



## **Rapport de stage assistant ingénieur**

Cycle ingénieur 2<sup>ème</sup> année



PIRANDA Julien

FISE 2021

[julien.piranda@ensta-bretagne.org](mailto:julien.piranda@ensta-bretagne.org)

## Résumé

Les abeilles sont des insectes fascinants aux comportements très complexes. Dans un but de pouvoir mieux les comprendre, j'ai réalisé un stage visant à quantifier la productivité d'une ruche. Ce stage a été réalisé avec le Lab-STICC de l'ENSTA Bretagne, il s'est donc déroulé en totale autonomie.

Il consistait à la réalisation d'un système permettant de mesurer l'activité d'une ruche avec la détection du nombre d'entrées/sorties des abeilles de la ruche. Les abeilles étant au cœur du projet, il a fallu s'adapter à cette contrainte et les observer pour mieux les comprendre afin de réaliser un système gênant le moins possible leurs fonctionnements.

Pour cela, j'ai réalisé un prototype utilisant une raspberry pi et une caméra. A l'aide du langage de programmation Python et des fonctions de la librairie OpenCV (notamment avec la détection de blob), le système est capable de compter les entrées-sorties des abeilles et ainsi de pouvoir donner une quantification de l'activité de la ruche.

Le système créé permet donc de récupérer les entrées-sorties de n'importe quelle ruche et d'afficher leur évolution sous forme de graphiques.

## Abstract

Bees are fascinating insects with very complex behaviors. In order to better understand them, I did an internship to quantify the productivity of a hive. This training course was carried out with the Lab-STICC of ENSTA Bretagne, so it took place in total autonomy.

It consisted in the realization of a system allowing to measure the activity of a hive with the detection of the number of entries/exits of the bees of the hive. The bees being at the heart of the project, it was necessary to adapt to this constraint and to observe them to better understand them in order to realize a system that would disturb their functioning as little as possible.

For this, I made a prototype using a raspberry pi and a camera. Using the Python programming language and the functions of the OpenCV library (notably with blob detection), the system is able to count the bees' inputs and outputs and thus to give a quantification of the hive activity.

The system created thus allows to recover the input-output of any hive and to display their evolution in the form of graphs.

Toutes les photos du rapport sont issues du stage.

## Table des matières

<b>1. Le contexte</b>	<b>5</b>
<b>2. Les objectifs et les enjeux</b>	<b>6</b>
<b>3. Activités et résultats</b>	<b>8</b>
3.1 Conception générale du projet.....	8
3.2 Recherche des solutions techniques .....	11
3.2.1 Etat de l'art .....	11
3.2.2 Explication de la solution retenue : .....	13
3.3 Réalisation du Système :.....	17
3.3.1 Lancement du système .....	17
3.3.2 Récupération des données .....	18
3.3.3 Prototype .....	19
3.4 Partie expérimentale .....	20
3.4.1 Les premières mesures .....	20
3.4.2 Amélioration du système.....	21
3.4.3 Amélioration du code .....	22
3.5 Les Résultats.....	25
3.5.1 Mesure de l'activité d'une ruche .....	25
3.5.2 Utilisations possibles du système .....	27
<b>4. Analyse de la contribution du stage</b>	<b>28</b>
<b>5. Conclusion</b>	<b>29</b>
<b>6. Annexes</b>	<b>31</b>
<b>7. Références</b>	<b>43</b>

## Table des figures

<b>Figure 1:</b> Logo Lab-STICC .....	5
<b>Figure 2:</b> Rucher.....	6
<b>Figure 3:</b> Différents types de toits .....	6
<b>Figure 4:</b> Environnement d'une ruche cas n°1 .....	7
<b>Figure 5:</b> Différents comportements des abeilles en entrée de ruche .....	9
<b>Figure 6:</b> Abeilles qui barbent .....	10
<b>Figure 7:</b> Raspberry pi équipée d'une caméra pi .....	10
<b>Figure 8:</b> Support pour téléphone facilitant l'enregistrement des vidéos des abeilles .....	12
<b>Figure 9:</b> Fonctionnement d'une image .....	13
<b>Figure 10:</b> Principe d'une enveloppe convexe .....	13
<b>Figure 11:</b> Principe du ratio inertiel .....	14
<b>Figure 12:</b> Utilité de l'Algorithme de Kuhn-Munkres .....	14
<b>Figure 13:</b> Méthode de détection d'entrée d'abeilles .....	15
<b>Figure 14:</b> Méthode de détection de sortie d'abeilles .....	16
<b>Figure 15:</b> Commande pour raspberry.....	17
<b>Figure 16:</b> Méthode de détection des coordonnées de l'entrée de la ruche par utilisation d'allumette .	17
<b>Figure 17:</b> Syntaxe pour l'écriture des fichiers.....	18
<b>Figure 18:</b> Prototype du système.....	19
<b>Figure 19:</b> Graphique de la première mesure .....	20
<b>Figure 20:</b> Graphique en barres représentant la fréquence d'entrées-sorties des abeilles.....	20
<b>Figure 21:</b> Données recueillies après amélioration de la fréquence d'échantillonnage .....	22
<b>Figure 22:</b> Image envoyée pour la détection .....	22
<b>Figure 23:</b> Image améliorée de la détection d'une abeille .....	22
<b>Figure 24:</b> Données recueillis après amélioration de l'image de détection de mouvement .....	23
<b>Figure 25:</b> Focalisation sur une zone restreinte.....	23
<b>Figure 26:</b> Données recueillies après réglage des paramètres du code.....	24
<b>Figure 27:</b> Données recueillies après réparation du code .....	24
<b>Figure 28:</b> Graphique montrant l'activité d'une ruche .....	25
<b>Figure 29:</b> Graphique en barres de l'intensité de l'activité d'une ruche .....	26
<b>Figure 30:</b> Graphique comparant l'activité journalière d'une ruche.....	27
<b>Figure 31:</b> Graphique comparant la différence d'activité entre 2 ruches.....	27

## 1. Le contexte

Suite à la pandémie mondiale et aux nombreux stages annulés, l'ENSTA Bretagne mis en place des stages avec le Lab-STICC pour venir en aide aux étudiants.

Venant tout juste d'effectuer une substitution en Pologne, je ne me voyais pas passer mes vacances à ne rien faire et à ne rien apprendre. C'est donc tout naturellement que lorsque Luc Jaulin, a proposé des stages 2A aux ROB que je me suis porté volontaire.

Mais tout d'abord, présentons le Lab-STICC :

Le Lab-STICC (Laboratoire en Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance) est une UMR créée le 1er Janvier 2008. Le Lab-STICC est un laboratoire structurant la recherche « des capteurs à la connaissance » en Bretagne océane. Pôle de référence à la visibilité internationale en recherche sur les systèmes communicants, il regroupe plus de 500 personnes dont 220 chercheurs et enseignants-chercheurs répartis en 6 tutelles : l'ENIB, L'UBO, le CNRS, l'IMT Atlantique, l'UBS et l'ENSTA Bretagne. Cette organisation en tutelles est répartie sur différents sites : Brest, Quimper, Lorient, Vannes, Nantes et Rennes [1].



*Figure 1: Logo Lab-STICC*

Parmi les différents partenaires offrant des contrats de recherche au laboratoire, on retrouve des sociétés privées comme Safran ou Thalès, mais également des établissements publics comme la DGA ou le SHOM. Le laboratoire génère un chiffre d'affaires annuel de 6 M €, dont 1,5 M € de contrats privés, et une production scientifique significative de 550 revues, 1500 conférences et 50 brevets sur les 4 dernières années.

## 2. Les objectifs et les enjeux

Lorsque Luc Jaulin nous a proposé les stages, il nous a demandé si nous avions des idées de sujet. J'ai proposé un sujet consistant à quantifier la productivité d'une ruche avec la réalisation d'un système permettant de compter le nombre d'entrées/sorties des abeilles.

En effet, c'est un sujet qui me tient à cœur, car venant d'une famille d'apiculteurs, j'ai été au contact des abeilles dès mon plus jeune âge et je trouvais très intéressant de faire un projet en lien avec elles.

Pourquoi quantifier la productivité d'une ruche ?

Pour un apiculteur, il est important de savoir connaître l'activité de sa ruche. Non pas seulement pour savoir si celle-ci va produire beaucoup de miel mais aussi pour renseigner de l'état de santé de la ruche. Les abeilles étant des organismes fragiles, il faut souvent surveiller leur bon fonctionnement. Et avoir accès aux nombres d'entrées/sorties des abeilles d'une ruche est une manière directe de pouvoir mesurer son activité.

Avoir accès à une mesure de l'activité d'une ruche peut aussi servir à la recherche d'optimisation de la ruche. Le principal objectif pour un apiculteur est le bon fonctionnement de ses ruches. Celle-ci dépend de beaucoup de paramètres.

Nous distinguerons 2 types de paramètres :

- Les paramètres inévitables ; que l'on ne peut pas maîtriser (à l'échelle de l'apiculteur) : météo, nourritures de la flore, ...
- Les paramètres choisis : choix de la ruche, choix de la gestion des abeilles, ...

Parmi les paramètres que choisit directement l'apiculteur, on y retrouve le choix de l'emplacement des ruches. Celui-ci, est capital car il va impacter directement sur la production de la ruche.

En effet, l'environnement, que ce soit : le lieu, la surface de décollage, l'eau, le soleil, le vent sont des caractéristiques vitales pour la ruche [2]. Avec, un système permettant de mesurer la production de la ruche on peut directement comparer les ruches et déterminer les meilleurs critères.

Exemples :



Figure 2: Rucher

Sur cette photo, on peut distinguer 3 types de toit pour la ruche :



Figure 3: Différents types de toits

Le toit d'une ruche permet de protéger la colonie des intempéries, il doit être présent mais doit laisser le plus possible l'accès aux rayons de soleil. On pourrait imaginer qu'un type de toit est plus fonctionnel qu'un autre et comparer l'activité de ces ruches tout en prenant en compte la taille de la colonie pourrait nous permettre de le déterminer.

Autre exemple :



Figure 4: Environnement d'une ruche cas n°1



Figure 5 : Environnement d'une ruche cas n°2

Ces 2 photos représentent 2 ruches situées à 2 endroits différents. L'une dans une forêt lui permettant d'être à l'abri du vent, l'autre dans une plaine lui permettant en ensoleillement maximal.

On pourrait se demander, quel emplacement est le meilleur ?

Pour cela, il faudrait comparer l'heure à laquelle les abeilles sont actives grâce à la détection des entrées-sorties de la ruche. Et on pourrait aussi imaginer que le système puisse récupérer, l'ensoleillement de l'entrée de la ruche et sa température qui seraient des bons indicateurs de la validité de l'emplacement.

*Remarque : Comparer les entrées-sorties de 2 ruches n'est pas suffisant pour dire si une ruche est plus active qu'une autre, il faut aussi prendre en compte la taille de l'essaim. Celui-ci n'est pas facilement mesurable mais peut être estimé soit par le poids de la ruche, soit par la récolte du miel qu'il a produit.*

## 3. Activités et résultats

### 3.1 Conception générale du projet

- Formulation de l'objectif du projet : quantifier la productivité d'une ruche.
- Détermination du moyen pour y parvenir :

Il est impossible de suivre l'activité complète d'une abeille, cet insecte étant trop petit pour pouvoir l'observer durant toute sa journée, il est impossible de la doter d'une puce permettant de suivre son activité dans la journée. Ainsi, le seul moyen pour suivre la production se trouve à l'entrée de la ruche. On peut y observer les va-et-vient des abeilles et leurs comportements. Le moyen que j'ai choisi pour quantifier la production de la ruche est le comptage des entrées-sorties des abeilles.

Mais est ce que compter les entrées-sorties de la ruche est un bon moyen de mesurer la productivité d'une ruche ?

- Etude de la validité de la méthode choisie :

En effet, avant de se lancer dans la réalisation du système, il est préférable de s'assurer que le moyen technique utilisé est viable. Les abeilles ayant un comportement très complexe, quantifier leur production n'est pas chose facile [3].

Les abeilles, ayant un comportement très complexe, peut être catégoriser sous plusieurs métiers [1] :

➤ **Nettoyeuse**

Au premier jour de sa vie, l'abeille est préposée au ménage. Elle commence par nettoyer les cellules. Le nettoyage général du fond de la ruche est effectué par des abeilles plus âgées, entre 10 et 15 jours.

➤ **Nourrice**

Quand elle atteint 5 à 6 jours, l'abeille est capable de sécréter de la nourriture pour les larves ; elle devient alors nourrice et le reste jusqu'à l'âge de 15 jours. Les nourrices prodiguent des soins attentifs aux larves qui sont alimentées individuellement plus de 1 000 fois et reçoivent 7 000 visites de contrôle.

➤ **Maçon**

La construction des rayons de la ruche est un travail collectif qui demande une grande coordination. Ils sont fabriqués par une chaîne d'abeilles qui sécrètent des écailles de cire grâce à leur glande cirière. Un ouvrage délicat et épuisant entrepris par des maçonnes qualifiées

➤ **Ventileuse**

L'âge moyen des ventileuses est estimé à 18 jours, mais cette fonction peut être assumée par des ouvrières de tous âges. La ventilation consiste à battre des ailes pour aérer la ruche et contrôler ainsi sa température, son taux d'humidité et son taux de gaz carbonique. Elle sert aussi à assécher le nectar. Lors de l'essaimage, les ventileuses ont pour mission de battre le rappel pour permettre le regroupement de l'essaim

➤ **Gardienne-Vigile**

La gardienne défend la ruche. Vigile posté à l'entrée de la ruche, la gardienne protège la colonie de ses ennemis. Elle contrôle l'identité des abeilles qui entrent dans la ruche en vérifiant leur odeur, pour s'assurer qu'il ne s'agit pas d'individus d'autres colonies venues piller leurs réserves

➤ **Butineuse**

Vers l'âge de trois semaines, l'ouvrière peut devenir butineuse et s'envole enfin hors de la ruche à la recherche de nectar, de pollen et d'eau, indispensables à la colonie. Une butineuse effectue une dizaine à une centaine de voyages par jour selon la proximité des fleurs. A ce train d'enfer, elle s'épuise vite et, au bout de quatre à cinq jours, elle meurt.



— Ventileuses  
— Butineuses

Figure 5: Différents comportements des abeilles en entrée de ruche

Les butineuses et les ventileuses étant les plus simple à discerner, les butineuses étant les abeilles qui font des vas et viens dans la ruche et les ventileuses étant statiques, orientées face à l'entrée de la ruche et battant des ailes.

Voir lien :

❖ Vidéo 1 : [https://1drv.ms/v/s!AoZrc6Dh7x\\_KnkhDKOt5LF9tLllt?e=MCOvYQ](https://1drv.ms/v/s!AoZrc6Dh7x_KnkhDKOt5LF9tLllt?e=MCOvYQ)

Ainsi, on peut constater qu'il est important de prendre en compte le comportement des abeilles pour tenter de mesurer leur productivité. C'est pourquoi, j'ai longuement observé leurs comportements en début de stage. Ma principale crainte était que les abeilles faussent les résultats en faisant des entrées-sorties « inutiles » (pas provoquées par les butineuses). Après, plusieurs observations, j'en ai conclu que sauf dans les situations exceptionnelles, les entrées-sorties reflètent majoritairement le travail des butineuses. Les exceptions étant les cas de comportement rare ou inhabituel.

Exemple d'abeilles qui barbent :

*Les abeilles **font la barbe** lors de fortes chaleurs [2]. La majorité des abeilles se mettent sur les parois de la ruche et le reste de la colonie reste dans la ruche pour ventiler et donc refroidir le cœur de la colonie et la maintenir à une température de 35 °C*



Figure 6: Abeilles qui barbent

Comme on peut le voir dans les extraits de vidéos :

Voir lien :

- ❖ Vidéo 2 : [https://1drv.ms/v/s!AoZrc6Dh7x\\_KnkbeTucV24pCZ8bo?e=zdS3ay](https://1drv.ms/v/s!AoZrc6Dh7x_KnkbeTucV24pCZ8bo?e=zdS3ay)
- ❖ Vidéo 3 : [https://1drv.ms/v/s!AoZrc6Dh7x\\_KnkSIWi0hS1-AfeK?e=nsohew](https://1drv.ms/v/s!AoZrc6Dh7x_KnkSIWi0hS1-AfeK?e=nsohew)
- ❖ Vidéo 4 : [https://1drv.ms/v/s!AoZrc6Dh7x\\_KnkVFUbjEuCHHktev?e=j3K2OY](https://1drv.ms/v/s!AoZrc6Dh7x_KnkVFUbjEuCHHktev?e=j3K2OY)

Les abeilles ne semblent pas faire d'allers-retours « inutiles ». Il y a parfois, des abeilles qui restent devant la ruche, mais les principales entrées-sorties sont les abeilles butineuses. N'ayant pas pour objectif de déterminer le nombre exact des entrées-sorties des butineuses, cette méthode semble être valide et suffisante pour quantifier la production d'une ruche.

*Remarque : Les observations se sont effectuées sur une période de temps réduite et peuvent être faussées à cause de cela. Cependant, l'été est la période où l'activité de la ruche est la plus dense, on peut donc supposer qu'elle conviendra pour le reste de l'année.*

▪ Les outils pour y parvenir :

Utilisation d'une raspberry pi et d'une caméra. La raspberry pi est un nano-ordinateur qui est très utilisé en robotique car il permet de réaliser toutes les tâches que pourraient faire un ordinateur de base [5]. Et donc, il permettra de récupérer les informations de la caméra et de les traiter.

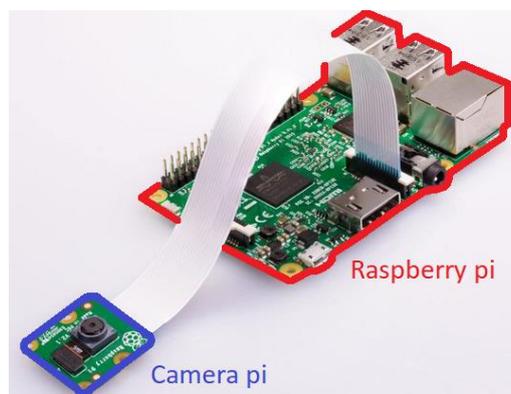


Figure 7: Raspberry pi équipée d'une caméra pi

## 3.2 Recherche des solutions techniques

### 3.2.1 Etat de l'art

Ayant une conception globale de comment réaliser le projet, il fallait maintenant me renseigner sur ce qui avait déjà été fait. En effet, ça ne sert à rien de foncer tête baissée dans la réalisation d'un projet si l'on peut le trouver déjà tout fait sur internet.

A ma grande surprise, la détection de vol des abeilles est un projet qui avait déjà été réalisé plusieurs fois.

#### Les principaux travaux réalisés sont :

1. Campbell J, Mummert L, Sukthankar R. Video Monitoring of Honey Bee Colonies at the Hive Entrance [cited 2020 Aug 25]. Available from:  
[http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/VAIB08PAPERS/vaib9\\_mummert.pdf](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/VAIB08PAPERS/vaib9_mummert.pdf)

**Résumé :** *Projet utilisant la détection vidéo pour suivre les arrivées et départs de l'entrée de la ruche. Rapport détaillé sur comment détecter les entrées des abeilles avec un camera. Explication des difficultés de la détection avec notamment le problème de l'ombre de l'abeille faussant les résultats.*

2. Kimura T, Ohashi M, Crailsheim K, Schmickl T, Okada R, Radspieler G, et al. Development of a New Method to Track Multiple Honey Bees with Complex Behaviors on a Flat Laboratory Arena. Wicker-Thomas C, editor. PLoS ONE. 2014 Jan 20.

**Résumé :** *Projet participatif de comptage d'abeille ayant pour ambition de paraître dans la BBC Spring Watch. Comptage n'utilisant que les données fournis par la caméra pour ne pas impacter sur le travail des abeilles. Le système réalisé ayant pour caractéristique d'utiliser une raspberry pi.*

3. Magnier B, Ekszterowicz G, Laurent J, Rival M, Pfister F. Bee Hive Traffic Monitoring by Tracking Bee Flight Paths. Funchal, Madeira, Portugal: SCITEPRESS - Science and Technology Publications; 2018 [cited 2020 Aug 25]. p. 563–71. Available from:  
<http://www.scitepress.org/DigitalLibrary/Link.aspx?doi=10.5220/0006628205630571>

**Résumé :** *Projet de l'école Mines d'Alès, visant à collecter des informations sur la ruche sans gêner le comportement des abeilles. Explication des différentes étapes et méthodes de la détection et du suivi des abeilles. Comparaison détaillée des différents algorithmes de détection et de comptage, mise en valeur de leur validité suivant différentes fréquences de vidéo et différentes résolutions de l'image.*

4. Hackuarium/beemos [Internet]. Hackuarium; 2020 [cited 2020 Aug 25]. Available from:  
<https://github.com/Hackuarium/beemos>

**Résumé :** *Projet open source sur le suivi et l'étude du comportement des abeilles, ne s'appuyant pas seulement sur la détection caméra mais regroupant aussi plusieurs autres capteurs comme celui de température, d'humidité, de luminosité, de pression atmosphérique. Utilisation d'un server pour l'analyse, la visualisation des abeilles. Projet en cours de réalisation.*

5. Bee Tracking [Internet]. [cited 2020 Aug 25]. Available from: <http://sonic.net/~goddard/home/bees/bees.html>

**Résumé :** *Version mise à jour d'un projet de suivi des abeilles de 2015. A la différence des autres projets, celui-ci place sa caméra bien plus loin de l'entrée de la ruche, en se focalisant sur le départ de vol des abeilles. Projet plus axé sur la détermination du chemin pris par les abeilles en sortie de ruche.*

J'ai donc choisi d'utiliser le projet n°2 comme support, étant donné qu'il utilisait déjà une raspberry pi et qu'il partageait son code.

J'ai donc récupéré le lien du github de la personne qui avait contribué à ce projet. Github étant une plateforme où les utilisateurs peuvent y partager leur code en open source. L'auteur du code se nomme Antoine Letouzey et a comme pseudonyme guyver2, il a partagé 4 codes :

- **bees.py** (code gérant la détection avec un vidéo)
- **munkres.py** (sous code de bees.py)
- **bees\_picamera.py** (code gérant la détection avec une raspberry pi)
- **munkresPi.py** (sous code de bees\_picamera.py)

Lien GitHub : <https://github.com/guyver2/beehive>

Après avoir rapidement lu le code, la première phase fut de le tester. Pour cela, il m'a fallu me créer une base de données. C'est pourquoi, je me suis tout d'abord concentré à récupérer des vidéos simulant le futur système (vidéo filmant l'entrée de la ruche).

J'ai donc rapidement réalisé un support en bois afin d'y mettre mon téléphone pour faciliter l'enregistrement.

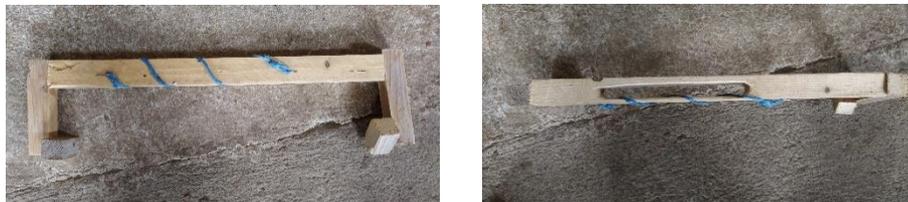


Figure 8: Support pour téléphone facilitant l'enregistrement des vidéos des abeilles

J'ai réalisé 19 vidéos en essayant de varier le plus possible les paramètres extérieurs que j'ai ensuite trié suivant différents critères :

- **Durée**, allant de 5 à 45s
- **Difficulté**, pour quantifier s'il était simple ou pas de compter les entrées-sorties
- **Remarque**, indiquant les caractéristiques

Voir lien des vidéos test et du document : [https://1drv.ms/u/s!AoZrc6Dh7x\\_KnknsJa\\_FiTxErQ8?e=j9VpMF](https://1drv.ms/u/s!AoZrc6Dh7x_KnknsJa_FiTxErQ8?e=j9VpMF)

### 3.2.2 Explication de la solution retenue :

Nous allons expliquer le programme principal : `bees_picamera.py`

#### Explication de son principe global :

- **Filtrage :**

En effet, la caméra va transmettre des images sous la forme de matrice (640×480×3). Etant donné que nous avons une résolution de (640,480) et que l'image est en couleur (voir annexe 1). Nous n'utilisons pas les couleurs pour détecter les abeilles, c'est pourquoi le premier filtre transforme l'image en noir et blanc afin de réduire considérablement la charge de calcul (voir annexe 2).

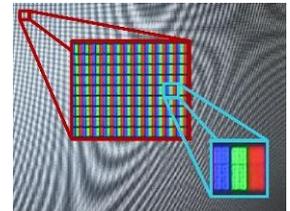


Figure 9: Fonctionnement d'une image

- **Création d'un modèle statistique de l'arrière-plan**

On utilise les 30 premières images reçues pour enregistrer l'arrière-plan et ainsi pour pouvoir détecter quand un phénomène n'est pas habituel (passage d'une abeille). Le principe est d'enregistrer les 30 premières images et d'en faire la moyenne pour obtenir l'image la plus cohérente possible de l'arrière-plan. On utilise en plus une fonction de OpenCV nommé `cv2.morphologyEx()` avec comme kernel : `cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_ELLIPSE, (5,5))` afin d'enlever les valeurs aberrantes. Le modèle va ensuite constamment évoluer pendant la détection pour s'adapter à la présence d'abeille. Puis, Il suffit de faire la différence entre l'image reçue et le modèle pour déterminer les objets en mouvement (voir annexe 3).

- **Utilisation du blob detection de OpenCV :**

Un Blob est un groupe de pixels connectés dans une image qui partagent certaines propriétés communes. Dans l'image en annexe 3, les régions blanches que créent les abeilles en mouvement forment des blobs, et le but de la détection des blobs est d'identifier et de marquer ces régions. OpenCV offre un moyen pratique de détecter les tâches et de les filtrer en fonction de différentes caractéristiques.

#### Différents paramètres utilisés :

- **Filtre par taille :** aire min = 10 pixels, aire max = 500 pixels
- **Filtre par forme :**

Avec la convexité : convexité minimum = 0.70

Qui correspond à la valeur minimum défini par le ratio :  $\frac{\text{Aire du blob}}{\text{Aire de l'enveloppe convexe}}$

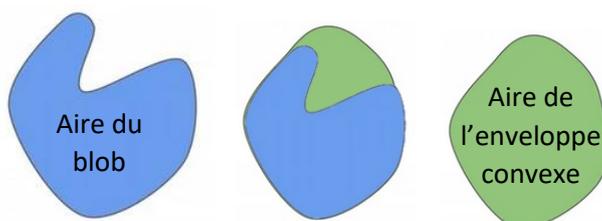


Figure 10: Principe d'une enveloppe convexe

L'enveloppe convexe d'un objet ou d'un regroupement d'objets géométriques est l'ensemble convexe le plus petit parmi ceux qui le contiennent [6].

Dans un plan, l'enveloppe convexe peut être comparée à la région limitée par un élastique qui englobe tous les points qu'on relâche jusqu'à ce qu'il se contracte au maximum.

Avec le ratio inertiel : Ratio inertiel mini = 0.1, ratio inertiel max = 0.5

Cela permet de mesurer l'allongement d'une forme. Par exemple, pour un cercle, cette valeur est 1, pour une ellipse, elle est comprise entre 0 et 1, et pour une ligne, elle est 0.

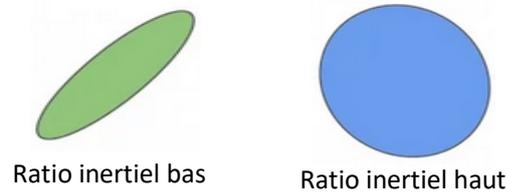


Figure 11: Principe du ratio inertiel

### ▪ Attribution des points :

Une fois que l'on a détecté les potentielles abeilles, on obtient un ensemble de points sur une image (voir annexe 4). Chaque point représentant la coordonnée d'une image. Or pour le suivi des abeilles, il nous faut attribuer ces points à chaque abeille afin de pouvoir suivre l'évolution de chacune.

Pour cela, on utilise l'algorithme de Kuhn-Munkres, est un algorithme d'optimisation combinatoire, qui résout le problème d'affectation en temps polynomial [7]. C'est donc un algorithme qui permet de trouver un couplage parfait de poids maximum dans un graphe biparti dont les arêtes sont évaluées.

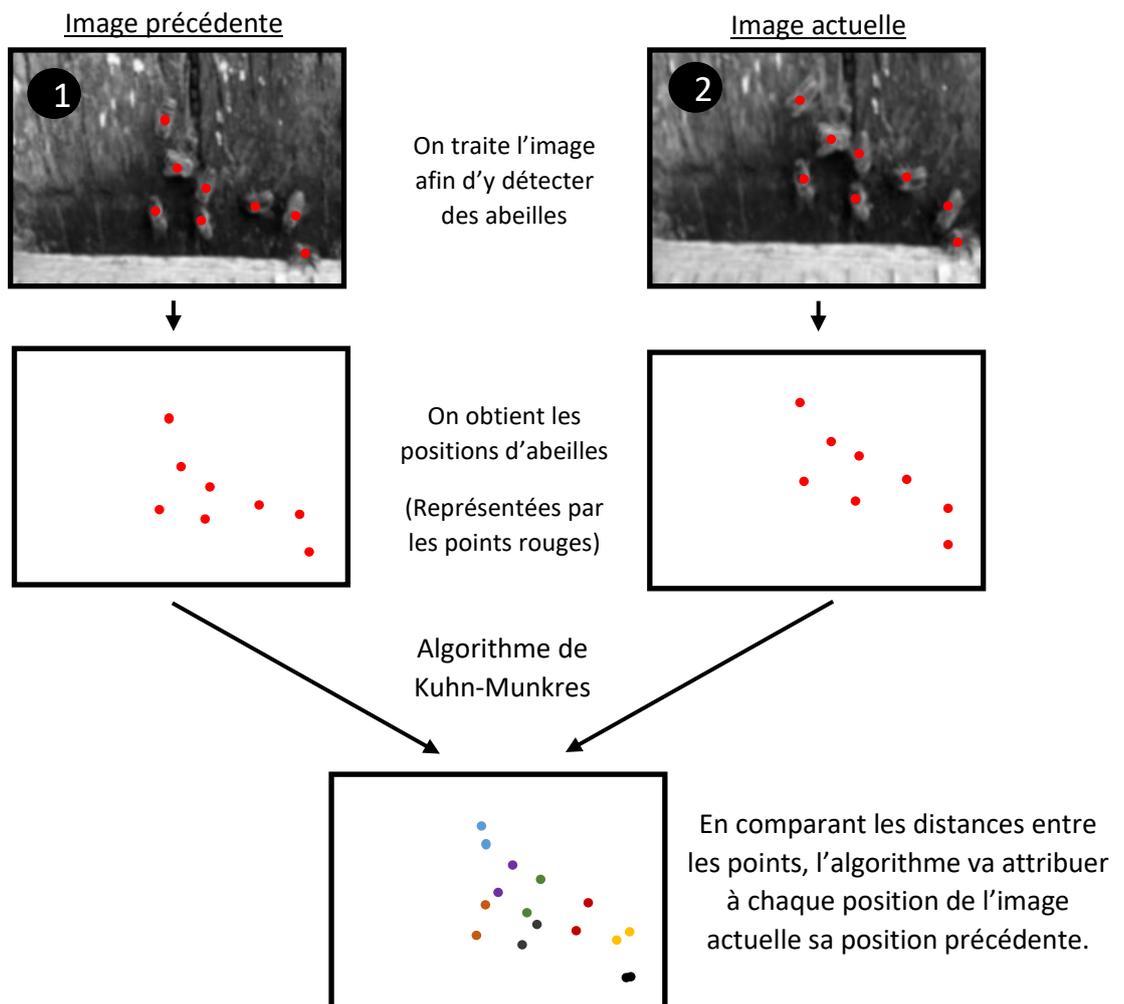


Figure 12: Utilité de l'Algorithme de Kuhn-Munkres

▪ Explication de la méthode pour déterminer les entrées-sorties :



Figure 13: Méthode de détection d'entrée d'abeilles

Deux cas possibles :

- L'abeille a disparu dans la **zone de l'entrée de la ruche**, on peut donc en déduire qu'une abeille est rentrée et incrémenté le compteur des entrées.
- L'abeille a disparu en dehors de la zone, l'abeille est partie butiner.

Même raisonnement pour la détection des abeilles sortant de la ruche :



On détecte un mouvement et on en déduit que c'est une abeille



Sa position est dans la zone de l'entrée de la ruche



On incrémente donc le compteur de sortie



L'abeille continue sa route et va disparaître en dehors de la zone

Figure 14: Méthode de détection de sortie d'abeilles

Cette méthode a pour conséquence de devoir connaître les coordonnées de l'entrée de la ruche que l'on filme.

### 3.3 Réalisation du Système :

La première chose à faire fut le paramétrage de la raspberry pi et la découverte de son fonctionnement. Pour le bon fonctionnement du système, il faut connaître les coordonnées de l'entrée de la ruche. Celle-ci étant propre à chaque cas, il a fallu réfléchir à une méthode pour les déterminer facilement.

#### 3.3.1 Lancement du système

Pour cela, j'ai mis en place 2 méthodes :

- La première utilisant une télécommande fabriquée à l'aide d'une carte arduino.

La télécommande va permettre de prendre 2 photos et de lancer le code, les leds indiquant si les différentes étapes ont été réalisées.



Figure 15: Commande pour raspberry

Voir son schéma électrique, annexe 5.

Il existe plusieurs méthodes pour détecter une coordonnée sur une image, la plus simple étant avec l'utilisation d'un Qr code. Seulement, afin de gêner le moins les abeilles, j'ai opté pour un traitement d'images avec l'utilisation d'une allumette jouant le rôle de pointeur. En effet, en plus d'être facilement procurable, l'allumette a la caractéristique d'avoir un bout rouge. Le rouge étant une couleur qui n'est jamais présente vers les ruches. Ainsi, en filtrant l'image avec la couleur rouge on isole facilement le bout de l'allumette et ainsi on récupère la coordonnée de son centre.



Figure 16: Méthode de détection des coordonnées de l'entrée de la ruche par utilisation d'allumette

Dans ce cas, la raspberry lance automatiquement le code dès son branchement.

*Remarque : on peut constater la contrainte de devoir avoir une caméra en alignement avec l'entrée de la ruche pour que la détection fonctionne bien.*

- La deuxième méthode est la connexion de la raspberry avec l'ordinateur en SSH.

A l'aide, du partage de connexion de mon téléphone, mon ordinateur et la raspberry sont connectés à la même source wifi. Ainsi, on peut utiliser ce réseau pour communiquer entre eux.

Pour la détection de l'entrée de la ruche, on prend une photo puis on débranche la raspberry. En effet, on ne peut pas accéder aux images avec une connexion SSH, c'est pourquoi on connecte directement la micro-carte SD de la raspberry à l'ordinateur. Puis j'ai réalisé un autre code qui permet de sélectionner les coordonnées des bords de l'entrée de la ruche avec la souris. Et, enfin on rebranche la carte SD à la raspberry et on la rallume. On lance ensuite le code principal.

Cette méthode requière l'utilisation d'un ordinateur mais à l'avantage de pouvoir beaucoup mieux contrôler le déroulement des opérations.

### 3.3.2 Récupération des données

Le code initial ne renvoyait que le nombre final d'entrées et de sorties. C'est pourquoi, j'ai travaillé sur la récupération des données.

Avec l'écriture d'un fichier qui a la syntaxe suivante :

15:45:57.372057 | frame : 28 ,IN : 5, OUT : 10

The diagram shows the string '15:45:57.372057 | frame : 28 ,IN : 5, OUT : 10' with four colored brackets underneath. A blue bracket under '15:45:57.372057' is labeled 'Heure'. A red bracket under 'frame : 28' is labeled 'Numéro de l'image'. A green bracket under ',IN : 5,' is labeled 'Nombre d'entrées'. A purple bracket under ', OUT : 10' is labeled 'Nombre de sorties'.

Figure 17: Syntaxe pour l'écriture des fichiers

Voir le fichier du premier résultat mesuré en annexe 6.

Pour l'écriture des données, j'ai utilisé la méthode `os.fsync()`. Cette méthode permet de résoudre le problème de perte de données en forçant l'écriture des données directement sur le disque. En effet, lorsque la raspberry s'éteint, il se peut que les données ne soient pas correctement sauvegardées. Ainsi cette méthode permet de s'en assurer.

### 3.3.3 Prototype

Le système avait pour contrainte de devoir s'adapter à toutes les ruches. Ainsi, il fallait trouver un mécanisme qui pouvait s'installer sur n'importe quelle ruche et qui offrait un champ de vision suffisant pour la caméra.



Figure 18: Prototype du système

Les 2 poignées de réglage (en orange) permettant d'adapter le système afin d'obtenir le champ de vision souhaité pour la caméra (en rouge). Le système est maintenu par 2 serre-joints (en bleu) qui peuvent s'adapter à n'importe quelle ruche.

La raspberry et la batterie se trouvent sur le toit à l'écart de l'entrée de la ruche.

## 3.4 Partie expérimentale

### 3.4.1 Les premières mesures

N'ayant pas à disposition, une batterie avec une grande capacité. La première expérimentation n'a duré que 45 minutes environ, voir un bout du fichier en annexe 6.

Voici ci-dessous les résultats récoltés.

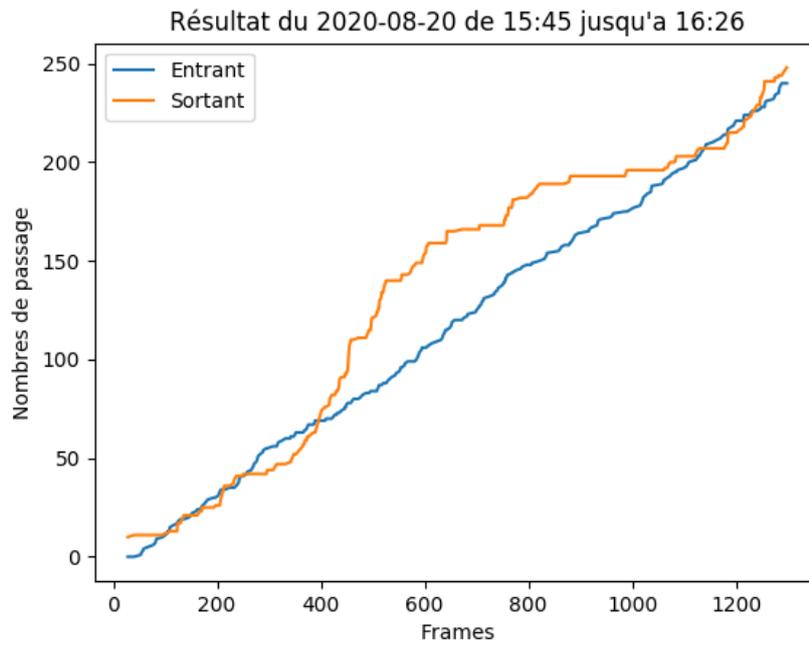


Figure 19: Graphique de la première mesure

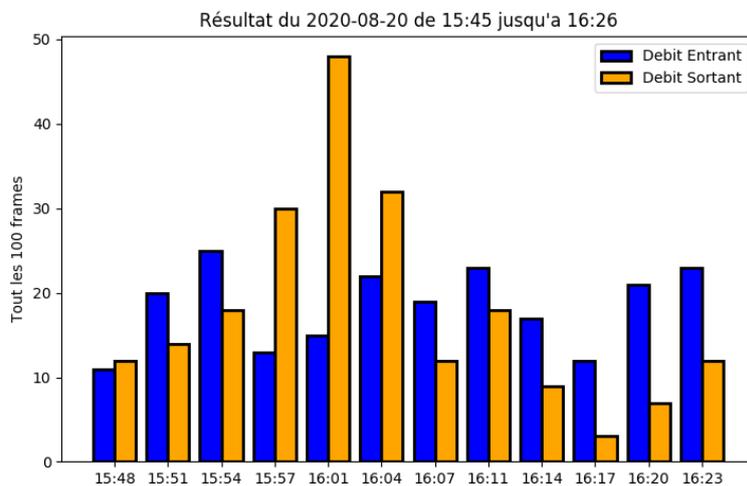


Figure 20: Graphique en barres représentant la fréquence d'entrées-sorties des abeilles

A première vue, les données semblent être cohérentes. On constate qu'il y a quasiment autant d'entrées que de sorties. Cependant, sur l'histogramme montrant la fréquence à laquelle les abeilles rentrent on constate que les valeurs sont douteuses. En effet, on a un pic vers 16h01 d'environ 50 sorties en 100 frames, ce qui correspond à 50 sorties pour une période de 3 minutes. Ce qui n'est pas cohérent avec la base de données que nous avons fait en début de projet. Car on pouvait y observer qu'en seulement 10 secondes, il y avait parfois plus de 20 sorties. Il fallait donc rechercher pourquoi les résultats étaient faussés.

### 3.4.2 Amélioration du système

Le projet se déroulant dans la nature, au pied de la ruche, il était très difficile de trouver les potentiels problèmes. En effet, il était impossible de brancher un écran à la raspberry pour observer le déroulement du code, d'autant plus que lors d'une connexion SSH avec l'ordinateur, la raspberry ne peut transmettre que des messages limités à l'ordi (pas de vidéo, ni photo).

Face à ces contraintes, j'ai enregistré les différentes images reçues ainsi que les images traitées après les différents filtrages. Ce qui m'a permis de me rendre compte que la fréquence d'échantillonnage était insuffisante, le code mettant trop de temps à traiter les données, les images sont trop espacées dans le temps et par conséquent de ce saccagement, le programme n'arrive pas à suivre ce qu'il se passait.

Face à ce problème de sous-échantillonnage du système, plusieurs choix s'offraient à moi :

- Améliorer le traitement des données afin de réduire le temps d'exécution entre 2 photos. Ce qui peut s'effectuer avec l'utilisation de threads ou encore avec le changement du langage de programmation utilisée, en passant le code en C++. Seulement, rien n'assure que le passage en C++ sera suffisant et ce changement implique la réécriture de l'entièreté du programme dans un autre langage.
- Changer le système afin de contourner le problème. Rien n'oblige le système d'être en temps réel.

Face à ce dilemme, j'ai dû prendre en compte les contraintes du projet.

La contrainte majeure était l'accès aux ruches. A ce moment du projet, je n'avais accès aux ruches que les week-ends et il me restait 4 semaines avant la rentrée. Ainsi, les chances de tests étaient très limitées d'autant plus que s'ajoutait à cela la contrainte de la météo. (Lors des mauvais temps, il n'est pas possible de mesurer une quelconque activité car les abeilles ne sortent pas de la ruche lorsque la température est trop basse).

En prenant en compte ces contraintes, j'ai choisi de changer totalement de stratégie pour le prototype et ainsi de contourner le problème.

La raspberry ne se focalisera pas sur le traitement en temps réel des données mais seulement sur la prise de photos. Ainsi, je pourrai récupérer à la fin de chaque expérimentation, les photos de l'entrée de la ruche pendant la journée et les traiter avec mon ordinateur. Cette méthode est couteuse en mémoire car la sauvegarde des données prend beaucoup de place (300 000 photos environ pour 10h d'enregistrement) mais a pour avantage de permettre de tester le programme plusieurs fois. Ainsi, l'accès aux ruches est optimisé et la perte de temps réduite au minimum.

*Remarque : Le système n'est plus à temps réel car la priorité est de finir le projet en proposant un moyen de mesurer l'activité d'une ruche. Ce changement de stratégie est temporaire, l'importance étant de finir le projet. Rien n'empêche, qu'une fois que le code fonctionnera à 100%, de repasser à un système à temps réel.*

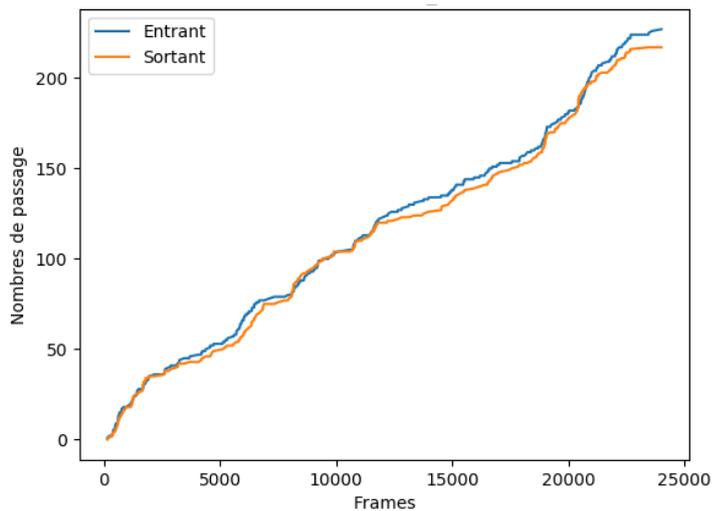
### 3.4.3 Amélioration du code

J'ai donc réalisé une expérimentation et récupérer les photos.

Les photos sont espacées de 0.3 s et représentent l'activité d'une ruche entre 17h20 et 18h20.

A noté qu'il s'agissait d'un week-end très peu favorable aux expérimentations car les températures étaient très basses. Les abeilles sortaient très peu et était très rapides. Ce qui avait pour avantage de mieux pouvoir observer si les résultats étaient cohérents et de s'assurer que la fréquence d'échantillonnage était suffisante.

Résultat obtenu :



Résultat assez encourageant car les courbes semblent cohérentes, elles sont semblables et ne s'éloignent pas trop l'une de l'autre. D'autant plus que le nombre total a grandement augmenté avec cette nouvelle fréquence d'échantillonnage car on dépasse les 200 comme dans le résultat précédemment mais avec un contexte totalement différent. Il ne faut pas oublier que cette mesure s'est réalisée lorsque que la ruche n'était quasi pas active dû aux basses températures.

Figure 21: Données recueillies après amélioration de la fréquence d'échantillonnage

Cependant après une étude du résultat obtenu, je me suis aperçu que dans de nombreux cas, les abeilles n'étaient pas détectées. C'est pourquoi, j'ai ajouté un filtre supplémentaire afin d'accentuer les taches faites par les abeilles et rendre le résultat plus binaire (soit noir, soit blanc).

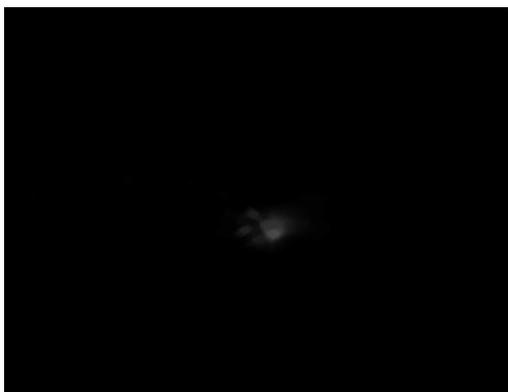


Figure 22: Image envoyée pour la détection

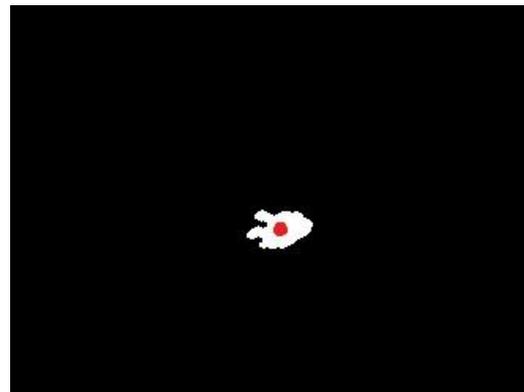


Figure 23: Image améliorée de la détection d'une abeille

J'obtiens donc maintenant :

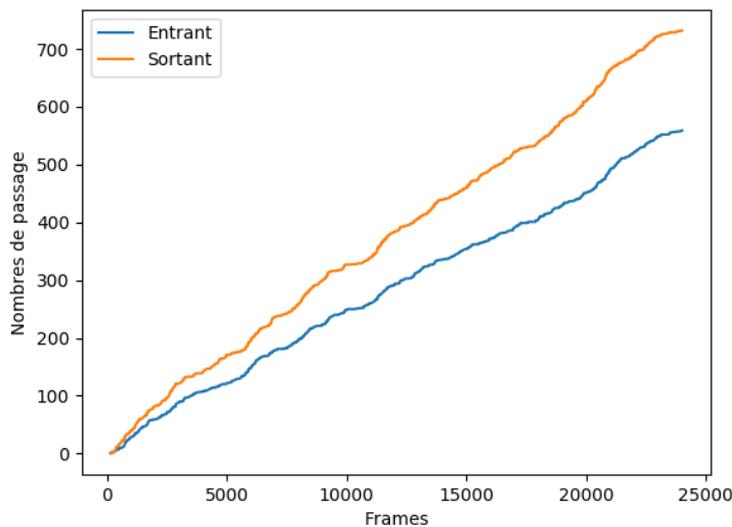


Figure 24: Données recueillies après amélioration de l'image de détection de mouvement

On peut constater que l'on détecte beaucoup plus d'entrées-sorties. Cependant ce résultat n'est pas suffisant car en décortiquant les résultats avec les photos, je me suis aperçu qu'il restait encore trop de cas où la détection ne fonctionnait pas.

On remarque que les courbes d'entrée et de sortie ne sont pas semblables, ce qui est contre intuitif.

Pour améliorer la détection, je me suis intéressé au calibrage des différents paramètres du code. Etant donné l'utilisation d'un filtre supplémentaire qui agrandissait les

taches lors de la détection, il fallait augmenter l'aire maximale des blobs (cf partie 3.2.2 avec les paramètres du blob détection).

- Aire min = 50 pixels, aire max = 1500 pixels

Un problème récurrent avec la détection du mouvement des abeilles est l'ombre qu'elles génèrent. Afin de contourner ce problème et de ne pas complexifier le programme inutilement. J'ai choisi d'optimiser la détection des abeilles dans une zone proche de l'entrée de la ruche.



Figure 25: Focalisation sur une zone restreinte

Pour régler le paramètre nommé par la variable THRESHBEE, qui quantifie la distance que peut faire une abeille entre 2 images. Il était important de se focaliser sur une zone précise de l'entrée de la ruche. La vitesse élevée lors des vols des abeilles imposait une grande valeur cependant une trop grande valeur avait pour impact de fausser les résultats lorsque les abeilles sont à terre.

Comme on le voit ci-dessus, l'objectif serait d'avoir une détection optimale seulement dans la zone verte.

Restreindre la zone permet de se focaliser seulement sur les abeilles très proches de l'entrée de la ruche, celles qui ne volent pas et donc d'enlever le problème des ombres. Car celui-ci est principalement créé lorsque que les abeilles sont en vol.

- THRESHBEE = 40

Puis j'ai réglé un deuxième paramètre permettant de savoir au bout de combien d'images, l'abeille est déclarée comme disparue. Initialement à 15, il était trop grand et avait pour effet secondaire de ne pas détecter les nouvelles abeilles en pensant que c'étaient des anciennes.

➤ `lastSeen = 5`

J'obtiens donc maintenant :

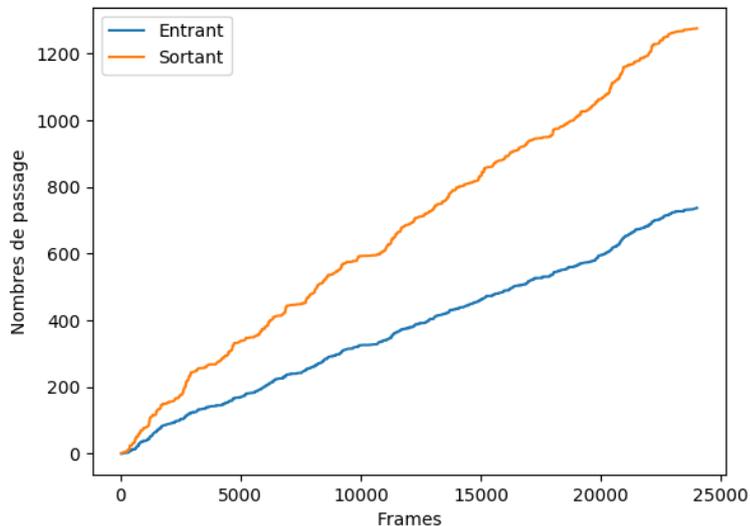


Figure 26: Données recueillies après réglage des paramètres du code

On constate que la détection est plus efficace. Cependant la différence de valeur entre les 2 résultats est préoccupante. A priori rien n'empêche que les 2 courbes soient différentes dans la mesure où elles se rejoignent en fin de journée afin d'avoir autant d'entrées que de sorties. N'ayant accès qu'à un bout de journée, je ne peux tirer de conclusion seulement le résultat semble préoccupant car on pourrait imaginer qu'en début de soirée, les abeilles auraient plus tendance à rentrer qu'à sortir.

Après une étude approfondie du résultat obtenu, en comparant les détections avec les images recueillies, je me suis rendu compte que le programme incrémentait les sorties de manière injustifiée.

Dans certain cas, par exemple : lorsqu'il y a une abeille dans l'entrée de la ruche et qu'une nouvelle abeille fait son apparition, le compteur de sortie est incrémenté.

Le problème venait d'une erreur dans le code initial. En effet, lors de la vérification si la nouvelle abeille se situait dans l'entrée de la ruche (auquel cas cela aurait été une nouvelle sortie) la position de l'ancienne abeille était vérifiée au lieu de celle de la nouvelle. Une erreur qui ne bloquait pas le déroulement du programme mais qui le faussait.

Finalement, j'obtiens :

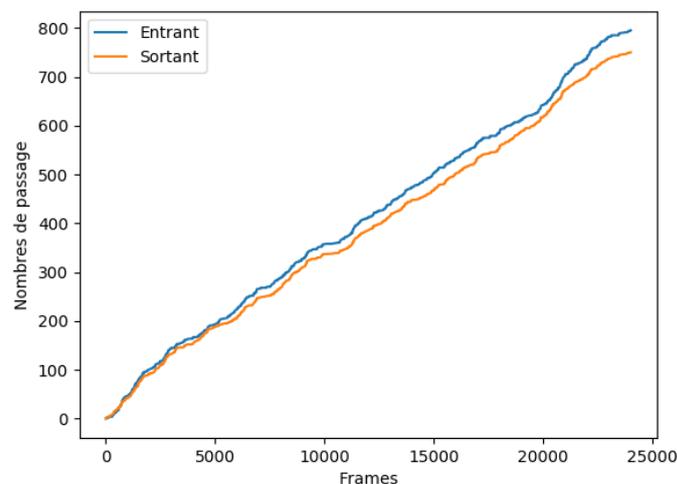


Figure 27: Données recueillies après réparation du code

Les résultats sont maintenant très fiables, ils correspondent aux images prises.

## 3.5 Les Résultats

### 3.5.1 Mesure de l'activité d'une ruche

Etudions maintenant l'activité des abeilles : pour cela, j'ai observé les entrées-sorties d'une ruche durant toute une journée de 8h à 18h. j'obtiens les graphes suivants :

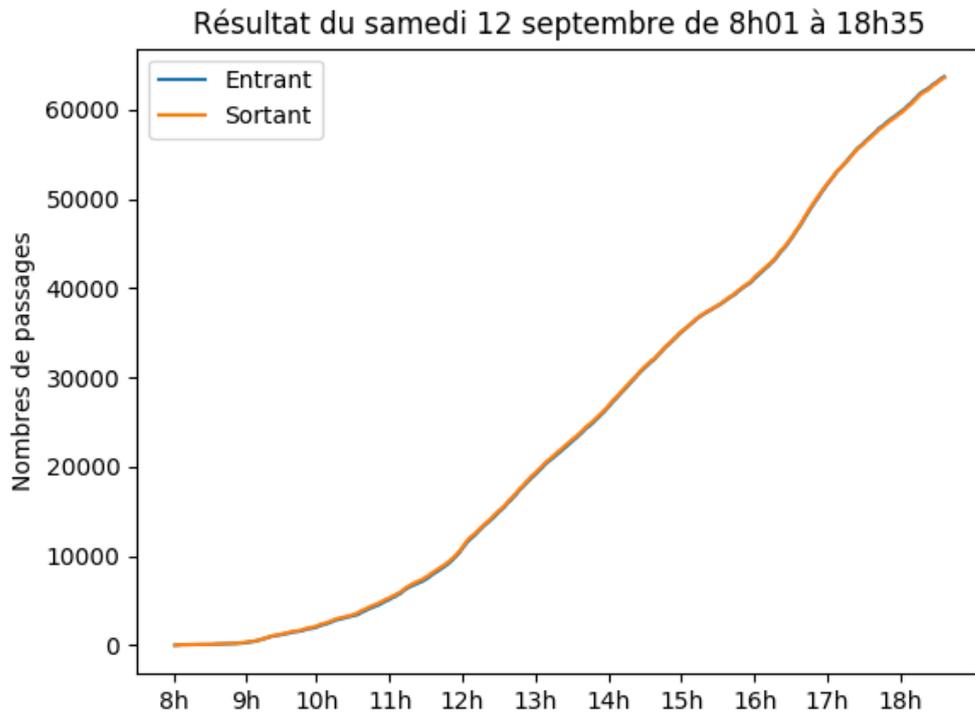


Figure 28: Graphique montrant l'activité d'une ruche

Avec un nombre total de sorties de **63 668**, pour une durée de 10h34 de comptage. On constate que l'activité augmente petit à petit pour atteindre son rythme de croisière vers 12h. L'activité est assez constante et ne varie pas brutalement.

On observe que la courbe des entrées et sorties se confondent et sont semblables. En effet, la différence entre elles en fin de mesure est de seulement 130 passages, qui représente 0.2% de différence. Ce qui est encourageant sur la validité du code.

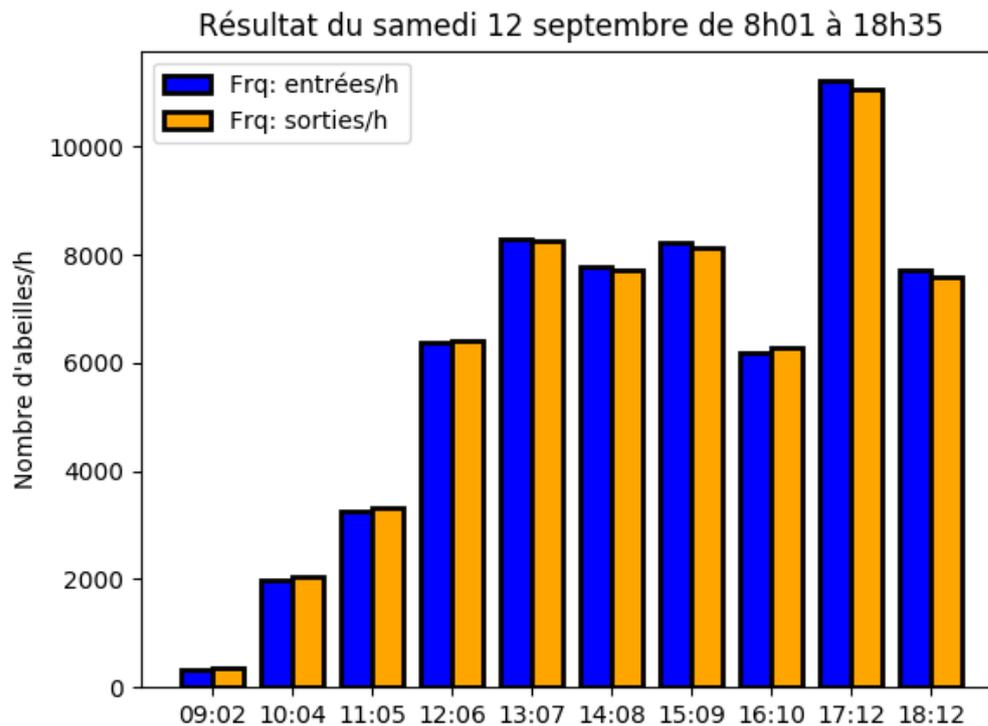


Figure 29: Graphique en barres de l'intensité de l'activité d'une ruche

On observe que la fréquence augmente petit à petit et atteint un pic à plus de 10 000 entrées-sorties par heure. A noter que la fréquence baisse à 16h, cela peut notamment s'expliquer par des causes comme la ventilation de la ruche, la protection de la colonie, ...

La fréquence reste assez grande (environ 8 000 passages/h) même en début de soirée à 18h.

On peut observer la corrélation entre la météo et l'activité des abeilles, **voir annexe 8**. En effet, la température semble avoir un grand impact sur l'intensité de leur travail.

*Remarque : le but de ce projet n'étant pas d'identifier les différents acteurs qui impactent sur l'activité de la ruche mais seulement de fournir un moyen de quantifier cette activité, les potentielles raisons citées ne sont que des hypothèses.*

### 3.5.2 Utilisations possibles du système

Etudions maintenant la différence d'activité d'une même ruche, 2 jours différents.

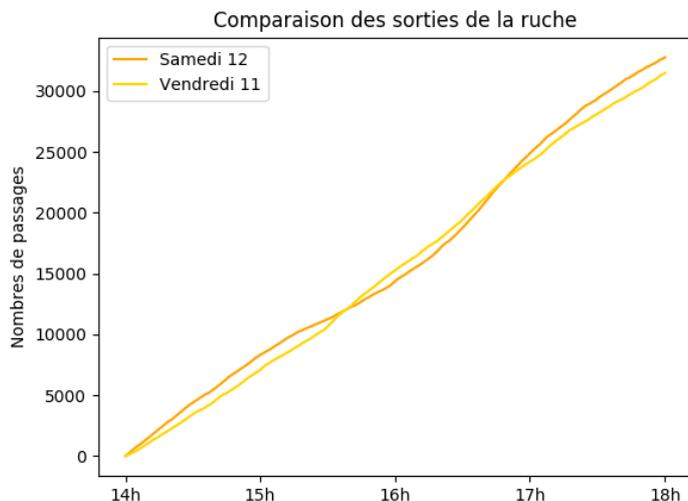


Figure 30: Graphique comparant l'activité journalière d'une ruche

On remarque que les 2 courbes sont quasi identiques. Cela peut s'expliquer notamment par les conditions météorologiques qui étaient quasi semblables, **voir annexe 7 et 8**.

**Voir annexe 14** pour la comparaison des entrées, qui est semblable à celle des sorties. Et en **annexe 10 et 11** le bilan complet du vendredi 11.

On peut se demander s'il y vraiment une différence notable d'activité entre les ruches. Comparons maintenant les entrées-sorties journalières de 2 ruches :

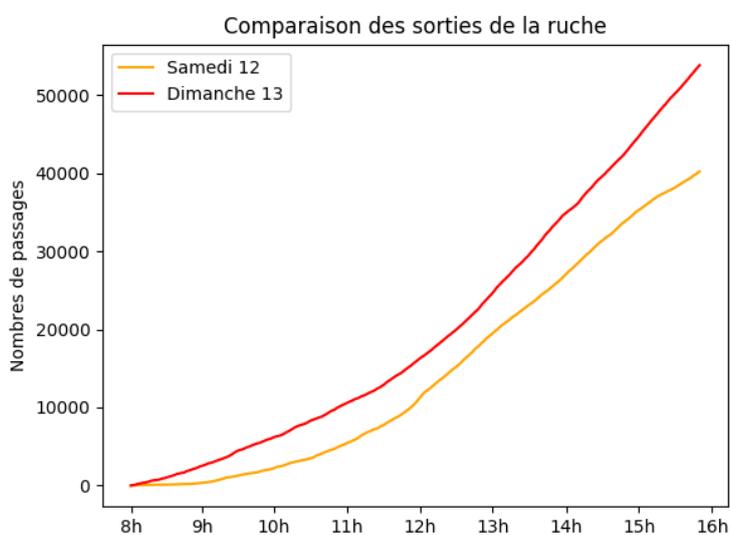


Figure 31: Graphique comparant la différence d'activité entre 2 ruches

On observe que les 2 ruches n'ont pas le même comportement. L'une est beaucoup plus active dès le début de journée (les conditions météorologiques entre les 2 jours étant quasiment les mêmes **voir annexe 8 et 9**). Avec 14 473 entrées et 13 618 sorties de différence.

On peut voir que leur fréquence maximale est quasiment la même, seule l'intensité en début de journée les départage, comme on peut le voir en **annexe 13**.

On pourrait se demander si la position de la ruche n'est pas responsable de cette différence.

**Voir annexe 15** pour la comparaison des entrées qui ressemble beaucoup à celle des sorties. Et en **annexe 12 et 13**, le bilan complet du dimanche 13.

## 4. Analyse de la contribution du stage

En travaillant comme assistant ingénieur et en réalisant ce projet en total autonomie, j'ai été confrontée à des problématiques entièrement nouvelles pour moi. J'ai fait face à un projet réel dont la solution n'était pas connue et j'ai appris à mener un projet à bien. Au début, c'était un peu effrayant de devoir réaliser un projet seul avec des technologies que je ne connaissais pas et que je ne maîtrisais pas. Mais la situation s'est rapidement révélée très enrichissante et passionnante, bien que parfois difficile. L'électronique expérimentale réservant souvent beaucoup d'imprévus et de contretemps. Mais, j'ai pu bénéficier de l'aide de mon tuteur de stage M. LE BARS que je remercie pour les réponses qu'il a pu m'apporter.

Le stage m'a apporté plusieurs expériences et compétences, principalement en matière de technologie et de gestion. J'ai dû apprendre à mener à bien un projet en un temps réduit et avec de nombreuses contraintes.

Au début, le manque de connaissance me freinait beaucoup dans ma progression. Je devais apprendre par moi-même comment gérer des technologies que je ne maîtrisais pas, ce qui a été très enrichissant. J'ai beaucoup appris durant ce stage et ai pris beaucoup de plaisir à réaliser ce projet. En effet, j'ai trouvé très gratifiant le fait de réaliser de A à Z un projet et de voir son aboutissement.

De plus, réaliser un projet avec les abeilles étaient un enjeu et une contrainte très intéressante à avoir. L'abeille étant un insecte fascinant et très intéressant à étudier. Les expérimentations se déroulant dans leur environnement, il fallait être attentif et à leur écoute. Le but étant de gêner le moins possible leurs activités.

Ce stage avait une grosse partie d'expérimentale qui m'a beaucoup plu. Observer les abeilles pour mieux les comprendre et ainsi créer un système plus adapté, cela relève des compétences principales d'un ingénieur. En effet, un ingénieur doit être capable de bien saisir les enjeux d'un projet et de s'adapter aux différentes contraintes.

Le stage a donc été pour moi un avant-gout de mon futur métier et m'a conforté dans mes choix professionnels.

## 5. Conclusion

Le but de ce stage était de réaliser un système permettant de quantifier la production des ruches. Après une longue phase d'observation et de recherche, le système a finalement été pensé avec l'utilisation d'une raspberry pi et d'une caméra. En utilisant, des fonctions de la librairie OpenCV (notamment avec la détection de blob), le système est capable de compter les entrées-sorties des abeilles et ainsi de pouvoir donner une quantification de l'activité de la ruche. Le prototype est capable de s'adapter à toute les ruches et permet de mesurer et comparer les activités des ruches.

Il pourra donc être utilisé dans un but de recherche d'optimisation en comparant différentes ruches avec différents paramètres.

## Table des annexes

<b>Annexe 1:</b> Image brute .....	31
<b>Annexe 2:</b> Image en noir et blanc .....	31
<b>Annexe 3:</b> Détection des positions .....	32
<b>Annexe 4:</b> Détection du mouvement .....	32
<b>Annexe 5:</b> Schéma électrique commande.....	33
<b>Annexe 6:</b> Fichier de la première expérimentation.....	34
<b>Annexe 7:</b> Bilan météorologique du vendredi 11 septembre 2020 .....	35
<b>Annexe 8:</b> Bilan météorologique du samedi 12 septembre 2020 .....	36
<b>Annexe 9:</b> Bilan météorologique du dimanche 13 septembre 2020 .....	37
<b>Annexe 10:</b> Graphique des entrées-sorties de la ruche le vendredi 11 .....	38
<b>Annexe 11:</b> Intensité des entrées-sorties de la ruche le vendredi 11 .....	38
<b>Annexe 12:</b> Graphique des entrées-sorties de la ruche le dimanche 13 .....	39
<b>Annexe 13:</b> Intensité des entrées-sorties de la ruche le dimanche 13.....	39
<b>Annexe 14:</b> Graphique comparant l'activité journalière d'une ruche.....	40
<b>Annexe 15:</b> Graphique comparant la différence d'activité entre 2 ruches.....	40
<b>Annexe 16:</b> Rapport d'évaluation .....	41

## 6. Annexes



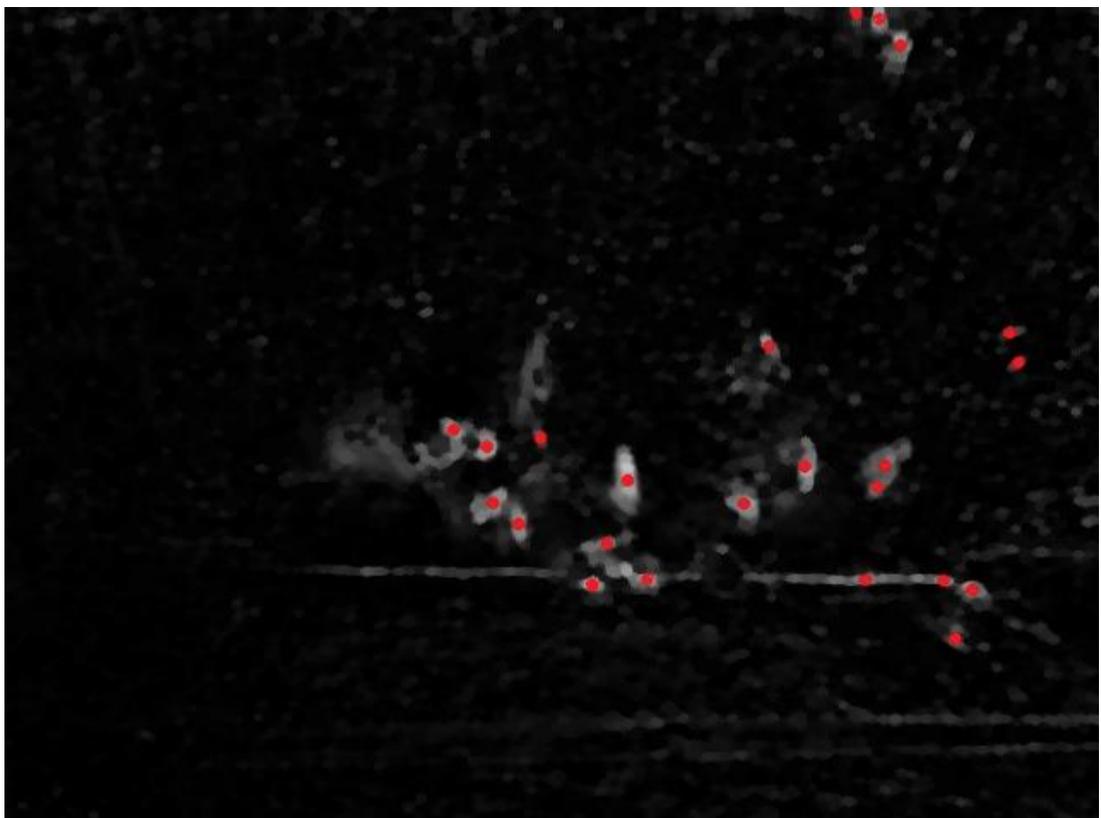
*Annexe 1: Image brute*



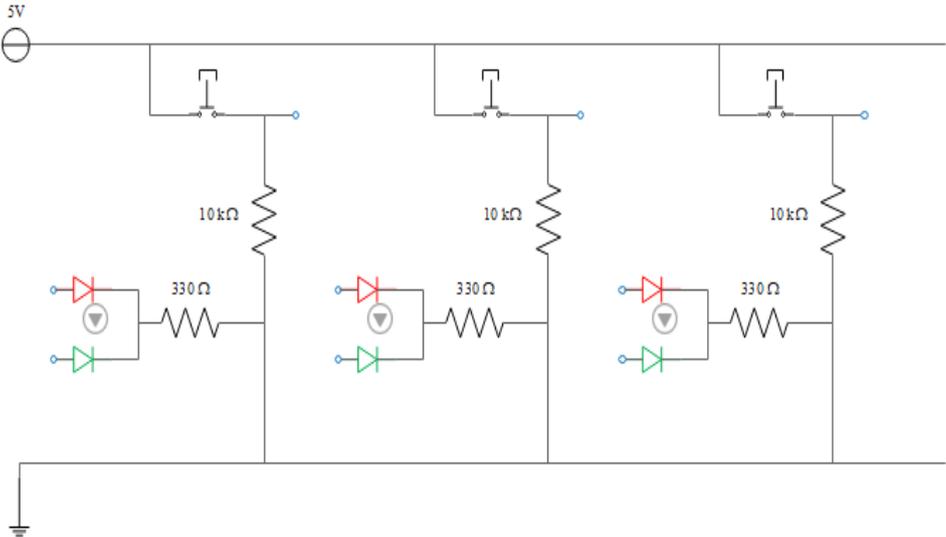
*Annexe 2: Image en noir et blanc*



*Annexe 4: Détection du mouvement*



*Annexe 3: Détection des positions*



Annexe 5: Schéma électrique commande

*Annexe 6: Fichier de la première expérimentation*

```
=====  
Programme lancé le Thursday 20 August 2020 à 15:45:05  
=====
```

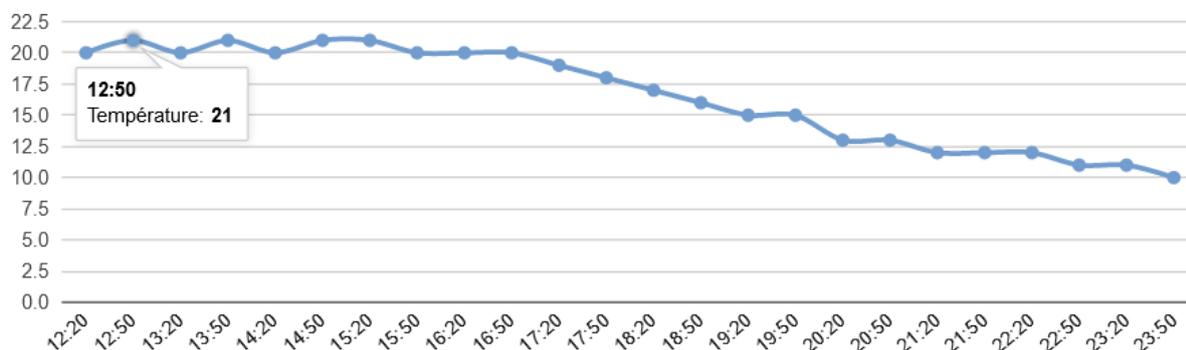
```
Para: x = 90 y = 76 w = 424 h = 33
```

```
15:45:57.372057 | frame : 28 ,IN : 0, OUT : 10  
15:46:23.670810 | frame : 40 ,IN : 0, OUT : 11  
15:46:52.352418 | frame : 53 ,IN : 1, OUT : 11  
15:46:54.041659 | frame : 54 ,IN : 2, OUT : 11  
15:47:00.969876 | frame : 57 ,IN : 3, OUT : 11  
15:47:03.345581 | frame : 58 ,IN : 4, OUT : 11  
15:47:22.371277 | frame : 67 ,IN : 5, OUT : 11  
15:47:41.438525 | frame : 77 ,IN : 6, OUT : 11  
15:47:49.150307 | frame : 81 ,IN : 7, OUT : 11  
15:47:50.655518 | frame : 82 ,IN : 8, OUT : 11  
15:47:52.779257 | frame : 83 ,IN : 9, OUT : 11  
15:48:17.206686 | frame : 95 ,IN : 10, OUT : 11  
15:48:25.683192 | frame : 100 ,IN : 11, OUT : 12  
15:48:33.046714 | frame : 104 ,IN : 12, OUT : 12  
15:48:35.232082 | frame : 105 ,IN : 13, OUT : 12  
15:48:40.462653 | frame : 108 ,IN : 13, OUT : 13  
15:48:42.646583 | frame : 109 ,IN : 15, OUT : 13  
15:48:55.864620 | frame : 116 ,IN : 16, OUT : 13  
15:49:05.507897 | frame : 123 ,IN : 17, OUT : 13  
15:49:06.835010 | frame : 124 ,IN : 17, OUT : 17  
15:49:09.137252 | frame : 125 ,IN : 18, OUT : 17  
15:49:14.115491 | frame : 129 ,IN : 19, OUT : 17  
15:49:25.764584 | frame : 136 ,IN : 19, OUT : 21  
15:49:46.698502 | frame : 146 ,IN : 20, OUT : 21  
15:49:54.757978 | frame : 150 ,IN : 21, OUT : 21  
15:49:56.372014 | frame : 151 ,IN : 22, OUT : 21  
15:50:13.189339 | frame : 159 ,IN : 23, OUT : 21  
15:50:18.753800 | frame : 162 ,IN : 24, OUT : 21  
15:50:26.811173 | frame : 166 ,IN : 24, OUT : 23  
15:50:35.830851 | frame : 170 ,IN : 25, OUT : 23  
15:50:37.448654 | frame : 171 ,IN : 25, OUT : 25  
15:50:39.761455 | frame : 172 ,IN : 26, OUT : 25  
15:50:47.992308 | frame : 176 ,IN : 27, OUT : 25  
15:51:00.019058 | frame : 182 ,IN : 29, OUT : 25  
15:51:23.607210 | frame : 194 ,IN : 30, OUT : 25  
15:51:29.868220 | frame : 197 ,IN : 30, OUT : 26  
15:51:39.809650 | frame : 202 ,IN : 31, OUT : 26  
15:51:43.251782 | frame : 204 ,IN : 32, OUT : 26  
15:51:44.416639 | frame : 205 ,IN : 33, OUT : 26  
15:51:47.543957 | frame : 207 ,IN : 34, OUT : 29  
15:51:58.639391 | frame : 214 ,IN : 34, OUT : 36  
15:52:14.081726 | frame : 224 ,IN : 35, OUT : 36  
15:52:24.353964 | frame : 231 ,IN : 35, OUT : 37  
15:52:26.683085 | frame : 232 ,IN : 35, OUT : 38  
15:52:28.119033 | frame : 233 ,IN : 35, OUT : 39  
15:52:34.378013 | frame : 237 ,IN : 36, OUT : 41  
15:52:38.140181 | frame : 240 ,IN : 37, OUT : 41  
15:52:42.003057 | frame : 242 ,IN : 38, OUT : 41  
15:52:43.343465 | frame : 243 ,IN : 40, OUT : 41  
15:52:53.332786 | frame : 249 ,IN : 41, OUT : 41
```

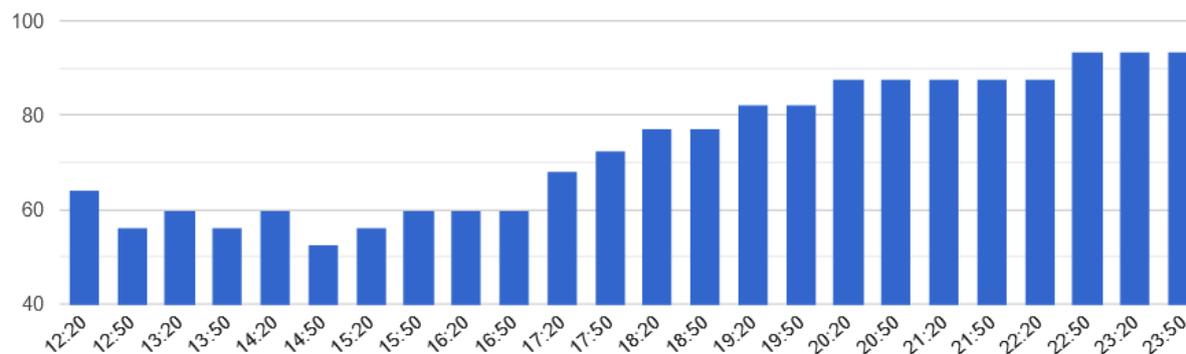
### Résumé des données pour le 11 Septembre 2020:

● Température maximale	21 °C	12:50	● Température minimale	8 °C	04:50
● Humidité maximale	100.0 %	00:50	● Humidité minimale	52.8 %	14:50
● Pression maximale	1020 hPa	00:20	● Pression minimale	1018 hPa	03:50
● Rayonnement maximal	-- W/m2		● Rayonnement minimal	-- W/m2	
● Vitesse du vent (Max)	11.1 km/h	12:50	● Rafales maximales de vent	-- km/h	
● Précipitations accumulées	-- mm				

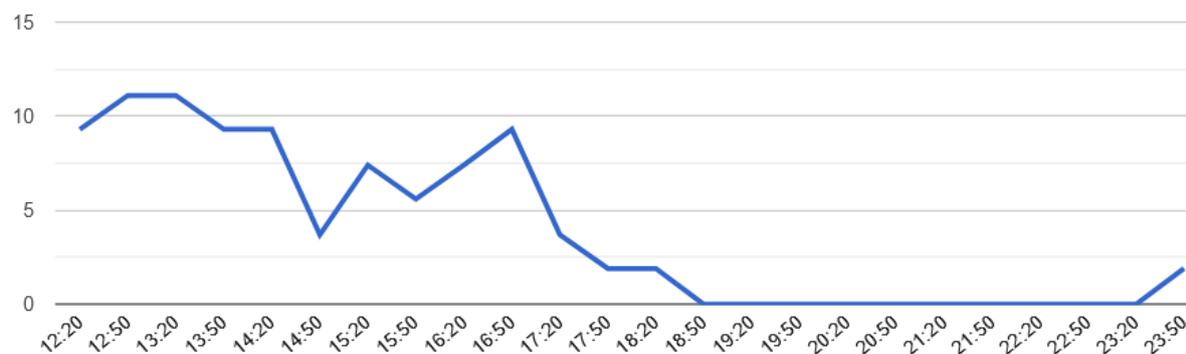
#### TEMPÉRATURE (°C)



#### HUMIDITÉ RELATIVE (%)



#### VITESSE DU VENT (KM/H)

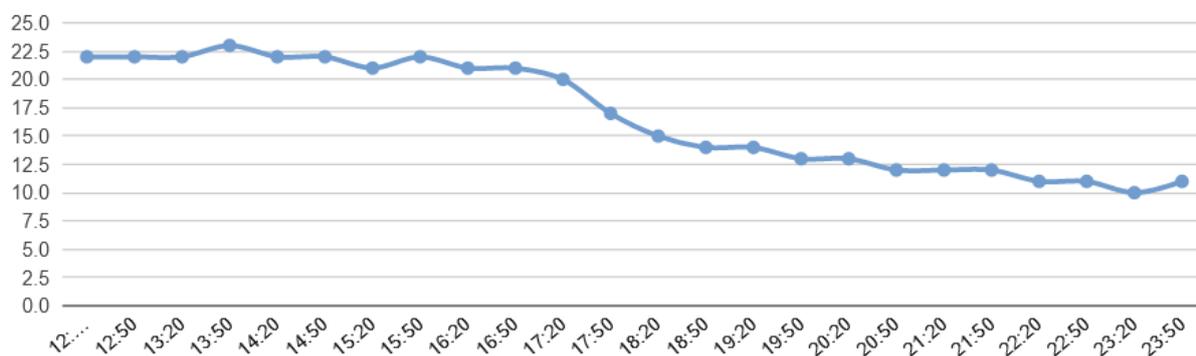


Annexe 7: Bilan météorologique du vendredi 11 septembre 2020

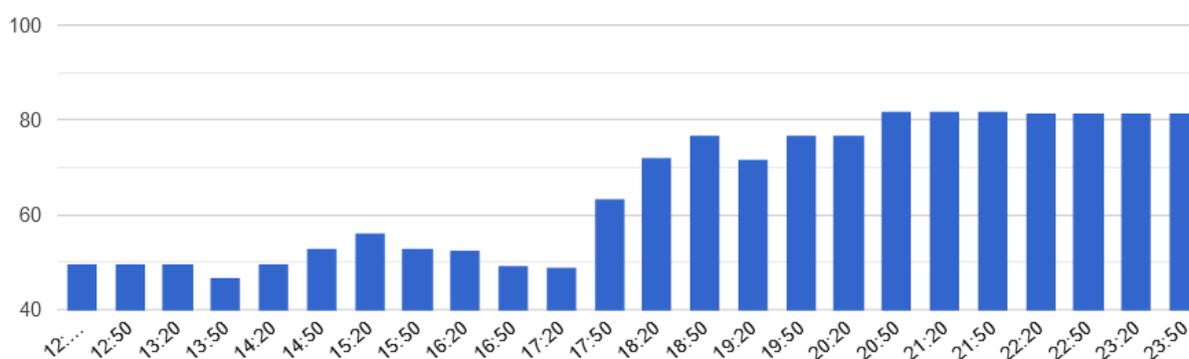
### Résumé des données pour le 12 Septembre 2020:

● Température maximale	23 °C	13:50	● Température minimale	8 °C	04:50
● Humidité maximale	100.0 %	04:50	● Humidité minimale	46.7 %	13:50
● Pression maximale	1027 hPa	20:50	● Pression minimale	1020 hPa	00:50
● Rayonnement maximal	-- W/m2		● Rayonnement minimal	-- W/m2	
● Vitesse du vent (Max)	11.1 km/h	12:50	● Rafales maximales de vent	-- km/h	
● Précipitations accumulées	-- mm				

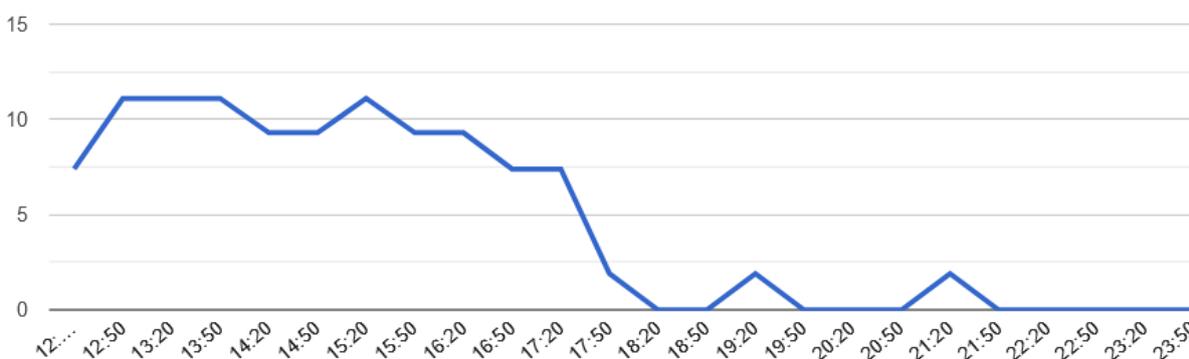
#### TEMPÉRATURE (°C)



#### HUMIDITÉ RELATIVE (%)



#### VITESSE DU VENT (KM/H)

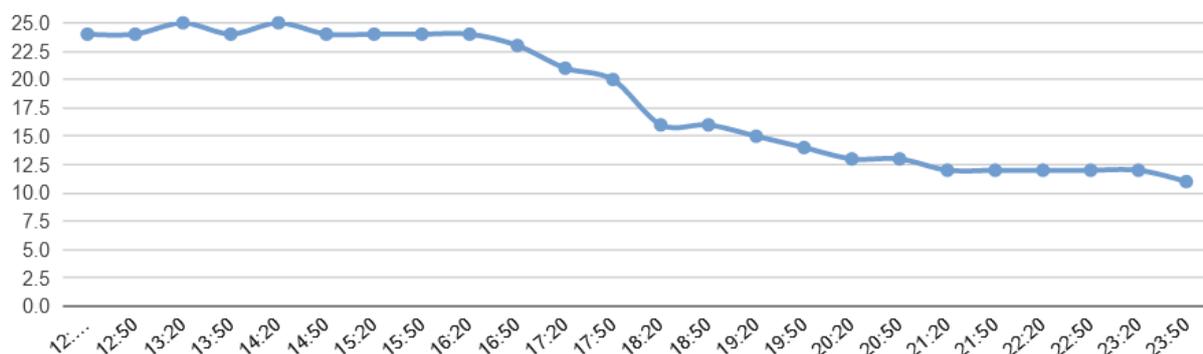


Annexe 8: Bilan météorologique du samedi 12 septembre 2020

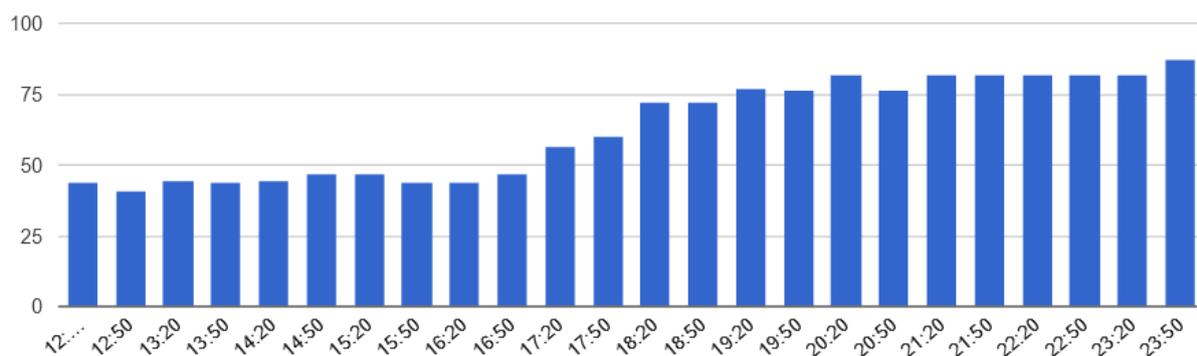
### Résumé des données pour le 13 Septembre 2020:

● Température maximale	25 °C	13:20	● Température minimale	7 °C	04:20
● Humidité maximale	93.4 %	05:20	● Humidité minimale	41.2 %	12:50
● Pression maximale	1029 hPa	09:50	● Pression minimale	1027 hPa	00:50
● Rayonnement maximal	-- W/m2		● Rayonnement minimal	-- W/m2	
● Vitesse du vent (Max)	7.4 km/h	08:20	● Rafales maximales de vent	-- km/h	
● Précipitations accumulées	-- mm				

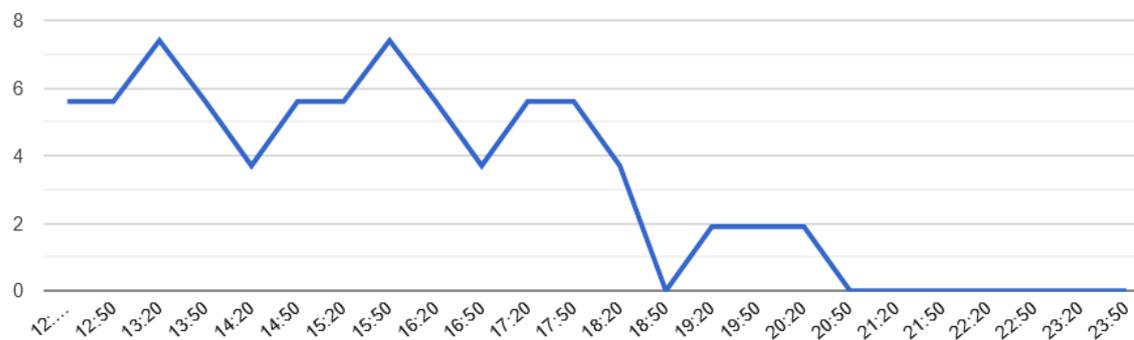
#### TEMPÉRATURE (°C)



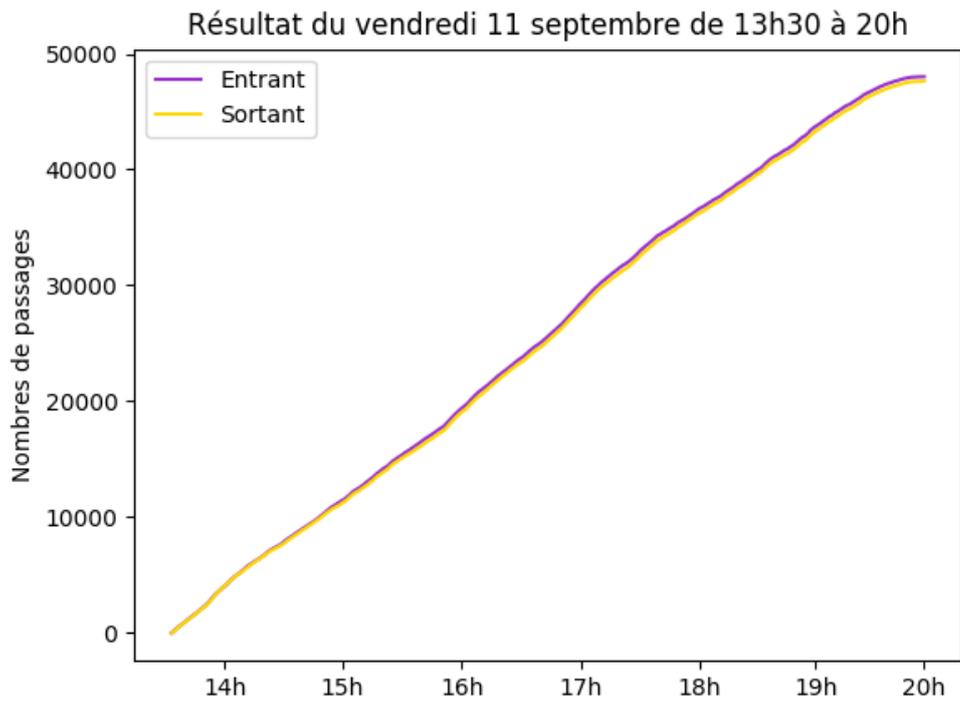
#### HUMIDITÉ RELATIVE (%)



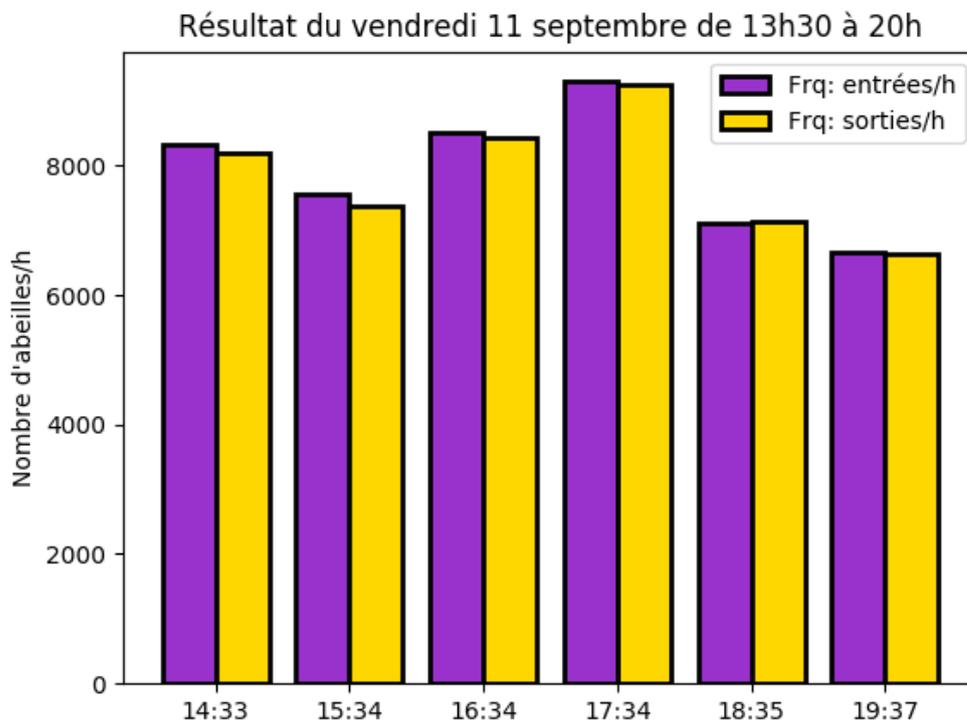
#### VITESSE DU VENT (KM/H)



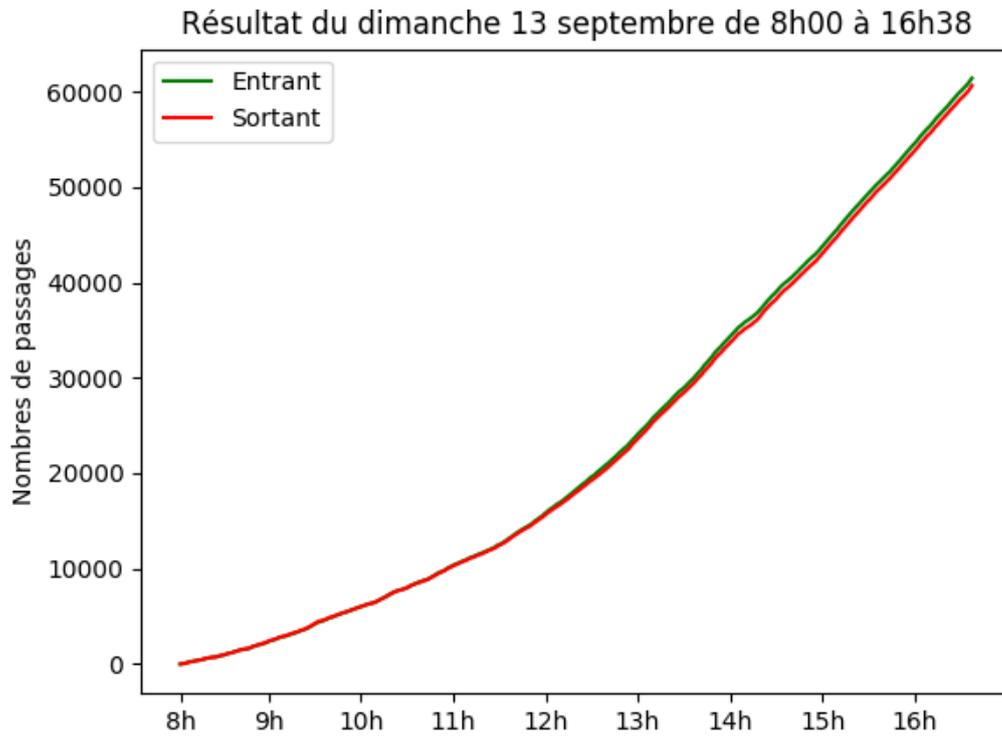
Annexe 9: Bilan météorologique du dimanche 13 septembre 2020



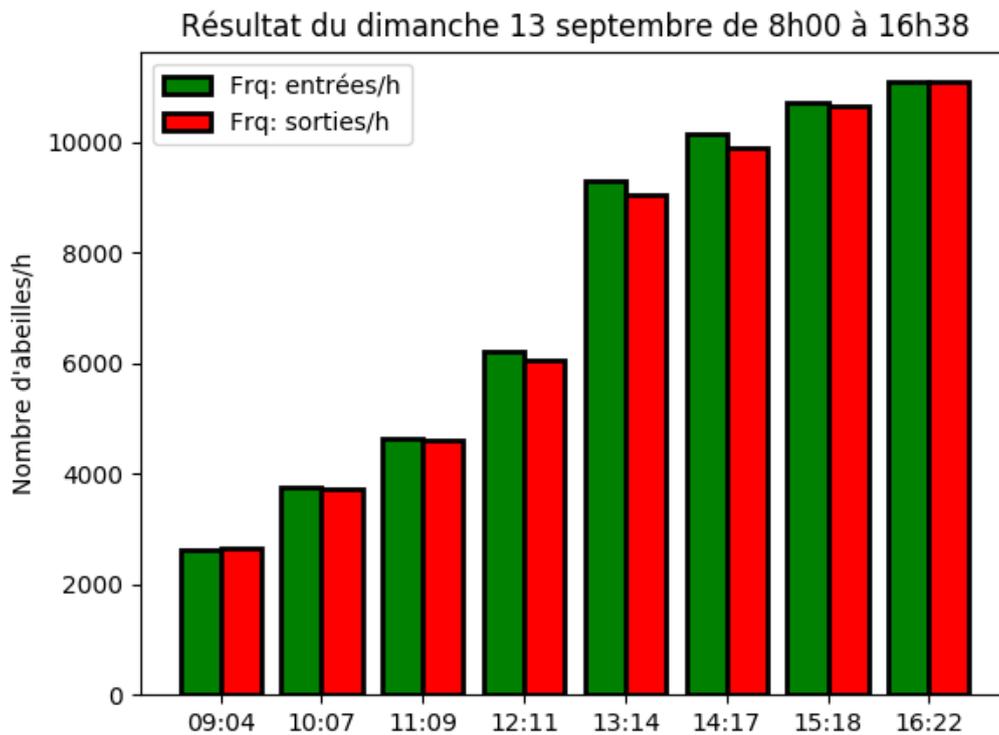
Annexe 10: Graphique des entrées-sorties de la ruche le vendredi 11



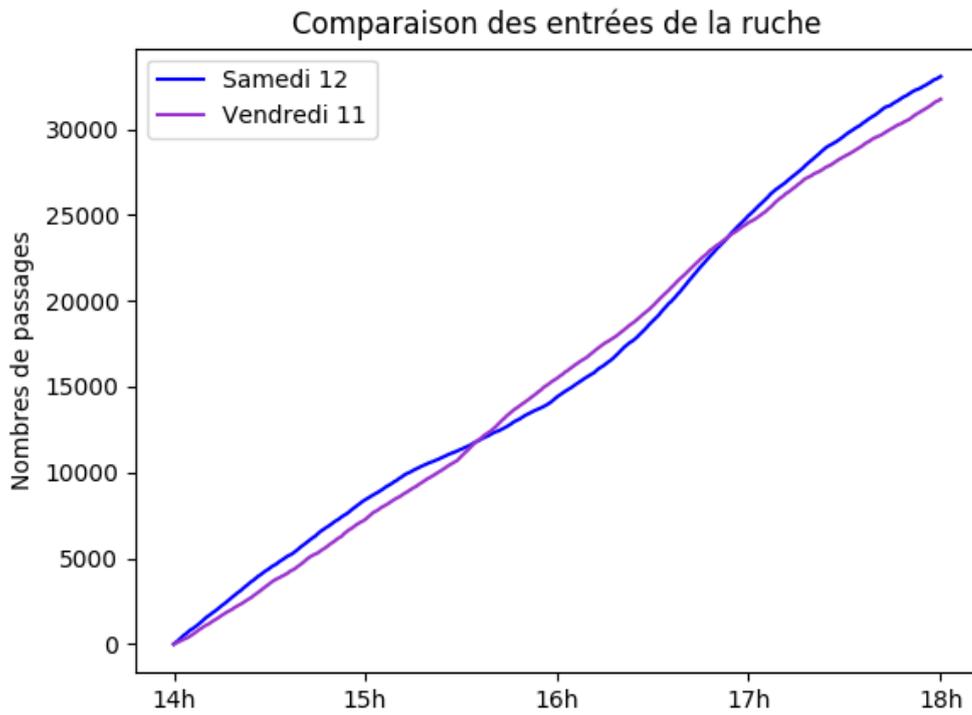
Annexe 11: Intensité des entrées-sorties de la ruche le vendredi 11



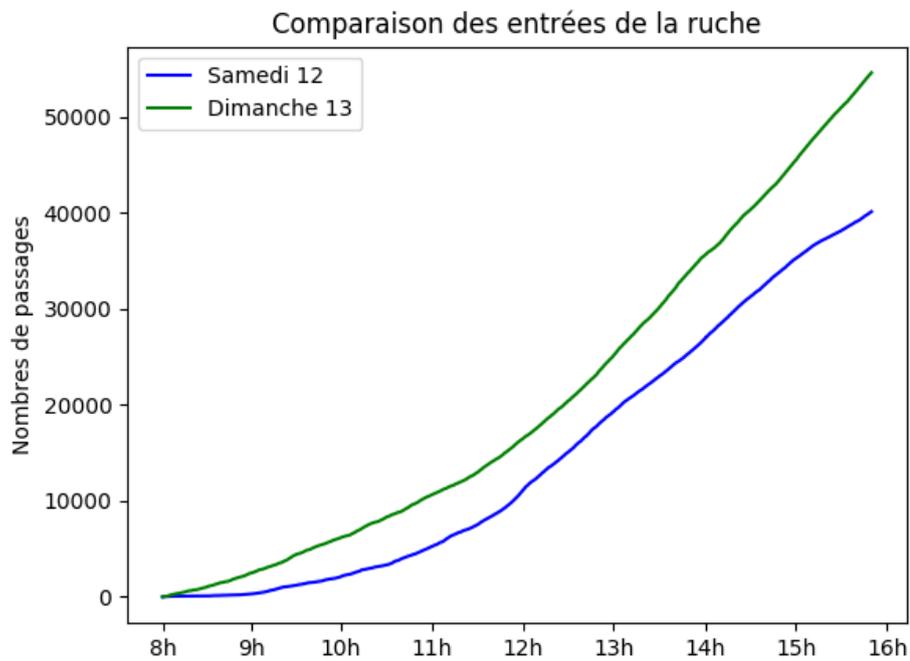
Annexe 12: Graphique des entrées-sorties de la ruche le dimanche 13



Annexe 13: Intensité des entrées-sorties de la ruche le dimanche 13



Annexe 14: Graphique comparant l'activité journalière d'une ruche



Annexe 15: Graphique comparant la différence d'activité entre 2 ruches

## Annexe 16: Rapport d'évaluation


**RAPPORT D'ÉVALUATION  
ASSESSMENT REPORT**

Merci de retourner ce rapport par courrier ou par voie électronique en fin du stage à :  
At the end of the internship, please return this report via mail or email to:

ENSTA Bretagne – Bureau des stages - 2 rue François Verny - 29806 BREST cedex 9 – FRANCE  
☎ 00.33 (0) 2.98.34.87.70 / [stages@ensta-bretagne.fr](mailto:stages@ensta-bretagne.fr)

**I - ORGANISME / HOST ORGANISATION**

NOM / Name BERNARD Coyette

Adresse / Address \_\_\_\_\_

Tél / Phone (including country and area code) \_\_\_\_\_

Nom du superviseur / Name of internship supervisor \_\_\_\_\_

Fonction / Function \_\_\_\_\_

Adresse e-mail / E-mail address c.bernard@stake.com

Nom du stagiaire accueilli / Name of intern

PIRANDA Julien

**II - EVALUATION / ASSESSMENT**

Veuillez attribuer une note, en encerclant la lettre appropriée, pour chacune des caractéristiques suivantes. Cette note devra se situer entre A (très bien) et F (très faible)  
Please attribute a mark from A (excellent) to F (very weak).

**MISSION / TASK**

❖ La mission de départ a-t-elle été remplie ? Ⓐ B C D E F  
Was the initial contract carried out to your satisfaction?

❖ Manquait-il au stagiaire des connaissances ?  oui/yes  non/no  
Was the intern lacking skills?

Si oui, lesquelles ? / If so, which skills? \_\_\_\_\_

**ESPRIT D'EQUIPE / TEAM SPIRIT**

❖ Le stagiaire s'est-il bien intégré dans l'organisme d'accueil (disponible, sérieux, s'est adapté au travail en groupe) / Did the intern easily integrate the host organisation? (flexible, conscientious, adapted to team work)

Ⓐ B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here \_\_\_\_\_

**COMPORTEMENT AU TRAVAIL / BEHAVIOUR TOWARDS WORK**

Le comportement du stagiaire était-il conforme à vos attentes (Ponctuel, ordonné, respectueux, soucieux de participer et d'acquérir de nouvelles connaissances) ?

*Did the intern live up to expectations? (Punctual, methodical, responsive to management instructions, attentive to quality, concerned with acquiring new skills)?*

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / *If you wish to comment or make a suggestion, please do so here* \_\_\_\_\_

**INITIATIVE – AUTONOMIE / INITIATIVE – AUTONOMY**

Le stagiaire s'est-il rapidement adapté à de nouvelles situations ?

(Proposition de solutions aux problèmes rencontrés, autonomie dans le travail, etc.)

A B C D E F

*Did the intern adapt well to new situations?*

*(eg. suggested solutions to problems encountered, demonstrated autonomy in his/her job, etc.)*

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / *If you wish to comment or make a suggestion, please do so here* \_\_\_\_\_

**CULTUREL – COMMUNICATION / CULTURAL – COMMUNICATION**

Le stagiaire était-il ouvert, d'une manière générale, à la communication ?

*Was the intern open to listening and expressing himself /herself?*

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / *If you wish to comment or make a suggestion, please do so here* \_\_\_\_\_

**OPINION GLOBALE / OVERALL ASSESSMENT**

❖ La valeur technique du stagiaire était :

*Please evaluate the technical skills of the intern:*

A B C D E F

**III - PARTENARIAT FUTUR / FUTURE PARTNERSHIP**

❖ Etes-vous prêt à accueillir un autre stagiaire l'an prochain ?

*Would you be willing to host another intern next year?*  oui/yes

non/no

Fait à Besançon, le 28/09/2020

In \_\_\_\_\_, on \_\_\_\_\_

Signature Entreprise  
Company stamp

Signature stagiaire  
Intern's signature




**Merci pour votre coopération**  
**We thank you very much for your cooperation**

## 7. Références

- [1] Présentation - Lab-STICC [Internet]. [cited 2020 Aug 31]. Available from : <https://www.labsticc.fr/fr/francais/>
- [2] Van LAERE - 1965 - L'EFFET DE QUELQUES FACTEURS SUR LE DÉVELOPPEMENT .pdf [Internet]. [cited 2020 Aug 31]. Available from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00890219/document>
- [3] Métiers de l'abeille | Apis Bruoc Sella [Internet]. [cited 2020 Aug 31]. Available from: <https://apisbruocsella.be/fr/metiers-de-labeille>
- [4] Ruches sur les toits [Internet]. [cited 2020 Aug 31]. Available from: <https://www.ruche-entreprise.com/>
- [5] Buy a Raspberry Pi – Raspberry Pi [Internet]. [cited 2020 Aug 31]. Available from: <https://www.raspberrypi.org/products/>
- [6] Marcel Berger, Géométrie [détail des éditions], Prop. 11.1.8.4, tome 3, p. 26 dans l'édition de 1978
- [7] Harold W. Kuhn, « The Hungarian Method for the Assignment Problem: Introduction by Harold W. Kuhn » [archive], sur Tom Kelsey à l'Université de St Andrews.