

Progrès dans le domaine de la surveillance

Mise en place d'un système de surveillance, de détection rapide et de prévision des épidémies d'influenza aviaire au Canada

Mardi 27 mai 2025

12h - 13h (HNC) / 13h - 14h (HNE)

Conférencière

Dr. Zahra Movahedi Nia

Associée en recherche, Ph. D. en génie informatique,
Université de York



National Collaborating Centre
for Infectious Diseases
Centre de collaboration nationale
des maladies infectieuses



Public Health
Agency of Canada

Agence de la santé
publique du Canada



Reconnaissance territoriale



Le modérateur aujourd'hui sont à Hamilton, en Ontario.

Située dans les territoires traditionnels des Ériés, des Neutres, des Hurons-Wendats, des Haudenosaunee et des Mississaugas, cette terre est couverte par l'accord wampum d'« un plat à une cuillère », un pacte de partage et de protection des ressources entourant les Grands Lacs conclu entre les Haudenosaunee et les Anishinaabes.

De nombreux peuples autochtones de toute l'île de la Tortue y vivent aujourd'hui. Nous rendons hommage aux peuples autochtones qui ont vécu et protégé ces terres pendant des générations. Nous sommes reconnaissants de la chance qui nous est accordée de partager ce lieu et de le considérer comme notre foyer.

Questions d'ordre administratif



- L'enregistrement et les diapositives de la présentation du séminaire seront accessibles sous peu sur le site Web du CCNMI : <https://ccnmi.ca/>.
- Si vous éprouvez des difficultés techniques avec Zoom, veuillez nous envoyer un courriel à nccid@umanitoba.ca.
- Veuillez utiliser l'onglet des questions-réponses pour envoyer vos questions à nos conférenciers.
- Vous pouvez «aimer» les questions d'autres personnes pour les rendre prioritaires.



Agrément



«Progrès dans le domaine de la surveillance» est une activité de formation collective auto-approuvée agréée au titre de la section 1, conformément au programme de Maintien du certificat du **Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada (CRMCC)**.

«Progrès dans le domaine de la surveillance» est également approuvée par le Conseil de Expérience Professionnelle pour les heures de développement professionnel des membres de **l'Institut Canadien des inspecteurs en santé publique (ICISP)**.

Si vous souhaitez obtenir une lettre de participation, veuillez répondre au sondage après le séminaire.



Conférencière



Dr. Zahra Movahedi Nia

Associée en recherche
Ph. D. en génie informatique,
Université de York

Mise en place d'un système de surveillance, de détection rapide et de prévision des épidémies d'influenza aviaire au Canada

Zahra Movahedi Nia

Associée en recherche, AI4PEP





UNIVERSITY OF
TORONTO

Dalla Lana

School of Public Health

Professeur Jude Kong





IDRC · CRDI

International Development Research Centre
Centre de recherches pour le développement international



**NSERC
CRSNG**

Canada



Sida

SWEDISH INTERNATIONAL
DEVELOPMENT COOPERATION AGENCY



**Foreign, Commonwealth
& Development Office**



**New Frontiers in Research Fund
Fonds Nouvelles frontières en recherche**



Dre Doris Leung
Système canadien de
surveillance de la santé animale
(SCSSA)



Dr Murray Gillies
Système canadien de
surveillance de la santé animale
(SCSSA)



Dre Emma Gardner
Système canadien de
surveillance de la santé animale
(SCSSA)



Professeure Nicola L. Bragazzi
Département des aliments et
des médicaments, Université de
Parme



Dre Itlala Gizo
Organisation mondiale de
la santé animale (OMSA)



Professeur Nelson Lee
École de santé publique
Dalla Lana, Université de Toronto



Dr Emmanuel Musa
Faculté de santé publique,
Université de Bath



Oscar Pang
Université de Toronto



Xuerong (Snow) Zhou
Université de Toronto



Shixun Huang
Université de Toronto

Conflits d'intérêts

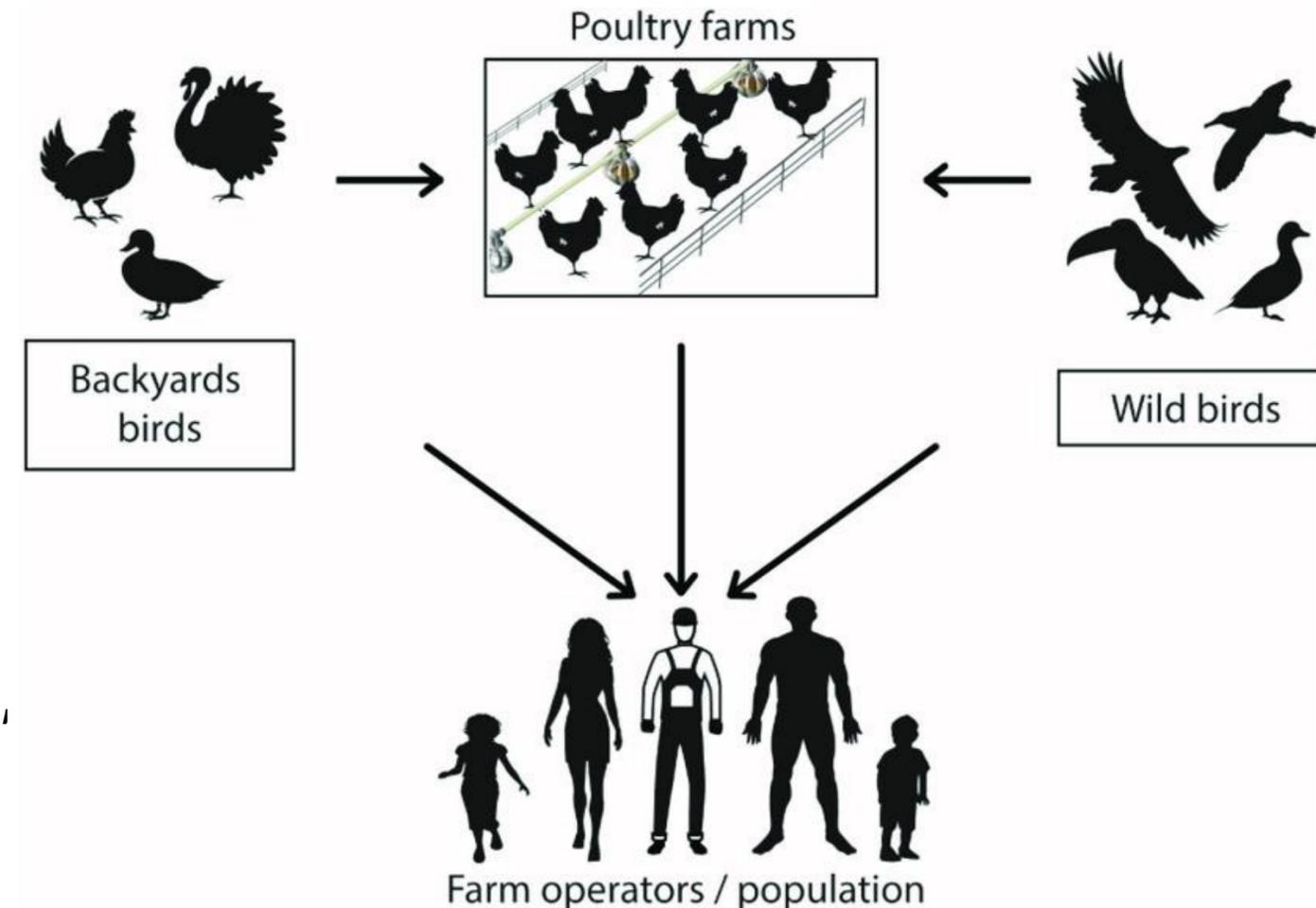
Nous déclarons n'avoir aucun conflit d'intérêts.



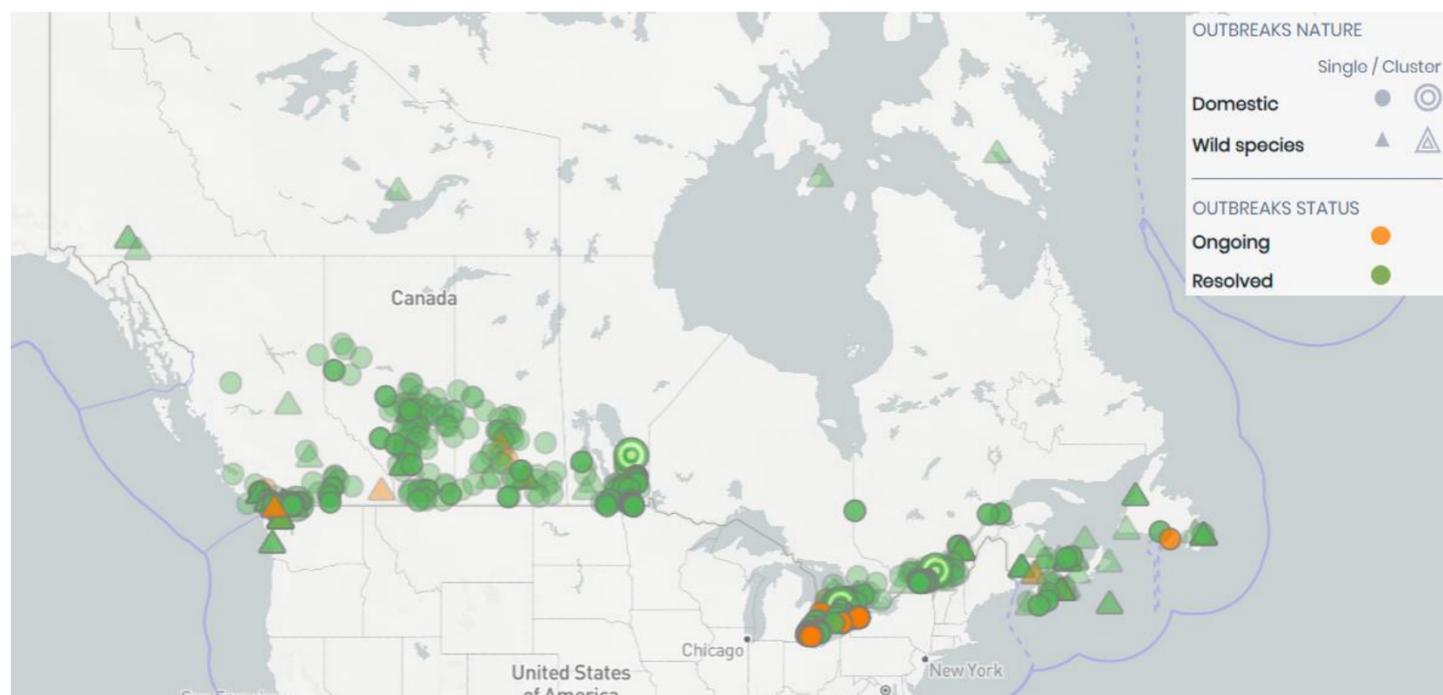
Introduction



- L'influenza aviaire est classée en deux catégories en fonction de sa pathogénicité :
 - Influenza aviaire faiblement pathogène (IAFP).
 - Influenza aviaire hautement pathogène (IAHP).
- L'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) se retrouve principalement chez les oiseaux et les oiseaux aquatiques.
- Elle peut également se transmettre aux mammifères, y compris aux humains.
- Son taux de mortalité est d'environ 52 %.
- Les symptômes comprennent la toux, les maux de gorge, la fièvre et la diarrhée.

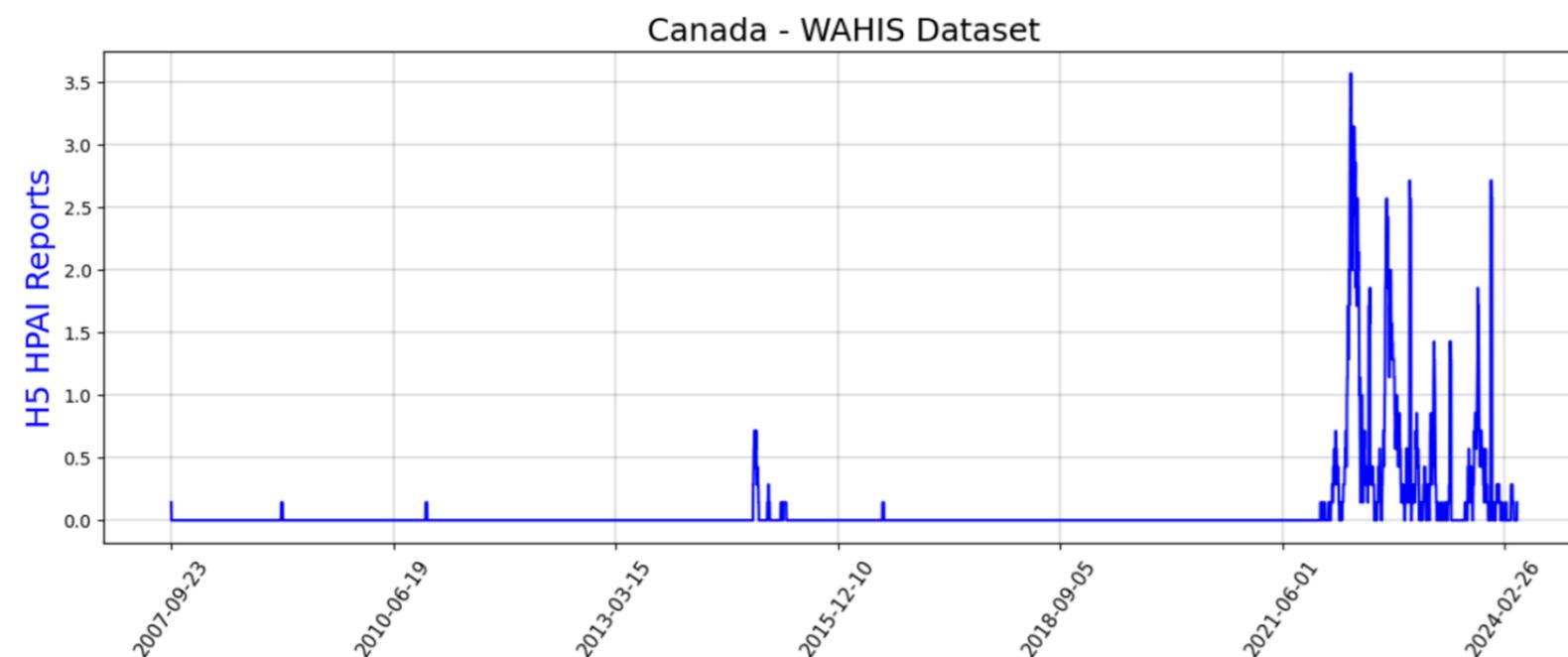


Introduction



- Depuis novembre 2021, le Canada et les États-Unis ont connu une série consécutive sans précédent d'épidémies d'IAHP.

- Le 9 novembre 2024, un cas humain d'influenza aviaire H5 a été confirmé en Colombie-Britannique.



Introduction



- Il est nécessaire de mettre en place des méthodes de surveillance rigoureuses :
 - L'IAHP est transmissible aux mammifères, y compris aux humains.
 - Bien que très rare, elle est également transmissible entre humains.
 - Il existe donc un risque de pandémie.
 - L'IAHP peut causer des milliards de dollars de pertes aux éleveurs de volailles, aux producteurs et aux secteurs publics.
- De plus, plusieurs facteurs liés aux épidémies actuelles exigent des méthodes de surveillance plus rigoureuses :
 - Des épidémies fréquentes et sans précédent
 - La transmission interespèces
 - L'implication accrue des oiseaux aquatiques et des mammifères
 - Une plus large répartition géographique de l'infection
 - Les répercussions sur le marché, notamment sur les prix du poulet et des œufs



Introduction



- La surveillance syndromique nous aide à assurer la préparation, une réponse rapide et le rétablissement.
- Les méthodes de surveillance de l'influenza aviaire comprennent :
 - Le prélèvement d'échantillons sur des oiseaux malades ou morts.
 - Le prélèvement d'échantillons dans les environnements domestiques et paradomestiques, par exemple le sol, l'eau, l'air, les cages, les zones d'alimentation.
 - Les données cliniques.
- Les méthodes de surveillance traditionnelles sont coûteuses et prennent beaucoup de temps.
- Il faut parfois plusieurs semaines pour obtenir les résultats et les communiquer.



Introduction



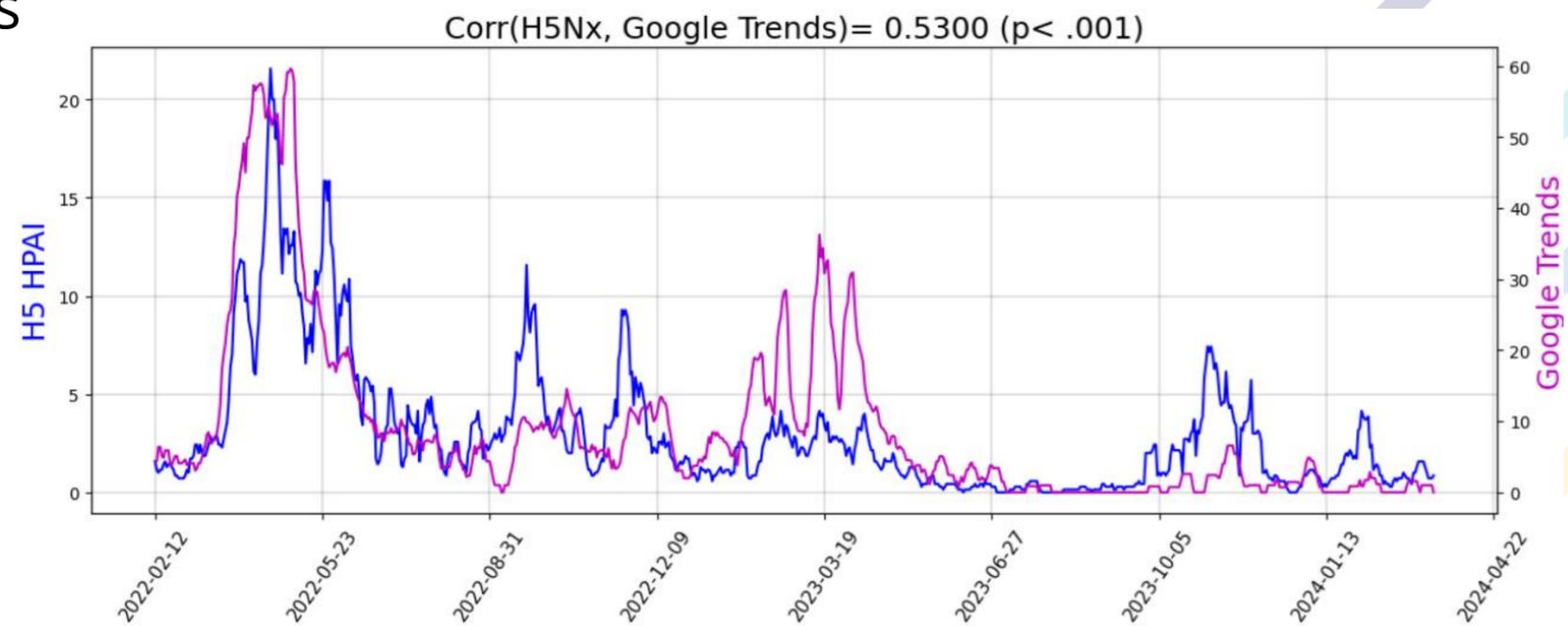
- Les données disponibles sur le Web et celles collectées à partir d'API RESTful présentent des avantages par rapport aux données de santé conventionnelles :
 - Elles sont plus faciles et rapides d'accès.
 - Elles sont plus rentables.
 - Elles sont accessibles par des moyens automatisés.
 - Elles permettent d'obtenir des données avec plusieurs jours, voire semaines, d'anticipation.
- Ces données non conventionnelles comprennent :
 - Le nombre de recherches effectuées sur des moteurs de recherche tels que Google (Google Trends).
 - Les publications sur les réseaux sociaux tels que Reddit et Facebook.
 - Le nombre d'articles publiés.



Introduction



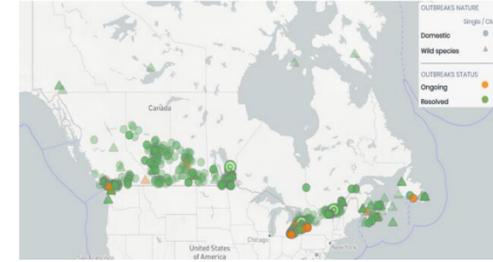
- Système d'alerte précoce pour les maladies infectieuses :
 - Planification, conception et mise en œuvre de méthodes de prédiction ou de détection précoce des épidémies émergentes ou réémergentes
- Modélisation prédictive :
 - Traitement et analyse d'événements passés afin de prévoir l'avenir.
- La prévision de séries chronologiques est une technique de modélisation prédictive dans laquelle les incidences sont considérées comme des séries chronologiques.
 - L'avenir peut être prédit à l'aide de modèles antérieurs.
 - L'avenir peut être prédit à l'aide d'indicateurs connexes.



Objectifs d'apprentissage



- Notre contribution se décompose en trois volets :
 - Proposer des sources de données supplémentaires pour la surveillance de l'IAHP.
 - Développer un système d'alerte précoce afin de prévoir les épidémies au niveau national et régional.
 - Étudier l'importance des différentes sources de données.
- Notre recherche est bénéfique pour :
 - La préparation, le contrôle et la prévention des épidémies de l'IAHP
 - La réduction des conséquences économiques

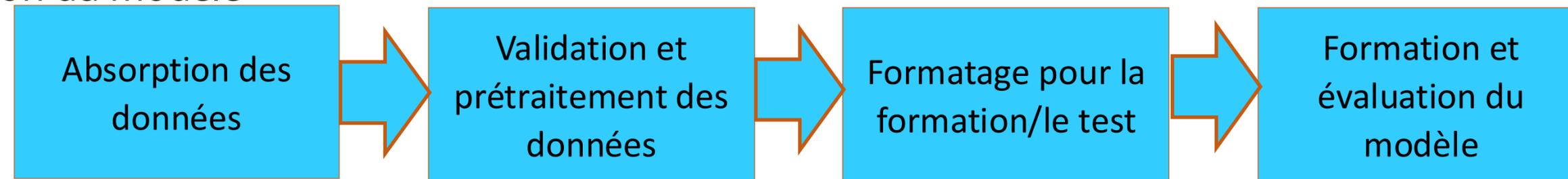


Politique
d'information →



Méthode : Le processus d'apprentissage automatique

- Le processus d'apprentissage automatique comprend quatre étapes :
 - Absorption des données
 - Validation et prétraitement des données
 - Formatage pour la formation/le test
 - Formation et évaluation du modèle



- La phase d'absorption des données combine sept sources de données :
 - Données historiques
 - Google Trends
 - GDELT
 - Google Actualités
 - Reddit
 - Facebook
 - Météo et qualité de l'air
- Tous les ensembles de données sont collectés via des API RESTful ou le moissonnage de pages Web, sans intervention humaine, ce qui rend le processus entièrement automatique.

Méthodes : Absorption de l'ensemble de données



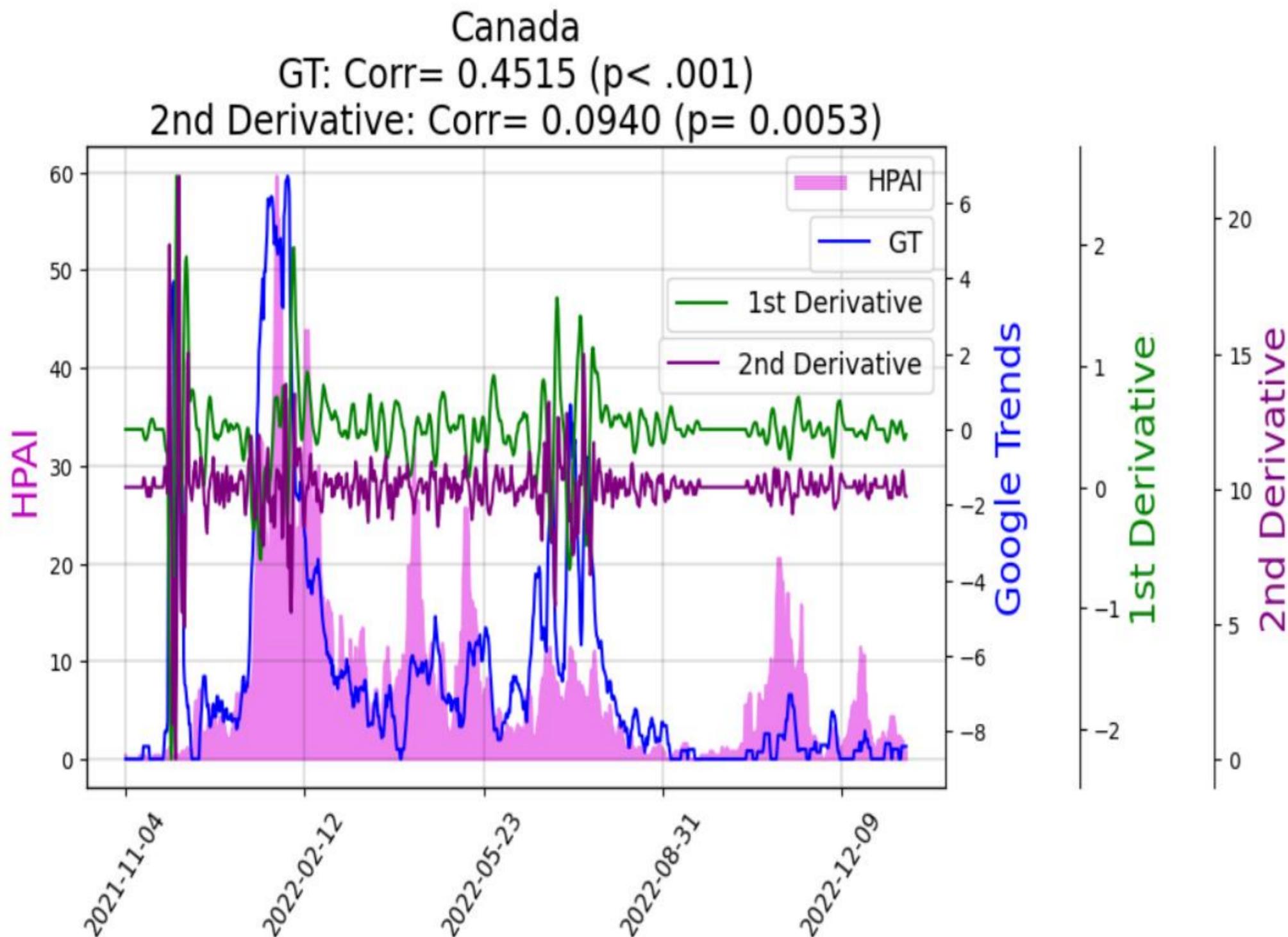
- Données historiques : le nombre de cas d'IAHP chez les oiseaux sauvages est recueilli et fourni par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA).
(<https://www.arcgis.com/apps/dashboards/89c779e98cdf492c899df23e1c38fdbbc>)
- L'ensemble de données est mis à jour quotidiennement.
- L'ensemble de données fournit le nombre d'épidémies.
- L'ensemble de données indique la date de la collecte.



Méthodes : Absorption de l'ensemble de données



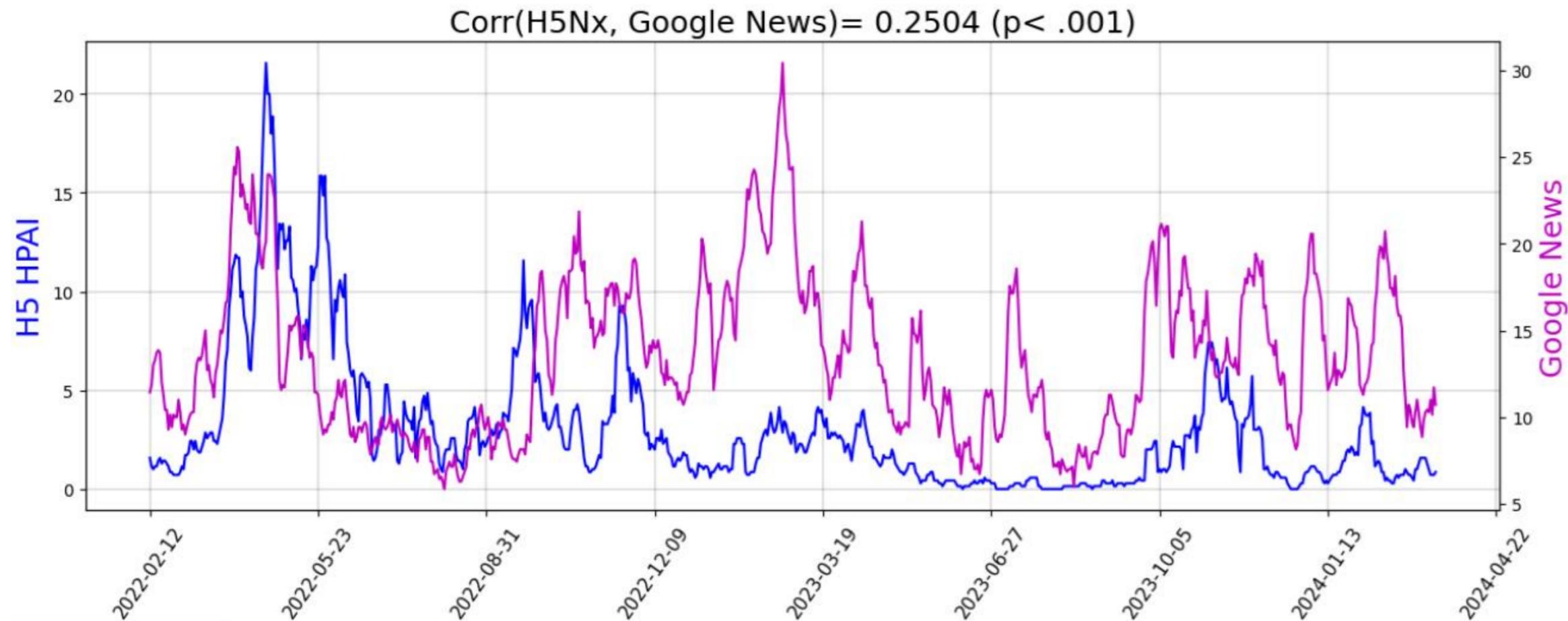
- Google Trends : nombre de fois qu'un terme ou sujet particulier a été recherché sur Google.
- La dérivée première de Google Trends indique si la tendance Google est à la hausse ou à la baisse.
- La dérivée seconde de Google Trends indique si la tendance Google est à la hausse ou à la baisse.



Méthodes : Absorption de l'ensemble de données



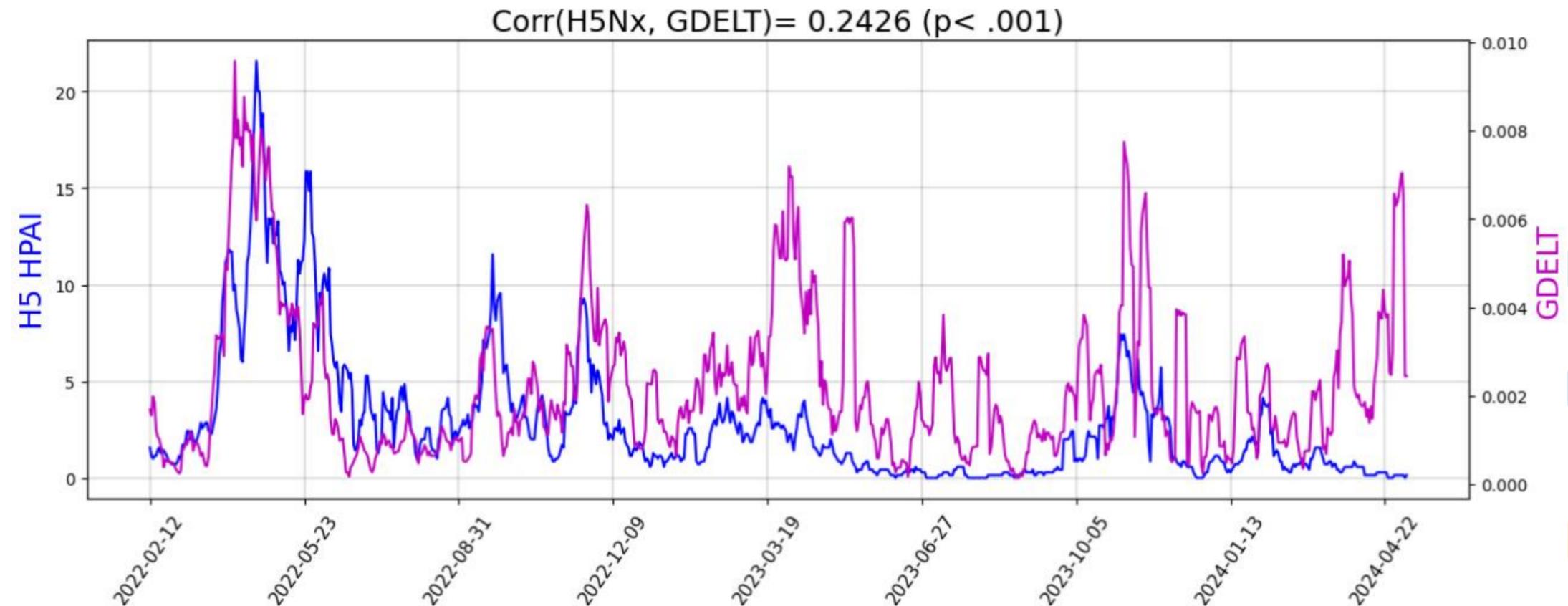
- L'API Google Actualités renvoie le nombre d'articles publiés sur un sujet donné dans un pays spécifique.



Méthodes : Absorption de l'ensemble de données



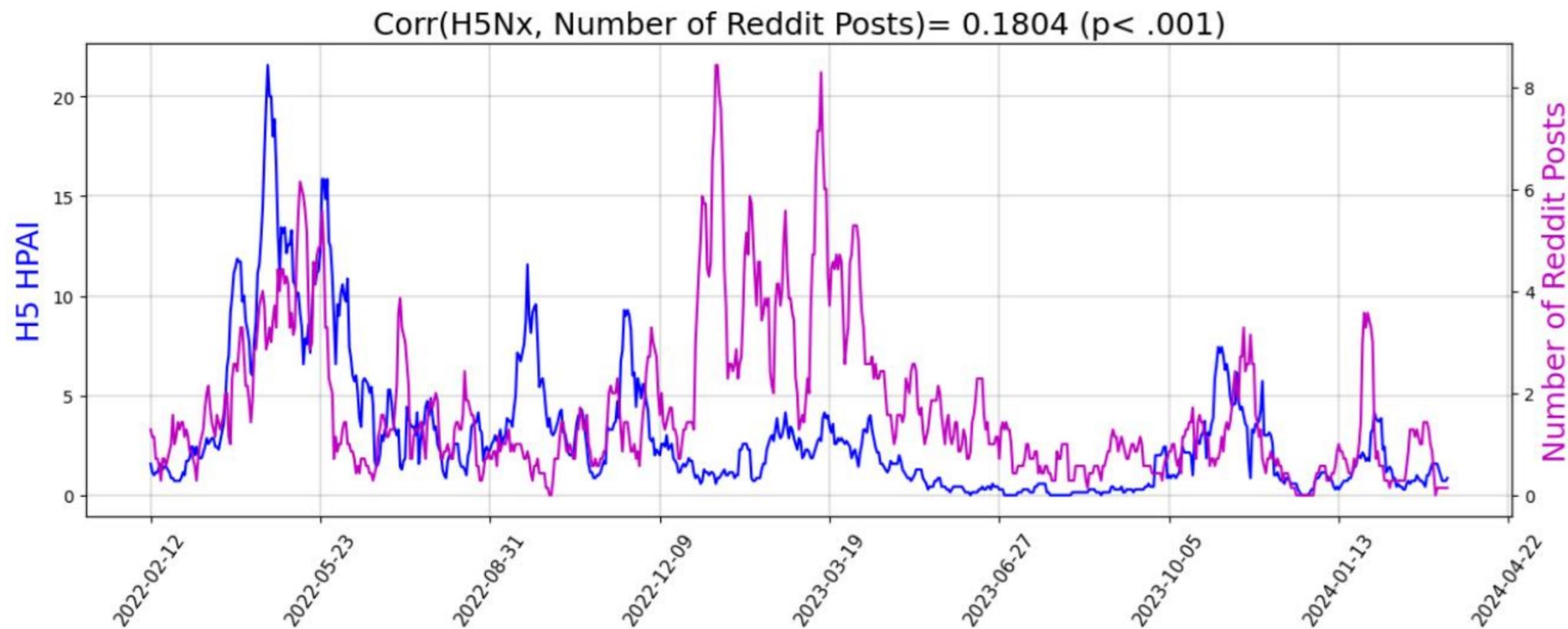
- GDELT fournit le nombre d'articles en ligne publiés sur un sujet donné dans un pays spécifique au fil du temps.
- Diffusions, presse écrite et actualités sur le Web
- Médias d'information en ligne
- Télévision et radio
- Rapports universitaires et d'ONG



Méthodes : Absorption de l'ensemble de données



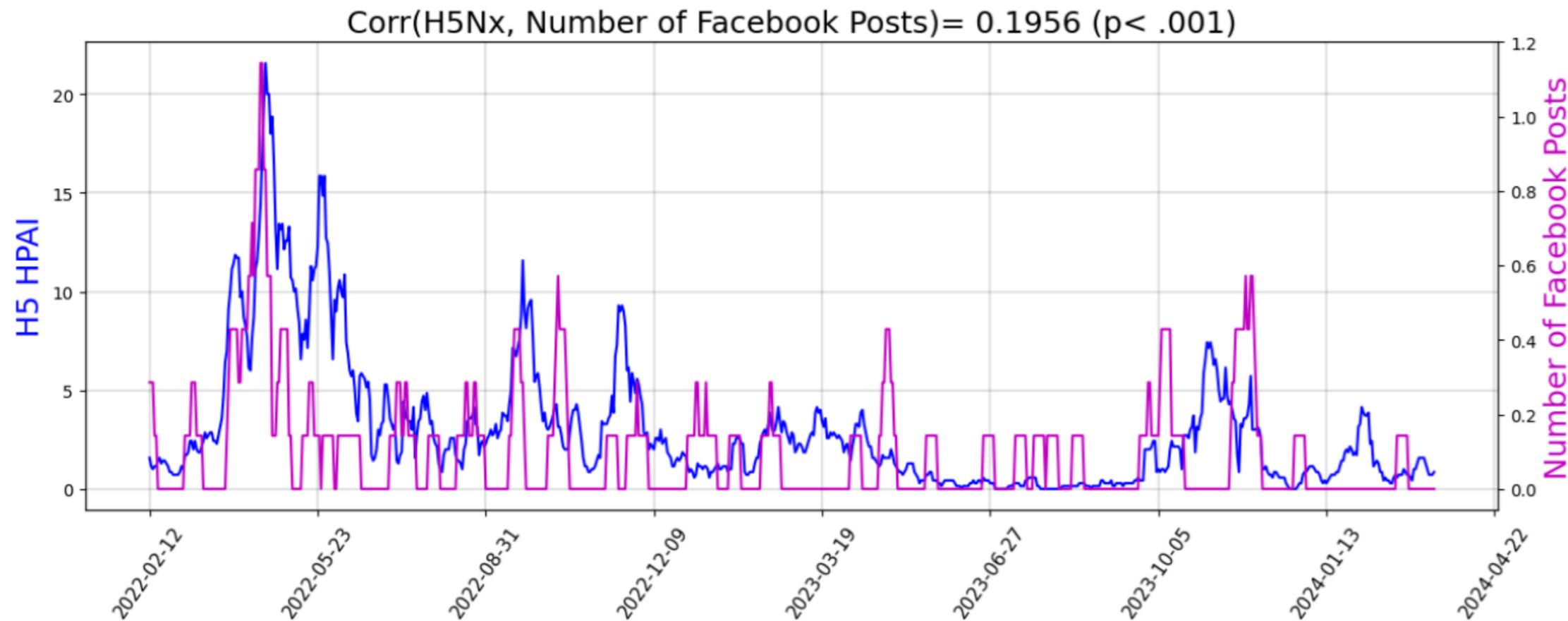
- Le nombre de publications sur Reddit présente une corrélation significative avec le nombre de cas.
 - Mots-clés : bird, avian, poultry, farm, waterfowl, h5, hpai, aviaire, oiseau, sauvagine, sauvagine
 - Les sous-reddits incluent : canada, canadaneews, ontarion, toronto, ottawa, quebec, montreal, alberta, calgary, edmonton, britishcolumbia, vancouver, saskatchewan, regina, manitoba, winnipeg, nunavut, novascotia, halifax, newbrunswick, newfoundland_labrador, princeedwardisland, charlottetown, yukon, northwestterritories, capebreton,



Méthodes : Absorption de l'ensemble de données



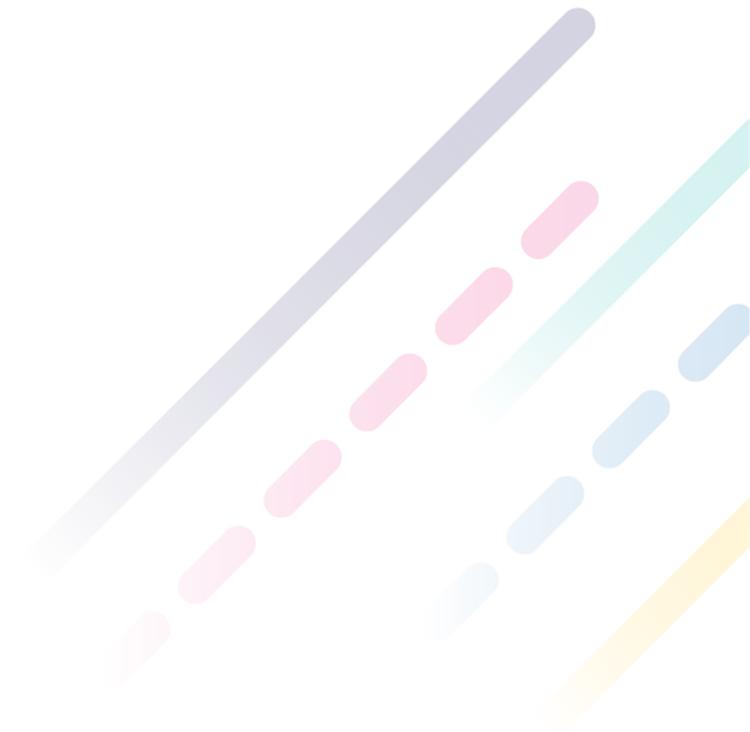
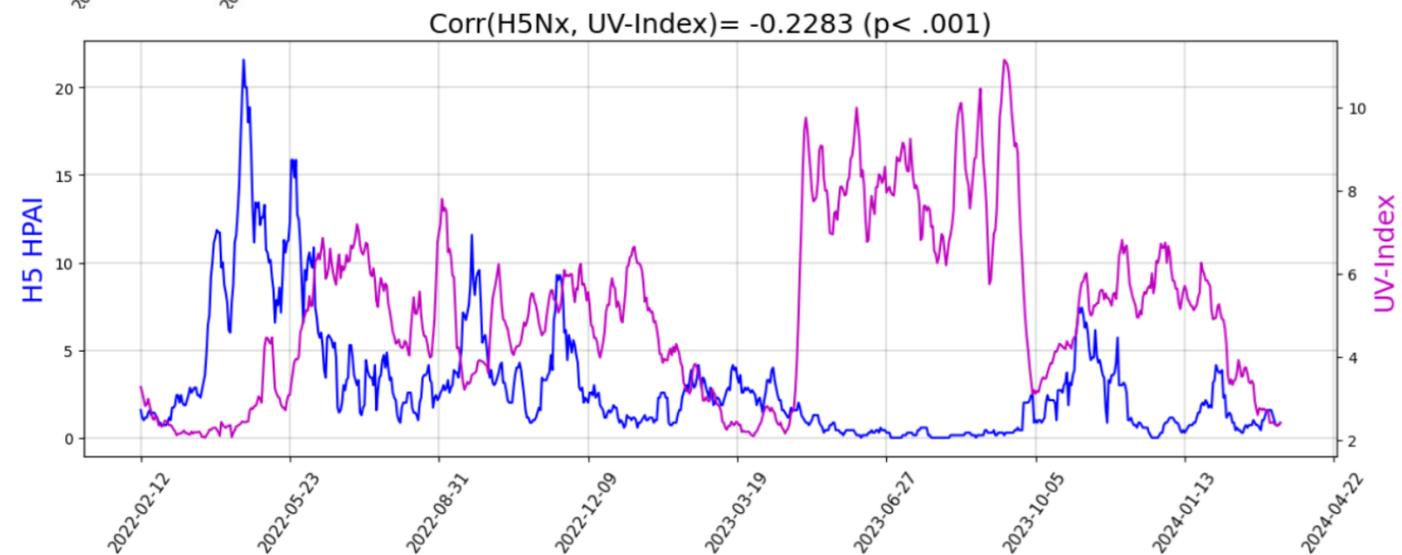
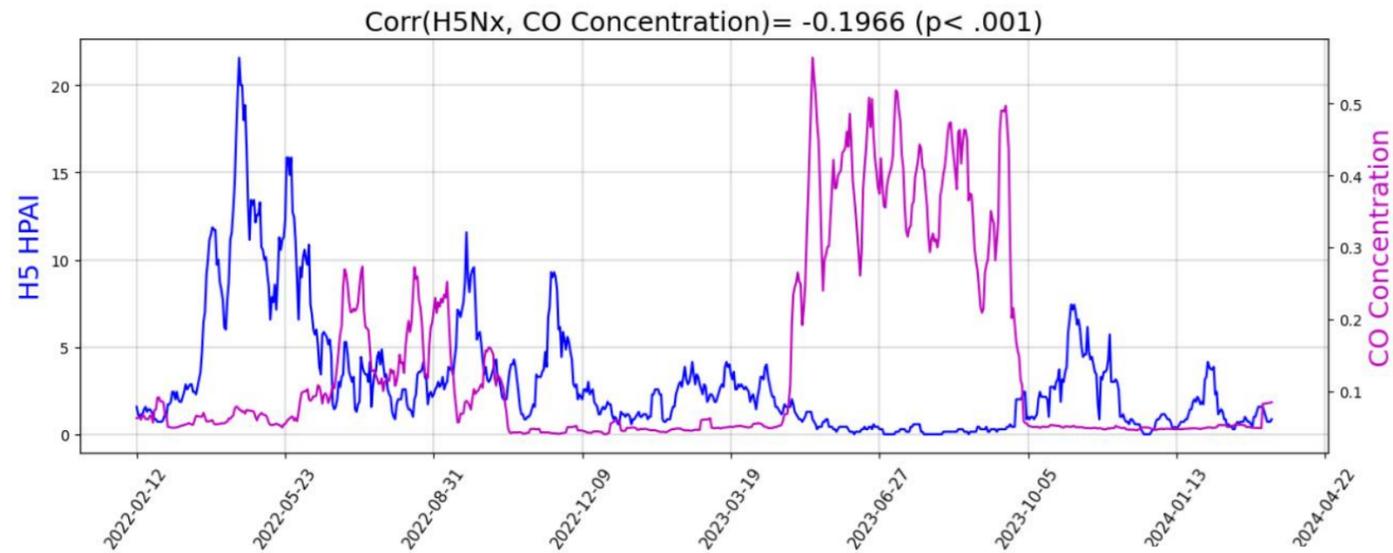
- Le nombre de publications Facebook a été recueilli à partir des pages Facebook d'éleveurs de volailles et d'oiseaux dans différentes provinces du Canada.
- Mots-clés : bird, avian, poultry, farm, waterfowl, h5, hpai, aviaire, oiseau, sauvagine, sauvagine



Méthodes : Absorption de l'ensemble de données



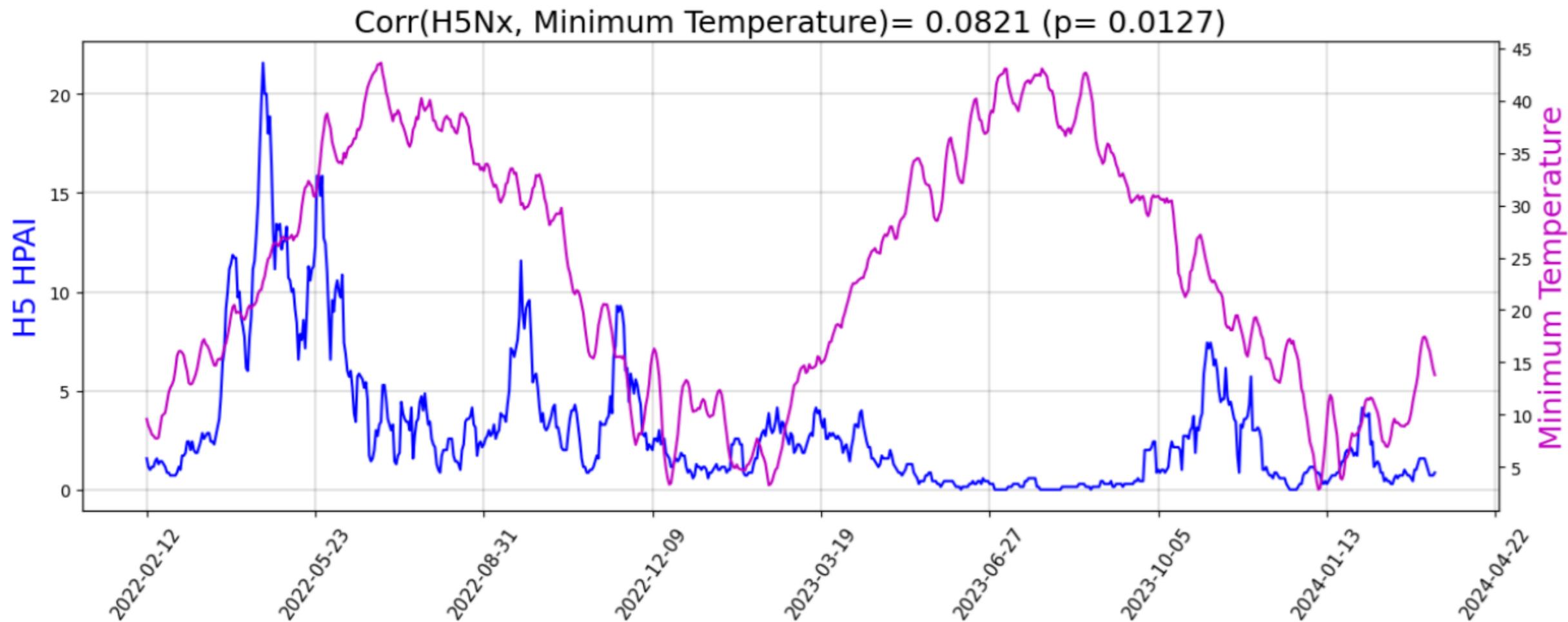
- Les données sur la qualité de l'air ont été recueillies par la mission Sentinel-5P, Google Earth Engine.
- Deux paramètres présentaient la meilleure corrélation : le CO et l'indice UV.
- Une corrélation négative indique que les oiseaux migrateurs apparaissent lorsque la pollution atmosphérique est plus faible.



Méthodes : Absorption de l'ensemble de données

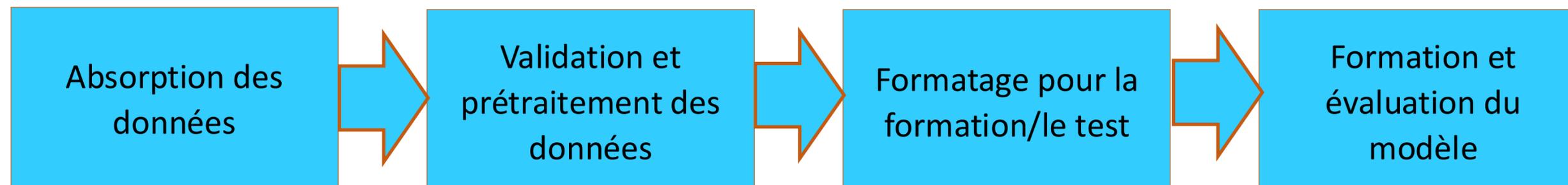


- La température est un bon indicateur pour la surveillance de l'influenza aviaire.
- Une corrélation positive indique que les oiseaux migrateurs apparaissent lorsque la corrélation est plus élevée.



Méthodes : Validation et prétraitement des données

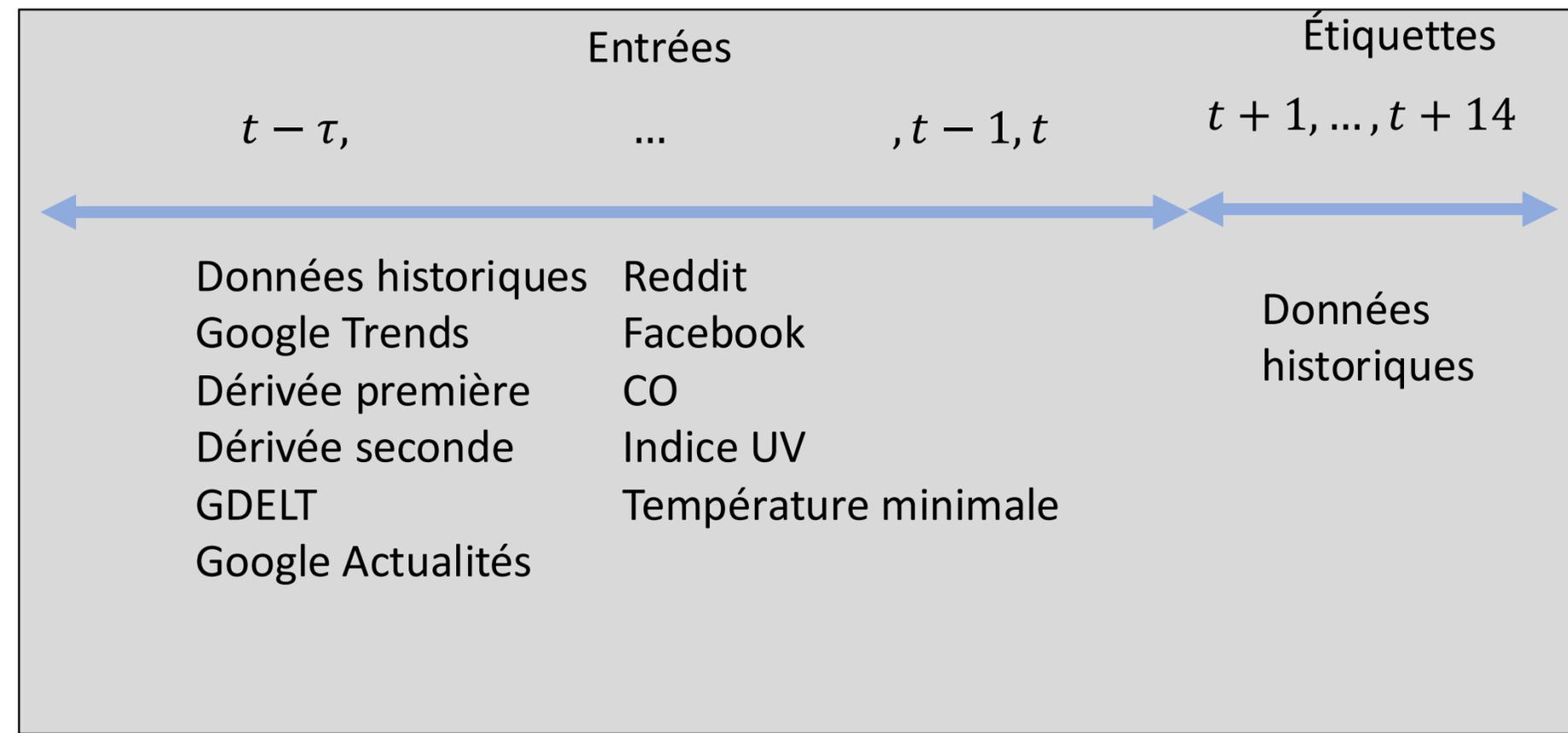
- Les ensembles de données sont organisés de manière à pouvoir être utilisés pour construire six modèles d'apprentissage automatique différents :
 - Unité récurrente à porte (GRU)
 - Mémoire à court et long terme (LSTM)
 - CNN-GRU
 - CNN-LSTM
 - Forêt d'arbres décisionnels (RF)
 - Séparateur à vaste marge (SVM)
 - Classification naïve bayésienne (NB)
- Tous les ensembles de données ont été traités comme des séries chronologiques du 4 novembre 2021 au 31 mars 2024.
- Les valeurs manquantes ont été remplacées par la moyenne des valeurs précédentes et suivantes.
- Les ensembles de données ont été mis à l'échelle à l'aide de la méthode MinMaxScaler.
 - La forêt d'arbres décisionnels ne nécessite pas de mise à l'échelle des données.



Méthodes : Formatage pour la formation/le test



- Les observations doivent être extraites des ensembles de données pour la prévision multivariée.
- Dans chaque observation :
 - Une séquence de τ valeurs précédentes de tous les ensembles de données est utilisée pour l'entrée.
 - Les 14 valeurs suivantes des données historiques sont utilisées pour les étiquettes.
- L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour unifier les différentes variables pour :
 - La forêt d'arbres décisionnels
 - Le SVM
- Ensemble de formation : 2/3 des observations
- Ensemble de test : 1/3 des observations restantes



Méthodes : Formation et évaluation du modèle



- Différents modèles ont été utilisés pour prévoir les épidémies d'influenza aviaire : GRU, LSTM, CNN-GRU, CNN-LSTM, RF et SVM.
- Les prévisions ont été établies jusqu'à 14 jours à l'avance.
 - Pour les modèles RF et SVM, 14 modèles différents doivent être formés pour établir des prévisions à 14 jours → un modèle différent pour chaque jour à l'avance.
 - Pour les méthodes d'apprentissage profond, un seul modèle doit être formé → en plaçant une couche NN linéaire au-dessus avec 14 sorties pour la projection.
- Les hyperparamètres, tels que la taille de la séquence τ , le taux d'abandon, le taux d'apprentissage, la décroissance et la taille du lot, ont été optimisés à l'aide du package WandB.
- Deux mesures ont été utilisées pour évaluer les performances :

- Racine de l'erreur quadratique moyenne (REQM)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (a_i - p_i)^2}$$

- Coefficients de corrélation

$$Corr = \frac{n \sum_i a_i p_i - \sum_i a_i \sum_i p_i}{\sqrt{n \sum_i a_i^2 - (\sum_i a_i)^2} \sqrt{n \sum_i p_i^2 - (\sum_i p_i)^2}}$$

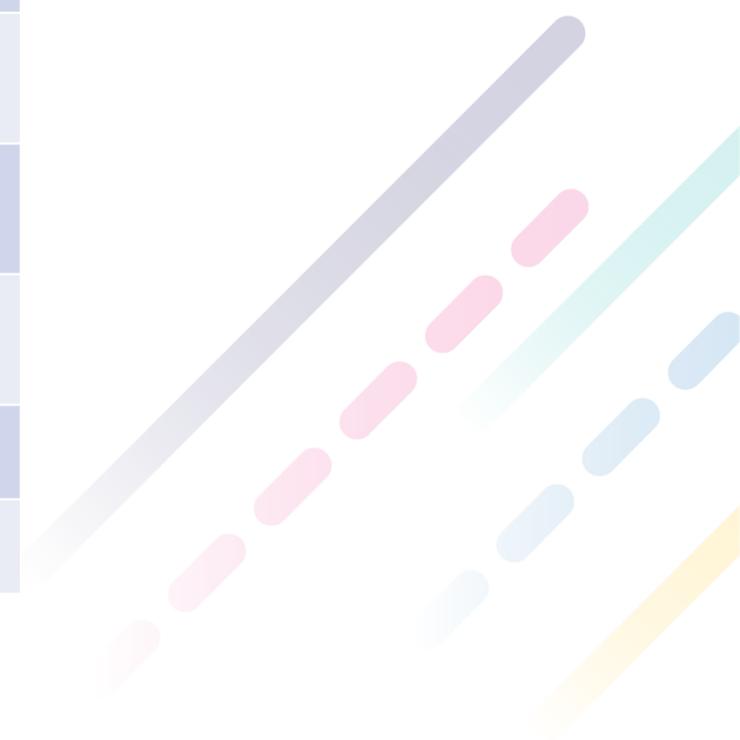
- La mesure Jackknife a été utilisée pour estimer l'importance des différentes sources de données.

Résultats : Au niveau national



- La GRU a fourni la meilleure précision parmi toutes les différentes méthodes utilisées.

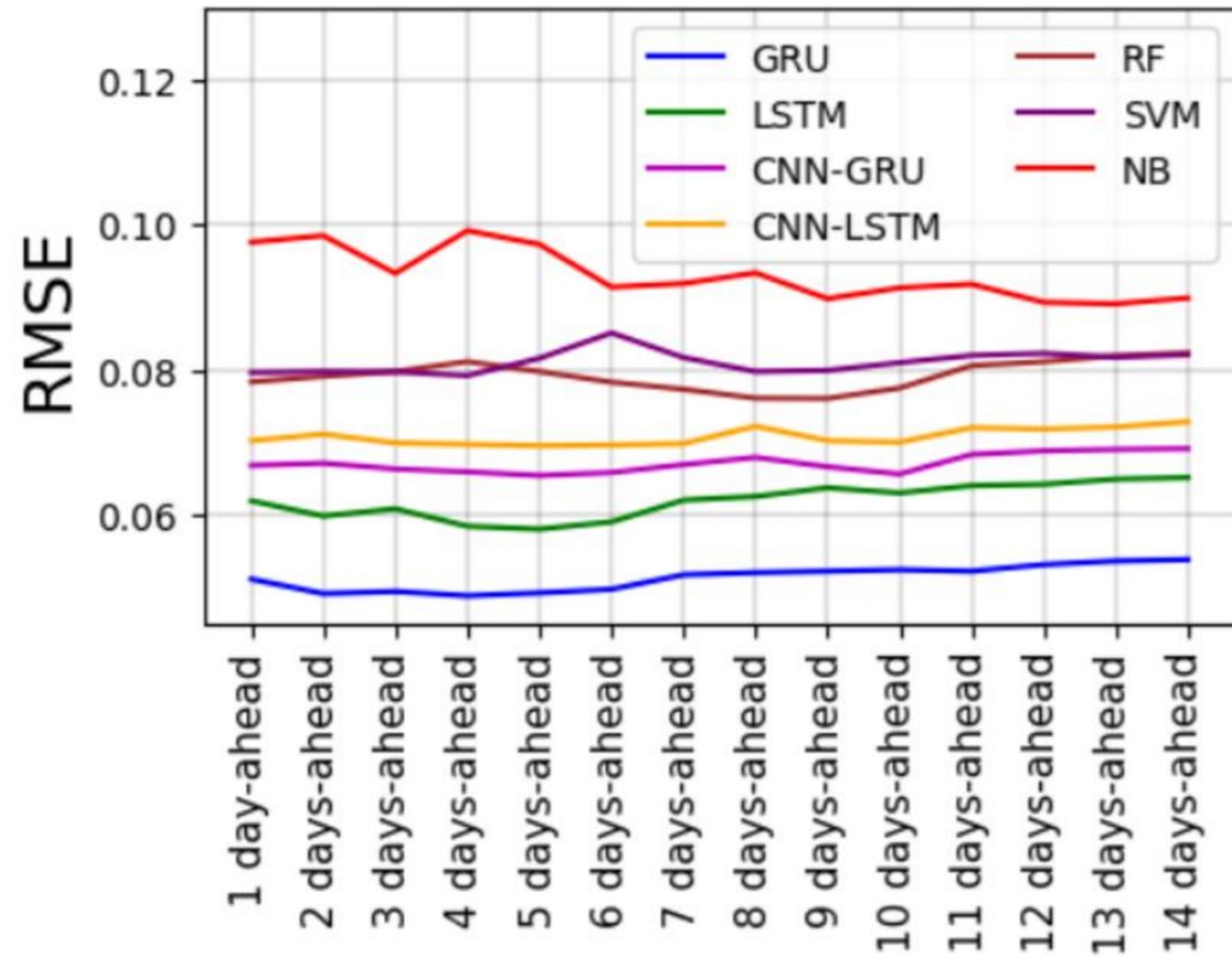
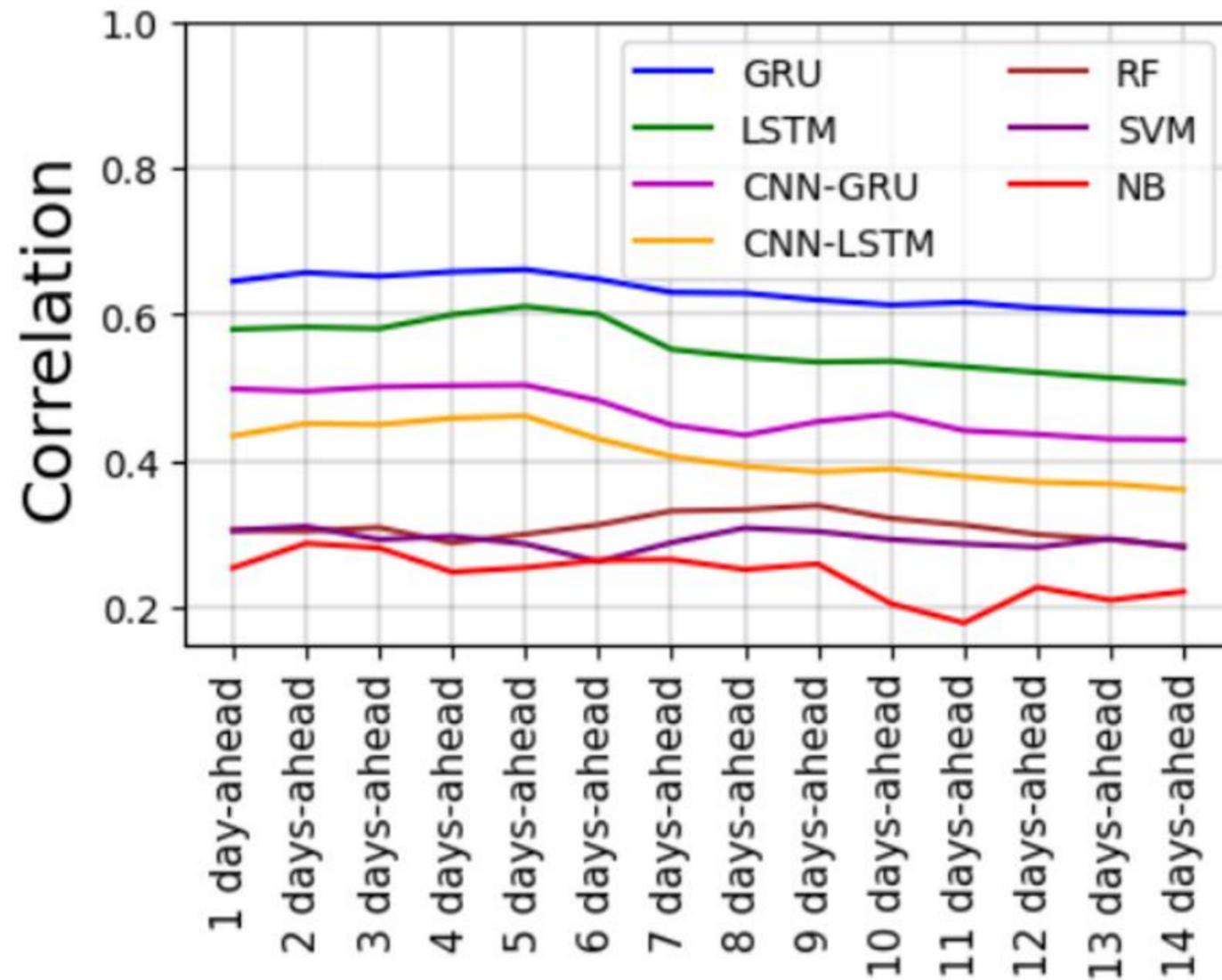
	Prévision à 5 jours		Prévision à 14 jours	
	Corrélation	REQM	Corrélation	REQM
GRU	0,661 (p < 0,001)	0,0508	0,602 (p < 0,001)	0,0538
LSTM	0,611 (p < 0,001)	0,058	0,508 (p < 0,001)	0,0651
CNN-GRU	0,504 (p < 0,001)	0,0654	0,429 (p < 0,001)	0,0691
CNN-LSTM	0,462 (p < 0,001)	0,0695	0,361 (p < 0,001)	0,0728
RF	0,3 (p < 0,001)	0,0797	0,283 (p < 0,001)	0,0823
SVM	0,287 (p < 0,001)	0,0816	0,282 (p < 0,001)	0,0826
NB	0,255 (p < 0,001)	0,0973	0,222 (p < 0,001)	0,0899



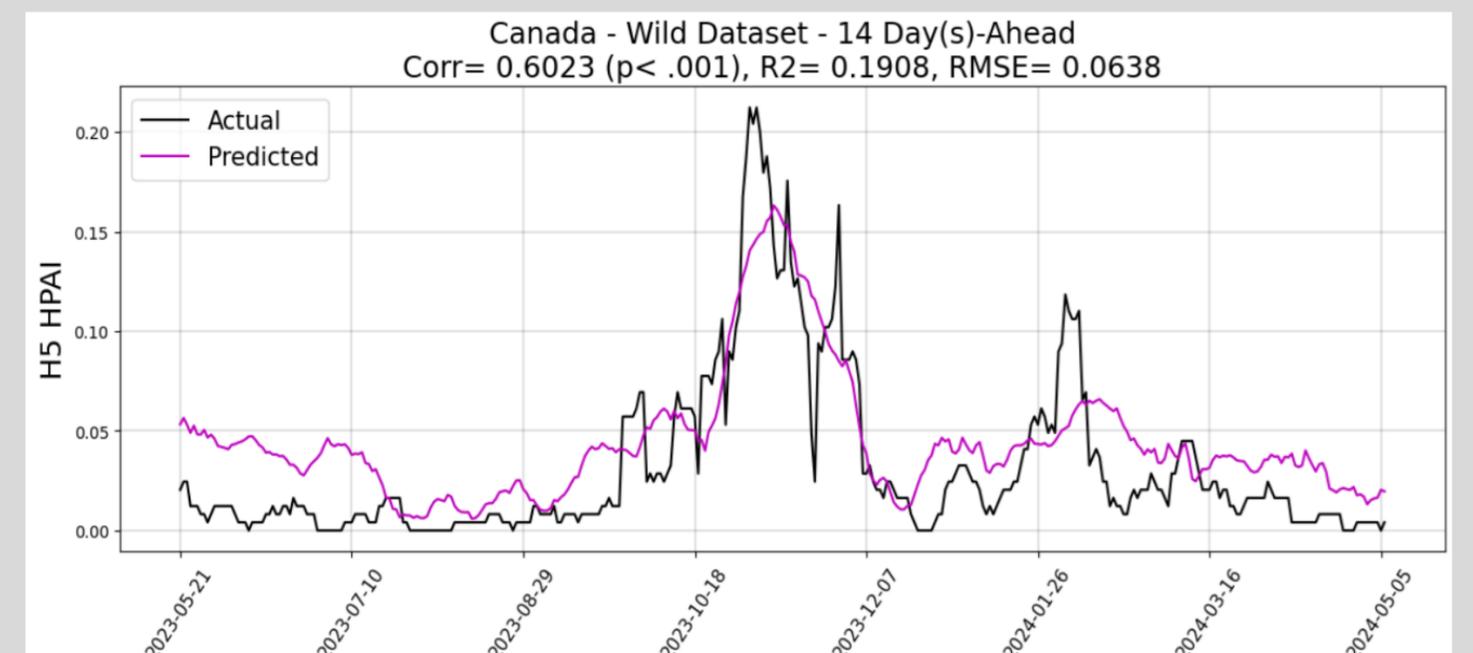
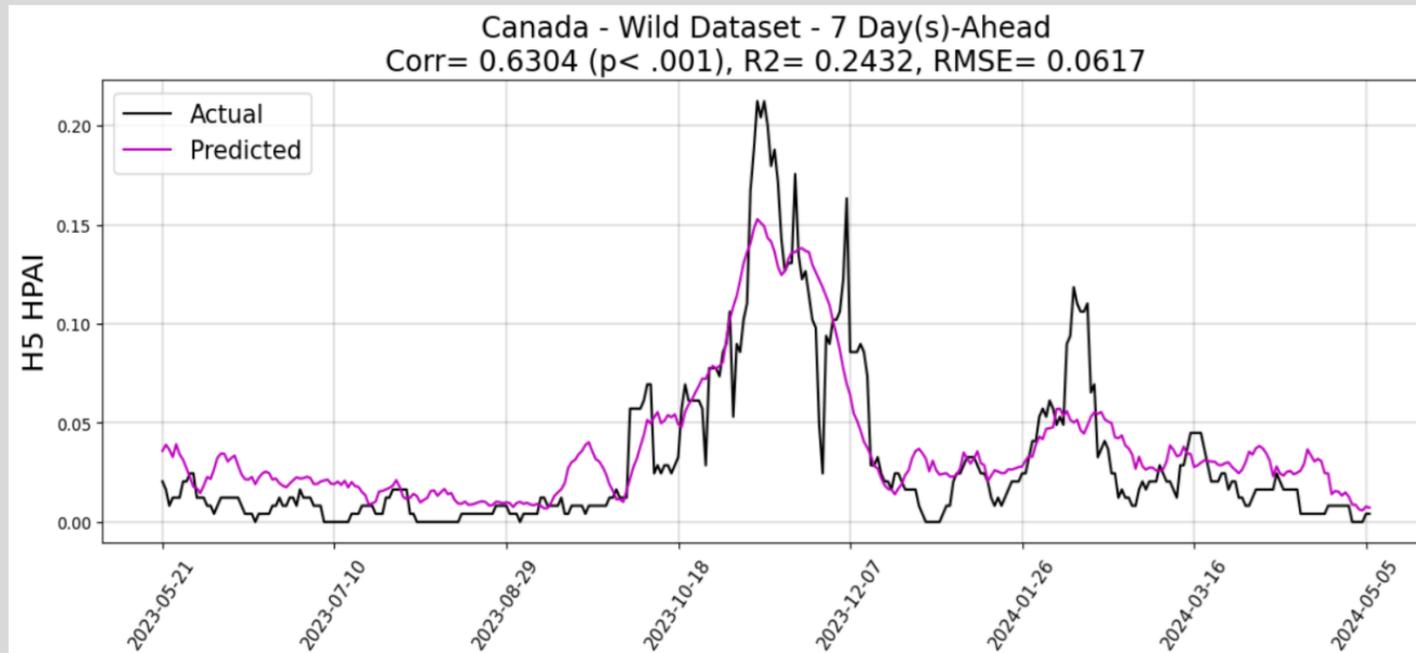
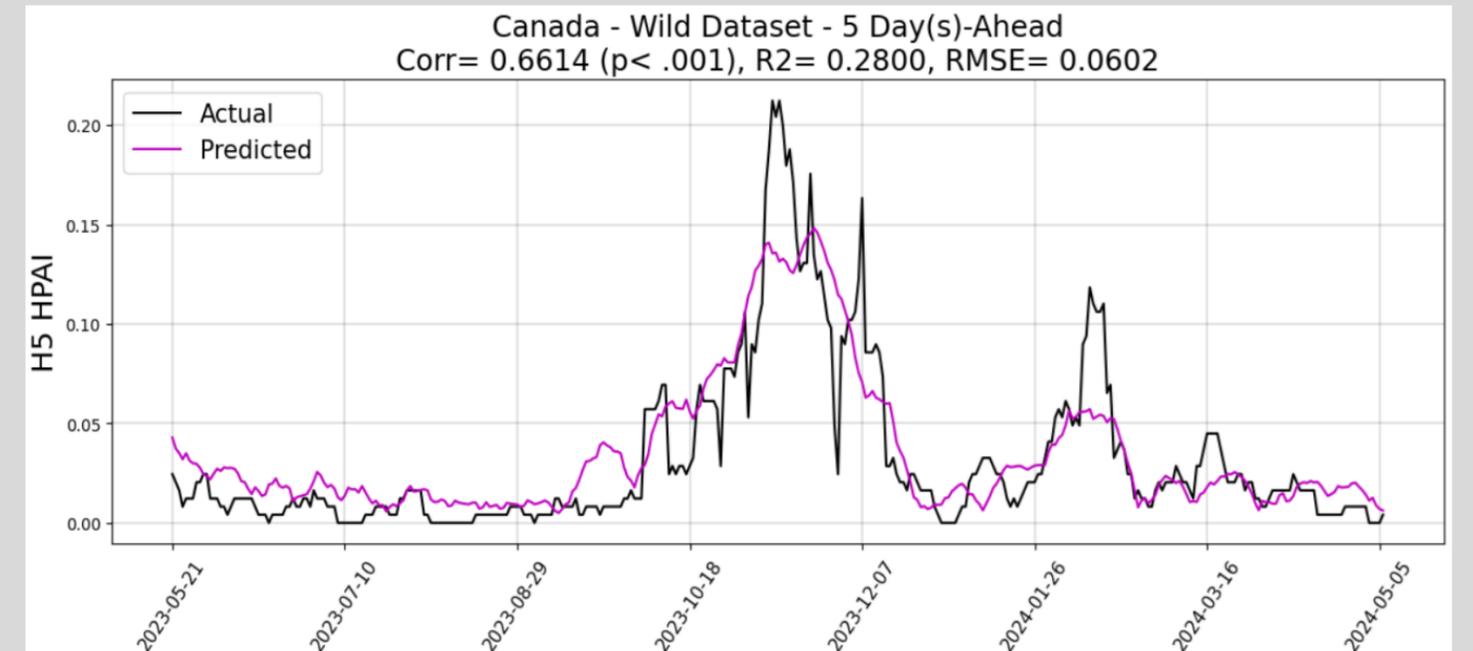
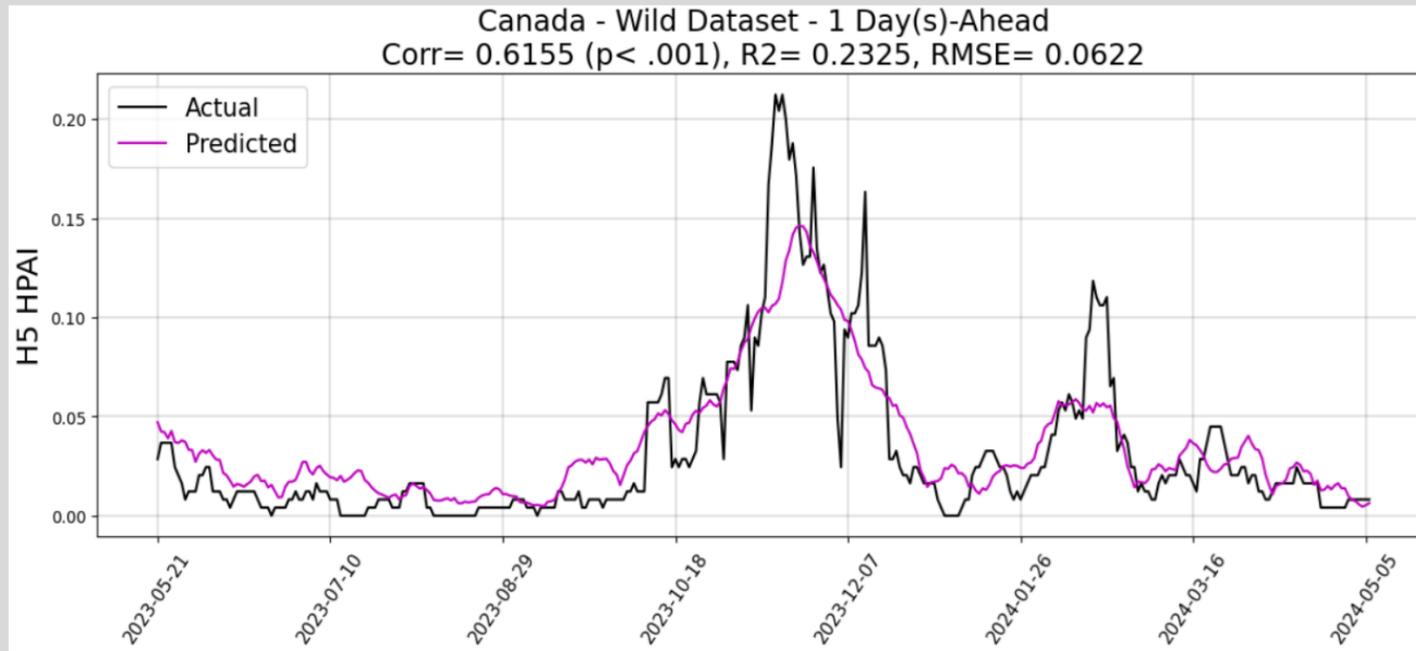
Résultats : Au niveau national



- La GRU a fourni la meilleure précision parmi toutes les différentes méthodes utilisées.



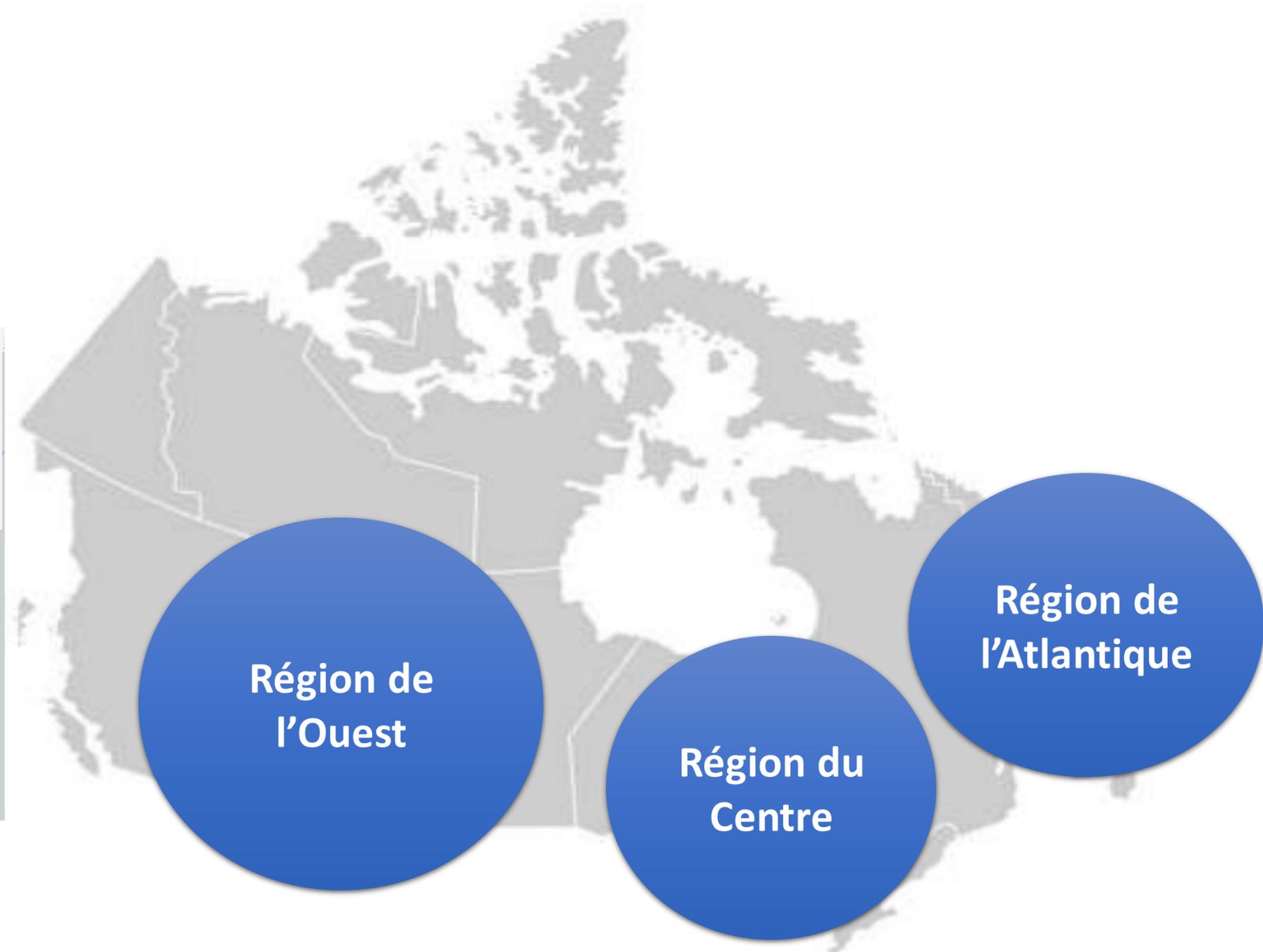
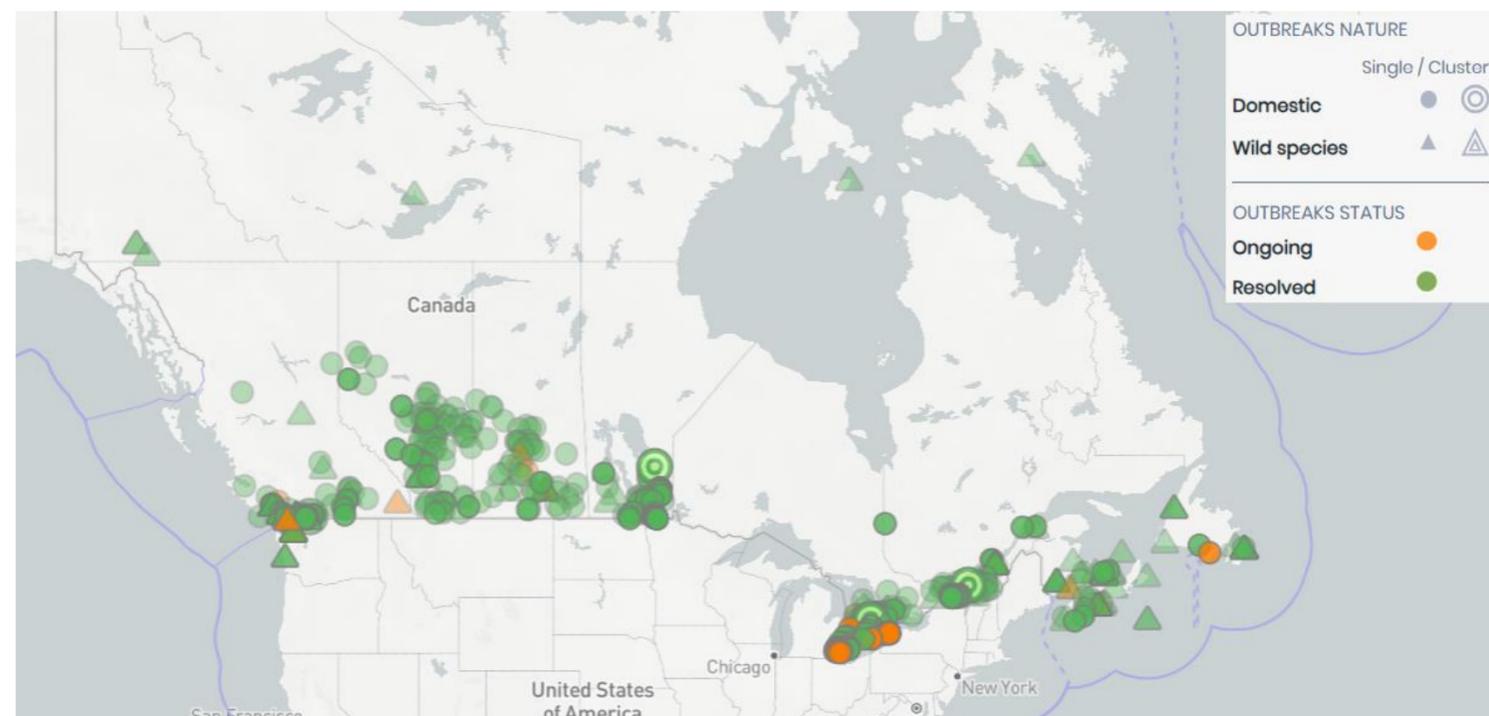
Résultats : Au niveau national



Au niveau régional



- La région territoriale a été supprimée en raison du manque de données et du faible nombre de cas d'influenza aviaire.



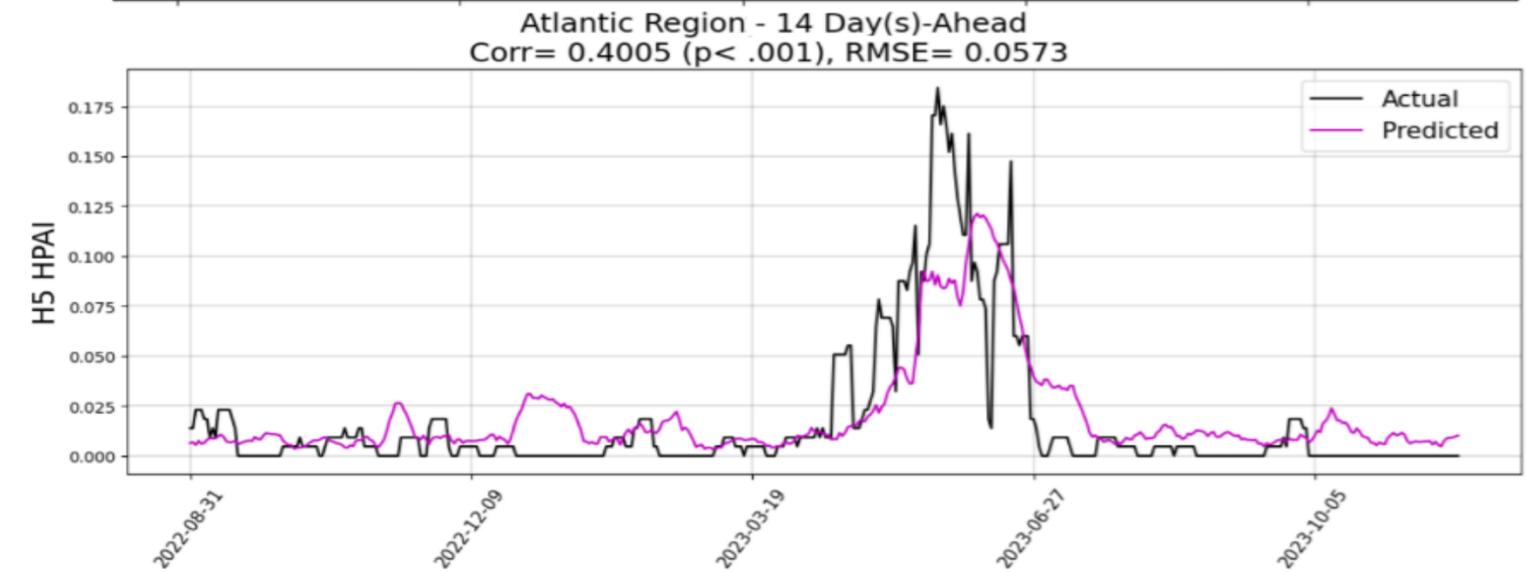
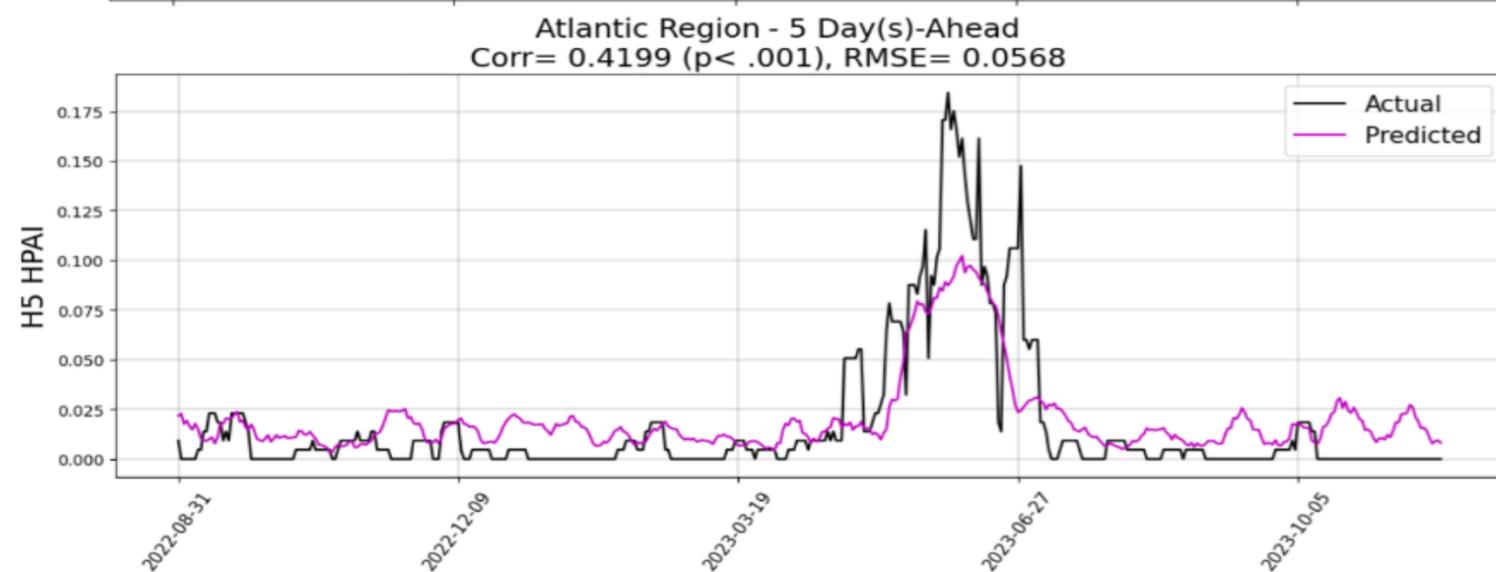
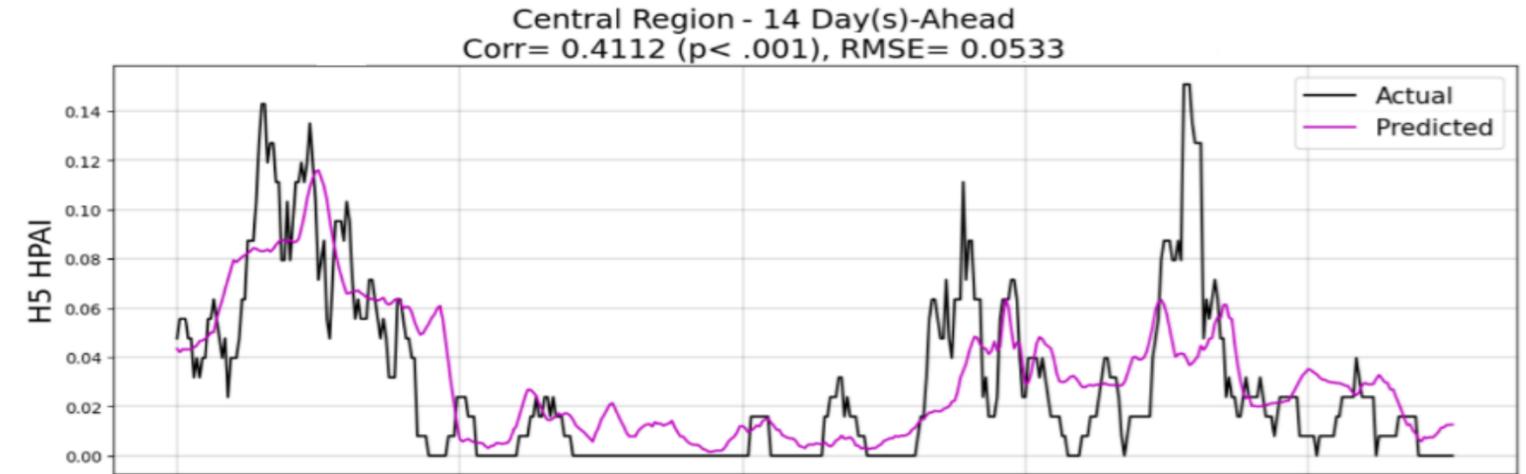
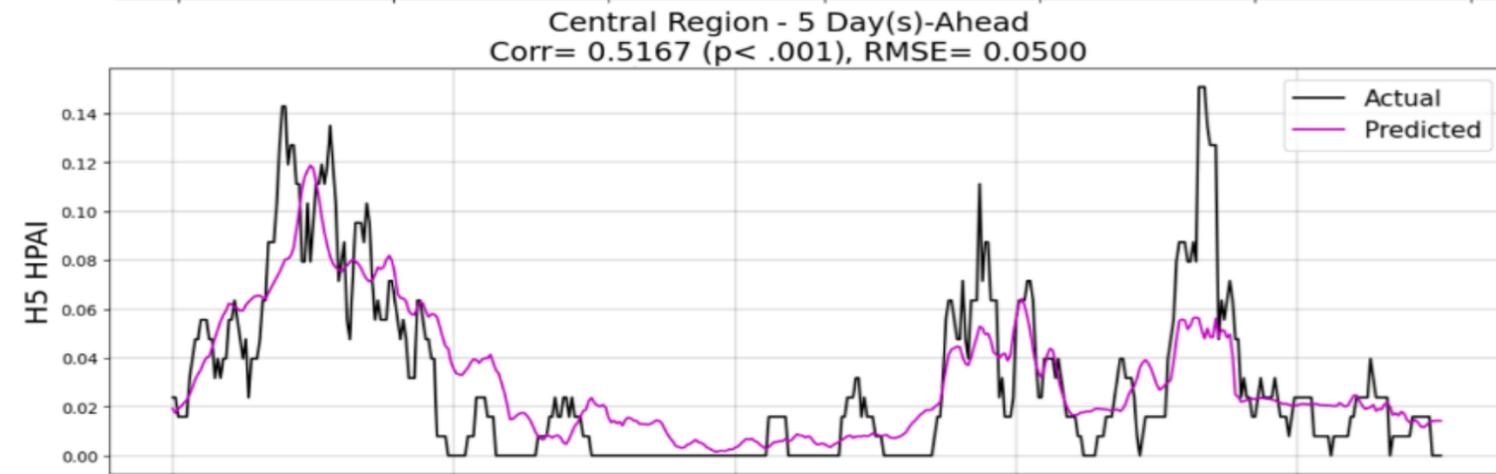
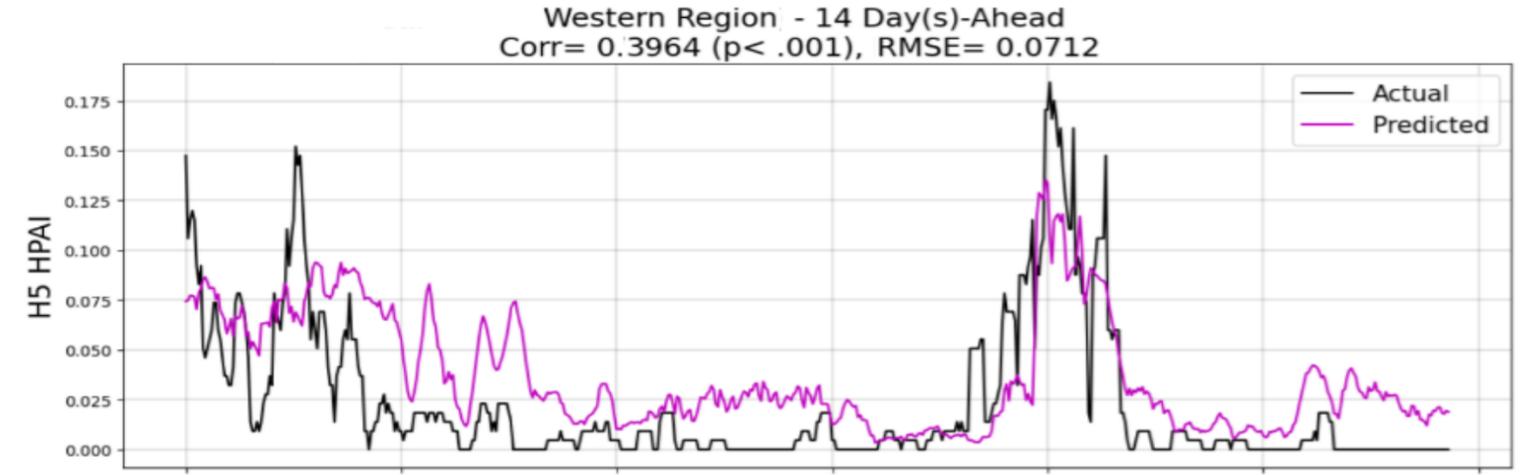
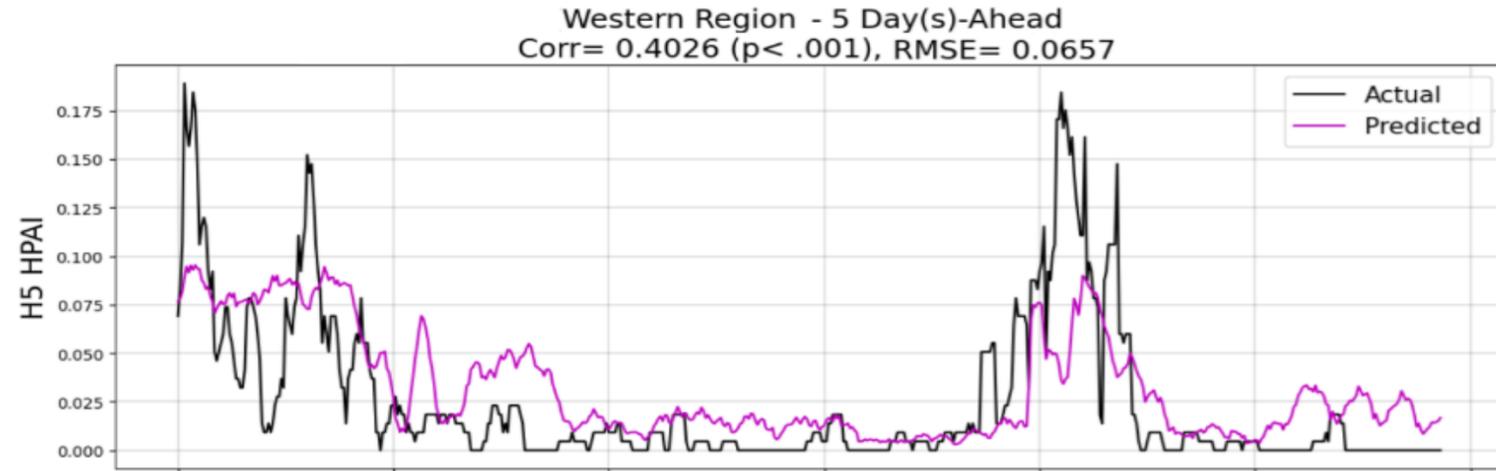
Ensemble de données au niveau régional



- La plupart des ensembles de données présentaient une faible corrélation avec le nombre de cas d'influenza aviaire dans différentes régions.

	Région de l'Ouest	Région du Centre	Région de l'Atlantique
Google Trends	0,2831 (p < 0,001)	0,1946 (p < 0,001)	–
Dérivée première	–	–	–
Dérivée seconde	–	0,0898 (p = 0,0064)	–
Google Actualités	0,1731 (p < 0,001)	0,1413 (p < 0,001)	–
Reddit	0,1741 (p < 0,001)	0,01682 (p < 0,001)	–
Facebook	0,1806 (p < 0,001)	0,0817 (p = 0,0131)	–
CO	-0,0971 (p = 0,0032)	-0,0988 (p = 0,0027)	–
Indice UV	-0,0963 (p = 0,0034)	-0,1283 (p < 0,001)	-0,0974 (p = 0,0031)
Température minimale	0,1229 (p < 0,001)	–	–
GDELT	0,2269 (p < 0,001)	0,219 (p < 0,001)	–

Résultats : Au niveau régional



Importance des caractéristiques : méthode de permutation



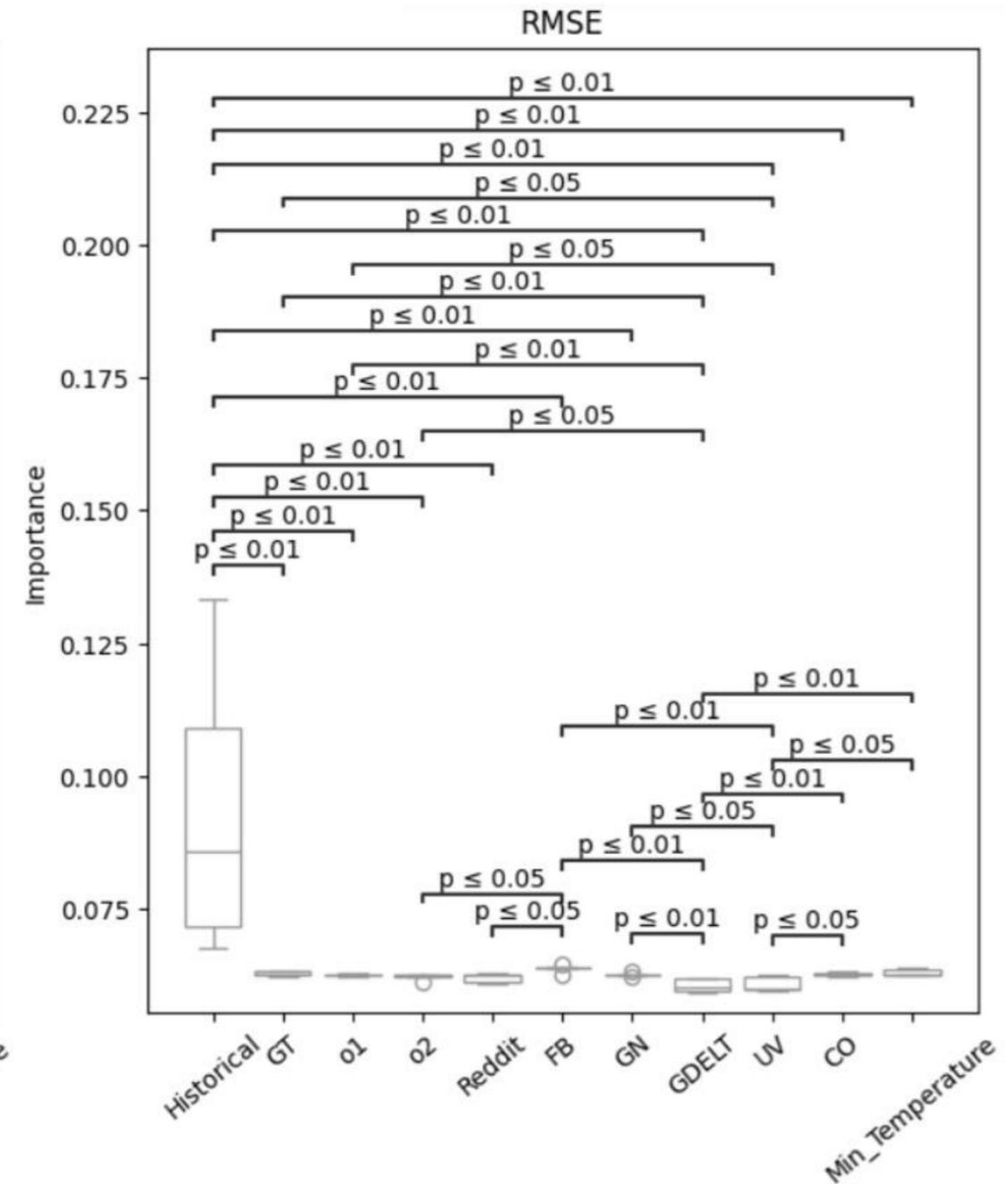
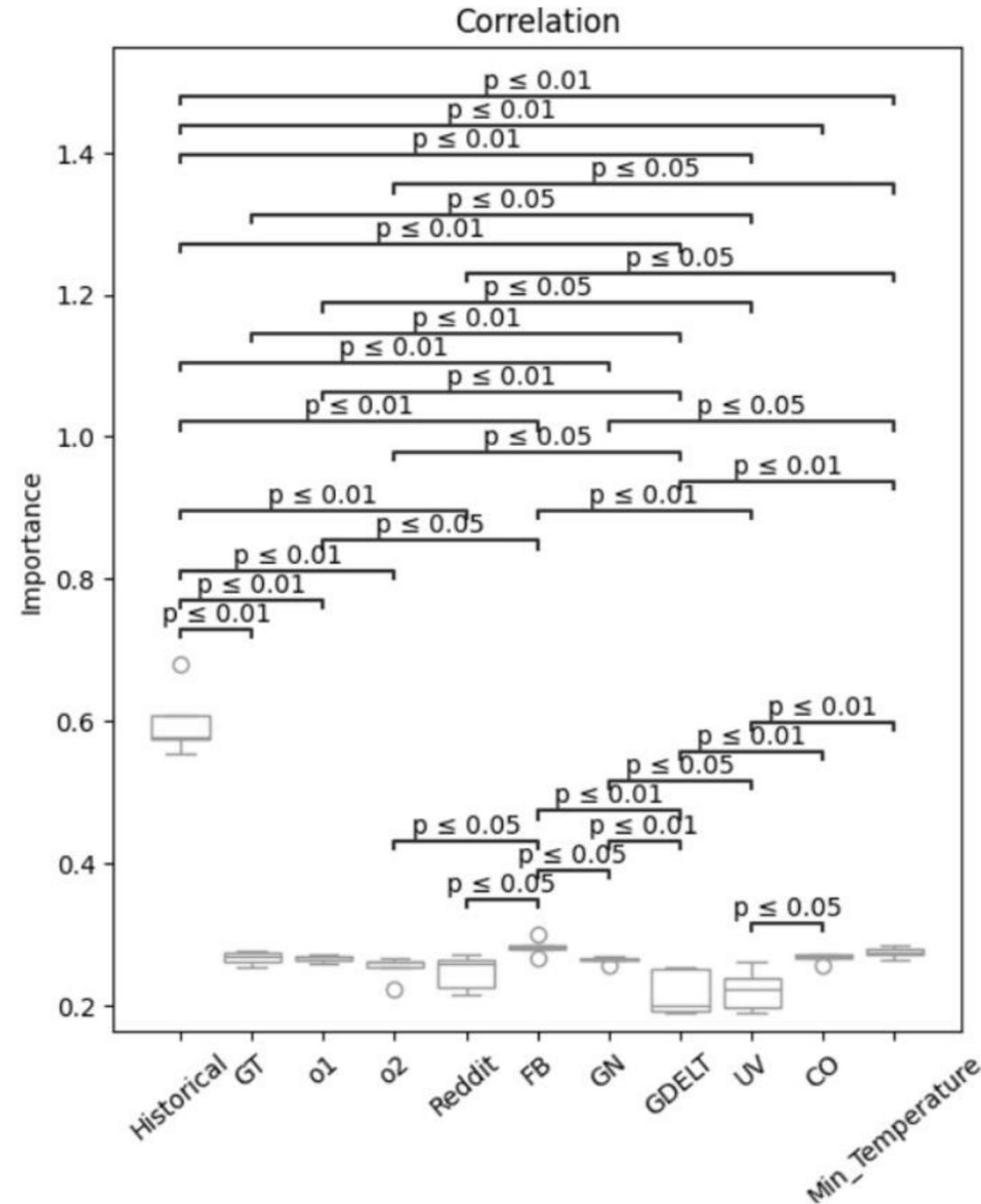
- La méthode de permutation est utilisée pour déterminer l'importance des caractéristiques.
 - Dans cette méthode, les phases de formation et d'évaluation sont répétées plusieurs fois.
 - À chaque fois, l'une des caractéristiques est permutée.
 - La dégradation des performances est calculée pour chaque métrique d'évaluation :
 - REQM
 - Corrélation
 - La dégradation de la précision indique l'importance de cette caractéristique.
- Chaque caractéristique a été permutée dix fois.
- Les dégradations des performances ont été comparées à l'aide du test U de Mann-Whitney.



Importance des caractéristiques : méthode de permutation



- Les résultats montrent que les données historiques ont la plus grande importance.
- Après les données historiques, Facebook et la température minimale ont également une importance significativement plus élevée que les autres paramètres.

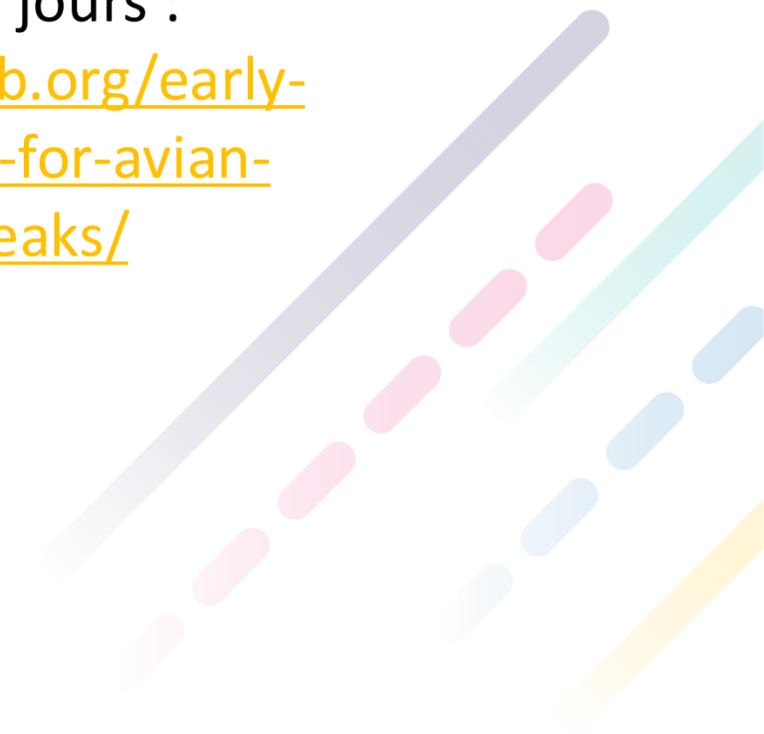


Cadre du système d'alerte précoce



- Un cadre en ligne a été élaboré à partir de cette étude afin d'illustrer les épidémies d'influenza aviaire pour les 14 prochains jours :

<https://aimmlab.org/early-warning-system-for-avian-influenza-outbreaks/>

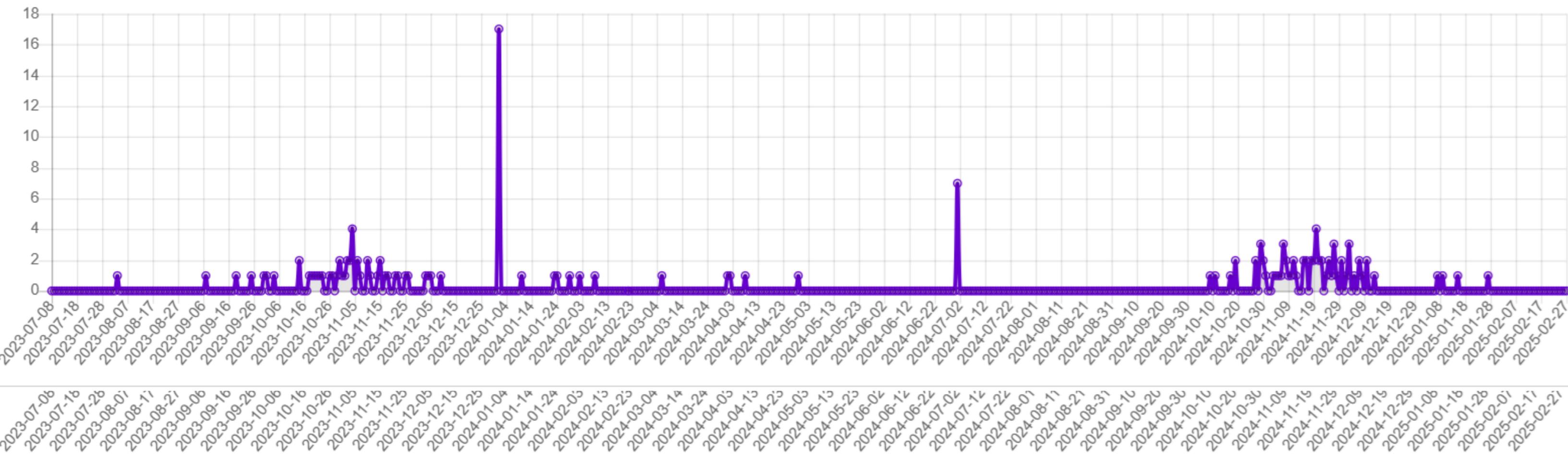


Select 4 variables with the same name

Various data sources could also be used for further surveillance of avian influenza outbreaks. Generally, a rise in Google trends, Google news, and the number of Reddit posts means that

Number of Online News Articles (CDELT)

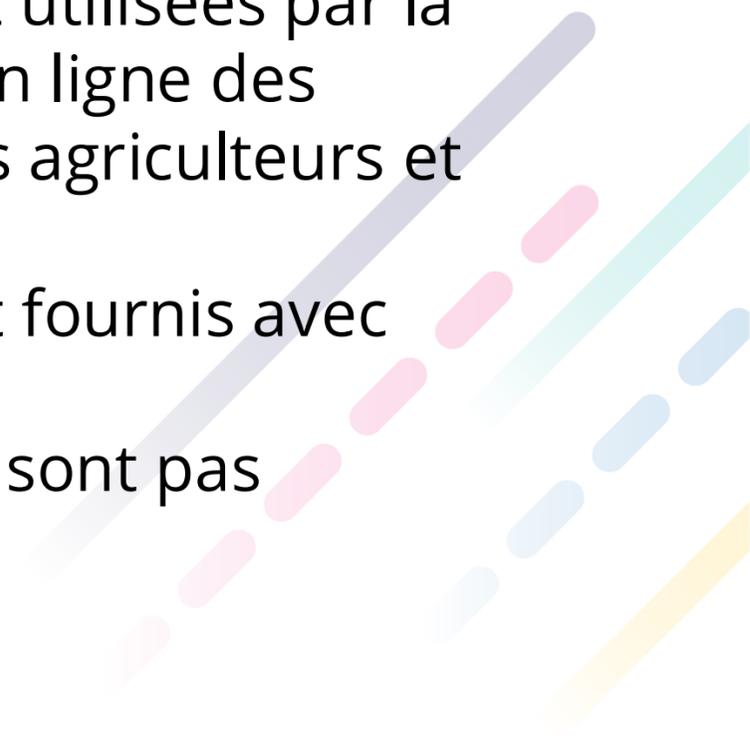
Number of Cases (WAHIS Dataset)



Discussion et conclusion



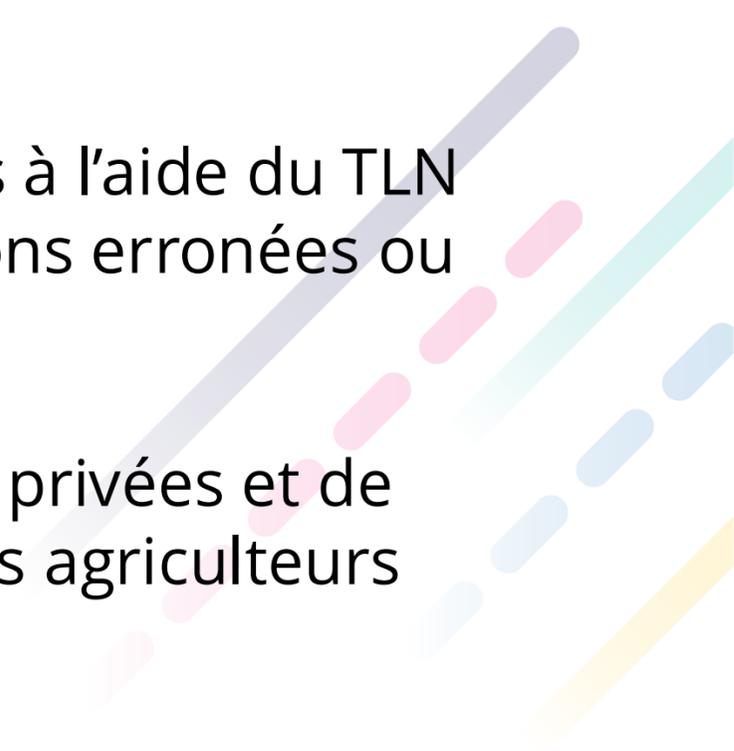
- Ce travail présente de nouvelles sources de données pour améliorer la surveillance de l'IAHP.
- Un modèle de prévision est mis en œuvre et évalué afin d'évaluer l'efficacité des sources de données.
- Une des grandes limites de ce travail est le manque d'accès à des données suffisantes.
 - Bien que nos données proviennent de plateformes publiques largement utilisées par la population générale, elles ne reflètent peut-être pas le comportement en ligne des parties prenantes les plus directement touchées par l'IAHP, telles que les agriculteurs et les travailleurs de l'industrie avicole.
 - Les ensembles de données sur le nombre de cas d'influenza aviaire sont fournis avec un retard important.
 - Les données sur les eaux usées pourraient être très utiles, mais elles ne sont pas disponibles.



Discussion et conclusion



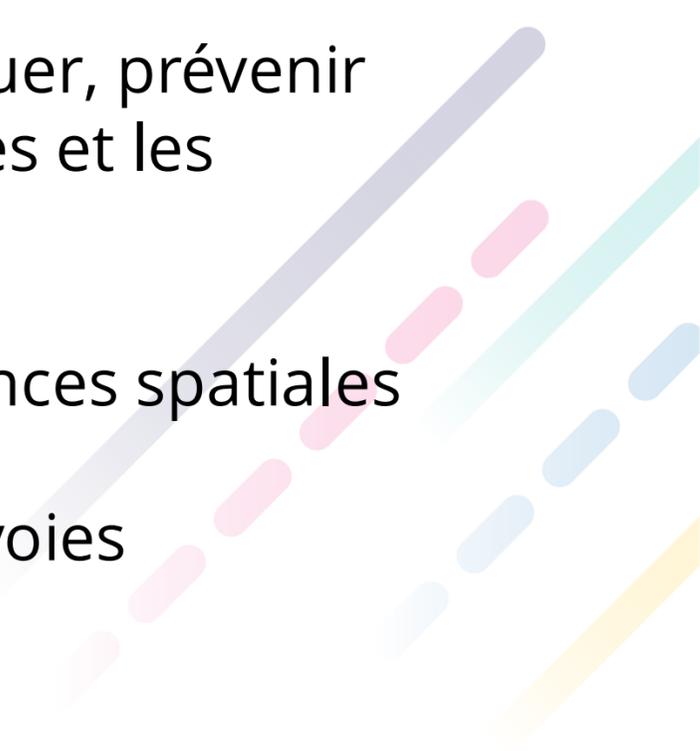
- Une autre limite réside dans le fait que les ensembles de données doivent être stockés sur des supports rapides et fiables, et que les modèles doivent être formés et évalués à l'aide de systèmes puissants équipés de GPU.
- Les résultats de ces travaux peuvent être utilisés par des systèmes aux ressources limitées, tels que les téléphones intelligents et les nœuds périphériques.
- Les travaux futurs pourraient se concentrer sur l'analyse spatiale et l'analyse des points chauds.
- À l'avenir, les publications sur les réseaux sociaux pourraient être analysées à l'aide du TLN afin de mettre en évidence les préoccupations, les craintes et les informations erronées ou trompeuses.
- Dans le cadre de travaux futurs, les données provenant de pages Facebook privées et de sous-reddits pourraient être recueillies afin de refléter le comportement des agriculteurs et des travailleurs de l'industrie avicole.



Discussion et conclusion



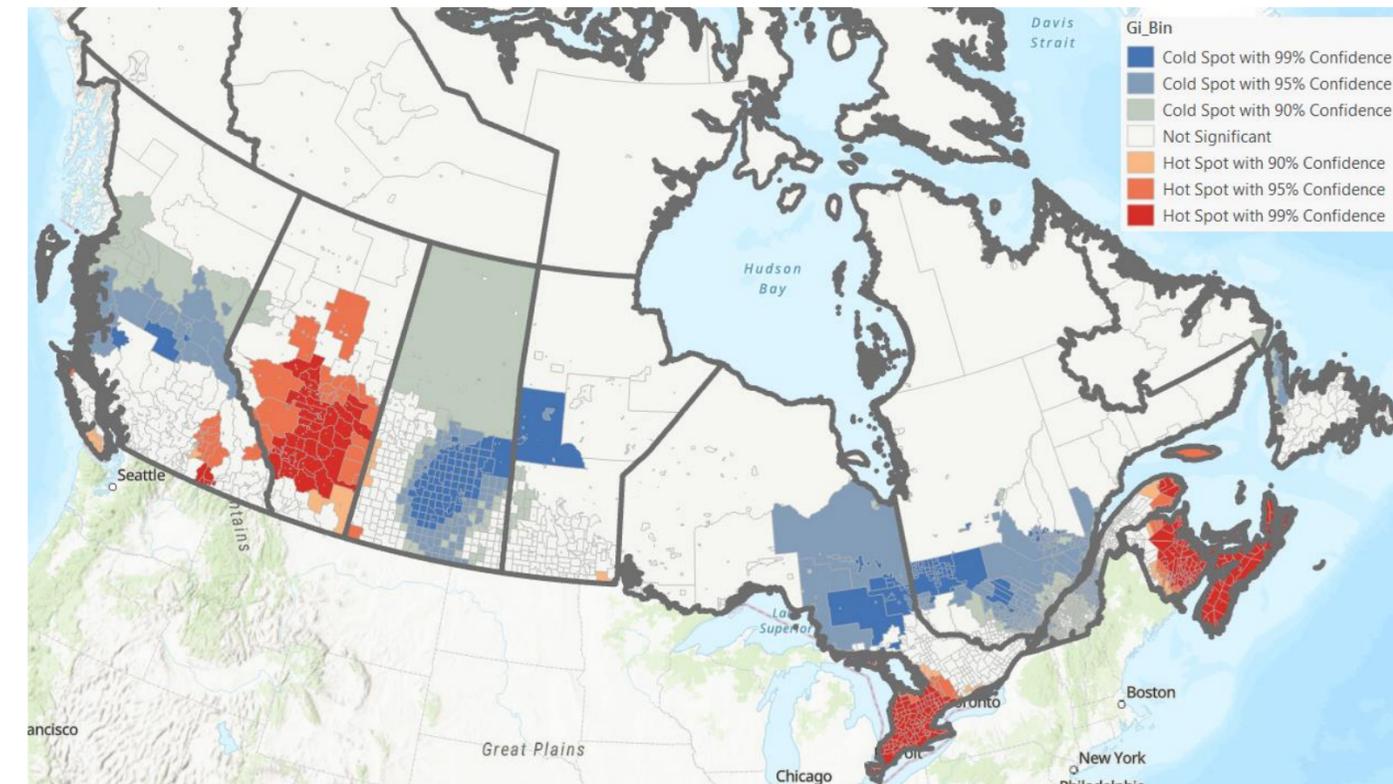
- Une autre contribution aux travaux futurs consiste à étudier la transmission de l'influenza aviaire par les bovins sauvages et domestiques et les mammifères, car il s'agit d'un problème émergent dans le cadre de la présente épidémie d'influenza aviaire.
 - Il est nécessaire de recueillir davantage de données sur les voies de transmission chez les bovins et les mammifères.
 - Il faut étudier les facteurs biologiques et environnementaux qui augmentent le risque de transmission aux bovins et aux mammifères et détecter les points chauds.
 - Il est primordial d'étudier les séquences génomiques des souches qui se transmettent par les mammifères.
 - Des mesures et des réglementations doivent être mises en place pour évaluer, prévenir ou atténuer les infections par l'influenza aviaire chez les bovins domestiques et les mammifères.
- Il est essentiel d'étudier comment le changement climatique affecte les tendances spatiales et temporelles de l'influenza aviaire.
 - Le changement climatique, l'urbanisation et la déforestation modifient les voies migratoires des animaux, en particulier des oiseaux migrateurs.



Travaux futurs



- Analyse des points chauds :
 - Identifiez les points chauds et froids de l'influenza aviaire.
 - Comprenez quels facteurs jouent un rôle plus important.
 - Identifiez les fermes et les élevages de volailles les plus exposés.
- Analyse de l'activité sur les réseaux sociaux
 - Comprenez les craintes et les préoccupations des gens à l'aide de la modélisation de sujets et de l'analyse des sentiments/émotions.
 - Comprenez les informations erronées et trompeuses qui circulent sur les réseaux sociaux.



Période de discussion

Des questions?

Veillez utiliser l'**onglet Q&R** pour soumettre vos questions à nos intervenants. Vous pouvez «**aimer**» les questions des autres pour les faire remonter dans l'ordre de priorité.



Mot de la fin



Merci!

L'enregistrement et les diapositives de la présentation du séminaire seront accessibles dans un délai de quelques semaines sur le site Web du CCNMI : <https://ccnmi.ca/>.

Veillez répondre à notre **sondage d'évaluation post-séminaire** en scannant son code QR. Le sondage d'évaluation post-séminaire d'aujourd'hui vous sera également envoyé peu après le séminaire.

Rejoignez-nous le **mardi 24 juin, 2025 de 13-14h (HE)**, pour le prochain séminaire de la saison 2024-2025

Visitez <https://nccid.ca/surveillance-advances-seminar-series/> pour plus d'informations.

