

Analyse des facteurs ayant un impact sur les pertes durant le transport des porcs vers l'abattoir

Juin 2023

Rapport final



Auteurs

Patrick Gagnon, Ph. D.

Alexandra Carrier, candidate au Ph. D.

©Centre de développement du porc du Québec inc.
Dépôt légal 2023
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-925175-11-7

Équipe de réalisation

Répondant	Patrick Gagnon, Responsable Analyse et valorisation des données, CDPQ
Direction scientifique	Patrick Gagnon, Responsable Analyse et valorisation des données, CDPQ
Chargée de projets	Alexandra Carrier, Chargée de projets Analyse et valorisation des données, CDPQ
Collaborateurs	Raphaël Bertinotti, Directeur Santé, Qualité, Recherche et Développement, ÉPQ Marie-Pier Lachance, Conseillère Gestion de la qualité, ÉPQ Fidèle Kabera, Agent de projet Santé, Qualité et Recherche et Développement, ÉPQ Christian Klopfenstein, Responsable Santé et biosécurité, CDPQ Sébastien Turcotte, Responsable Bâtiment et régie d'élevage, CDPQ
Rédaction	Patrick Gagnon, Responsable Analyse et valorisation des données Alexandra Carrier, Chargée de projets Analyse et valorisation des données

Remerciements

Ce projet est réalisé grâce à une aide financière du Programme de développement sectoriel, issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture et Les Éleveurs de porcs du Québec. Nous souhaitons remercier Marie-Josée Turgeon (Olymel) et Luigi Faucitano (Agriculture et Agroalimentaire Canada) pour leurs précieux commentaires qui ont grandement facilité la réalisation du projet.



Résumé

Les pertes de porcs durant leur transport constituent non seulement une préoccupation importante concernant le bien-être animal, elles ont également un impact économique pour les producteurs ainsi que pour les abattoirs.

Le transport des porcs vers l'abattoir est une étape cruciale. Il arrive que lors de transports, des porcs sains à l'embarquement soient non-ambulatoires, fatigués ou même morts lors du déchargement. Selon les situations, les animaux problématiques peuvent subir une dépréciation ou parfois même être abattus pour des raisons de bien-être animal, par exemple si un porc devient non-ambulatoire pendant le transport.

Découlant du Règlement de la mise en marché et de la partie XV – Identification des animaux du Règlement sur la santé des animaux, la mise en place de la traçabilité des porcs en juillet 2014 donne accès à une multitude de données concernant le déplacement de porcs, les sites de production, les abattoirs et les véhicules utilisés pour les déplacements. S'ajoutent à ces données, les données recueillies à l'abattoir lors du déchargement concernant les animaux fragilisés et décédés pendant le transport.

L'objectif principal du projet était d'analyser les facteurs ayant un impact sur les pertes durant le transport des porcs vers l'abattoir. Plus spécifiquement, le projet visait à :

- Identifier, par analyse statistique des données disponibles, les facteurs ayant un impact sur les pertes durant le transport;
- Comprendre l'importance de ces facteurs et leur interaction sur les pertes durant le transport;
- Comparer les niveaux de pertes selon les facteurs à des moyennes observées ailleurs en Amérique du Nord.

Pour y arriver, les informations sur les transports de porcs vers l'abattoir centralisées chez les Éleveurs de porcs du Québec ont été fusionnées et analysées avec des données météorologiques et des informations sur les véhicules transportant des porcs, obtenues à l'aide d'un sondage envoyé aux transporteurs. Au total, ce sont 172 569 livraisons vers des abattoirs québécois de 2018 à 2021 qui ont pu être analysées. Comme les données recueillies sur les véhicules n'étaient pas complètes, une première analyse comprenant la majorité des livraisons, mais excluant les informations sur les véhicules, a été réalisée. Une deuxième analyse incluant les informations sur les véhicules a ensuite été réalisée sur environ 30 % des livraisons.

La variable analysée était la probabilité qu'une livraison ait au moins une perte liée au transport, soit dans le véhicule, soit à l'abattoir avant l'abattage (décès ou euthanasie). Cette variable dichotomique a été modélisée avec la régression logistique pour obtenir les facteurs les plus influents. L'algorithme des forêts aléatoires a aussi été utilisé pour des fins de comparaison. Les deux méthodes ont montré qu'il était difficile de prédire avec exactitude les livraisons qui auront des pertes. Néanmoins, il serait tout de même possible d'identifier des niveaux de risques aux livraisons.

Les modèles de régression logistique ont clairement démontré l'impact significatif de certains facteurs. La chaleur, représentée dans les analyses par le nombre de degrés au-dessus de 20°C pour la température maximale journalière, est sans surprise un facteur déterminant. La chaleur est en interaction avec le moment de la journée, l'effet est pire en après-midi et en soirée qu'au matin, et avec la durée totale de la livraison, l'effet de la chaleur augmente avec la durée.

L'abattoir a clairement un effet sur les pertes, même après avoir considéré les facteurs confondus. Les données du projet ne permettent pas d'expliquer la cause de cet effet, mais c'est certainement un élément qui mérite l'attention de l'industrie. Les analyses ont aussi montré que le risque de pertes augmentait lorsque le poids carcasse moyen augmente. En fait, cet effet est au moins en partie confondu avec l'effet de la densité.

Pour les livraisons où les données des véhicules étaient disponibles, le type de véhicule est le facteur le plus important. Le risque de pertes estimé est plus élevé pour les remorques à 2 étages et les camions de type bedaine. Les camions 10 roues et les remorques à 3 étages ont les risques estimés les moins élevés. Dans une moindre mesure, le nombre de portes arrière et le type de sous-plancher apparaissent dans le modèle retenu. Les analyses suggèrent que la deuxième porte arrière favorise le chargement et le déchargement des animaux. Pour ce qui est du type de sous-plancher (isolé ou non), il n'y a pas d'hypothèse claire qui permet d'expliquer le résultat du modèle.

Pour la suite, la première étape est la communication de ces informations à l'industrie. Il est dans l'intérêt des producteurs, des transporteurs et des abattoirs de réduire les risques de pertes. Ensuite, pour bonifier la base de données créée dans le cadre de ce projet, il serait pertinent de construire une base de données plus complète de la flotte de véhicules utilisée pour les livraisons de porcs. Toutes les variables pertinentes relatives aux véhicules devraient s'y retrouver et des normes de standardisation devraient être définies pour chacune d'elles. De plus, la saisie de certaines données devrait être automatisée, ce qui limiterait le risque d'erreur et supprimerait la double saisie. Une meilleure connaissance des conditions d'ambiance dans les véhicules serait également pertinente pour mieux comprendre et mieux estimer le risque de pertes.

Table des matières

Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vi
1 Introduction	1
2 Objectif.....	2
3 Données.....	3
3.1 Données des Éleveurs de porcs du Québec.....	3
3.1.1 AS400.....	3
3.1.2 Certificats d'abattage	4
3.1.3 Données de condamnation	4
3.1.4 Données des bâtiments	4
3.2 Données de véhicules	4
3.3 Données météorologiques.....	4
3.4 Fusion des bases de données et données calculées.....	5
3.4.1 Création de nouvelles variables à partir des variables existantes.....	5
3.4.2 Jeux de données pour les analyses	6
3.5 Variable réponse	7
4 Méthodologie	8
4.1 Statistiques descriptives.....	8
4.2 Algorithmes	8
4.2.1 Forêts aléatoires	8
4.2.2 Régression logistique.....	8
5 Résultats.....	10
5.1 Statistiques descriptives	10
5.2 Facteurs identifiés	12
5.2.1 Jeu d'analyse #1	12

5.2.2	Jeu d'analyse #2.....	16
6	Recommandations	19
6.1	Pistes de solution pour les transporteurs	19
6.2	Pistes de solution pour le suivi futur	20
7	Conclusion	22
8	Références.....	23
9	Annexes.....	24

Liste des figures

- Figure 1. Densité de probabilité des prédictions sur les données de validation du jeu d'analyse #1. Les lignes pleines sont les cas où il y a eu des pertes et les lignes hachurées sont les cas où il n'y a pas eu de pertes. Un modèle parfait donnerait une ligne hachurée entièrement concentrée à 0 (à gauche) et une ligne pleine entièrement concentrée à 1 (à droite).....13
- Figure 2. Effets observés (ligne continue) et prédits de la température maximale journalière sur les données de validation du jeu d'analyse #1. Les bandes vertes contiennent les prédictions entre les 25^e et 75^e centiles. Les prédictions pour une livraison type du matin (ligne hachurée) et du soir (ligne pointillée) sont aussi présentées.14
- Figure 3. Effets observés (ligne continue) et prédits du moment de la journée sur les données de validation du jeu d'analyse #1. Les bandes vertes contiennent les prédictions entre les 25^e et 75^e centiles. Les prédictions pour une livraison type lorsque la température est inférieure à 20°C sont aussi présentées (ligne hachurée).15
- Figure 4. Densité de probabilité des prédictions sur les données de validation du jeu d'analyse #2. Les lignes pleines sont les cas où il y a eu des pertes et les lignes hachurées sont les cas où il n'y a pas eu de pertes. Un modèle parfait donnerait une ligne hachurée entièrement concentrée à 0 (à gauche) et une ligne pleine entièrement concentrée à 1 (à droite).....17
- Figure 5. Effet du type de véhicule pour une livraison type prédit sur les données de validation du jeu d'analyse #2.18

Liste des tableaux

Tableau 1. Variables prélevées du jeu de données AS400 ainsi que le contrôle qualité appliqué sur celles-ci	3
Tableau 2. Variables retenues dans le jeu de données de véhicules	5
Tableau 3. Variables provenant des données météorologiques	5
Tableau 4. Création des variables heure jour et heure nuit pour les analyses.....	6
Tableau 5. Pertes durant le transport.....	7
Tableau 6. Pourcentage de mortalité selon le nombre de porcs dans une livraison	10
Tableau 7. Distribution du pourcentage de mortalité entre les abattoirs	10
Tableau 8. Pourcentage de mortalité selon la densité de porcs dans la remorque	10
Tableau 9. Pourcentage de mortalité selon la température maximale (°C).....	11
Tableau 10. Pourcentage de mortalité selon le temps total des animaux dans la remorque (transport et attente à l'abattoir)	11
Tableau 11. Pourcentage de mortalité selon le nombre d'étages et le type de la remorque	11
Tableau 12. Pourcentage de mortalité selon le nombre de portes arrière de la remorque.....	12
Tableau 13. Facteurs retenus par la régression logistique pour Prob[Nb pertes >0] sur le jeu de données #1.	12
Tableau 14. Facteurs retenus par la régression logistique pour Prob[Nb pertes >0] sur le jeu de données #2.	16
Tableau 15. Pourcentage de mortalité selon le moment de la journée lors du transport.....	24

1 Introduction

Les pertes de porcs durant leur transport constituent non seulement une préoccupation importante concernant le bien-être animal, elles ont également un impact économique pour les producteurs ainsi que pour les abattoirs.

Le transport des porcs vers l'abattoir est une étape cruciale. Il arrive que lors de transports, des porcs sains à l'embarquement soient non-ambulatoires, fatigués ou même morts lors du déchargement. Selon les situations, les animaux problématiques peuvent subir une dépréciation ou parfois même être abattus pour des raisons de bien-être animal, par exemple si un porc devient non-ambulatoire pendant le transport.

Des études américaines ont permis de démontrer que plusieurs facteurs étaient en cause pour expliquer les pertes de porcs durant leur transport vers l'abattoir (porcs morts, fatigués ou devenus non ambulatoires). Ritter *et al.* (2020) ont montré que les pertes américaines représentent environ 0,88 % des porcs abattus, dont 0,62 % sont liées au transport. Passafaro *et al.* (2019) ont obtenu un taux de pertes associées au transport de 0,76 % pour 26 819 livraisons à 2 abattoirs de l'Iowa. Fitzgerald *et al.* (2009) ont obtenu un taux de pertes associées au transport de 0,85 % pour 9 fermes d'un intégrateur du Midwest américain. Pour ces trois études américaines, le taux de mortalité dans le transport, avant l'arrivée à l'abattoir, variait entre 0,19 et 0,25 %. Au Québec, pour une période couvrant de 2016 à 2021, le nombre de porcs morts durant les transports représente 0,06 % des porcs transportés vers l'abattoir. On ne sait pas toutefois si des facteurs particuliers pourraient expliquer ces pertes ou comment ces pertes varient par exemple dans le temps et selon les saisons. Ce type d'analyse n'a jamais été réalisée dans un contexte québécois.

Découlant du Règlement de la mise en marché et de la partie XV du Règlement sur la santé des animaux, la mise en place de la traçabilité des porcs en juillet 2014 donne accès à une multitude de données concernant le déplacement de porcs, les sites de production, les abattoirs et les véhicules utilisés pour les déplacements. S'ajoutent à ces données, les données recueillies à l'abattoir lors du déchargement concernant les animaux fragilisés et décédés pendant le transport.

Ces informations sur les transports de porcs vers l'abattoir sont centralisées dans une base de données gérée par les Éleveurs de porcs du Québec. Cette base de données volumineuse peut permettre d'identifier et d'analyser les facteurs ayant un impact sur les pertes durant le transport et mener à l'amélioration des pratiques entourant le transport des porcs vers l'abattoir afin de limiter les pertes. L'identification de ces facteurs permettrait de cibler des pistes d'amélioration qui seraient bénéfiques pour les producteurs, les transporteurs et les abattoirs.

2 Objectif

L'objectif principal du projet est d'analyser les facteurs ayant un impact sur les pertes durant le transport des porcs vers l'abattoir.

Plus spécifiquement, le projet vise à :

- Identifier, par analyse statistique des données disponibles, les facteurs ayant un impact sur les pertes durant le transport;
- Comprendre l'importance de ces facteurs et leur interaction sur les pertes durant le transport;
- Comparer les niveaux de pertes selon les facteurs à des moyennes observées ailleurs en Amérique du Nord.

Afin de réaliser ces objectifs, les données disponibles chez les Éleveurs de porcs du Québec ont été analysées. Des informations détaillées sur les véhicules utilisés pour le transport des animaux et des données météorologiques ont aussi été incluses dans les analyses.

Les facteurs identifiés seront communiqués à l'industrie. Les producteurs, les transporteurs et les abattoirs pourront tous bénéficier des résultats. Les données ont été anonymisées afin de ne pas pouvoir associer un taux de mortalité à un site de production, un transporteur ou un abattoir. Ceci étant dit, les analyses visaient tout de même à déterminer s'il y a un effet producteur, transporteur ou abattoir.

3 Données

3.1 Données des Éleveurs de porcs du Québec

3.1.1 AS400

La base de données AS400 contient les informations de chacune des livraisons de porc effectuées par des producteurs québécois vers les abattoirs du Québec. Chaque ligne correspond au chargement d'un seul producteur, où le numéro de lot y étant associé correspond à une livraison, un transport. Une livraison peut contenir les animaux d'un seul ou plusieurs producteurs. Au total, ce sont les données de 172 569 livraisons complétées entre 2018 et 2021 qui sont disponibles pour analyse. Cela représente 27 150 469 animaux livrés à l'abattoir.

Les variables sélectionnées pour analyse dans la base de données AS400 ainsi que le contrôle qualité appliqué sur celles-ci sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Variables prélevées du jeu de données AS400 ainsi que le contrôle qualité appliqué sur celles-ci

<i>Variable</i>	<i>Contrôle qualité</i>
Quantité de porcs reçue	Les chargements contenant moins de 20 animaux ont été éliminés.
Numéro du producteur	
Numéro de l'abattoir	Un abattoir a été éliminé du jeu de données par manque de données.
Date et heure de départ de chez le producteur	Date comprise entre le 2018-01-01 et le 2021-12-31 Heure comprise entre 0:00 et 23:59
Date et heure d'arrivée à l'abattoir	Date comprise entre le 2018-01-01 et le 2021-12-31 Heure comprise entre 0:00 et 23:59
Date et heure de déchargement à l'abattoir	Date comprise entre le 2018-01-01 et le 2021-12-31 Heure comprise entre 0:00 et 23:59
Nombre de morts lors du transport	Trois livraisons contenant 20 morts ou plus ont été éliminées.
Plaque d'immatriculation du véhicule utilisé pour le transport	

3.1.2 Certificats d'abattage

Les données de certificats d'abattage pour les années 2018 à 2021 ont permis d'obtenir le nombre de porcs ainsi que le poids total du lot à l'abattage. Ce sont 172 443 livraisons sur les 172 569 dont les données de certificats étaient disponibles.

3.1.3 Données de condamnation

Les données de condamnation permettent d'identifier les causes de pertes d'animaux avant l'abattage. Les causes de condamnation retenues pour analyse sont le nombre de cadavres (animaux morts dans l'abattoir avant l'abattage) ainsi que le nombre d'animaux euthanasiés lors de l'inspection ante-mortem. Au total, ce sont 59 347 livraisons dont les données de condamnation étaient disponibles. Pour les autres livraisons, il était présumé qu'il n'y avait aucune condamnation.

3.1.4 Données des bâtiments

Les données des bâtiments comprennent les coordonnées GPS ou les adresses exactes des producteurs chez qui un chargement d'animaux a été effectué. Au total, ce sont les coordonnées de 4906 producteurs sur les 5211 présents dans la base de données AS400 qui étaient disponibles. Les coordonnées GPS des abattoirs présents dans le jeu de données AS400 ont aussi été collectées.

3.2 Données de véhicules

Les données des véhicules comprennent les informations des remorques utilisées pour le transport des animaux vers les abattoirs. Ces données ont été recueillies au moyen d'un sondage envoyé aux transporteurs à l'automne 2022. Les 33 répondants ont permis d'obtenir les données de 150 remorques correspondant à 63 323 livraisons de la base de données. La fusion des deux jeux de données s'est fait à l'aide de la plaque d'immatriculation. Les variables retenues sont présentées dans le Tableau 2. Certaines variables ont été exclues puisqu'il y avait trop de données manquantes ou des imprécisions.

3.3 Données météorologiques

Les données météorologiques journalières ont été collectées à partir du portail de données climatiques donneesclimatiques.ca. Les données proviennent de stations météorologiques situées près des abattoirs retenus pour analyse. Les variables utilisées pour les analyses sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 2. Variables retenues dans le jeu de données de véhicules

Variable	Contrôle qualité
Plaque d'immatriculation	
Type de véhicule	Catégories conservées : remorque, bedaine, 10 roues et 12 roues
Superficie de chargement	
Nombre d'étages dans le véhicule	Catégories conservées : 1, 2 ou 3
Nombre de portes arrière	Catégories conservées : 1 ou 2
Type de plancher sous le véhicule	Catégories conservées : Isolé ou non-isolé

Tableau 3. Variables provenant des données météorologiques

Variable	Contrôle qualité
Nom de la station	
Date	Entre le 2018-01-01 et le 2021-12-31
Température minimale	
Température maximale	
Humidité relative minimale	Pour certains abattoirs, il a fallu utiliser une station plus éloignée que celle retenue pour les températures.
Humidité relative maximale	Pour certains abattoirs, il a fallu utiliser une station plus éloignée que celle retenue pour les températures.

3.4 Fusion des bases de données et données calculées

3.4.1 Création de nouvelles variables à partir des variables existantes

À partir des de la base de données AS400, une variable contenant la *durée du transport* a été calculée à l'aide des variables de date et heure de départ de chez le producteur et d'arrivée à l'abattoir. Une seconde variable de *durée d'attente* a été calculée à l'aide des variables date et heure d'arrivée à l'abattoir et de déchargement. La variable *temps total* est la somme de la durée

du transport et de la durée d'attente. Pour considérer le moment de la journée de la livraison, deux variables ont été créées : *heure jour* et *heure nuit* (Tableau 4).

Tableau 4. Création des variables heure jour et heure nuit pour les analyses.

Heure médiane entre chargement et déchargement	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Heure jour	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0
Heure nuit	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7

Une variable contenant la *distance parcourue* lors d'un transport a été calculée à partir des coordonnées GPS des bâtiments. La librairie R *gmapsdistance* (Azuerio Melo et Zarruk, 2022) a été utilisée afin de calculer la distance à l'aide du mode conduite. Donc, la distance réellement parcourue, et non la distance à vol d'oiseau, a pu être calculée. La distance totale d'une livraison correspond à la somme des distances entre chacun des producteurs puis jusqu'à l'abattoir.

L'ajout du calcul de la distance parcourue a permis de calculer la *vitesse de transport*, en divisant la distance parcourue par la durée du transport.

L'*indice humidex* a été calculée selon l'équation du Service météorologique du Canada (2012) à partir des températures et humidités relatives moyennes journalières. Une autre manière de tenir compte de la chaleur a été de considérer la température maximale journalière (T_{max} , en °C) uniquement lorsqu'elle était supérieure à 20 °C :

$$T_{max20} = \max(0, T_{max} - 20) \quad \text{Équation 1}$$

Le *poids carcasse moyen* des animaux dans un transport a pu être calculé à l'aide du poids total et du nombre d'animaux contenus dans les données de certificat d'abattage. Le poids vif moyen (P_{vif} , en kg) a pu être estimé en divisant le poids carcasse moyen (P_{carc} , en kg) par le rendement carcasse (R_{carc}), qui est estimé par l'équation suivante :

$$R_{carc} = 0,75533 + 0,0004319 \times P_{carc} \quad \text{Équation 2}$$

Une variable contenant la *densité de porcs* (kg/pi²) dans un transport a ensuite pu être calculée à l'aide des variables de nombre d'animaux reçus (AS400), du poids vif moyen ainsi que la superficie des véhicules.

3.4.2 Jeux de données pour les analyses

Il s'est avéré nécessaire de créer deux jeux de données pour faire deux séries d'analyses séparément :

- Jeu d'analyse #1 : Jeu de données qui exclut les informations sur les véhicules (voir Section 3.2), mais qui a l'avantage d'inclure la majorité des livraisons, soit 158 811 sur un total de 172 569 (92,0 %). Ce jeu de données compte 16 variables explicatives potentielles.
- Jeu d'analyse #2 : Jeu de données qui inclut toutes les sources de données, incluant les informations sur les véhicules. Cela permet d'analyser plus en détail l'impact du type de véhicule, avec le désavantage de laisser de côté la majorité des livraisons. Ce jeu de données compte 48 433 livraisons, soit 28,1 % des 172 569 livraisons au total et 23 variables explicatives potentielles.

3.5 Variable réponse

Le nombre de pertes associées à une livraison correspond à la somme des pertes durant le transport (dans la base de données AS400, Section 3.1.1) et des condamnations avec les causes mentionnées à la Section 3.1.3. Il n'y a aucune perte pour 88,3 % des livraisons, une seule perte dans 9,3 % des livraisons et deux pertes pour 1,7 % des livraisons (Tableau 5). Les livraisons avec plus de deux pertes sont marginales.

Tableau 5. Pertes durant le transport

Nombre de pertes	0	1	2	3	4	≥ 5
Fréquence	152 384	16 104	2 902	724	243	212
(%)	(88,3 %)	(9,3 %)	(1,7 %)	(0,4 %)	(0,1 %)	(0,1 %)

Pour un problème similaire, Fitzgerald *et al.* (2009) ont appliqué un modèle linéaire généralisée pour une distribution de Poisson, en standardisant sur le nombre d'animaux dans le chargement. Cette approche est adéquate en théorie, mais dans le présent projet, les nombres de pertes sont beaucoup plus faibles. Pour les analyses statistiques, il est donc plus approprié de regrouper dans une même catégorie les livraisons ayant un grand nombre de pertes, puisque les modalités ayant de faibles fréquences sont difficiles à modéliser. Il a ainsi été décidé d'utiliser une variable réponse (Y) dichotomique qui prend la valeur $Y = 0$ s'il n'y a aucune perte et la valeur $Y = 1$ s'il y a au moins une perte.

Le taux de mortalité, soit le nombre de pertes divisé par le nombre d'animaux, est aussi d'intérêt, mais plus difficile à analyser puisqu'il s'agit d'une variable mixte, avec un point de masse important à 0 lorsqu'il n'y a aucune perte et une distribution continue lorsqu'il y a au moins une perte. Le taux de mortalité n'a pas été utilisé dans les analyses statistiques, mais a été considéré dans les statistiques descriptives.

4 Méthodologie

4.1 Statistiques descriptives

Le taux de mortalité a été exprimé en fonction des modalités de chaque variable explicative potentielle. En plus de donner une première appréciation de l'impact d'une variable, cette analyse exploratoire permet d'identifier des transformations de variables nécessaires pour la régression logistique (voir Section 4.2.2).

4.2 Algorithmes

Deux différents algorithmes ont été utilisés pour l'identification des facteurs : d'abord les forêts aléatoires et ensuite la régression logistique.

4.2.1 Forêts aléatoires

Les forêts aléatoires (*random forests* en anglais) sont une méthode d'apprentissage automatique. Dans ce projet, elles sont utilisées pour la classification (nombre de pertes = 0 ou > 0), mais peuvent aussi être utilisées pour prédire une variable continue.

Cet algorithme est couramment utilisé en apprentissage automatique (pour des applications dans le secteur porcin, voir e.g. Thomas *et al.*, 2021; Gagnon et Carrier, 2022). Un avantage important de cet algorithme est qu'il n'y a pas autant d'hypothèses à respecter qu'avec les méthodes plus classiques; il est robuste à la multicolinéarité, aux corrélations non-linéaires, à la non-normalité et aux interactions complexes.

La fonction *train* du package *caret* (Kuhn, 2022) de R a été entraîné sur les données de calibration, qui représentent 80 % des jeux de données #1 (127 028 livraisons et 16 variables explicatives) et #2 (38 751 livraisons et 23 variables explicatives). Le modèle a ensuite été appliqué sur les données de validation, soit les 20 % restants (31 783 et 9 682 observations pour les jeux de données #1 et #2 respectivement). Pour chaque observation, le modèle retourne une probabilité de faire partie de l'un ou l'autre des deux groupes (nombre de pertes = 0 ou > 0). Ces probabilités estimées ont été comparées aux occurrences réelles.

Un inconvénient de cet algorithme est qu'il est difficilement interprétable et qu'il ne permet pas l'estimation directe de l'effet des facteurs importants. Cet algorithme ne peut donc à lui seul répondre aux objectifs du projet.

4.2.2 Régression logistique

La régression logistique est une méthode classique permettant de prédire une variable dichotomique. L'équation de régression est comparable à celle d'une régression linéaire, sauf que le modèle prédit le logarithme de la cote au lieu de prédire la variable réponse elle-même.

Contrairement aux forêts aléatoires, des ajustements doivent être faits aux variables explicatives si la relation entre le logarithme de la cote et les variables explicatives est non-linéaire. Aussi, les interactions doivent être ajoutées dans l'équation pour être prises en compte, alors qu'elles le sont de manière implicite avec les forêts aléatoires. En revanche, l'effet de chaque facteur est estimé avec un seuil statistique.

La fonction *glm* de R a été utilisée sur les jeux de données de calibration, avec l'option « *family = binomial* » pour préciser qu'il s'agit d'une régression logistique. Pour bien estimer les effets de chaque facteur, le meilleur modèle a été recherché à partir de la méthode pas-à-pas qui consiste à ajouter une variable à la fois et de retenir à chaque étape la meilleure variable (dans notre cas, selon les critères de l'AIC ou de la déviance). Comme il s'agit d'un modèle linéaire, différentes modifications des variables originales ont été testées. Quand l'ajout de variables individuelles n'améliorait plus le modèle, des interactions étaient ajoutées et retenues selon les mêmes critères.

Comme pour les forêts aléatoires, le modèle a ensuite été appliqué sur les données de validation. Les performances de prédiction des deux algorithmes ont été comparées afin de déterminer si le modèle et les coefficients de régression obtenus à partir de la régression logistique pouvaient être considérés comme adéquats.

Comme les numéros de producteurs et d'entreprises de livraison étaient disponibles, il a été possible de tester ces deux facteurs comme des effets aléatoires. Cependant, comme il y a beaucoup de modalités et que certains d'entre eux ne reviennent qu'une seule fois, le modèle de régression logistique n'a pu converger vers un résultat. Ces deux effets ont donc été exclus du modèle de régression logistique et n'ont pas été inclus non plus dans les forêts aléatoires.

5 Résultats

5.1 Statistiques descriptives

Cette section présente les taux de mortalité en fonction de sept variables ayant potentiellement un impact. Il est intéressant de souligner que le taux de mortalité global, durant le transport plus les condamnations liées au transport, est de 0,098 %, ce qui est nettement inférieur à ce qui a été observé aux États-Unis (Ritter *et al.*, 2020).

Tableau 6. Pourcentage de mortalité selon le nombre de porcs dans une livraison

<i>Nombre de porcs</i>	<i>Nombre de livraisons</i>	<i>% de mortalité</i>
[20,91]	29534	0,05
(91,135]	28187	0,06
(135,176]	28780	0,09
(176,199]	29224	0,14
(199,211]	28580	0,09
(211,290]	28264	0,10

Tableau 7. Distribution du pourcentage de mortalité entre les abattoirs

<i>Min</i>	<i>Q25</i>	<i>Q50</i>	<i>Q75</i>	<i>Max</i>
0,03	0,06	0,11	0,13	0,17

Tableau 8. Pourcentage de mortalité selon la densité de porcs dans la remorque

<i>Densité (kg/pi²)</i>	<i>Nombre de livraisons</i>	<i>% de mortalité</i>
≤ 22	12958	0,08
22-25	17390	0,10
25-27	16229	0,11
> 27	13202	0,11

Tableau 9. Pourcentage de mortalité selon la température maximale (°C)

<i>Température max. (°C)</i>	<i>Nombre de livraisons</i>	<i>% de mortalité</i>
< 20	119231	0,09
[20,25)	21874	0,10
[25,30)	21051	0,12
≥ 30	6093	0,18

Tableau 10. Pourcentage de mortalité selon le temps total des animaux dans la remorque (transport et attente à l'abattoir)

<i>Temps total (min)</i>	<i>Nombre de livraisons</i>	<i>Nombre de remorques</i>	<i>% de mortalité</i>
< 45	29458	516	0,05
[45,90)	40808	751	0,06
[90,180)	47154	891	0,10
[180,270)	25592	684	0,12
≥ 270	26185	659	0,14

Tableau 11. Pourcentage de mortalité selon le nombre d'étages et le type de la remorque

<i>Nombre d'étages</i>	<i>Type de remorque</i>	<i>Nombre de livraisons</i>	<i>Nombre de remorques</i>	<i>% de mortalité</i>
2	10 roues	5078	8	0,05
	Remorque	8073	20	0,10
3	Bedaine	19235	49	0,14
	Remorque	29215	45	0,08

Note : D'autres types de véhicules étaient présents dans la base de données, mais en trop faible fréquence pour être présentés.

Tableau 12. Pourcentage de mortalité selon le nombre de portes arrière de la remorque

Nombre de portes arrière	Nombre de livraisons	Nombre de remorques	% de mortalité
1	17596	52	0,14
2	45739	78	0,08

5.2 Facteurs identifiés

5.2.1 Jeu d'analyse #1

Le Tableau 13 présente les facteurs retenus pour la probabilité d'avoir au moins une perte dans une livraison à partir des 127 028 livraisons pour la calibration et 16 variables à tester (sans les données de véhicules).

Tableau 13. Facteurs retenus par la régression logistique pour Prob[Nb pertes >0] sur le jeu de données #1.

Facteur ¹	Coefficient
Ordonnée à l'origine (<i>intercept</i>)	-6,83
Quantité reçue	0,00938
Abattoir	Varie d'un abattoir à l'autre
T° max (supérieure à 20°C) ²	0,019
Poids carcasse moyen (kg)	0,0244
Heure nuit ²	0,156
Heure jour ²	0,0415
Vitesse moyenne (km/h)	0,00329
Temps total (minutes) ²	0,000591
T° max (supérieure à 20°C) x Temps total	0,000132
T° max (supérieure à 20°C) x Heure jour	0,00351
Abattoir x Temps total	Varie d'un abattoir à l'autre

¹Les facteurs apparaissent dans l'ordre qu'ils ont été retenus dans le modèle de régression logistique avec l'approche pas-à-pas. Les coefficients sont tous statistiquement significatifs au seuil 0,002.

²Variable modifiée; définition donnée à la Section 3.5.

Appliqué sur les 31 783 données de validation, le modèle de régression logistique permet de faire une distinction entre les livraisons avec et sans pertes, à un niveau de précision comparable à celui obtenu avec les forêts aléatoires (Figure 1). Par contre, même si les deux algorithmes retournent des risques de pertes plus élevés pour les livraisons ayant réellement obtenus des pertes, leur capacité de prédiction des pertes est très limitée. La proportion des livraisons avec pertes qui ont un risque supérieur à 50 % est très marginale. Ceci étant dit, ces algorithmes pourraient quand même être une base pour identifier des niveaux de risques (ex. : vert, jaune, orange).

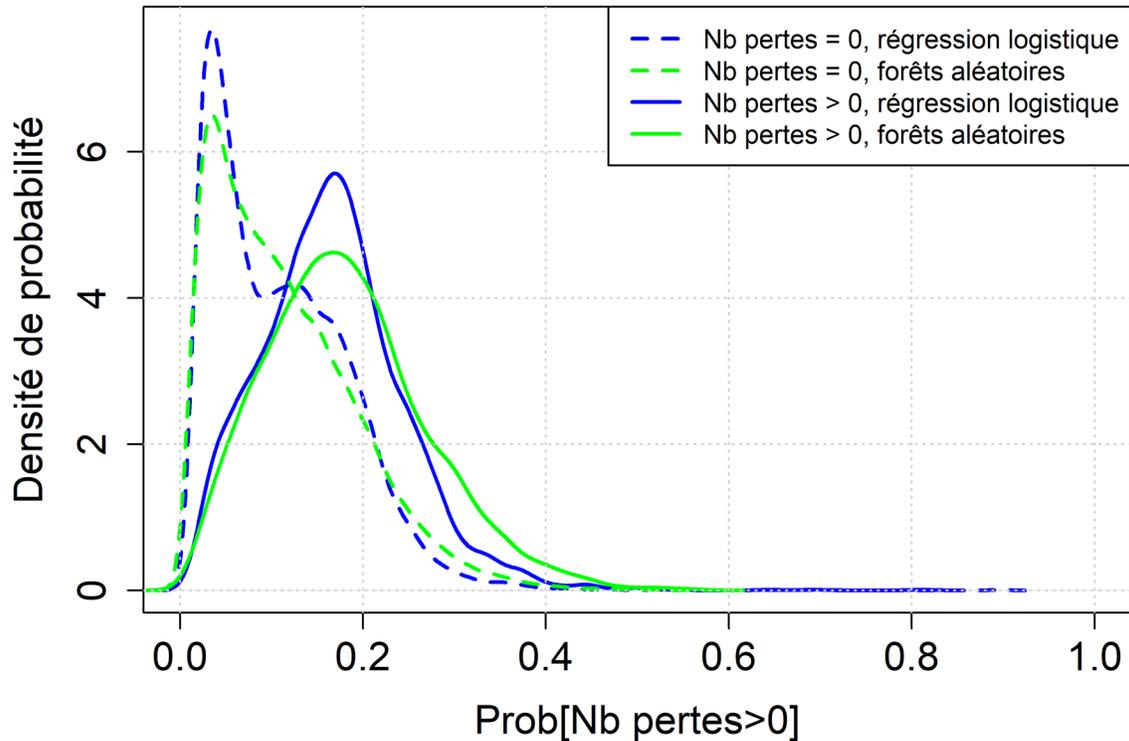


Figure 1. Densité de probabilité des prédictions sur les données de validation du jeu d'analyse #1. Les lignes pleines sont les cas où il y a eu des pertes et les lignes hachurées sont les cas où il n'y a pas eu de pertes. Un modèle parfait donnerait une ligne hachurée entièrement concentrée à 0 (à gauche) et une ligne pleine entièrement concentrée à 1 (à droite).

La quantité reçue est naturellement une variable importante; plus il y a d'animaux transportés, plus il y a de chances d'avoir au moins une perte. Ce facteur peut être vu comme un paramètre de contrôle.

L'abattoir est un facteur très important. Des modèles sans l'effet de l'abattoir et avec les facteurs temps et vitesse ont été testés afin de déterminer si l'effet abattoir n'est pas plutôt un effet confondu avec la distance à parcourir. Ces tests ont montré que l'effet de l'abattoir devait faire partie du modèle et n'était pas expliqué par la distance avec les fermes. En fait, il y a une interaction entre le temps et l'abattoir qui apparaît plus loin dans le modèle. Il n'est pas possible à partir des données récoltées dans ce projet de déterminer pourquoi certains abattoirs performant mieux que d'autres, mais c'est certainement un élément qui mérite l'attention de l'industrie.

La température maximale journalière a un impact sur les pertes lorsque les conditions sont chaudes. Le choix du moment de la journée pour la livraison est important (Figure 2). Il est à noter que la température ressentie (indice humidex) donnait des résultats très semblables, mais c'est la température maximale journalière qui a été retenue selon les critères statistiques.

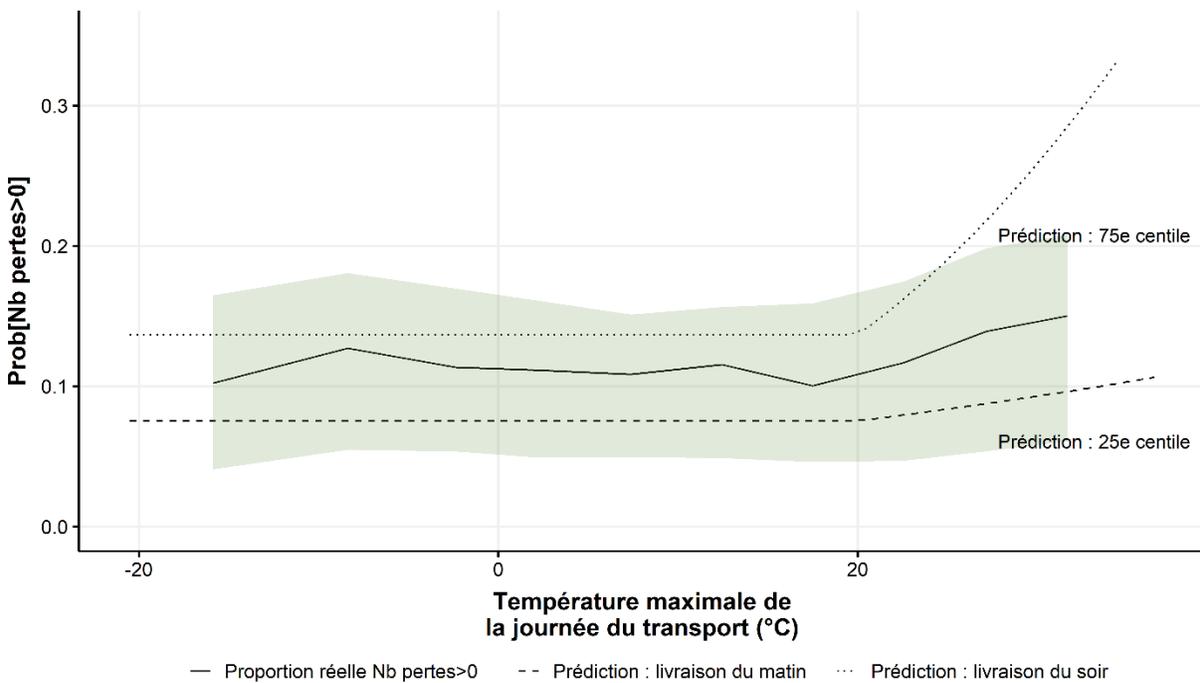


Figure 2. Effets observés (ligne continue) et prédits de la température maximale journalière sur les données de validation du jeu d'analyse #1. Les bandes vertes contiennent les prédictions entre les 25^e et 75^e centiles. Les prédictions pour une livraison type du matin (ligne hachurée) et du soir (ligne pointillée) sont aussi présentées.

Le poids carcasse moyen a aussi un impact. Il est possible que ce soit en fait un effet de la densité (kg/m²), mais cela ne peut être confirmé puisque les superficies allouées aux animaux n'étaient pas connues dans ces analyses.

Le fait que le transport se déroule la nuit, particulièrement en début de nuit, augmente le risque de décès (Figure 3). Même si ce facteur n'est pas un des premiers retenus, il est important pour les déchargements concernés, qui représentent une faible proportion du jeu de données.

L'heure du jour a aussi un impact (Figure 3), le risque de mortalité augmente en après-midi et encore en soirée. L'interaction de ce facteur avec la température, apparaissant plus loin dans le modèle, illustre qu'en période de grande chaleur, le risque en après-midi et en soirée est encore plus élevé et qu'il est préférable de cibler le matin (voir Figure 2).

La vitesse et le temps total, soit le temps de transport plus le temps du véhicule sur le site de l'abattoir, sont aussi dans le modèle, mais avec un impact moindre, sauf quand il fait chaud, puisque le coefficient de l'interaction entre le temps total et la température est positif.

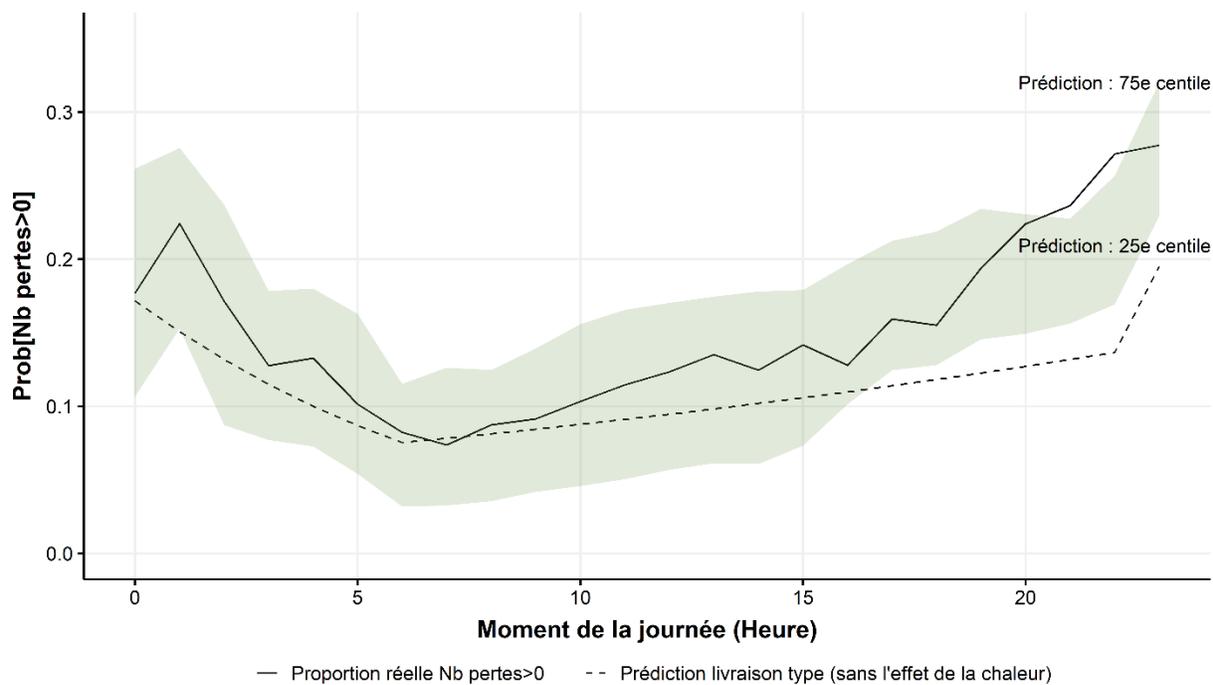


Figure 3. Effets observés (ligne continue) et prédits du moment de la journée sur les données de validation du jeu d'analyse #1. Les bandes vertes contiennent les prédictions entre les 25e et 75e centiles. Les prédictions pour une livraison type lorsque la température est inférieure à 20°C sont aussi présentées (ligne hachurée).

5.2.2 Jeu d'analyse #2

Le Tableau 14 présente les facteurs retenus pour la probabilité d'avoir au moins une perte dans une livraison à partir des 38 751 livraisons pour la calibration et 23 variables à tester (avec les données de véhicules).

Tableau 14. Facteurs retenus par la régression logistique pour Prob[Nb pertes >0] sur le jeu de données #2.

Facteur¹	Coefficient
Ordonnée à l'origine (<i>intercept</i>)	-6,85
Quantité reçue	0,0118
Type de véhicule ² – 10 roues (2 étages)	0
Type de véhicule ² – Remorque (2 étages)	0,615
Type de véhicule ² – Remorque (3 étages)	-0,0550
Type de véhicule ² – Bedaine (3 étages)	0,460
Abattoir	Varie d'un abattoir à l'autre
Poids carcasse moyen (kg)	0,0251
T° max (supérieure à 20°C) ³	0,0335
Heure nuit ³	0,139
Heure jour ³	0,0393
Type de sous-plancher - Isolé	0
Type de sous-plancher - Non-isolé	-0,351
Nombre de portes arrière	-0,232
T° max (supérieure à 20°C) x Heure jour	0,00567

¹Les facteurs apparaissent dans l'ordre qu'ils ont été retenus dans le modèle de régression logistique avec l'approche pas-à-pas. Les coefficients sont tous statistiquement significatifs au seuil 0,002.

²D'autres types de véhicules étaient présents dans la base de données, mais en trop faible fréquence pour en présenter les coefficients.

³Variable modifiée; définition donnée à la Section 3.5.

Appliqué sur les 9 682 données de validation, le modèle de régression logistique permet de faire une distinction entre les livraisons avec et sans pertes, à un niveau de précision comparable à celui obtenu avec les forêts aléatoires (Figure 4). Les mêmes constats que pour le jeu de données #1 s'appliquent, soit que la capacité de prédiction des pertes des deux algorithmes est très limitée, mais qu'il serait tout de même possible d'identifier des niveaux de risques (ex. : vert, jaune, orange) à partir des prédictions des deux algorithmes.

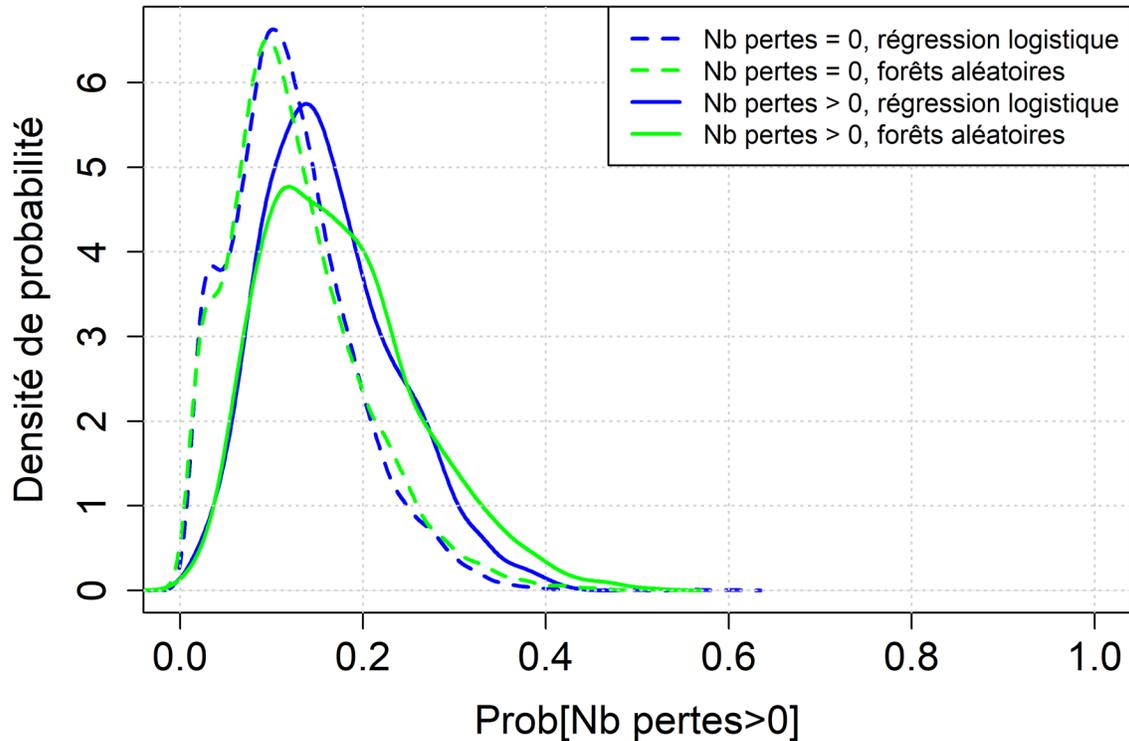


Figure 4. Densité de probabilité des prédictions sur les données de validation du jeu d'analyse #2. Les lignes pleines sont les cas où il y a eu des pertes et les lignes hachurées sont les cas où il n'y a pas eu de pertes. Un modèle parfait donnerait une ligne hachurée entièrement concentrée à 0 (à gauche) et une ligne pleine entièrement concentrée à 1 (à droite).

Les facteurs quantité reçue, abattoir, poids carcasse moyen, température maximale journalière (nombre de °C de plus que 20°C), heure de la nuit, heure du jour et l'interaction entre la température et l'heure du jour sont encore une fois présents, avec un impact comparable à ce qui a été estimé sur le jeu de données #1 (Tableau 13). La vitesse et le temps total disparaissent du modèle au profit de variables relatives aux véhicules.

Une nouvelle variable très importante est le type de véhicule (Figure 5) : les remorques à 3 étages et les 10 roues montre des risques moins élevés. Les camions de type « bedaine » et les remorques à 2 étages ferment la marche.

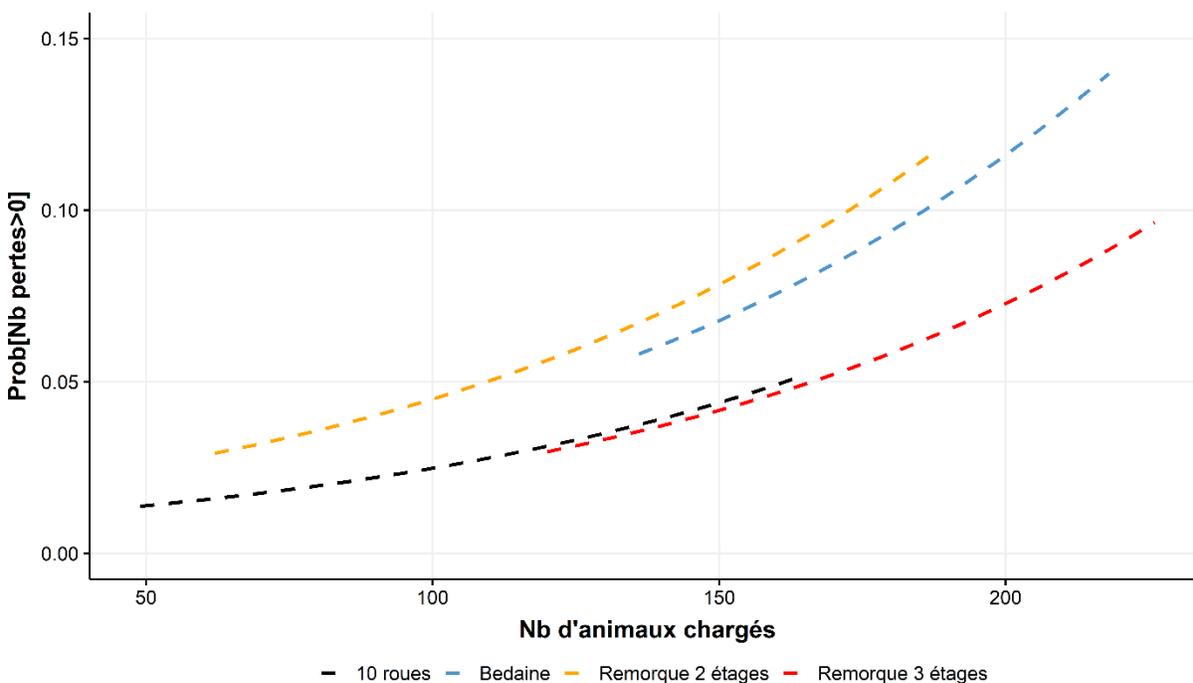


Figure 5. Effet du type de véhicule pour une livraison type prédit sur les données de validation du jeu d'analyse #2.

Le type de sous-plancher est aussi retenu, mais avec un impact plus faible. Les sous-planchers isolés augmenteraient le risque de pertes. Il n'y a aucune hypothèse pour expliquer cela. Il faut dire que seulement 14 % des déchargements retenus dans le jeu de données #2 sont avec des sous-planchers isolés.

Le nombre de portes arrière est aussi retenu; avoir une deuxième porte diminuerait le risque de pertes par rapport aux véhicules avec une seule porte. On peut présumer que la deuxième porte favorise le chargement et le déchargement des animaux.

Il est à noter que toutes les interactions entre les facteurs liés aux véhicules ont été testés et n'ont pas été retenus.

6 Recommandations

6.1 Pistes de solution pour les transporteurs

Les analyses statistiques ont montré que plusieurs facteurs avaient un impact significatif sur la probabilité d'avoir une ou des pertes causées par le transport. Pour plusieurs de ces facteurs, des solutions pourraient être mises en place.

- Abattoir : Même après avoir considéré les facteurs confondus (ex. : temps total), il y a clairement un effet lié à l'abattoir. Les données du projet ne permettent pas d'expliquer la cause de cet effet, mais il serait certainement pertinent de travailler avec les abattoirs sur cette problématique.
- Température maximale journalière (uniquement si supérieure à 20°C) : Il est connu que la chaleur est un facteur de risque et les analyses l'ont clairement démontré. Il est à noter que le taux d'humidité est possiblement important aussi, mais son impact n'a pu être clairement démontré. Les analyses ont montré que de faire les déplacements en matinée réduisait le risque de pertes lorsqu'il fait chaud. En ce qui concerne les véhicules, des systèmes de contrôle de température existent pour atténuer l'effet de la chaleur (ex. : brumisateurs). D'après les réponses obtenues du sondage auprès des transporteurs, seulement 5 % des livraisons seraient effectuées dans des véhicules avec des systèmes de contrôle de température. En revanche, la majorité des répondants ont mentionné qu'il était possible d'ajuster la ventilation en court de trajet, mais ce facteur n'a pas été retenu dans les analyses. Peu de détails étaient donnés sur la méthode d'ajustement et il n'est pas possible de savoir si ces ajustements étaient réellement faits durant une livraison ou pas.
- Poids carcasse moyen : Les analyses ont montré que le risque de pertes augmentait lorsque le poids carcasse moyen augmente. En fait, cet effet est en partie confondu avec l'effet de la densité. Pour les livraisons où des données de densité étaient disponibles, la corrélation entre le poids carcasse moyen et la densité estimée (exprimée en kg de porcs vivants/pi²) est de 36 %. Lorsque des porcs plus lourds qu'à l'habitude sont chargés, il est important de diminuer le nombre d'animaux par rapport à l'habitude afin de respecter la densité recommandée (Conseil de recherches agroalimentaires du Canada (CRAC), 2001; Whiting et Brandt, 2002).
- Moment de la journée :
 - Livraisons de nuit : Le modèle a montré un effet important lorsque l'heure médiane de la livraison était la nuit, particulièrement en début de nuit (à partir de 23 h).
 - Livraisons de jour : Les livraisons en matinée sont moins à risque que celle en après-midi ou en soirée. Cet effet devient plus important lorsqu'il fait chaud.
- Vitesse moyenne et temps total : L'effet du temps de transport est apparu dans les derniers paramètres retenus du jeu de données #1, même si les statistiques descriptives semblaient montrer un effet important. Les interactions dans le modèle statistique suggèrent que le risque associé à un long déplacement peut être atténué par un choix optimal du moment de la journée de la livraison et que l'effet temps (ou distance) varie d'un abattoir à l'autre. Il y a possiblement un effet confondu avec le type de véhicule puisque ni le temps ni la vitesse ne sont retenus dans le modèle du jeu d'analyses #2.
- Facteurs relatifs aux véhicules (jeu de données #2 seulement) :
 - Type de véhicule : Pour les livraisons où les données des véhicules étaient disponibles, le type de véhicule est le facteur le plus important. Le risque de pertes estimé est plus élevé pour les remorques à 2 étages et les camions de type bedaine. Les camions 10 roues et les remorques à 3 étages ont les risques estimés les moins élevés. Il serait pertinent d'analyser pour un type de véhicule

donné, les pertes en fonction des transporteurs et de cibler ceux qui ont les plus faibles pertes pour déterminer les bonnes pratiques pour un type de véhicule donné.

- Nombre de portes arrière et type de sous-plancher : Ces deux facteurs apparaissent dans le modèle, mais ont un impact beaucoup moins important. Les analyses suggèrent que la deuxième porte arrière favorise le chargement et le déchargement des animaux. Pour ce qui est du type de sous-plancher (isolé ou non), il n'y a pas d'hypothèse claire qui permet d'expliquer le résultat du modèle.

6.2 Pistes de solution pour le suivi futur

Les analyses ont montré un potentiel pour déterminer dans quelles conditions certaines livraisons pourraient être plus à risque. Les analyses réalisées dans le présent projet peuvent être reprises et bonifiées avec l'ajout de nouvelles données, soit des livraisons futures et aussi de nouvelles variables. Les données présentement collectées à chaque livraison représentent une source d'information de grande qualité. Il y a cependant certains éléments en lien avec la collecte de données qui pourraient être améliorés pour faciliter le suivi.

- Information sur les véhicules : Dans le présent projet, les informations sur les véhicules ont été obtenus grâce aux transporteurs ayant volontairement répondu à notre sondage. Les réponses ont permis de couvrir environ le tiers de toutes les livraisons de 2018 à 2021. Cela représente une quantité importante de livraisons, mais pour un portrait optimal et une meilleure analyse des facteurs causant des pertes, il serait pertinent d'avoir une base de données plus complète de la flotte de véhicules utilisée pour les livraisons de porcs. Toutes les variables pertinentes relatives aux véhicules devraient s'y retrouver et des normes de standardisation devraient être définies pour chacune d'elles. Dans le présent projet, c'est le transporteur qui fournissait toutes les informations sans que nous puissions en vérifier l'exactitude.
- Automatisation et numérisation de la saisie : Plusieurs variables de la base de données sont saisies manuellement et cela demande du temps et amène des erreurs, autant pour la personne sur le terrain qui écrit l'information que pour la personne qui saisit l'information dans la base de données. Une saisie automatisée limiterait le risque d'erreur et supprimerait la double saisie. Dans le présent projet, trois types de variables auraient été plus facilement analysables avec une saisie automatique :
 - Numéro de plaque : Sur plus de 170 000 livraisons, une grande quantité de numéros de plaque de véhicules comportait des erreurs. Les techniques d'analyse d'images modernes permettent très facilement de lire une plaque d'immatriculation à partir d'une photo.
 - Dates et heures de chargement, d'arrivée à l'abattoir et de déchargement : Il y avait aussi beaucoup d'erreur de saisie pour ces variables. Souvent, il était possible de déduire une erreur de date (± 1 jour), mais souvent sans pouvoir être certain de la correction à apporter. Pour les heures de chargements chez les producteurs, une application cellulaire pourrait être envisagée. Cette application pourrait aussi être utilisée à l'abattoir, où d'autres méthodes peuvent aussi être appliquées. Une méthode plus coûteuse serait d'installer un système GPS sur les véhicules et d'obtenir la permission d'utiliser ces données.
 - Identité du conducteur : Il aurait été pertinent de pouvoir inclure, de manière anonyme, l'identité du conducteur dans les analyses. Une variable, basée sur un numéro de carte présentée par le conducteur, est disponible dans la base de données, mais il n'est pas rare qu'un conducteur puisse avoir plusieurs identifiants

différents. Une application cellulaire pourrait aussi atténuer grandement, voire éliminer, ce problème.

- Suivi des conditions environnementales : L'effet de la température sur les pertes a clairement été démontré, malgré les incertitudes sur les conditions réelles. En effet, les variables utilisées étaient les températures minimales et maximales journalières de la station météorologique la plus près de l'abattoir et pour la température ressentie (indice humidex), les températures et humidités relatives moyennes journalières étaient utilisées, parfois d'une autre station puisque les données d'humidité relative sont moins souvent disponibles. Inclure le moment de la journée dans le modèle a permis de tenir compte indirectement de la température réelle près de l'abattoir. Cependant, pour une meilleure connaissance de ce qui est réellement ressenti par les animaux, des capteurs pourraient être installés pour mesurer à chaque instant la température, l'humidité relative et même si possible la vitesse et la direction du vent à l'échelle des animaux. Connaissant les heures de chargements et de déchargements, il serait possible avec l'analyse de ces données non seulement de ressortir les conditions moyennes réelles ressenties par les animaux durant tout le trajet, mais aussi de suivre les conditions plus extrêmes subies durant de courtes périodes. Des données GPS pourraient aussi permettre de mettre en lien les conditions environnementales en fonction de la vitesse de déplacement. Tous ces capteurs peuvent cependant s'avérer coûteux et l'analyse de ces données demanderait un certain temps. Une telle application serait envisageable dans un projet pilote, mais moins à grande échelle.

7 Conclusion

L'analyse des données disponibles a permis d'identifier des facteurs qui augmentent le risque de pertes dans le transport des porcs vers l'abattoir. La précision des modèles testés est trop faible pour prédire les livraisons qui subiront des pertes, mais il serait possible de définir différents niveaux de risque.

La chaleur est un facteur important. Parmi les facteurs sur lesquels les producteurs, transporteurs ou abattoir ont un contrôle, il y a le moment de la journée, le type de véhicule et la densité. L'effet de l'abattoir est aussi important et mériterait une analyse approfondie. Ces informations seront diffusées à l'industrie. Il est dans l'intérêt des producteurs, des transporteurs et des abattoirs de réduire les risques de pertes.

En amont de l'analyse, le projet a aussi permis la création d'une première version d'une base de données sur les véhicules utilisés et la fusion de différentes sources de données pertinentes. Pour un suivi ultérieur *ad hoc*, la base du travail réalisé dans le présent projet peut être reprise. Pour un suivi plus efficace, il serait pertinent de produire une base de données complète et standardisée de la flotte de véhicules utilisés pour le transport des animaux vers l'abattoir et d'automatiser la collecte de certaines données saisies à la ferme et à l'abattoir.

8 Références

Azuero Melo, R., et D. Zarruk, 2022. gmapsdistance: Distance and Travel Time Between Two Points from Google Maps. R package version 4.0.0. <https://CRAN.R-project.org/package=gmapsdistance>

Conseil de recherches agroalimentaires du Canada (CRAC), 2001. Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des animaux de ferme. <https://www.nfacc.ca/codes-de-pratiques/transport/code> (consulté le 20 janvier 2023)

Fitzgerald, R.F., K.J. Stalder, J.O. Matthews, C.M. Schultz Kaster et A.K. Johnson, 2009. Factors associated with fatigued, injured, and dead pig frequency during transport and lairage at a commercial abattoir. *J. Anim. Sci.* 87 : 1156-1166. DOI : 10.2527/jas.2008-1270

Gagnon, P., et A. Carrier, 2022. Évaluation des outils technologiques de détection hâtive, non invasive et automatisée de la maladie. Rapport final. Québec : CDPQ, 32 p.

Kuhn, M., 2022. caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-93. <https://CRAN.R-project.org/package=caret>

Passafaro, T.L., D. Van de Stroet, N.M. Bello, N.H. Williams et G.J.M. Rosa, 2019. Generalized additive mixed model on the analysis of total transport losses of market-weight pigs. *J. Anim. Sci.* 97 : 2025-2034. DOI : 10.1093/jas/skz087

Ritter, M.J., C.L. Yoder, C.L. Jones, S.N. Carr et M.S. Calvo-Lorenzo, 2020. Transport losses in market weight pigs: II. U.S. incidence and economic impact. *Transl. Anim. Sci.* 4 : 1103-1112. DOI : 10.1093/tas/txaa041

Service météorologique du Canada, 2012. « Comment calcule-t-on l'humidex? », Environnement Canada [En ligne] https://web.archive.org/web/20121103161701/http://www.weatheroffice.gc.ca/mainmenu/faq_f.html#weather4b (consulté le 16 décembre 2022)

Thomas, J., Rousselière, Y., Marcon, M., et A. Hémonic, 2021. Early detection of diarrhea in weaned piglets from individual feed, water and weighing data. *Front. Anim. Sci.* 2:688902. DOI : 10.3389/fanim.2021.688902

Whiting TL et Brandt S. Minimum space allowance for transportation of swine by road. *Can Vet J.* 2002 Mar;43(3):207-12. PMID: 11901594; PMCID: PMC339205.

9 Annexes

Tableau 15. Pourcentage de mortalité selon le moment de la journée lors du transport

<i>Moment de la journée (Heure médiane)</i>	<i>Nombre de livraisons</i>	<i>% de mortalité</i>	<i>Moment de la journée (Heure médiane)</i>	<i>Nombre de livraisons</i>	<i>% de mortalité</i>
0	2108	0,16	12	12639	0,10
1	2381	0,16	13	9620	0,11
2	2215	0,14	14	7489	0,11
3	2779	0,11	15	5899	0,12
4	4865	0,10	16	4694	0,11
5	8080	0,08	17	3732	0,13
6	13156	0,07	18	3535	0,12
7	17235	0,07	19	2875	0,15
8	17969	0,07	20	1950	0,15
9	15764	0,07	21	1767	0,19
10	14687	0,09	22	1432	0,19
11	14606	0,09	23	1092	0,24



Centre de développement du porc du Québec inc.
815 Rte Marie-Victorin
Lévis (secteur Saint-Nicolas)
Québec G7A 3S6

T : 418 650-2440

cdpq@cdpq.ca

www.cdpq.ca

