

## **Validation d'indicateurs microbiens de la productivité de sols en culture de pommes de terre basés sur des analyses de métagénomique**

Richard Hogue, Thomas Jeanne, Serge-Étienne Parent

**No de projet :** IA117741

**Durée :** 07/2017– 08/2019

### **FAITS SAILLANTS**

Nous avons intégré à une base de métadonnées agronomiques, météorologiques, physico-chimiques et biologiques qui regroupait les métadonnées de 51 zones de productivité (13 champs) du précédent projet IA113102, un total de 153 nouvelles zones de productivité (38 champs) pour lesquelles nous avons des métadonnées complètes pour les saisons 2017 et 2018.

Cette base de métadonnées de 204 zones de productivité a servi à calculer divers indices biologiques de productivité (IBP) basés d'une part, sur l'utilisation des métadonnées issues de l'analyse des sols prélevés l'année de rotation (2017) ou l'année des pommes de terre (2018), et d'autre part, sur la sélection d'ASVs issus de la communauté bactérienne ou fongique ou d'une intégration des deux communautés du microbiome du sol.

Cette base a permis d'accroître le nombre d'ASV indicateurs quantitatifs et reproductibles du rendement: de 80 à 160 ASVs positivement corrélés et de 51 à 151 ASVs négativement corrélés au rendement. Des ASVs issus de quatre phyla bactériens (TM7, Armatimonadetes, Verrucomicrobia et AD3) s'ajoutent à la liste des ASVs sélectionnés, tandis que les ASVs des phyla Saccharibacteria et Thaumarchaeota ne sont plus sélectionnés, alors qu'ils l'avaient été lors de l'emploi de la base de données regroupant les 51 zones initiales.

Nous avons aussi amélioré la stratégie de la sélection des ASVs indicateurs de rendement et le modèle de calcul de l'IBP des sols en différenciant au sein de la base, les métadonnées des zones de production liées au marché des pommes de terre de table de celles des zones de production liées au marché des semences. Cette nouvelle stratégie a permis de réduire l'impact des pratiques et régies de production et de protection qui varient selon le marché visé. L'emploi d'un IBP basé sur des ASVs indicateurs sélectionnés parmi les communautés bactériennes et fongiques du microbiome du sol des zones de production liées à un marché spécifique a permis d'accroître la valeur de la corrélation entre l'IBP et le rendement en pommes de terre.

Ce projet de recherche a également permis d'établir les critères de rentabilité liés à l'ajout de l'analyse du microbiome dans les analyses de routine d'un producteur de pommes de terre. Nous avons défini un premier cadre d'utilisation basé sur la superficie d'un champ de pommes de terre et sur l'homogénéité et la connaissance agronomique du champ. Cette rentabilité a été exprimée en pourcentage du gain de rendement requis (de 0,1 % à 9,3 %) pour compenser le coût de l'ajout de l'analyse du microbiome des sols dans le suivi de la qualité des sols.

### **OBJECTIF(S) ET MÉTHODOLOGIE**

Les objectifs du projet étaient de valider et de mettre à niveau un indicateur biologique de productivité précédemment développé sur la base de 51 zones de productivité (projet IA13220).

Le second objectif était d'effectuer une analyse économique permettant d'identifier le seuil de rentabilité requis pour compenser le coût de l'ajout des analyses du microbiome dans le suivi analytique de la qualité des sols d'un champ de pommes de terre.

Les sols de 240 zones de production de pommes de terre de tables ou de semences à travers le Québec ont été évalués en année de rotation (2017) avec principalement des cultures de maïs, de soya et de céréales, et en année de production de pommes de terre (2018). Les principales variables agronomiques (rendement total, Canada1 et résiduel), météorologiques (indice des précipitations cumulées, indice de diversité des précipitations et nombre de degrés jours de croissance), physico-chimiques (C et N total, C actif, pH, texture), et biologiques (diversité bactérienne, fongique et eucaryotique, quantification des bactéries et des champignons totaux, respiration microbienne) ont été déterminées. Nous avons retenu 153 zones de productivité géolocalisées pour lesquelles les métadonnées étaient complètes pour chacune des deux années 2017 et 2018. Toutes les métadonnées agronomiques, météorologiques et physico-chimiques, de même que tous les résultats des analyses du microbiome du sol de 204 zones de productivité ont été intégrés dans la base de métadonnées «IRDA-Sols PDT».

La préparation des sols, les extractions d'ADN, les quantifications des bactéries et champignons totaux par qPCR, les étapes de réalisation des bibliothèques et du séquençage à haut débit sur la plateforme Illumina MiSeq, le traitement des séquences et les analyses bio-informatiques et biostatistiques des ASVs des bactéries et des champignons ont été réalisées selon les méthodes décrites (Jeanne et al., 2019). Les calculs requis pour préparer les matrices de données, sélectionner les ASVs indicateurs de rendement, calculer divers IBP et évalués leur corrélation avec le rendement total, Canada1 ou résiduel pour la saison de la rotation ou celle des pommes de terre ont été réalisés selon les méthodes décrites (Parent et al., 2017; Jeanne et al., 2019).

## RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

La figure 1 présente les corrélations entre trois types de rendements et l'indice biologique de productivité en version 1 (IBP-v1) ou en version 3 (IBP-v3) calculé sur la base d'ASVs de bactéries (B), de champignons (C) ou des deux groupes microbiens combinés (BC). Les corrélations ont été déterminées spécifiquement pour les zones de productivité en pommes de terre de table (figure 1-A) ou de semences (figure 1-B).

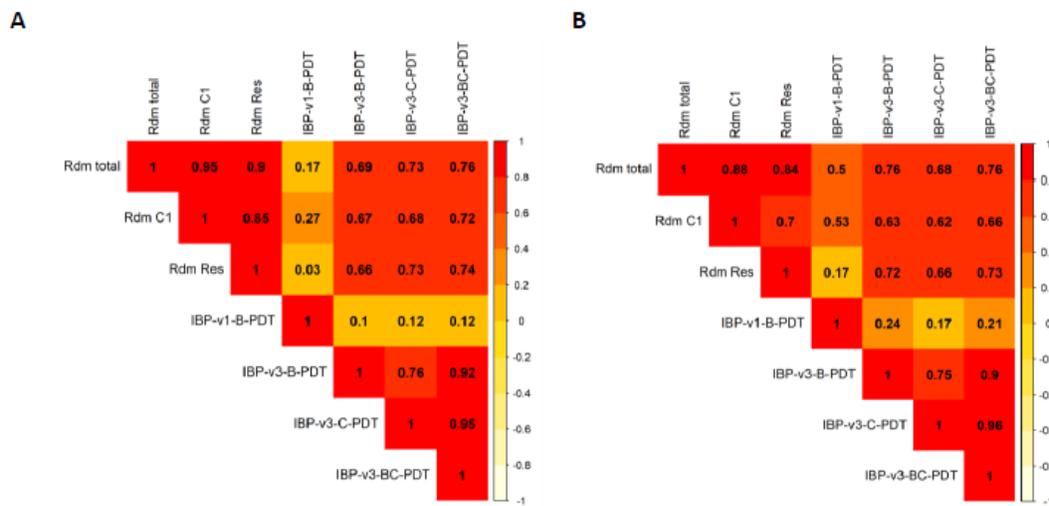


Figure 1 : Corrélations entre le rendement total ou le rendement Canada1 ou le rendement résiduel et l'indice IBP-v1-B-PDT ou trois indices IBP-v3 calculés sur la base des groupes microbiens détectés (bactéries totales (B) ou champignons totaux (C) ou bactéries et champignons totaux (BC)) et en fonction des microbiomes des sols des 153 zones de productivité prélevés l'année pommes de terre (PDT). Les deux sous-ensembles de corrélations réfèrent au marché visé des pommes de terre : (A) pommes de terre de table, (B) pommes de terre de semences.

L'accroissement du nombre de zones de productivité, l'intégration des séquences fongiques aux séquences bactériennes détectées dans le microbiome des sols des zones de productivité et la spécification du marché de pommes de terre visé pour la sélection des ASVs indicateurs et le calcul de l'IBP ont amélioré les valeurs de corrélation entre les rendements et l'IBP comparativement aux résultats obtenus dans un précédent projet (Jeanne et al., 2019). Le projet a également démontré qu'à partir des données issues de la même analyse du microbiome des sols, il est possible d'identifier plusieurs microorganismes pathogènes et de définir un indicateur de risque de pertes économiques liées aux maladies de pommes de terre. Ceci accroît les bénéfices tirés des analyses du microbiome.

Finalement, une analyse économique a permis de déterminer que le seuil de rentabilité requis pour couvrir les coûts additionnels liés à l'ajout des analyses du microbiome dans le suivi agronomique d'un champ de pommes de terre pouvait varier entre 0,1 % et 9,3 % selon la superficie de production en pommes de terre, le nombre de zones de champ à tester et le niveau de connaissance des caractéristiques des champs (Tableau 1). Les valeurs du seuil de rentabilité prouvent aux producteurs que l'adoption des analyses du microbiome est économiquement justifiable.

Tableau 1 : Seuil de rentabilité des pommes de terre rouge requis pour absorber les coûts d'analyse selon le rendement réel obtenu en 2018

Niveau de connaissance du champ	Nombre de zone à tester	Superficie de production en pommes de terre		
		0 à 4 ha	4 à 20 ha	20 ha et +
Faible	1	0,9 %	0,3 %	0,1 %
	2	1,8 %	0,6 %	0,2 %
	3	2,7 %	0,9 %	0,3 %
	4 et +	3,6 %	1,2 %	0,4 %
Bonne	3	1,4 %	0,6 %	0,2 %
	4 et +	1,8 %	0,8 %	0,3 %

## APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER

Nous avons observé qu'un système de production basé sur deux années de rotation successives par rapport à une seule année de rotation, perturbe davantage la diversité microbienne du sol. Cette plus grande variabilité des microbiomes a ainsi été exploitée pour identifier de nouveaux ASVs indicateurs quantitatifs et reproductibles. Ces ASVs ont été utilisés pour calculer des IBP mieux adaptés à différencier les effets de divers systèmes de production adoptés par les partenaires (B, C, D et M) du projet. Cette capacité d'identifier des ASVs indicateurs quantitatifs et reproductibles pour calculer des IBP plus performants constitue un élément clé pour rendre des recommandations fiables basées sur l'emploi des indicateurs dérivés de l'analyse du microbiome. Ces derniers peuvent s'intégrer aux autres indicateurs physico-chimiques, agronomiques et météorologiques utilisés par les outils d'aide à la décision développés pour évaluer la santé des sols et d'autres paramètres de qualité des sols, telle la productivité des sols.

Le bilan global des résultats du projet révèle que les nouveaux outils d'aide à la décision dérivés des analyses du microbiome seront encore plus précis et utiles lorsque le modèle de sélection des ASVs indicateurs et le calcul de l'IBP intégreront des facteurs spécifiques au marché ciblé pour les tubercules récoltés. Ces facteurs spécifiques sont liés aux caractéristiques texturales et pédologiques des sols et à celles des régions et pratiques agricoles liées aux systèmes culturels. Un producteur pourra ainsi déterminer l'IBP de ses sols en ajustant la méthode de sélection des ASVs et de calcul de l'IBP pour tenir compte du marché visé par sa production de pommes de terre.

Finalement, dans le cadre des perspectives qu'offrent les résultats du projet, mentionnons :

1) Les producteurs obtiennent pour le coût de la même analyse du microbiome des sols, la détection quantitative de plusieurs organismes pathogènes. Cette information permet de calculer un facteur de risque de pertes économiques. L'une des perspectives à exploiter à propos des agents pathogènes détectés lors de l'analyse du microbiome des sols est d'identifier des ASVs indicateurs de l'état suppressif ou conducteur d'un sol envers une ou des maladies;

2) Le développement d'une application web permettrait aux producteurs et autres intervenants agricoles de plus facilement visualiser et interpréter l'ensemble des données agronomiques, physico-chimiques et biologiques du sol des zones en production. L'équipe du présent projet a obtenu le financement d'un projet qui intègre des producteurs, des agronomes et d'autres intervenants des divers marchés de la pomme de terre pour développer une telle application web.

### **POINT DE CONTACT POUR INFORMATION**

Nom du responsable du projet : Richard Hogue, Ph. D. biologiste, Laboratoire d'écologie microbienne à l'IRDA

Téléphone : (418) 643-2380 poste 420

Courriel : [richard.hogue@irda.qc.ca](mailto:richard.hogue@irda.qc.ca)

### **REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS**

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir 2 conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.