



Identification de la biodiversité : la surveillance environnementale par l'apprentissage de réseaux de neurones graphement pensés

Anastasia Zakharova, Thierry Bouwmans

► To cite this version:

Anastasia Zakharova, Thierry Bouwmans. Identification de la biodiversité : la surveillance environnementale par l'apprentissage de réseaux de neurones graphement pensés. *Ébullition(s) : le cahier illustré de la recherche*, 2026, 5, <10.59655/nk52122995495>. <hal-05680258>

HAL Id: hal-05680258

<https://univ-pau.hal.science/hal-05680258v1>

Submitted on 4 Jul 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No
Derivative Works - International License

IDENTIFICATION DE LA BIODIVERSITÉ :

LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE PAR L'APPRENTISSAGE DE RÉSEAUX DE NEURONES GRAPHEMENT PENSÉS

Dans notre époque d'avalanche de données, les capteurs qui les collectent se trouvent partout : ils sont dans les rues d'une métropole, sous l'eau ou sous une branche d'arbre hébergeant des espèces diverses. Soit pour détecter des voitures afin de sécuriser les milieux urbains, soit pour classifier des signaux sonores afin de préserver la santé des forêts, **ce ne sont pas les données qui manquent, mais plutôt des spécialistes qui peuvent les analyser ou les labelliser**, une tâche très chronophage qui nécessite parfois des compétences spécifiques.

Aussi nécessaire que soit la surveillance de l'environnement, elle pose des enjeux éthiques comme celui de la protection de la vie privée. Une solution peut être trouvée en anonymisant toutes les données humaines permettant d'identifier les personnes, rendant possible l'utilisation de certains outils de surveillance en respectant ces normes éthiques. La question qui se pose est donc : **comment le faire d'une façon à la fois rapide et fiable ?**

Ce sont les réseaux de neurones à graphes qui vont nous venir en aide. Grâce à leur structure, ces modèles mathématiques sont capables de relever automatiquement des connexions, ou des ressemblances parfois imperceptibles à l'œil non expérimenté, entre les données. Mieux encore, en passant par l'approche inductive, nous réussissons à diminuer le besoin de données labellisées.

**SURVEILLER POUR MIEUX PRÉSERVER :
DE L'ANALYSE HUMAINE À L'INTELLIGENCE
ARTIFICIELLE**

La préservation de l'environnement est une question cruciale à l'échelle mondiale qui nécessite la mise en œuvre de technologies de pointe pour la surveillance et la protection intelligentes des écosystèmes naturels. En pratique, deux moyens principaux sont utilisés. Le premier consiste à observer les activités humaines afin de réglementer et de limiter leurs impacts. Le second porte sur le suivi de l'état de la faune et de la flore et de leur évolution en collectant diverses données qui aident à comprendre la dynamique des écosystèmes, à détecter les changements qui s'y opèrent et à élaborer des stratégies de

préservation. Dans ce cadre, ces tâches sont généralement réalisées au moyen de diverses techniques qui permettent une surveillance à distance. Pour la surveillance visuelle, des capteurs, comme des caméras conventionnelles du domaine visible ou des caméras infra-rouge, sont utilisés. La surveillance acoustique, elle, nécessite divers outils de détection et de classification sonore: ainsi, les capteurs sonores peuvent être des micros, des hydrophones (des micros conçus pour être immergés dans un liquide), ou encore des capteurs bio-acoustiques permettant d'enregistrer des communications acoustiques chez les animaux. Les données abondantes produites par ces divers capteurs, tant en vidéosurveillance qu'en surveillance acoustique, sont impossibles à traiter et à





analyser par l'être humain. Cela nécessite des systèmes intelligents reposant sur des méthodes de traitement d'apprentissage avancées. Dans ce contexte, l'apprentissage profond (*deep learning*) s'impose comme un outil puissant pour l'analyse de ces données, permettant l'identification de tendances et l'extraction d'informations pertinentes. Cependant, la nature complexe et interconnectée des données environnementales requiert souvent la mise en œuvre de techniques analytiques plus élaborées.

LES GRAPHES, UNE PRODUCTION D'INFORMATIONS DÉTAILLÉE ET STRUCTURÉE

Afin de relever ces défis, les chercheurs utilisent des modèles mathématiques basés sur les graphes [1], un instrument efficace pour représenter les relations entre différents éléments ou entités environnementaux. Un graphe est composé de nœuds, qui se traduisent par des points et représentent des caractéristiques environnementales spécifiques (les objets), et d'arêtes, qui se traduisent par des liens entre les objets et représentent les interactions entre ces caractéristiques [2]. Par exemple, les graphes peuvent être utilisés pour illustrer les interactions entre différentes espèces dans une forêt ou les schémas

de déplacement des piétons et des véhicules dans une ville. Ce type de représentation structurée permet une analyse plus détaillée des interactions qui se jouent dans un milieu, améliorant ainsi la précision et l'efficacité des efforts de surveillance et contribuant, en fin de compte, à des stratégies de préservation de l'environnement plus efficaces.

La surveillance sonore et visuelle passive vise à segmenter et à suivre les objets en mouvement (tels que les personnes, les véhicules ou les animaux). L'objectif est de protéger la population et de contrôler la circulation en milieu urbain, tout en aidant le travail des écologues dans l'identification des espèces et le dénombrement des individus, ainsi que celui des éthologues, les chercheurs qui étudient le comportement et les interactions des animaux dans l'environnement. Cette approche est principalement utilisée en vidéosurveillance pour l'analyse et le comptage du trafic. Les capteurs sont déployés dans des environnements complexes : en surface (milieu urbain, milieu forestier, rivières et milieu maritime) et dans les milieux sous-marins. Cela pose divers défis pour la collecte et l'analyse des données comme les imprécisions, incertitudes et incomplétudes générées par les problèmes

« AFIN D'AMÉLIORER LA FIABILITÉ DES SYSTÈMES DE SURVEILLANCE, LES CHERCHEURS UTILISENT DES RÉSEAUX NEURONAUX SOUS FORME DE GRAPHS NEURONAUX. CE SONT DES MODÈLES MATHÉMATIQUES QUI PERMETTENT DE CRÉER DES ALGORITHMES CAPABLES D'APPRENDRE À PARTIR DE DONNÉES (LES BASES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE). »

d'occlusion et d'éclairage variable, et les difficultés liées aux conditions météorologiques. Quant à la surveillance acoustique passive, elle consiste à détecter et à classifier les sons émis par les animaux. Les capteurs sont également déployés dans divers environnements complexes, en surface et sous l'eau, ce qui pose de nombreux défis pour la collecte et l'analyse des données. Afin d'améliorer la fiabilité des systèmes de surveillance, les chercheurs utilisent des réseaux neuronaux sous forme de graphes neuronaux. Ce sont des modèles mathématiques qui permettent de créer des algorithmes capables d'apprendre à partir de données (les bases de l'intelligence artificielle). Ainsi, dans les réseaux neuronaux sous forme de graphe, les algorithmes développés vont utiliser les interactions représentées pour comprendre, classer et prédire les interactions dans le milieu. En se basant sur l'utilisation de données multisensorielles (issues des captations visuelles et sonores), ils permettent aux chercheurs d'étudier des solutions innovantes pour relever d'autres défis.

SOYONS INDUCTIFS POUR DÉTECTER ET CLASSIFIER

L'équipe de recherche a opté pour un concept inductif [3] (on cherche à tirer une règle générale construite à partir d'observations), par opposition aux concepts transductifs conventionnels (on cherche à tirer une conclusion pour un cas particulier à partir de cas similaires). Ce cadre permet d'apprendre à partir d'une quantité limitée de données labellisées par un expert, offrant ainsi une plus grande souplesse au niveau du déploiement sur site.

Bien que les applications possibles (et même déjà existantes) d'une telle technique sont très variées, cet article ne vise que deux d'entre elles : la *segmentation d'objets mobiles* (qui a lieu en milieu urbain) et de la *classification des transformations écoacoustiques* (qui a lieu au cœur de la forêt tropicale).

Pour la segmentation, les chercheurs ont proposé une méthode surnommée « GraphIMOS », qui figure parmi les premières techniques inductives appliquées au domaine de la segmentation d'objets en mouvement. Pratiquement chaque nœud du graphe représente l'objet mobile d'une scène, et les connections entre les nœuds représentent les

L'APPRENTISSAGE INDUCTIF, UNE
APPROCHE BASÉE SUR L'OBSERVATION...



relations entre ces objets mobiles qui peuvent être des humains, des voitures, des animaux... tout dépend de la vidéo à analyser. Grâce à sa nature inductive, cette méthode donne des résultats satisfaisants pour des vidéos inédites, un scénario dans lequel un algorithme transductif, basé sur la comparaison de cas similaires, serait en échec.

Selon les résultats numériques obtenus en testant des images de jeux de données (CDNet 2014), GraphIMOS surpasse les méthodes transductives et inductives. Comme cette technique repose sur l'apprentissage inductif (réalisé à partir d'observations), elle est aussi parfaitement adaptée aux applications réelles, offrant un bon compromis entre performance et applicabilité tant dans des environnements de surface [3] que dans des environnements sous-marins [4].

Pour la *classification des transformations écoacoustiques*, l'équipe de recherche a été inspirée par des études sur l'évolution des écosystèmes dans différentes zones géographiques de la forêt tropicale de Bolívar en Colombie. Bien que reconnue pour sa grande diversité biologique, celle-ci fait actuellement face à des pressions environnementales croissantes menaçant l'intégrité de ses écosystèmes. Ainsi, en collaboration avec des chercheurs colombiens de l'université de Antioquia (Medellín), les chercheurs du laboratoire MIA ont proposé une approche innovante utilisant des réseaux de neurones convolutifs sous forme de graphes de manière inductive appelée « IGraphEAMON ». Cette fois, chaque noeud du graphe représente un son d'animal de la scène (ou, plus précisément, ses caractéristiques sonores) et les connections entre les nœuds représentent

« POUR LA CLASSIFICATION
DES TRANSFORMATIONS
ÉCOACOUSTIQUES,
L'ÉQUIPE DE RECHERCHE
A ÉTÉ INSPIRÉE PAR LES
ÉTUDES SUR L'ÉVOLUTION
DES ÉCOSYSTÈMES DANS
DIFFÉRENTES ZONES
GÉOGRAPHIQUES DE LA
FORÊT TROPICALE DE
BOLÍVAR EN COLOMBIE. »

les relations entre les sons. Cette méthode de classification et de regroupement de données offre une meilleure interprétabilité que les méthodes basées sur un modèle de mélange gaussien, dans lequel les valeurs courantes apparaissent fréquemment, tandis que les valeurs très petites et très grandes sont rares (graphiquement, cela apparaît sous la forme d'une courbe en cloche) [5, 6].

QUELLES PERSPECTIVES ?

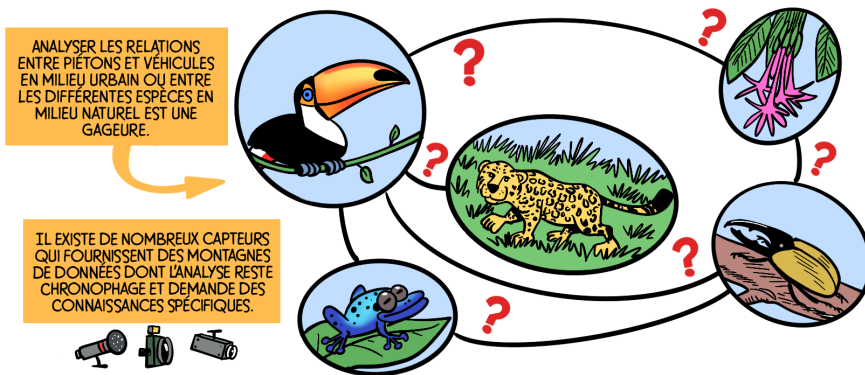
Si l'approche inductive basée sur un réseau de neurones à graphes a fait ses preuves, tant en utilité qu'en polyvalence des applications, il reste encore des aspects à améliorer dans la manière de traiter les ensembles de données réelles dépourvus d'exemples annotés. Les chercheurs pensent que la mise en œuvre de graphes dynamiques pourrait améliorer leurs résultats, en intégrant non seulement les dimensions spatiales, mais aussi les aspects temporels. De nombreuses opportunités de recherche existent, notamment en vision et en surveillance acoustique passives, où les solutions inductives basées sur les graphes commencent seulement à émerger.

Financier : La Rochelle Université, ECOS-NORD

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Zhou J., Cui G., Hu S., Zhang Z., Yang C., Liu Z., Wang L., Li C. et Sun M. (2020), « Graph neural networks: A review of methods and applications », *AI Open*, 1, p. 57-81.
- [2] Giraldo J., Javed S. et Bouwmans T. (2022), « Graph Moving Object Segmentation », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44, p. 2485-2503.
- [3] Prummel W., Giraldo J., Zakharova A. et Bouwmans T. (2023), « Inductive Graph Neural Networks for Moving Object Segmentation », dans *IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2023*, Kuala Lumpur, IEEE, p. 2730-2734.
- [4] Kapoor M., Prummel W., Giraldo J., Subudhi B., Zakharova A., Bouwmans T. et Bansal A. (2025), « Graph-based Moving Object Segmentation for Underwater Videos using Semi-supervised Learning », *Computer Vision and Image Understanding*, 252. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2025.104290>
- [5] Rendon N., Giraldo J., Bouwmans T., Rodriguez-Buritica S., Ramirez E. et Isaza C. (2023), « Uncertainty Clustering Internal Validity Assessment using Fréchet Distance for Unsupervised Learning », *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 124. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106635>
- [6] Rendon N., Guerrero M. J., Sanchez-Giraldo C., Martinez V., Paniagua-Villada C., Bouwmans T., Rojas J. et Isaza C. (2025), « Letting Ecosystems Speak for Themselves: An Unsupervised Methodology for Mapping Landscape Acoustic Heterogeneity », *Environmental Modelling and Software*, 187. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106373>

Identification de la biodiversité : la surveillance environnementale par l'apprentissage de réseaux de neurones graphement pensés



DÈS LORS, COMMENT LE FAIRE DE MANIÈRE FIABLE ET PLUS RAPIDE QUE L'HUMAIN ?

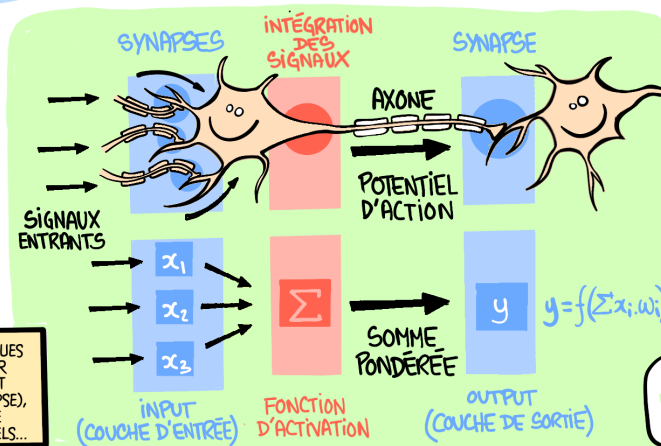
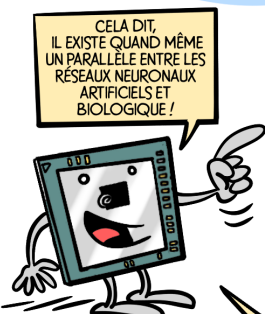
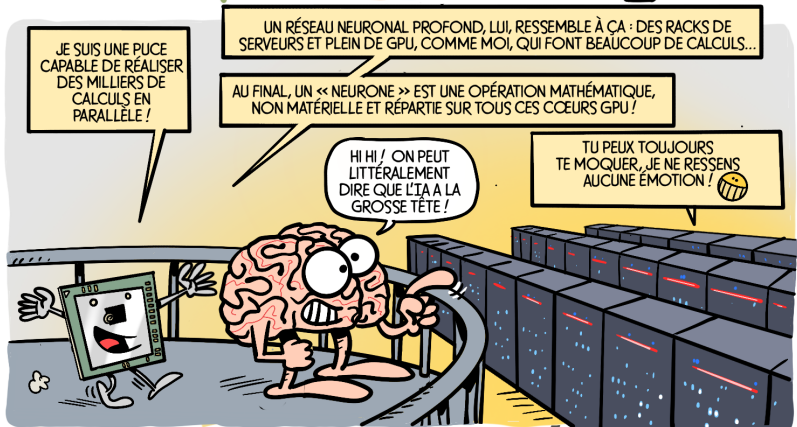
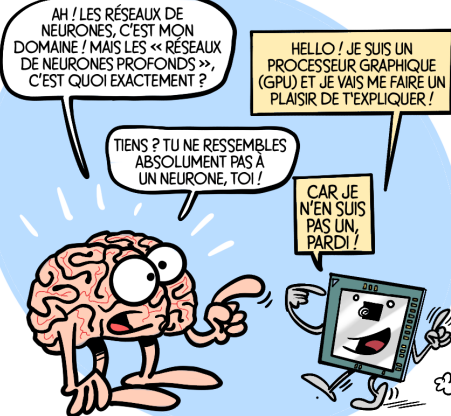
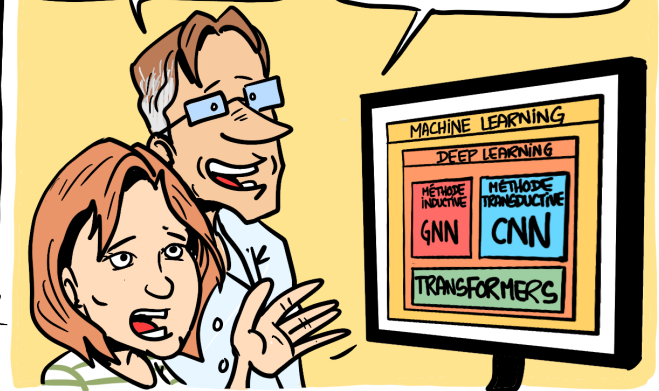


ANASTASIA ZAKHAROVA EST MATHÉMATICIENNE ET MAÎTRE DE CONFÉRENCE, ET THIERRY BOUJWMANS EST DIRECTEUR DE RECHERCHE ET MAÎTRE DE CONFÉRENCE EN INFORMATIQUE. ILS TRAVAILLENT DANS LE TRAITEMENT D'IMAGE ET LE MACHINE LEARNING À LA ROCHELLE UNIVERSITÉ.



GLOBALEMENT, LE MACHINE LEARNING DÉSIGNE L'ENSEMBLE DES SYSTÈMES EN CAPACITÉ D'APPRENDRE À PARTIR DE DONNÉES SANS AVOIR À ÊTRE SPÉCIFIQUEMENT PROGRAMMÉS !

PARMI CES SYSTÈMES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (IA), ON TROUVE L'APPRENTISSAGE PROFOND OU DEEP LEARNING, QUI S'APPUIE SUR DES RÉSEAUX DE NEURONES PROFONDS.



D'UN CÔTÉ, LES NEURONES BIOLOGIQUES REÇOIVENT LES SIGNAUX ENVOYÉS PAR LEURS VOISINS (LA ZONE DE CONTACT ENTRE 2 NEURONES S'APPELLE UNE SYNAPSE), CE QUI CORRESPOND À LA COUCHE D'ENTRÉE POUR LES NEURONES ARTIFICIELS...

