**Validation d'un outil d'estimation au champ de la valeur nutritive des fourrages dans le contexte du Québec**

Philippe Seguin[1], Shane Wood[1], Gaëtan F. Tremblay[2], Gilles Bélanger[2], Julie Lajeunesse[2], Huguette Martel[3], Robert Berthiaume[4], et Annie Claessens[2]

[1]Université McGill, [2]Agriculture et Agroalimentaire Canada, [3]Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, [4]Valacta.

## INTRODUCTION

La qualité des fourrages est une composante clé de la rentabilité des fermes laitières, bovines et ovines. Il est donc primordial de récolter les fourrages au bon moment pour atteindre des valeurs cibles en termes de valeur nutritive. Pour cela, une méthode d'estimation au champ de la valeur nutritive est nécessaire. Cette méthode doit être simple, rapide, relativement précise et économique afin d'être utilisée par les producteurs agricoles. Le système PEAQ (« Predictive Equations for Alfalfa Quality ») (Hintz et Albrecht, 1991), qui est basé sur la hauteur de la tige la plus grande et du stade de développement de la tige de luzerne la plus mature de l'échantillon, est présentement la méthode la plus prometteuse. Le système PEAQ a été évalué dans plusieurs États américains ainsi qu'en Europe et il serait robuste sous un large éventail d'environnements. Ce système a récemment été adapté dans l'État de New York pour son utilisation avec des mélanges luzerne-graminées (Parsons et coll. 2006, 2013). L'utilisation de cette méthode, pour les mélanges luzerne-graminées qui sont très fréquents au Québec, doit toutefois être validée sous nos conditions de production.

## OBJECTIFS

Les objectifs du projet étaient de : i) déterminer si les équations de prédiction développées dans l'État de New York pour la premières coupe peuvent être utilisées pour prédire la valeur nutritive de mélanges luzerne-graminées avant leur récolte dans les champs du Québec, ii) développer des équations spécifiques pour le Québec afin de prédire la valeur nutritive des deux premières coupes et iii) confirmer si les équations développées peuvent être utilisées avec des échantillons et des données prélevés par un grand nombre d'utilisateurs sur des fermes commerciales.

## MÉTHODOLOGIE

Des parcelles avec différentes proportions luzerne-graminées ont été établies en 2014 à trois sites expérimentaux (Sainte-Anne-de-Bellevue, Lévis, et Normandin) et furent échantillonnées en 2015 et 2016. Des échantillons et données furent aussi récoltés sur des fermes commerciales dans 12 régions administratives du Québec. La valeur nutritive de tous les échantillons fut déterminée en laboratoire. Des régressions furent utilisées pour déterminer le potentiel des équations développées dans l'État de New York ainsi que pour développer de nouvelles équations de prédictions. Ces équations utilisent de 2 à 4 mesures prises au champ, incluant la hauteur de la tige de luzerne la plus haute (AMAXHT, en cm), la hauteur de la tige de graminée la plus haute (GMAXHT, en cm), la proportion de graminées (GFRAC, exprimée en décimale ex. 0.1 ou 0.6), la proportion de luzerne (AFRAC, exprimée en décimale), le stade de développement maximal de la luzerne (ASTG, échelle de 1 à 8) et l'accumulation de degrés jours sur une base de 0°C (GDD0) ou 5°C (GDD5). Finalement, des régressions ont aussi été utilisées pour valider le potentiel d'utilisation des équations développées sur des fermes commerciales à travers la province.

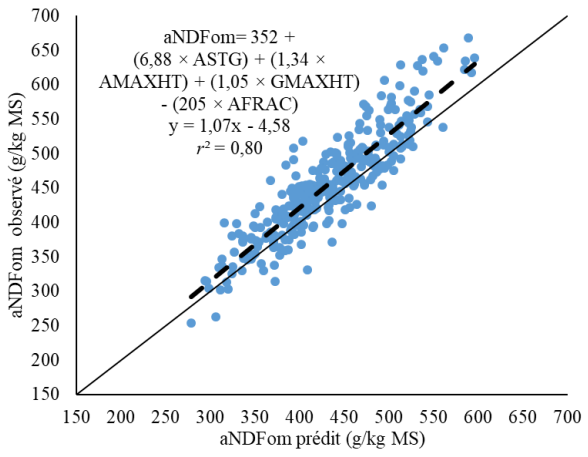
**RÉSULTATS**

**Objectif 1** : Les résultats obtenus confirment le potentiel des équations de prédiction développées dans l'État de New York pour estimer certains attributs de valeur nutritive des mélanges luzerne-graminées en utilisant des mesures faites au champ avant la première récolte. Les équations existantes démontrent un certain potentiel pour prédire les valeurs de aNDFom (résidu de fibres insolubles au détergent neutre après ajout d'amylase et corrigé pour sa teneur en cendres), ADFom (résidu de fibres insolubles au détergent acide corrigé pour sa teneur en cendres), « Relative feed value » (RFV), et « Relative Forage Quality » (RFQ) des mélanges luzerne-graminées avant la première coupe. Cependant, les équations existantes ne peuvent pas être utilisées pour prédire les valeurs de digestibilité *in vitro* de la NDF corrigé pour sa teneur en cendres (NDFdom). Les différentes équations varient en termes de précision et biais entre les valeurs qu'elles estiment et celles déterminées en laboratoire. Pour certains attributs, toutes les équations ont certaines limitations malgré un coefficient de détermination élevé ($r^2$ > 0,75), ayant par exemple, un biais pour des valeurs élevées. C'est en particulier le cas pour les équations prédisant la RFV et la RFQ. Parmi les équations de prédiction évaluées, celle qui est la plus prometteuse pour la première coupe est:
aNDFom (g/kg MS) = 125 + (224 × GFRAC) + (3,15 × AMAXHT) ($r^2$ = 0,74).

**Objectif 2** : Les équations développées dans l'État de New York l'ont été pour prédire la valeur nutritive avant la première coupe. Nous avons développé avec succès des équations qui permettent de prédire plusieurs attributs caractérisant la valeur nutritive des mélanges luzerne-graminées avant les deux premières coupes. Par exemple, nous avons développé des équations pour prédire avec un bon degré de précision les valeurs de aNDFom, ADFom, digestibilité *in vitro* de la matière sèche (IVTDom), NDFdom, et RFV. Cependant, les résultats ont été moins concluants pour d'autres attributs, incluant la teneur en protéines brutes (PB) et le rendement fourrager. Les équations que nous avons développées considèrent 2 à 4 mesures faites au champ et varient en termes de précision et biais ente les valeurs qu'elles estiment et celles déterminées en laboratoire. Les équations de prédiction les plus prometteuses pour les deux premières coupes incluent :

aNDFom (g/kg MS) = 352 + (6,88 × ASTG) + (1,34 × AMAXHT) + (1,05 × GMAXHT) - (205 × AFRAC) ($R^2$=0.82); ADFom (g/kg MS) = 155 + (5,42 × ASTG) + (0,93 × AMAXHT) + (0,93 × GMAXHT) ($R^2$=0.79); IVTDom (g/kg MS) = 1018 - (7,15 × ASTG) - (1,96 × AMAXHT) ($R^2$=0,77); NDFdom (g/kg aNDFom) = 1069 - (0,37 × GDD0) - (276 × AFRAC) ($R^2$=0,80); RFV = 178 - (3,62 × ASTG) - (0,61 × AMAXHT) - (0,44 × GMAXHT) + (77,95 × AFRAC) ($R^2$=0,80)

**Objectif 3** : Les équations précédentes développées au Québec ont été validées en utilisant des échantillons prélevés sur des fermes commerciales dans 12 régions de la province. Les résultats des régressions démontrent que les équations développées ont un coefficient de détermination ($r^2$) entre 0,47 et 0,67 lorsqu'utilisées sur des fermes commerciales avec de nombreux utilisateurs ayant des expériences variées pour relever les données requises. Cependant, les résultats sont nettement meilleurs lorsqu'une variable, la proportion de luzerne ou de graminées, est déterminée avec exactitude au lieu d'être estimée visuellement. Dans ce cas, le $r^2$ pour les régressions entre les valeurs prédites et les valeurs mesurées atteint 0,80 pour l'aNDFom et la RFV; un biais existe cependant, surtout pour les valeurs plus élevées (Figure 1).




## CONCLUSIONS

Les équations développées dans l'État de New York pourraient être utilisées au Québec pour prédire les teneurs en aNDFom et ADFom avant de procéder à la première coupe. Nous avons par contre développé des équations de prédiction des teneurs en aNDFom avant la première et la deuxième coupe qui ont de très bonnes statistiques de prédiction. Le choix des équations à utiliser dépend de l'emphase mise sur la facilité d'utilisation (peu de variables faciles à mesurer en champ) ou la précision des prédictions (plus de variables à déterminer en champ). La principale limite des équations évaluées et développées consiste dans le fait que la qualité des résultats prédits dépend de la qualité des mesures faites au champ par les utilisateurs. Les équations donnant les meilleures prédictions requièrent une détermination de la proportion de graminées ou de luzerne dans le mélange fourrager. Il est cependant parfois difficile de déterminer visuellement avec précision cette variable pour certains utilisateurs ayant peu d'expérience. Il serait donc souhaitable d'effectuer une séparation à la main d'un nombre représentatif d'échantillons afin de déterminer cette variable essentielle avec plus de précision. Les équations développées dans le cadre de ce projet permettent aux utilisateurs de prédire rapidement la valeur nutritive des fourrages et ainsi déterminer le meilleur moment de récolte en première et en deuxième coupes.

## RÉFÉRENCES

Hintz, R.W. et K.A. Albrecht.1991. Prediction of alfalfa chemical composition from maturity and plant morphology. Crop Sci. 31:1561-1565.

Parsons, D. et coll. 2006. Estimation of preharvest fiber content of mixed alfalfa–grass stands in New York. Agron. J. 98:1081–1089.

Parsons, D. et coll. 2013. Estimation of nutritive value of spring alfalfa–grass mixtures using in-field measurements and growing degree data. Forage and Grazinglands. 11(1): doi:10.1094/FG-2012-0162-RS.

**Remerciements** : Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre *Cultivons l'avenir* conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). Nous remercions nos nombreux collaborateurs qui ont participé au projet, en particulier le personnel d'AAC, du MAPAQ, de Valacta, et de l'Université McGill.

# Validation d'un outil de prédiction de la valeur nutritive des fourrages dans le contexte du Québec

Shane Wood[1], Philippe Seguin[1], Gaëtan F. Tremblay[2], Gilles Bélanger[2], Julie Lajeunesse[2], Huguette Martel[3], Robert Berthiaume[4], Annie Claessens[2]

[1]Université McGill; [2]AAC, Centre de Recherche et de Développement de Québec; [3]MAPAQ; [4]Consultant

philippe.seguin@mcgill.ca

# Importance de la concentration en fibres au détergent neutre (NDF) de la ration

- NDF est un élément déterminant en terme de valeur nutritive des fourrages
- Reliée à l'ingestion et à la mastication (santé du rumen)
- Le coût des concentrés par hectolitre de lait produit passe de $12,51/hL à $9,81/hL lorsque la teneur en NDF des fourrages passe de 53%, le niveau moyen des fourrages récoltés au Québec en 2012, à 48% (Valacta, Défi fourrages, 2013)
- Différence de plus de $16 000 par an dans les dépenses liées à l'alimentation

# Quand dois-je commencer à faucher?

Source photo: http://www.lgseeds.fr/data/medias/1372/style/xxl/FExp02C-header01.jpg

# Équations de prédiction de la valeur nutritive des fourrages

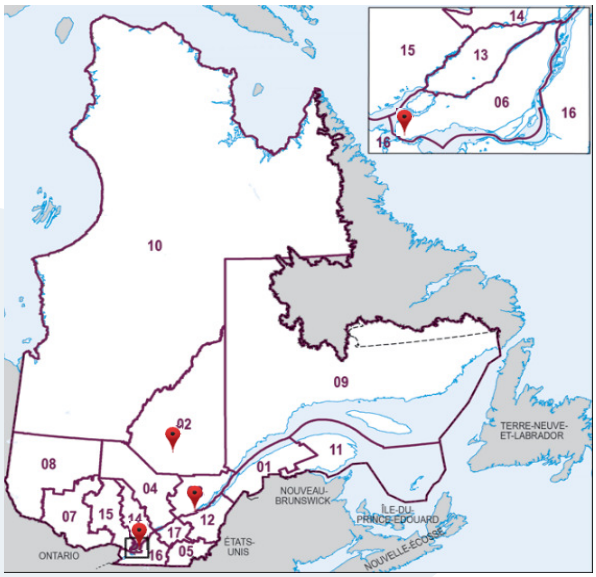
- Meilleure méthode afin de déterminer le moment de la fauche.
- Prédire la teneur en NDF de la **luzerne** (PEAQ) (Hintz & Albrecht, 1991)
  - 2 variables importantes: Hauteur maximale & stade maximal de la luzerne
- Testé dans 6 états Américains (Sulc et coll., 1997; Santillano-Cázares et coll., 2014)
- En 2006, NYPEAQ développée pour estimer la teneur en NDF de mélanges **luzerne-graminées** (Parsons et coll., 2006, 2013)
- Équations valides pour la 1ère coupe

Source photo: http://msue.anr.msu.edu/uploads/news/_in_article/PEAQMeasuringStick.JPG

# Objectifs de notre étude

- 1) Déterminer si les équations NYPEAQ peuvent être utilisées au Québec pour prédire la teneur en NDF de la **première coupe** de mélanges luzerne-graminées.
- 2) Développer des équations spécifiques pour le Québec (PEQC) pour prédire la NDF, certains autres paramètres (ADF, PB, IVTD, NDFd, VRF, QRF) et les rendements (kg/ha) des **première et deuxième coupes** de mélanges luzerne-graminées.
- 3) Confirmer que les équations PEQC peuvent être utilisées lorsque les données sont prélevées sur des fermes commerciales à travers le Québec par un grand nombre d'utilisateurs.

# Sites d'échantillonnage




Source: La Commission de la représentation électorale du Québec

**Objectifs 1 & 2**

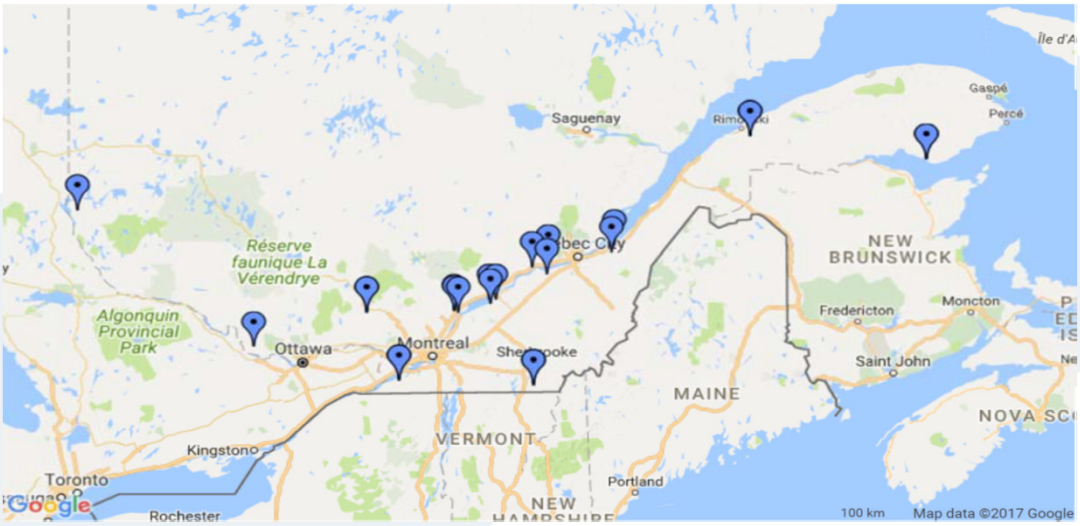
Sites de recherche

- Ste-Anne-de-Bellevue (Université McGill)
- Québec (AAC)
- Normandin (AAC)

**Objectif 3:**

Fermes commerciales:
12 régions administratives

# Sites d'échantillonnage




Source: itouchmap.com

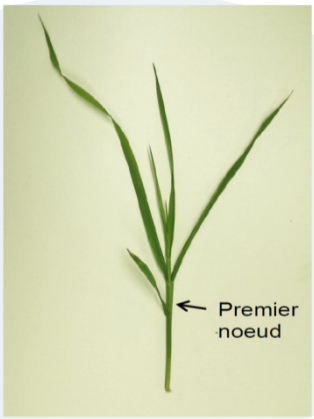
# Observations en champs

- Proportion de graminées (estimée et réelle); **GFRAC**
- Hauteur de la tige la plus haute de luzerne; **AMAXHT**
- Hauteur de la tige la plus haute de graminée; **GMAXHT**
- Stade de maturité de la tige de graminée la plus développée; **GSTG**
- Stade de maturité de la tige de luzerne la plus développée; **ASTG**
- Degrés-jours (base 0 et 5 °C); **GDD0 et GDD5**
- Jours Juliens (nombre de jours après le 1er janvier)

- Rendement

# Observations en champs

- Hauteur de la tige la plus haute de graminées (mesure à partir de la surface du sol jusqu'au bout de la feuille étendard).
- Stade de maturité de la tige la plus développée (Moore et coll. 1991).

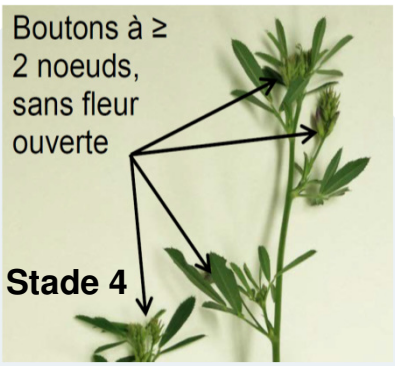



| | Stade | | Caractéristiques |
|---|---|---|---|
| | Nom | Index | |
| Végétatif (développement foliaire) | V0 (VE) | 1,0 | Émergence de la première feuille |
| | V1 | 1,1 | Première feuille avec collet |
| | V2 | 1,3 | Deuxième feuille avec collet |
| | V3 | 1,5 | Troisième feuille avec collet |
| | V4 | 1,7 | Quatrième feuille avec collet |
| | V5 | 1,9 | Cinquième feuille avec collet |
| Montaison | M0 | 2,0 | Élongation entre les collets |
| | M1 | 2,1 | Premier noeud palpable/visible |
| | M2 | 2,3 | Deuxième noeud palpable/visible |
| | M3 | 2,5 | Troisième noeud palpable/visible |
| | M4 | 2,7 | Quatrième noeud palpable/visible |
| | M5 | 2,9 | Cinquième noeud palpable/visible |
| Reproductif (développement de l'inflorescence) | R0 | 3,0 | Gonflement à l'apex |
| | R1 | 3,1 | Inflorescence partiellement visible |
| | R2 | 3,3 | Inflorescence entièrement émergée |
| | R3 | 3,5 | Pédoncule entièrement émergée |
| | R4 | 3,7 | Émergence des anthères |
| | R5 | 3,9 | Fécondation |

Source: Pomerleau-Lacasse et coll., 2017; http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/aac-aafc/A72-135-2017-fra.pdf.

# Observations en champs

- Hauteur de la tige la plus haute de luzerne.
- Stade de maturité de la tige la plus développée (Fick et Mueller, 1989).

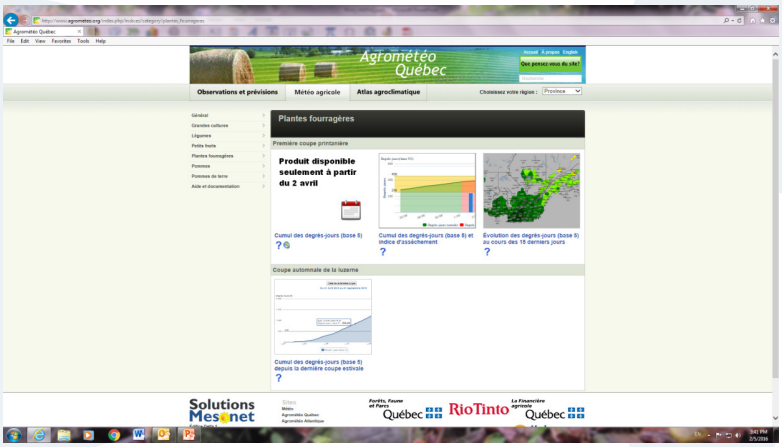



| | Stade | | Caractéristiques |
|---|---|---|---|
| | Nom | Index | |
| Végétatif | Début végétatif | 0 | Tige ≤ 15 cm |
| | Végétatif intermédiaire | 1 | 15 cm < tige ≤ 30 cm |
| | Végétatif avancé | 2 | Tige > 30 cm |
| Boutons | Début boutons | 3 | 1-2 nœuds avec boutons |
| | Boutons avancés | 4 | ≥ 3 nœuds avec boutons |
| Floraison | Début floraison | 5 | 1-2 nœuds avec fleurs épanouies |
| | Floraison avancée | 6 | ≥ 3 nœuds avec fleurs épanouies |
| Gousses | Début gousses | 7 | 1-3 nœuds avec gousses vertes |
| | Gousses avancées | 8 | ≥ 4 nœuds avec gousses vertes |
| | Gousses matures | 9 | Gousses brunes |

Source photo: Pomerleau-Lacasse et coll., 2017; http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/aac-aafc/A72-135-2017-fra.pdf.

# Observations en champs

- Degrés-jour: Base 0 et 5 °C.
- Agro-météo: http://www.agrometeo.org/index.php/indices/category/plantes_fourrageres




# Échantillonnage

## Objectifs 1 & 2:

- 1ere coupe: débute à une hauteur moyenne de la luzerne de 40 cm
- Échantillons pris 2x par semaine pendant 4 à 5 semaines
- 2eme coupe: débute à une hauteur moyenne de la luzerne de 30 cm

## Objectif 3:

- 1ere coupe: débute à une hauteur moyenne de la luzerne de 40 cm
- Échantillons pris 2x par semaine pendant 4 à 5 semaines

# Analyses en laboratoire

- Fibres aNDFom
  - **a**NDF = α-amylase NDF
  - aNDF**om** = aNDF corrigée pour les cendres
- Autres attributs de qualité
  - ADF, PB, IVTD, NDFd, VRF, QRF

# Analyses statistiques

Objectif 1:

- Utilisation des équations NYPEAQ pour prédire la valeur nutritive de la **coupe 1**
- PROC REG (SAS) comparant les prédictions NYPEAQ aux mesures de laboratoire

Objectif 2:

- Données des **coupes 1 et 2** utilisées
- PROC REG utilisée avec la méthode de sélection de modèle RSQUARE
- Les meilleures équations avec 2, 3, ou 4 variables selon leur $R^2$ ont été identifiées (=PEQC)

Objectif 3:

- Utilisation des équations PEQC pour prédire la valeur nutritive de la **coupe 1**
- PROC REG (SAS) comparant les prédictions PEQC aux mesures de laboratoire

# Résultats – Objectif 1

- NYPEAQ la plus prometteuse:

  aNDFom = 125 + (224 x GFRAC) + (3,15 x AMAXHT)

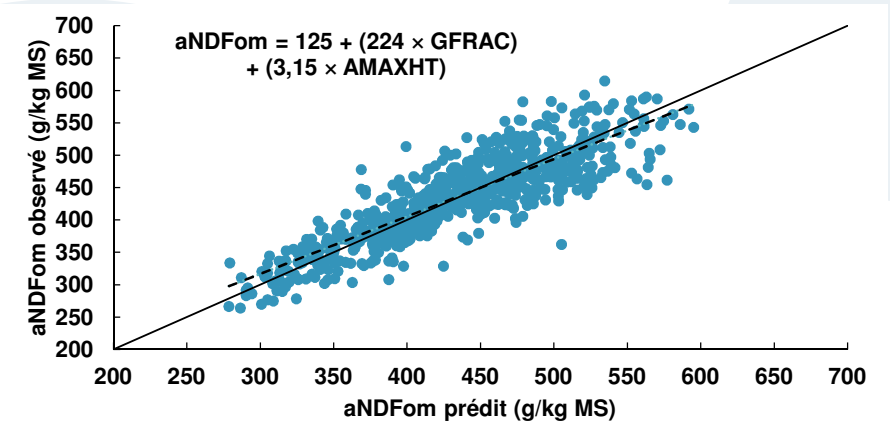
- Deux paramètres à estimer au champ;
  - GFRAC = proportion de graminées dans le mélange
  - AMAXHT = hauteur en cm de la plus longue tige de luzerne

- Lorsqu'utilisé avec des données provenant des parcelles expérimentales du Québec le $r^2$ = 0,74; ceci veut dire que l'équation explique 74% de la variation entre les valeurs mesurées et prédites.

- Biais faible

# Discussion - Objectif 1

- Les statistiques de validation sont comparables aux données dans la littérature pour d'autres équations de prédiction (Fick and Janson, 1990, Hintz and Albrecht, 1991, Sulc et al., 1997, and Parsons et al., 2006 et 2013).



# Résultats – Objectif 2

Équations permettant de prédire l'aNDFom développées au Québec (PEQC):

| Équations | $R^2$ |
|---|---|
| **EQ1: aNDFom= 384.2 + (2.60 × AMAXHT) - (230.6 × AFRAC)** | 0,78 |
| **EQ2: aNDFom= 356.3 + (1.79 × AMAXHT) + (0.93 × GMAXHT) - (202.8 × AFRAC)** | 0,81 |
| **EQ3: aNDFom= 352.1 + (6.88 × AMAXSTAGE) + (1.34 × AMAXHT) + (1.05 × GMAXHT) - (205.2 × AFRAC)** | 0,82 |

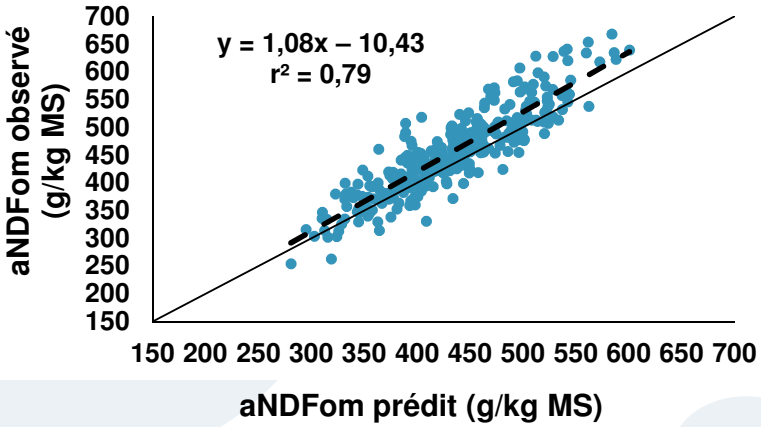
# Discussion – Objectif 2

- Données de 3 sites au Québec (Sainte-Anne-de-Bellevue, Lévis, et Normandin)
- Mélanges variant entre 0,10 et 0,90 de graminées
- Coupes 1 et 2

- Développement d'équations réussi pour prédire aNDFom pour les coupes 1 et 2.

# Résultats– Objectif 3

PEQC avec 3 paramètres, validation avec données commerciales
aNDFom = 356,26 + (1,79 × AMAXHT)+ (0,93 × GMAXHT)-(202,78 × AFRAC)




# Discussion – Objectif 3

- La validation des equations PEQC developpées au Quebec en utilisant des résultats récoltés à travers la province démontre des résultats prometteurs.
- Statistiques meilleures que pour l'utilisation des équations NYPEAQ
- Cependant requière une bonne détermination de la contribution des graminées au rendement.

## Estimons la proportion de graminées…

**Semis:**
**40% Luzerne et**
**60% Fléole**

Luzerne:
hauteur maximale = 43 cm
Graminée:
hauteur maximale = 41 cm

Proportion réelle: 60%

**Semis:**
**80% Luzerne et**
**20% Fléole**

Luzerne:
hauteur maximale = 44 cm
Graminée:
hauteur maximale = 49 cm

Proportion réelle: 56%

# Si possible: Séparation manuelle

Source photo: F. Pomerleau-Lacasse

# Un exemple d'utilisation pratique

## http://www.forages.org/index.php/tools-grassman

**Determining alfalfa-grass harvest height and time**

1. Choose current alfalfa maximum height

24.0 inches

2. Choose percentage of grass

10 % Grass

3. Adjust target NDF (optional)

Manual target NDF — 40.0 % NDF

4. Adjust maturation rate (optional)

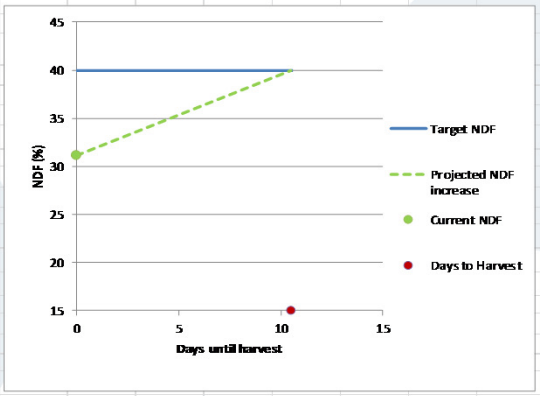
Estimated weather conditions until harvest: Normal / Hot / Cool

Manual maturation — 0.84 NDF units/day

Current NDF: 31.0 %

Target harvest height: 35.0 inches

Approximate time to harvest: 10.5 days



# Conclusions

- Objectif 1: Possible d'utiliser une équation NYPEAQ pour prédire la teneur en aNDFom de la première coupe d'un mélange luzerne-graminées
- Objectif 2: Développement d'équations (PEQC) pour prédire plusieurs variables (ex. aNDFom, et autres) pour les deux premières coupes
- Objectif 3: Une équation PEQC peut être utilisée à travers le Québec pour prédire l'aNDFom sur des fermes commerciales si les proportions luzerne:graminées sont déterminées avec précision
- Recommandation: Procéder à une séparation manuelle afin de déterminer les proportions luzerne:graminées

McGill

Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec

# Remerciements

Conseillers Valacta et MAPAQ
Producteurs ayant participé au projet
Andrée-Dominique Baillargeon (AAC)
Geneviève Bégin (AAC)
Camille Lambert-Beaudet (AAC)
Lucie Lévesque (AAC)

Financement: Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire (MAPAQ/AAFC)

Agriculture and Agri-Food Canada
Agriculture et Agroalimentaire Canada

valacta