

## EXEMPLE DE PROJET EXPÉRIMENTAL ET NUMÉRIQUE MÉTÉOROLOGIE

L'enseignement scientifique en classe de première comporte cinq thèmes dont l'un est intitulé « Projet expérimental et numérique ». Le travail lors de ce projet, articulé autour de la mesure et des données qu'elle produit, se déroule sur une douzaine d'heures, contiguës ou réparties au long de l'année.

C'est dans le cadre de cet enseignement qu'est proposée ici une démarche de projet basée sur une étude en météorologie.

La météorologie est un domaine particulièrement adapté à la réalisation d'un projet numérique puisqu'elle implique naturellement la mise en œuvre d'outils numériques et expérimentaux, utilisés dans de multiples champs des sciences étudiées au travers de l'enseignement scientifique :

- les sciences de la vie et de Terre (phénomènes atmosphériques, lien avec la climatologie, effet de serre...);
- les mathématiques (probabilité, calcul numérique, modélisation et prévision, traitement de données...);
- la physique-chimie (chimie et physique de l'atmosphère, mesures de température, de pression principes de métrologie, capteurs, incertitudes de mesure, utilisation de microcontrôleurs...).

Par ailleurs, ce thème permet d'évoquer le contexte de réchauffement climatique global, même si ce dernier est abordé plus particulièrement dans le programme de terminale.

### Références au programme

Le projet s'articule autour de la mesure et des données qu'elle produit, qui sont au cœur des sciences expérimentales. L'objectif est de confronter les élèves à la pratique d'une démarche scientifique expérimentale, de l'utilisation de matériels (capteurs et logiciels) à l'analyse critique des résultats.

Le projet expérimental et numérique comporte trois dimensions :

- utilisation d'un capteur éventuellement réalisé en classe ;
- acquisition numérique de données ;
- traitement mathématique, représentation et interprétation de ces données.

Selon les projets, l'une ou l'autre de ces dimensions peut être plus ou moins développée. L'objet d'étude peut être choisi librement, en lien avec le programme ou non. Il s'inscrit éventuellement dans le cadre d'un projet de classe ou d'établissement. Ce travail se déroule sur une douzaine d'heures, contiguës ou réparties au long de l'année. Il s'organise dans des conditions matérielles qui permettent un travail pratique effectif en petits groupes d'élèves.

La dimension numérique repose sur l'utilisation de matériels (capteur éventuellement associé à un microcontrôleur) et de logiciels (tableur, environnement de programmation).

### Prérequis et limites

Ce projet remobilise certains acquis des classes antérieures : mesure et incertitudes, manipulation de capteurs et microcontrôleurs, données structurées et leur traitement, information chiffrée et statistique descriptive, utilisation d'un tableur et d'un environnement de programmation. L'objectif n'est pas d'introduire des notions nouvelles.

## Organisation

### Organisation de la classe

Le projet « météorologie » se déroule en « groupes classe » de 20 à 24 élèves gérés par un professeur. Trois groupes fonctionnent simultanément, avec trois professeurs différents.

Au sein de chacun de ces groupes, les élèves se réunissent en trinômes.

Chaque professeur suit plus particulièrement le travail sur différentes thématiques, choisies par les élèves au sein d'une liste de problématiques proposées.

Le projet est mis en place pour un fonctionnement à l'issue de l'étude des deux premiers thèmes du programme (aux environs de début janvier), permettant ainsi aux professeurs de connaître leurs élèves suffisamment, afin d'orienter au mieux leur démarche.

### Formation des trinômes

La formation des trinômes peut être laissée au choix des élèves. Mais elle peut se faire également selon des critères particuliers. Par exemple, on peut être vigilant sur la mixité filles-garçons lors de la constitution des groupes.

Un exemple de formation « orientée » des trinômes est donné en [annexe 1](#) : les élèves sont répartis dans trois équipes différentes : l'équipe des disques, celle des triangles et celle des carrés. Ces équipes cachent en réalité différentes qualités complémentaires qui prédominent chez ces élèves : l'équipe des disques est constituée d'élèves plutôt créatifs et/ou ingénieux, celle des carrés par des élèves plutôt

scolaires, s'appuyant sur les acquis des cours (notions et méthodes), et celle des triangles par des élèves qui montrent des facilités à l'échange et à l'oral.

Par ailleurs, les couleurs sont associées aux élèves selon leur orientation : orientation plutôt scientifique pour les oranges, plutôt littéraire pour les bleus, et plutôt vers l'économie pour les verts. Ainsi, on peut proposer aux élèves de former des trinômes comportant un membre de chaque équipe, ou comportant un membre de chaque couleur, voire à ce que les trinômes soient tous composés de membres de couleurs et d'équipes différentes, ce qui forme des trinômes particulièrement complémentaires, aux compétences variées.

## Organisation du temps

Ce projet se déroule sur six semaines contiguës (6 blocs de 2 heures de cours), selon le calendrier prévisionnel suivant :

Semaine	Contenu de la séance	Travail prévu pour la séance suivante
1	Présentation du sujet « Météorologie », de la démarche de projet, et d'une liste de problématiques possibles ; constitution des trinômes.	Chaque groupe doit choisir trois problématiques qui présentent un intérêt pour les membres du groupe dans la liste proposée.
2	Appropriation de la problématique. Recherches documentaires.	Compléter un carnet de bord. Poursuivre les recherches.
3	Mise en œuvre de la méthode pour essayer de répondre à la problématique. Réalisation de mesures. Traitement des mesures.	Compléter le carnet de bord.
4		Poursuivre les travaux de recherche.
5		Travailler sur la présentation finale.
6		
7	Présentation orale des travaux	

Afin d'aider les élèves à organiser au mieux leur travail, des fiches « objectifs » servent d'outil de planification : au début de chaque séance, une fiche distribuée aux élèves résume ce qu'ils doivent réaliser au cours de la séance du jour, ainsi que ce qu'ils ont à faire d'ici la séance suivante.

La fiche « objectifs » permet donc de donner un cadre de travail à l'élève, afin qu'il se situe en permanence dans la progression du projet, et qu'il ne se laisse pas déborder par ce dernier. Des exemples de fiches « objectifs » sont donnés en [annexe 2](#).

## Outil de suivi

Un carnet de bord est mis en place de façon à ce que les élèves notent, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, leurs démarches. Ce carnet de bord est individuel et non pas collectif. Il aidera à l'évaluation du travail des élèves par le professeur.

Le carnet de bord peut être réalisé sous différentes formes : des notes dans un cahier de bord conservé par l'élève, des feuilles à rendre en début de chaque séance au professeur responsable, une version informatisée (via Moodle par exemple), etc.

## Conduite du projet

### Situation déclenchante

Lors de la première séance est projetée une vidéo de 3 minutes, extraite d'un documentaire (Ultima Patagonia, Le monde du bout du monde, ARTE).

Madre De Dios est une île inhabitée du Sud du Chili, dans la région de Magallanes et de l'Antarctique chilien. C'est une île en partie karstique (où prédominent des roches sédimentaires notamment calcaires sensibles à la dissolution) qui fait l'objet d'expéditions scientifiques internationales depuis le début des années 2000.

Dans l'extrait du documentaire projeté, on observe des chercheurs équiper un « champ karstique » d'instruments mesurant direction et force du vent, température et précipitations. Ces instruments vont ainsi permettre d'obtenir la cartographie météo de ce champ, et ce avec des mesures relevées régulièrement pendant une durée de deux mois.

À la fin de la vidéo, on observe les chercheurs venir récupérer les données, et on s'aperçoit que celles-ci ont été enregistrées sur de simples microcontrôleurs équipés de cartes mémoire, tels qu'on peut en trouver en laboratoire de physique-chimie. L'étude des données recueillies permet de modéliser l'action du vent et de la pluie sur la formation et l'évolution de la structure géologique particulière de Madre De Dios.

La projection de cette vidéo est propice à lancer un débat avec les élèves afin d'échanger sur le sujet de la météorologie, échange qui permet de faire émerger différentes conceptions portant sur la mesure, les capteurs, l'autonomie des systèmes embarqués utilisés, l'automatisation et la mémorisation des données, leur traitement, visualisation...

Le débat se poursuit sur la capacité à explorer et exploiter ces champs d'action en menant un projet expérimental et numérique dans le cadre de l'enseignement scientifique.

Le professeur propose alors diverses problématiques aux élèves.

### Problématiques proposées

Une liste de problématiques ([annexe 3](#)) est proposée aux élèves. Ces derniers doivent choisir au sein de cette liste trois problématiques, par ordre de préférence. Ce sont les professeurs qui effectuent des arbitrages en fonction des vœux des élèves et de la fréquence de choix de certaines problématiques, afin qu'une large représentation des différentes problématiques puisse exister au sein du groupe classe. La liste proposée n'est pas exhaustive : si des élèves proposent par eux-mêmes une problématique

intéressante et que le projet associé est réalisable, alors on ne peut que les encourager à s'engager dans cette voie.

Les problématiques proposées s'articulent sur les trois dimensions du projet expérimental et numérique :

- utilisation d'un capteur éventuellement réalisé en classe ;
- acquisition numérique de données ;
- traitement mathématique, représentation et interprétation de ces données.

Selon les problématiques, l'une ou l'autre de ces dimensions peut être plus ou moins développée, ce qui est indiqué dans la liste présentée en [annexe 3](#).

Les professeurs ont réfléchi aux problématiques et aux expériences possibles avant de proposer une thématique aux élèves, car il est primordial d'avoir des pistes sérieuses sur le déroulement de la conduite du projet.

## Corpus documentaire

Dans le cadre de ce projet, il a été décidé de laisser une large place à l'autonomie des groupes, à partir des problématiques proposées. Un corpus documentaire spécifique au thème n'a donc pas été mis à disposition des élèves, de façon à ce qu'ils puissent effectuer des recherches par eux-mêmes avec les outils qu'ils ont à leur disposition (CDI, Internet, médiathèque de la ville...)

Toutefois, il a été présenté aux élèves la possibilité d'accéder à des données officielles météorologiques sur le site : [Données publiques de Météo-France](#).

La catégorie « Données libres d'accès » permet en effet de récupérer gratuitement de nombreuses mesures réalisées par Météo France, à commencer par les données SYNOP : observations réalisées par les stations météorologiques terrestres du réseau Météo France à intervalles réguliers de trois heures. Ces observations sont composées de données mesurées (température, humidité, direction et force du vent, pression atmosphérique, hauteur de précipitations...) et de données observées (temps sensible, description des nuages, visibilité...) depuis la surface terrestre. Ainsi, s'ils le souhaitent, les élèves peuvent télécharger les données SYNOP sous forme d'un fichier tableur (voir [annexe 4](#)). Ces données libres de droit étant fournies dans une feuille de calcul, il est très aisé pour les élèves de se les approprier, de les comparer à leurs propres données ou de les traiter, par exemple pour représenter graphiquement les mesures, effectuer des modélisations, etc.

Par ailleurs, dans le cadre de l'utilisation des microcontrôleurs, en plus de la documentation technique (notices des capteurs, bibliothèques de liens vers des utilisations de ces derniers et vers des codes sources les utilisant), il est mis à la disposition des élèves les utilisant un code source « squelette » à adapter en fonction du traitement de leur problématique ([annexe 5](#)). En effet, demander aux élèves de développer complètement un programme n'aurait que peu de sens dans le cadre de ce projet, serait chronophage et se ferait au détriment du temps disponible pour apporter une réponse à la problématique. Le microcontrôleur est un outil particulièrement adapté à la réalisation de nombreuses mesures précises ainsi qu'à leur enregistrement. La structure fonctionnelle du code-source (notamment la partie de l'enregistrement des données) est donc fournie aux élèves : on y trouve le code permettant d'initialiser la carte mémoire, de piloter un afficheur indiquant l'état de l'enregistrement, et d'utiliser un interrupteur permettant de démarrer les mesures. Ces derniers n'ont plus qu'à adapter le code-source à l'utilisation du ou des capteurs (exemple en [annexe 6](#)) avec lesquels ils ont décidé de travailler, dans les conditions qu'ils auront choisies pour apporter une réponse à leur problématique.

## Mise en œuvre expérimentale de la démarche scientifique

Les élèves ont accès au matériel du laboratoire lors des expérimentations sur les créneaux de cours, et peuvent même, si le matériel s'y prête, en emprunter pour plusieurs jours. Il leur est simplement demandé de donner, par écrit, une liste précise de ce dont ils ont besoin, au minimum 48 heures à l'avance, de façon à ce que le matériel puisse être préparé par le personnel de laboratoire.

Outre le matériel classique disponible au laboratoire, les élèves ont pu disposer :

- de cartes à microcontrôleurs autonomes (dispositif incluant une boîte étanche ainsi qu'une pile pour l'alimentation du microcontrôleur) ;
- de cartes de lecture/enregistrement sur carte mémoire SD, adaptées aux microcontrôleurs (permettant ainsi de réaliser un système autonome d'enregistrement de nombreuses données. Par exemple, enregistrer la température toutes les minutes sur une période de 15 jours) ;
- de capteurs adaptés aux microcontrôleurs, et utiles dans le cadre d'un projet météorologie (capteurs de température, humidité, luminance, qualité d'air, UV, baromètres de précision...) ;
- de modules GPS adaptés aux microcontrôleurs, permettant ainsi pour les élèves qui le désiraient, une géolocalisation précise de l'enregistrement des données.

### *Exemple de problématique développée*

L'observation est le point de départ dans la prévision météorologique. Elle passe par des descriptions qualitatives du ciel (nébulosité par exemple) mais aussi par la mesure de paramètres physiques comme la température. Ces mesures doivent être réalisées de manière bien définie, de façon à ce que toutes les stations météorologiques fournissent des données exploitables de la même manière.

Afin de donner un exemple concret de mise en œuvre possible d'une démarche de projet, nous allons développer ici la problématique « Le vent a-t-il un impact sur la mesure de la température en météorologie ? »

Pour répondre à cette problématique, nous devons nous appuyer sur une recherche, des résultats d'expériences. Ainsi, la réponse à cette problématique sera construite, notamment à partir de mesures, et permettra de préciser l'une des conditions de mesure de la température dans une station météorologique. Voici un développement possible pour répondre à cette problématique. Le professeur guidera les élèves de façon à ce que ces derniers définissent rapidement les étapes nécessaires à la construction de la réponse à la problématique, puis les mettent en œuvre.

### Démarche suivie

Après une rapide recherche documentaire, différentes étapes de l'expérimentation peuvent être prévues :

- réaliser un instrument de mesure permettant de relever la température de manière régulière, à l'aide d'un microcontrôleur ;
- utiliser cet instrument en laboratoire pour réaliser une expérience préliminaire : faire un relevé de mesure de façon à comparer les résultats selon que la sonde de température est ou non soumise à du vent (simulé à l'aide d'un ventilateur) ;
- utiliser l'instrument réalisé dans des conditions réelles de météorologie : en extérieur, en réalisant des mesures de température durant une semaine ;
- représenter et analyser les données obtenues.

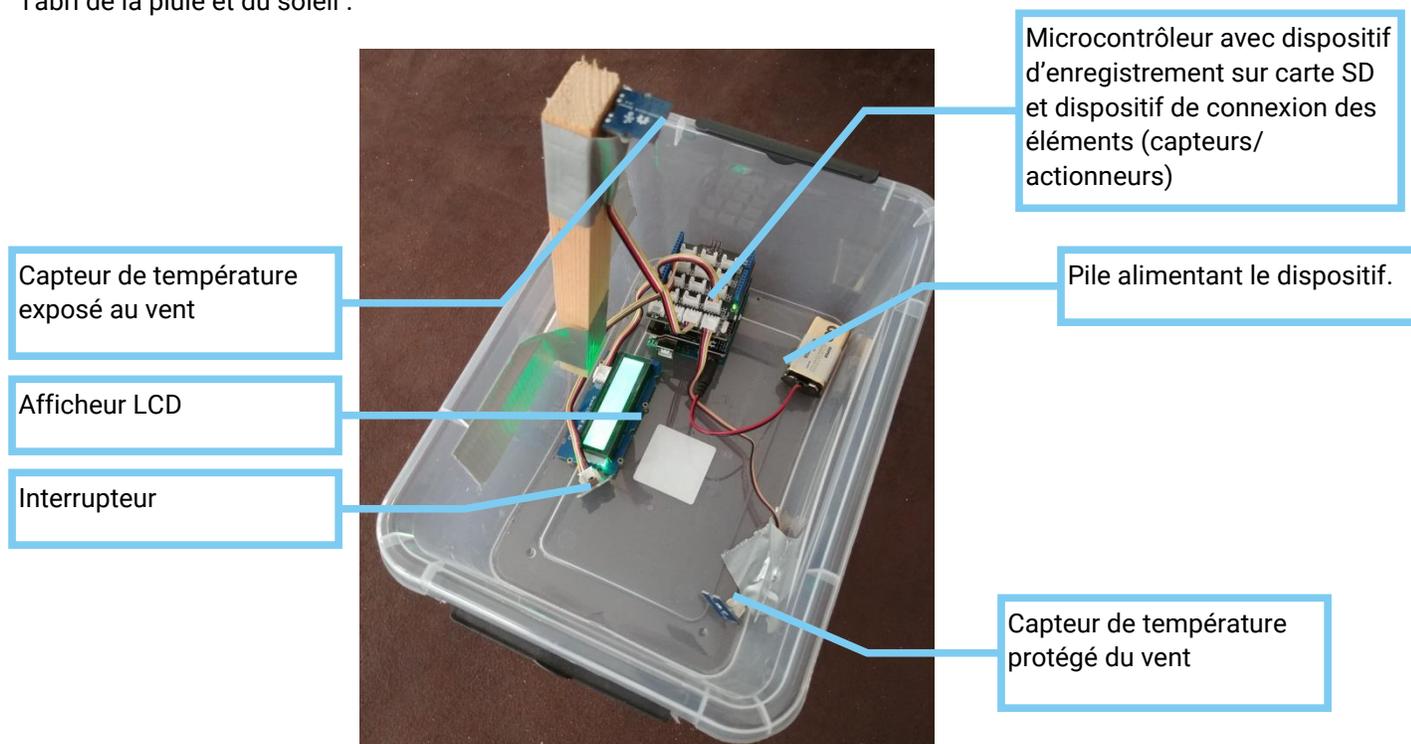
## Réalisation d'un instrument de mesure à l'aide d'un microcontrôleur

Comme on l'a vu, le microcontrôleur est particulièrement adapté à la mesure en météorologie, car il permet de réaliser un grand nombre de mesures automatisées dans des conditions correspondant aux expériences envisagées, mesures qui permettront de produire des données disponibles rapidement, échangeables au sein du groupe, et pouvant être traitées par tableur par exemple.

Au microcontrôleur sont associés :

- une pile afin d'assurer un fonctionnement autonome. Ainsi le microcontrôleur pourra être placé à n'importe quel endroit, sans contrainte ;
- deux capteurs de température identiques : ils permettront de mesurer simultanément, à partir du même microcontrôleur, la température à l'abri du vent et la température exposée au vent ;
- une carte mémoire d'enregistrement des données : ainsi le microcontrôleur pourra stocker sur une carte le relevé des températures sur une durée définie à l'avance ;
- un afficheur permettant de visualiser le nombre de mesures prises.

Le microcontrôleur est placé dans une boîte ouverte au fond de laquelle est situé l'un des deux capteurs de température. Ainsi, ce dernier sera abrité du vent. Le deuxième capteur de température est placé à 15 cm au-dessus de la boîte, dans le vent. Pour les mesures météorologiques, l'ensemble sera situé à l'abri de la pluie et du soleil :



Un programme source « squelette » est fourni aux élèves, contenant toutes les instructions nécessaires à l'acquisition de données de capteurs et à leur enregistrement sur carte mémoire ([annexe 5](#)). On fournit également aux élèves les instructions permettant la mesure de température à l'aide du capteur utilisé ([annexe 6](#)). Les élèves doivent donc réaliser un code complet afin que le microcontrôleur réalise des mesures régulières de température. Le programme fonctionnel correspondant est donné en [annexe 7](#).

## Utilisation de l'instrument en laboratoire

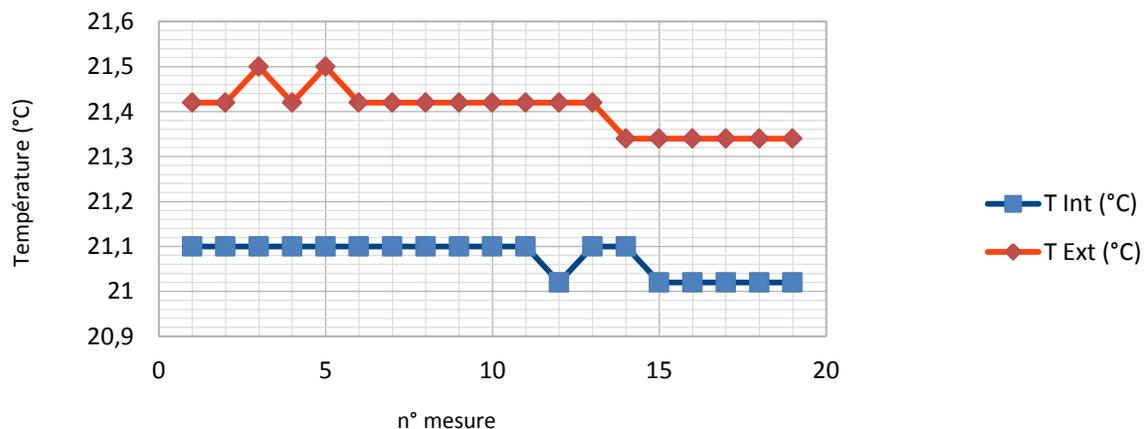
L'expérience suivante est menée :

- positionnement de l'ensemble dans les conditions prévues lors de l'étude météorologique (programme fonctionnel, microcontrôleur autonome, un capteur de température au fond de la boîte, l'autre au-dessus de la boîte) ;
- enregistrement des températures des capteurs intérieur et extérieur toutes les 30 secondes pendant 19 mesures dans un endroit sans mouvement d'air et à l'ombre : lors des mesures 1 à 9, aucun vent n'est généré, et lors des mesures 10 à 19 on soumet le capteur « température extérieure » au vent généré par un ventilateur ;
- récupération des données enregistrées ;
- affichage dans un graphe nuage de points.

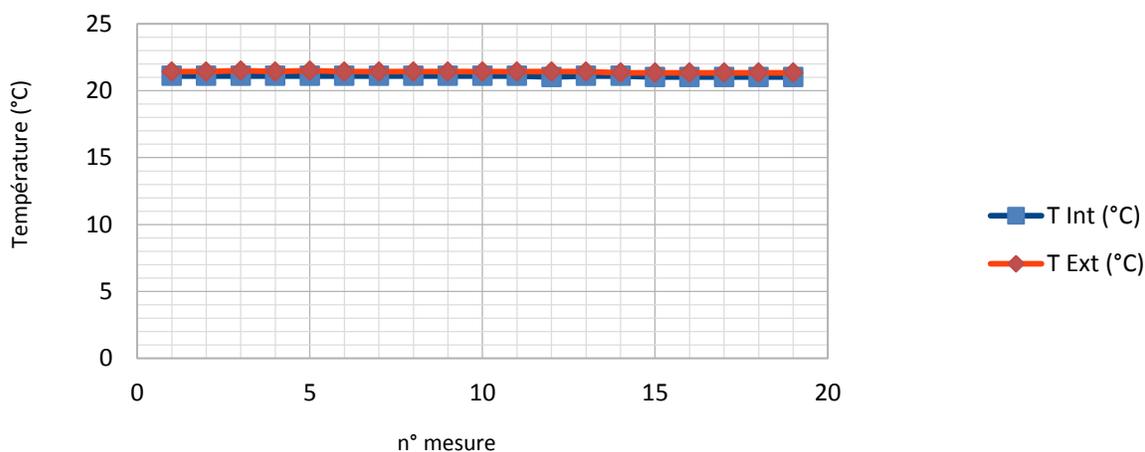
Les résultats des mesures sont les suivants :

N° mesure	$T_{\text{int}}$ (°C)	$T_{\text{ext}}$ (°C)	N° mesure	$T_{\text{int}}$ (°C)	$T_{\text{ext}}$ (°C)
1	21,10	21,42	11	21,10	21,42
2	21,10	21,42	12	21,02	21,42
3	21,10	21,50	13	21,10	21,42
4	21,10	21,42	14	21,10	21,34
5	21,10	21,50	15	21,02	21,34
6	21,10	21,42	16	21,02	21,34
7	21,10	21,42	17	21,02	21,34
8	21,10	21,42	18	21,02	21,34
9	21,10	21,42	19	21,02	21,34
10	21,10	21,42			

Mesures de température (graphe 1)



Mesures de température (graphe 2)



### Observations et interprétation

Il existe une différence entre les températures relevées par les capteurs. Cette différence vient du fait qu'on utilise deux capteurs similaires qui ont chacun une réponse légèrement différente : on peut amener les élèves à réfléchir sur la sensibilité et la précision des capteurs, les incertitudes, etc.

Cette différence bien visible sur le graphe 1 (à cause de l'échelle automatique du graphe selon l'axe des ordonnées) est imperceptible sur le graphe 2 (sur une échelle allant de 0 à 25 °C en ordonnée). On peut donc faire réfléchir les élèves sur la représentation et le traitement des données.

On observe surtout, en lien avec la problématique travaillée qu'aucune différence notable n'est mesurée sur le capteur « extérieur » qu'il soit soumis au vent ou non : en première approche, le vent ne semble pas avoir d'impact sur la mesure de la température.

## Utilisation de l'instrument dans les conditions réelles de météorologie

L'expérience est reproduite cette fois-ci en conditions réelles. L'ensemble du dispositif est positionné en extérieur, à l'ombre et à l'abri de la pluie. Deux cents mesures sont prises toutes les 5 minutes, soit pendant un peu moins de 17 heures.

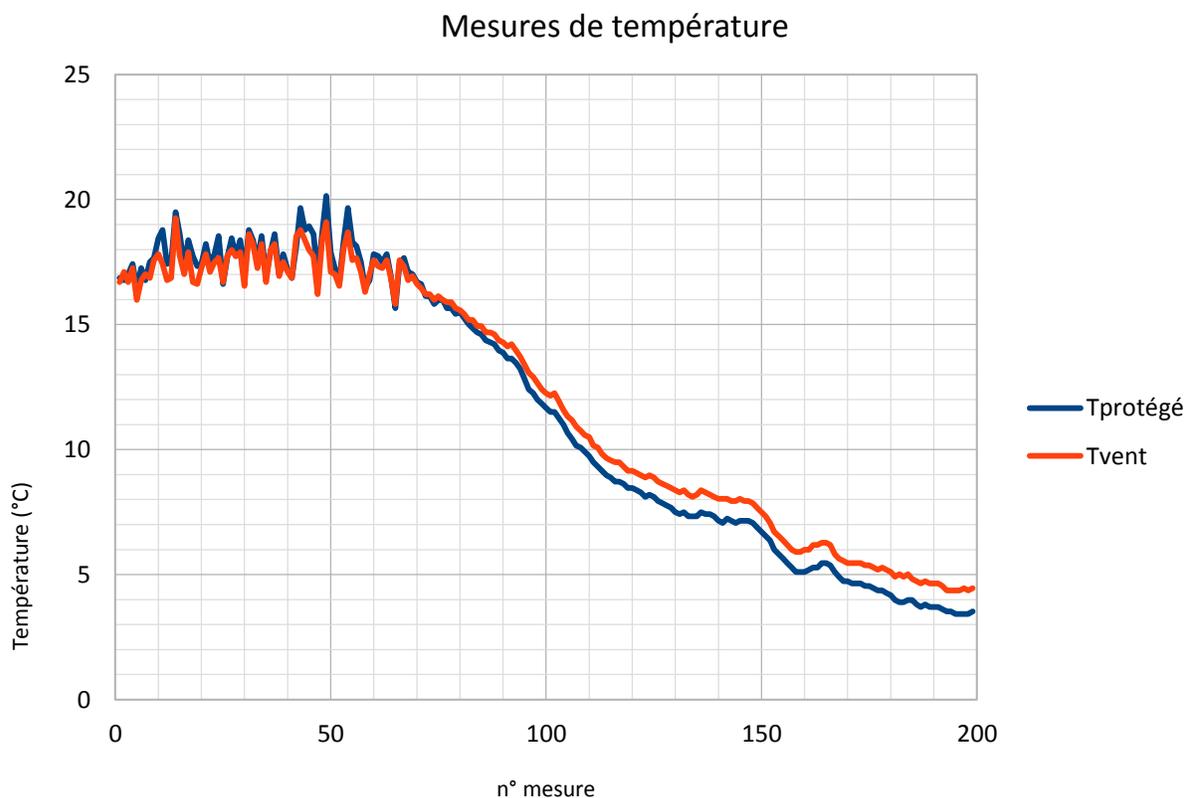
L'expérience a été réalisée sans anémomètre : il y a donc eu la mesure simultanée d'un capteur de température à l'abri du vent à proximité d'un capteur identique et exposé au vent, mais pas de mesure de la vitesse du vent, la mise en œuvre d'un anémomètre ayant encore compliqué la réalisation de ce projet. Toutefois les mesures ont été réalisées un jour venteux, et même si les élèves n'ont pas enregistré précisément la valeur de la vitesse du vent, il a été observé de nombreuses variations du vent toute la journée durant laquelle les mesures ont été réalisées.

Les mesures réalisées sont donc incomplètes, ce qui a fait partie de l'analyse du travail, analyse réalisée par les élèves. Ils ont cependant relevé que le vent avait significativement varié durant les mesures.

Dans le cadre de la réalisation de la démarche de projet, rien n'empêche les professeurs de faire travailler un autre trinôme sur la mesure de la vitesse du vent, et de faire confronter ensuite les mesures des deux groupes d'élèves. On peut également envisager de confronter les mesures des élèves avec celles issues de la station Météo-France la plus proche du lieu d'expérimentation, durant la période de mesure considérée.

## Représentation et analyse des données obtenues

Les résultats des mesures dans les conditions réelles sont les suivants (fichiers en annexes) :



## Observations et interprétation

On observe une bonne corrélation entre les deux courbes, car il y a bien des variations de température au cours des 200 mesures, et les mesures fournies par les deux capteurs évoluent toujours dans le même sens.

Si le vent avait eu une influence importante sur la mesure de température, comme sa vitesse a fortement et aléatoirement varié au cours des mesures, on aurait dû observer par moment des écarts inattendus, ce qui n'est pas le cas.

Les écarts entre les mesures fournies par les deux capteurs ne semblent pas dus au vent mais aux disparités entre ceux-ci, qui ont manifesté chacun une réponse légèrement différente (voir [annexe 8](#))

Contrairement au ressenti que l'on peut avoir selon qu'on est à l'abri ou non du vent, le vent ne semble pas avoir d'impact sur la mesure de la température en météorologie.

En complément, il est possible de consulter la vidéo « La température ressentie, une arnaque ? » de David Louapre.

## Analyse et évaluation du projet

### Productions écrites et réalisations

Les élèves ont l'obligation de remplir un carnet de bord, individuel, afin de décrire les travaux réalisés. Dans le cadre de cette expérimentation, le carnet de bord a été réalisé informatiquement, sous Moodle. Les élèves devaient y rentrer chaque semaine le détail de ce qu'ils avaient fait au cours de la séance et de ce qu'ils envisageaient de faire dans l'intervalle avant la séance suivante. Par ailleurs, ils pouvaient adjoindre à leur carnet de bord les résultats des travaux : mesures, photographie des réalisations effectuées, etc.

L'[annexe 9](#) contient quelques extraits de carnets de bords écrits par des élèves travaillant sur des problématiques différentes.

L'ensemble du travail réalisé est évalué par les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique :

- s'approprier : rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée ;
- analyser/raisonner : formuler des hypothèses, proposer une stratégie de résolution, planifier des tâches, élaborer un protocole ;
- réaliser : mettre en œuvre les étapes de la démarche, mettre en œuvre le protocole expérimental en respectant les règles de sécurité, effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, mesures, etc.) ;
- valider : faire preuve d'esprit critique, identifier des sources d'erreur, confronter les résultats expérimentaux à un modèle, proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle ;
- communiquer : présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; échanger entre pairs.

Une sixième compétence est évaluée : l'autonomie, importante dans le cas de la réalisation d'un projet.

On évalue le travail et la méthodologie du projet à l'aide des capacités associées aux compétences travaillées (en [annexe 10](#)). La liste de ces capacités est donnée à l'avance pour information aux élèves.

## Productions orales

Dans le cadre de la préparation au « Grand Oral », les élèves présentent les résultats de leurs travaux lors d'une soutenance orale, la semaine suivant la fin du projet.

La présentation orale se fait en trinôme, sur une durée de 10 minutes, avec un support limité à 2 diapositives.

L'oral se compose de deux parties : 5 minutes de présentation du projet et des résultats par le trinôme, et 5 minutes de questions et d'échanges avec le jury.

L'ensemble est évalué grâce à la grille d'évaluation du document [Proposition d'une grille d'évaluation formative d'une prestation orale d'un élève par les pairs](#).

## Annexes

### Annexe 1 : exemple de formation de trinômes

Équipe des carrés

Dylan
Flavien
Louane
Clarisse
Nehemie
Mael
Kelly
Kathlyne
Maxence
Wahid
Amel
Pierre
Lilou
Rachel
Mihyar
Marc
Angel

Équipe des triangles

Chris
Cédrine
Thomas
Maxine
Bilal
Floriane
Benjamin
Orlane
Joan
Mattéo
Nassim
Doriane
Baptiste
Timéo
Céline
Lucas
Omer
Célien

Équipe des carrés

Abakar
Maëva
Louna
Clément
Harry
Maurine
Melek
Manon
Chloé
Lucie
Ysalys
Emeline
Mathis
Alexia
Aïcha
Clémentine

## Annexe 2 : exemple de fiches « objectifs » de séance

### Fiche objectif – Séance n°1

#### Au cours de la séance, je dois :

- suivre la présentation du projet ;
- échanger avec mes camarades pour former un trinôme ;
- étudier la liste de problématiques.

#### À l'issue de la séance, je dois :

- avoir formé un trinôme de travail ;
- avoir effectué un choix de trois problématiques, classées par ordre de préférence, parmi toutes celles proposées.

#### D'ici la prochaine séance, je dois :

- remplir mon carnet de bord en y indiquant précisément ce que j'ai fait au cours de cette séance.

### Fiche objectif – Séance n°2

#### Au cours de la séance, je dois :

- m'approprier la problématique ;
- effectuer des recherches documentaires sur cette problématique ;
- réfléchir à la possibilité de réalisation de mesures à l'aide de matériel, afin de m'aider à répondre à la problématique ;
- poser des questions au professeur afin de m'éclairer sur ce qu'il m'est possible de faire à l'aide du matériel disponible ;
- mettre en place un outil de communication avec mes équipiers (SMS, mails, groupe de travail sur l'ENT, ou un réseau social...).

#### À l'issue de la séance, je dois :

- avoir décidé quelles mesures je ferai au cours du projet afin de répondre à la problématique ;
- noter mes recherches documentaires sous forme de fichier texte, liste de liens...

#### D'ici la prochaine séance, je dois :

- poursuivre mes travaux de recherche, mes réflexions ;
- remplir mon carnet de bord en y indiquant précisément ce que j'ai fait au cours de cette séance.

## Annexe 3 : quelques exemples de problématiques proposées

Problématique	Utilisation d'un capteur	Acquisition numérique de données	Traitement de données
Comment mesurer une température dans le but de l'étudier en météorologie ?	++	++	+
Comment mesurer une pression dans le but de l'étudier en météorologie ?	++	++	+
Comment mesurer une hygrométrie dans le but de l'étudier en météorologie ?	++	++	+
Comment mesurer le vent dans le but de l'étudier en météorologie ?	++	++	+
Comment représenter des données dans le but de les étudier en météorologie ?	-	-	++
Comment choisir un type de représentation (histogramme, histogramme cumulé, nuage de points...) pour des données météorologiques ?	-	-	++
Comment représenter les données liées au vent (vitesse/direction/vent moyen/rafales) sur une carte ?	+	+	++
Comment exploiter des données en météorologie ? (mise en relation avec d'autres données, modélisation...)	-	+	++
Comment servir les prévisions météorologiques à l'aide de données mesurées ?	-	+	++
Comment gérer la variabilité d'une mesure en météorologie ?	+	+	++
L'étude de la pression atmosphérique relevée peut-elle permettre de prédire la météo des prochaines heures ?	+	+	++
Comment combiner des mesures pour permettre de calculer un indice de ressenti de température ?	++	++	++
Le vent a-t-il un impact sur la mesure de la température en météorologie ?	++	++	++
Comment modéliser l'effet de serre au laboratoire ?	++	++	++
Comment réaliser un capteur permettant de mesurer la direction du vent ?	+++	++	+

## Annexe 4 : données SYNOP

Le code SYNOP, ou synoptique, est un codage de données adopté par l'Organisation météorologique mondiale et employé pour diffuser les observations d'une station météorologique terrestre à intervalles réguliers de 3 heures (débutant à 0 h UTC) dites synoptiques. Le code est formé par groupes de cinq chiffres et transmis internationalement. Environ trente-mille stations météorologiques échangent des données par ce format.

Le descriptif des paramètres SYNOP est disponible à l'adresse suivante :

[https://donneespubliques.meteofrance.fr/client/document/doc\\_parametres\\_synop\\_168.pdf](https://donneespubliques.meteofrance.fr/client/document/doc_parametres_synop_168.pdf)

La liste des stations essentielles est disponible à l'adresse suivante :

[https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees\\_libres/Txt/Synop/postesSynop.csv](https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/Txt/Synop/postesSynop.csv)

Le téléchargement de données SYNOP est possible dans la catégorie Données libres d'accès/Données SYNOP Essentielles OMM du site Données Publiques Météo France :

[https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id\\_produit=90&id\\_rubrique=32](https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=90&id_rubrique=32)

Exemple : extrait de quelques données SYNOP (parmi les 59 disponibles) pour la station de Reims-Prunay en date du 10 janvier 2020 :

(Station 07072 ; REIMS-PRUNAY ; Latitude 49.209667°N ; Longitude 4.155333°E ; Altitude 95 m)

Date (format MMDDHH)	Pression au niveau de la mer (en Pa)	Variation de pression en 3h (en Pa)	Direction du vent moyen 10 min (en °)	Vitesse du vent moyen 10 min (en m/s)	Température (en K)	Humidité (en%)	Pression station (en Pa)
011000	101340	90	220	5.2	282.95	84	100190
011003	101330	- 10	200	6.0	282.35	87	100180
011006	101470	140	200	4.4	282.05	92	100320
011009	101890	410	310	5.5	282.35	90	100730
011012	102360	460	310	5.8	281.25	81	101190
011015	102680	320	310	3.8	280.65	86	101510
011018	103020	330	300	2.0	279.75	87	101840
011021	103180	150	220	0.7	277.45	87	101990

## Annexe 5 : code-source « squelette » permettant d'enregistrer des données sur carte SD

```

1 // Inclusion des bibliothèques qui
2 // contiennent les instructions spécifiques
3 // au matériel que nous allons utiliser
4
5 #include <SPI.h>           //Inclut les fonctions permettant de communiquer avec du matériel SPI
6 #include <SD.h>           //Inclut les fonctions permettant de lire et écrire sur les cartes SD
7 #include "rgb_lcd.h"      //Inclut les fonctions permettant de piloter l'écran LCD
8
9 rgb_lcd lcd;              // Affecte le nom "lcd" à l'écran LCD
10 File MonFichier;         // Affecte le nom "MonFichier" au fichier qui sera écrit sur la carte SD
11 int BrocheBouton = 2;    // L'interrupteur sera branché sur l'entrée D2
12
13 void setup() {           // Début du programme : initialisation des paramètres
14     lcd.begin(16,2);     // Initialise l'afficheur LCD (16 caractères sur 2 lignes)
15     pinMode(BrocheBouton, INPUT); // Définit la prise brocheBouton comme une entrée
16     lcd.setRGB(0,0,255); // Allume l'afficheur LCD en bleu
17     lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
18     lcd.print("Init. SD..."); // Écrit sur l'écran un message indiquant l'initialisation de la carte SD
19     delay(1000);         // Attend 1 s
20     if (!SD.begin(4)) { // S'il y a un problème d'initialisation de la carte, alors
21         lcd.clear();     // Efface l'écran LCD
22         lcd.setRGB(255,0,0); // Allume l'afficheur LCD en rouge
23         lcd.print("Erreur d'initialisation !"); // Affiche un message d'erreur sur l'écran LCD
24         return;         // Sortie de la boucle
25     }
26     lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
27     lcd.print("Init. SD Ok"); // Affiche sur l'écran un message indiquant que l'initialisation s'est bien déroulée
28     delay(1000);         // Attend 1 s
29 }
30
31 void loop() {            // Boucle principale
32     lcd.setRGB(0,255,0); // Allume l'afficheur LCD en vert
33     lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
34     lcd.print("Prêt à démarrer"); // Écrit "Prêt à démarrer" sur l'afficheur LCD
35     lcd.setCursor(0,1); // Place le curseur sur la première position (0) de la deuxième ligne (1) de l'afficheur LCD
36     lcd.print("App. pr démarrer"); // Affiche le message d'attente d'appui sur l'interrupteur
37
38     while(digitalRead(BrocheBouton)==LOW); // Boucle ici, tant qu'il n'y a aucun appui sur le bouton
39
40     lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
41     lcd.setRGB(255,0,0); // Allume l'afficheur LCD en rouge
42     lcd.print("Mesure en cours n°"); // Affiche le message "Mesure en cours n°" sur l'écran LCD
43     MonFichier = SD.open("mesure.txt", FILE_WRITE); // Ouvre le fichier sur la carte SD en écriture, le fichier sera nommé "mesure.txt"
44     if (MonFichier) {   // Si le fichier est correctement ouvert en écriture, alors
45         for(int i = 1;i< 200 ;i++) // Boucle lançant un nombre fini (par exemple ici 200) de mesures
46             {
47                 // Insérer ici une instruction permettant de réaliser une mesure
48                 lcd.setCursor(0,1); // Place le curseur sur la première position (0) de la deuxième ligne (1) de l'afficheur LCD
49                 lcd.print(i);       // Écrit le numéro de la mesure sur l'écran LCD
50                 MonFichier.print(i); // Écrit le numéro de la mesure dans le fichier sur la carte SD
51                 MonFichier.print(","); // Met un point-virgule séparateur dans le fichier sur la carte SD
52                 MonFichier.println(' '); // Remplacer les ' ' par la valeur de la mesure réalisée en ligne 47
53                 delay(300000);      // Délai (300000 ms = 5 min) avant la mesure suivante
54             }
55         MonFichier.close(); // Ferme le fichier sur la carte SD
56         lcd.setRGB(0,0,255); // Allume l'afficheur LCD en bleu
57         lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
58         lcd.print("Mesures finies"); // Affiche le message indiquant la fin des mesures sur l'afficheur LCD
59         exit(0);            // Fin de la boucle principale : arrêt du programme
60     }
61     else {                 // sinon (si le fichier n'a pas été ouvert correctement en écriture)
62         lcd.setRGB(255,0,0); // Allume l'afficheur LCD en rouge
63         lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
64         lcd.print("Erreur fichier"); // Affiche un message indiquant une erreur d'ouverture du fichier
65     }
66 }

```

## Annexe 6 : instructions nécessaires à la mesure de température

La mesure de température se fait en branchant le capteur de température sur une des entrées A0, A1, A2 ou A3.

Pour que la mesure de température soit réalisée, vous devez inclure dans votre code source les instructions suivantes :

- en tout début de programme :

```
#include <math.h>
```

- dans le corps du programme, pour réaliser la mesure :

```
float temperature=1.0/(log(1023.0/analogRead(A0)-1.0)/4275+1/298.15)-273.15 ;
```

La variable « `temperature` » contiendra la valeur de la température mesurée en °C.

**Note :** Cette instruction est valable si le capteur est branché sur la prise A0. Si vous le branchez, par exemple, sur la prise A1 il faut remplacer le code par le suivant :

```
float temperature=1.0/(log(1023.0/analogRead(A1)-1.0)/4275+1/298.15)-273.15 ;
```

## Annexe 7 : code source complet permettant la mesure et l'enregistrement de données de températures

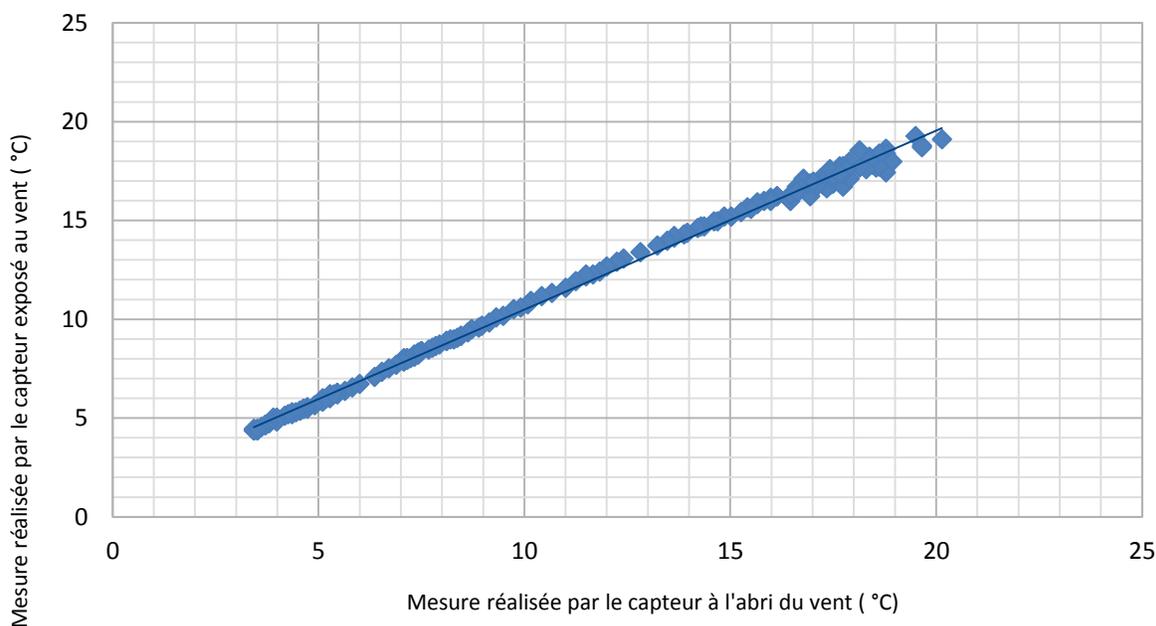
```

1 // Inclusion des bibliothèques qui
2 // contiennent les instructions spécifiques
3 // au matériel que nous allons utiliser
4
5 #include <SPI.h>           //Inclut les fonctions permettant de communiquer avec du matériel SPI
6 #include <SD.h>           //Inclut les fonctions permettant de lire et écrire sur les cartes SD
7 #include "rgb_lcd.h"      //Inclut les fonctions permettant de piloter l'écran LCD
8 #include <math.h>         //Inclut les fonctions mathématiques
9
10 rgb_lcd lcd;             // Affecte le nom "lcd" à l'écran LCD
11 File MonFichier;        // Affecte le nom "MonFichier" au fichier qui sera écrit sur la carte SD
12 int BrocheBouton = 2;    // L'interrupteur sera branché sur l'entrée D2
13 int TempInt = A0;        // Le capteur de température intérieur sera branché sur l'entrée A0
14 int TempExt = A1;        // Le capteur de température extérieur sera branché sur l'entrée A1
15
16 void setup() {           // Début du programme : initialisation des paramètres
17   lcd.begin(16,2);       // Initialise l'afficheur LCD (16 caractères sur 2 lignes)
18   pinMode(BrocheBouton, INPUT); // Définit la prise brocheBouton comme une entrée
19   lcd.setRGB(0,0,255);   // Allume l'afficheur LCD en bleu
20   lcd.clear();           // Efface l'écran LCD
21   lcd.print("Init. SD..."); // Écrit sur l'écran un message indiquant l'initialisation de la carte SD
22   delay(1000);           // Attend 1 s
23   if (!SD.begin(4)) {    // S'il y a un problème d'initialisation de la carte, alors
24     lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
25     lcd.setRGB(255,0,0); // Allume l'afficheur LCD en rouge
26     lcd.print("Erreur d'initialisation !"); // Affiche un message d'erreur sur l'écran LCD
27     return;              // Sortie de la boucle
28   }
29   lcd.clear();           // Efface l'écran LCD
30   lcd.print("Init. SD Ok"); // Affiche sur l'écran un message indiquant que l'initialisation s'est bien déroulée
31   delay(1000);           // Attend 1 s
32 }
33
34 void loop() {            // Boucle principale
35   lcd.setRGB(0,255,0);   // Allume l'afficheur LCD en vert
36   lcd.clear();           // Efface l'écran LCD
37   lcd.print("Prêt a demarrer"); // Écrit "Prêt a demarrer" sur l'afficheur LCD
38   lcd.setCursor(0,1);    // Place le curseur sur la première position (0) de la deuxième ligne (1) de l'afficheur LCD
39   lcd.print("App. pr demarrer"); // Affiche le message d'attente d'appui sur l'interrupteur
40
41   while(digitalRead(BrocheBouton)==LOW); // Boucle ici, tant qu'il n'y a aucun appui sur le bouton
42
43   lcd.clear();           // Efface l'écran LCD
44   lcd.setRGB(255,0,0);   // Allume l'afficheur LCD en rouge
45   lcd.print("Mesure en cours n°"); // Affiche le message "Mesure en cours n°" sur l'écran LCD
46   MonFichier = SD.open("mesure.txt", FILE_WRITE); // Ouvre le fichier sur la carte SD en écriture, le fichier sera nommé "mesure.txt"
47   if (MonFichier) {      // Si le fichier est correctement ouvert en écriture, alors
48     for(int i = 1;i< 200 ;i++) // Boucle lançant un nombre fini (ici 200) de mesures
49     {
50       float TempInterne = 1.0/(log(1023.0/analogRead(TempInt)-1.0)/4275 +1/298.15)-273.15; // Calcule la température mesurée par le capteur interne
51       float TempExterne = 1.0/(log(1023.0/analogRead(TempExt)-1.0)/4275 +1/298.15)-273.15; // Calcule la température mesurée par le capteur externe
52       lcd.setCursor(0,1); // Place le curseur sur la première position (0) de la deuxième ligne (1) de l'afficheur LCD
53       lcd.print(i);       // Écrit le numéro de la mesure sur l'écran LCD
54       MonFichier.print(i); // Écrit le numéro de la mesure dans le fichier sur la carte SD
55       MonFichier.print(";"); // Met un point-virgule séparateur dans le fichier sur la carte SD
56       MonFichier.print(TempInterne); // Écrit la valeur de la température interne dans le fichier sur la carte SD
57       MonFichier.print(";"); // Met un point-virgule séparateur dans le fichier sur la carte SD
58       MonFichier.println(TempExterne); // Écrit la valeur de la température externe dans le fichier sur la carte SD
59       delay(300000);      // Délai (300000 ms = 5 min) avant la mesure suivante
60     }
61     MonFichier.close();   // Ferme le fichier sur la carte SD
62     lcd.setRGB(0,0,255); // Allume l'afficheur LCD en bleu
63     lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
64     lcd.print("Mesures finies"); // Affiche le message indiquant la fin des mesures sur l'afficheur LCD
65     exit(0);             // Fin de la boucle principale : arrêt du programme
66   }
67   else {                 // sinon (si le fichier n'a pas été ouvert correctement en écriture)
68     lcd.setRGB(255,0,0); // Allume l'afficheur LCD en rouge
69     lcd.clear();         // Efface l'écran LCD
70     lcd.print("Erreur fichier"); // Affiche un message indiquant une erreur d'ouverture du fichier
71   }
72 }

```

## Annexe 8 : complément sur les mesures réalisées

En portant les mesures réalisées par le capteur de température exposé au vent en fonction de celles réalisées par le capteur de température à l'abri du vent, on obtient le graphe suivant (fichier en annexe) :



La courbe de tendance :  $M_{\text{exposé}} = 0,906 \times M_{\text{protégé}} + 1,43$  permet de mesurer un décalage de 1,43 °C par rapport à un capteur qui serait linéaire et un rapport de pente de 0,906. De plus, le coefficient de détermination  $R^2 = 0,997$  est très proche de 1.

Cette courbe pourrait permettre, par exemple en modifiant le code du microcontrôleur, de faire coïncider les mesures des capteurs, chacun ayant manifesté une réponse légèrement différente due à sa sensibilité, précision, étalonnage...

Tout écart à la droite peut être considéré comme étant lié au vent. Il semble que le vent n'agisse qu'au plus de un degré dans les écarts observés et principalement entre 15 °C et 20 °C, écarts pouvant difficilement être pris en compte sachant que le constructeur du capteur indique une précision de  $\pm 1,5$  °C :

*The Temperature Sensor uses a Thermistor to detect the ambient temperature. The resistance of a thermistor will increase when the ambient temperature decreases. It's this characteristic that we use to calculate the ambient temperature.*

*The detectable range of this sensor is -40 - 125°C,*

*The accuracy is  $\pm 1.5$  °C.*

## Annexe 9 : extraits de carnets de bords d'élèves

Carnet n°1. Problématique étudiée : comment réaliser un capteur permettant de mesurer la direction du vent ?

Séance	Extrait du carnet de bord de l'élève
1	Pour la prochaine séance, on va essayer de créer un anémomètre à l'aide d'une balle de ping-pong, d'un sèche-cheveux, de ruban adhésif et de fil (expérience décrite plus en détails dans le fichier joint).
2	Pour mesurer la direction d'un vent, on peut utiliser une girouette électronique ou virtuelle (que l'on va devoir créer, l'idée étant de créer un capteur de rotation). On va utiliser un potentiomètre rotatif (capteur rotatif/d'angles) sur lequel on va installer cette girouette. Le vent va faire tourner la girouette, ce qui entraîne une rotation de mon potentiomètre. Il va y avoir une modification d'un paramètre électrique que je peux lire sur la carte et ainsi trouver le lien entre la position du capteur et le signal qu'il m'envoie. Le microcontrôleur nous permettra de traiter des signaux électriques, issus de capteurs, ici un potentiomètre.
3	<p>Lors de cette troisième séance, nous avons mis en œuvre l'expérience prévue qui était de faire les mesures d'angles, ce qui constitue la partie expérimentale de notre projet, notre montage. Finalement, nous n'aurons pas besoin de girouette, nous ferons nos mesures manuellement en tournant le potentiomètre, ce qui changera l'angle directement.</p> <p>Nous avons fait lors de cette séance des mesures d'angles précises de plusieurs angles, pour mettre les valeurs obtenues correspondantes dans un graphique (courbe d'étalonnage), afin de voir une correspondance entre l'angle et la valeur numérique reçue sur le microcontrôleur. Puis, nous avons fait de la programmation : nous avons fait une courbe d'étalonnage avec nos mesures, qui va nous servir à voir les différences de valeurs affichées par le microcontrôleur en fonction de la mesure d'angle.</p>
4	<p>Lors de la séance, nous avons continué les mesures et expériences, et commencé à chercher des informations pour notre exposé.</p> <p>Nous nous sommes demandé comment nous pouvions en déduire l'angle, qui correspondrait à la direction d'un vent, donné par l'information de notre potentiomètre. En d'autres termes, comment on pouvait associer un angle à cette valeur numérique lue sur la carte.</p> <p>Nous nous sommes également penchées sur l'intérêt d'utiliser le microcontrôleur dans ce projet : si je programme ma carte pour interroger le potentiomètre toutes les minutes ou toutes les heures, je pourrais connaître la direction du vent avec un pas de temps d'une minute ou d'une heure, selon ce que j'ai choisi. Cela permet d'avoir un système complètement automatisé. L'intérêt du microcontrôleur était donc de pouvoir programmer à l'avance les valeurs qu'il va relever. On l'alimente avec une simple pile et on peut partir pour un certain temps, il continuera à faire des mesures qu'il nous suffira de collecter.</p>
5	Nous avons travaillé sur la préparation de l'exposé de nos travaux.

## Carnet n°2. Problématique étudiée : peut-on prévoir la météo à partir d'une mesure de pression ?

Séance	Extrait du carnet de bord de l'élève
2	<p>Nous avons décelé que dans cette problématique, il y avait deux mots clés : le temps et le baromètre. Ainsi, nous avons convenu qu'il fallait prouver qu'il y a un lien entre le baromètre et le temps.</p> <p>Nous nous sommes documentés dans le but de savoir comment interpréter les résultats du baromètre. Nous avons appris que le baromètre permet de savoir le temps lorsque l'aiguille monte ou baisse franchement et qu'il permet de planifier le temps que sur quelques heures.</p>
3	<p>Lors de cette séance nous avons programmé un microcontrôleur avec un module baromètre, afin de réaliser différentes mesures. Nous avons décidé de le programmer pour qu'il mesure la pression à plusieurs moments au cours de la journée.</p>
4	<p>Nous avons réalisé des mesures de pression et comparé au temps qu'il faisait après coup. Mais les mesures que nous avons faites étaient lors d'une journée où le temps a été le même. Il faudrait réaliser les mesures sur plusieurs jours et noter en même temps quel temps il fait pour pouvoir comparer les mesures et dire si elle permettait de prévoir quel temps il ferait.</p>

## Carnet n°3. Problématique étudiée : le vent a-t-il une influence sur la mesure de la température ?

Séance	Extrait du carnet de bord de l'élève
2	<p>Jeudi dernier nous avons, avec mon groupe, trouvé une problématique pour notre projet, nous avons aussi mis en place un moyen de communication sur un traitement de texte partagé ainsi qu'une liste de tâches sur un tableur partagé pour que l'on puisse écrire ensemble sur la même page sans devoir se l'envoyer tout le temps.</p> <p>Avec notre expérience nous essaierons de voir si le vent a un impact sur la température mesurée. Pour jeudi prochain nous devons faire des recherches sur le sujet et commencer à réfléchir au protocole pour répondre à notre question.</p>
3	<p>Nous avons fait un programme sur le microcontrôleur et effectué les mesures avec et sans vent (fait avec un ventilateur) nous avons pris 10 mesures espacées de 30 secondes chacune et nous les avons rentrées dans un tableau sur Libreoffice. Pour jeudi prochain je devrais faire un graphique pour comparer les mesures.</p>

## Carnet n°4. Problématique étudiée : y-a-t-il un lien entre la température et l'humidité mesurées ?

Séance	Extrait du carnet de bord de l'élève
2	<p>Nous avons donc testé (phase de prise en main) les appareils en enregistrant des mesures : (exemple : nous avons vu que la salle était à 21 °C et 40 % de HR, et que l'on peut faire grimper l'humidité en soufflant sur le capteur). Nous avons pu effectuer cette expérience grâce à un microcontrôleur et un capteur de température et d'humidité (nous avons d'ailleurs réalisé que faire le</p>

	<p>script, le montage, la recherche du matériel adéquat nécessitait un effort de notre part car c'était la première fois que nous faisons ça).</p> <p>Nous sommes donc dans la phase de planification et de conception du projet.</p>
3	<p>Pour avoir de vrais résultats en conditions réelles sur lesquelles s'appuyer, nous avons pris des mesures en dehors de la salle, à température extérieure grâce au microcontrôleur, et au capteur de température et d'humidité. Nous nous sommes renseignés ensuite à propos de la marge d'erreur et d'arrondissement du capteur (incertitude-type et moyenne des valeurs) pour être le plus précis possible dans nos calculs de comparaison. Nous avons quelques mesures et un nombre suffisant pour les comparer. Nous avons donc essayé de réfléchir à des interprétations en lien avec ces résultats, et à des conclusions sur le protocole et la problématique.</p> <p>Enfin, suite à cela nous avons réalisé une manipulation assez simple : faire chauffer de l'eau (dans un récipient) grâce à une plaque chauffante tout en surveillant l'évolution de la température à l'aide d'un thermomètre. Mais le problème est qu'en chauffant de l'eau on augmentait l'humidité mais la température aussi. Il faudrait mesurer sur plusieurs jours la température à l'extérieur et l'humidité et voir si elles sont en relation.</p>
4	<p>Nous avons réalisé un programme qui permet de mesurer la température et l'humidité et les enregistrer pendant plusieurs jours. Nous avons mis l'ensemble en fonctionnement sur le bord d'une fenêtre, à l'ombre, et nous récupérerons les données en début de semaine prochaine.</p>

## Annexe 10 : exemples de capacités associées aux compétences travaillées, et pouvant être évaluées dans le cadre d'une démarche de projet

### APP : S'approprier l'information

Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée (quantité et qualité des recherches)

Adopter une attitude critique vis-à-vis de l'information disponible.

### ANA/RAI : Analyser/raisonner

Exploiter des informations extraites des recherches.

Formuler des hypothèses.

Proposer une stratégie de résolution.

Planifier les tâches à accomplir.

Élaborer un protocole en identifiant les paramètres pertinents.

Définir les conditions d'utilisation des instruments de mesure, réaliser et régler les dispositifs expérimentaux.

**RÉA : Réaliser**

Mettre en œuvre les étapes de la démarche.

Mettre en œuvre le protocole expérimental en respectant les règles de sécurité et dans les conditions de précision correspondant au protocole.

Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, mesures, etc.).

Maîtriser certains gestes techniques (utiliser le matériel, les appareils de mesure, l'outil informatique)

Relever les résultats obtenus (tableau, graphique).

**VAL : Valider**

Faire preuve d'esprit critique.

Identifier des sources d'erreur.

Confronter les résultats expérimentaux à un modèle ; vérifier la cohérence des résultats obtenus avec ceux éventuellement attendus.

Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.

**COM : Communiquer**

Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente au long du projet via le carnet de bord.

Utiliser un vocabulaire adapté.

Échanger entre pairs, donner son point de vue et écouter les autres.

**AUTO : Être autonome / Faire preuve d'initiative et du sens des responsabilités**

Travailler efficacement seul ou en équipe (en étant autonome, en respectant les règles de vie de classe et de sécurité, en répartissant les tâches au sein du groupe par exemple) dans les différentes phases du projet.

Adapter le protocole aux contraintes du laboratoire (matériels...).

Chercher à s'améliorer (en corrigeant ses erreurs, en utilisant des recherches, en posant des questions...).