



HAL
open science

Plateforme Numérique d'accompagnement des APICulteurs (PNAPI)

Jean-Charles Huet, Lamine Bougueroua, Yassine Kriouile, Alexandre Dangleant, Axel Decourtye, Constance Beri, Adèle Bizieux, Elodie Rumiano, Lucille Johannet, Alicia Teston, et al.

► To cite this version:

Jean-Charles Huet, Lamine Bougueroua, Yassine Kriouile, Alexandre Dangleant, Axel Decourtye, et al.. Plateforme Numérique d'accompagnement des APICulteurs (PNAPI). Innovations Agronomiques, 2024, 94, pp.313-326. 10.17180/ciag-2024-vol94-art21 . hal-04623635

HAL Id: hal-04623635

<https://hal.inrae.fr/hal-04623635v1>

Submitted on 25 Jun 2024

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 Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



Plateforme Numérique d'accompagnement des Apiculteurs (PNAPI)

Jean-Charles HUET¹, Lamine BOUGUEROUA¹, Yassine KRIOUILE¹, Alexandre DANGLEANT², Axel DECOURTYE², Constance BERI², Adèle BIZIEUX³, Elodie RUMIANO³, Lucille JOHANNET⁴, Alicia TESTON⁴, Pascal JOURDAN⁵, Coline KOUCHNER⁵

¹ Efrei Research Lab, Université Paris-Panthéon-Assas, 30-32 avenue de la République, 94800 Villejuif, France

² Institut Technique et Scientifique de l'Abeille et de la Pollinisation (ITSAP), INRAE, Unité de Recherche 406 Abeille & Environnement, 228 route de l'Aérodrome, 84914 Avignon, France

³ Association de Développement de l'Apiculture en Auvergne-Rhône-Alpes (ADA AURA), Chambre Régionale d'Agriculture, 9 allée Pierre de Fermat, 63170 Aubière, France

⁴ Association de Développement de l'Apiculture en Nouvelle-Aquitaine (ADANA), 3 boulevard Vladimir, 17100 Saintes, France

⁵ Association de Développement de l'Apiculture en Provence (ADAPI), Maison des Agriculteurs, 22 Avenue Henri Pontier, 13626 Aix en Provence, France

Correspondance : jean-charles.huet@efrei.fr

Résumé

L'apiculture n'a cessé de se complexifier techniquement en raison des diminutions de récolte et des pertes de cheptel qui impactent cette activité. Les références scientifiques et techniques restent insuffisamment transférées vers l'ensemble des apiculteurs. Cela vient en partie d'un manque de données collectées en conditions réelles d'élevage apicole. Nous proposons de construire des outils informatiques permettant la gestion du cheptel apicole en apportant une sauvegarde des pratiques, de l'état de santé des colonies, et de leur rendement, tout en permettant aux apiculteurs de comparer leurs données. L'objectif des outils développés est l'accompagnement des apiculteurs dans leurs prises de décisions. Plus concrètement, ces outils comportent un carnet de suivi numérisé, une application de saisis de données et d'un outil de détection de varroas.

Mots-clés : Gestion de cheptel apicole, Outils d'aide à la décision, Intelligence Artificielle, Apiculture de précision, Traitement d'images, Chatbot, Varroa.

Abstract: Digital tool for supporting beekeepers (PNAPI)

Beekeeping becomes technically more complex, due to the drop in harvests and the loss of livestock that negatively influence this activity. Scientific and technical references remain insufficiently transferred to all beekeepers. This is partly due to a lack of data collected under real beekeeping conditions. We are proposing to build digital tools for managing bee populations, providing back-up for beekeeping practices, colony health and yield, while enabling beekeepers to compare their data. The aim of the tools developed is to support beekeepers in their decision-making. More practically, these tools include a digital logbook, a data entry application and a varroa mite detection tool.

Keywords : Beekeeping management, Decision support tools, Artificial intelligence, Precision beekeeping, Image processing, Chatbot, Varroa mite,



1. Introduction

La filière apicole est depuis une vingtaine d'années confrontée à une forte diminution des rendements en miel par colonie des exploitations qui impacte gravement leur productivité et leur durabilité. En effet, la production de miel en France est passée d'un niveau historique de 33 000 tonnes par an (rapporté en 1995) à 15 000 tonnes en 2013 malgré un nombre de ruches constant (Dangleant *et al.*, 2021). L'année 2015, plus favorable avec une production de 24 000 tonnes, fut malheureusement suivie par une année 2016 compliquée (16 000 tonnes produites) pour laquelle le rendement par ruche diminue de 37 % avec respectivement 16,5 kg/ruche contre 26,3 kg/ruche en 2015 (FranceAgriMer, 2016). Pour mémoire, la consommation nationale de miel est réputée stable avec 40 000 tonnes par an. La production française de miel ne permet pas de couvrir la consommation nationale. La balance commerciale est déficitaire et de 80 millions d'euros par an entre 2014 et 2020 (FranceAgriMer, 2022a). Le rendement de l'année 2021 est estimé à 14 kg/ruche, soit 39,6 % de moins qu'en 2020. Il s'agit du niveau le plus faible enregistré depuis le début de l'observatoire FranceAgriMer (FrancerAgriMer, 2022b).

Cette production faible s'accompagne de nombreux cas d'affaiblissements et de pertes de colonies en saison comme en hiver. En effet, le taux de mortalité hivernale nationale est chaque année supérieure au seuil considéré comme acceptable par la profession (10 %), avec 25 % pour la période 2008 - 2011, 18,4 % en 2012, 17,3 % en 2013 (Decourtye et Vallon, 2015), 13,7 % en 2014 (Projet européen Epilobee) et 13,4 % en 2015 - 2016 (Brodschneider *et al.*, 2016). A ceci s'ajoute les mortalités en saison, phénomène apparu dans les années 1990 et qui a concerné environ 13,6 % du cheptel des exploitations en France entre 2012 et 2013, ce qui représente le plus haut taux d'Europe (Projet européen Epilobee).

Les apiculteurs bénéficient aujourd'hui d'avancées technologiques significatives pour les assister dans la conduite technique de leur cheptel, notamment avec la banalisation des balances automatiques. Malgré une offre informatique émergente proposant d'enregistrer les données de conduite de cheptel, l'informatisation des données par les apiculteurs eux-mêmes semble rester une pratique marginale. A ce jour, le carnet de rucher reste l'outil le plus répandu, auquel s'ajoute l'inscription des données les plus primordiales sur le toit des ruches. L'historique d'une colonie reste ainsi difficilement consultable et les références des apiculteurs empiriques.

Le projet présenté ici apporte un élément de réponse très concret aux apiculteurs, les aidant au quotidien à mieux gérer leurs données. Une meilleure maîtrise de ces données signifie une meilleure capacité à sélectionner leur cheptel et favoriser les colonies les plus résistantes et adaptées à leur activité et leur environnement. Ceci est d'autant plus vrai dans la logique de centralisation qui permettra aux professionnels de se positionner les uns par rapport aux autres et d'identifier les pratiques efficaces.

L'intégration des structures de développement de l'apiculture dans la conception de la plateforme servira l'objectif de mise en place d'un nouveau vecteur de transfert des connaissances et de l'expertise, et ouvrira la voie à une meilleure animation sur le territoire. Enfin, l'émergence d'un référentiel inédit issu de la science participative représentera, pour les structures de recherche, un nouveau domaine d'analyse.

L'objectif de notre projet « Plateforme Numérique d'accompagnement des Apiculteurs » (PNAPI) est de mettre à disposition des apiculteurs des outils informatiques leur permettant de mieux visualiser leur pratique apicole et les caractéristiques de leurs colonies, de gagner du temps dans la saisie des données et de faciliter la gestion de leur cheptel. De plus, ils auront accès à des données environnementales, à un accompagnement personnalisé et plus précis dans le temps de la part des structures de développement et ils pourront également se positionner par rapport aux apiculteurs à l'échelle régionale ou nationale, en fonction de leurs pratiques et leur spécialisation.

Au travers de cette plateforme, les structures de développement bénéficieront d'outils modernes et efficaces pour signaler des événements aux apiculteurs, détecter précocement l'émergence de troubles sur les ruchers et alerter les apiculteurs situés dans la zone de risque bien plus rapidement et efficacement qu'à l'heure actuelle. Pour alimenter cette plateforme et aider les apiculteurs à saisir leurs



données à côté de la ruche malgré l'équipement, une application de *voicebot* a aussi été développée. Le dernier outil que l'on souhaite mettre à la disposition des apiculteurs est un système de détection des varroas basés sur l'analyse d'images.

Ces outils informatiques s'intègrent dans l'écosystème des applications dont l'ITSAP (Institut Technique et Scientifique de l'Abeille et de la Pollinisation) a participé activement au développement comme les deux applications : VarroAppli et BeeGIS. La première concerne la collecte et la mutualisation des relevés de varroas phorétiques réalisés par les apiculteurs et agents du réseau afin de permettre aux apiculteurs de se positionner face à des moyennes locales. La seconde propose une synthèse de l'occupation du sol dans l'aire de butinage d'un rucher.

L'objectif du projet PNAPI, porté par l'ITSAP, était de développer des outils informatiques permettant d'accompagner les apiculteurs dans leurs pratiques. Plus spécifiquement, il s'agissait de (1) recueillir les besoins à partir d'une enquête auprès des apiculteurs, (2) développer une plateforme numérique répondant à ces besoins, (3) développer un *voicebot* permettant d'alimenter cette plateforme avec les données issues des ruches et (4) proposer un outil d'analyse de l'affection de varroa basé sur l'analyse d'image par Intelligence Artificielle (IA).

2. Méthodes

La méthode de travail mise en place au sein de chaque action est faite en cohérence avec cette logique « inter-actions ». En effet, le développement de la plateforme numérique est réalisé selon une méthode AGILE¹, c'est à dire en privilégiant des cycles courts de développement et en favorisant les échanges entre maître d'ouvrage et maître d'œuvre. Dans le contexte du projet PNAPI, le maître d'ouvrage correspond au Groupe de Travail (GT) « métier » formé par l'ITSAP – Institut de l'abeille et les Association de Développement de l'Apiculture partenaires du projet (Auvergne Rhône Alpes, Nouvelle Aquitaine, et Provence). Le GT métier a donc pour charge d'identifier les attentes des apiculteurs et de les formuler en termes de fonctionnalités à développer. Ces attentes sont alors mises en forme dans une proposition d'interface à destination du maître d'œuvre, représenté par le partenaire EFREI (école d'ingénieur généraliste du numérique). Ce dernier expertise les propositions, les développe, puis met le résultat en ligne afin que le groupe de travail puisse procéder aux tests et fasse un retour sur les nouveaux ajouts. Ce travail est réalisé de manière cyclique, page après page.

Le groupe de travail « métier » a réalisé une enquête en ligne servant de base de travail pour recueillir les besoins des apiculteurs. L'enquête en ligne a d'abord été conçue sous forme de carte heuristique (logiciel XMIND©) afin de définir, en premier lieu, les thèmes à aborder de manière générale, puis de plus en plus précisément jusqu'à définir les questions et les formats de réponse.

Le questionnaire de l'enquête en ligne a ensuite été transposé à l'aide de Google Forms par l'ITSAP. Les ADA et l'ITSAP ont ensuite assuré la diffusion auprès de leurs apiculteurs en utilisant leurs canaux classiques de communication (réseaux sociaux, newsletter, sites web). Le résultat de l'enquête consistait en un tableau Excel contenant les réponses. Ce tableau de données a été analysé à l'aide de logiciel R (R Core Team, 2023) afin de produire les graphiques de résultats concernant les attentes des apicultrices et des apiculteurs. Les enquêtes présentielles ont consisté en des séances de travail réunissant les apiculteurs ainsi que les agents des ADA et de l'ITSAP. Un tour de table a été réalisé en premier lieu pour décrire le fonctionnement de chaque exploitation. Ces descriptions ont été transcrites sous forme de carte heuristique afin d'organiser les informations données par les apiculteurs en fonction des différents ateliers

¹ Manifeste pour le développement Agile de logiciels, <https://agilemanifesto.org/iso/fr/manifesto.html>, accessible au 17 mai 2024



de leur exploitation. Un intérêt particulier était porté au cycle de vie des données (collecte, analyse, définition d'actions, etc.) pour chaque type d'activité apicole.

Les séances de tests ont été réalisées en webinaires avec les apiculteurs suivant le projet d'une part, ainsi qu'avec les agents de notre réseau ADA – ITSAP d'autre part (incluant les ADA non-partenaires du projet). Une autre session a eu lieu à l'occasion du salon apicole « Tech&Bio » en septembre 2021².

Pour ces séances de tests, des exercices et questionnaires ont été préparés au préalable par le groupe de travail métier.

3. Résultats

3.1 Identification des besoins

Cette étape a permis d'identifier les besoins des utilisateurs, de définir des profils types de cycle de vie des données dans les exploitations apicoles, de conceptualiser les fonctionnalités et interfaces à développer et de collecter des avis sur l'évolution du prototype de plateforme.

Ces résultats se déclinent en ressources mobilisables pour le développement, à commencer par les retours de l'enquête en ligne : 440 apicultrices et apiculteurs ont répondu à l'enquête. Les questions de profilage ont permis d'établir une bonne représentativité des dimensions de cheptel et des types d'activités apicoles menées par les répondants. Cette diversité ainsi que le nombre de réponses reçues nous a permis de constituer une solide base de travail concernant les attentes des apiculteurs. L'exploitation des résultats de cette enquête a permis de construire des graphiques relatifs aux attentes des publics ciblés en fonction de leur profil d'exploitant. Un exemple de ce type de production est illustré par la Figure 1.

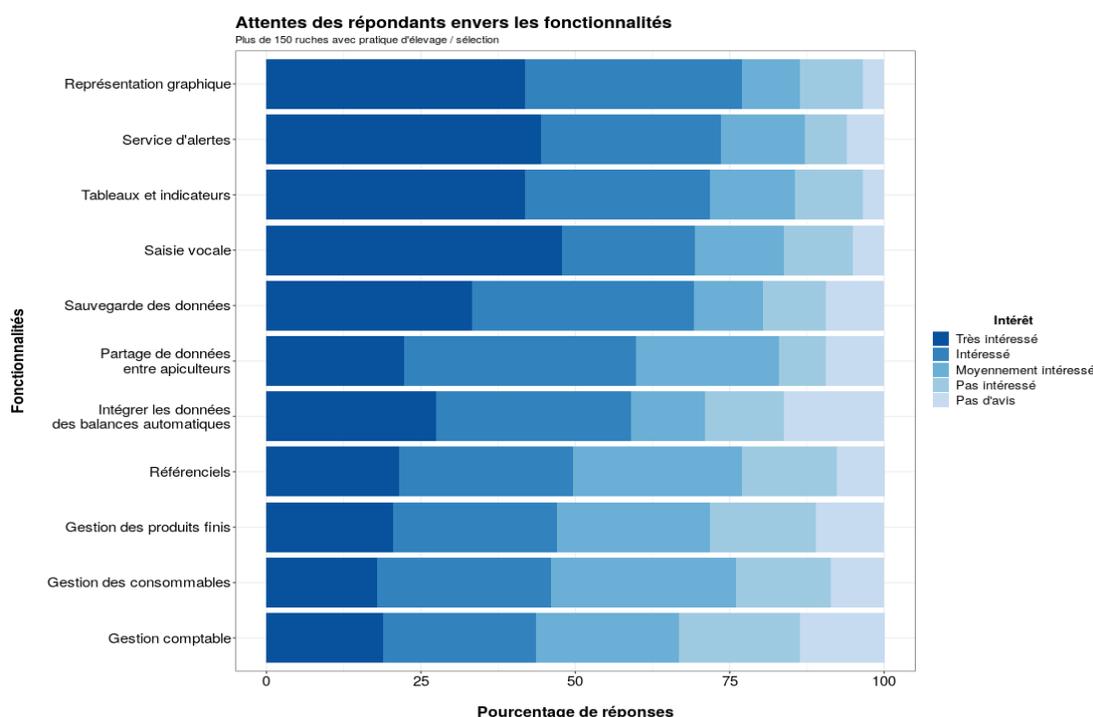


Figure 1 : Attentes des répondants de l'enquête en ligne concernant une plateforme de gestion de cheptel en fonction de leur nombre de ruche et type d'activité (ici : éleveurs et sélectionneurs ayant plus de 150 ruches).

² Salon agricole international des techniques bio et alternatives, organisé dans la Drome, France : <https://www.tech-n-bio.com/fr/archives-1/salon-international-techbio-2021/ce-qui-vous-attend>, accessible au 17 mai 2024



Les enquêtes présentielles ont permis d'identifier le cycle et l'utilisation des données au sein des exploitations. Les ressources produites consistent en des cartes heuristiques représentatives des caractéristiques et du fonctionnement des exploitantes et exploitants ayant participé. Ce type de ressource est illustré par la Figure 2 .

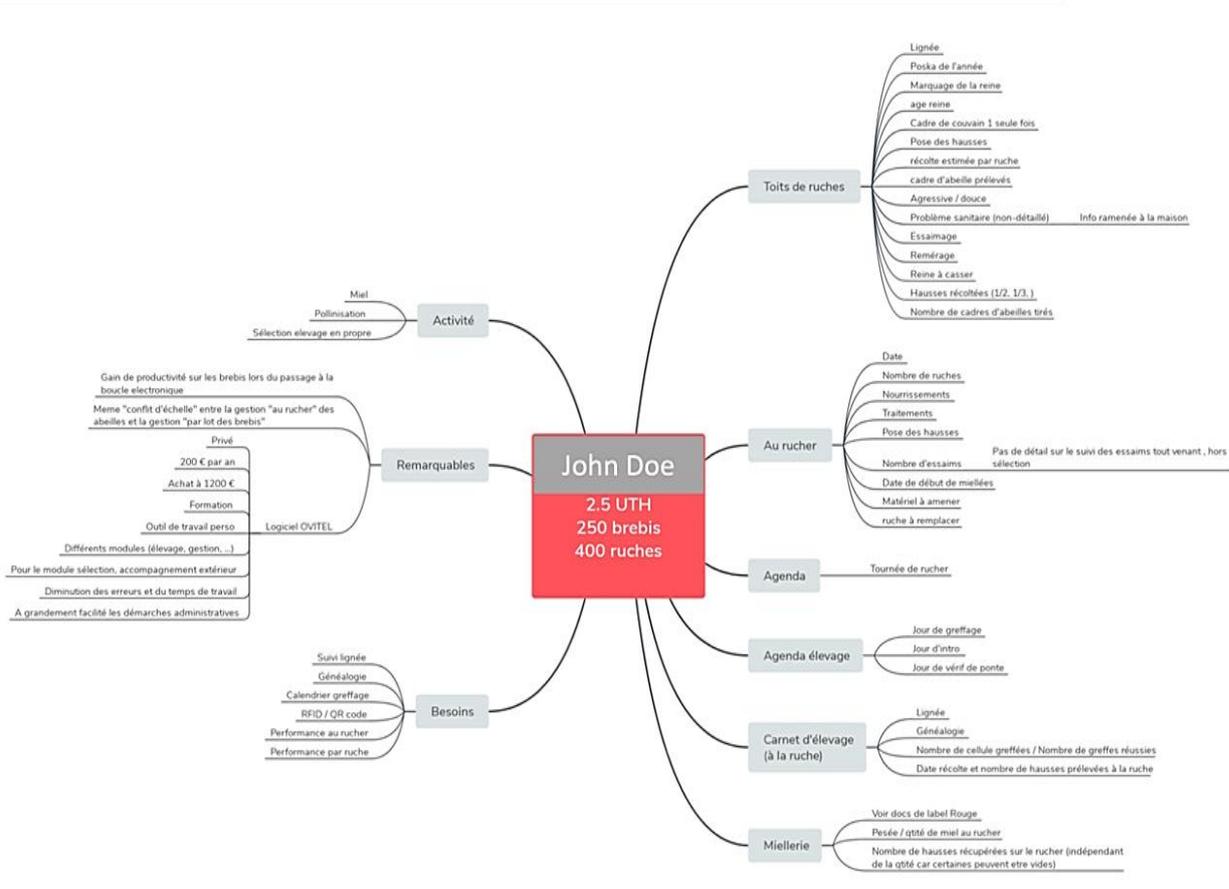


Figure 2 : Carte heuristique d'un apiculteur enquêté anonymisé, représentant les caractéristiques et le fonctionnement du système de cet exploitant. La carte a été réalisée grâce au logiciel XMind© d'après une enquête en présentiel

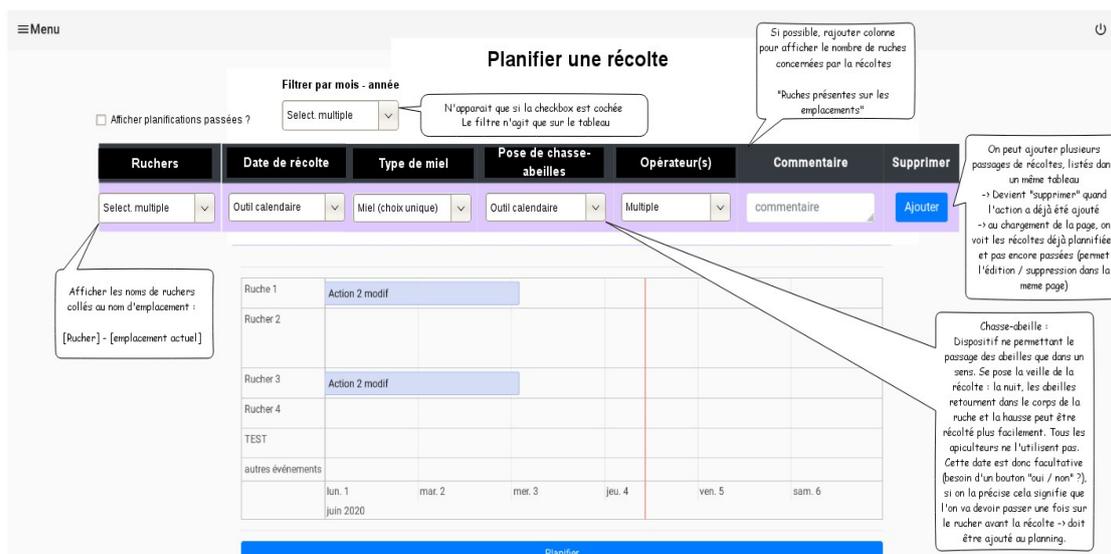


Figure 3 : Exemple de maquette, relative à la planification de récolte de miel de la plateforme PNAPI. Est représentée l'interface à laquelle l'utilisateur est confronté pour entrer les caractéristiques de son système



Enfin, les crash-tests réalisés en atelier avec les apiculteurs ont permis d'identifier les points à améliorer sur nos interfaces. Lors de ces ateliers, une courte présentation était réalisée pour rappeler les objectifs du projet et clarifier ce qui était attendu des apiculteurs et apicultrices participants. Un exercice a été ensuite proposé en demandant différentes actions à réaliser sur l'interface (création de ruches, déclaration des transhumances, etc.). L'interface n'était pas présentée avant l'exercice afin de laisser les apiculteurs découvrir celle-ci en autonomie pour ne pas biaiser leur prise en main. Les retours étaient ensuite collectés au travers d'un questionnaire, suivi d'un temps d'échange libre.

L'objectif principal de ce travail était d'alimenter le développement de la plateforme numérique PNAPI. Ceci s'est concrétisé par la réalisation de maquettes conceptuelles de l'interface telles qu'illustrées par la Figure 3.

Ces maquettes ainsi que les résultats intermédiaires qui ont permis de les construire, à savoir les cartes heuristiques des exploitations et les résultats de l'enquête en ligne, constituent de précieuses ressources. Elles sont utiles au-delà du projet pour l'ensemble des développements d'outils numériques que l'ITSAP entreprend, à destination du réseau de recherche et développement de l'apiculture, des apicultrices et apiculteurs eux-mêmes. Elles peuvent aussi permettre de mieux répondre aux demandes de partenaires institutionnels tels que l'ANSES.

4. Applications développées : plateforme numérique

Au terme de ce projet, voici les résultats obtenus dans le cadre du développement d'une plateforme pour apiculteurs :

- Une base de données adaptée aux objets-métiers liés aux pratiques apicoles, évolutive par sa structure souple (NoSQL) et capable de gérer un grand nombre de données (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**),
- Des services web qui permettent à la plateforme de communiquer avec la base de données,
- Un prototype de la plateforme riche de nombreuses fonctionnalités relatives à différentes thématiques de la gestion de cheptel, comme la planification et l'enregistrement d'actions diverses au rucher (création de ruches, transhumances, récoltes, stratégies et actions de traitement anti-varroas, etc.).

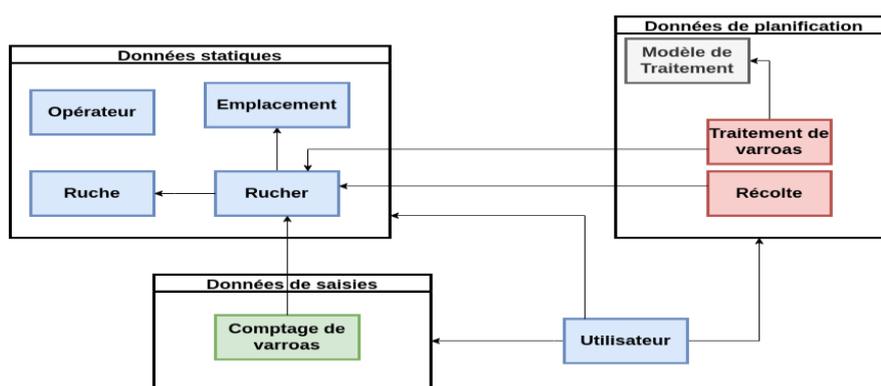


Figure 4 : Structure de la base de données.

L'ensemble des fonctionnalités développées est représenté sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

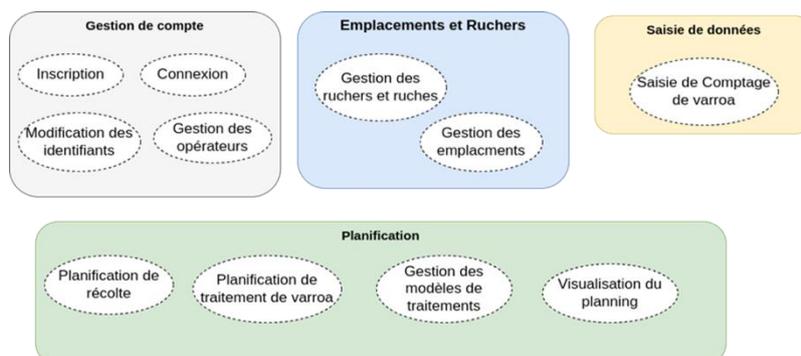


Figure 5 : Fonctionnalités de l'application.

Le *Framework* utilisé pour le développement de la plateforme est Angular³. Ce cadre permet un développement web ainsi qu'une transcription automatisée de l'interface web vers une version mobile (Android). La base de données est de type NoSQL, le système de gestion de base de données étant MongoDB. Les versions du code ainsi que les demandes de fonctionnalités et retours de bugs étaient suivis au travers de Gitlab.

Le prototype de plateforme permet, en premier lieu, de créer des ruches par lots, organisés en ruchers à positionner sur des emplacements (Figure 6). La possibilité de générer en quelques clics un rucher de 40 ruches (par exemple) représente un avantage notable pour les exploitants apicoles dont le cheptel compte plusieurs centaines de colonies. Le prototype permet également de créer un (ou plusieurs) opérateur(s) rattaché(s) au compte principal de l'utilisatrice ou utilisateurs. Cette fonctionnalité permet aussi de restreindre les droits de lecture et/ou écriture des données, et de donner un accès limité dans le temps pour gérer l'utilisation de l'application par des saisonniers apicoles. Les emplacements sur lesquels les ruches sont positionnés peuvent également être étiquetés par l'utilisateur afin de définir le type d'activité possible sur ce site géographique (hivernage, miellée de lavande, etc.). Ces étiquettes permettent de filtrer plus facilement les emplacements et ruchers dans les différents menus de l'interface.

³ Angular : <https://angular.io/>, accessible au 17 mai 2024

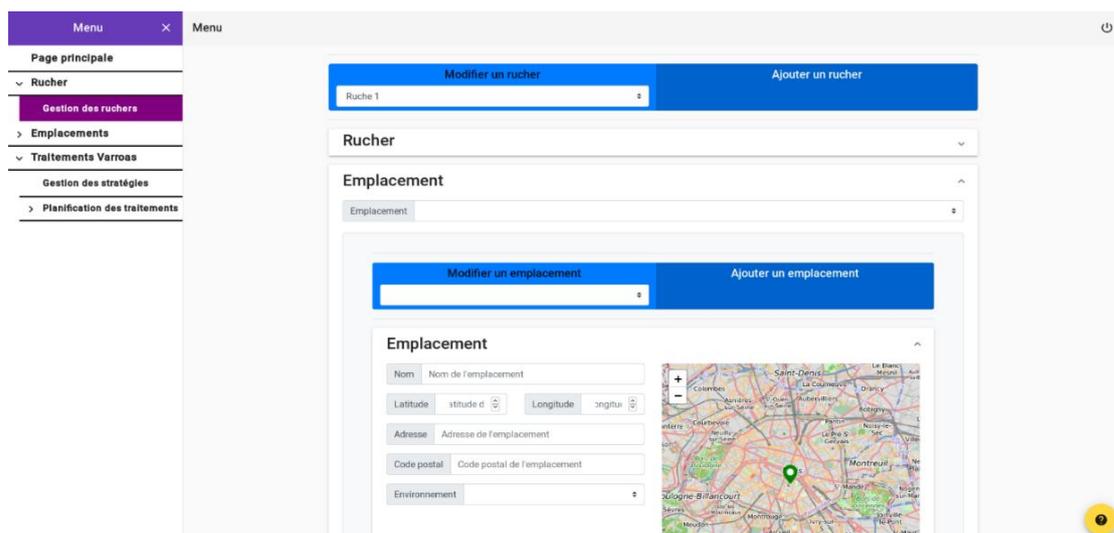


Figure 6 : Capture de l'écran de création de ruchers et de leurs emplacements du prototype de la plateforme PNAPI.

Sur chaque rucher, l'application PNAPI permet de planifier un panel varié d'actions en spécifiant l'opératrice ou l'opérateur en charge de celles-ci. Ces actions correspondent à des interventions sur le terrain pour réaliser une récolte de miel, appliquer un traitement anti-Varroas, réaliser un relevé de varroas (sur lange ou phorétiques), ou encore réaliser une transhumance. En fonction du type d'action, une liste de matériel nécessaire sur le terrain est proposée à partir des informations spécifiques à l'intervention.

Dans le cas des récoltes, des transhumances et des comptages de Varroas, les interfaces de planifications présentent une structure similaire avec :

- Des menus déroulants à choix multiple permettant de sélectionner les opérateurs et les ruchers sur lesquels l'intervention prend place,
- Une liste des actions déjà prévues sur le rucher,
- Un outil calendrier pour préciser la date de l'intervention,
- Une frise temporelle rappelant les actions déjà prévues sur l'ensemble des ruchers choisis à l'échelle de la semaine,
- Un bouton d'enregistrement de la planification,
- Un menu permettant de sélectionner une planification déjà créée pour la modifier.

Les actions liées aux traitements anti-varroas impliquent une séquence d'interventions sur le rucher considéré. Les interfaces de planification de ceux-ci sont similaires à celles présentées ci-dessus, à l'exception que la date saisie par l'utilisatrice ou l'utilisateur correspond à la date de début de la séquence, elle-même choisie à l'aide d'un menu déroulant à choix unique. Les séquences en elles-mêmes sont paramétrables dans une page dédiée, nommée « Stratégie de lutte contre Varroa ».

Dans le cas des traitements anti-Varroas, la page est composée d'un menu à choix unique permettant de sélectionner une stratégie pré-saisie (disposant d'une Autorisation de Mise sur le Marché) par le groupe de travail métier. Les interventions correspondantes à la stratégie sont alors listées dans un tableau, en précisant l'écart entre les interventions (en jour julien), ainsi que le matériel nécessaire pour l'intervention. Ces stratégies sont paramétrables, l'utilisatrice ou l'utilisateur pouvant réutiliser un modèle pré-saisie (sans entraîner la suppression ou modification définitive des modèles standards) afin de rajouter ses actions. Par exemple, il peut ajouter un passage d'acide oxalique x jours après la dernière action de la séquence.



Une fois les interventions réalisées sur le terrain, l'utilisatrice ou l'utilisateur est notifié de l'expiration des planifications et incité à saisir les informations idoines dans les pages dédiées. Ces pages sont donc spécifiques aux actions considérées, que ce soit pour saisir une récolte de miel, un comptage de varroas (sur lange ou phorétique), etc. Outre la collecte de données, l'objectif poursuivi au travers de ces pages est de valider que l'action de terrain avait bien eu lieu. En effet, les apicultrices et apiculteurs sont soumis à des aléas impactant leur planning, que ce soit pour des raisons de météo défavorable, pour le déclenchement précoce de miellée, ou encore pour compenser des pertes en saison. Le risque de déclarations erronées dans la plateforme dans ces circonstances devait donc être circonvenu.

Enfin, la page d'accueil de l'application consiste en un calendrier reprenant toutes les actions planifiées. Chaque action est représentée par une étiquette rappelant la nature de l'opération, le rucher considéré et l'opérateur en charge. Un clic sur l'étiquette ouvre un encadré en marge incluant des informations complémentaires telles que la liste du matériel requis pour mener l'intervention ainsi que les commentaires saisis par l'utilisatrice ou l'utilisateur.

La dernière tâche correspondant à la synchronisation de l'espace de stockage est théoriquement fonctionnelle en raison des choix technologiques adoptés. Cela étant, ceux-ci n'ont pu être testés en situation réelle car le prototype de plateforme n'a pas été déployée en version smartphone, faute de temps.

5. **BeeKnot : VoiceBot pour apiculteur**

La tâche concernant l'assistant de saisie vocal a dû être menée parallèlement au développement de la plateforme. En effet, l'identification précise des informations attendues par l'utilisateur lors d'une utilisation au rucher ont été trop tardives pour permettre de prévoir l'intégration de cette fonctionnalité dans le prototype de plateforme, à plus forte raison car la version Android n'a pas été déployée. La reconnaissance vocale a tout de même été développée dans un but de recherche afin de tester les possibilités d'adaptation de technologie aux conditions de bruit d'un rucher. Des enregistrements types ont été simulés en ajoutant des captations sonores de cet environnement par-dessus la voix de l'utilisateur. Le travail réalisé a été restitué par l'EFREI au comité de pilotage lors de la réunion finale du projet et a mis en avant la faisabilité de la saisie vocale au rucher. Depuis la fin du projet, l'EFREI a continué à travailler sur le développement de ce *Voicebot* (Ahmed et al., 2023). Une architecture conceptuelle, exposée sur la Figure 7, a été implémentée.

La solution se base sur quatre groupes de composants principaux :

- **Systèmes intelligents de traitement de langage naturel (NLP)** : Ces systèmes nous assurent principalement toutes les tâches relatives au traitement et à la compréhension du langage naturel de l'apiculteur dont nous allons avoir besoin dans notre système pour atteindre les fonctionnalités souhaitées.
- **Détecteur vocal de mots-clés** : Ce système nous assure l'expérience mains libres en déclenchant les trois cas d'utilisations liés aux commandes vocales (l'enregistrement, la validation et l'annulation) en prononçant des mots clés prédéfinis.
- **Système de gestion de base de données (SGBD) en nuage** : Le stockage en nuage est crucial dans notre système pour assurer la conservation des commandes de d'apiculteurs.
- **Application mobile** : L'application Android à développer permet aux apiculteurs d'exploiter facilement les fonctionnalités en leur offrant une interface facile à utiliser pour communiquer avec le ChatBot intelligent.
- **Des APIs** : Ces APIs jouent le rôle de passerelle en fournissant un portail web pour communiquer avec les systèmes de l'IA et le SGBD.

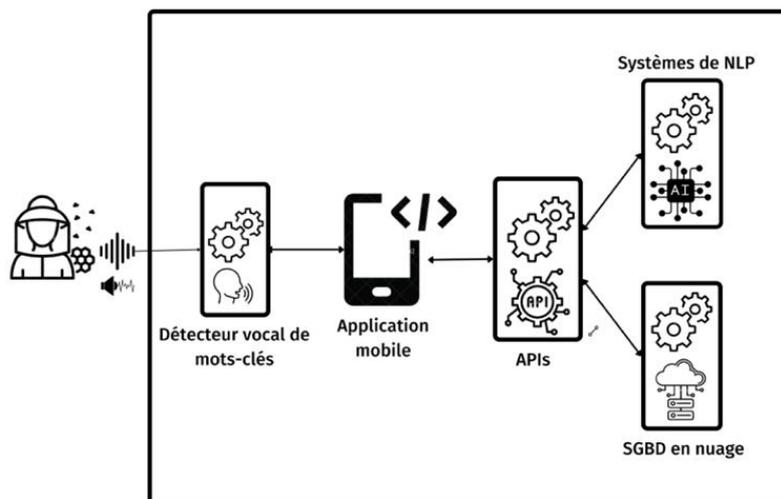


Figure 7 : Architecture conceptuelle de la solution *VoiceBot BeeKnot* développé dans le cadre du projet PNAPI. APIs : Interface de programmation d'application ; NLP : Natural Language Processing, Technologie qui permet de comprendre le langage humain ; SGBD : Système de Gestion de Bases de Données

La Figure 8 présente une démonstration de l'utilisation du chatbot.

3.4 Détection d'abeilles et de varroas

Une partie du projet a consisté aussi en la détection d'abeilles et de varroas à partir des images. Cela a donné lieu à une thèse de doctorat (Kriouile, 2022). Il y a différentes approches qui ont été proposées dans l'état de l'art, les principales limites de ces approches sont : utilisation des équipements spécifiques au niveau de la ruche, non traitement des cas d'occlusion, méthodes intrusives par rapport aux abeilles et des images utilisées non réalistes.

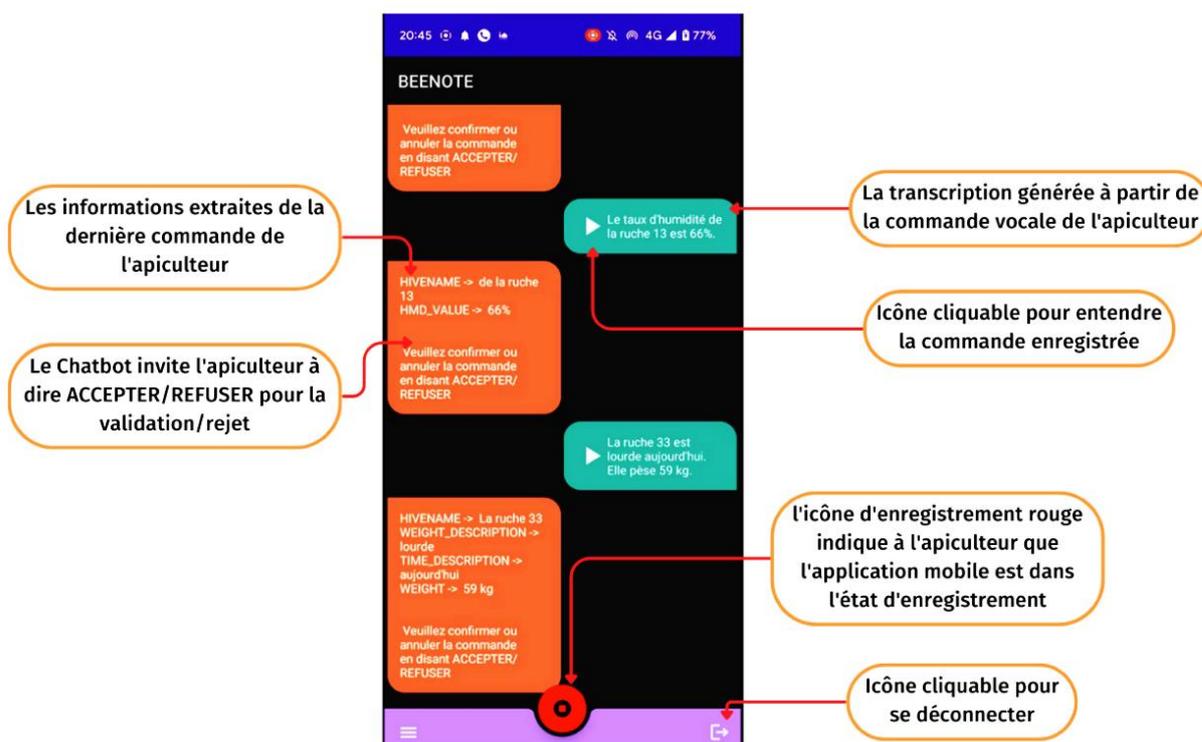


Figure 8 : Interface du Chatbot

Concernant la détection des objets imbriqués, l'approche standard consiste à réaliser une détection successive des objets. Elle se base sur l'utilisation de deux réseaux de neurones, chacun est entraîné pour trouver les positions d'un type donné d'objets. Cette approche manque d'efficacité car les caractéristiques sont extraites deux fois à partir d'une même image.

Dans ce travail de recherche, nous avons proposé d'étendre le réseau de neurones Faster R-CNN (Shaoqing *et al.*, 2016) pour améliorer la détection des objets imbriqués dans les scènes denses. L'approche est valorisée par une application de la détection d'abeilles et de varroas en utilisant une base d'images de cadre d'abeilles annotées.

Nos propositions permettent d'aboutir à un réseau de neurones qui améliore la détection de varroas de 1,9 % pour la précision sans perte de précision au niveau de la détection des abeilles par rapport à une détection consécutive. Nous avons réussi aussi à aboutir à un réseau qui améliore la détection des varroas de 11 % de précision par rapport à l'extraction standard des caractéristiques.

Pour entraîner et évaluer nos approches, nous avons construit une base d'images annotées par des abeilles et des varroas : 63 images de cadre d'abeilles, 3863 abeilles annotées, 565 abeilles infectées annotées et 638 varroas annotés (voir Figure 10 et Figure).

Nous avons utilisé trois outils différents pour annoter nos images. Le premier est Imagetagger⁴ (Figure 9), une application web connectée à un serveur pour annoter les images avec des boîtes de délimitation (bounding box). Cet outil nous a permis de travailler à distance en collaboration avec nos partenaires. Nous l'avons installé et configuré pour qu'il soit accessible via Internet. Nos partenaires de projet l'ont utilisé pour nous aider dans la tâche d'annotation. Le deuxième outil est l'application Matlab Image

⁴ <https://github.com/bit-bots/imagetagger>, accessible au 17 mai 2024



Labler⁵(Figure 10). À l'aide de cet outil, nous avons annoté certaines images de notre base de données avec des boîtes de délimitation, puis nous avons exporté les annotations vers l'espace de travail Matlab. Un code Matlab a été développé pour exporter les annotations du format Matlab au format Json. Cet outil a l'avantage d'être facile à utiliser. Nous avons également utilisé « Via annotator tool »⁶ pour annoter les varroas à l'aide d'ellipses, il s'agit d'une application web qui ne nécessite pas d'installation. Nous avons développé une application en python pour la détection des abeilles et varroas (Figure 11).

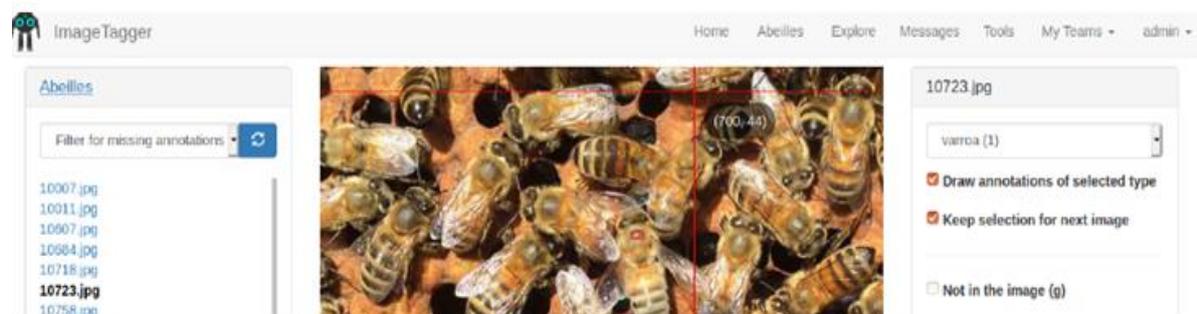


Figure 9 : Images annotation

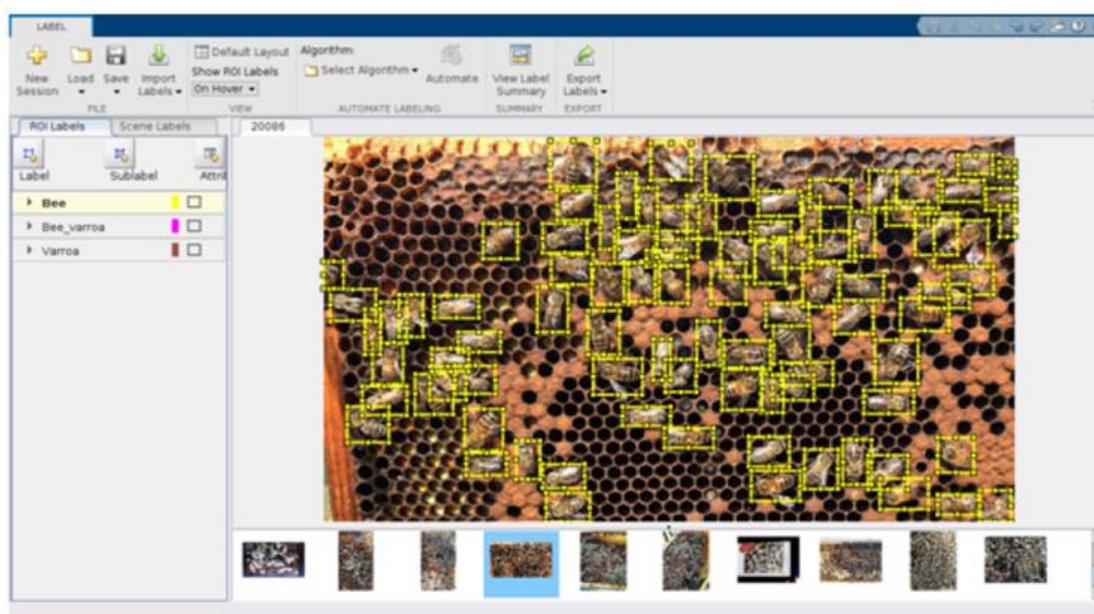


Figure 10 : Images labélisation

⁵ <https://fr.mathworks.com/help/vision/ref/imagelabeler-app.html>, accessible au 17 mai 2024

⁶ <https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/software/via/>, accessible au 17 mai 2024

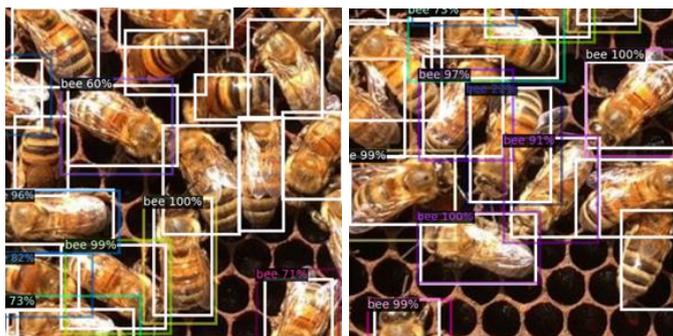


Figure 1110 : Détection d'abeilles dans une scène dense

Voici la liste des contributions majeurs de ce domaine :

- Construction d'une base d'images annotées par des abeilles et des varroas : 63 images de cadre d'abeilles, 3863 abeilles annotées, 565 abeilles infectées annotées et 638 varroas annotés,
- Nouvelle méthode de détection des objets imbriqués dans les scènes denses (par l'apprentissage profond Faster R-CNN étendu),
- Détection des objets par leurs coins, avec de nouvelles données d'annotation, quatre branches additionnelles à RPN (Region Proposal Network) (Shaoqing *et al.*, 2016) pour la détection d'objets à partir des différents coins d'un objet :
 - o Dans le cas de la détection d'abeilles dans des scènes denses : 10 % amélioration de rappel et 6 % d'amélioration de la précision,
 - o Nous avons appliqué notre méthode dans le cas de la détection des personnes dans des scènes denses : la précision et le rappel sont améliorés de 3 %,
- Utilisation d'un réseau de neurones Mask R-CNN (Regions with Convolutional Neural Networks) (He *et al.*, 2018) pour la détection en une seule fois des objets imbriqués, dans notre cas, les abeilles et les varroas :
 - o Amélioration de la détection de varroas de 1,9 % pour la précision sans perte de précision au niveau de la détection des abeilles par rapport à une détection consécutive.
 - o Amélioration de la détection des varroas de 11 % de précision par rapport à l'extraction standard des caractéristiques.

6. Conclusion et perspectives

Les prototypes livrés au terme de ce projet sont :

1. Un portail web relié à l'application smartphone qui permettra de gérer les ruches et de visualiser plus largement les données liées à l'utilisateur.
2. Une application smartphone pour la saisie au rucher, avec saisie vocale adaptée au terrain et gestion de l'absence de connexion 3G / 4G par un double stockage, local et sur serveur distant, qui pourront se synchroniser. Cette application permettra également de visualiser les informations importantes au rucher.
3. Il a été décidé de tester la méthode d'intelligence artificielle pour détecter les Varroas phorétiques sur les abeilles par analyse d'image. A terme, cette technique pouvant consolider les données recueillies par VarroAppli.

Ces outils informatiques permettront aux apiculteurs de conduire au mieux leur cheptel, de faire circuler des alertes événementielles, et donc d'améliorer les conditions de productions. Ils restent aujourd'hui à l'état de prototype et nous espérons pouvoir les mettre en production et à la disposition de tous dans les prochains mois. Le référentiel créé à partir des données des utilisateurs sera valorisé par une restitution à l'échelle nationale des indicateurs de l'état de l'apiculture française, établis par l'ITSAP - Institut de l'abeille - en partenariat avec les associations de développement de l'apiculture régionales. Ces données



pourront également être mises à disposition de la recherche fondamentale pour ouvrir la voie à de nouvelles études, basées sur un système passif de science participative. Une première étape a été de recueillir les besoins des apiculteurs. Ce recueil a servi de base pour le développement informatique et les choix fonctionnelles des outils.

A long terme, nous souhaitons mettre en place un système décisionnel, basé sur l'IA, capable d'apprendre des décisions prises par les apiculteurs dans un contexte donné (par exemple : nourrissage en hiver) pour prodiguer des conseils à partir des actions les plus représentées. L'expertise des structures de développement alimenteront également ce système décisionnel dans le cadre de lancement d'alertes (par exemple, alerte disette dans un secteur en raison de la connaissance du terrain et du climat). Un agrégateur de données environnementales complètera les outils de saisie proposés aux apiculteurs afin de leur permettre de mieux connaître les caractéristiques des emplacements qu'ils utilisent pour leurs ruchers, et ainsi de les accompagner dans ces choix. Les données collectées alimenteront un référentiel nouveau, issu de la profession, dans lequel les possesseurs de ruches pourront situer leurs pratiques et identifier les forces et faiblesses de leur conduite de cheptel. Ce référentiel permettra également de proposer des indicateurs de l'état de santé de l'apiculture française, notamment en ce qui concerne les pertes hivernales, les stratégies de traitement contre varroas et les quantités de miel (ou gelée royale) récoltés. L'ensemble des fonctionnalités implémentées dans la plateforme numérique d'accompagnement des apiculteurs ainsi que les droits de réutilisation des données et le modèle économique final de ce système informatique sera discuté avec les apiculteurs. La concertation avec les futurs utilisateurs est au centre du projet afin de garantir la pertinence du service rendu et le consentement des utilisateurs concernant la réutilisation de leurs données.

Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCIDs des auteurs

Jean-Charles HUET : <https://orcid.org/0000-0002-0859-4734>

Lamine BOUGUEROUA : <https://orcid.org/0000-0002-5322-8231>

Contribution des auteurs

Jean-Charles HUET et Lamine BOUGUEROUA ont rédigé l'article en tant que premiers auteurs et ont contribué au projet en tant qu'expert du numérique.

Yassine KRIOUÏLE a contribué au développement informatique et des modèles d'intelligence Artificielle ainsi qu'en tant que relecteur.

Alexandre DANGLEANT, Axel DECOURTYE et Constance BERI ont contribué en tant que chef de file et relecteurs.

Adèle BIZIEUX, Lucille JOHANNET, Pascal JOURDAN, Coline KOUCHNER, Elodie RUMIANO, Alicia TESTON ont contribué à la description et l'explication des besoins.



Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Ce projet a été financé par le CASDAR, Projet PNAPI, numéro de convention AAP 2018 N°18 ART 1831.

Références bibliographiques :

Ahmed, M. S., Lamine, B., Jean-Charles, H., Hakim, M., 2023. BeeKnote: Voice Chatbot Assistant for the Beekeepers. Proceedings of The Thirteenth International Conference on Business Intelligence and Technology BUSTECH 2023, pp. 11-17.

Brodtschneider R., Gray A., van der Zee R. et al., 2016. Preliminary analysis of loss rates of honey bee colonies during winter 2015/16 from the COLOSS survey, Journal of Apicultural Research, 55:5, 375-378, DOI: 10.1080/00218839.2016.1260240

Alexandre Dangleant, Fabien Ricard, Cyril Vidau, François Laperruque, Maryline Pioz, et al..2021. IODA -Informatiser et Organiser les Données Abeilles. Innovations Agronomiques, 2021, 82, pp.165-177. ff10.15454/1ygt-vw39ff. fihal-03159801f

Epilobee, projet européen, L'europe mobilisée sur la santé des abeilles, 17 juillet 2015, anses.fr, Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/content/le-programme-europ%C3%A9en-epilobee>

FranceAgrimer. Observatoire de production de miel et de gelée royale, Octobre 2016, Disponible sur : <https://www.franceagrimer.fr/content/download/47793/458073/file/SYN-MIEL-Observatoire%20miel%20et%20GR%202015.pdf>.

FranceAgrimer, 2022a. Apiculture, fiche filière, Disponible sur : <https://www.franceagrimer.fr/content/download/68209/document/FICHE%20FILIERE%20APICULTURE%202022.pdf>

FranceAgrimer, 2022b. Observatoire de la production de miel et gelée royale 2022 (données 2021)Disponible sur : <https://www.franceagrimer.fr/content/download/69152/document/SYN-API-Observatoire Miel et Gel%C3%A9e Royale 2021.pdf>

Axel Decourtye, Julien Vallon, Observatoire des pertes hivernales de cheptel en France : les résultats pour l'hiver 2013-2014, ITSAP - Institut de l'abeille. Février 2015, disponible sur : https://www.snapiculture.com/wp-content/uploads/2015/03/pertes-hivernales-2013-2014_vdef.pdf

Kriouile Y., 2022. Detection of Nested Objects in Dense Scenes using Deep Learning-Application to Bee and Varroa Detection. Thèse de doctorat. Université Paris sciences et lettres, France.

R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, and Jian Sun, 2016. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. Arxiv.org/pdf/1506.01497v3.

Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollár, Ross Girshick, 2018. Mask R-CNN. arxiv.org/abs/1703.06870 (V3).



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue Innovations Agronomiques et son DOI, la date de publication.