

## **Les porcs résistants au PRRS pourraient-ils changer l'économie de la production porcine ? Une approche de modélisation spatio-temporelle et basée sur des scénarios**

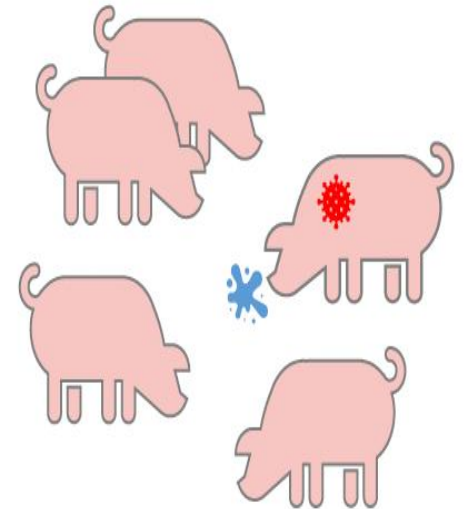
**Ralph P. Jean-Pierre, PhD.**

Chercheur Postdoctoral

Plateforme Intelligence Artificielle Agro-Santé

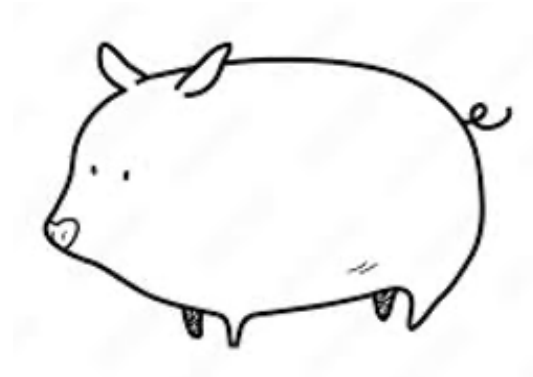
Université de Montréal

- Le syndrome reproducteur et respiratoire porcin (PRRS) est l'une des maladies les plus coûteuses pour la production porcine mondiale.
- Les pertes aux États-Unis sont estimées entre 560 et 660 millions de dollars par an.
- Une étude récente de Lusk (2025) estime qu'une adoption généralisée de porcs résistants au PRRS par édition génétique pourrait transformer les marchés mondiaux du porc.
- Ces estimations proviennent d'un modèle de déplacement d'équilibre multi-pays.
- **Question:** Comment la résistance au PRRS affecte-t-elle la transmission au niveau des exploitations et les résultats économiques ?
- Répondre à cette question nécessite d'étudier la dynamique de transmission de la maladie au sein des exploitations et entre elles, la variation de la prévalence selon les types d'élevages, les coûts liés à la maladie et d'autres facteurs influençant l'adoption.
- Les coauteurs de ce manuscrit ont étudié les pertes de production et les stratégies de vaccination (Valdes-Donoso et al., 2018 ; Valdes-Donoso et Jarvis, 2022)



# Objectifs

- **Objectif général** : Évaluer comment la résistance au PRRS affecte la rentabilité au niveau des exploitations et les résultats liés à la maladie selon les types et tailles d'élevages.
  - **Étape 1** : Étudier comment les pertes évitées par animal varient dans le temps en fonction du type d'exploitation, de sa taille et du niveau de résistance.
  - **Étape 2** : Analyser les différences d'impact de la maladie et les tendances de profit selon les types d'exploitations et les échelles de production.
  - **Étape 3** : Examiner comment la résistance et les primes de marché influencent les décisions d'adoption des éleveurs.



## **Jeu de données anonymisé** : 817 élevages porcins issus du RCP-N212 (Minnesota)

- Comprend : type d'exploitation, effectif du troupeau, localisation géographique et liens de réseau.
- Connexions entre exploitations basées sur les mouvements d'animaux modélisés (Valdes-Donoso et al., 2017).
- Représente un système de production intégré typique aux États-Unis :
  - Exploitations de truies → fournissent des porcelets
  - Exploitations de nurserie et engraissement → élèvent les porcs
  - Exploitations de verrats → fournissent le sperme
- Capture la structure spatiale et en réseau de la transmission de la maladie.
- Utilisé pour les simulations de propagation du PRRS et les stratégies de contrôle (résistance, vaccination, etc.).

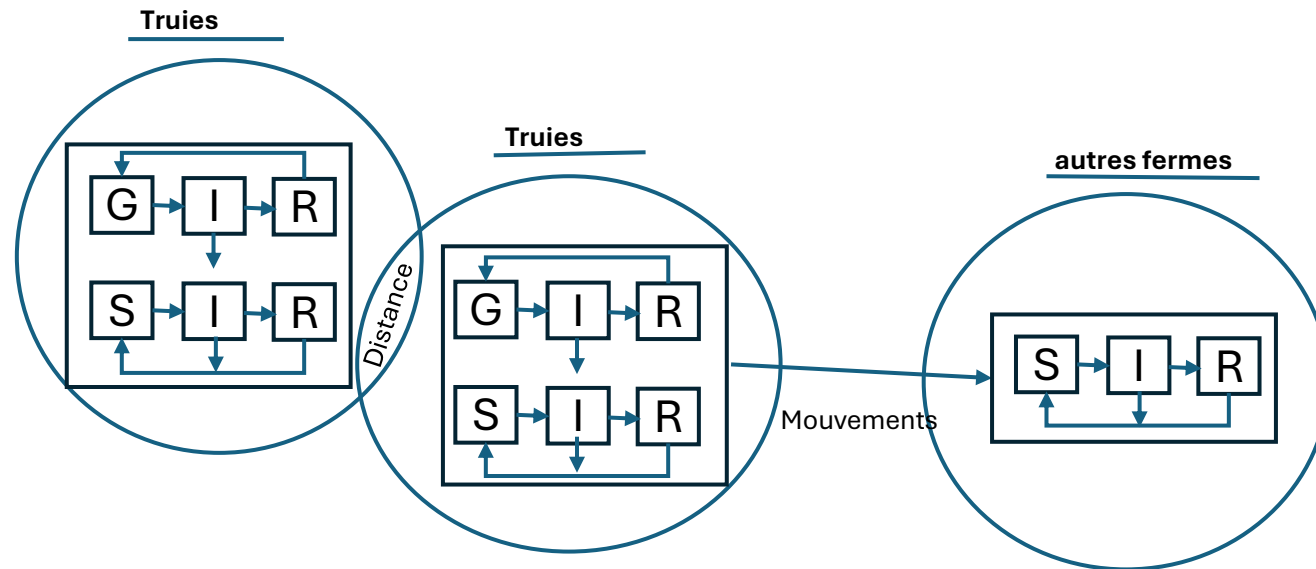


# Données

Farm Type	No. Farms	Avg. Inventory	Total Animals
Boar Stud	8	158 (86)	1,260
Fattening Farms	537	1,984 (1,692)	1,065,666
Nursery Farms	83	3,637 (3,728)	301,893
Sow Farms	189	1,247 (1,774)	235,593
<b>Total</b>	<b>817</b>		<b>1,604,412</b>

- Les verrateries sont de petites unités spécialisées ayant un impact direct limité sur la production totale.
- Les élevages d'engraissement dominant le système (~66 % de l'ensemble des animaux) et déterminent les résultats globaux de production.
- Les nurseries présentent une grande variabilité de taille.
- Les élevages de truies sont essentiels pour la dynamique de la maladie en amont et pour les stratégies d'intervention.

# Structure du modèle



- Cadre SIR étendu pour inclure la résistance génétique (G). Quatre états épidémiologiques : Susceptible (S), Infecté (I), Rétabli (R), Résistant génétiquement (G).
- Les animaux susceptibles et résistants → peuvent devenir infectés (probabilités différentes) ; les animaux infectés → se rétablissent ou meurent; les animaux rétablis → perdent leur immunité et retournent à S ou G.
- La transmission entre fermes est déterminée par le type d'exploitation, la distance et les mouvements d'animaux.

# Équations



$$\frac{dS_f}{dt} = \mu N_f - \lambda_f S_f - \mu S_f - \omega R_f - v S_f \quad (1)$$

$$\frac{dI_f}{dt} = \lambda_f S_f - (\gamma_f + \mu + m_f) I_f \quad (2)$$

$$\frac{dR_f}{dt} = \gamma_f I_f - \omega R_f - \mu R_f + v S_f \quad (3)$$

$$\frac{dG_f}{dt} = \mu N_f - \lambda_f^G G_f - \mu G_f - \omega^G R_f \quad (4)$$

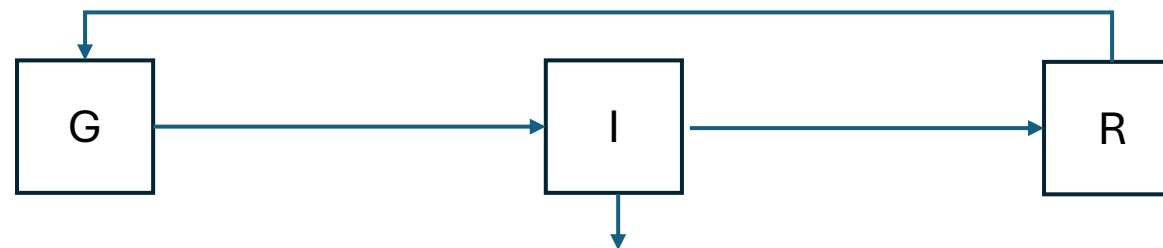
- $S_f, I_f, R_f,$  and  $G_f$  désignent respectivement le nombre d'animaux susceptibles, infectés, rétablis et génétiquement résistants dans l'élevage  $f$
- $N_f$  est la taille totale du troupeau;  $\lambda$  est la force d'infection;  $\gamma_f$  est le taux de guérison de l'infection
- $\mu$  représente le taux de remplacement naturel (entrée/sortie des animaux)
- $m_f$  désigne la mortalité additionnelle associée aux formes graves de l'infection
- L'immunité diminue au taux  $\omega = 1/D_I$ ,  $D_I$  est la durée de l'immunité
- L'efficacité du vaccin ( $vacc\_eff \rightarrow v = (1 - vacc\_eff)$ ) réduit la susceptibilité des truies à l'infection et agit de manière multiplicative avec la résistance génétique pour diminuer le risque effectif d'infection.

# Résistance génétique



L'intensité de la résistance génétique est représentée par  $\epsilon = 0, 0,25, 0,5, 0,75, 1$ , correspondant à des niveaux croissants de protection biologique.

- Susceptibilité réduite (probabilité moindre d'être infecté) grâce à une intensité de résistance plus élevée ( $\epsilon$ ).
- Infectiosité réduite (transmission plus faible par les animaux infectés) grâce à une intensité de résistance plus élevée.
- Gravité de la maladie réduite (mortalité et pertes de productivité moindres) grâce à une intensité de résistance plus élevée.
- Trois souches : chaque souche  $s \in \{\text{« faible »}, \text{« moyenne »}, \text{« élevée »}\}$  est modélisée en attribuant différentes valeurs aux paramètres épidémiologiques — taux de transmission, taux de guérison et taux de mortalité.
- Simulation sur 52 semaines



# Calculs économiques

- **Pertes totales:**  $TL_f = P \int_0^t m I_f \cdot dt + V_f \int_0^t I_f \cdot dt$  (5),

où P est le prix du marché par animal, et  $V_f$  est la diminution de la valeur actuelle de la production attendue affectée par le PRRS.

- Pertes évitées:  $B_f = TL_f^{baseline} - TL_f^{resistance}$  (6)



- Coût d'adoption :  $C_f = Resistance\ Premium \cdot Inventory_f$  (7)

Resistance Premium (\$0 - \$10 par porc, par incréments de 1\$)

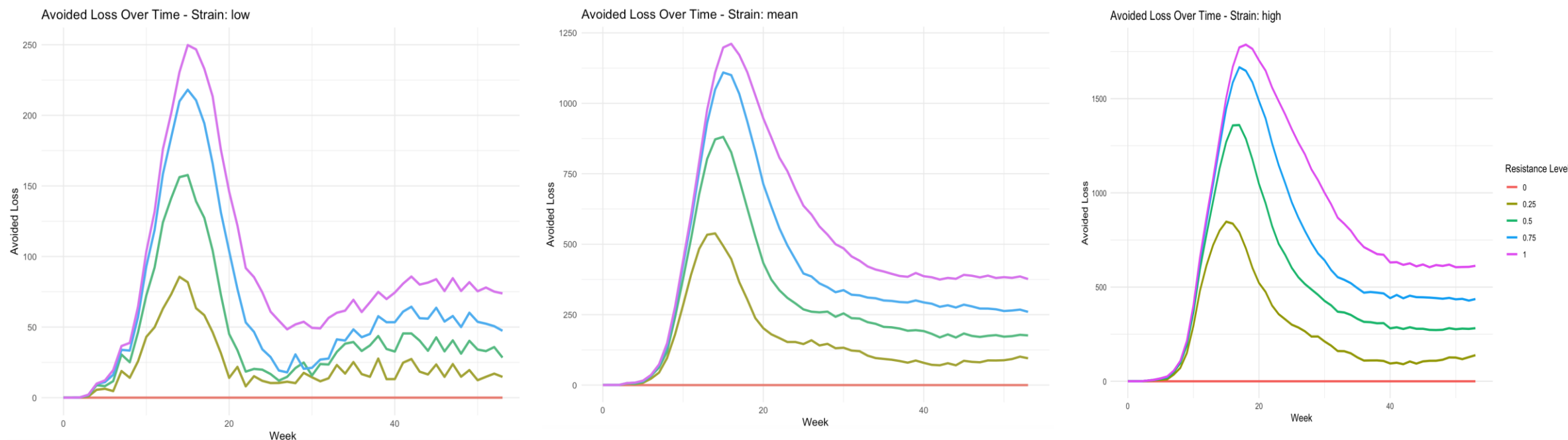


- Profit suite à l'adoption :  $\pi_f = B_f - C_f$  ()

Une ferme adopte, si  $Adopt_f = \begin{cases} 1 & \text{si } \pi_f > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$



# Résultats – Pertes évitées

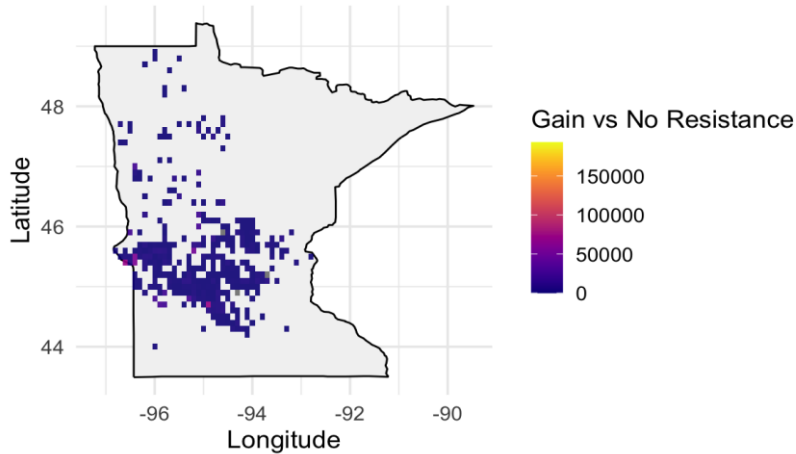


- Les pertes évitées hebdomadaires augmentent avec le niveau de résistance au PRRS et varient au cours du cycle de production.
- Les gains sont les plus importants durant les périodes de pic d'infection, lorsque la pression de la maladie est maximale et que la résistance réduit le plus efficacement la transmission et la gravité.
- Des niveaux de résistance plus élevés entraînent systématiquement à la fois une réduction directe de la mortalité et des effets indirects grâce à une moindre propagation de l'infection.

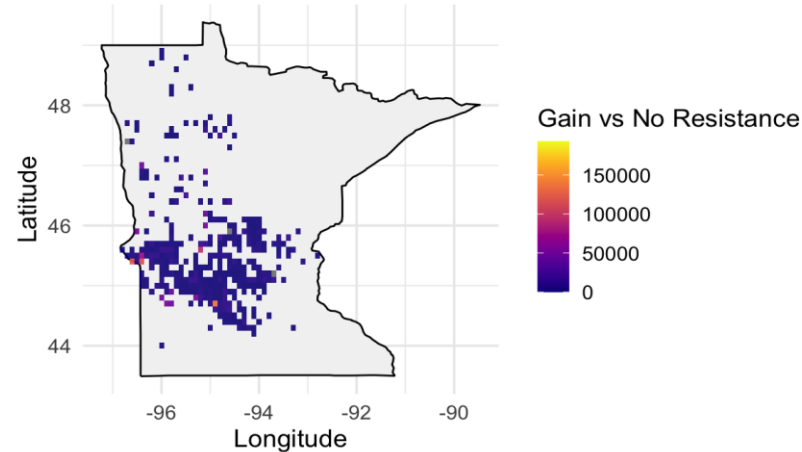
# Résultats – Pertes évitées (spatiales)



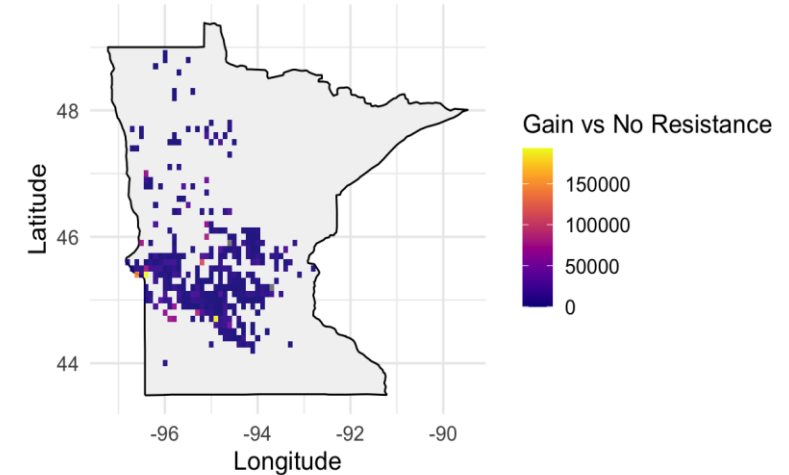
Additional Avoided Loss (resistance Level = 0.25 )  
Relative to no resistance



Additional Avoided Loss (resistance Level = 0.5 )  
Relative to no resistance



Additional Avoided Loss (resistance Level = 1 )  
Relative to no resistance

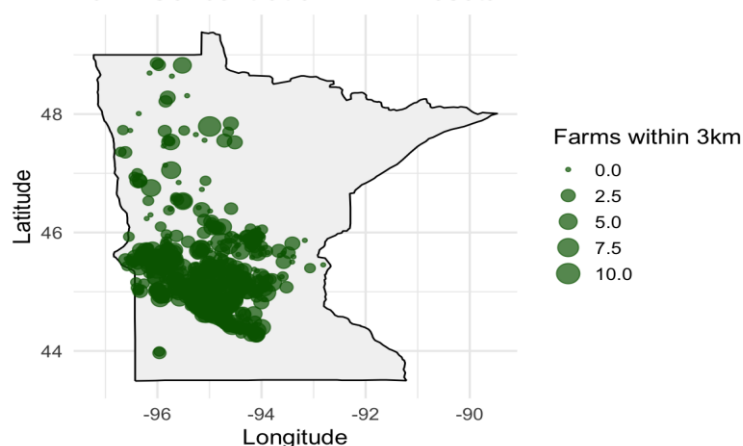


- La diapositive suivante expliquera comment ces pertes évitées varient en fonction de la taille de l'exploitation (effectif) et de la concentration (distance moyenne avec les exploitations voisines).

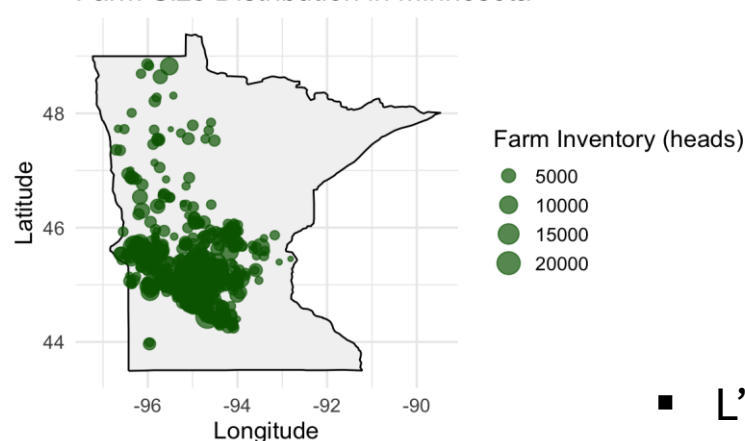
# Résultats – Pertes évitées (spatiales)



Farm Concentration in Minnesota



Farm Size Distribution in Minnesota



Resistance Level	Farm size_elasticity	Farm concentration_elasticity
0.25	-0.328406693	0.111600098
0.5	-0.232441463	0.09127664
0.75	-0.196429558	0.055651655
1	-0.1153483	0.082105076
0	0.854858227	-0.009277774

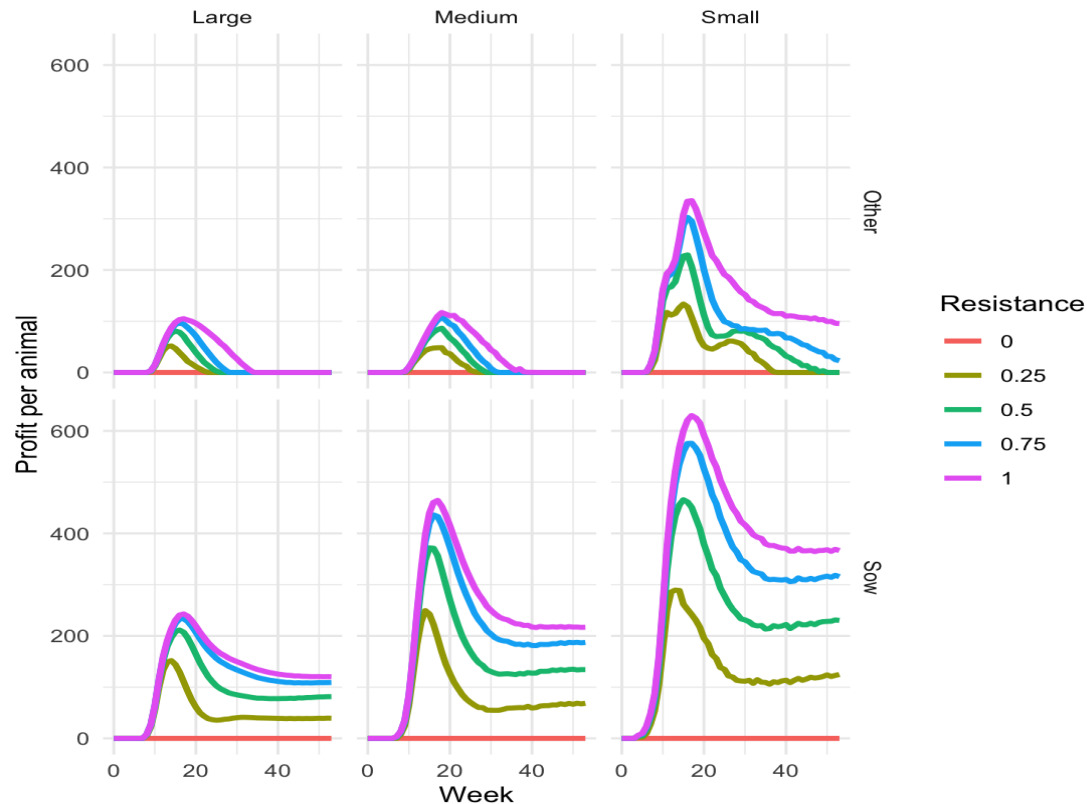
Tableau 1. Variation des pertes évitées selon la taille de l'exploitation et la concentration des exploitations pour chaque niveau de résistance.

- L'élasticité par rapport à la taille est négative : les grandes exploitations bénéficient davantage (pertes évitées) d'une augmentation de la résistance par rapport aux petites exploitations.
- L'élasticité par rapport à la concentration est positive : une densité locale plus élevée d'exploitations augmente les pertes évitées.

# Résultats – Profits et externalités



Weekly Profit Dynamics by Farm Type and Size



Resistance Level	high	low	mean
0	0	0	0
0.25	150.3884	16.7704	97.1868
0.5	289.7557	34.6923	178.7988
0.75	414.0014	53.6506	263.8995
1	594.3542	86.8539	397.8515

**Tableau 2.** Le tableau des externalités positives indique les pertes évitées globales observées par les exploitations non truies, représentant les bénéfices indirects de l'adoption de la résistance au PRRS sur les étapes de production en aval grâce à la réduction de la transmission de la maladie.

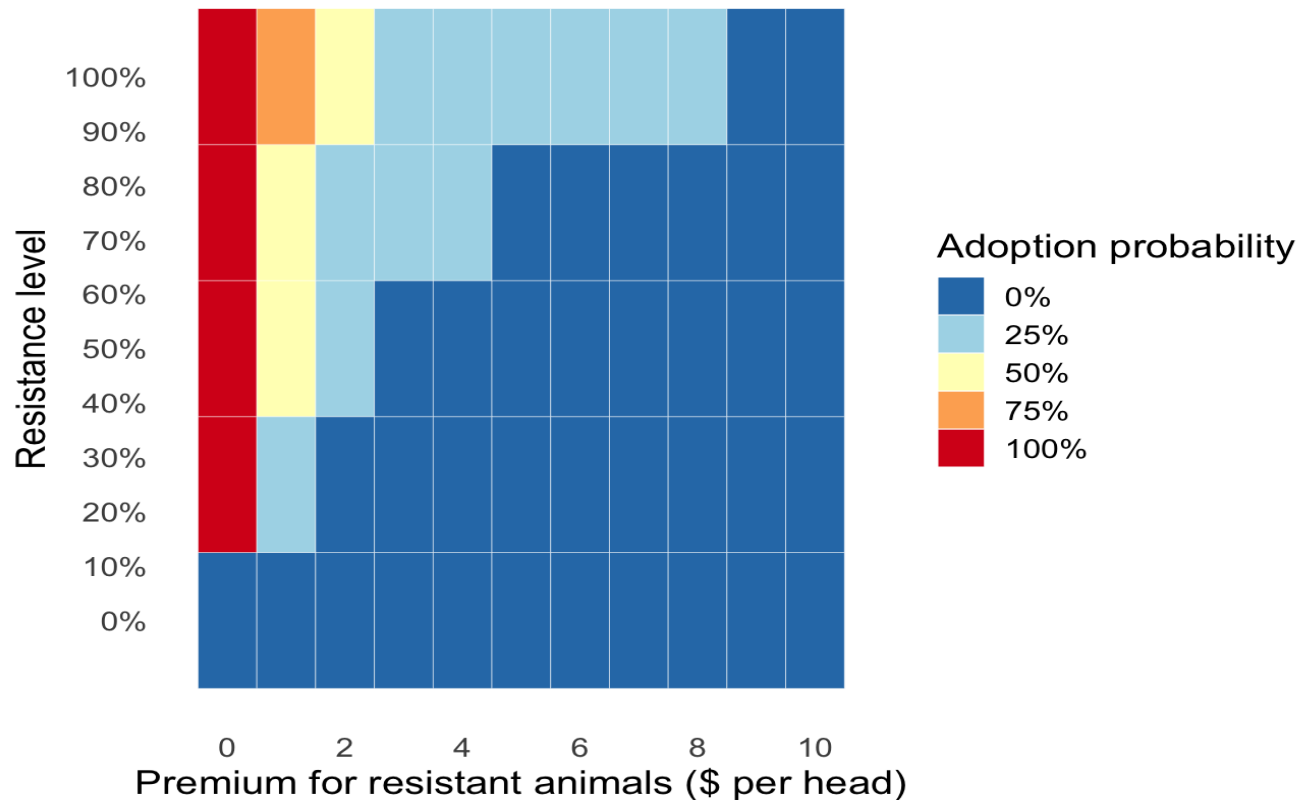
- Les externalités positives correspondent aux profits qui dépassent les exploitations ayant adopté des porcs résistants. Ces effets de retombée augmentent avec le niveau de résistance. Il est important de noter que cela crée un écart entre les incitations privées et les gains sociaux.

# Résultats – Probabilité d'adoption



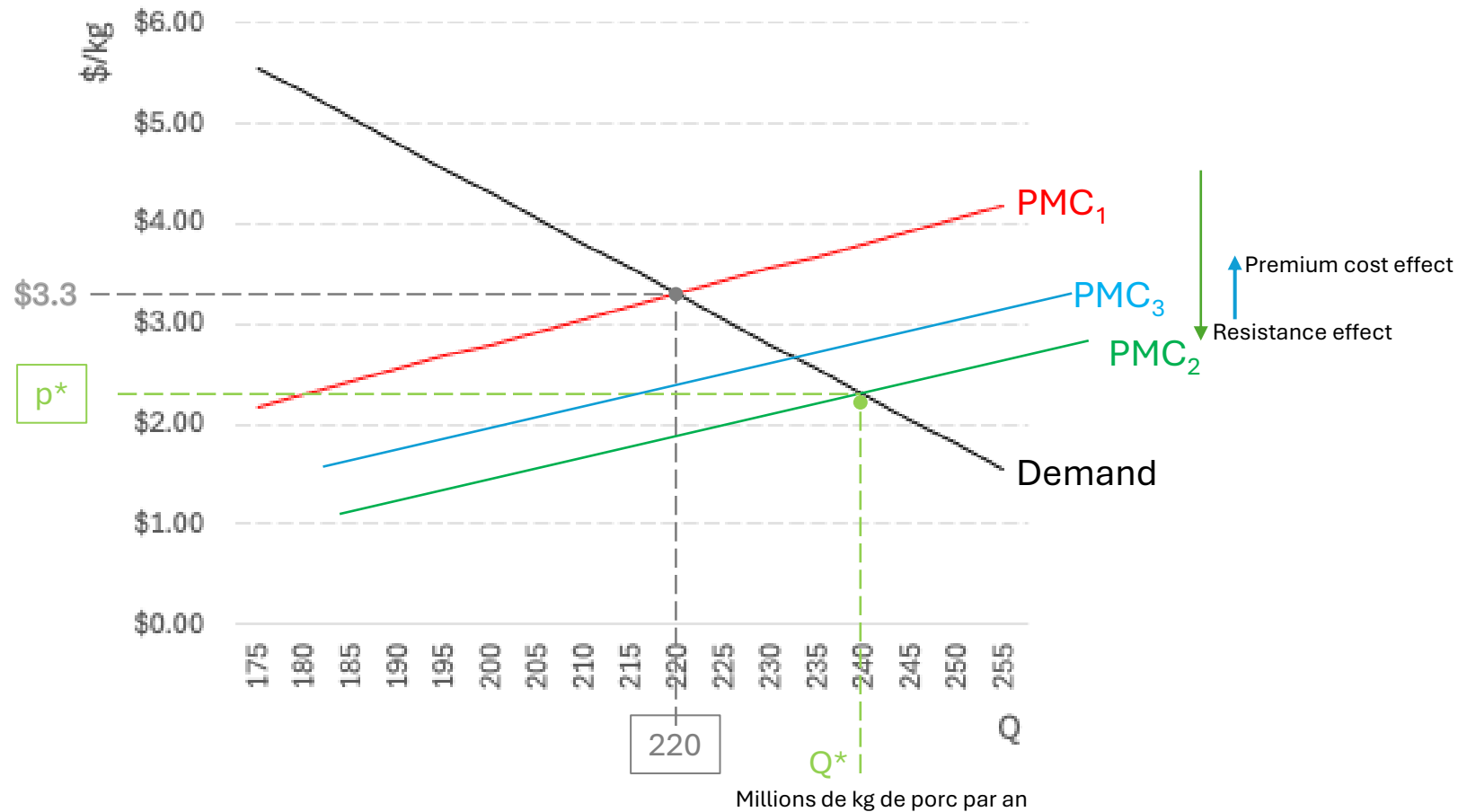
## Adoption of PRRS-Resistant Animals

Higher resistance allows profitable adoption at higher premiums



- Cette carte thermique montre comment la probabilité pour les éleveurs d'adopter des porcs résistants au PRRS varie en fonction de la résistance génétique des animaux et de la prime par tête.
- Les couleurs rouge foncé indiquent des probabilités d'adoption plus élevées, ce qui signifie que les exploitations sont plus susceptibles d'adopter des porcs très résistants, en particulier lorsque les primes sont très faibles.
- Pour des primes supérieures à 8 \$, la technologie n'est pas rentable, quel que soit le niveau de résistance.

# Résultats – Coûts marginaux privés



# Résultats – Coûts marginaux privés



Resistance Level	Net downward shift (%)	Resistance effect (%)	Premium_effect (%)
0	0	0	0
0.25	7.87	57.9	42.1
0.5	15.56	68.1	31.9
0.75	24.88	79.2	20.8
1	31.25	90.9	9.1

Tableau 3. Décomposition des déplacements de la courbe du coût marginal privé : réductions de coûts induites par la résistance (niveau de résistance 0,5) vs. augmentations de coûts induites par la prime (variable)

Premium	Net downward shift (%)	Resistance effect (%)	Premium_effect (%)
0	0	0	0
1	18.46	77.2	22.8
2	17.73	74.7	25.3
3	17.01	72.4	27.6
4	16.28	70.2	29.8
5	15.56	68.1	31.9
6	14.84	66.2	33.8
7	14.11	64.4	35.6
8	13.39	62.8	37.2
9	12.66	61.2	38.8
10	11.94	59.7	40.3

Tableau 4. Décomposition des déplacements de la courbe du coût marginal privé : réductions de coûts induites par la résistance (niveau de résistance 0,5) vs. augmentations de coûts induites par la prime (variable)

- La résistance au PRRS déplace la courbe d'offre vers l'extérieur, reflétant les gains de productivité liés à la réduction des pertes dues à la maladie.
- La figure souligne un compromis important : la résistance au PRRS génère des gains d'efficacité et augmente l'offre.
- Des primes plus faibles permettent aux avantages plus importants de la résistance de se traduire par une augmentation de l'offre sur le marché (plus de gains de productivité issus de la résistance), tandis que des primes plus élevées réduisent ces gains.

# Conclusions

---



- L'adoption de porcs résistants au PRRS peut générer des bénéfices économiques substantiels en réduisant les pertes dues à la maladie, en particulier dans les scénarios de haute résistance et de forte virulence.
- Cependant, la rentabilité et l'adoption de cette technologie sont très sensibles au prix de prime des animaux résistants, l'adoption se produisant principalement lorsque les primes sont faibles et la résistance élevée.
- Les résultats mettent en évidence la présence d'externalités positives, les exploitations non adoptantes bénéficiant de la réduction de la transmission de la maladie, ce qui suggère que les incitations privées peuvent sous-estimer les gains totaux à l'échelle du système.
- Enfin, l'impact global de la résistance au PRRS dépend non seulement de son efficacité biologique, mais aussi des stratégies de tarification, des interventions complémentaires et des conditions réglementaires influençant l'accès au marché et les décisions d'adoption.

# Merci!

---

**Ralph P. Jean-Pierre, PhD.**

Chercheur Postdoctoral

Plateforme Intelligence Artificielle Agro-Santé

Université de Montréal