

MARS 2026
ÉTUDES ET ENQUÊTES

**Effets des abattoirs sur la
dynamique de la Covid-19 : une
analyse écologique dans l'Ouest
de la France**

**RÉGION BRETAGNE
RÉGION PAYS DE LA LOIRE**

Résumé

Effets des abattoirs sur la dynamique de la Covid-19 : une analyse écologique dans l'Ouest de la France

Des clusters de Covid-19 sont apparus au début de la pandémie dans les abattoirs de l'Ouest de la France avec un risque de diffusion communautaire.

L'étude évalue l'effet de la présence d'abattoirs sur la dynamique épidémique de la Covid-19 en Bretagne et Pays de la Loire entre le 8 juillet 2020 et le 7 décembre 2021. Trois indicateurs sanitaires ont été étudiés : l'incidence, les taux de positivité et les taux de dépistage.

Une étude écologique a été menée en utilisant les IRIS comme unité spatiale d'analyse. Les tests et cas issus du Système d'information de dépistage populationnel (Sidep) étaient agrégés par IRIS (îlot regroupé pour l'information statistique), semaine, sexe et tranche d'âge.

Deux indicateurs d'exposition ont été construits, distinguant abattoirs de volailles et abattoirs de boucherie.

Les nombres de cas et tests à la semaine et IRIS ont été régressés sur les indicateurs d'exposition aux abattoirs en contrôlant les facteurs d'ajustement suivants : la taille des ménages, le degré d'urbanisation communal, et quatre variables mesurant la défaveur sociale. Un effet aléatoire était associé au département. Une interaction entre la tendance temporelle et les indicateurs d'exposition aux abattoirs de volailles et boucherie a été prise en compte à l'aide d'un produit tensoriel. La couverture vaccinale Covid-19 a été utilisée pour des analyses de sensibilité.

Pour chaque indicateur étudié — incidence, taux de positivité ou de dépistage — les résultats ont été fournis sous forme de ratios de taux (RR) pour une augmentation du 1^{er} au 3^e quartile de chaque indicateur d'exposition.

La zone couvrait 3 682 IRIS (7 248 566 habitants) : 1 894 (51,4 %) étaient considérés exposés aux abattoirs de boucherie et 1 518 (41,2 %) aux abattoirs de volailles.

Des associations positives suggèrent que l'exposition aux abattoirs de boucherie a contribué à une amplification de l'épidémie pendant l'été 2020 alors que le virus circule peu. Cet effet s'est estompé en octobre 2020 avec l'augmentation de la circulation virale. Sur les 9 premières semaines étudiées, les associations sont fortes quel que soit l'indicateur étudié : l'augmentation du taux de positivité associée à une augmentation de l'exposition est comprise entre 57,2 % (semaine 1, RR de 1,572 [1,424-1,735]) et 18,8 % (semaine 9, RR de 1,188 [1,136-1,242]). Des associations de moindre ampleur apparaissent lors de la 3^e vague épidémique dans un contexte de forte circulation virale. En semaine 41, les RR sont de 1,047 [1,036-1,058] pour le dépistage et 1,090 [1,061 -1,120] pour l'incidence.

Pour les abattoirs de volailles, l'effet des expositions a été estimé constant dans le temps avec des RR proches de 1 : 1,016 [1,004-1,029] pour l'incidence, 1,017 [1,005-1,028] pour la positivité, et 1,008 [1,004-1,013] pour le dépistage. Les hypothèses expliquant les différences d'impact entre les deux filières restent à valider.

Ces résultats soulignent la nécessité de préparer les futures émergences respiratoires en associant des actions ciblées envers les travailleurs des abattoirs, particulièrement ceux de la filière boucherie, et des mesures de prévention élargies aux populations résidant à proximité de ces sites, afin de limiter la diffusion communautaire.

MOTS-CLÉS : COVID-19, ABATTOIRS, ANALYSE ÉCOLOGIQUE

Abstract

Effects of slaughterhouses on COVID-19 dynamics: an ecological analysis in Western France

Clusters of COVID-19 appeared at the start of the pandemic in slaughterhouses in Western France, with a risk of community spread. This study assesses the effects of the presence of slaughterhouses on the epidemic dynamics of COVID-19 in Brittany and Pays de la Loire region between July 8, 2020, and December 7, 2021. Three health indicators were studied: incidence, positivity rates, and testing rates.

An ecological study was conducted using IRIS (small-scale geographic units) as the spatial unit of analysis. COVID-19 tests and cases from the Sidep database were aggregated by IRIS, week, gender, and age group. Two exposure indicators were constructed, distinguishing between poultry and red meat slaughterhouses.

The weekly case and test counts were regressed on the slaughterhouse exposure indicators, adjusting for potential confounders: household size, municipal urbanization level, and four variables measuring socioeconomic deprivation. A random effect was associated with the department. An interaction between the temporal trend and the indicators of exposure to poultry and meat slaughterhouses was taken into account using a tensor product. COVID-19 vaccination coverage was used for sensitivity analyses.

For each indicator—incidence, positivity rate, and testing rate—the results were provided as rate ratios (RR) for an increase from the 1st to the 3rd quartile of each exposure indicator. The study area covered 3,682 IRIS (7,248,566 inhabitants): 1,894 (51.4%) were considered exposed to red meat slaughterhouses and 1,518 (41.2 %) to poultry slaughterhouses.

Positive associations suggest that exposure to red meat slaughterhouses contributed to an amplification of the epidemic during the summer of 2020, when viral circulation was low. This effect diminished in October 2020 as viral transmission increased. Over the first 9 weeks studied, the associations were strong across all indicators. The increase in the positivity rate with exposure ranged from 57.2 % (week 1, RR of 1.572 [1.424–1.735]) to 18.8 % (week 9, RR of 1.188 [1.136–1.242]). Weaker associations were observed during the third wave, in a context of high viral circulation. In week 41, RRs were 1.047 [1.036–1.058] for testing and 1.090 [1.061–1.120] for incidence.

For poultry slaughterhouses, the effect of exposure remained constant over time, with RRs close to 1: 1.016 [1.004–1.029] for incidence, 1.017 [1.005–1.028] for positivity, and 1.008 [1.004–1.013] for testing. The hypotheses explaining the differences in impact between the two sectors require further validation.

These results highlight the need to prepare for future respiratory emergencies by combining targeted actions aimed at slaughterhouse workers, particularly those in the butchery sector, with prevention measures extended to populations living near these sites, in order to limit community spread.

KEY WORDS: COVID-19, SLAUGHTERHOUSE, ECOLOGICAL ANALYSIS

Citation suggérée : Guillois Y, Gorla S, Prudhomme J, Heuzé G, Roux J, Stempfelet M. Effets des abattoirs sur la dynamique de la Covid-19 : une analyse écologique dans le nord-ouest de la France. Saint-Maurice : Santé publique France, 2025. 32 p. www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174 / ISBN-NET 978-2-37986-073-7 / RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / DÉPÔT LÉGAL : MARS 2026

Auteurs

Guillois Yvonnick	Santé publique France – Bretagne
Goria Sarah	Santé publique France
Prudhomme Julie	Santé publique France – Pays de la Loire
Heuzé Guillaume	Santé publique France – Alpes Côte d’Azur - Corse
Roux Jonathan	Santé publique France – Bretagne
Stempfelet Morgane	Santé publique France

Relecteurs

Bonaldi Christophe	Santé publique France
Fillol Clémence	Santé publique France

Remerciements

Pour leur contribution à la description des abattoirs et de la zone étudiée :

- Noriane Cognez et Dr Pierre Gary-Bobo, Santé publique France – Bretagne

Pour ses conseils méthodologiques :

- Alain Le Tertre, Santé publique France – Bretagne

Pour l’extension de l’étude à la région Pays de la Loire :

- Lisa King, Santé publique France – Pays de la Loire

Abréviations

FDep	Indice français de désavantage social
GAM	Modèle additif généralisé
IE	Indicateur d’exposition
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
IRIS	Îlot regroupé pour l’information statistique
RR	Ratio de taux (rate ratio)
Sidep	Système d’information de dépistage populationnel
SNDS	Système national des données de santé
VAC-SI	Vaccination Covid-19 – Système d’Information

Sommaire

Résumé.....	2
Abstract.....	3
Auteurs.....	4
Relecteurs.....	4
Remerciements.....	4
Abréviations.....	4
Sommaire.....	5
1. INTRODUCTION.....	6
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	7
2.1 Schéma, zone et période d'étude.....	7
2.2 Tests et cas de Covid-19.....	7
2.3 Indicateurs d'exposition.....	7
2.4 Co-variables.....	9
2.5 Analyses statistiques.....	9
2.6 Aspects éthiques et légaux.....	10
2.6.1 Encadrement réglementaire.....	10
2.6.2 Durée de conservation des données et sécurité des personnes.....	11
3. RÉSULTATS.....	12
3.1 Analyses descriptives.....	12
3.2 Modélisations.....	16
3.2.1 Analyse de sensibilité avec un seul indicateur d'exposition à la fois.....	17
3.2.2 Analyse de sensibilité avec prise en compte de la couverture vaccinale.....	18
4. DISCUSSION.....	19
5. CONCLUSION.....	21
Références bibliographiques.....	22
Annexes.....	26
Annexe 1 : Construction des indicateurs d'exposition aux abattoirs.....	26
Principe.....	26
Mise en œuvre.....	26
Annexe 2 : Sources des variables.....	27
Annexe 3 : Distribution des IRIS les plus exposés selon le degré d'urbanisation.....	29
Annexe 4 : Cartes des co-variables.....	30
.....	30

1. INTRODUCTION

La pandémie de Covid-19 a débuté en Chine fin décembre 2019, avec les premiers confinements stricts mis en place dès janvier 2020 dans la province de Wuhan. En Europe, les premiers cas ont été détectés en janvier 2020 [1], mais c'est à partir de mars 2020 — face à l'accélération de la circulation virale — que la plupart des pays ont instauré des confinements stricts (ex. : Italie fin février, France et Espagne mi-mars), suivis par le déploiement progressif de stratégies de *contact-tracing* destinées à endiguer la propagation du SARS-CoV-2 [2]. Malgré ces mesures, des clusters sont apparus dans des secteurs d'activité essentiels, comme l'agro-alimentaire, où la continuité des opérations était indispensable pour garantir l'approvisionnement des populations [3]. Les abattoirs et ateliers de découpe de viande ont été particulièrement touchés par des foyers survenus après les premiers confinements de 2020 [4-16]. Ces clusters ne se limitaient pas aux travailleurs, mais pouvaient également affecter l'entourage des travailleurs. Si les investigations épidémiologiques ont identifié des facteurs de risque environnementaux ou sociodémographiques spécifiques à ces lieux de travail [17], peu d'études ont analysé leur impact sur la dynamique locale de la Covid-19 [18-20].

En France, le secteur de la viande représente environ 3 300 sociétés employant 100 000 personnes. L'activité d'abattage y est relativement concentrée : Soixante-dix des 263 abattoirs représentent 75 % des volumes abattus [17]. Entre le 1^{er} mai 2020 et le 30 juin 2021, les agences régionales de santé ont recensé 31 clusters de plus de 25 cas dans des abattoirs ou ateliers de découpe de viande (toutes filières confondues : bovins, porcins, ovins, volailles...). Ces foyers, totalisant 1 566 cas, sont principalement survenus (20 sur 31) en Bretagne et Pays de la Loire, qui sont les deux premières régions françaises pour l'abattage [21]. Des transmissions communautaires du virus étaient suspectées tout particulièrement à partir des abattoirs d'animaux de boucherie qui employaient de nombreux travailleurs [17]. L'objectif de cette étude est d'évaluer, dans l'Ouest de la France, l'effet de la présence d'abattoirs sur la dynamique de la Covid-19 avant l'émergence du variant Omicron.

Dans la suite du texte, le terme « abattoir » désignera tout établissement agréé pour l'abattage, avec ou sans activité de transformation des viandes. Pour simplifier, nous utiliserons le terme « abattoirs de volailles » pour désigner les établissements abattant des volailles (poulets, dindes, canards, etc.) ou des lagomorphes (lapins, lièvres), ces derniers représentant une part marginale de l'activité. Les « abattoirs de boucherie » concerneront quant à eux les bovins, porcins, ovins et caprins.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Schéma, zone et période d'étude

Cette étude écologique analyse l'effet des abattoirs sur l'incidence et les taux de positivité et de dépistage de la Covid-19 dans les régions Bretagne et Pays de la Loire. L'unité géographique d'analyse est l'îlot regroupé pour l'information statistique (IRIS, Insee 2020). Il s'agit de la plus petite échelle disponible pour le recueil des variables épidémiologiques. Dans les communes de moins de 5 000 habitants, 1 IRIS correspond généralement à l'ensemble de la commune tandis que les communes plus peuplées sont divisées en plusieurs IRIS [22].

La zone d'étude (Bretagne et Pays de la Loire) couvre 2 446 communes, soit 3 682 IRIS, représentant une population totale de 7 248 566 habitants en 2021.

La période d'étude comprend 74 semaines (du mercredi au mardi) et s'étend du 8 juillet 2020 au 7 décembre 2021. À partir du 8 juillet 2020, le recueil des tests biologiques était considéré suffisamment exhaustif pour une analyse rigoureuse. La période s'achève avant que le variant Omicron ne devienne majoritaire et ne modifie profondément les dynamiques épidémiques et les indicateurs surveillés. La période d'étude débute après la première vague épidémique et le premier confinement qui a duré du 17 mars au 10 mai 2020. Elle comprend deux autres confinements avec des restrictions moins nombreuses : du 30 octobre au 15 décembre 2020 (2^e confinement) puis du 3 avril au 3 mai 2021 (3^e confinement).

2.2 Tests et cas de Covid-19

En France, la plateforme numérique Sidep (Système d'information de dépistage populationnel) a été déployée à la fin du 1^{er} confinement pour agréger les résultats de tous les tests biologiques (RT-PCR et antigéniques) et produire en routine les trois indicateurs de la dynamique épidémique : incidence, taux de positivité et taux de dépistage.

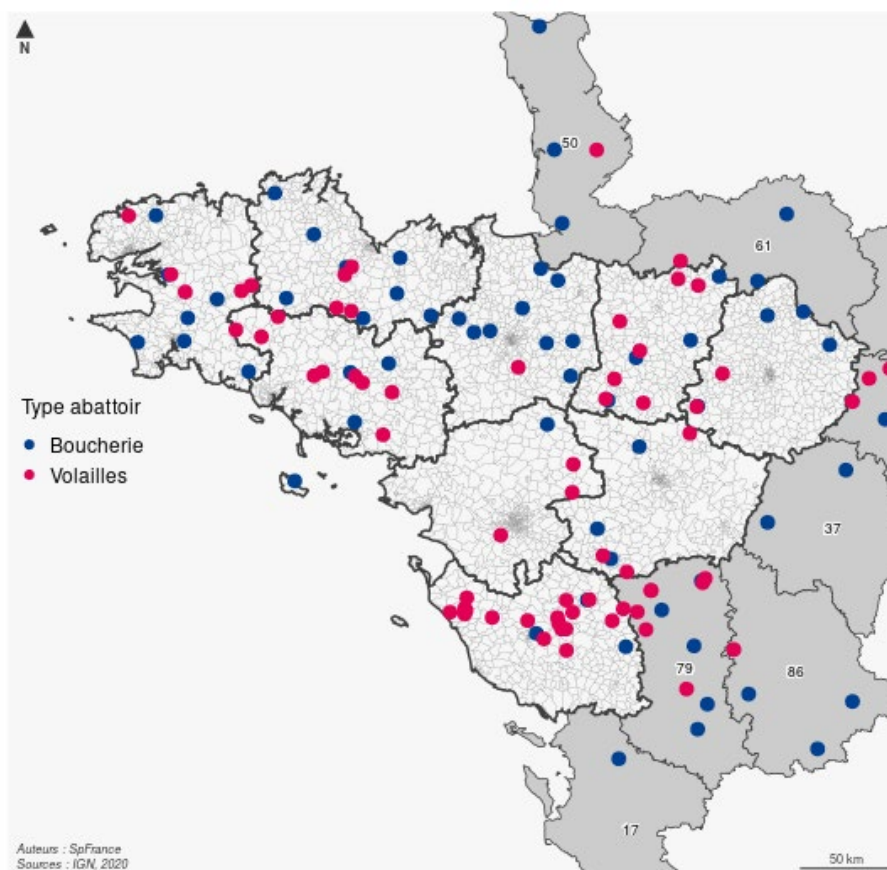
Dans le cadre de travaux antérieurs évaluant les effets de la défaveur sociale sur la Covid-19 [23], un IRIS de résidence a été attribué à chaque test enregistré dans Sidep, par géocodage des adresses et imputations des IRIS manquants (représentant 21,5 % des tests réalisés en France hexagonale entre le 14 mai 2020 et le 5 mai 2021). Pour notre étude, nous avons utilisé ces données agrégées par IRIS de résidence, semaine, sexe et tranche d'âge (0-14, 15-29, 30-44, 45-59, 60-74, ≥75 ans).

Des nombres attendus de tests et cas ont été calculés par standardisation indirecte sur l'âge et le sexe en utilisant comme référence les taux de la zone d'étude (Bretagne et Pays de la Loire) basés sur la population au 1^{er} janvier 2021 fournie par l'Insee.

2.3 Indicateurs d'exposition

Deux indicateurs distincts ont été construits pour évaluer séparément les expositions aux abattoirs de volailles et aux abattoirs d'animaux de boucherie. Au total, 129 établissements localisés dans la zone d'étude et les départements limitrophes ont été pris en compte : 61 (47,3 %) étaient des abattoirs de boucherie.

Figure 1 : Localisation et typologie des abattoirs dans la zone d'étude et les départements limitrophes



L'exposition a été estimée à partir d'un ratio entre le nombre de travailleurs des abattoirs résidant dans chaque IRIS et la population totale de l'IRIS.

En l'absence de données directes sur les effectifs de travailleurs domiciliés dans les IRIS ou travaillant dans les abattoirs (aucune source fiable identifiée), nous avons utilisé une approche indirecte en considérant que le nombre de travailleurs dans chaque abattoir était proportionnel au tonnage abattu en 2020 (données issues du ministère de l'Agriculture). Les tonnages ont été distribués spatialement au niveau des IRIS puis sommés pour prendre en compte la contribution de chaque abattoir. La distribution dans les IRIS s'est appuyée sur des navettes domicile-travail fournies par l'Insee à l'échelle communale. Ces navettes correspondaient aux déplacements réguliers entre le lieu de résidence et le lieu de travail pour des salariés travaillant à la transformation et conservation de la viande et préparation de produits à base de viande (code NAF101, nomenclature d'activités française). La méthode utilisée pour construire les indicateurs d'exposition est détaillée en annexe 1.

L'évaluation des expositions supposait une proportionnalité entre les effectifs de travailleurs et le tonnage abattu. Les différences de mécanisation selon le type d'abattoir (boucherie ou volailles) et le niveau de valorisation des viandes (abattage, découpe, transformation) ont été considérées pour l'analyse des résultats car elles pouvaient influencer le nombre de travailleurs par kilogramme abattu.

2.4 Co-variables

Une analyse de la littérature a été réalisée pour identifier des variables contextuelles d'ajustement. Au total, 13 publications ont été identifiées classées en quatre catégories : études réalisées au niveau individuel (n = 4) [24-27], études écologiques (n = 6) [23, 28-32], revues de la littérature (n = 1) [33] et études issues de la littérature grise (n = 2) [34, 35].

Plusieurs co-variables disponibles à l'échelle des IRIS ont été sélectionnées : ces variables sont proches de celles utilisées pour étudier, en France, les effets de la défaveur sociale sur les dynamiques de la Covid-19 [23]. Les sources utilisées pour le recueil et la construction des variables sont présentées en annexe 2.

Pour ajuster sur la défaveur sociale, les 4 variables utilisées pour la construction de l'indice français FDep ont été recueillies : le revenu médian par unité de consommation, le pourcentage de diplômés de niveau bac dans la population de 15 ans ou plus, le pourcentage d'ouvriers dans la population active et le taux de chômage [36].

La taille des ménages, facteur de risque de contamination partiellement déterminé par les variables de défaveur sociale, a été ajoutée [27].

Le degré d'urbanisation fourni par l'Insee (grille communale de densité de 1^{er} niveau) a permis de distinguer les IRIS appartenant à des communes rurales, de densité intermédiaire et densément peuplées [37]. Cette variable rend compte des contacts interhumains plus nombreux dans les zones densément peuplées ainsi que d'un meilleur accès aux tests de dépistage.

Par ailleurs, les agences régionales de santé se sont appuyées sur leurs délégations départementales pour la gestion de la pandémie. Pour prendre en compte cette organisation au niveau des départements, une variable « département » a été considérée dans l'étude des associations entre les expositions aux abattoirs et les 3 indicateurs de la dynamique épidémique.

En complément, les données de vaccination contre la Covid-19, initialement collectées via le système VAC-SI (Vaccination Covid-19 – Système d'Information) puis intégrées au Système national des données de santé (SNDS), ont permis de calculer un indicateur communal de couverture vaccinale (une dose). Cet indicateur a été utilisé dans une analyse de sensibilité pour contrôler un facteur de confusion potentiel : les campagnes de vaccination ciblées organisées par certains abattoirs pour leurs travailleurs — en plus des mesures vaccinales en population générale — pouvaient moduler la dynamique épidémique locale et ainsi biaiser l'estimation de l'impact des abattoirs sur la transmission du SARS-CoV-2.

2.5 Analyses statistiques

Un modèle GAM avec une distribution poissonnienne prenant en compte la surdispersion des données a été implémenté pour chaque indicateur de la dynamique épidémique (incidence, taux de positivité et dépistage) [38]. Le nombre de cas ou de tests à la semaine et à l'IRIS, selon l'indicateur étudié, a été régressé sur les indicateurs d'exposition aux abattoirs en contrôlant les facteurs d'ajustement suivants : la taille des ménages, le degré d'urbanisation et les 4 variables mesurant la défaveur sociale. La taille des ménages et les 4 variables mesurant la défaveur sociale ont été modélisées à l'aide d'une fonction spline pénalisée. Une interaction entre la tendance temporelle et les indicateurs d'exposition aux abattoirs de volailles (IE_{Vol}) et boucherie (IE_{Bouch}) a été prise en compte à l'aide d'un produit tensoriel ce qui permet d'étudier un effet des abattoirs non constant dans le temps. Un effet aléatoire était associé au département de résidence.

Pour l'analyse de l'incidence et du dépistage, les modèles incluent le nombre de tests attendus par semaine et IRIS comme *offset*. Pour l'analyse de la positivité, le modèle inclut le nombre de cas attendus comme *offset* (tableau 1).

Tableau 1 : variable réponse et variable d'offset

Indicateur de la dynamique	Réponse ($O_{i,j}$)	Offset ($E_{i,j}$)
incidence	cas observés	tests attendus
positivité	cas observés	cas attendus
dépistage	tests observés	tests attendus

L'éventuelle autocorrélation spatiale a été étudiée par une fonction spline bivariable $f(x_i, y_i)$ où x_i et y_i représentaient les coordonnées des centroïdes des IRIS i :

$$\log(E[O_{i,j}]) = \alpha + u_i + f(x_i, y_i) + \beta_1 \times URB_i + \sum_{p=1}^5 f_p(X_{pi}) + f(\log(IE_{Bouchi}), s_j) + f(\log(IE_{Voli}), s_j) + \log(E_{i,j})$$

avec

- ✓ u_i : effet aléatoire associé au département,
- ✓ URB_i : degré d'urbanisation,
- ✓ X_{pi} : variables de défaveur sociale et taille des ménages,

L'impact d'une augmentation de l'exposition du 1^{er} au 3^e quartile (P25-P75) a été quantifié par des ratios de taux standardisés (RR) pour l'incidence et les taux de dépistage et positivité [23].

Une analyse de sensibilité a été faite en étudiant un seul indicateur d'exposition aux abattoirs à la fois.

Enfin, pour évaluer l'influence de la vaccination sur les estimations, nous avons ajusté les modèles en incluant la couverture vaccinale Covid-19 (1 dose).

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R (version 4.4.3) et le package *mgcv* [38].

2.6 Aspects éthiques et légaux

2.6.1 Encadrement réglementaire

L'étude a réutilisé des agrégations de données à l'échelle de l'IRIS issues de la base constituée par Santé publique France à partir des transmissions de données du Système d'information de dépistage populationnel (Sidep). La base Sidep a été constituée en application de l'article 10. III du décret n° 2020-551 et sa conservation s'inscrit dans l'accès permanent de Santé publique France aux données de la base principale du SNDS telle que complétée conformément aux dispositions de l'arrêté du 12 mai 2022 relatif aux données alimentant la base principale et aux bases de données du catalogue du système national des données de santé.

Les données Sidep agrégées par IRIS de résidence, semaine, sexe et tranche d'âge (0-14, 15-29, 30-44, 45-59, 60-74, >75 ans) sont pour partie indirectement identifiantes dans les communes rurales peu peuplées.

L'étude a mis en œuvre un traitement fondé sur l'exécution d'une mission d'intérêt public (article 6.1.e du RGPD). Les données Sidep collectées étaient pertinentes et strictement nécessaires à la réalisation des finalités. Agrégées par IRIS, semaine, sexe et tranche d'âges, elles répondaient au principe de minimisation des données.

2.6.2 Durée de conservation des données et sécurité des personnes

Les extractions agrégées Sidep sont conservées pendant toute la durée du traitement et pour une durée de douze mois après valorisation sous forme d'un rapport prévu en décembre 2025. Après la valorisation, l'accès sera restreint au responsable du projet, qui répondra aux sollicitations / questions liées à la valorisation.

3. RÉSULTATS

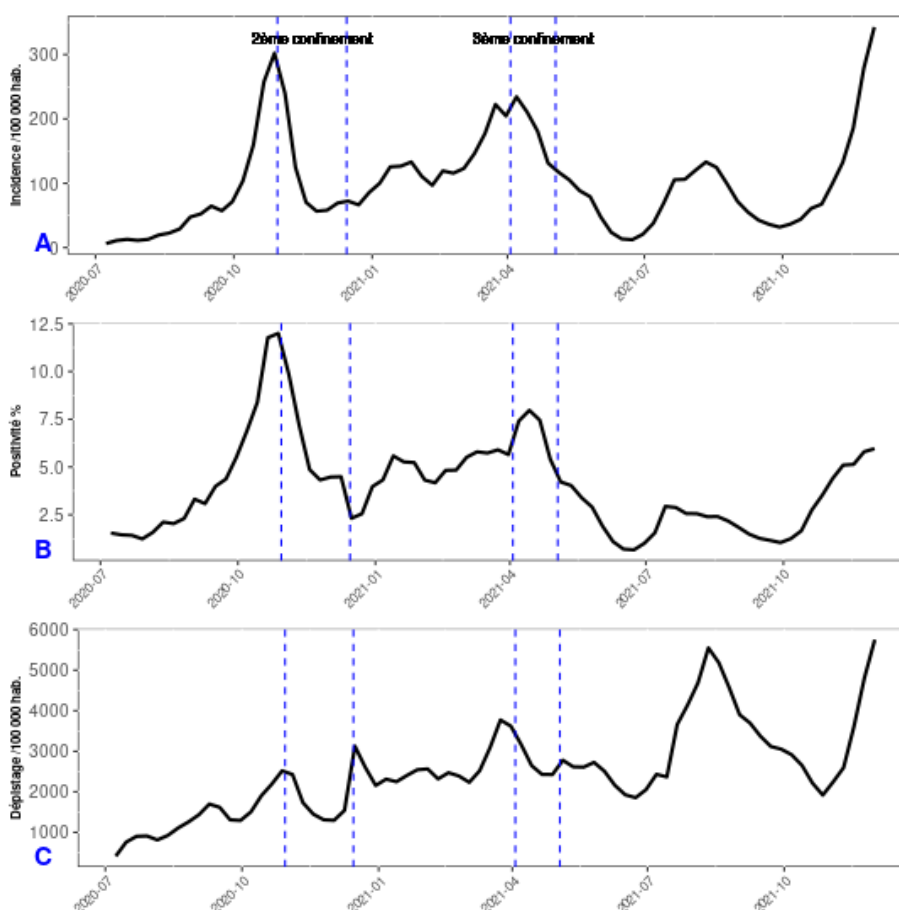
3.1 Analyses descriptives

Six IRIS de la zone d'étude étaient non peuplés. La population médiane par IRIS était de 1 844 habitants et l'IRIS le plus peuplé comprenait 10 187 habitants.

Sur la période d'étude, le nombre de tests enregistrés dans Sidep était de 13 511 648 pour les deux régions Bretagne et Pays de la Loire : 13 409 767 (99,2 %) étaient documentés en termes d'âge et de sexe. Les moins de 45 ans représentaient 8 284 993 (61,8 %) tests et 326 746 (60,7 %) cas. Les femmes représentaient 7 167 787 tests (53,5 %) et 282 509 (52,5 %) cas.

La période comprend 2 pics épidémiques en octobre 2020 (incidence : 302/100 000) et avril 2021 (incidence : 234/100 000) précédant les confinements déployés à l'échelle nationale (figure 2). En fin de période, l'émergence du variant Omicron entraîne une forte augmentation de l'incidence, après une inflexion correspondant à la semaine du 9 septembre au 5 octobre 2021 (Incidence : 32 / 100 000).

Figure 2 : dynamique épidémique dans la zone étudiée. Incidence (A), taux de positivité (B) et dépistage (C) par semaine



Sur un total de 3 682 IRIS, 1 894 (51,4 %) IRIS étaient exposés ($IE > 0$) aux abattoirs de boucherie et 1 518 (41,2 %) aux abattoirs de volailles. Parmi les IRIS exposés, 1 162 (31,6 %) l'étaient à la fois aux abattoirs de boucherie et aux abattoirs de volailles. L'indicateur d'exposition aux abattoirs de boucherie (IE_{Bouch}) était compris entre 0 et 17,73 avec des expositions plus fréquentes et intenses

en moitié nord de la zone étudiée (figure 3). L'IRIS le plus exposé était dans le nord de la Sarthe (arrondissement de Mamers). Pour les volailles, l'indicateur IE_{vol} s'étendait de 0 à 10,66, avec une valeur maximale observée dans les Côtes d'Armor (arrondissement de Saint-Brieuc). Les 2 distributions étaient asymétriques à droite (tableau 2). La corrélation entre les indicateurs d'exposition aux abattoirs de boucherie et de volailles, évaluée par le coefficient r (Spearman), était de 0,32.

Figure 3 : distribution géographique des expositions aux abattoirs à l'échelle des IRIS — Bretagne et Pays de la Loire, 2020

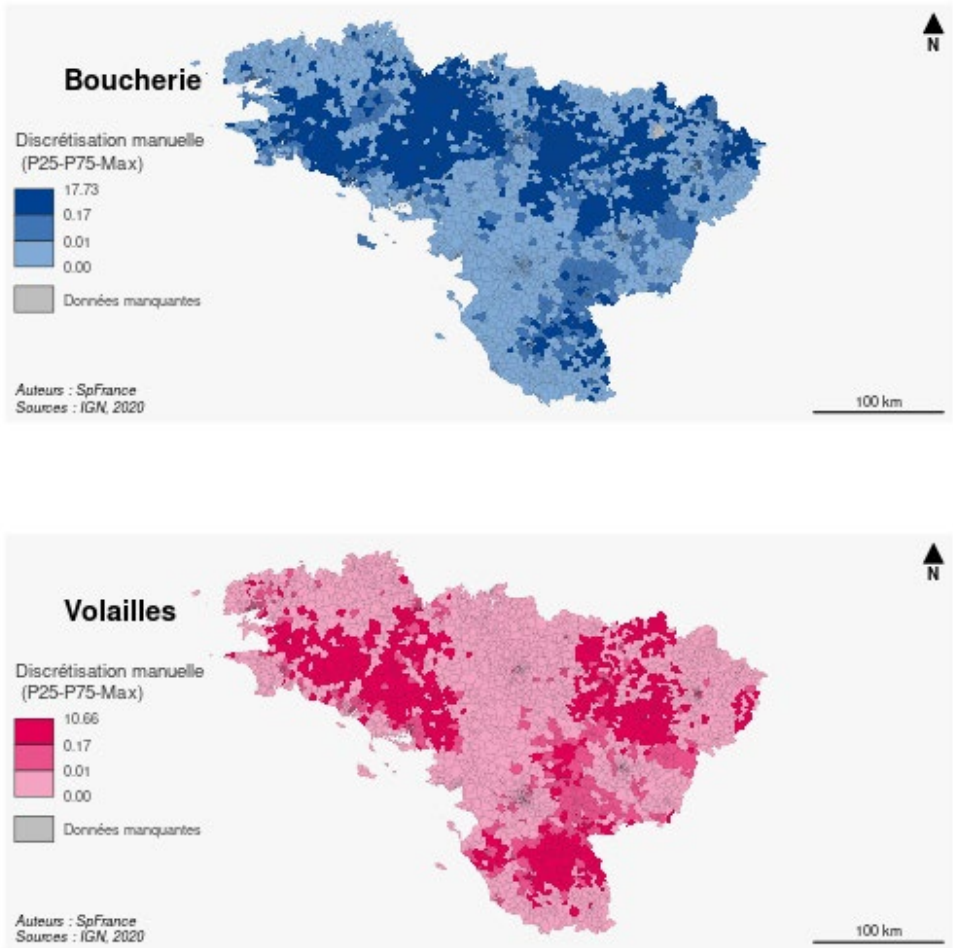


Tableau 2 : distribution des indicateurs d'exposition (IE) aux abattoirs étudiés — Bretagne et Pays de la Loire, 2020

	Min	P25	P50	Moyenne	P75	Max	NA
IE_{Bouch}	0	0	0.001	0.37	0.17	17.73	33
IE_{Vol}	0	0	0	0.20	0.05	10.66	25

IE_{Bouch} : indicateur d'exposition aux abattoirs de boucherie

IE_{Vol} : indicateur d'exposition aux abattoirs de volailles

NA : données manquantes

La zone d'étude comptait 2 323 IRIS classés comme ruraux, qui représentaient 63,1 % du total des IRIS et concentraient 51,2 % de la population (tableau 3). Les IRIS de densité intermédiaire et densément peuplés représentaient respectivement 19,5 et 17,4 % des IRIS. Les expositions les plus intenses concernaient majoritairement les territoires ruraux (figure 4) : 75,8 % des IRIS du dernier

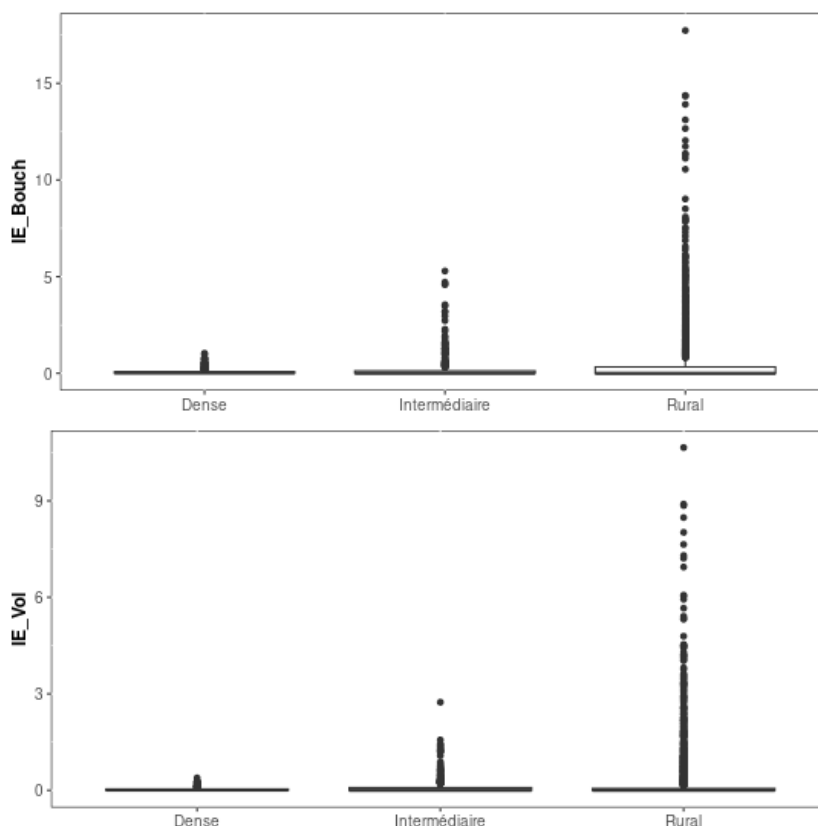
quartile d'exposition aux abattoirs de boucherie étaient ruraux. Cette proportion était de 64,3 % pour les abattoirs de volailles (annexe 3).

Tableau 3 : nombre d'IRIS et population par degré d'urbanisation* — Bretagne et Pays de la Loire, 2020

	Nombre d'IRIS	% IRIS	Population 2021	% Population
Densément peuplés	640	17,4	1 546 119	21,3
Densité intermédiaire	719	19,5	1 992 031	27,5
Ruraux	2 323	63,1	3 710 416	51,2
Total	3 682	100,0	7 248 566	100,0

* : grille communale de densité 2020 de 1^{er} niveau

Figure 4 : distribution des expositions aux abattoirs de boucherie (IE_Bouch) et volailles (IE_Vol) selon le degré d'urbanisation* — Bretagne et Pays de la Loire, 2020



* : grille communale de densité 2020 de 1^{er} niveau

IE_{Bouch} : indicateur d'exposition aux abattoirs de boucherie

IE_{Vol} : indicateur d'exposition aux abattoirs de volailles

Le revenu médian annuel — déclaré par unité de consommation — était compris entre 5 310 et 39 090 euros avec une médiane de 21 100 euros (tableau 4).

La taille des ménages était comprise entre 1 et 4,3 personnes par ménage (médiane : 2,3). La part de diplômés de niveau bac variait entre 0 et 1 (médiane : 0,44). Les taux de chômeurs et parts d'ouvriers se situaient respectivement dans les intervalles [0 – 0,51] (médiane : 0,10) et [0 – 0,85] (médiane : 0,27). Les variables de défaveur sociale étaient les plus corrélées : la part de diplômés de niveau bac était associée positivement au revenu médian et négativement à la part d'ouvriers avec des coefficients r de 0,7 (Spearman). Pour les autres variables, les corrélations étaient plus faibles avec des valeurs de r inférieures ou égales à 0,5. La part de bacheliers et le revenu médian étaient plus élevés autour des agglomérations urbaines et en zone littorale (cartes en annexe 4).

Tableau 4 : distribution des co-variables étudiées — Bretagne et Pays de la Loire

	Min	P25	P50	Moyenne	P75	Max	NA
T_CHOM	0	0.07	0.10	0.11	0.14	0.51	39
T_OUV	0	0.20	0.27	0.27	0.34	0.85	39
T_BAC	0	0.37	0.44	0.45	0.51	1	7
DEC_MED20	5 310	19 735	21 100	21 372	22 945	39 090	147
TAILLE_MEN	1	2	2.3	2.2	2.4	4.3	10

T_CHOM : taux de chômage dans la population active de 15 à 64 ans, données 2018

T_OUV : part d'ouvriers dans la population active de 15 à 64 ans, données 2018

T_BAC : part de diplômés de niveau bac dans la population de 15 ans ou plus non scolarisée, 2018

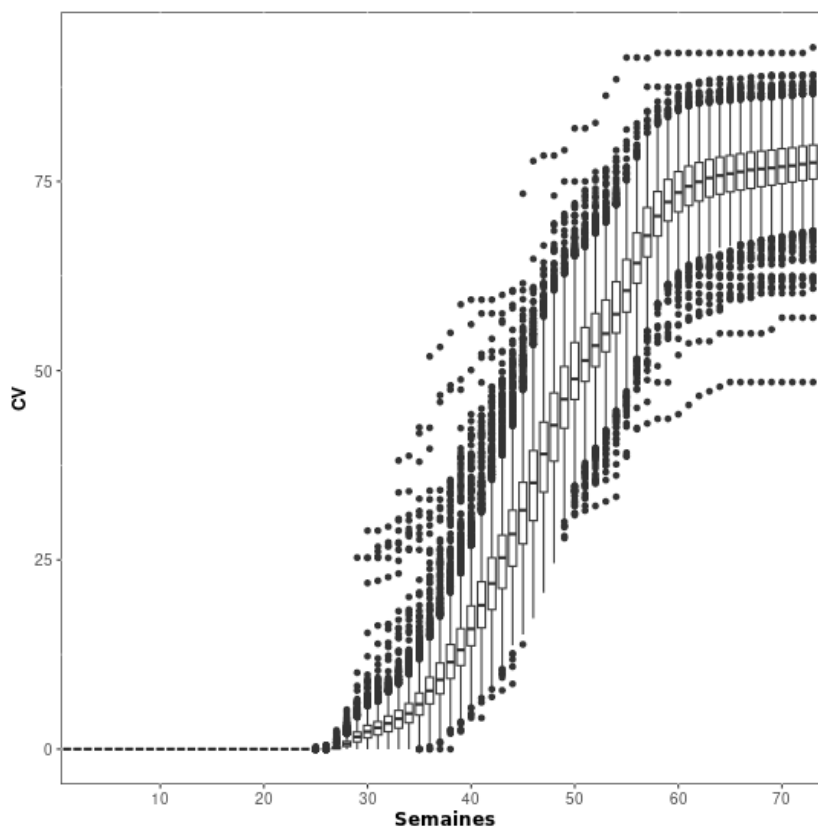
DEC_MED20 : revenu médian déclaré par unité de consommation, 2020

TAILLE_MEN : taille moyenne des ménages 2018

NA : données manquantes

La vaccination a été introduite en milieu de période (figure 5) et la couverture vaccinale (1 dose) médiane est devenue supérieure à 75 % à partir de la semaine 63 (15-21 septembre 2021).

Figure 5 : distribution hebdomadaire de la couverture vaccinale contre la Covid-19, 1 dose (CV)* — Bretagne et Pays de la Loire, semaines d'étude 1 à 74



* : couverture vaccinale communale projetée sur les IRIS

3.2 Modélisations

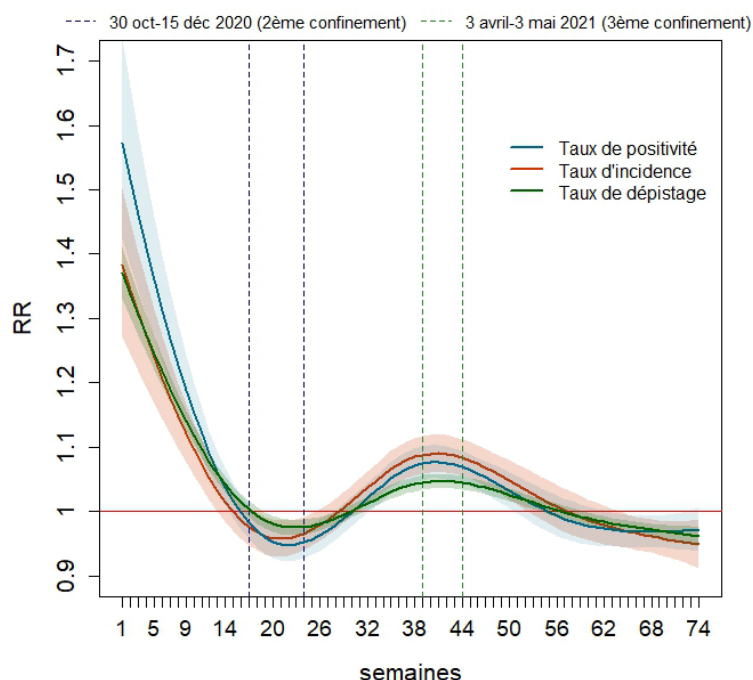
Les analyses ont porté sur 3 535 (96 %) IRIS de la zone représentant 99,1 % de la population : 147 IRIS, pour lesquels le revenu médian n'était pas disponible, ont été exclus des analyses. Les IRIS sélectionnés représentaient 13 286 747 tests pour un total de 532 981 cas dont 16 109 (3 %) identifiés au cours des 10 premières semaines de la période d'étude.

Les indicateurs d'exposition aux abattoirs ont fait l'objet d'une transformation logarithmique pour réduire l'asymétrie et l'influence des valeurs extrêmes sur la modélisation.

L'interaction entre la tendance temporelle et l'indicateur d'exposition aux abattoirs de volaille a été testée avant d'être écartée. L'effet de l'exposition aux abattoirs de volaille a été estimé constant dans le temps avec des RR proches de 1 : 1,016 [1,004-1,029] pour l'incidence, 1,017 [1,005-1,028] pour le taux de positivité, et 1,008 [1,004-1,013] pour le taux de dépistage. Par contre, l'effet de l'exposition aux abattoirs de boucherie a été estimé variant dans le temps (figure 6).

Les tendances observées pour les 3 RR — incidence, taux de positivité et dépistage — associés à une augmentation de l'exposition aux abattoirs de boucherie du P25 au P75 présentent des évolutions similaires sur la période étudiée, avec cependant une moindre variabilité du RR pour le dépistage par comparaison aux deux autres indicateurs.

Figure 6 : RR hebdomadaires pour l'exposition aux abattoirs de boucherie (P25→P75) — Modèle ajusté sur la taille des ménages, le degré d'urbanisation, la défaveur sociale, et l'exposition aux abattoirs de volailles



Quatre périodes distinctes émergent, durant lesquelles les RR diffèrent de 1 pour les 3 indicateurs épidémiologiques.

La première période couvre les 13 premières semaines. Les 3 taux — incidence, positivité et dépistage — sont augmentés ($RR > 1$) en lien avec une augmentation du premier quartile au 3^e quartile d'exposition aux abattoirs de boucherie (figure 6). Cette association positive, particulièrement élevée sur les 9 premières semaines, diminue progressivement pour s'estomper avant le 2^e confinement. Ainsi, pour la première semaine étudiée, l'augmentation des expositions aux abattoirs de boucherie est associée à une augmentation du taux de positivité des prélèvements

de 57,2 % (RR de 1,572 [1,424-1,735]) (figure 6). Les augmentations pour l'incidence et le dépistage sont quant à elles supérieures à 30 % avec des RR respectifs de 1,382 [1,272-1,502] et 1,370 [1,330-1,411]. En semaine 9 (du 2 au 9 septembre 2020), les augmentations pour les 3 indicateurs sont encore supérieures à 10 % avec des RR de 1,188 [1,136-1,242] pour la positivité ; 1,140 [1,124-1,157] pour le dépistage et 1,120 [1,076-1,166] pour l'incidence.

Une seconde période de 8 semaines (semaines 18 à 25), avec des RR faiblement inférieurs à 1, apparaît lors du second confinement. Les estimations des RR sur cette période suggèrent une préservation des IRIS les plus exposés aux abattoirs de boucherie (figure 6). Le RR le plus faible est observé pour le taux de positivité en semaine 22 (du 2 au 8 décembre 2020) : 0,948 [0,922-0,974].

Par la suite, les RR sont supérieurs à 1 sur les semaines 33 à 50. Cette période de 18 semaines comprend la 3^e vague épidémique. Les points d'inflexion observés en semaine 41 (du 14 au 20 avril 2021) correspondent à des RR compris entre 1,047 [1,036-1,058] pour le dépistage et 1,090 [1,061-1,120] pour l'incidence.

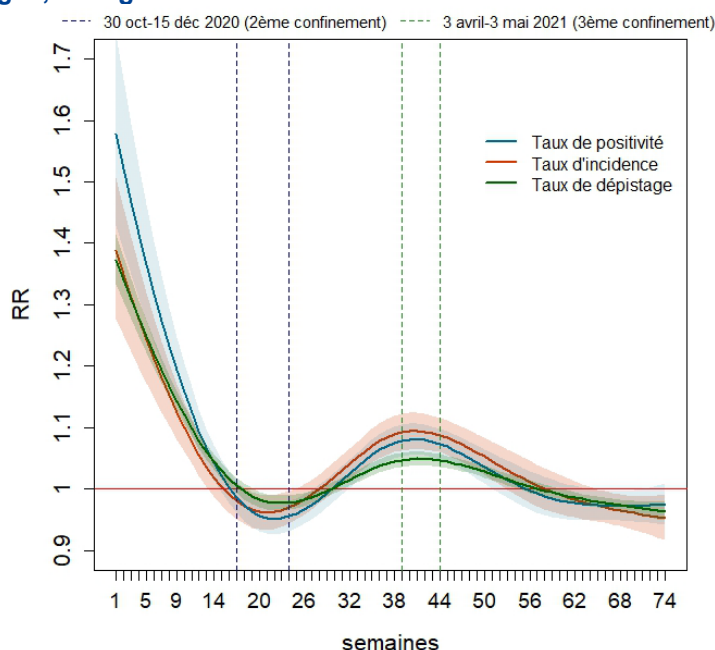
Sur les 11 dernières semaines étudiées, les 3 RR sont faiblement inférieurs à 1. Le RR le plus faible est fourni pour l'incidence en semaine 73 (du 24 au 30 novembre 2021) : 0,951 [0,917-0,986].

3.2.1 Analyse de sensibilité avec un seul indicateur d'exposition à la fois

Les RR liés aux abattoirs de volaille obtenus sans ajustement sur l'indicateur d'exposition aux abattoirs de boucherie sont 1.018 (1.006, 1.031), 1.018 (1.007, 1.030), 1.010 (1.006, 1.015) pour, respectivement, le taux d'incidence, le taux de positivité et le taux de dépistage. Les RR liés aux abattoirs de volaille ne sont pas modifiés par l'inclusion dans le modèle de l'indicateur d'exposition aux abattoirs de boucherie

Les RR liés aux abattoirs de boucherie obtenus sans ajustement sur l'indicateur d'exposition aux abattoirs de volaille sont présentés dans la figure 7 : les associations sont positives sur les 13 premières semaines et sur une période élargie pour la 3^e vague épidémique à 20 semaines (semaines 32 à 51) contre 18 avec les modèles précédents. Les RR pour l'incidence en semaines 9 et 41 ne sont pas modifiés (1,125 [1,081-1,171] contre 1,120 [1,076-1,166] et 1,094 [1,065-1,124] contre 1,090 [1,061 – 1,120]). Les RR liés aux abattoirs de boucherie sont donc peu modifiés par l'inclusion dans le modèle de l'indicateur d'exposition aux abattoirs de volaille.

Figure 7 : RR hebdomadaires pour l'exposition aux abattoirs de boucherie (P25→P75) - Modèle ajusté sur la taille des ménages, le degré d'urbanisation et la défaveur sociale.

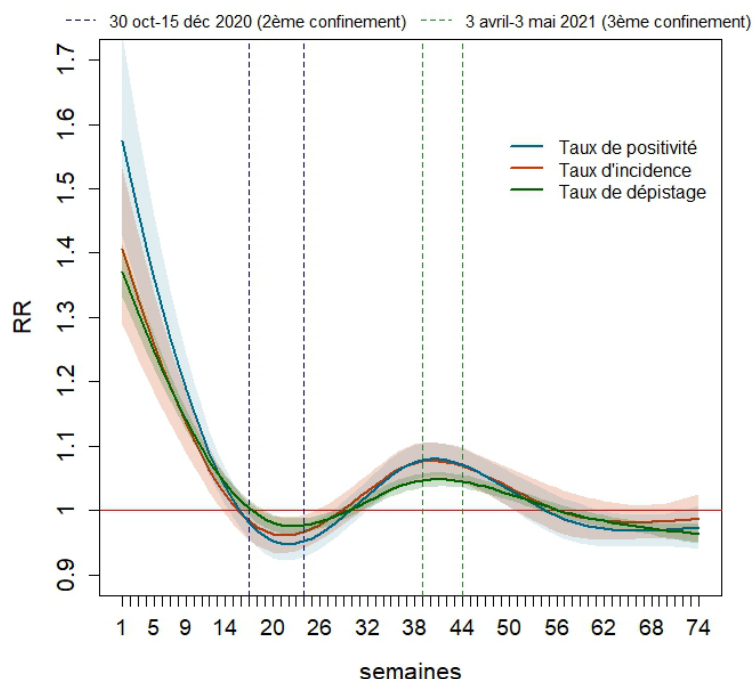


3.2.2 Analyse de sensibilité avec prise en compte de la couverture vaccinale

Les associations, constantes dans le temps, avec les expositions aux abattoirs de volailles ne sont pas modifiées par la prise en compte de la couverture vaccinale.

L'ajustement sur la couverture vaccinale Covid-19 a également peu d'impact sur les tendances (figure 8) et les mesures d'association pour les abattoirs de boucherie. Les associations sont positives sur les 13 premières semaines et sur une période élargie pour la 3^e vague épidémique à 19 semaines (semaines 32 à 50) contre 18 avec les modèles initiaux. Les RR pour l'incidence en semaines 9 et 41 ne sont pas modifiés (1,135 [1,089-1,182] contre 1,120 [1,076-1,166] et 1,077 [1,048-1,106] contre 1,090 [1,061 – 1,120]).

Figure 8 : RR hebdomadaires pour une augmentation des expositions aux abattoirs de boucherie du 1^{er} au 3^e quartile (P25 à P75). Estimations ajustées sur la couverture vaccinale Covid-19 (1 dose)



4. DISCUSSION

Les régions Bretagne et Pays de la Loire constituent des bassins d'élevage et d'abattage importants en France, couvrant à la fois les filières avicoles et les filières de boucherie bovine et porcine.

Dans la zone étudiée, les analyses mettent en évidence 2 périodes durant lesquelles l'exposition aux abattoirs de boucherie (passage du 1^{er} au 3^e quartile) est associée positivement ($RR > 1$) avec les indicateurs de la dynamique épidémique (incidence, taux de positivité ou de dépistage). En revanche, aucune interaction n'est mise en évidence entre les expositions aux abattoirs de volailles et la tendance temporelle : les associations positives sont très proches de 1 et constantes sur la période étudiée. Les expositions plus contrastées pour les abattoirs de boucherie ont pu faciliter la mise en évidence des associations avec les indicateurs de la dynamique épidémique. Des organisations du travail différentes [17] pourraient également rendre les abattoirs de boucherie plus propices à impacter la dynamique épidémique de la Covid-19. Ceux-ci pourraient ainsi se distinguer par une moindre mécanisation des activités et une présence plus importante de travailleurs éloignés des messages de prévention (travailleurs sous-traitants, migrants) [12, 17].

L'analyse des tendances temporelles constitue un apport clé de l'étude mettant en évidence, pour les expositions aux abattoirs de boucherie, des associations de nature différente (positive ou négative) en fonction du contexte épidémique.

Les associations positives sur les 13 premières semaines suggèrent que l'exposition aux abattoirs de boucherie a contribué à une amplification de l'épidémie pendant l'été 2020. La période d'étude commence par une hausse des taux d'incidence, positivité et dépistage, partant de niveaux initialement très faibles pour culminer lors du pic épidémique précédant le second confinement (semaine 17). La hausse est d'abord lente avant une augmentation exponentielle des cas à partir du mois d'octobre (semaine 13). Du 8 juillet au 8 septembre (9 premières semaines), les expositions aux abattoirs de boucherie sont associées à une détérioration importante de la dynamique épidémique, comme en témoignent des RR pour les trois indicateurs supérieurs à 1,12 [1,08-1,17] (estimation pour l'incidence en semaine 9). Sur l'ensemble des 13 semaines, les associations positives diminuent progressivement puis s'estompent à partir du mois d'octobre avec l'accélération de la circulation virale.

Entre le 17 février et le 22 juin 2021 (semaines 33 à 50), des associations positives inférieures à 1,09 [1,06 – 1,12] (RR pour l'incidence en semaine 41) sont également observées. Les associations les plus fortes sont concomitantes du pic épidémique survenu pendant le 3^e confinement. Ces résultats suggèrent une amplification de la dynamique épidémique. En phase ascendante (avant le 3^e pic), les indicateurs pourraient croître plus rapidement dans les IRIS les plus exposés. En phase descendante (après le pic), le recul des indicateurs pourrait y être moins prononcé. Par comparaison aux 9 premières semaines, les associations positives sur les mois de février à juin 2021 sont plus faibles mais elles pourraient représenter un impact important en nombre de cas car la période est longue — 18 semaines — et la circulation virale importante avec un pic d'incidence à 234 /100 000 en semaine 41.

Les associations négatives (RR entre 0,95 et 1) pourraient suggérer, dans les territoires les plus exposés aux abattoirs, des immunités de groupe acquises après des phases de circulation virale intense. Lors de la 2^e vague, le pic épidémique (atteint en semaine 17) est suivi dès la semaine 18 par un effet protecteur progressif — possiblement lié à l'immunité post-infection —, qui culmine avec l'inflexion des RR en semaine 22 pour la positivité. Lors de la 3^e vague, le pic épidémique (atteint en semaine 41) est suivi dès la semaine 42 par une diminution des RR avant apparition d'associations faiblement négatives en semaine 64 dans un contexte de circulation virale réduite.

Nos résultats complètent trois publications antérieures ayant exploré les effets des abattoirs sur les dynamiques de la Covid-19 en Irlande [18] et aux États-Unis [19, 20]. Howe *et al.*, sans distinguer

les filières volailles et animaux de boucherie, rapportent une incidence moyenne de la Covid-19 plus élevée entre mars 2020 et mai 2021 dans les comtés irlandais comptant le plus grand nombre d'usines de transformation de la viande [18]. Aux États-Unis, où les mesures de gestion de la pandémie étaient variées (compétence des états) et l'industrie agro-alimentaire beaucoup plus concentrée qu'en Europe, la présence dans le comté d'un abattoir était associée au 21 juillet 2020 avec 4 à 6 cas supplémentaires de Covid-19 pour 1 000 habitants [19]. Avec des méthodologies différentes, les deux études américaines rapportaient un moindre impact sur l'incidence des expositions aux abattoirs de volailles par comparaison aux abattoirs de bovins ou de porcs [19, 20].

Notre étude se distingue par une évaluation plus précise des expositions. Contrairement aux travaux antérieurs se limitant au décompte des usines ou abattoirs par comté [18-20], nous avons évalué un ratio entre le nombre de travailleurs des abattoirs résidant dans chaque IRIS et la population locale. Les méthodes utilisées pour évaluer le ratio permettent de rendre compte des contributions de chaque abattoir à l'exposition des IRIS. De plus, nos indicateurs d'exposition pourraient être peu sensibles aux différences de valorisation des viandes au sein d'une même catégorie d'abattoirs. Les grands établissements — qui contribuent majoritairement aux expositions — fonctionnent sous des contraintes économiques et organisationnelles similaires (volumes, main-d'œuvre, flux de production...), ce qui atténue les biais liés à la diversité des activités.

Les modèles intègrent un ajustement mutuel pour les deux types d'exposition — abattoirs de boucherie et de volailles — ainsi que sur les principaux facteurs de confusion identifiés dans la littérature, afin de limiter les biais de confusion. Les modèles prennent également en compte l'évolution des capacités de dépistage sur la période étudiée. Enfin, l'analyse de sensibilité a montré qu'un ajustement supplémentaire sur la couverture vaccinale Covid-19 avait peu d'impact sur les tendances observées et la force des associations positives : la couverture vaccinale globale (incluant à la fois la population générale et les travailleurs des abattoirs) ne modifiait pas de manière notable l'effet des abattoirs sur la dynamique épidémique, ce qui pourrait s'expliquer par des niveaux de vaccination similaires (ou insuffisamment contrastés) entre les zones les plus exposées et les moins exposées.

Cette étude présente plusieurs limites. Le design écologique, fondé sur des données agrégées, ne permet pas d'isoler les contributions spécifiques des travailleurs des abattoirs ou de leur entourage dans les mesures d'association observées. Un biais de dépistage a également pu survenir pendant l'été 2020 : l'accès privilégié aux tests pour les travailleurs (via des campagnes ciblées) pourrait avoir surestimé les associations observées durant cette période. Ce biais s'est atténué par la suite avec la généralisation du dépistage en population générale. Par ailleurs, les définitions de cas dans Sidep (clairance virale fixée à 60 jours) excluent toute réinfection dans cet intervalle alors que des délais alternatifs (par exemple 90 jours [23]) auraient pu modifier les résultats de l'étude. La procédure d'imputation des IRIS manquants [23], et l'évaluation indirecte des expositions peuvent également avoir introduit des erreurs de classement. De plus, le degré d'urbanisation a été privilégié pour rendre compte des contacts interhumains plus nombreux dans les zones densément peuplées ainsi que d'un meilleur accès aux tests de dépistage. Cependant, cette approche pourrait introduire des biais car elle ne capture que partiellement les effets conjugués de la densité médicale (en termes d'accès aux tests) et de la densité des établissements scolaires (en termes de circulation virale). Enfin, 4 % des IRIS ont été exclus en raison du revenu médian manquant.

5. CONCLUSION

Certains milieux professionnels - en particulier ceux combinant promiscuité, difficultés d'application des mesures barrière et précarité de l'emploi - ont été des foyers critiques de transmission du SARS-CoV-2. Néanmoins, peu de travaux ont analysé leurs effets sur la dynamique locale de la Covid-19. L'Ouest de la France, à l'instar d'autres régions européennes d'élevage intensif comme la Basse-Saxe (Allemagne) ou le Brabant-Septentrional (Pays-Bas), a été marqué par des clusters répétés dans les abattoirs. Les régions Bretagne et Pays de la Loire offraient donc une zone d'étude privilégiée pour analyser l'influence des abattoirs sur la dynamique de la Covid-19 dans le contexte français.

Notre étude attribue aux abattoirs de boucherie une augmentation des indicateurs épidémiques — incidence, taux de positivité ou de dépistage — au début de la période étudiée (13 semaines) et lors de la 3^e vague épidémique (18 semaines). En revanche, les abattoirs de volailles ont peu contribué à l'augmentation des indicateurs et leur contribution ne variait pas selon le contexte épidémique. Les hypothèses permettant d'expliquer des différences d'impact entre les deux filières, notamment en termes d'organisation du travail, restent à valider.

Malgré le design écologique, nos résultats suggèrent que l'impact des abattoirs en Bretagne et Pays de la Loire dépassaient le cadre des contaminations strictement professionnelles pour influencer la dynamique territoriale de l'épidémie. Les abattoirs de boucherie ont ainsi amplifié l'épidémie de Covid-19 pendant l'été 2020 et la 3^e vague épidémique. Cette observation souligne la nécessité d'une préparation aux futures émergences respiratoires associant deux volets complémentaires : d'une part, des actions spécifiques envers les travailleurs, avec une attention renforcée pour ceux dont les conditions de vie et de travail (recours au covoiturage, logements partagés) augmentent les risques de contamination [12, 17]; d'autre part une prévention à destination des populations résidant dans les territoires abritant des abattoirs afin de limiter la diffusion communautaire.

Références bibliographiques

- [1] Danis K, Epaulard O, Bénét T, Gaymard A, Campoy S, Botelho-Nevers E, *et al.* Cluster of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in the French Alps, February 2020. *Clin Infect Dis.* 2020;71(15):825-32
- [2] Spaccaferri G, Calba C, Vilain P, Garras L, Durand C, Pilorget C, *et al.* COVID-19 hotspots through clusters analysis in France (may-October 2020): where should we track the virus to mitigate the spread? *BMC Public Health.* 2021;21(1):1834
- [3] Hosseini P, Mueller W, Rhodes S, Pembrey L, van Tongeren M, Pearce N, *et al.* Transmission and Control of SARS-CoV-2 in the Food Production Sector: A Rapid Narrative Review of the Literature. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(19)
- [4] Chen Y, Beattie H, Simpson A, Nicholls G, Sandys V, Keen C, *et al.* A COVID-19 Outbreak in a Large Meat-Processing Plant in England: Transmission Risk Factors and Controls. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(19)
- [5] Choi S, Son TJ, Lee YK. Risk factors for COVID-19 outbreaks in livestock slaughtering and processing facilities in Republic of Korea. *Osong Public Health Res Perspect.* 2023;14(3):207-18
- [6] de Rooij MMT, Sikkema RS, Bouwknecht M, de Geus Y, Stanoeva KR, Nieuwenweg S, *et al.* A Comprehensive Sampling Study on SARS-CoV-2 Contamination of Air and Surfaces in a Large Meat Processing Plant Experiencing COVID-19 Clusters in June 2020. *J Occup Environ Med.* 2023;65(4):e227-e33
- [7] Donahue M, Sreenivasan N, Stover D, Rajasingham A, Watson J, Bealle A, *et al.* Notes from the Field: Characteristics of Meat Processing Facility Workers with Confirmed SARS-CoV-2 Infection - Nebraska, April-May 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2020;69(31):1020-2
- [8] Dyal JW, Grant MP, Broadwater K, Bjork A, Waltenburg MA, Gibbins JD, *et al.* COVID-19 Among Workers in Meat and Poultry Processing Facilities - 19 States, April 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2020;69(18)
- [9] Finci I, Siebenbaum R, Richtzenhain J, Edwards A, Rau C, Ehrhardt J, *et al.* Risk factors associated with an outbreak of COVID-19 in a meat processing plant in southern Germany, April to June 2020. *Euro surveillance : bulletin Européen sur les maladies transmissibles = European communicable disease bulletin.* 2022;27(13)
- [10] Günther T, Czech-Sioli M, Indenbirken D, Robitaille A, Tenhaken P, Exner M, *et al.* SARS-CoV-2 outbreak investigation in a German meat processing plant. *EMBO Mol Med.* 2020;12(12):e13296
- [11] Herstein JJ, Degarege A, Stover D, Austin C, Schwedhelm MM, Lawler JV, *et al.* Characteristics of SARS-CoV-2 Transmission among Meat Processing Workers in Nebraska, USA, and Effectiveness of Risk Mitigation Measures. *Emerging infectious diseases.* 2021;27(4):1032-8

- [12] Mallet Y, Pivette M, Revest M, Angot E, Valence M, Dupin C, *et al.* Identification of Workers at Increased Risk of Infection During a COVID-19 Outbreak in a Meat Processing Plant, France, May 2020. *Food Environ Virol.* 2021;1-9
- [13] Pokora R, Kutschbach S, Weigl M, Braun D, Epple A, Lorenz E, *et al.* Investigation of superspreading COVID-19 outbreak events in meat and poultry processing plants in Germany: A cross-sectional study. *PLoS One.* 2021;16(6):e0242456
- [14] Rogers TM, Robinson SJ, Reynolds LE, Ladva CN, Burgos-Garay M, Whiteman A, *et al.* Multifaceted Public Health Response to a COVID-19 Outbreak Among Meat-Processing Workers, Utah, March-June 2020. *J Public Health Manag Pract.* 2022;28(1):60-9
- [15] Steinberg J, Kennedy ED, Basler C, Grant MP, Jacobs JR, Ortbahn D, *et al.* COVID-19 Outbreak Among Employees at a Meat Processing Facility - South Dakota, March-April 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2020;69(31):1015-9
- [16] Walshe N, Fennelly M, Hellebust S, Wenger J, Sodeau J, Prentice M, *et al.* Assessment of Environmental and Occupational Risk Factors for the Mitigation and Containment of a COVID-19 Outbreak in a Meat Processing Plant. *Front Public Health.* 2021;9:769238
- [17] Kooh P, Guillois Y, Federighi M, Pivette M, Maillard A-L, Luong N-DM, *et al.* Mitigating COVID-19 in meat processing plants: what have we learned from cluster investigations? *Frontiers in Public Health.* 2024;12
- [18] Howe R, Grice C, Costello F, Downey V, Sammin D, Perrotta C, *et al.* COVID-19 transmission between the community and meat processing plants in Ireland: A retrospective modelling study. *Heliyon.* 2024;10(10):e30919
- [19] Taylor CA, Boulos C, Almond D. Livestock plants and COVID-19 transmission. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2020;117(50):31706-15
- [20] Saitone TL, Aleks Schaefer K, Scheitrum DP. COVID-19 morbidity and mortality in U.S. meatpacking counties. *Food Policy.* 2021;101:102072
- [21] Deschamps L, Frétière K, Maillochon A, Molina V. La Bretagne : première région française pour la production et la transformation de viande. Rennes : Insee; 2016.
- [22] Landier J, Bassez L, Bendiane MK, Chaud P, Franke F, Nauleau S, *et al.* Social deprivation and SARS-CoV-2 testing: a population-based analysis in a highly contrasted southern France region. *Front Public Health.* 2023;11:1162711
- [23] Vandentorren S, Smaïli S, Chatignoux E, Maurel M, Alleaume C, Neufcourt L, *et al.* The effect of social deprivation on the dynamic of SARS-CoV-2 infection in France: a population-based analysis. *Lancet Public Health.* 2022;7(3):e240-e9
- [24] Dai X-j, Shao Y, Ren L, Tao W, Wang Y. Risk factors of COVID-19 in subjects with and without mental disorders. *J Affect Disord.* 2022;297:102-11
- [25] Holt H, Talaei M, Greenig M, Zenner D, Symons J, Relton C, *et al.* Risk factors for developing COVID-19: a population-based longitudinal study (COVIDENCE UK). *Thorax.* 2022;77(9):900-12

- [26] Rozenfeld Y, Beam J, Maier H, Haggerson W, Boudreau K, Carlson J, *et al.* A model of disparities: risk factors associated with COVID-19 infection. *International Journal for Equity in Health*. 2020;19(1):126
- [27] Størdal K, Ruiz PL-D, Greve-Isdahl M, Surén P, Knudsen PK, Gulseth HL, *et al.* Risk factors for SARS-CoV-2 infection and hospitalisation in children and adolescents in Norway: a nationwide population-based study. *BMJ Open*. 2022;12(3):e056549
- [28] Contreras Z, Ngo V, Pulido M, Washburn F, Meschyan G, Gluck F, *et al.* Industry Sectors Highly Affected by Worksite Outbreaks of Coronavirus Disease, Los Angeles County, California, USA, March 19–September 30, 2020 - Volume 27, Number 7—July 2021 - *Emerging Infectious Diseases journal - CDC*. *Emerg Infect Dis*. 2021;27(7):1769-75
- [29] Karmakar M, Lantz PM, Tipirneni R. Association of Social and Demographic Factors With COVID-19 Incidence and Death Rates in the US. *JAMA Network Open*. 2021;4(1):e2036462
- [30] McLaughlin JM, Khan F, Pugh S, Angulo FJ, Schmitt H-J, Isturiz RE, *et al.* County-level Predictors of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Cases and Deaths in the United States: What Happened, and Where Do We Go from Here? *Clin Infect Dis*. 2021;73(7):e1814-e21
- [31] McLaughlin JM, Khan F, Pugh S, Swerdlow DL, Jodar L. County-level vaccination coverage and rates of COVID-19 cases and deaths in the United States: An ecological analysis. *The Lancet Regional Health - Americas*. 2022;9:100191
- [32] Roder C, Maggs C, McNamara BJ, O'Brien D, Wade AJ, Bennett C, *et al.* Area-level social and economic factors and the local incidence of SARS-CoV-2 infections in Victoria during 2020. *The Medical Journal of Australia*. 2022;216(7):349-56
- [33] Harris M, Hart J, Bhattacharya O, Russell FM. Risk factors for SARS-CoV-2 infection during the early stages of the COVID-19 pandemic: a systematic literature review. *Frontiers in Public Health*. 2023;11
- [34] Galmiche S, Charmet T, Schaeffer L, Grant R, Fontanet A, Paireau J, *et al.* Etude des facteurs sociodémographiques, comportements et pratiques associés à l'infection par le SARS-CoV-2 (ComCor). Institut Pasteur ; Caisse Nationale d'Assurance Maladie ; IPSOS ; Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique (IPLESP) ; Santé Publique France; 2021. [consulté le 2023/07/27/15:47:34]. Disponible: <https://hal-pasteur.archives-ouvertes.fr/pasteur-03155847>
- [35] Galmiche S, Charmet T, Schaeffer L, Paireau J, Grant R, Cheny O, *et al.* Étude des facteurs sociodémographiques, comportements et pratiques associés à l'infection par le SARS-CoV-2 (ComCor). Institut Pasteur, Cnam; 2020. Disponible: <https://www.pasteur.fr/fr/espace-presse/documents-presse/etude-comcor-lieux-contamination-au-sars-cov-2-ou-francais-s-infectent-ils>
- [36] Rey G, Jouglu E, Fouillet A, Hémon D. Ecological association between a deprivation index and mortality in France over the period 1997 - 2001: variations with spatial scale, degree of urbanicity, age, gender and cause of death. *BMC Public Health*. 2009;9:33

[37] Commission européenne E. Applying the degree of urbanisation : a methodological manual to define cities, towns and rural areas for international comparisons : 2021 edition. : Office des publications de l'Union européenne; 2021.

[38] Wood SN. Generalized additive models: An introduction with R, second edition. : 2017. Disponible: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053092615&doi=10.1201%2f9781315370279&partnerID=40&md5=7dab657756cab957cfc79c06831c61eb>

Annexes

Annexe 1 : Construction des indicateurs d'exposition aux abattoirs

Principe

L'exposition a été estimée à partir d'un ratio entre le nombre de travailleurs des abattoirs résidant dans chaque IRIS et la population totale de l'IRIS.

En l'absence de données directes sur les effectifs de travailleurs domiciliés dans les IRIS ou travaillant dans les abattoirs (aucune source fiable identifiée), nous avons utilisé une approche indirecte en considérant que le nombre de travailleurs dans chaque abattoir était proportionnel au tonnage abattu en 2020 (données issues du ministère de l'Agriculture).

Les tonnages ont été distribués spatialement au niveau des IRIS puis sommés pour prendre en compte la contribution de chaque abattoir. La distribution dans les IRIS s'est appuyée sur des navettes domicile-travail fournies par l'Insee à l'échelle communale. Ces navettes correspondaient aux déplacements réguliers entre le lieu de résidence et le lieu de travail pour des salariés travaillant à la transformation et conservation de la viande et préparation de produits à base de viande (code NAF101, nomenclature d'activités française).

Au total, 129 abattoirs (61 abattoirs d'animaux de boucherie et 68 de volailles) ont été identifiés dans 117 communes de la zone d'étude et des départements limitrophes. Les tonnages abattus en 2020 ont été distribués dans les communes de domiciliation des salariés avec un code d'activité NAF égal à 101 (transformation et conservation de la viande et préparation de produits à base de viande) : l'hypothèse sous-jacente est celle de travailleurs « exposant » les territoires dans lesquels ils sont domiciliés.

Le calcul des indicateurs d'exposition est détaillé ci-après avec les sources mobilisées pour chaque terme de l'équation.

Mise en œuvre

Les indicateurs d'exposition aux abattoirs de boucherie (IE_Bouch_j) et de volailles (IE_Vol_j) ont été construits séparément. Pour l'IRIS_j appartenant à la commune COM_A, les indicateurs ont été obtenus par l'équation (1) où :

- ✓ $\sum_i T_{i,n}$ correspond au tonnage total abattu par les i abattoirs implantés dans la commune n (COM_n). Source : Ministère de l'Agriculture.
- ✓ $P_{a,n}$ est la proportion des salariés NAF 101 de la COM_n (lieu de travail) qui habitent dans la COM_a. Source : navettes domicile-travail (Données sur mesure, Recensement de la population 2019).
- ✓ $P_{j,a}$ est la proportion dans COM_a des salariés avec un code NA17 (nomenclature agrégée) à C1 (fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac) qui résident dans l'IRIS_j. Source : Logements, individus, activité, mobilités scolaires et professionnelles, migrations résidentielles (Recensement de la population 2018)
- ✓ Pop_j correspond à la population de l'IRIS_j. Source : Base infracommunale (IRIS, Recensement de la population 2018).

équation (1) :
$$IE_j = \frac{P_{j,a} \sum_n P_{a,n} \sum_i T_{i,n}}{Pop_j}$$

Situations particulières : Pour 8 communes avec abattoir (COM_n), les navettes domicile-travail n'étaient pas disponibles. Les tonnages ont été répartis dans les communes des bassins de vie 2022 proportionnellement aux populations.

Annexe 2 : Sources des variables

Tableau 5 : Variables des modèles. Exhaustivité, sources et limites

Variables	Source(s) utilisée(s)	Limites
IRIS (CODE_INSEE)	Référence_IRIS_geo2020.xlsx (https://www.insee.fr/fr/information/7708995)	
Variables de santé : POS_obs, TEST_obs, POS_att, TEST_att	- Population en 2021. Recensement de la population - Base infracommunale (IRIS) : https://www.insee.fr/fr/statistiques/8268806 - Données Sidep	- Imputation des IRIS manquants - Age et/ou sexe manquant pour 0,75 % des tests.
Exposition aux abattoirs : IE_Bouch, IE_Vol	- Données navettes Domicile-Travail 2019 disponibles en géographie 2021 à l'échelle communale. Recensement de la population – Diffusion sur mesure Santé publique France. - Abattoirs géolocalisés : https://agriculture.gouv.fr/liste-des-etablissements-agrees-ce-conformement-au-reglement-ce-ndeg8532004-lists-ue-approved - Tonnage des abattoirs (données ministère de l'Agriculture) - Évolution et structure de la population en 2018 en géographie 2021. Données communales : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5395875?sommaire=5395927 - Logements, individus, activité, mobilités scolaires et professionnelles, migrations résidentielles en 2018. Recensement de la population – Fichier détail. Individus localisés au canton ou ville en 2018 : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5542859?sommaire=5395764#dictionnaire - Population en 2018. Recensement de la population - Base infracommunale (IRIS) : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5650720 - Référentiel géographique : https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/referentiel-geographique-t-geo-com/	- Navettes domicile – travail disponibles à l'échelle communale pour les salariés NAF 101 (données 2019) - Distribution entre les IRIS d'une même commune selon l'activité économique en 17 postes (fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac) - Navettes domicile – travail et base de données communales 2018 en géographie 2021 (COG2021). - Navettes et secteurs d'activité issus de l'exploitation complémentaire du RP (non exhaustif). - Navettes non disponibles pour 8 abattoirs : 0,06 % et 0,002 % des volumes abattus pour les animaux de boucherie et les volailles
Département : Dep	Référence_IRIS_geo2020.xlsx : https://www.insee.fr/fr/information/7708995	
Degrés d'urbanisation de niveau 1 : URB	La grille communale de densité Insee : https://www.insee.fr/fr/information/6439600	
Taille moyenne des ménages : TAILLE_MEN	Couples - Familles - Ménages en 2018. Recensement de la population - Base infracommunale (IRIS) : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5650714	
Part de diplômés de niveau bac dans la pop de 15 ans ou plus non scolarisée : T_BAC	Diplômes - Formation en 2018. Recensement de la population - Base infracommunale (IRIS) : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5650712	
Taux de chômage dans la population active de 15 à 64 ans : T_CHOM	- Emploi-Activité en 2018. Recensement de la population. Base communale : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5395838?sommaire=5395900 - Logements, individus, activité, mobilités scolaires et professionnelles, migrations résidentielles en 2018. Recensement de la population – Fichier détail. Individus localisés au canton-ou-ville en 2018 : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5542859?sommaire=5395764#dictionnaire	- Base communale 2018 en géographie 2021 (COG2021) - Données issues de l'exploitation complémentaire du RP (non exhaustif).

Part d'ouvriers dans la population active de 15 à 64 ans : T_OUV	• Emploi-Activité en 2018. Recensement de la population. Base communale : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5395838?sommaire=5395900 • Logements, individus, activité, mobilités scolaires et professionnelles, migrations résidentielles en 2018. Recensement de la population – Fichier détail. Individus localisés au canton-ou-ville en 2018 : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5542859?sommaire=5395764#dictionnaire	• Base communale 2018 en géographie 2021 (COG2021) • Données issues de l'exploitation complémentaire du RP (non exhaustif).
Revenu médian annuel déclaré par unité de consommation : DEC_MED20	• Revenus, pauvreté et niveau de vie en 2020 (IRIS). Dispositif Fichier localisé social et fiscal (Filosofi) : https://www.insee.fr/fr/statistiques/7233950 • Structure et distribution des revenus, inégalité des niveaux de vie en 2020. Dispositif Fichier localisé social et fiscal (Filosofi) : https://www.insee.fr/fr/statistiques/6692220	• Bases en géographie 2021 (COG2021)
Couverture vaccinale Covid-19 (1 dose)	• SNDS (doses et effectifs de population)	• Données disponibles à l'échelle communale • Régimes exclus : 03A (RSI), 93C (Mutuelle générale de la police) et 99C (autres), et populations sans régime • Vaccination une seule dose

Annexe 3 : Distribution des IRIS les plus exposés selon le degré d'urbanisation

Tableau 6 : distribution des IRIS les plus exposés aux abattoirs de boucherie (>P75) par degré d'urbanisation* et population associée — Bretagne et Pays de la Loire, 2020

	Nombre d'IRIS	% IRIS	Population 2021	% Population
Densément peuplés	80	8,7	181 994	11,0
Densité intermédiaire	141	15,5	370 801	22,4
Ruraux	691	75,8	1 101 821	66,6
Total	912	100,0	1 654 616	100,0

* : Grille communale de densité 2020 de 1^{er} niveau

Tableau 7 : distribution des IRIS les plus exposés aux abattoirs de volailles (>P75) par degré d'urbanisation* et population associée — Bretagne et Pays de la Loire, 2020

	Nombre d'IRIS	% IRIS	Population 2021	% Population
Densément peuplés	115	12,6	257 482	13,3
Densité intermédiaire	211	23,1	579 655	29,9
Ruraux	588	64,3	1 100 621	56,8
Total	914	100,0	1 937 758	100,0

* : Grille communale de densité 2020 de 1^{er} niveau

Annexe 4 : Cartes des co-variables

Figure 9 : degré d'urbanisation : Grille communale de densité (1^{er} niveau) projetée sur les 3 682 IRIS – Bretagne et Pays de la Loire, 2020

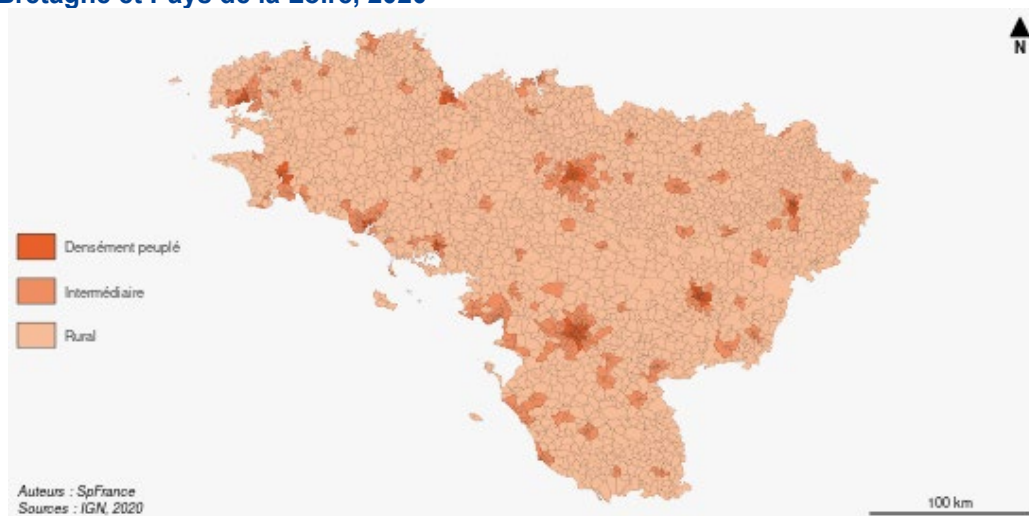


Figure 10 : taux de chômage parmi les actifs 15-64 ans, par IRIS – Bretagne et Pays de la Loire, 2018

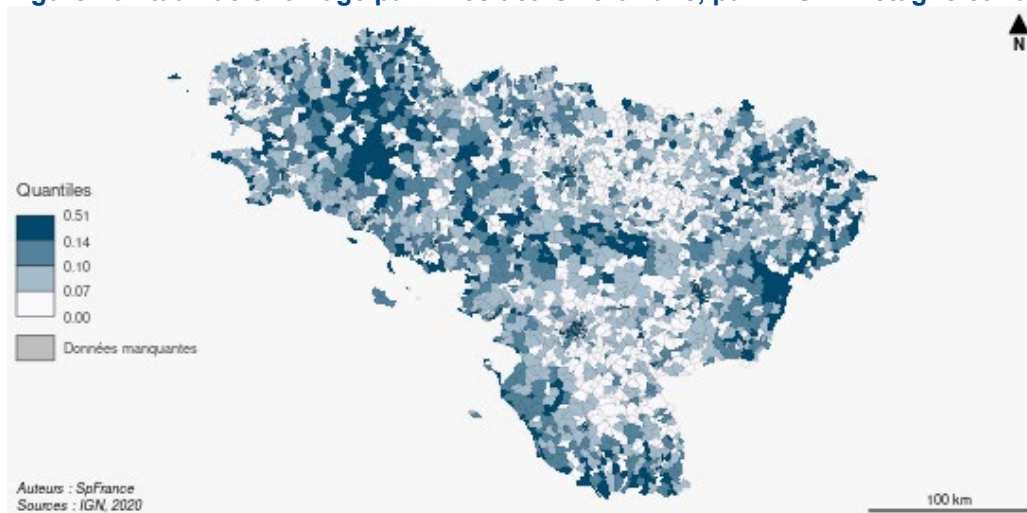


Figure 11 : part d'ouvriers parmi les actifs 15-64 ans, par IRIS – Bretagne et Pays de la Loire, 2018

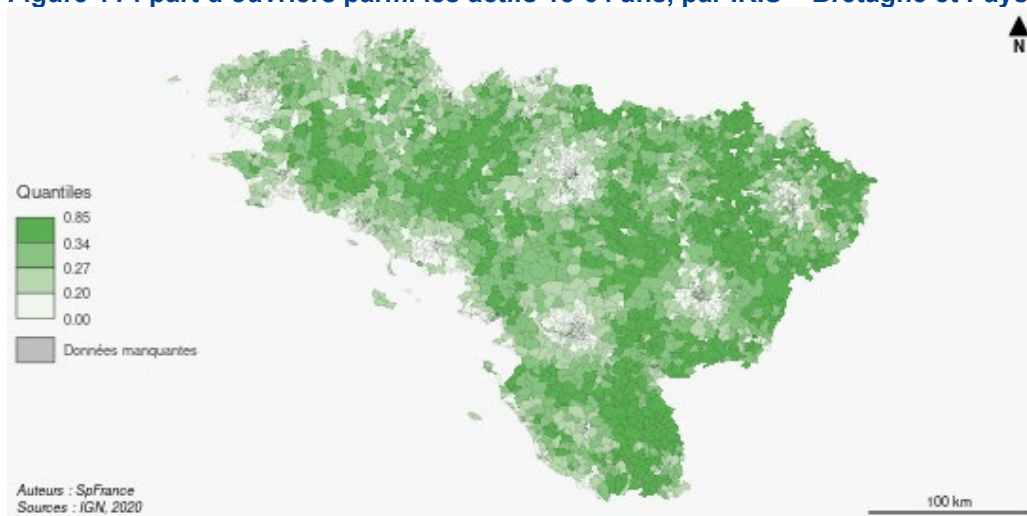


Figure 12 : part de diplômés de niveau bac parmi les 15 ans ou plus non scolarisés, par IRIS – Bretagne et Pays de la Loire, 2018

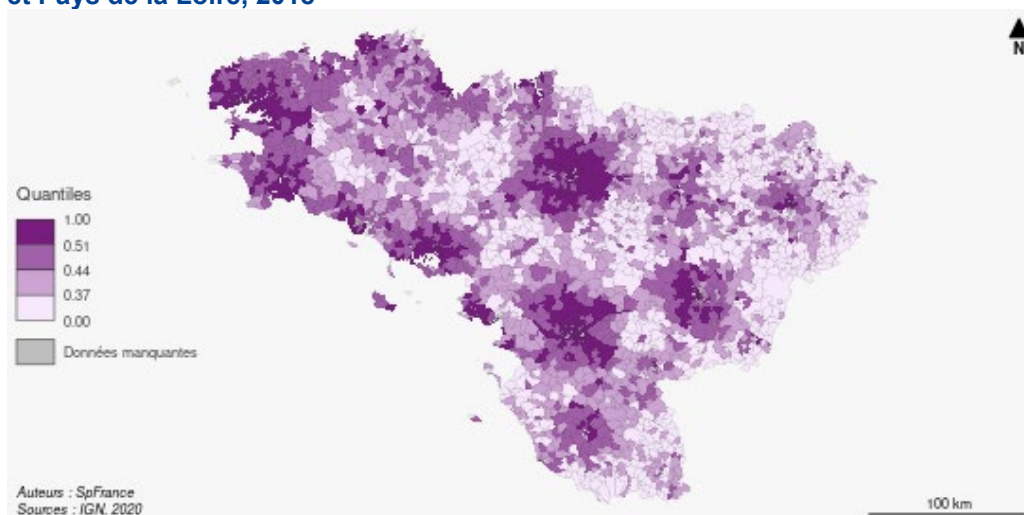


Figure 13 : revenu médian annuel déclaré par unité de consommation, par IRIS – Bretagne et Pays de la Loire, 2020

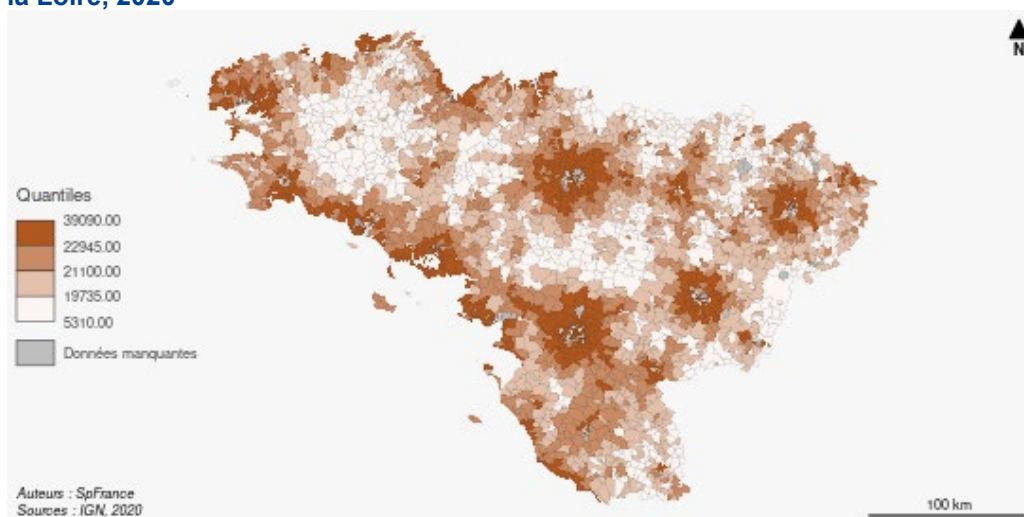


Figure 14 : taille moyenne des ménages par IRIS – Bretagne et Pays de la Loire, 2018

