

Dispositif électronique autonome en énergie utilisé pour la préservation des Hirondelles de fenêtre

Pierre-Yves CRESSON¹, Eric GALLET² et Patrick FAVIER¹

pyves.cresson@univ-artois.fr

¹: IUT de Béthune - Université d'Artois, 1230 rue de l'Université, CS 20819, 62408 Béthune Cedex

²: Association OrnithoNature, Hôtel de Ville, 19 Place Saint-Martin, 80230 Saint Valery-sur-Somme

RESUME : Dans le cadre des projets pédagogiques tutorés qui se déroulent chaque année, sur une semaine, au département GEII de l'IUT de Béthune (Université d'Artois), des groupes d'étudiants mélangeant 1^{ère} année et 2^{ème} année, sont constitués. Suivant un cahier des charges préalablement défini par un enseignant référent, ils doivent finaliser un projet, généralement dans le temps imparti. Ces projets réalisés à la jonction des semestres 1 et 2 et des semestres 3 et 4 encouragent les étudiants à approfondir leurs connaissances théoriques et expérimentales. Le projet que nous présentons dans cet article, nécessite des compétences en électricité, électronique, informatique et énergies renouvelables. Ce projet est motivant puisqu'il concerne la préservation d'espèces protégées. En effet, lorsque des Hirondelles de fenêtre qui sont des espèces protégées, habitent dans des bâtiments voués à la destruction, ceux-ci ne peuvent être détruits, tant que des Hirondelles de fenêtre y sont présentes. Le dispositif demandé aux étudiants doit permettre d'attirer les hirondelles à leur retour de migration, à un autre emplacement, une cabane en bois surélevée et équipée de 17 nids artificiels, afin qu'aucune ne soit présente dans les bâtiments lors du commencement des travaux de démolition.

Mots clés : Informatique embarquée, Energies renouvelables, Projets pédagogiques tutorés, Ecologie.

1 INTRODUCTION

Les plates-formes open-source à microcontrôleur sont de plus en plus utilisées car elles permettent de nouvelles possibilités pour l'enseignement des technologies [1-2]. De plus, du fait de l'intérêt croissant pour le développement durable et l'écologie, les énergies renouvelables sont enseignées dans de nombreuses formations universitaires [3-5].

Informatique embarquée et énergies renouvelables sont les deux principaux thèmes du projet technique et pédagogique présenté dans cet article, projet effectué dans le cadre d'une semaine intensive, au département GEII de l'IUT de Béthune. L'objectif de ce projet est motivant, puisqu'il s'agit de participer à la préservation d'une espèce protégée : les Hirondelles de fenêtre.

La destruction de nids d'Hirondelles de fenêtre par démolition de vieilles bâtisses les hébergeant, est donc interdite. L'association OrnithoNature [6] souhaite développer, en collaboration avec l'IUT de Béthune, un système qui incite les Hirondelles de fenêtre à adopter dès leur retour de migration, la cabane en bois où sont installés des nids artificiels simples ou doubles.

Cet article détaille les modalités de mise en œuvre du projet pédagogique tutoré, la solution technique retenue et les connaissances utilisées pour la réalisation de ce dispositif électronique et autonome en énergie. Ce dernier a été installé et testé dans la ville de Liévin dans le Pas-de-Calais (Région des Hauts-de-France).

2 MOTIVATIONS ECOLOGIQUES DU PROJET

La destruction de bâtiments anciens entre souvent dans le cadre d'un plan de renouvellement urbain d'une grande ville. Elle permet de réduire l'offre de logements locatifs sociaux, souvent créés dans les années 1960-

1970, au profit de logements plus modernes et diversifiés. Les anciens logements ne peuvent être détruits que si, plus personne n'y habite, mais qu'ils ne soient plus occupés par des espèces protégées.

Qu'est-ce qu'une espèce protégée? L'article L411-1 du code de l'environnement [7] fixe les principes de protection des espèces et prévoit l'établissement de listes d'espèces protégées. Les arrêtés ministériels interdisent : l'atteinte physique aux spécimens, la perturbation intentionnelle des animaux dans le milieu naturel, la dégradation des habitats et en particulier les éléments nécessaires à la reproduction ou au repos de l'espèce considérée...

Une dérogation à ces interdictions est néanmoins possible lorsqu'un projet impacte des spécimens d'espèces protégées. Une demande de dérogation doit alors être formulée auprès de la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL). Cette demande n'est recevable que si des mesures compensatoires sont prises pour préserver les espèces protégées.



fig 1 : Nids d'Hirondelles de fenêtre

La ville de Liévin dans le Pas-De-Calais souhaite démolir plusieurs immeubles anciens dans lesquels la présence de nids d'Hirondelles de fenêtre (fig. 1) a été

observée. Ces dernières étant des espèces protégées, les immeubles ne peuvent être détruits qu'hors présence des oiseaux. Pas-de-Calais Habitat, gestionnaire des logements, a demandé à l'association OrnithoNature, fondatrice de l'action Hirondelles des Hauts-de-France, de l'aide pour mettre en place les mesures compensatoires qui sont obligatoires avant la destruction des immeubles.

OrnithoNature fondateur de l'action Hirondelles des Hauts-de-France a inventé la cabane aux hirondelles appelée Hirun-Bane (fig. 2). Sur l'Hirun-Bane sont installés 17 nids artificiels simples ou doubles, à une hauteur minimale de 3,5 mètres mais ne dépassant pas 4 mètres. La hauteur des nids artificiels respecte la moyenne d'implantation des nids naturels observée sur le site.

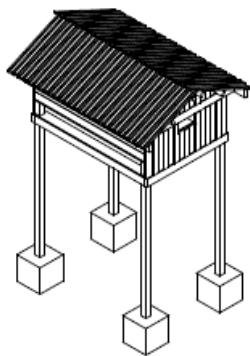


fig 2 : La cabane en bois pour les hirondelles (Hirun-Bane) conçue par OrnithoNature

Pour attirer les hirondelles vers cette cabane, il est nécessaire d'installer un système de repasse. La repasse est une technique qui consiste à émettre les chants de l'oiseau ciblé, afin d'obtenir une réaction (vocale ou comportementale) de sa part. Toutefois si cette technique est pratiquée sans discernement, elle peut occasionner quelques dérangements. C'est ce système qu'il est demandé aux étudiants de réaliser dans le cadre de ce projet pédagogique tutoré.

3 DEROULEMENT DU PROJET

Ce projet a été réalisé par des étudiants du département Génie Electrique et Informatique Industrielle (GEII) de l'IUT de Béthune dans le cadre d'une semaine dite "bloquée". Cette semaine de 5 jours, du jeudi matin au mercredi après-midi suivant, constitue une partie des projets tutorés tels qu'ils sont préconisés dans le cadre du Programme Pédagogique National (PPN) du DUT GEII, projets que les étudiants font sur leurs deux années de DUT. La semaine se situe à la fin des semestres 1 et 3, juste avant le démarrage des semestres suivants, c'est-à-dire les semestres 2 et 4 respectivement. La coupure du week-end permet de faire une césure temporelle dans le projet, césure profitable aux étudiants comme aux enseignants. Une semaine allant du lundi matin au vendredi matin, soit 5 jours consécutifs, est trop longue

pour maintenir une attention pleine et entière des étudiants. A la fin de cette semaine, exclusivement dédiée à la réalisation du projet, puisqu'aucun enseignement n'est dispensé, les étudiants font une soutenance orale et rendent un rapport écrit. Un horaire minimal de présence est imposé aux étudiants: 8h30-12h le matin et 13h30-17h l'après-midi, mais les étudiants font souvent plus que cet horaire minimal. Le rapport et la soutenance sont à préparer en dehors des heures de présence à l'IUT.

Les objectifs de ces projets sont entre autres: la mise en pratique de savoirs théoriques, la démonstration de l'interdisciplinarité des matières enseignées, le travail en groupe, la gestion du temps et des délais, la communication écrite et orale...

Chaque projet réunit des étudiants de première et de seconde année. Plusieurs projets sont proposés aux étudiants des 2 promotions. Ces derniers doivent alors se répartir de manière équitable et homogène sur chaque projet. Les différentes parties du projet doivent être clairement identifiables, afin que chaque étudiant puisse choisir une partie d'un projet en fonction de ses préférences pour les différents champs disciplinaires du DUT GEII. Aucun projet n'est imposé. Dans notre cas, 5 étudiants ont choisi ce projet en se répartissant de la manière suivante: 2 pour la partie "informatique embarquée & audio" et 3 pour la partie "module photovoltaïque & stockage de l'énergie". L'objectif est aussi que des étudiants qui ne se connaissent pas forcément au départ, travaillent ensemble comme cela se passe dans le monde de l'entreprise et développent ainsi leurs compétences relationnelles. Il n'existe pas de partie du projet réservée aux étudiants de 1^{ère} année ou aux étudiants de 2^{ème} année, l'accent est mis sur le travail en équipe et la mise en commun des connaissances théoriques et pratiques. Les discussions entre les étudiants doivent être encouragées au maximum. Les projets peuvent être proposés par des enseignants en partenariat avec une entreprise, un laboratoire de recherche ou une association. Les projets n'ont pas à aboutir systématiquement sur une réalisation technique, la durée dans le cadre de ce projet étant très courte.

Un projet est toujours encadré par un enseignant référent. La semaine commence toujours par une première demi-journée d'accueil du groupe d'étudiants par l'enseignant. Durant cette demi-journée, quelques informations techniques indispensables sont données aux étudiants. Un planning prévisionnel est établi. C'est surtout un instant d'échanges verbaux entre les différents participants du projet.

L'enseignant référent n'a pas obligation d'être présent toute la semaine. Pour chaque demi-journée de la semaine, un planning prévisionnel des enseignants présents au département GEII est réalisé et communiqué aux élèves. Même si l'enseignant référent sur un projet est absent, les étudiants doivent être présents et travailler en autonomie. Des questions peuvent être posées aux

autres enseignants présents ou envoyées par mail à l'enseignant référent. Durant la semaine, le rôle de ce dernier est surtout de guider les étudiants dans l'avancement et l'aboutissement du projet.

4 CAHIER DES CHARGES DU SYSTEME

En premier, les étudiants ont lu le cahier des charges. Celui-ci était le suivant:

- Système autonome en énergie.
- Système vertueux d'un point de vue écologique.
- Choix aléatoire du chant diffusé.
- Capacité à émettre les chants des oiseaux par intermittence (environ 50% du temps).
- Bande de fréquences du chant (4-20 kHz).
- Pas de diffusion la nuit.
- Dispositif de mise en marche ou en arrêt à distance.
- Possibilité de changer les échantillons sonores.
- Système prêt à l'emploi et à l'installation.
- Système peu soucieux des intempéries.
- Coût non exagéré.

Des dispositifs répondant en partie au cahier des charges sont disponibles dans le commerce. Mais l'association OrnithoNature a préféré monter une collaboration avec un établissement supérieur d'enseignement, pour réaliser un système vraiment adapté à ses besoins et sensibiliser par la même occasion les étudiants aux problèmes de préservation des espèces protégées.

La solution technique ainsi que le choix des matériels utilisés, sont expliqués aux étudiants par l'enseignant référent dès la première demi-journée de la semaine. Tous les éléments ont été achetés par l'IUT, sur proposition de l'enseignant référent, responsable du projet, en amont de la semaine bloquée. Les étudiants ne peuvent pas présenter des solutions techniques, car du fait de l'organisation sur 5 jours consécutifs, les étudiants ne peuvent pas proposer l'achat de matériels. Ceux-ci ne pourraient pas être réceptionnés avant la fin du projet. Grâce à la lecture des notices techniques des appareils, les étudiants valident les choix effectués. Les étudiants ont ensuite pour mission de tester individuellement les équipements, d'assembler un prototype, de vérifier son fonctionnement par des mesures et ensuite de réaliser la maquette finale.

Il est décidé que le panneau photovoltaïque serait fixé sur la partie du toit exposée le plus au sud, que la cellule solaire serait fixée sur un côté de la cabane pour la détection du jour et de la nuit et que les 4 haut-parleurs seraient fixés sous la cabane, sur le plancher inférieur à l'abri des intempéries. Le reste du système sera installé dans la cabane.

5 REALISATION TECHNIQUE DU SYSTEME

Dans ce paragraphe, nous présentons les différents éléments utilisés pour la réalisation de ce projet technique.

5.1 Le système dans son ensemble

Les différentes séquences de chants d'hirondelles sont stockées dans une carte SD insérée dans un module électronique qui génère un signal analogique audio. Celui-ci est envoyé à un amplificateur alimenté en tension continue 12 V avec quatre sorties permettant la diffusion du son. Comme le dispositif est loin de toute source d'alimentation, il doit être autonome en énergie. Pour cela, un générateur photovoltaïque est calculé pour charger une batterie d'accumulateurs de tension 12 V et de capacité suffisante pour assurer le fonctionnement pendant plusieurs jours. La figure 3 donne le schéma avec les différents constituants de l'installation.

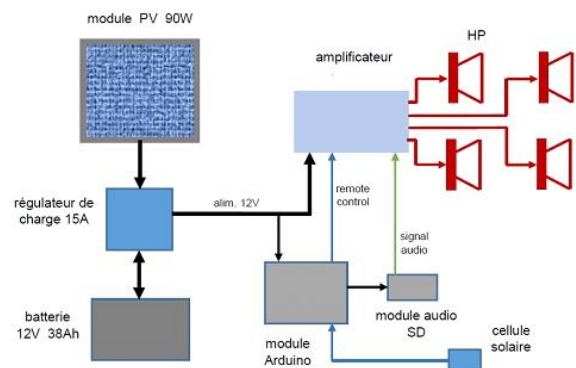


fig 3 : Schéma d'ensemble de l'installation

L'amplificateur dispose d'une entrée utilisable pour arrêter le fonctionnement quand la diffusion sonore n'est pas utile, afin de réduire la consommation d'énergie. Un module Arduino sert d'unité centrale de pilotage de la partie audio. Il comporte un programme qui détermine l'irradiance solaire grâce à une cellule, déclenche la lecture des chants d'hirondelles et commande le fonctionnement de l'amplificateur.

Le régulateur dispose d'une communication Bluetooth pour superviser le fonctionnement, la mise en marche ou l'arrêt du système à partir d'un téléphone portable.

5.2 Module photovoltaïque & stockage de l'énergie.

Le calcul du générateur photovoltaïque commence par l'évaluation des besoins en énergie, l'étude est menée pour un jour. Les spécifications de fonctionnement imposent un fonctionnement à 50 % du temps pendant 12 heures, ce qui correspond à un fonctionnement effectif de 6 heures par jour. Le module PV a été testé en extérieur. Les étudiants de 2^{ème} année utilisent le cours d'énergies renouvelables sur le photovoltaïque du S3 et ont pour mission de transmettre les connaissances acquises aux étudiants de 1^{ère} année. C'est un travail d'équipe et de communication entre les étudiants.

Les mesures sur les courants consommés sont: 0,5 A pour alimenter l'électronique et l'amplificateur de puissance plus un courant moyen de 1 A lors de la diffusion d'un chant dans les HP, soit un total de 1,5 A débité par la batterie.

La tension 12V est imposée par la batterie. L'énergie est égale à $12 \text{ V} \times 1,5 \text{ A} \times 6 \text{ h} = 108 \text{ Wh}$. La batterie devra donc pouvoir fournir 108 Wh chaque jour de fonctionnement.

Une marge de sécurité a été prise pour assurer le fonctionnement pendant plusieurs jours de faible ensoleillement. Nous avons choisi une batterie 12V au plomb de type AGM d'une capacité de 38 Ah. Elle peut stocker et restituer 456 Wh. Si on autorise une décharge profonde limitée à 20 %, elle peut donc assurer le fonctionnement pendant 3 jours sans recharge.

Le module photovoltaïque en technologie silicium monocristalline, fig. 4, présente les caractéristiques suivantes: 90W avec une tension à puissance maximale égale à 19 V sous les conditions standards de test.



fig 4 : Le module PV et ses caractéristiques

Le module choisi doit pouvoir assurer une alimentation suffisante en énergie du système. Considérons le cas le plus défavorable pendant la période de fonctionnement, le mois de mars. L'ensoleillement y est plus faible par rapport au mois d'avril et mai. Les données d'ensoleillement indiquent en moyenne 3100 Wh/m² par jour pour notre toiture orientée azimut Sud Sud-Est avec une inclinaison de 20°. Ce qui correspond à 3,1 heures équivalentes de soleil avec une irradiance STC égale à 1000 W/m². Le module pourra donc fournir 279 Wh par jour en moyenne (90 W × 3,1h).

Il faut maintenant évaluer le Performance Ratio (PR) de l'installation. C'est le coefficient qui prend en compte les pertes des différents constituants: salissures, écarts STC -10%, rendement régulateur 98%, pertes câbles 1% et rendement de la batterie 80%, le calcul donne un PR égal à 70%. L'énergie disponible par jour est égale à 195 Wh, ce qui est suffisant pour assurer le bon fonctionnement. Les données d'ensoleillement sont des valeurs moyennes calculées sur le mois complet. Suivant les conditions météorologiques, il y aura des jours avec plus ou moins de soleil. Mais nous avons surdimensionné la batterie qui a une capacité de 456 Wh et qui peut assurer à elle seule le fonctionnement pendant trois jours. De plus, par temps couvert le rayonnement solaire diffus permet une petite recharge de la batterie.

Un régulateur de charge est nécessaire, sa fonction principale est de gérer la charge de la batterie. C'est un convertisseur électronique qui se connecte entre le module PV et la batterie. Quand celle-ci est chargée, il arrête le courant de charge pour préserver la durée de vie de la batterie. Ce régulateur est aussi équipé d'une

fonction délestage pour couper automatiquement les circuits consommateurs avant la décharge profonde de la batterie. Nous avons choisi le modèle Victron MPPT 75/15, la figure 5 montre le régulateur, le détail des connexions et un exemple d'écran de supervision.



fig 5 : Le régulateur de charge et un exemple de supervision

Ce régulateur communique par Bluetooth. Un utilisateur placé à proximité peut recevoir les données instantanées et l'historique de charge de la batterie des jours précédents. L'utilisateur peut commander l'état ON-OFF des circuits connectés en sortie du régulateur. Cette fonctionnalité est utile pour notre application, elle évite de devoir monter en haut de la construction pour mettre en marche ou arrêter le fonctionnement.

5.3 Informatique embarquée & audio.

Cette partie peut en fait être divisée en 2 sous-parties: une première sous-partie constituée de la carte avec le microcontrôleur et de la carte d'extension capable de lire les fichiers musicaux et une deuxième sous-partie comprenant l'amplificateur de puissance et les quatre haut-parleurs.

Il existe une grande variété de cartes Arduino, notre choix s'est porté sur l'Uno, carte fiable et peu chère [8]. La carte peut être alimentée entre 7 et 12 V. Toutefois, nous avons préféré séparer le 0 V de la batterie et le 0 V de la partie électronique pour éviter les boucles de masse et capter des parasites électromagnétiques qui pourraient être transformés en signaux audibles. Grâce au module de compatibilité électromagnétique, les étudiants comprennent aisément le problème. Nous avons utilisé un convertisseur CC-CC isolé (TRACO TEL 2-1211), qui à partir du 12 volts issu de la batterie génère du 5 V pour toute la partie électronique (figure 6).



fig 6 : L'alimentation de la partie électronique

L'environnement de développement intégré (IDE) pour les cartes Arduino est open-source, facile à comprendre et dispose de nombreuses bibliothèques internes. Mais il est possible d'y ajouter des bibliothèques externes. C'est une de ces bibliothèques que nous utilisons pour réaliser une communication série entre la carte Uno et la carte d'extension qui joue le rôle de lecteur MP3.

Le module Grove-MP3 est un module audio compact et de petite taille, pouvant être facilement interfacé avec les cartes Arduino. Il permet la lecture des fichiers audio tels que les WAV, WMA et MP3, ces fichiers étant stockés sur une carte micro-SD. Un convertisseur numérique analogique 24 bits est utilisé en sortie pour générer le signal, disponible sur une prise jack 3,5 mm. Avec l'envoi de commandes prédéfinies, il est possible de choisir le morceau de musique à écouter, de modifier le volume, de favoriser un type d'équaliseur, de mettre en veille le dispositif...

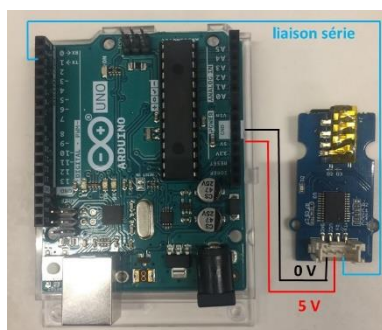


fig 7 : Les liaisons entre la carte Arduino Uno et le module Grove-MP3

L'association entre la carte Arduino Uno et le module Grove-MP3 est très simple, car elle ne nécessite que 3 fils (fig. 7). Deux fils pour l'alimentation du module (5 V) sont connectés à l'alimentation de la carte et un fil établit la liaison série entre les 2 éléments.

Le signal généré disponible sur la sortie jack est envoyé sur les entrées de l'amplificateur de puissance, sur lequel sont connectés les 4 haut-parleurs. Pour l'achat de l'amplificateur de puissance et des 4 haut-parleurs, nous avons choisi un distributeur d'équipements automobiles connu sur le plan national. Pour l'amplificateur, nous avons acheté le modèle MTX TX2450. C'est un amplificateur de classe AB, avec une puissance de sortie égale à $4 \times 50 \text{ W}_{\text{RMS}}$ sur 4Ω et une réponse en fréquence allant de 10 Hz à 60000 Hz à $\pm 1 \text{ dB}$. Les 4 haut-parleurs sont des MTX TX465C: impédance 4Ω , puissance $80 \text{ W}_{\text{RMS}}$, réponse en fréquence 45 Hz - 45000 Hz.



fig 8 : L'amplificateur de puissance et les haut-parleurs

Techniquement, cette partie est simple puisqu'elle consiste en l'association de blocs. Par contre, elle a beaucoup d'intérêt d'un point de vue pédagogique. Elle permet de rappeler les avantages et inconvénients des différentes classes d'amplification, les notions de bande passante et de taux de distorsion. Autre notion importante qui peut être abordée ici: le rendement. En effet, dans ce projet où l'énergie est limitée, puisque stockée dans une batterie qui ne se recharge que la journée, les valeurs des puissances consommées doivent impérativement être connues et maîtrisées. A titre d'exemple, l'amplificateur alimenté au repos (sans émission de sons) consomme déjà 0,5 A, donc une puissance de 6 W. Si aucune précaution n'est prise, cette puissance est dissipée durant toute la nuit au moment où la batterie ne peut être rechargée, ce qui correspond à une perte d'énergie inutile. L'amplificateur peut être allumé ou éteint (consommation de courant nulle) en appliquant 12 V ou 0 V sur l'entrée "remote". Les étudiants doivent autant que possible utiliser cette possibilité pour limiter la consommation de courant de l'amplificateur à chaque moment où ce dernier ne doit pas diffuser de chant d'oiseaux. Pour transformer la commande 5 V issue d'une sortie de la carte Uno en 12 V compatible avec l'entrée de contrôle, nous avons utilisé un optocoupleur HP2200.

Dernier constituant de cette partie: la cellule qui mesure l'irradiance solaire (figure 9). La cellule est chargée par une résistance de 10Ω . Les étudiants procèdent ensuite à l'étalonnage de la cellule (table 1). La transition jour-nuit est fixée pour une irradiance de 40 W/m^2 .

irradiance (W/m^2)	0	40	80	200	320	545
tension cellule (V)	0	0,3	0,5	0,9	1	1,1

table 1 : Relevé de la caractéristique de la cellule solaire



fig 9 : La cellule solaire utilisée

5.4 Assemblage du système.

Tous les constituants du système présentés précédemment sont testés dans un premier temps séparément et une première version du programme est aussi réalisée par les étudiants. Ensuite, l'assemblage global du système est entrepris. Tous les éléments sont fixés sur une plaque (fig. 10) à l'exception des 4 haut-parleurs, de la batterie, et de la cellule solaire. La carte Arduino, le module audio, l'optocoupleur et le convertisseur DC-DC ont été préalablement fixés sur une plaque Veroboard. Ce système est prêt à être installé dans la cabane à hirondelles. Il est demandé aux étudiants de faire un câblage propre et de limiter au maximum les longueurs des fils de connexion. Cette

partie ne pose aucune difficulté particulière aux étudiants. Le plus gros souci est le respect de la polarité de chaque composant.



fig 10 : Assemblage du système prêt à l'installation

Enfin arrive la dernière étape, la finalisation du programme dont l'organigramme est donné figure 11.

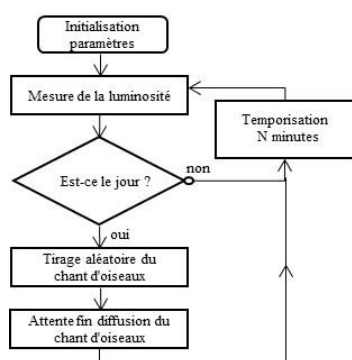


fig 11 : Organigramme du programme

Les étudiants peuvent alors appliquer les notions d'algorithmes, de représentation des données, de structures répétitives et conditionnelles, grâce au cours d'informatique du 1^{er} semestre.

6 RETOUR DES ETUDIANTS

A la fin de la semaine bloquée, les étudiants répondent à un questionnaire anonyme sur feuille pour qu'ils puissent exprimer leur ressenti et que nous, enseignants, puissions faire évoluer de manière positive les projets tutorés de milieu d'année universitaire. En ce qui concerne le projet présenté ici, il en résulte que le sujet proposé est original et actuel et que les connaissances théoriques acquises sont tout à fait adaptées à la réalisation technique de ce projet, les étudiants n'ayant pas rencontré de difficultés majeures. Les étudiants apprécient le principe de la semaine intensive et ils regrettent que cela soit trop court. Simultanément, les étudiants ont exprimé des regrets sur le fait qu'ils ne puissent pas proposer leur propre solution technique, mais ceci n'est pas possible du fait des délais de commande et de fourniture largement supérieurs à une semaine. Principalement, les étudiants évoquent les difficultés organisationnelles et relationnelles rencontrées durant la semaine pour faire aboutir le projet dans un délai très court, difficultés dont ils n'ont pas forcément conscience avant le projet tutoré.

CONCLUSION

Le projet tutoré présenté dans cet article est le fruit d'une collaboration entre le département GEII de l'IUT de Béthune et l'association OrnithoNature, fondatrice de l'action Hironnelles des Hauts-de-France. Le système de repasse désiré par l'association a été réalisé et testé avec succès par des étudiants dans le cadre d'une semaine intensive de 5 jours. Un premier prototype a été installé dans une cabane et fonctionne conformément au cahier des charges initial.

Si les premières évaluations du dispositif, prévues au printemps 2021, suite au retour de migration des Hironnelles de fenêtre, sont concluantes, nous poursuivrons cette collaboration. Un système prêt à l'emploi et facile à poser pour le fabricant de la cabane sera développé.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier la société Pas-de-Calais Habitat, office public d'HLM, dont le siège est à Arras pour l'aide apportée, la ville de Liévin, ainsi que les collègues du département GEII de l'IUT de Béthune, les membres de l'association OrnithoNature et la société Marcenterra à St Quentin en Tourmont (Somme).

Les auteurs souhaitent aussi remercier les étudiants qui ont travaillé à la réalisation et au test de ce système: Emilien Carton, Clément Fasquel, Maxime Lemahieu, Théo Malvache et Nathan Simon.

Bibliographie

- [1] A. A. Galadima, "Arduino as a learning tool", *11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, Abuja, Nigeria, 2014, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ICECCO.2014.6997577.
- [2] M. Tabaa, et al., "Initiation à la conception et réalisation d'un réseau de capteurs intelligent : Maison Intelligente", *Journal de l'Enseignement des Sciences et Technologies de l'Information et des Systèmes, J3eA*, vol. 16, pp. 1018-1023, 2017, DOI: 10.1051/j3ea/20171018.
- [3] A. Benzagmout et al., "Réalisation d'un système de mesures IV autonome pour panneaux photovoltaïques", *Actes du Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'2018)*, Fes (Maroc), 29-31 Octobre 2018, pp. 129-134.
- [4] F. Maeght et al., "Wireless supervision on a photovoltaic recharging station", *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, Janvier 2013, Vol. 32, pp 192-205. DOI: 10.1108/03321641311293830
- [5] M. Fuentes et al., "Photovoltaic toy cars racing circuits as hands-on learning solar energy: Results from a Problem Based Learning (PBL) experience for undergraduates," *IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC)*, Waikoloa Village, HI, 2018, pp. 2473-2475.
- [6] OrnithoNature, <http://ornithonature.fr/>, Asso. loi 1901
- [7] Code de l'environnement, <https://www.legifrance.gouv.fr/>, Article L411-1.
- [8] <https://www.arduino-france.com/review/arduino-uno/>