



FONDATION D'ENTREPRISE

FEREC

OCAPI

Observation de la biodiversité par des **CA**meras **PI**us **I**ntelligentes

Sylvain Moulherat

Jean-Philippe Tarel et Olivier Gimenez

OïkoLab TerrOïko – PICS-L UGE – CEFE CNRS



Lauréat de l'appel à projets 2020

« Intelligence artificielle (IA) appliquée aux infrastructures en service »

Décembre 2021

Sommaire

1	Résumé.....	5
2	Infrastructures, caméras et biodiversité	5
2.1	Urgence environnementale et avancées technologiques.....	5
2.2	Infrastructures de transport et gestion du risque de collisions avec les grands Ongulés	7
2.3	Adaptation des méthodes de suivis environnementaux basées sur la collecte de données par capteurs au contexte des infrastructures et de leurs abords	8
3	Description des travaux menés	8
3.1	Développement d'une plateforme collaborative de stockage et d'annotation d'images sur la biodiversité	8
3.2	Détection de Mammifères européens par apprentissage profond	14
3.3	Développement d'une méthode de cartographie de présence d'ongulés	17
3.4	Conceptualisation de la chaîne de traitement complète	23
4	Utilisation de l'aide de la FEREC dans le projet.....	23
5	Résultats acquis	24
5.1	Construction d'une plateforme d'annotation collaborative	24
5.2	Entraînement d'algorithme de reconnaissance des grands ongulés	24
5.3	Développement d'un <i>Framework</i> opérationnel complet permettant d'utiliser les données de caméras existantes pour le suivi de la biodiversité.	25
6	Impact	26
6.1	Apports et retombées pour la collectivité.....	26
6.2	Mise en évidence du caractère collaboratif	26
6.3	Publications et autres éléments de communication auxquels le projet et ses résultats ont donné lieu	26
7	Perspectives ouvertes par le projet notamment en matière de recherche collaborative	27
7.1	OCAPI, un effet de levier majeur pour le projet Ψ -BIOM	27
7.2	Intégration des sujets biodiversité dans l'écosystème des projets de recherche de l'UGE autour des infrastructures du futur	28
8	Remerciements.....	29
9	Bibliographie	29

Table des figures

Figure 1 : Évolution des abondances en ongulés cynégétiques (Sangliers, Chevreuils et Cerfs) en Europe et chiffres clés sur les collisions ongulés-véhicules en France	8
Figure 2 : Téléversement d'images sur la plateforme OCAPI	10
Figure 3 : Exemple d'image floutée dans la plateforme OCAPI grâce à YOLO Face	11
Figure 4 : Gestion des données au sein de l'espace de stockage de la plateforme OCAPI. À l'exception de la base Donnée importée, tous les autres espaces sont séparés en deux sous-ensembles en fonction de la nature confidentielle ou non des données.....	12
Figure 5 : Capture d'écran de l'interface d'annotation de la plateforme OCAPI.....	13
Figure 6 : Plan d'aménagement de la zone à fort risque de collisions et localisation pressentie du réseau de pièges photographique	18
Figure 7 : Résultats de simulation de déplacement d'ongulés sur la zone d'étude produits par SimOïko	19
Figure 8 : Maillage de la zone d'étude et localisation des mailles contenant des pièges photographiques	20
Figure 9 : a) Probabilité de présence estimée à partir de la fréquence simulée de présence des ongulés par SimOïko. b) Probabilité de détection estimée à partir de l'effort d'échantillonnage exercé dans les mailles.....	20
Figure 10 : Histoires de détection simulées constituées par les 10 occasions d'échantillonnages sur chacun des 24 sites équipés d'appareils photographiques	21
Figure 11 : Prédiction de présence des ongulés sur la zone d'étude réalisée à partir des données simulées de détection d'ongulés et des données de fréquentation obtenues à l'aide de SimOïko.	22
Figure 12 : Schéma fonctionnel de la chaîne de traitement complète allant du réseau de capteurs (caméras) à la production de cartes d'occupations d'espèces cibles.....	23
Figure 13 : Répartition de l'utilisation du budget de 40k€ alloué par la FEREC pour la réalisation du projet OCAPI.....	23
Figure 14 : Position des partenaires de Ψ-BIOM sur la chaîne de valeur des solutions proposées (en encadré en bleu, partenaire-chef de file sur l'étape de la chaîne).....	28
Figure 15 : Extraits du comité de suivi du projet IPAVIA (Hautière N., 2021) présentant l'articulation des projets de recherche de l'UGE autour de l'axe : « observation opportuniste de l'environnement »	29

Table des tableaux

Tableau 1 : Apport du couplage capteur (idéalement IoT) et modélisation du projet OCAPI comparé aux méthodes et outils actuels les plus courants pour la mise en place et l'évaluation de mesures environnementales (partiellement adapté de Boileau et al. in prep).	7
Tableau 2 Résultats obtenu pour le réentraînement de YOLOv5 sur la petite base de données tests hors OCAPI.....	16
Tableau 3 : Récapitulatif des modèles d'occupation construits et de leurs scores d'AIC	21
Tableau 5 : Comparaison des performances de reconnaissance en début et fin de projet sur des jeux de données et avec des algorithmes différents (Retinanet sur le jeu de données du réseau Lynx en 2020 et les données hors OCAPI avec YOLOv5 en 2021).....	25

1 Résumé

À l'heure du déploiement massif de caméras sur le territoire et du développement des infrastructures connectées, le projet OCAPI ambitionne d'étendre les usages des caméras déployées sur les infrastructures existantes à la gestion de la biodiversité aux abords de ces infrastructures dans le cadre de la gestion des risques associés aux collisions et au suivi d'efficacité des mesures environnementales.

Pour ce faire, le projet OCAPI a contribué au développement algorithmes d'apprentissage profond (*Deep learning*) permettant l'identification automatique des grands Mammifères les plus fréquemment rencontrés dans les accidents avec les véhicules (Sanglier, Chevreuil et Cerf). Ce développement a été possible par le déploiement d'une plateforme d'annotation d'images bénéficiant des apports en images (photographies et vidéos) de partenaires majeurs tels que Vinci autoroute, le Réseau Lynx, ou les Fédérations Régionales et Départementales des Chasseurs. Les données de reconnaissance produites à l'aide des systèmes de reconnaissance automatique sont alors exploitées à l'aide de modèles de distribution d'espèces (*Machine learning*) permettant de produire des cartographies des risques associés à la présence de ces grands Mammifères. L'ensemble de cette chaîne de traitement et d'analyse a été conçu et testé en environnement virtuel basé sur un cas réel dans le projet OCAPI.

Bien que développé avec comme objectif principal, la gestion adaptative du risque de collisions entre véhicules et grands Mammifères, le schéma de suivi et d'analyse de la faune sauvage aux abords des infrastructures peut s'appliquer à d'autres cadres opérationnels tel que le suivi de mesures environnementales (mesures issues de la mise en œuvre de la séquence Eviter-Réduire-Compenser (ERC), mesure de gestion volontaire, etc.) à l'échelle des infrastructures, mais aussi à d'autres contextes tels que la gestion cynégétique ou le suivi des programmes de conservation de la biodiversité. Ainsi, le déploiement de la solution proposée dans le projet OCAPI sur 1) des infrastructures existantes, puis 2) sur des réseaux d'infrastructures est susceptible de doter les territoires de systèmes de suivi de la biodiversité à large échelle à partir de l'existant.

2 Infrastructures, caméras et biodiversité

2.1 Urgence environnementale et avancées technologiques

La restauration de la biodiversité et l'enrayement de son érosion sont des axes stratégiques prioritaires à l'échelle française, européenne et mondiale (Agenda 2030, Green Deal, Conférence d'Aïchi). Ces stratégies se concrétisent au travers d'un cadre réglementaire et de financements de plus en plus développés (code de l'environnement/directives européennes en particulier séquence Éviter-Réduire-Compenser, Trames Vertes et Bleues et les financements (MAEC, Life, FEDER)). Quel que soit le cadre dans lequel l'acteur s'inscrit

(gestionnaires, financeurs, aménageurs) et depuis la Loi de Reconquête de la Nature et des Paysages de 2016 qui implique désormais une obligation de résultat des mesures de protection de la biodiversité, le besoin actuel porte davantage sur :

- ✿ La conception et la sécurisation des mesures de gestion d'espèces efficaces optimisant le rapport efficacité-investissement.
- ✿ Le suivi sur le long terme et à large échelle l'efficacité des mesures de gestion associées à l'obligation de démontrer la réussite de ces mesures auprès des services instructeurs et financeurs (État, Europe, etc.).

Or, les outils et méthodes actuelles (observations naturalistes, expertises) présentent des limites pour répondre à ces besoins, car mobilisables à de petites échelles, peu standardisées, peu quantitatives et non prédictives. L'usage du couplage de technologies basées sur des capteurs (dont caméras) et de modélisation des dynamiques écologiques surmonte ces limites actuelles. Elles facilitent les suivis à large échelle et sur le long terme, la standardisation des relevés, l'assistance à la conception et à la gestion par les tests de scénarios et la comparaison entre attendu et observé et répond donc aux besoins.

Au travers du couplage de technologies basées sur les capteurs et de modélisation qui constitue le cœur du projet OCAPI, celui-ci souhaite repousser les limites actuelles des outils et méthodes utilisées pour la gestion de biodiversité : suivi à large échelle et sur le long terme, standardisation des relevés, conception optimisée par tests de scénarios et comparaison entre attendu (justifiant le dimensionnement des mesures environnementales) et observé (justifiant la mise en place de mesures correctives si inférieures aux attendus). De plus, ce couplage IoT et modélisation sera particulièrement efficace s'il s'insère dans le cadre de développement des jumeaux numériques (Albino 2015, ANZLIC 2019, Toli and Murtagh 2020) à la fois concernant des infrastructures connectées (Bousmanne et al. 2019) et des attentes croissantes de développement territorial intégré* (Catalano et al. 2021).

* https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/eu-biodiversity-strategy-2030_en

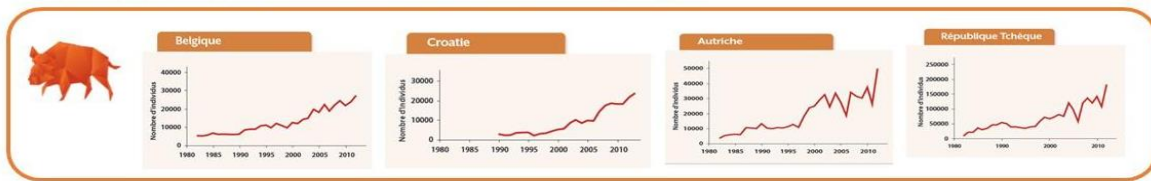
Tableau 1 : Apport du couplage capteur (idéalement IoT) et modélisation du projet OCAPI comparé aux méthodes et outils actuels les plus courants pour la mise en place et l'évaluation de mesures environnementales (partiellement adapté de Boileau et al. in prep).

	Inventaires naturalistes	Suivi télémétrique	ADN environnemental	Piège photographique et enregistreur acoustique passif	Modélisation	Couplage Modélisation – suivi IoT
Technologie	Moyens humains	Balises GPS, GSM	Analyses ADN	IoT	Logiciel	IoT + logiciel
Précisions des données (à coût identique)	Faible résolution spatiale et temporelle Très bonne identification de tous les taxons mais variable selon observateur Proxy parfois faisable sur l'abondance des espèces	Haute résolution spatio-temporelle mais ponctuelle sur quelques individus Données sur les comportements individuels	Bonne résolution spatiale et temporelle Très bonne identification mais sur quelques taxons et forte standardisation Proxy possible sur l'abondance des espèces	Haute résolution spatio-temporelle, bonne qualité d'identification mais ciblant un à quelques taxons, proxy d'abondance possible, Forte standardisation	Très haute résolution spatio-temporelle Nature des données variables selon les modèles et réalisme dépendant des conditions initiales Données sur les déplacements et/ou dynamiques des espèces, absence d'identification des espèces	Très haute résolution spatio-temporelle Bonne identification des espèces et leur proxy d'abondance, Données sur les déplacements et dynamiques des populations, Forte Standardisation
Prédiction sur l'efficacité de scénarios de mesure	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui
Comparaison attendu vs observé	Non	Non	Non	Non	Non	Oui

2.2 Infrastructures de transport et gestion du risque de collisions avec les grands Ongulés

L'augmentation des abondances en ongulés cynégétiques (Sangliers, Chevreuils et Cerfs) est observée partout en Europe (Valente et al. 2020). En France, elle a été multipliée par 5 en 30 ans[†]. Parce que ces trois espèces sont impliquées dans des collisions avec des véhicules (trains et voitures), elles constituent un enjeu financier, de sécurité et de régularité pour les gestionnaires d'infrastructures et leurs usagers. À titre d'exemple, l'amélioration de la régularité des transports est le second objectif stratégique national de SNCF Réseau (après la sécurité des voyageurs). Alors que seul le réseau ferroviaire grande vitesse est considéré protégé par des clôtures, le coût moyen d'une collision avec la faune sauvage sur le réseau TGV est estimé à ce jour par SNCF Réseau entre 80 et 150 k€. Le reste des 27 400 km du réseau dit « classique » est majoritairement ouvert et ne peut être que ponctuellement aménagé (clôture, passage à faune) démultipliant les pertes en exploitation dues aux collisions.

[†] <http://www.oncfs.gouv.fr/Reseau-Ongules-sauvages-ru104>



Chiffres – clés sur les infrastructures de transport en France

40 000 collisions
sur route
en 2019

8 000 trains impactés
Sur le réseau SNCF en
2019

200 000 minutes de
retard
Sur le réseau SNCF en
2019

De 35 k€ à 150 k€
Coûts complets d'une
collisions avec un
train

Figure 1 : Évolution des abondances en ongulés cynégétiques (Sangliers, Chevreuils et Cerfs) en Europe et chiffres clés sur les collisions ongulés-véhicules en France

2.3 Adaptation des méthodes de suivis environnementaux basées sur la collecte de données par capteurs au contexte des infrastructures et de leurs abords

Les méthodes d'apprentissage profond basées sur l'exploitation d'images issues de pièges photographiques se développent dans le domaine de la gestion/protection de la biodiversité (Norouzzadeh et al. 2018, Tabak et al. 2019). Ces approches bien qu'efficaces, se cantonnent toutefois à des expérimentations de recherche et leur mise en œuvre opérationnelle au-delà de grands projets vitrines reste à développer (Moulherat et al. 2019).

En parallèle l'équipement des infrastructures (mais aussi des territoires) avec de plus en plus de caméras ainsi que le développement des infrastructures connectées (Bousmanne et al. 2019, Catalano et al. 2021) offrent une opportunité particulièrement intéressante pour faire converger à la fois les besoins des gestionnaires d'infrastructures (gestion du risque de collisions et suivis des mesures environnementales) et des gestionnaires de la biodiversité (suivi large échelle des répartitions, voir abondances d'espèces ciblent) grâce au développement des technologies numériques, dont l'intelligence artificielle et les maquettes numériques (Catalano et al. 2021, Boileau et al. in prep).

Le projet OCAPI a donc développé des outils et méthodes permettant d'exploiter les nouvelles opportunités offertes par réseaux de capteurs (ici caméras) déployés sur les infrastructures traitées par les techniques d'apprentissage profond afin d'alimenter des modèles de distributions d'espèces utilisés en biologie de la conservation. Ces outils et méthodes offrent ainsi l'opportunité d'utiliser les infrastructures et leurs capteurs comme des outils d'observation de la biodiversité.

3 Description des travaux menés

3.1 Développement d'une plateforme collaborative de stockage et d'annotation d'images sur la biodiversité

Initialement, le projet OCAPI devait être mis en œuvre en utilisant des plateformes d'annotations collaboratives existantes. Toutefois, aucune des plateformes communément

utilisées ne permet à l'administration du projet de gérer l'accès aux données brutes. Dans le cadre du projet OCAPI, certaines données partagées avec les partenaires fournisseurs de données sont dites « sensibles » (localisation d'espèces protégées à très forts enjeux, données de gestionnaire d'infrastructure, etc.). Après analyse des codes sources et fonctionnalités de plateformes open sources existantes, il a été identifié qu'aucune des plateformes ne permettait une adaptation simple répondant aux exigences notamment de gestion de la confidentialité du projet. Il a donc été décidé de développer une plateforme d'annotation dédiée au projet.

La plateforme d'annotation OCAPI (Observation de la biodiversité par des CAPteurs Plus Intelligents) accessible sur <https://ocapi.terroiko.fr/> a été développée pour répondre à des besoins fonctionnels du projet OCAPI et de projets associés (Ψ -BIOM voir section 7.1), une volonté de sobriété numérique (optimisation des performances, sobriété de stockage, etc.), de modularité afin de faire vivre et évoluer cette plateforme dans le temps et enfin d'interopérabilité avec des systèmes existants ou en développement.

La plateforme supporte à ce jour deux fonctionnalités principales :

- ✿ Un espace de stockage développé avec les technologies très hautes performances spécifiques aux applications d'apprentissage profond permettant un accès direct en ligne plutôt que la duplication des données.
- ✿ Un espace d'annotation dédié à la visualisation et l'annotation de boîtes englobantes autour des objets d'intérêt de l'espace de stockage.

3.1.1 La plateforme OCAPI

3.1.1.1 Utilisateurs

Il existe 4 types d'utilisateurs dans la plateforme OCAPI :

- ✿ *Les fournisseurs de données* : sont des utilisateurs qui ont la possibilité de téléverser des données. Ils sont généralement, producteurs ou gestionnaires de données.
- ✿ *Les annotateurs* : ont accès aux fonctions d'annotation des images. Leur rôle est de visionner les images fournies par les *fournisseurs de données* et d'identifier les espèces présentes sur les images. Il s'agit d'écologues compétents pour détecter et reconnaître les espèces sur les images fournies.
- ✿ *Les data-scientists* : récupèrent les images annotées et les utilisent pour développer les algorithmes d'apprentissage profond.
- ✿ *Les administrateurs (TerrOïko exclusivement)*, gèrent les données (sécurisation des données et statistiques de suivi des espaces de stockages), et modèrent les accès à la plateforme (administration des comptes utilisateurs, surveillance des abus, etc.).

3.1.1.2 L'espace de stockage

L'espace de stockage est un environnement OpenIO[‡] extensible, optimisé pour la gestion de données massives et le développement d'algorithme d'apprentissage profond. Son architecture est implémentée pour simplifier autant que possible la collecte auprès des *fournisseurs de données*, concentrer les annotations sur les espèces et favoriser la mise en œuvre d'apprentissage actif (Figure 4).

L'espace de stockage est donc séparé en 4 types de jeux de données :

- ✿ *Les données importées* : ce jeu de données est composé des images téléversées par les *fournisseurs de données* via l'interface internet (Figure 2). Ces données ne sont pas visibles par les annotateurs et inaccessibles aux *data-scientists*.



Figure 2 : Téléversement d'images sur la plateforme OCAPI

- ✿ *Les données à annoter* : sont les données qui ne bénéficient d'aucune annotation réalisée par un *annotateur*. Elles sont réparties en deux jeux de données en fonction de leur caractère confidentiel ou public. Ces données constituent la principale source de données pour les *annotateurs*.

Les données anonymisées : sont des *données à annoter particulières*. Ce sont des copies des données sur lesquelles des personnes peuvent être reconnues. L'utilisation de YOLO Face[§] sur les *données importées* permet de construire ce jeu de données et de flouter le visage des personnes lors de la phase d'annotation (Figure 3). Elles sont réparties en deux jeux de données en fonction de leur caractère confidentiel ou public. Ces données constituent une source importante de données pour les *annotateurs*.

[‡] <https://www.openio.io/>

[§] <https://github.com/sthanhng/yoloface>

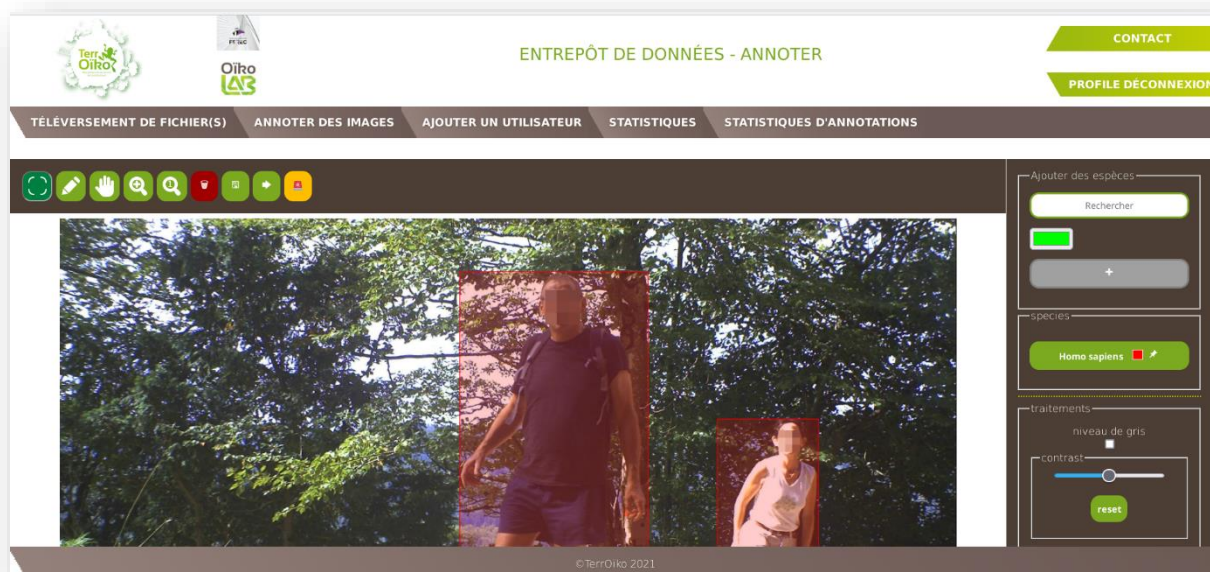


Figure 3 : Exemple d'image floutée dans la plateforme OCAPI grâce à YOLO Face

✿ **Les données annotées** : sont les données qui bénéficient d'au moins une annotation réalisée par un *annotateur*. Elles sont réparties en deux jeux de données en fonction de leur caractère confidentiel ou public. Ces données constituent une source secondaire pour les *annotateurs* et la matière première des *data-scientists*.

Afin de faciliter le travail des *annotateurs* écologues et des *data-scientists* les *données importées* bénéficient d'une analyse avant leur transfert vers les jeux de *données à annoter*. Les *données importées* sont traitées avec YOLOv5s préentraîné sur le jeu de données COCO afin de préidentifier sur les images les personnes, véhicules et principaux animaux domestiques (chats, chiens, bétail). L'ensemble du processus de gestion de la donnée dans la plateforme est résumé Figure 4.

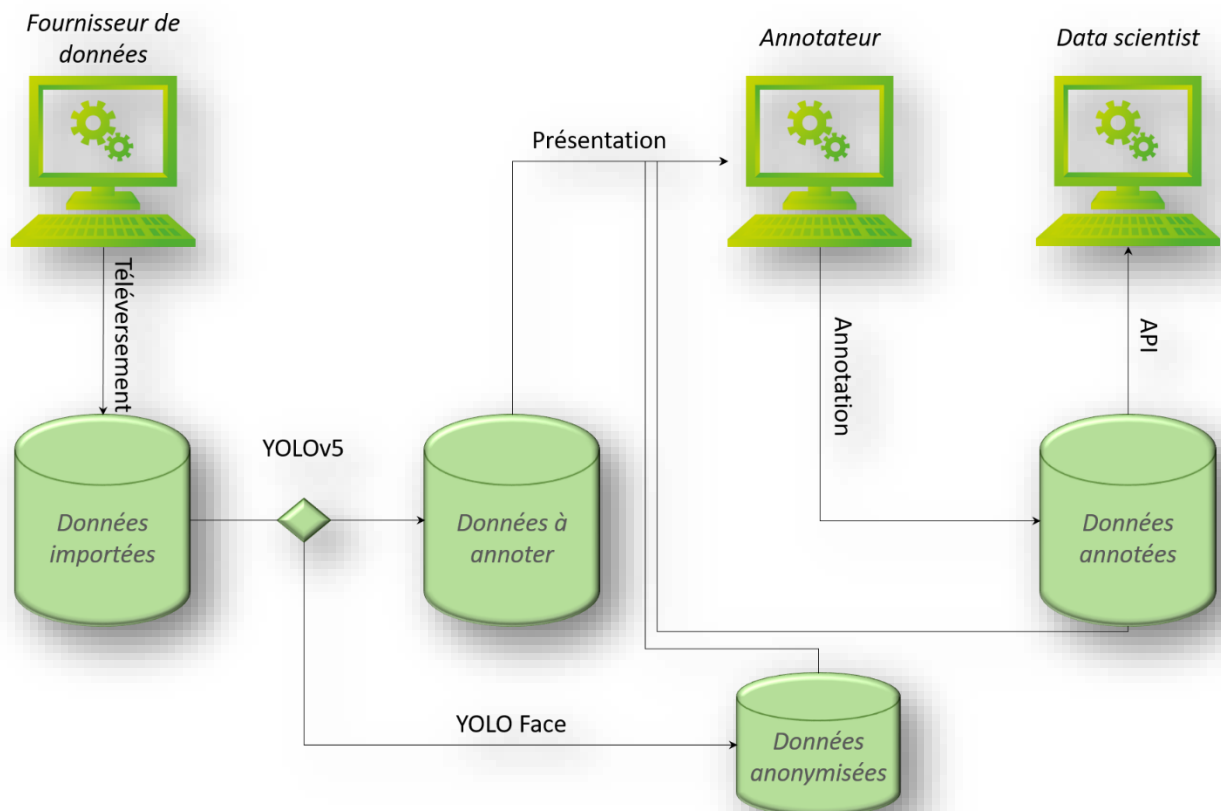


Figure 4 : Gestion des données au sein de l'espace de stockage de la plateforme OCAPI. À l'exception de la base Donnée importée, tous les autres espaces sont séparés en deux sous-ensembles en fonction de la nature confidentielle ou non des données

3.1.1.3 L'espace d'annotation

L'espace d'annotation est accessible *via* une interface internet par les *annotateurs*. Cet espace est dédié à l'identification des espèces présentes sur les images proposées par la plateforme à l'aide de boîtes englobantes (Figure 5). Les images proposées à l'annotation sont tirées aléatoirement dans l'espace de stockage en fonction du niveau d'accès de l'*annotateur* (accès aux données publiques seulement ou aussi aux données confidentielles). Ces images, peuvent provenir :

- ✿ Du jeu de données à *annoter*. Elles sont dans ce cas, prétraitées avec YOLOv5s entraîné sur le jeu de données COCO et donc susceptibles d'être présentées avec des boîtes englobantes présentant des personnes, véhicules ou animaux que l'*annotateur* peut modifier. Les identifications confirmées par l'*annotateur* sont alors conservées en l'état et les modifications éventuellement réalisées (suppression de boîtes faites par le prétraitement, changement d'identification du contenu de boîtes faites par le prétraitement, nouvelles identifications sur des images sans informations détectées par YOLOv5s) remplacent le cas échéant données existantes.
- ✿ Du jeu de données *annotées*. Ces images sont présentées de nouveau aux *annotateurs* sans présenter les annotations déjà existantes pour les animaux s'il y en a afin de

bénéficie. Les nouvelles annotations ainsi générées ne remplacent pas les annotations préalables et sont enregistrées comme une nouvelle annotation. Chaque image peut ainsi bénéficier de 5 annotations indépendantes.

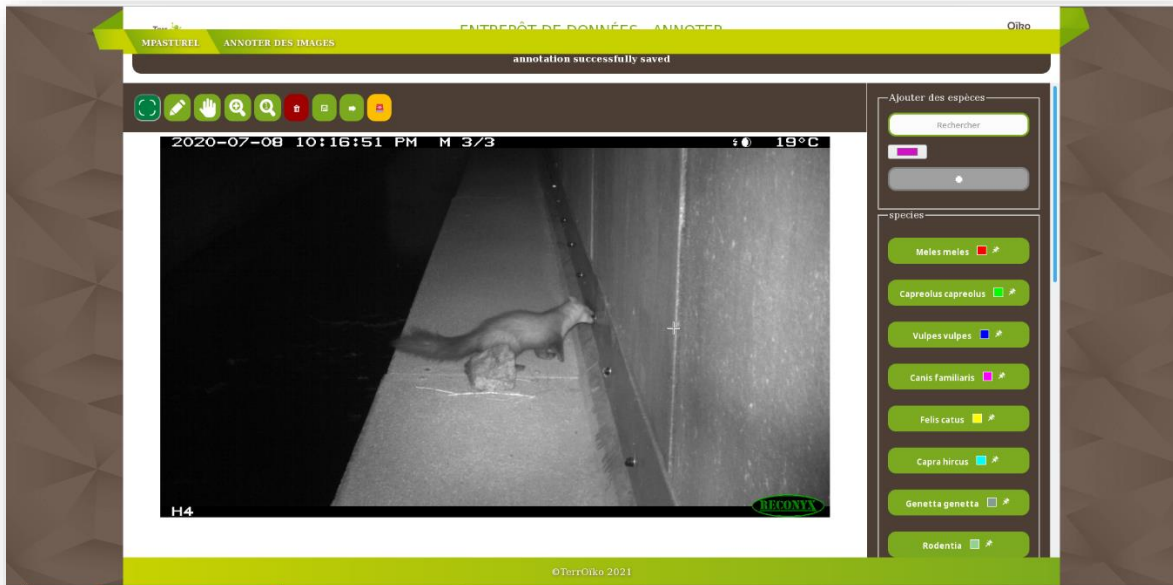


Figure 5 : Capture d'écran de l'interface d'annotation de la plateforme OCAPI

Les annotations réalisables ne sont pas libres. La plateforme embarque la version 14 du référentiel national taxonomique TAXREF** qui permet une standardisation des identifications. Ce sont donc les identifiants uniques de référence nationale qui servent à identifier le contenu des boîtes englobantes. Les espèces à identifier sont donc à sélectionner parmi les espèces du référentiel accessibles soit par leur nom vernaculaire soit par leur nom latin. Cette intégration du référentiel taxonomique permet en outre d'annoter des espèces à des niveaux taxonomiques supérieurs à l'espèce lorsque l'identification est difficile sur les images proposées ou que la différence entre espèces n'est pas possible sur la base de critères morphologiques observable.

3.1.1.4 Développer des algorithmes d'apprentissage profond avec OCAPI

Les utilisateurs *data scientists* ont la possibilité de se connecter sur la plateforme pour utiliser les données annotées auxquelles ils ont accès (publiques ou publiques et confidentielles) en utilisant l'API téléchargeable sur la plateforme. Les données sont alors transmises sous forme d'archive comprenant les images et la base d'annotation associées.

3.1.1.5 Accessibilité

Dans le cadre de la mise en œuvre du projet OCAPI, la majorité des données fournies par les partenaires sont confidentielles. Ces données ne sont donc pas accessibles directement






** <https://inpn.mnhn.fr/programme/referentiel-taxonomique-taxref>

pour des utilisateurs externes au projet. L'accessibilité aux données confidentielles ne peut à ce jour se faire que *via* une convention spécifique avec les propriétaires des données concernées.

3.1.2 Constitution des jeux de données

3.1.2.1 Collecte de données

Pour la mise en œuvre du projet OCAPI, des partenariats avec des producteurs gestionnaires de données photographiques ont été mis en place. Les principaux acteurs et réseaux d'acteurs sollicités pour constituer les premiers jeux de données sont :

-  les gestionnaires d'infrastructures linéaires de transport terrestre,
-  les fédérations de chasseurs,
-  les associations naturalistes,
-  les laboratoires de recherche,
-  les bureaux d'études naturalistes.

Des conventions de mise à disposition de données ont ainsi été passées avec 7 partenaires pour la durée du projet. Les principaux partenaires ayant répondu favorablement et ayant mis à disposition des données à ce jour sont Vinci autoroute qui nous a donné accès à l'ensemble de ces données issues de leurs suivis environnementaux des 15 dernières années, les fédérations des chasseurs (réseau Loup-Lynx, Fédération Régionale des chasseurs d'Occitanie, etc.) et quelques bureaux d'études.

3.1.2.2 Annotations

Les annotations réalisées pour le projet OCAPI ont été conduites exclusivement par les écologues de TerrOïko. Ce sont ainsi, 18 ingénieurs écologues formés qui ont réalisé des annotations, dont 1 CDD recruté spécifiquement sur ce projet pour réaliser cette tâche.

3.2 Détection de Mammifères européens par apprentissage profond

En parallèle du développement de la plateforme d'annotation OCAPI, au sein du laboratoire PICS-L de l'IFSTTAR-Université Gustave Eiffel, une première chaîne de traitement a été développée pour tester la faisabilité de raffiner l'apprentissage afin d'aller vers la reconnaissance des Mammifères Européens. Ce premier travail est détaillé dans le rapport de stage de Cyndy Noubissy qui a effectué son stage recherche de deuxième année de l'ENSTA au sein du laboratoire PICS-L durant l'été 2021 (Noubissi 2021) et disponible sur le site du projet (www.terroiko.fr/OCAPI.php). L'objectif de cette première étape est de permettre un raffinement rapide de l'apprentissage à partir des bases de données annotées OCAPI. L'algorithme de reconnaissance issu de ces travaux est disponible sur <https://oikolab.terroiko.fr/ocapi/>.

3.2.1 Restauration de la visibilité

Du brouillard ou de la brume peuvent être présents sur les images capturées par des pièges photographiques. Ces phénomènes météorologiques vont dégrader la visibilité des animaux et compliquer leur détection et reconnaissance dans les images. Nous avons donc considéré l'utilisation d'algorithmes de restauration de la visibilité dans les images. Ces algorithmes ont été développés initialement dans le contexte routier où les scènes présentent de grandes variations de profondeurs et nous avons développé une nouvelle version pouvant mieux traiter les scènes ayant de faibles variations de profondeur donc plus adaptée aux scènes observées par des pièges photographiques (Duminil et al. 2021).

3.2.2 Raffinement de l'apprentissage sur jeu de données externe au projet OCAPI

Différents algorithmes de détection et de reconnaissance d'objets dans les images par apprentissage profond sont disponibles. Après une étude comparative des différentes alternatives, notre attention s'est portée sur l'algorithme YOLO (pour *You Only Look Once*) qui a le mérite d'être particulièrement efficace et rapide. De plus, les performances de l'algorithme YOLO s'améliorent avec le temps avec la diffusion régulière de nouvelles versions. La dernière, YOLO version 5 ou YOLOv5 (Redmon et al. 2016) présente aussi l'important avantage d'un interfaçage et d'une utilisation simplifiée en langage python. L'apprentissage du réseau YOLO est traditionnellement fait sur la base d'objets nommés *Common Object in Context* ou COCO (Lin et al. 2014). La base COCO contient des objets que l'on rencontre souvent dans notre environnement habituel. On y trouve par exemple une classe pour les personnes, différents types de véhicules et des animaux familiers. Cette base COCO ne permet pas à YOLO d'avoir de bonnes performances de détection et de reconnaissance sur les mammifères européens sans faire un raffinement de l'apprentissage à partir d'une base qui échantillonne correctement les aspects visuels des mammifères européens. Lors de son stage, Cyndy Noubissi a développé la chaîne de traitement qui permet un raffinement de l'apprentissage pour ajouter des classes d'intérêt à YOLOv5 et améliorer les performances de détection et de reconnaissance sur les classes d'intérêt déjà présentes. Pour des raisons de calendrier, les données collectées dans la plateforme OCAPI, n'était pas encore disponible au moment du déroulement du stage. L'étudiante a donc constitué une base d'images annotées en utilisant des images accessibles sur internet qu'elle a annoté afin de pouvoir tester le raffinement du réapprentissage et aller vers un premier algorithme de détection et reconnaissance de quelques mammifères européens. Ainsi, elle a pu utiliser une base d'images de l'université du Missouri ^{††} de laquelle, 2065 images de Chevreuils, Sangliers, Lièvres d'Europe, Renards roux, Écureuils roux et Cerfs élaphe ont été extraits. Cette base a été enrichie de 172 images collectées sur internet *via* des recherches Google spécifiques.

^{††} <https://lila.science/datasets/missouricameratraps>

Cette base a été utilisée pour réaliser une première phase d'entraînement d'YOLOv5 avec 90 epochs pour les phases d'entraînements et de tests avec des tailles de batch de 16. Cette première étape d'entraînement, bien que présentant des signes de surapprentissage, présente des capacités de détection intéressantes pour le Lièvre d'Europe, le Cerf élaphe et l'Écureuil roux. Chevreuils, Sangliers et Renards roux ne sont par contre pas correctement reconnus (Tableau 2).

Tableau 2 Résultats obtenu pour le réentraînement de YOLOv5 sur la petite base de données tests hors OCAPI

Espèce	Précision	Rappel
Lièvre d'Europe	93%	79%
Cerf élaphe	95%	100%
Chevreuril	0%	0%
Écureuil roux	80%	75%
Sanglier	0%	0%
Renard roux	0%	0%

Dans le cadre de la mise en œuvre d'une chaîne de traitement de données allant de la reconnaissance d'espèce vers leur utilisation pour la construction de modèles d'occupation, la métrique de précision est assimilable de la détectabilité et donc plus adapté pour évaluer les performances des réentraînements.

3.2.3 Raffinement de l'apprentissage à partir de la base de données annotée d'OCAPI

La mise au point du raffinement de l'apprentissage a conduit au constat que la quantité de données disponibles était beaucoup trop restreinte pour obtenir de bonnes performances pour toutes les nouvelles classes des espèces listées en Tableau 2. En particulier pour la plupart des espèces particulièrement sujettes aux collisions avec les véhicules (Cerf élaphe, Chevreuril et Sanglier). Les données issues de la plateforme OCAPI devraient permettre de réduire les problèmes de surapprentissage et d'améliorer les performances de détection.

Les données issues de la plateforme OCAPI en augmentant la taille de la base et en améliorant l'échantillonnage de l'aspect des différentes espèces, devrait permettre d'améliorer les performances de détection. Comme nous n'avons pas réussi à recruter pour un stage de 6 mois comme il était prévu initialement, l'étudiante n'a malheureusement pas été en mesure de tester le réapprentissage de YOLOv5 avec les données issues du projet OCAPI.

Un premier affinage a toutefois été réalisé par l'UGE début 2022. Cet affinage bien qu'ayant subis des soucis techniques liés à des problèmes de labellisation dans la base de données annotées (utilisation de noms d'espèces obsolètes par un annotateur), nous permet d'identifier une quinzaine d'espèce communes avec des taux d'erreur inférieurs à environ 20% sans que nous puissions pour le moment estimer précisément ces erreurs. Les espèces ainsi reconnues sont, le Héron cendré, le Chat forestier, le Renard roux, le Lynx boréal, la famille

des Mustélidés, la Genette, le Chamois, le Ragondin et le Hérisson d'Europe. D'autres sessions de réapprentissage seront réalisées en 2022 et les résultats présentés sur la page internet du projet^{**}.

A ce stade du projet OCAPI, Cerfs élaphe et Chevreuil sont toujours difficilement distingués. Toutefois, le Cerf élaphe est encore rare dans la base d'annotation du projet OCAPI. Avec des données communes à celles mobilisées dans OCAPI mais une base d'annotation bien plus importante, le projet Deep Faune parvient à les distinguer (Rigoudy et al. 2022).

Les performances sur les classes déjà reconnues avant affinement ne semblent pas altérées bien que nous n'ayons pas testé toutes les classes de véhicules. On peut toutefois noter une amélioration de la détection des humains dans des conditions très contraintes (visibilité d'une partie de jambe uniquement par exemple), des voitures dans des conditions très dégradées (images très floues). La discrimination entre le bétail et la faune sauvage est nettement améliorée (discrimination des chiens et des renards, des chats forestiers et des chats domestiques, des chèvres et des chamois, ...).

3.3 Développement d'une méthode de cartographie de présence d'ongulés

Le développement de la méthode de cartographie de présence d'ongulés a été développée par Olivier Gimenez du Centre d'Écologie Fonctionnelle et évolutive (CEFE), partenaire du projet OCAPI pendant l'été 2021. Le code source de ces développements, commenté et illustré est disponible sur <https://oikolab.terroiko.fr/ocapi/>.

Le projet OCAPI n'a pu disposer de données issues de réseau de caméras ou de pièges photographiques dans la durée du projet. Le développement méthodologique a donc été réalisé à partir d'un projet de déploiement de réseau de pièges photographiques réel. À partir de ce projet de déploiement de pièges photographiques, des identifications d'ongulés cynégétiques par ces pièges photographiques ont été simulées puis utilisées comme données d'entrée pour calibrer un modèle d'occupation permettant d'établir une cartographie de probabilité de présence des ongulés dans le secteur étudié.

3.3.1 Contexte du site d'étude virtuel

Depuis 2018, SNCF Réseau Occitanie travail à aménager son réseau classique (lignes non-LGV) pour réduire le risque de collisions avec la grande faune cynégétique, impliquée dans de nombreux incidents et accidents engendrant des retards et subséquemment des pertes en exploitation importantes (Figure 1). Ces travaux sont conduits en collaboration avec TerrOïko qui, sur environ 500 km de ligne en Occitanie, a réalisé des simulations numériques de dynamiques de populations d'ongulés avec SimOïko (Moulherat 2014, Moulherat et al. 2020). Les simulations ainsi produites servent de support pour le test et le dimensionnement de mesures visant à réduire le risque de collisions entre la grande faune et les trains. Au-delà

^{**} <https://www.terroiko.fr/fr/ocapi>

de la réalisation de programmes d'aménagement, ses travaux comprennent aussi pour chaque site bénéficiant de projet d'aménagement, de programme de suivis de l'efficacité des mesures mises en œuvre. Certains de ces programmes de suivis incluent le déploiement sur le terrain de pièges photographiques.

Parmi les 5 sites qui à ce jour bénéficient de tels programmes de suivis, le site de « Brax-Pibrac » à l'ouest de Toulouse, sur l'axe Toulouse Agen, entre les pk 18+000 et 39+000 devrait être l'un des premiers à bénéficier de la mise en œuvre des aménagements visant à réduire le risque de collision entre la grande faune et les trains ainsi que du déploiement de pièges photographiques visant à évaluer l'efficacité des mesures réalisées. Sur ce tronçon de près de 20 km, un programme de travaux comprenant de la pose de clôture, de l'aménagement d'ouvrages existants et de la maîtrise de la végétation devrait être accompagné d'un programme de suivi des ongulés comprenant notamment le déploiement d'un réseau de 12 à 38 pièges photographiques (Figure 6). Pour la réalisation des travaux d'OCAPI, le scénario comprenant 38 appareils a été utilisé.

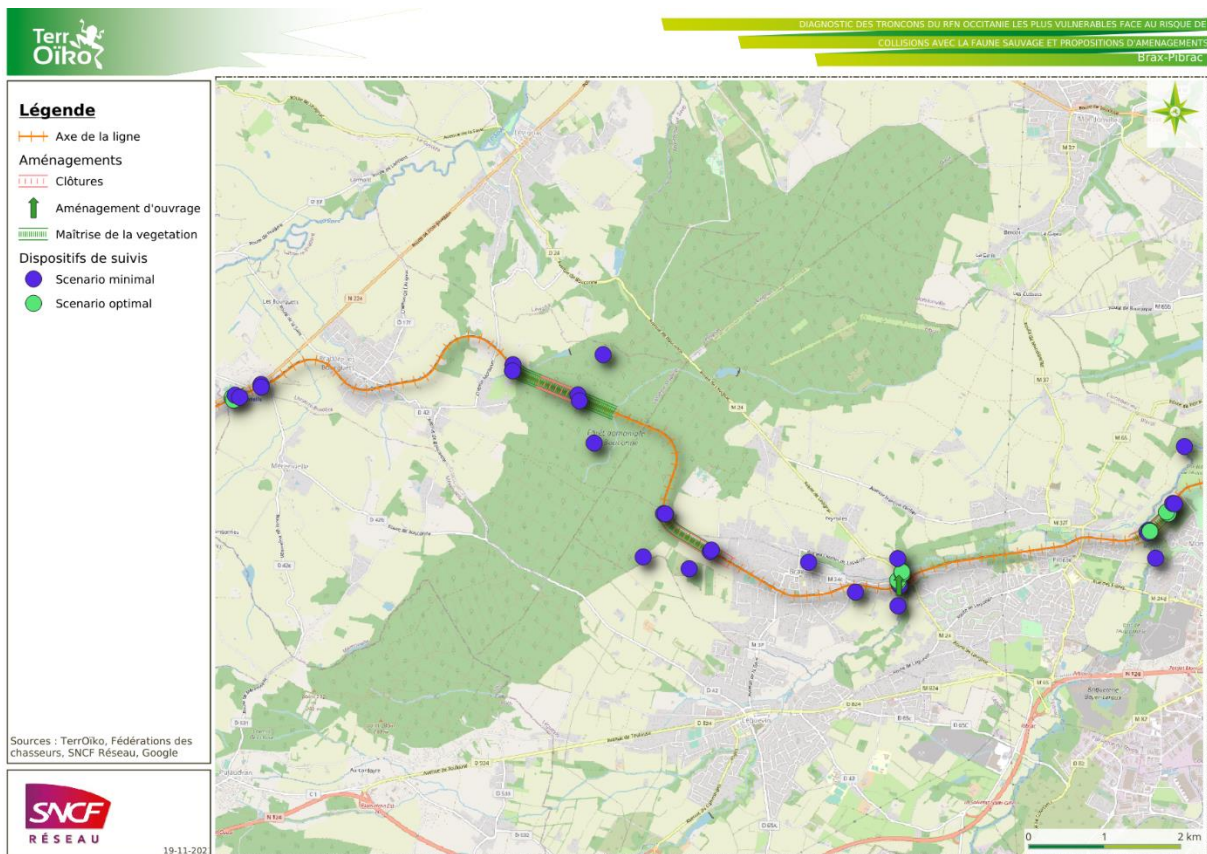


Figure 6 : Plan d'aménagement de la zone à fort risque de collisions et localisation pressentie du réseau de pièges photographique

3.3.2 Modèle d'occupation basé sur les données issues de pièges photographiques

3.3.2.1 Les données utilisées

Le jeu de données virtuelles a été construit à partir du programme de suivis par pièges photographiques du site (Figure 6) et des résultats de simulation issus de SimOïko (Figure 7). Les simulations produites visent à reproduire les déplacements des ongulés sur le territoire d'étude. Des travaux récents sur le Chevreuil au sud du site d'étude d'OCAPI, conduits en 2021, ont montré que SimOïko mime de manière très réaliste les dynamiques de populations et de déplacements des Chevreuils. Ces travaux réalisés par la comparaison entre données de génétique sur le Chevreuil obtenues sur le terrain (Coulon et al. 2006) et leurs équivalents produites par simulation avec SimOïko permettent des prédictions exactes de différenciation génétiques entre sous-populations de l'ordre de 70% et des prédictions de répartition de la variance génétique très similaire (Pautrel 2021) assurant ainsi que les données de simulation présentent des patrons de répartition et d'abondance de cette espèce probablement assez comparables à ceux rencontrés sur le terrain.

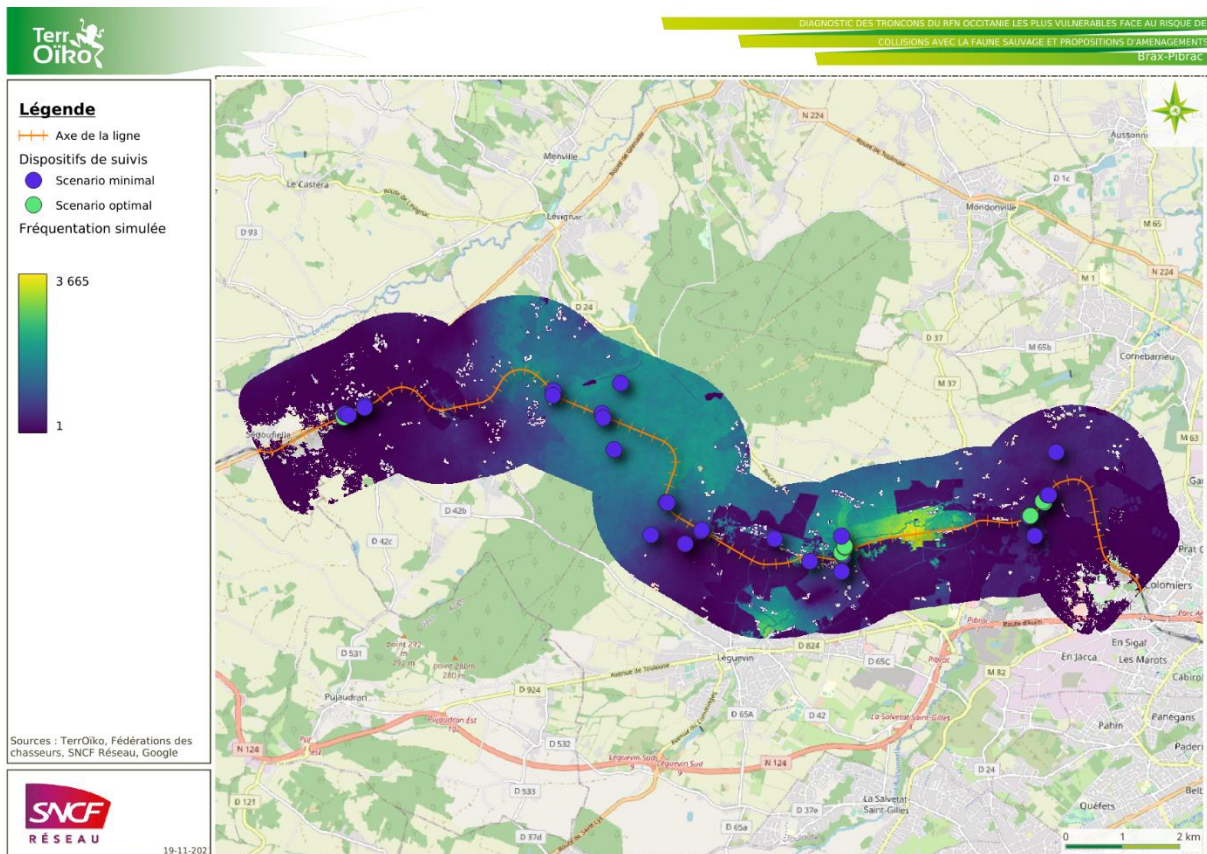


Figure 7 : Résultats de simulation de déplacement d'ongulés sur la zone d'étude produits par SimOïko

3.3.2.2 Création du jeu de données virtuelles

Le site d'étude est maillé à l'aide de mailles hexagonales dont 24 bénéficient de la présence de 1 à 4 appareils photographiques. À chacune de ces 24 mailles, correspondant à des sites d'échantillonnage, est associée la probabilité de présence moyenne des ongulés (Figure 8) calculée à partir des fréquences de passage simulées dans des mailles carrées de

5x5 m utilisées pour la simulation (Figure 9a). La probabilité de détecter un individu dans une maille équipée d'appareil croît linéairement en fonction du nombre d'appareils qu'elle contient (Figure 9b). Dès lors le jeu de données virtuelles est construit en simulant pour 10 occasions d'échantillonnage à chaque site d'échantillonnage 1) la présence ou non d'un individu dans chaque maille puis 2) la détection ou non de l'individu dans la maille (Figure 10).

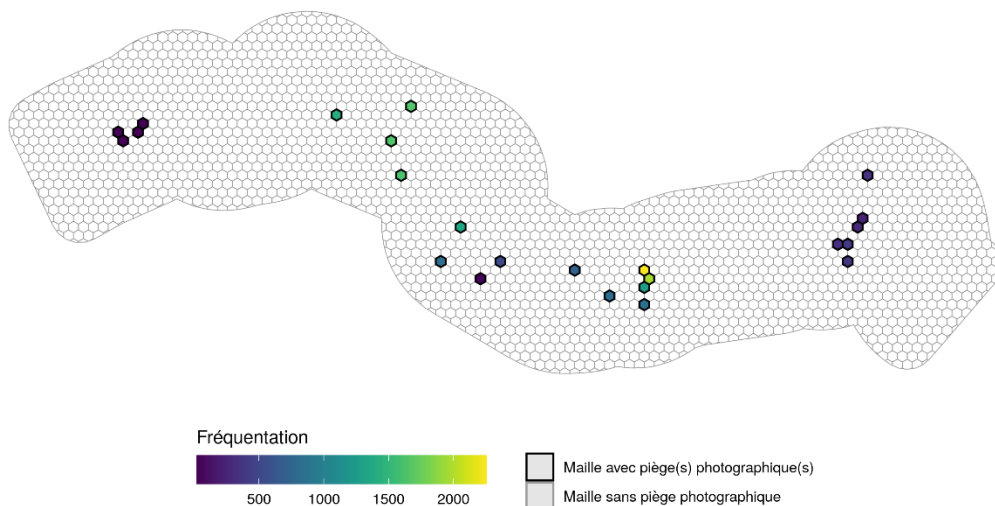


Figure 8 : Maillage de la zone d'étude et localisation des mailles contenant des pièges photographiques

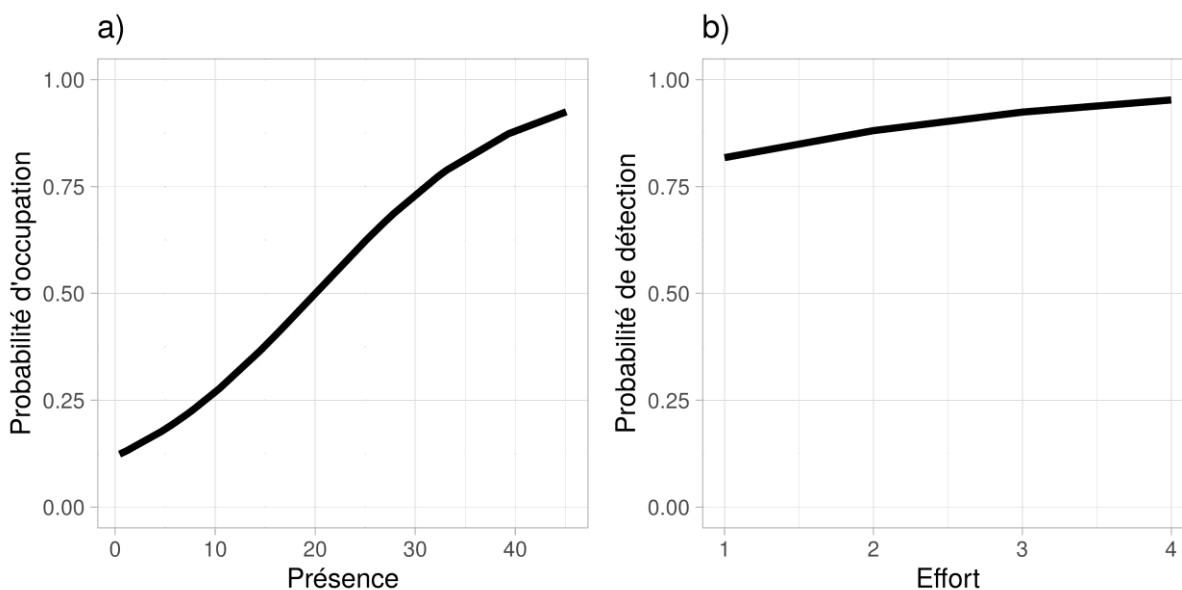


Figure 9 : a) Probabilité de présence estimée à partir de la fréquence simulée de présence des ongulés par SimOïko. b) Probabilité de détection estimée à partir de l'effort d'échantillonnage exercé dans les mailles.

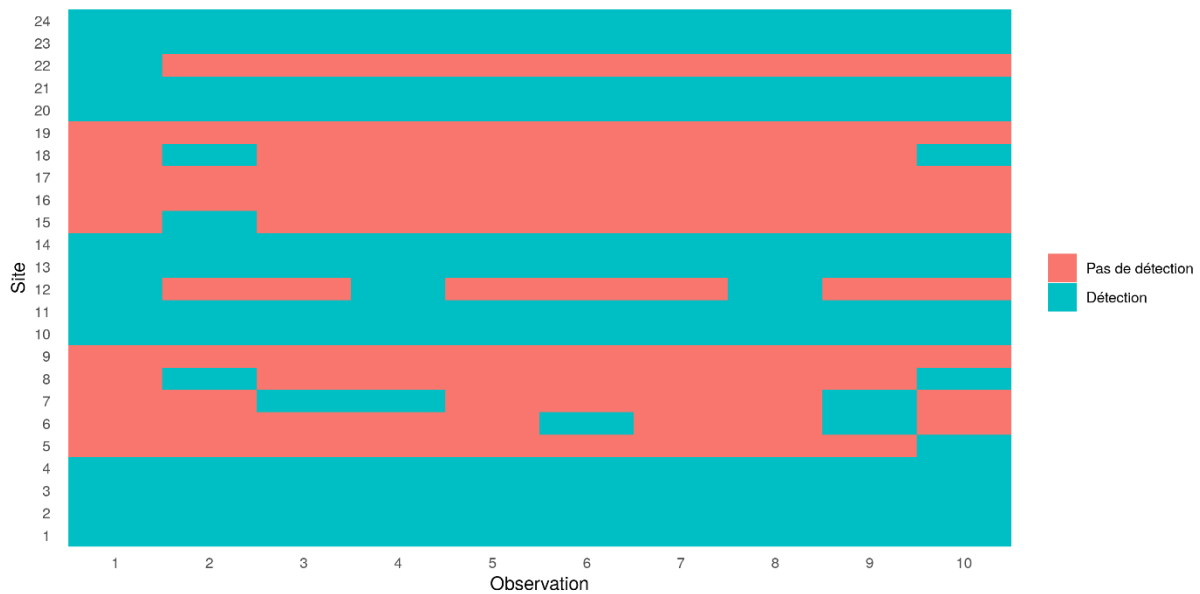


Figure 10 : Histoires de détection simulées constituées par les 10 occasions d'échantillonnages sur chacun des 24 sites équipés d'appareils photographiques

3.3.2.3 Ajustement du modèle d'occupation aux données simulées

Les modèles d'occupations sont construits sous R à l'aide du package *Unmarked* (Fiske and Chandler 2011). 4 modèles sont construits et comparés à l'aide de leurs critères d'information d'Akaike (AIC) (Akaike 1974). Le modèle présentant l'AIC la plus faible est considéré comme étant le meilleur modèle et 2 modèles dont la différence d'AIC serait inférieure à 2 sont considérés équivalents (Burnham and Anderson 2002). Les modèles sont construits en intégrant l'effort de détection (nombre d'appareils par site d'échantillonnage) et la fréquentation du site par les animaux comme covariables de l'occupation (Tableau 3).

Tableau 3 : Récapitulatif des modèles d'occupation construits et de leurs scores d'AIC

Code modèle	Effort	Fréquentation	AIC
M0	Constant	Constante	127,7
Meff	Variable	Constante	129,1
Mfreq	Constant	Variable	118,3
Mcpt	Variable	Variable	119,7

Les modèles *Mfreq* et *Mcpt* ne sont pas significativement différents et présentent les plus faibles AIC, suggérant dans notre cas, une importance limitée de l'effort de détection. Pour la suite des travaux, c'est le modèle *Mcpt* qui a été retenu pour établir les cartes d'occupation.

3.3.2.4 Utilisation du modèle d'occupation pour estimer les probabilités de présence des ongulés sur la zone d'étude

Le modèle *Mcpt* est utilisé pour réaliser des prédictions de la probabilité de présence des ongulés à partir de la covariable de fréquentation calculée pour chaque maille du site d'étude (Figure 11).

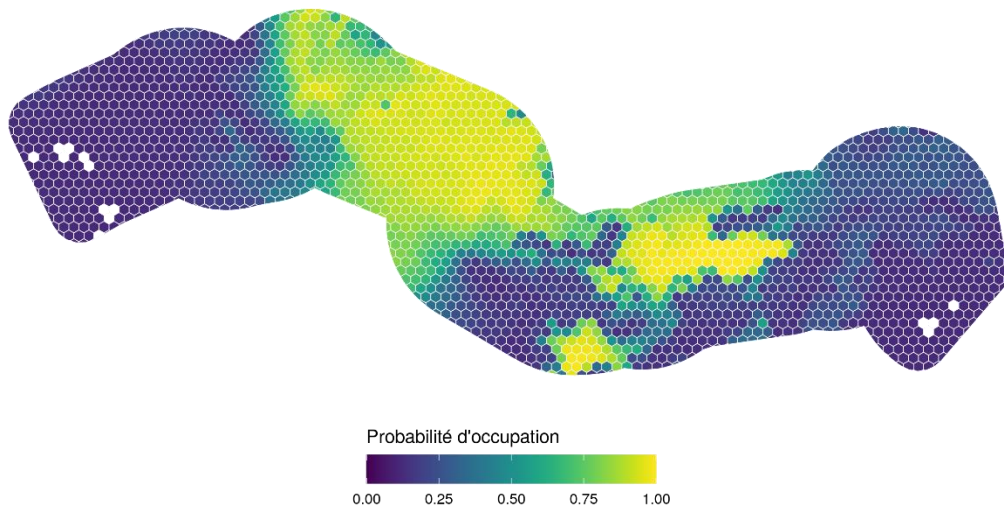


Figure 11 : Prédiction de présence des ongulés sur la zone d'étude réalisée à partir des données simulées de détection d'ongulés et des données de fréquentation obtenues à l'aide de SimOïko.

La comparaison des prédictions du modèle (Figure 11) avec les résultats de simulation (Figure 7) montre des patrons très similaires et cohérents attestant de la capacité du modèle à retrouver les informations de la simulation à partir des données issues des pièges photographiques virtuels.

3.4 Conceptualisation de la chaîne de traitement complète

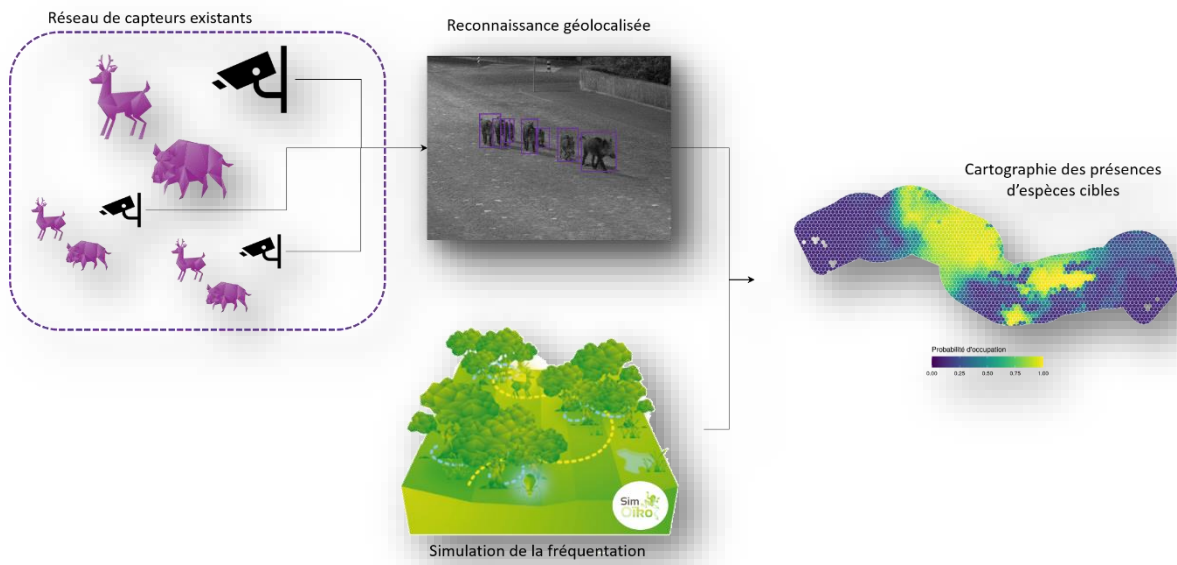


Figure 12 : Schéma fonctionnel de la chaîne de traitement complète allant du réseau de capteurs (caméras) à la production de cartes d'occupations d'espèces cibles

4 Utilisation de l'aide de la FEREC dans le projet

L'aide de la FEREC a principalement été mobilisée pour les ressources humaines (stagiaires, CDD, etc.) ayant réalisé les travaux du projet. Le second poste de dépense est l'équipement en ordinateurs adaptés pour le développement d'IA.

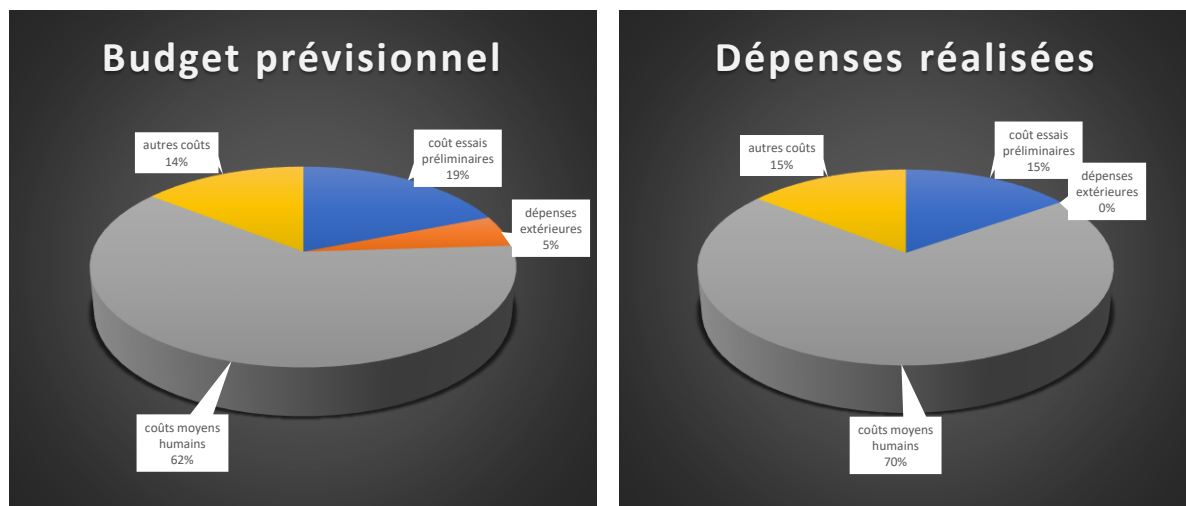


Figure 13 : Répartition de l'utilisation du budget de 40k€ alloué par la FEREC pour la réalisation du projet OCAPI

5 Résultats acquis

5.1 Construction d'une plateforme d'annotation collaborative

À ce jour, les plateformes d'annotations permettant l'entraînement d'algorithmes d'apprentissages profonds dédiés au thème de la biodiversité ne présentent que des fonctionnalités limitées pour leur mise en œuvre à la reconnaissance d'espèces. Parmi les fonctionnalités embarquées dans la plateforme, deux d'entre elles lui ont permis un succès rapide inattendu :

- ✿ La gestion de la confidentialité a permis de mutualiser de grands jeux de données jusqu'ici d'accès limité pour des raisons de stratégie de gestion des propriétaires de données ou de présence de données sensibles (espèces à très forts enjeux). Ainsi, alors que le projet ne pensait initialement collecter que quelques milliers de données sur sa durée de vie, certains partenaires comme Vinci Autoroute (300-400 000 données) ou le Réseau Lynx (80 000 données), ont accepté de déposer leurs données sur la plateforme. La plateforme dispose donc à ce jour d'environ 210 000 images, chiffre qui devrait augmenter très fortement dans les prochains mois lorsque les problèmes techniques de transfert de données entre Vinci Autoroute et la plateforme OCAPI *via* le CEFE auront été résolus.
- ✿ L'intégration du référentiel taxonomique national qui permet une standardisation des annotations (les espèces ne sont pas identifiées par leurs noms, mais par leur identifiant unique national) et une propagation de l'annotation vers les niveaux supérieurs de la classification taxonomique. En effet, le fait de pouvoir annoter à tous les niveaux de classification taxonomique permet que des annotations réalisées au niveau de l'espèce, permettent d'entraîner des algorithmes au niveau du genre, de l'ordre, etc.

Conséquence de ce succès, les 20 000 images annotées pendant la durée du projet ne représentent que 10% des données existantes sur la plateforme.

Cette plateforme (<https://ocapi.terroiko.fr>) sera accessible à tous utilisateurs dès décembre 2021 pour tous types d'acteurs disposant d'images sur la biodiversité française à partager, d'annotateurs, ou de développeurs d'algorithmes d'apprentissage profond.

5.2 Entraînement d'algorithme de reconnaissance des grands ongulés

Le projet OCAPI nous a permis d'améliorer nos capacités de reconnaissance des Cerfs élaphe, qui constituait une des cibles prioritaires du projet. Le Tableau 4 présente les avancés réalisées pendant la première étape de raffinement du projet. Les travaux encore en cours au laboratoire PICS-L sur le jeu de données d'OCAPI et comprenant notamment les données du réseau Lynx devrait améliorer substantiellement ces résultats.

Tableau 4 : Comparaison des performances de reconnaissance en début et fin de projet sur des jeux de données et avec des algorithmes différents (Retinanet sur le jeu de données du réseau Lynx en 2020 et les données hors OCAPI avec YOLOv5 en 2021).

Espèce	Retinanet sur données du réseau Lynx en 2020		YOLOv5 sur données hors OCAPI en 2021	
	Précision	Rappel	Précision	Rappel
Lièvre d'Europe	0%	0%	93%	79%
Cerf élaphe	4%	13%	95%	100%
Chevreuril	93%	79%	0%	0%
Écureuil roux	-	-	80%	75%
Sanglier	77%	90%	0%	0%
Renard roux	94%	85%	0%	0%

L'ensemble des codes sources développés pour l'entraînement de YOLOv5 sont accessibles sur <https://oikolab.terroiko.fr/ocapi/> dès décembre 2021.

5.3 Développement d'un *Framework* opérationnel complet permettant d'utiliser les données de caméras existantes pour le suivi de la biodiversité.

Sous réserve que le raffinement de YOLOv5 sur les données d'OCAPI nous permette d'obtenir des précisions de l'ordre de 90% pour nos principales espèces cibles (Chevreuril, Cerf élaphe et Sanglier), le projet OCAPI a permis de développer une chaîne de traitement complète permettant à partir d'un réseau de caméra d'établir une cartographie des risques de présence des ongulés dans les secteurs équipés. Cette chaîne de traitement complète constitue la première preuve de concept de ce type d'approche adapté à la gestion des infrastructures. Mobilisable en l'état, cette chaîne de traitement gagnerait à bénéficier de quelques ajustements pour en améliorer le déploiement opérationnel (utilisation de données de terrains tels que l'occupation du sol ou la qualité du milieu à la place de résultats de simulation dans la construction du modèle d'occupation). Ces ajustements sont aisément réalisables grâce à la mise en place d'un démonstrateur terrain.

Les codes sources permettant la construction des modèles d'occupation sont accessibles sur <https://oikolab.terroiko.fr/ocapi/> dès décembre 2021.

6 Impact

6.1 Apports et retombées pour la collectivité

Le projet OCAPI, de par son ambition d'utiliser les infrastructures existantes comme outils d'observation et de suivi de la biodiversité, permet de rapprocher gestionnaires d'infrastructures et gestionnaires de la biodiversité afin que ces deux secteurs puissent en retirer des bénéfices. À ce titre, le secteur des transports pourrait utiliser les outils d'OCAPI pour améliorer la sécurité (réduction du risque de collisions avec la grande faune) et le secteur de la biodiversité pourrait bénéficier d'outils d'observation très puissants en matière de couverture spatiale et temporelle.

Au-delà de seuls secteurs de la gestion des infrastructures et de la gestion de la biodiversité, les développements réalisés dans OCAPI, peuvent être appliqués à bien plus large échelle dès lors que des caméras ou des pièges photographiques sont installés. Ainsi, tout site public ou privé disposant de ce type de capteur pourrait contribuer à un réseau de suivi de la biodiversité contribuant ainsi massivement aux besoins de connaissances permettant l'atteinte de non-perte nette de biodiversité.


6.2 Mise en évidence du caractère collaboratif

Le projet OCAPI est issu des réflexions collaboratives réalisées lors du séminaire « Écologie numérique » de 2019 du projet BioBIM (Moulherat et al. 2019). Ainsi, bien que seul un groupe de partenaires restreint de partenaires soient directement impliqués dans le projet, OCAPI bénéficie d'une audience étendue issue du groupe de travail constitué lors du séminaire de 2019.

En outre et grâce notamment à l'audience constituée en 2019, la plateforme OCAPI bénéficie déjà d'un certain écho au sein de la communauté IA en écologie. Ainsi, de nombreuses discussions sont en cours pour son utilisation par des associations, bureaux d'études, équipes de recherche, etc. Cette dynamique d'ores et déjà existante devrait assurer l'animation et le développement collaboratif de la plateforme OCAPI dans les prochaines années.

6.3 Publications et autres éléments de communication auxquels le projet et ses résultats ont donné lieu

Publications scientifiques et techniques

-  Contributions au projet de CSA (*Coordination Support Action*) BISON^{§§} (*Biodiversity and Infrastructure Synergies and Opportunities for European transport Network*) dans le

^{§§} <https://bison-transport.eu/>

livrable *Mainstreaming the digitalisation of infrastructures and biodiversity ; toward an inclusive GIS/BIM/DT for infrastructures and biodiversity management.*

- ✿ Duminil, A., Tarel, J. P., & Brémond, R. (2021, September). Single Image Atmospheric Veil Removal Using New Priors. In *2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 1719-1723). IEEE.

Communications / Posters

- ✿ Moulherat, S., Leroux, D., Tarel, J.-P., Gimenez, O. (2021, octobre). Outils numériques pour la gestion conjointe des infrastructures et de la biodiversité : les projets BioBIM – Biodiversité, BIM et Infrastructures – et OCAPI – Observation de la biodiversité par des caméras plus intelligentes. *Pollutec 2021*.
- ✿ Moulherat, S., Tarel, J.-P., Gimenez, O. (2022). OCAPI – Observation de la biodiversité par des caméras plus intelligentes. *Colloque ITTECOP 2022*.

Distinctions



Le projet OCAPI a été labellisé par le programme de recherche ministériel ITTECOP*** (Infrastructures de Transport Terrestre, ECOsystèmes et Paysages).

7 Perspectives ouvertes par le projet notamment en matière de recherche collaborative

7.1 OCAPI, un effet de levier majeur pour le projet Ψ -BIOM



Directement dérivé des travaux des projets BioBIM et OCAPI, le projet Ψ -BIOM (Plateforme numérique de Services Intégrés pour le suivi de la Biodiversité par les Objets connectés et la Modélisation) est lauréat de l'appel à projets des Programmes d'Investissements d'Avenir (PIA) sur la thématique Bioéconomie et Protection de l'Environnement en tant que Démonstrateurs et Territoires d'Innovation de Grande Ambition.

Ce projet de 36 mois, porté par TerrOïko en collaboration avec SiConsult, BrainChip, le LIS de l'université de Toulon, et l'université Paul Sabatier, Toulouse III (incluant le réseau des zones ateliers CNRS) de 2,4 M€ soutenu à hauteur de 1,5 M€ par le PIA, vise à développer une solution de services de conception et de suivi de l'efficacité de mesures de gestion faunistique

*** https://ittecop.fr/fr/content_page/item/897-ocapi

(Figure 14). Cette solution prendra la forme d'une plateforme de services intégrés de type « guichet unique » à destination des gestionnaires/porteurs de projet d'aménagements du territoire ou de protection de la biodiversité et le cas échéant à leurs AMO.

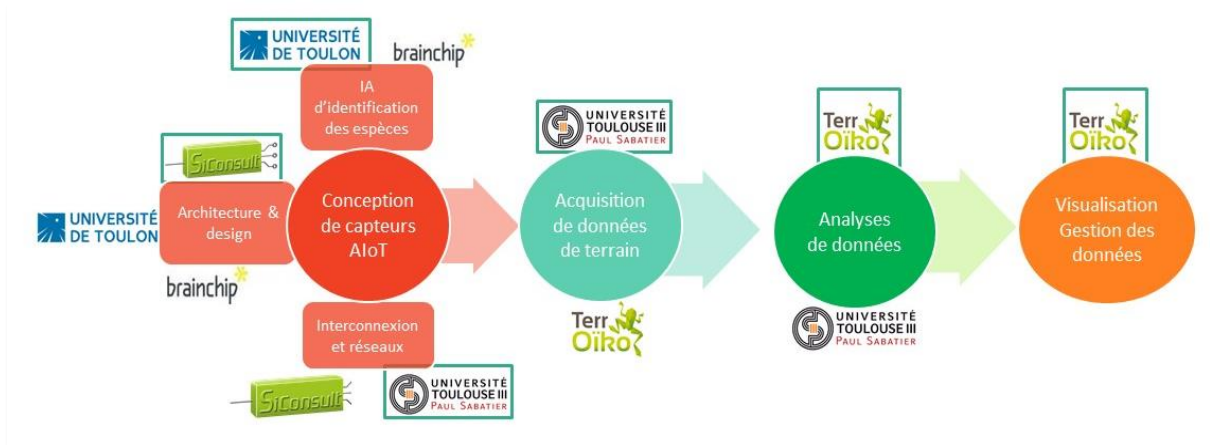


Figure 14 : Position des partenaires de Ψ -BIOM sur la chaîne de valeur des solutions proposées (en encadré en bleu, partenaire-chef de file sur l'étape de la chaîne)

Le projet Ψ -BIOM intégrera directement les travaux conduits dans OCAPI et offrira l'opportunité de les faire perdurer en :

- ✿ Poursuivant le développement de la plateforme OCAPI par le développement de nouvelles fonctionnalités et l'annotation des données confidentielles (CDD dédiés).
- ✿ Réalisant un travail collaboratif bénéficiant du support du MTE autour de la gouvernance des données contenues dans la plateforme OCAPI.
- ✿ Poursuivant le développement d'IA afin d'identifier plus efficacement et avec plus de diversité les espèces animales.
- ✿ Mettant en œuvre les POC permettant le raffinement des modèles d'occupation.

Dans la ligné du projet OCAPI, et en parallèle de la mise en œuvre du projet Ψ -BIOM, un projet de thèse Cifre entre TerrOïko et le CEFÉ est aussi en cours de lancement afin de développer les outils d'analyses permettant d'exploiter les données massives en temps continus issues de la mise en œuvre opérationnelle de projets tels qu'OCAPI ou Ψ -BIOM.

7.2 Intégration des sujets biodiversité dans l'écosystème des projets de recherche de l'UGE autour des infrastructures du futur

Le projet OCAPI permet d'inscrire la biodiversité dans l'écosystème des projets de recherche conduit à l'UGE (Figure 15). Il est ainsi l'un des projets amorçant le développement de collaborations scientifiques entre chercheurs du génie civil et chercheurs de la biodiversité. Les travaux de l'équipe PICS-L sur l'amélioration des capacités de reconnaissance en présence de brume ou brouillard, initialement réalisés pour les travaux sur les véhicules autonomes, pourront être intégrés directement aux travaux sur la biodiversité dans la chaîne de

traitement issue du projet OCAPI et les résultats de ces chaînes de traitements sont susceptibles d'alimenter réciproquement les travaux sur véhicules autonomes.

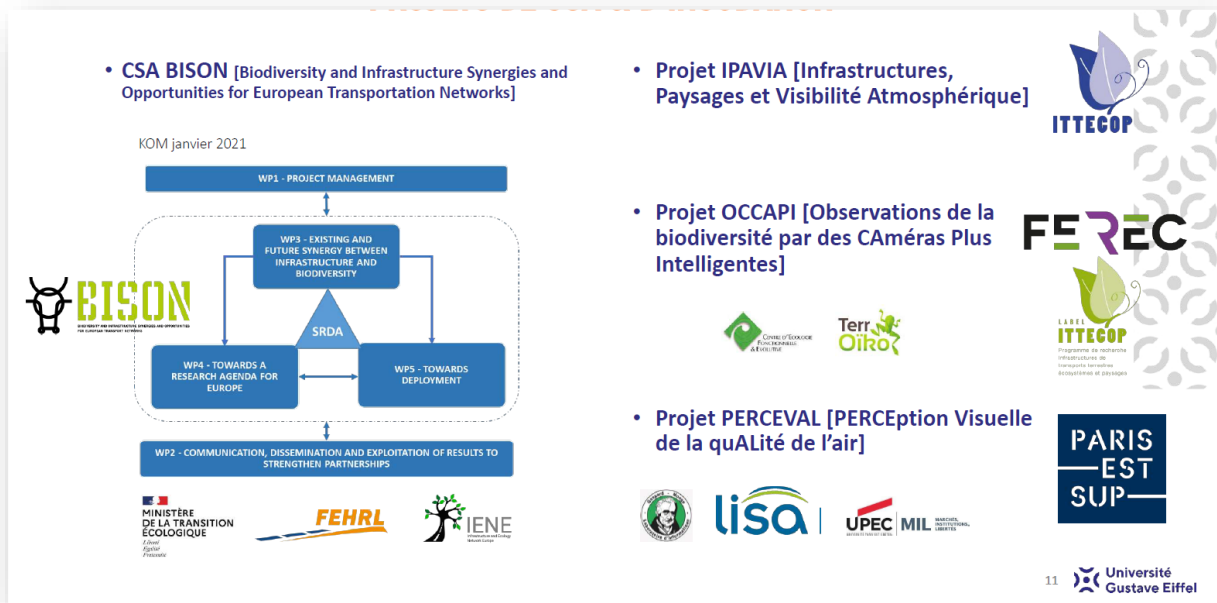


Figure 15 : Extraits du comité de suivi du projet IPAVIA (Hautière N., 2021) présentant l'articulation des projets de recherche de l'UGE autour de l'axe : « observation opportuniste de l'environnement »

8 Remerciements

Les partenaires du projet OCAPI, tiennent à remercier particulièrement Vinci Autoroute, le Réseau Loup-Lynx et la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie qui ont massivement contribué à l'alimentation de la plateforme OCAPI en images ainsi que tous les contributeurs volontaires. Nous remercions aussi particulièrement SNCF Réseau Occitanie qui a accepté que les données des travaux en cours puissent être mobilisées dans ces travaux.

9 Bibliographie

- Akaike, H. 1974. New look at statistical-model identification. Ieee Transactions on Automatic Control **AC19**:716-723.
- Albino, V. 2015. BERARDI, Humberto. e DANGELICO, Rosa M. Smart Cities: definitions, dimensions, performance, and initiatives. Journal of Urban Technology **22**:3-21.
- ANZLIC. 2019. Principles for spatially enabled digital twins of the built and natural environment in Austratlia. Page 25 in I. a. S. Industry, editor. Australian Government.
- Boileau, J., C. Calvet, S. Pioch, and S. Moulherat. in prep. Ecological equivalence assessment: the potential of genetic tools, remote sensing and ecological modelling to better apply the mitigation hierarchy. Journal of Environmental Management.
- Bousmanne, C., C. Cheron, M. Jablonowska, and E. de la Peña. 2019. Strategic Transport Research and Innovation Agenda (STRIA) - Roadmap. Page 85 in T. Infrastructure, editor. European Commission, Bruxelles.

- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach (2nd ed).
- Catalano, C., M. Meslec, J. Boileau, R. Guarino, I. Aurich, N. Baumann, F. Chartier, P. Dalix, S. Deramond, and P. Laube. 2021. Smart sustainable cities of the new millennium: towards design for nature. *Circular Economy and Sustainability*:1-34.
- Coulon, A., G. Guillot, J.-F. Cosson, J. M. A. Angibault, S. Aulagnier, B. Cargnelutti, M. Galan, and A. J. M. Hewison. 2006. Genetic structure is influenced by landscape features: empirical evidence from a roe deer population. *Molecular Ecology* **15**:1669–1679.
- Duminil, A., J.-P. Tarel, and R. Brémond. 2021. Single Image Atmospheric Veil Removal Using New Priors. Pages 1719-1723 in 2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE.
- Fiske, I., and R. Chandler. 2011. Unmarked: an R package for fitting hierarchical models of wildlife occurrence and abundance. *Journal Of Statistical Software* **43**:1-23.
- Lin, T.-Y., M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollár, and C. L. Zitnick. 2014. Microsoft COCO: Common Objects in Context. Pages 740-755 in D. Fleet, T. Pajdla, B. Schiele, and T. Tuytelaars, editors. *Computer Vision – ECCV 2014*. Springer International Publishing, Cham.
- Moulherat, S. 2014. Toward the development of predictive systems ecology modeling: MetaConnect and its use as an innovative modeling platform in theoretical and applied fields of ecological research. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.
- Moulherat, S., E. Bestion, M. Baguette, M. Moulherat, S. C. F. Palmer, J. M. J. Travis, and J. Clobert. 2020. MetaConnect, a new platform for population viability modelling to assist decision makers in conservation and urban planning. bioRxiv.
- Moulherat, S., D. Le Roux, C. De Roince, M. Barbier, and C. Delran. 2019. BioBIM - Biodiversité, BIM et Infrastructures. FEREC.
- Norouzzadeh, M. S., A. Nguyen, M. Kosmala, A. Swanson, M. S. Palmer, C. Packer, and J. Clune. 2018. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **115**:E5716-E5725.
- Noubissi, C. 2021. Reconnaissance et détection des Mammifères européens par apprentissage pour la sécurité routière. Université Gustave Eiffel, Paris.
- Pautrel, L. 2021. Using landscape genetics to evaluate the ability of models to reproduce the functioning of real metapopulations.
- Redmon, J., S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi. 2016. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. Pages 779-788 in 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE.
- Rigoudy, N., A. Benyoub, A. Besnard, C. Birck, Y. Bollet, Y. Bunz, N. De Backer, G. Caussimont, A. Delestrade, and L. Dispan. 2022. The DeepFaune initiative: a collaborative effort towards the automatic identification of the French fauna in camera-trap images. bioRxiv.
- Tabak, M. A., M. S. Norouzzadeh, D. W. Wolfson, S. J. Sweeney, K. C. VerCauteren, N. P. Snow, J. M. Halseth, P. A. Di Salvo, J. S. Lewis, and M. D. White. 2019. Machine learning to classify animal species in camera trap images: Applications in ecology. *Methods in Ecology and Evolution* **10**:585-590.
- Toli, A. M., and N. Murtagh. 2020. The concept of sustainability in smart city definitions. *Frontiers in Built Environment* **6**:77.
- Valente, A. M., P. Acevedo, A. M. Figueiredo, C. Fonseca, and R. T. Torres. 2020. Overabundant wild ungulate populations in Europe: management with consideration of socio-ecological consequences. *Mammal Review* **50**:353-366.