

Titre : Prescription de croisements dirigés pour l'intégration de plants d'épinette noire à croissance rapide dans la filière de production de plants pour les zones d'amélioration A et C

Auteur : Mireille Desponts

Date : Mai 2019

1. Contexte

Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs envisage d'augmenter la productivité d'une partie des plantations d'épinette noire réalisées dans les domaines bioclimatiques de la pessière à mousses et de la sapinière à bouleau blanc (zones d'amélioration A et C). L'objectif est d'augmenter la productivité de plantations d'épinette noire en utilisant des plants à croissance plus rapide, issus de croisements dirigés entre parents sélectionnés, plutôt que des plants produits à partir de semences des vergers à graines conventionnels. Les jeunes plants seront reproduits par bouturage. Cette stratégie est déjà utilisée depuis plusieurs décennies dans les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune et de l'érablière à bouleau jaune (zones B et D; Tousignant *et al.* 1996, 2007).

Les croisements dirigés pour les zones A et C pourront être réalisés à la pépinière de Grandes-Piles. La récolte de pollen sera aussi réalisée en partie à Grandes-Piles, ainsi qu'au parc d'hybridation du Centre d'expérimentation et de greffage de Duchesnay ou à la pépinière de Sainte-Luce. Nous fournissons ici une liste des parents d'épinette noire recommandés pour leurs performances sur le plan de la croissance et des propriétés mécaniques du bois, de même que pour leur adaptation aux conditions climatiques des secteurs visés. Il s'agit en premier lieu d'individus provenant du secteur est des sous-domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest et de la sapinière à bouleau jaune de l'Ouest (zone A, verger de Grandes-Piles) La population d'amélioration correspondant à ce secteur a été mesurée dans deux tests de clones en 2017-2018 (Desponts 2018). Des individus provenant du sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Est (zone C, verger de Sainte-Luce) ont aussi été sélectionnés. Les deux tests de clones où est évaluée la population d'amélioration de cette zone ont été mesurés en 2016 (Desponts 2017).

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

Précisons que les tests de clones correspondant au secteur ouest de la zone d'amélioration A seront mesurés en 2020, ce qui nous permettra éventuellement d'ajouter un certain nombre d'individus supérieurs de l'Abitibi. L'objectif ultime est de retenir une trentaine de parents pour le plan de croisement et d'augmenter le rendement des plantations (tout en maintenant ou améliorant les propriétés mécaniques du bois) comparativement à celui obtenu lorsque les plants produits sont les descendants de l'ensemble des populations d'amélioration. Actuellement, le gain génétique prédit est de 18,1 % en hauteur à 10 ans et 19,2 % (ou 18,8 m³·ha⁻¹) en volume à 35 ans pour les descendants de l'ensemble des 181 arbres sélectionnés de la zone A, et de 15,5 % en hauteur à 10 ans et de 13,0 % (ou 16,6 m³·ha⁻¹) en volume à 35 ans pour l'ensemble des descendants des 100 arbres sélectionnés de la zone C (Desponts et Numainville 2013).

2. Méthodologie

Le programme québécois d'amélioration génétique de l'épinette noire s'articule autour de la sélection d'arbres supérieurs dans des tests de descendance pour produire une 2^e génération d'arbres améliorés. Ces arbres supérieurs ont été reproduits par bouturage pour constituer des vergers de clones, un parc d'hybridation et des tests de clones établis en milieux naturels (Desponts et Numainville 2013). Depuis quelques années, nous sélectionnons méticuleusement les clones dans ces tests selon leur croissance et la qualité de leur bois à 15 ans, en vue d'émettre des prescriptions d'éclaircie pour les vergers de clones de chaque zone d'amélioration. La mise au point de méthodes de mesures indirectes *in situ* permet de sélectionner efficacement en fonction de la densité et du module d'élasticité (MoE) du bois au sein d'un grand nombre d'arbres dans nos dispositifs expérimentaux (Desponts *et al.* 2017).

Les résultats de ces travaux ont démontré que l'héritabilité de la densité du bois évaluée avec le Pilodyn¹ est comparable à celle de la densité du bois (masse volumique) mesurée sur des carottes de bois des mêmes arbres. L'héritabilité du MoE, évaluée à l'aide de mesures du temps de propagation acoustique (appareil *Fakopp TreeSonic*) combinées à celles du Pilodyn, est encore plus forte et montre des valeurs très stables d'un test de descendance à l'autre. Les mesures *in situ* de densité et de MoE se sont aussi avérées fortement corrélées à celles réalisées en laboratoire sur les carottes de bois.

Pour les sélections présentées ici, nous avons employé des méthodes semblables dans les 2 zones d'amélioration. Dans la zone A, les tests (tous 2 reliés au verger de clones de Grandes-Piles, figure 1) comportent 119 clones dans 10 blocs aléatoires complets avec 2 arbres par parcelle. Un arbre sur 2 a été

¹ Appareil à piston projetant une pointe d'acier avec une force constante. Il permet d'évaluer la résistance du bois au perçage par la mesure de la profondeur de pénétration.

élagué et mesuré dans tous les blocs du test de Duparquet, et dans 8 blocs du test de Villiers. Dans la zone C, les tests de Rivière-aux-Rosiers et de Chauveau, tous 2 reliés au verger de clones de Sainte-Luce, comportent 109 clones dans 10 blocs aléatoires complets. Un arbre sur 2 a été élagué et mesuré dans 8 blocs.

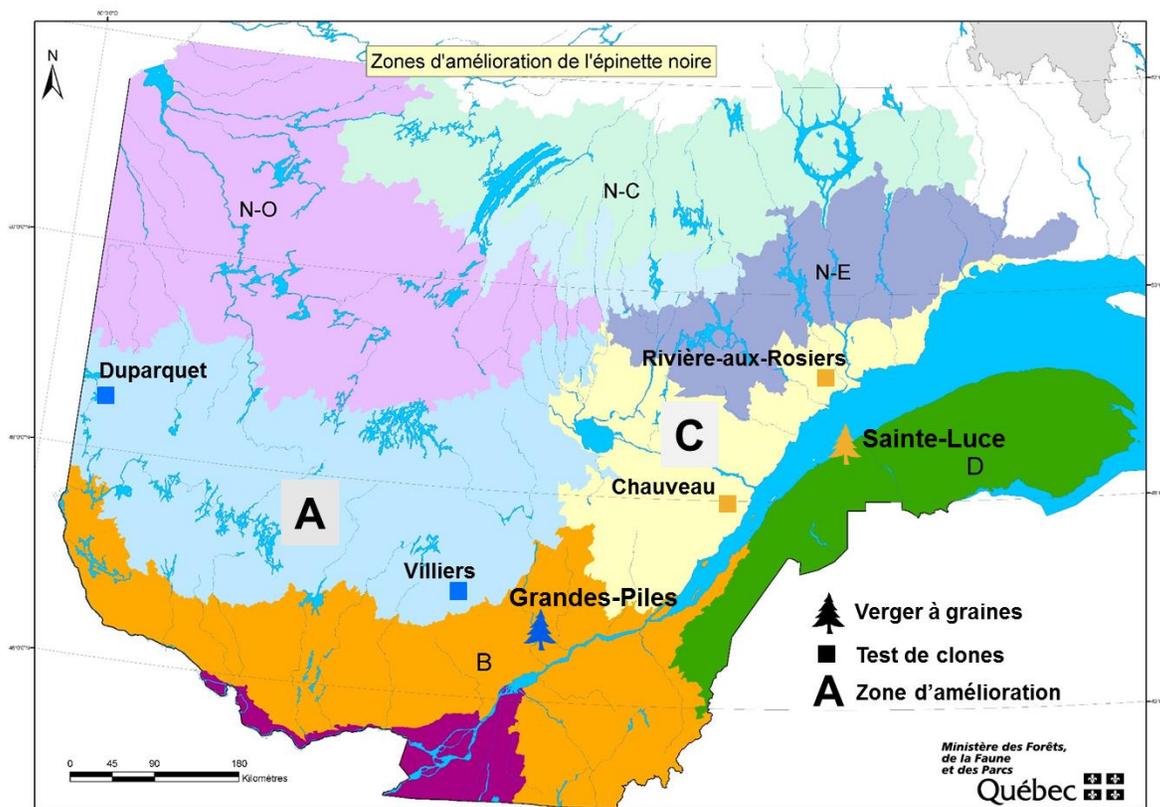


Figure 1. Répartition des tests de clones et des vergers à graines clonaux dans les zones d'amélioration A et C du programme québécois d'amélioration génétique de l'épinette noire.

En plus de mesurer la hauteur et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP, mesuré à 1,3 m du sol), nous avons évalué le module d'élasticité² du bois en prenant 3 mesures de densité avec le Pilodyn et 6 lectures de la vitesse de propagation acoustique³ (appareil *Fiber-gen Director ST300*) sur chaque arbre. Pour classer les clones, nous avons utilisé la procédure habituelle pour les tests de descendance, c'est-à-dire une analyse de variance qui détermine les meilleures prédictions linéaires non biaisées (BLUP, pour *Best Linear Unbiased Prediction*) pour chacun des clones dans les 2 tests.

Les résultats présentent l'estimation de l'écart de chaque clone avec la moyenne de la population, lorsque celle-ci est fixée à zéro. Dans un test de descendance, cette estimation équivaut à la valeur d'amélioration.

² $MoE = (Vitesse / 100)^2 / Pilo \times 10$

³ Vitesse de propagation longitudinale d'une onde acoustique dans le tronc des arbres.

Même si la correspondance n'est pas la même dans un test de clones, cette méthode demeure la plus appropriée pour classer les clones. Afin d'évaluer la justesse de la valeur moyenne obtenue, nous avons aussi calculé l'héritabilité au sens large, qui mesure la concordance (*repeatability*) des valeurs obtenues pour un clone donné.

3. Résultats

Les résultats obtenus dans l'ensemble des tests de clones indiquent qu'on obtiendrait le gain maximal en sélectionnant les clones en fonction du MoE (tableau 1). Dans la zone A, l'héritabilité de ce paramètre est nettement supérieure à celle des variables de croissance ($H_C^2 \approx 0,5$ pour le MoE, comparativement à 0,1 pour la hauteur et le DHP). De plus, les valeurs moyennes des clones pour le MoE (CV de 15 %) varient davantage que celles obtenues avec la vitesse de propagation acoustique (CV de 6,6 %), ce qui augmente le gain à espérer. L'héritabilité des valeurs obtenues avec le Pilodyn est mitoyenne. Des résultats comparables sont observés pour la zone C.

Tableau 1. Moyennes ajustées, minimum et maximum, coefficient de variation intraclonale moyen (CV) et héritabilité au sens large (H_C^2) pour la hauteur, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la vitesse de propagation acoustique (V_{dir}), la densité (Pilodyn) et le module d'élasticité (MoE) mesurés à 15 ans dans les tests de Duparquet et de Villiers (zone A) et à 16 ans dans les tests de Rivières-aux-Rosiers et de Chauveau (zone C).

Variable	Moyenne ajustée	Minimum	Maximum	CV (%)	H_C^2
Zone A : tests de Duparquet et de Villiers					
Hauteur (m)	5,6	5,0	6,1	4,0	0,11
DHP (cm)	7,5	6,0	8,9	7,0	0,12
V_{dir} *(km/s)	3,0	2,4	3,4	6,6	0,55
Pilodyn (mm)	19,8	16,5	24,1	7,0	0,39
MoE _{dir+pil} (GPa)	4,5	2,8	6,4	15,0	0,49
Zone C : tests de Rivière-aux-Rosiers et de Chauveau					
Hauteur (m)	5,9	5,0	7,0	8,1	0,21
DHP (cm)	7,2	6,3	8,5	11,4	0,17
V_{dir} *(km/s)	3,3	2,7	4,0	7,4	0,64
Pilodyn (mm)	16,1	13,0	20,1	9,3	0,45
MoE _{dir+pil} (GPa)	6,9	4,2	10,4	17,1	0,62

La faible corrélation entre MoE et les mesures de croissance indiquent qu'une sélection favorisant le MoE risque peu de se faire au détriment de la croissance. Pour la présente sélection, considérant que le nombre de clones à retenir est limité, nous n'avons choisi que des individus présentant un gain à la fois pour la croissance en hauteur et le MoE. Pour le reste, nous nous sommes limités à seul individu par famille afin

de maintenir une diversité génétique maximale, de faciliter le déroulement des croisements sans risque de consanguinité, et enfin, de maintenir ou d'augmenter légèrement le diamètre et la densité des arbres. Nous avons aussi vérifié que les individus retenus étaient bel et bien présents dans les vergers à graines pour permettre la réalisation des croisements à cet endroit.

Nous avons ainsi retenu 16 clones pour la zone A et 14 clones pour la zone C. Les croisements entre ces arbres laissent espérer des gains de 4 à 6 % pour la hauteur et de 16 à 23 % pour le MoE (tableau 2). La liste complète des 30 arbres sélectionnés se trouve à l'annexe 1, et leur répartition territoriale est présentée aux figures 2 et 3.

Tableau 2. Écarts de sélection obtenus pour diverses variables pour les groupes de clones sélectionnés dans les zones d'amélioration A et C.

Zone d'amélioration (sous-domaine bioclimatique)	Scénario	Écart de sélection (%)				
		Hauteur	DHP	V _{dir}	Pilodyn*	MoE _{dir+pil}
A (sapinières de l'Ouest)	Croisements entre les 16 meilleurs clones pour la hauteur et le MoE _{dir+pil}	4,3	2,0	7,5	-1,3	15,9
C (sapinière à bouleau blanc de l'Est)	Croisements entre les 14 meilleurs clones pour la hauteur et le MoE _{dir+pil}	5,7	1,2	10,1	-1,9	23,3

* Les valeurs négatives pour le Pilodyn signifient un gain pour la densité.

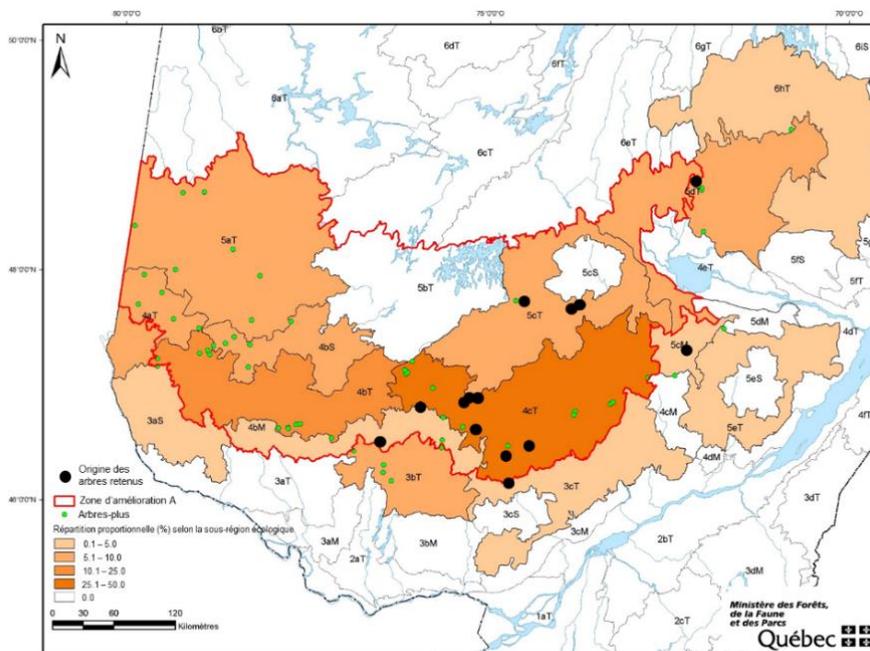


Figure 2. Répartition des arbres sélectionnés pour les croisements dirigés dans la zone d'amélioration A.

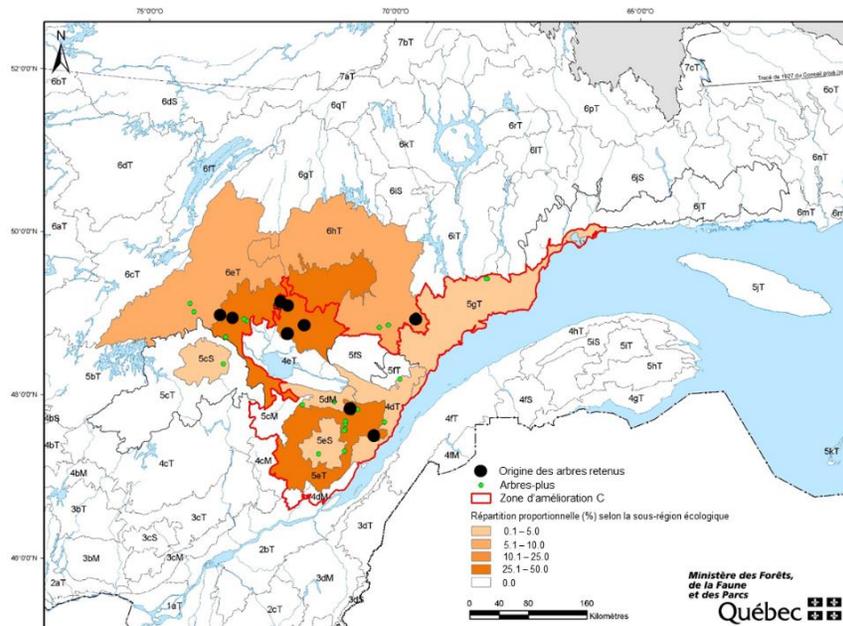


Figure 3. Répartition des arbres sélectionnés pour les croisements dirigés dans la zone d'amélioration C.

4. Recommandations

Nos résultats indiquent qu'après la sélection des arbres sur la base du MoE, le gain supplémentaire pour la croissance en hauteur est limité. Cela s'explique par le faible nombre de clones testés et par le fait que l'ensemble des arbres proviennent d'une sélection de très grande intensité, principalement en fonction de leur hauteur. Seuls quelques arbres exceptionnels se distinguent dans ces tests de clones, qui regroupent des individus de provenances multiples sur un même site. En revanche, les gains pour le MoE sont relativement élevés malgré le nombre limité d'individus testés, car il s'agit d'une toute première sélection.

Puisqu'il s'agit d'établir des plantations les plus productives possible, nous aurons donc avantage à maximiser le nombre de provenances afin d'augmenter le nombre d'individus exceptionnels montrant une croissance supérieure, tout en maintenant ou en augmentant la qualité du bois. Une nouvelle sélection sera effectuée en 2020 pour la sapinière de l'Ouest, dans les mêmes sites de Villiers et de Duparquet. Elle devrait nous permettre d'ajouter quelques nouveaux individus recommandés pour les croisements dirigés. Par ailleurs, des croisements entre individus des zones A et C pourraient être envisagés, ce qui permettrait d'effectuer des pollinisations uniquement à Grandes-Piles. Cette option serait avantageuse, considérant les problèmes logistiques associés à la réalisation de croisements dans plus d'un site. Une majorité de clones sélectionnés pour la zone C proviennent du nord du lac Saint-Jean (sous-domaine 5dT), où les conditions bioclimatiques sont semblables à celles des provenances de la zone A Est. Il y a même un recoupement entre ces deux populations. Les travaux au verger de Sainte-Luce (et à Duchesnay, où se trouvent les mêmes clones) pourraient donc se limiter à la récolte de pollen.

5. Références

- Desponte, M. et G. Numainville, 2013. *L'amélioration génétique de l'épinette noire au Québec : Bilan et perspectives*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 169. 29 p.
[\[http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Desponte-Mireille/Memoire169.pdf\]](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Desponte-Mireille/Memoire169.pdf)
- Desponte, M., M. Perron et J. DeBlois, 2017. *Rapid assessment of wood traits for large-scale breeding selection in Picea mariana (Mill.) B.S.P.* Ann. For. Sci. 74: 53 [\[https://doi.org/10.1007/s13595-017-0646-x\]](https://doi.org/10.1007/s13595-017-0646-x)
- Desponte, M., 2017. *Sélection de clones d'épinette noire du verger de Sainte-Luce en fonction de la croissance et de la qualité du bois*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique SGRE-15. 7 p.
- Desponte, M., 2018. *Sélection de clones d'épinette noire du verger de Grandes-Piles en fonction de la croissance et de la qualité du bois*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique SGRE-19. 7 p.
- Tousignant, D., P. Périnet et M. Rioux, 1996. *Le bouturage de l'épinette noire à la pépinière de Saint-Modeste*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Pépinière de Saint-Modeste et Service de l'amélioration des arbres. Code de diffusion : RN96-3004.
[\[http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Tousignant-Denise/Rapport-le-bouturage.pdf\]](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Tousignant-Denise/Rapport-le-bouturage.pdf)
- Tousignant, D., M.S. Lamhamedi, F. Colas, M. Rioux, P. Lemay et N. Robert, 2007. *Percées technologiques en bouturage en vue d'augmenter la productivité forestière*. Dans : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière (éd.). Document d'accompagnement au stand thématique présenté dans le cadre du Carrefour de la recherche forestière — La connaissance éloigne les préjugés. 19 et 20 septembre 2007. Québec, QC. 6 p.
[\[http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Tousignant-Denise/Carrefour-stand-francais-1-6.pdf\]](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Tousignant-Denise/Carrefour-stand-francais-1-6.pdf)

Mireille Desponte, biologiste, Ph. D.
Direction de la recherche forestière
Service de la génétique, de la reproduction et de l'écologie

Annexe 1. Écart de sélection estimés (BLUP) à 15 ans avec la moyenne de la population des clones des tests de Duparquet et de Villiers (zone A), et à 16 ans avec la moyenne de la population de clones des tests de Rivière-aux-Rosiers et de Chauveau (zone C).

Zone d'amélioration	Origine			Écart de sélection (%)				
	Clone	Famille	Sous-région écologique	Hauteur	DHP	V _{dir}	Pilodyn	MOE _{dir+pil}
Zone A	971	621038	3cT	8,2	1,6	14,6	-5,1	36,0
	2261	620993	4cT	8,1	4,4	12,6	4,7	19,0
	974	620957	4cT	8,0	2,7	8,3	-3,6	21,2
	2263	770292	4cT	5,7	8,6	5,3	6,0	3,0
	2204	270144	5dT	5,4	6,7	0,3	-6,7	8,4
	2248	770104	4bM	4,9	6,2	10,2	-1,0	19,5
	947	420085	5cM	4,9	0,0	5,2	-5,2	15,7
	962	640081	4cT	4,1	1,0	6,6	-2,1	14,4
	2264	640090	4cT	3,9	1,9	8,5	-0,6	17,4
	976	640072	4cT	3,2	1,9	5,7	4,9	4,7
	2232	421356	5cT	2,9	-3,6	3,7	-12,3	20,8
	941	431211	5cT	2,6	8,3	11,5	10,1	11,3
	978	640089	4cT	1,7	0,3	5,7	-9,7	21,8
	982	760004	4bM	1,6	0,4	4,0	2,3	4,6
	2208	420147	5cT	1,5	-4,6	12,0	3,4	19,2
	957	430534	4cT	1,4	-4,0	6,1	-5,6	16,7
Zone C	1452	240246	5dT	16,1	5,2	5,7	-2,2	12,7
	1456	270020	5dT	9,5	-0,1	11,6	-0,1	22,4
	1410	250559	5dT	8,5	3,5	9,6	-5,9	27,2
	1422	250283	6eT	7,6	6,1	11,2	5,5	16,6
	1442	920047	6hT	7,5	4,4	7,2	-3,8	16,7
	1416	250568	5dT	6,6	12,8	6,9	1,8	11,6
	1420	250383	5dT	5,0	0,1	16,2	-1,7	38,4
	1453	270040	5dT	4,0	4,9	6,8	-1,3	12,8
	1405	250391	5dT	4,0	-3,9	14,3	-1,5	32,3
	1430	210049	5eT	2,8	-2,4	6,4	-5,6	23,1
	1474	330398	5eT	2,2	-8,4	16,5	-6,8	43,2
	1445	920054	6hT	2,1	-2,7	7,6	-5,6	26,7
	1446	910167	4dT	2,1	2,5	7,3	3,0	9,9
	1401	250567	5dT	1,2	-5,3	14,2	-2,1	32,9