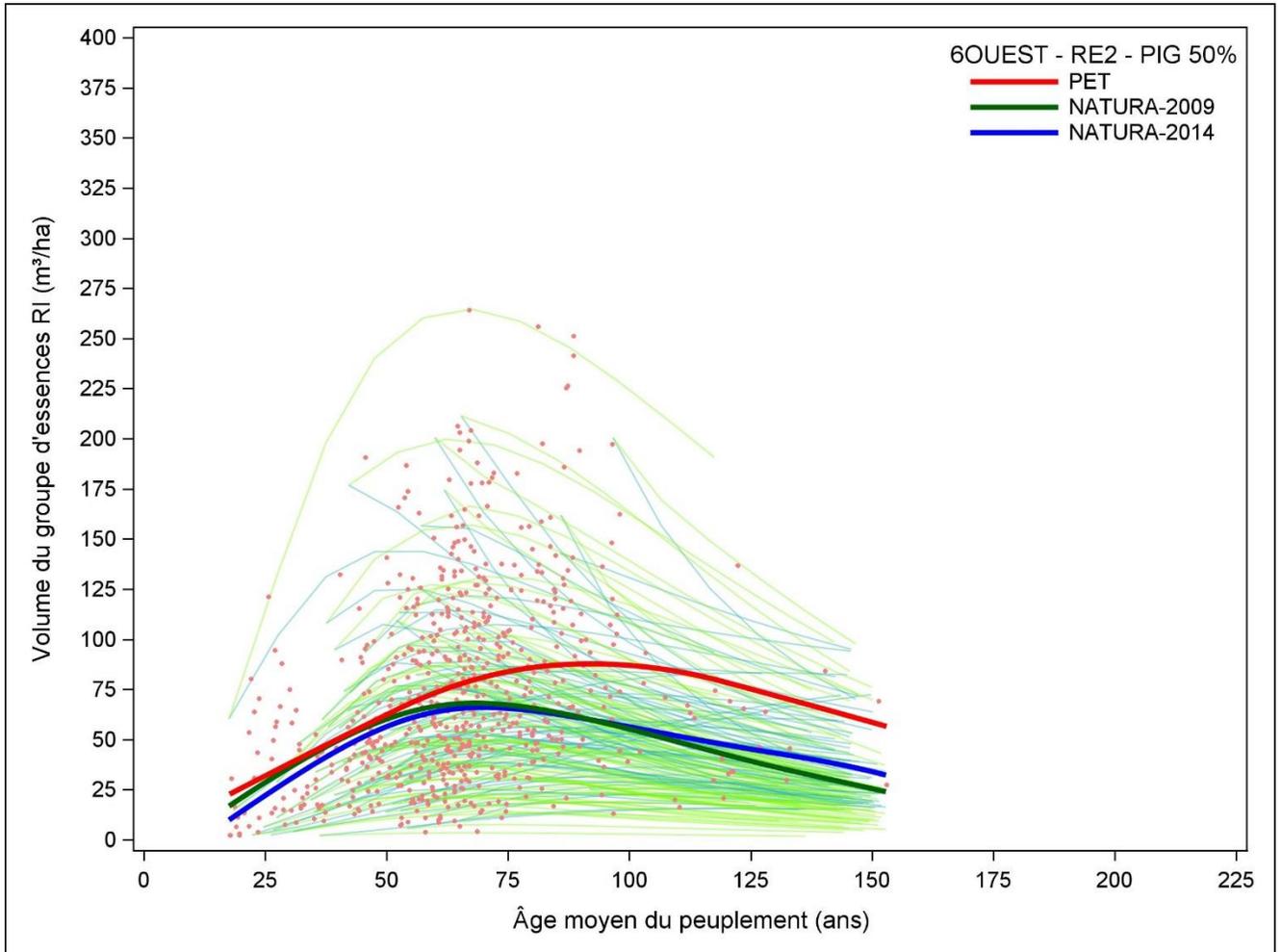
z) Sous-domaine bioclimatique 6est, végétation potentielle RS2, type de peuplement SAB 75 %



aa) Sous-domaine bioclimatique 6ouest, végétation potentielle RE2, type de peuplement EPN 50 %



bb) Sous-domaine bioclimatique 6ouest, végétation potentielle RE2, type de peuplement PIG 50 %



cc) Sous-domaine bioclimatique 6ouest, végétation potentielle RS2, type de peuplement EPN 50 %

