

Quelle température fait-il dans la cour du lycée ?

2^{de} OPTION MPI

Laure Fort
Professeur de Physique et Chimie
Lycée Rodin, Paris 14^{ème}

Cette activité s'inscrit dans le cadre d'une activité pluridisciplinaire :

« Réchauffement climatique »

pilotée en classe de 2^{nde} par les SVT.

Les **sciences physiques** peuvent s'y associer, dans le cadre de l'option MPI, autour de la mesure et du suivi des températures.

Le travail autour des moyennes pondérées et du découpage des aires peut être repris dans le cadre du cours de **mathématiques** (moyenne pondérée, lecture de graphique -voir annexe 3- diagrammes de Voronoi -voir annexe 4).

Nous présentons ici le travail fait **en sciences physiques** qui s'inscrit dans le programme (voir annexe 1) et plus précisément une séquence autour de la question :

Comment établir une carte des températures ?

Il faut pour cela découper la carte en régions et **déterminer la température d'une région** : c'est cette mesure de la température de la région qui va nous occuper ici. Un prolongement naturel sera ensuite de mesurer la température d'une région à certaines périodes de l'année et de comparer l'évolution d'une année sur l'autre.

De nombreuses informations sur la température de la Terre sont établies d'après les images satellitaires.

D'après l'IRD de Bretagne (http://www.brest.ird.fr/ressources/hist_t.htm)
« Une troisième ère de la mesure de la température de la mer s'est ouverte avec l'apparition des satellites équipés de radiomètres à infrarouge. Ces capteurs mesurent le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre (continents, océan, nuages, glaces) selon sa température.. Ces satellites à orbite polaire permettent de mesurer la température de surface sur l'intégralité de la surface océanique, mais n'apportent aucune information sur le contenu thermique des couches océaniques sous-jacentes : les thermistances ont encore de beaux jours devant elles ! »

Mais comment faisait-on avant et comment peut-on faire pour mesurer la température de la cour du lycée, ou dans un couloir ?

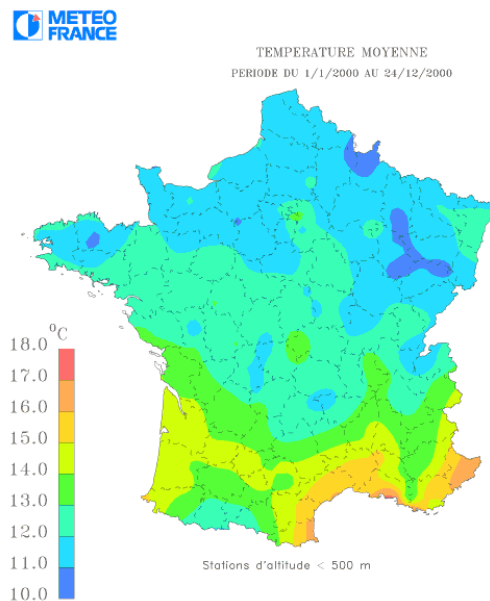
Séquence pédagogique

1° Partie

Etude et élaboration d'un capteur de température (CTN ou autre) ; chaîne de mesure, étalonnage etc.....

2° Partie

Poser le problème : comment procéder, dans une première approche simplifiée, pour établir une « carte des températures » telle celle représentée ci-dessous ?



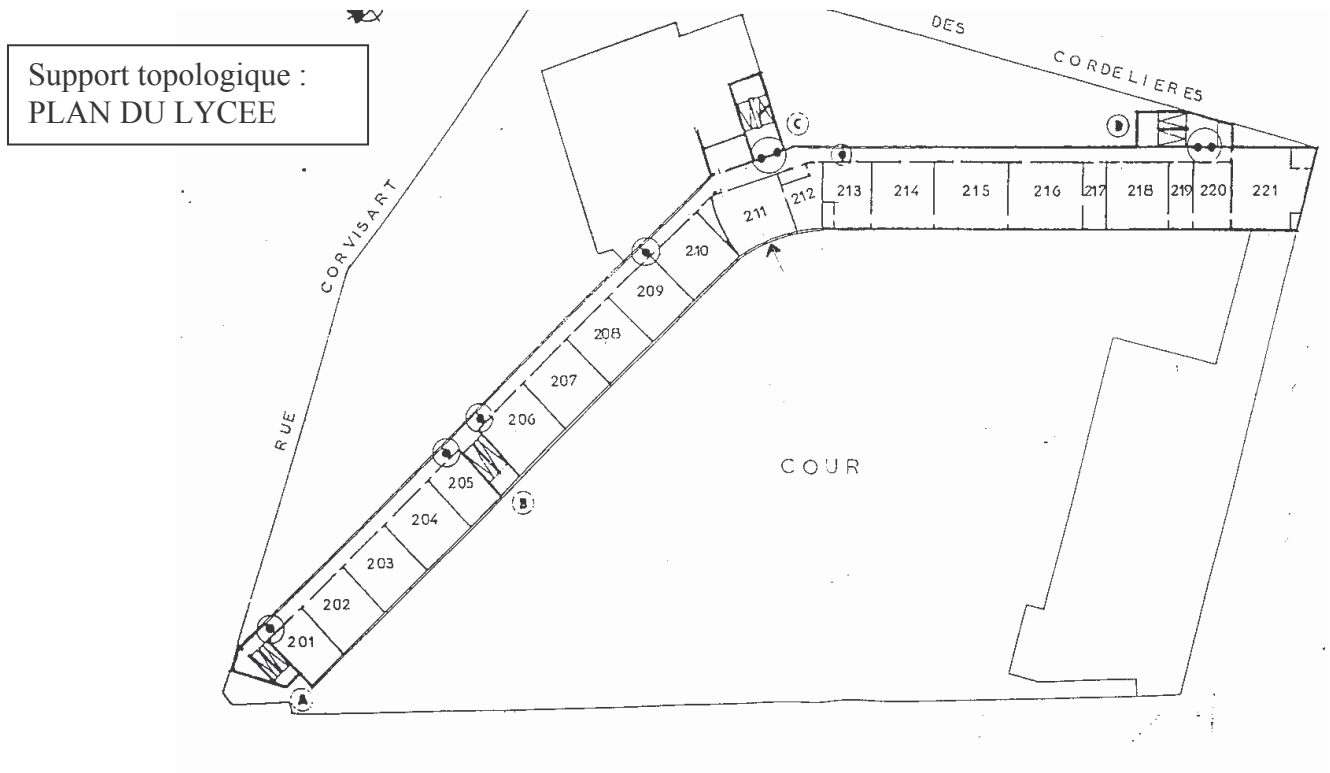
1) Analogie à notre échelle :

- **Quelle est la température à l'intérieur du lycée ?**
- **Quelle est la température extérieure (mesures dans la cour du lycée ?)**

Mise en évidence de la non-uniformité des températures (notées T)

2) **Démarche proposée** : prendre la température en plusieurs points ; même altitude
Faire émerger l'idée que la température « d'un lieu » peut être considérée comme une *moyenne* des températures relevées en ces points.

3.1) Etude de la température intérieure



On propose de prendre la « température du couloir » du 2^o étage.

- Faire des mesures permettant d'accéder à l'échelle du plan proposé
- Choisir un certain nombre de points M_i régulièrement espacés dans le couloir

Effectuer le relevé des températures en chacune des positions repérées.

Faire émerger le fait que la « température du couloir » peut alors être considérée comme la moyenne arithmétique des températures T_i relevées.

Commentaires de l'enseignant : ces mesures ont été effectuées une fois ; l'enseignant décide de ne pas faire de suivi temporel sur cet exemple car les élèves « mesurants » ont fait du bruit dans les couloirs pendant un horaire de cours et certains ont demandé d'entrer dans les salles de classeIl est préférable de « lâcher » les élèves à l'extérieur

3.2) Etude de la température extérieure

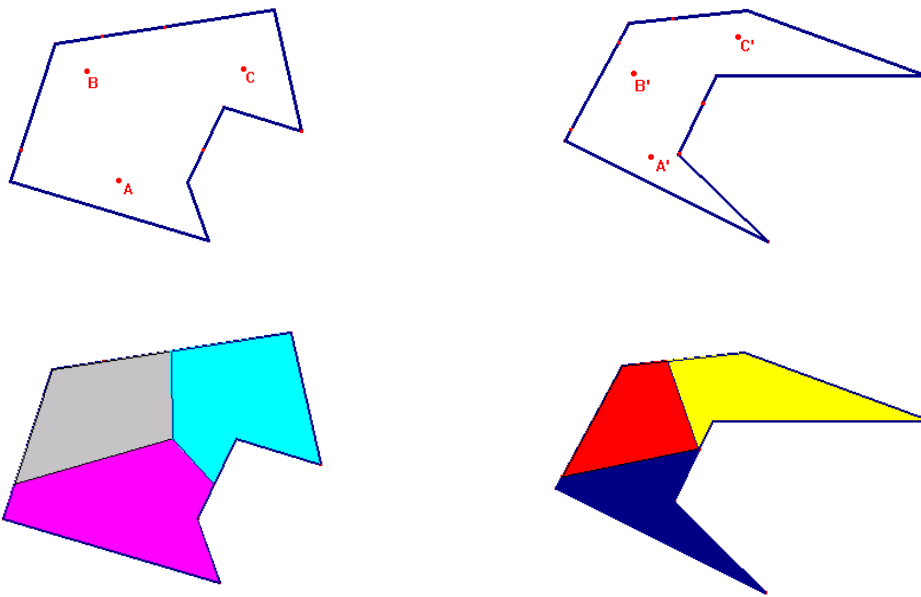
On propose de prendre la « température de la cour ».

La forme de la cour ne se découpe pas aisément en portions d'aires égales et nous allons chercher une autre méthode.

a) Préliminaires

Imaginons les cours ci-dessous dans lesquelles on a mesuré la température en trois points. On propose de faire une « moyenne pondérée » des températures relevées respectivement en chacun des trois points ; le « poids » de chaque point est l'aire de la surface dont les points sont plus proches de ce point que des autres.

Les élèves avaient d'abord proposé de faire des cercles autour des points. Mais cela conduit à des recouvrements ; la méthode proposée a supprimé ce problème de recouvrement : on a rappelé la propriété de la médiatrice d'un segment AB : elle sépare le plan en deux parties, l'une étant l'ensemble des points plus proches de A que de B . On en déduit alors les constructions des surfaces.



➤ Construction de ces surfaces :

Il suffit de construire les médiatrices des 3 segments de sommets A , B et C , puis d'en déduire 3 surfaces S_A , S_B , S_C de telle sorte que tout point de S_A (resp. S_B , S_C) soit plus proche de A (resp. B et C) que des deux autres points.

➤ Mesure des aires

Méthode purement géométrique (construire des triangles et rectangles et mesurer leurs dimensions...) ou analogique (cf exp de Francklin : découper du papier et peser)

Température de la cour le jour des mesures

On note :

T_A, T_B, T_C les mesures de température aux points A, B, C .

s l'aire de S de la cour et s_A, s_B, s_C les aires de S_A, S_B, S_C

On convient de dire que la température de la cour est :

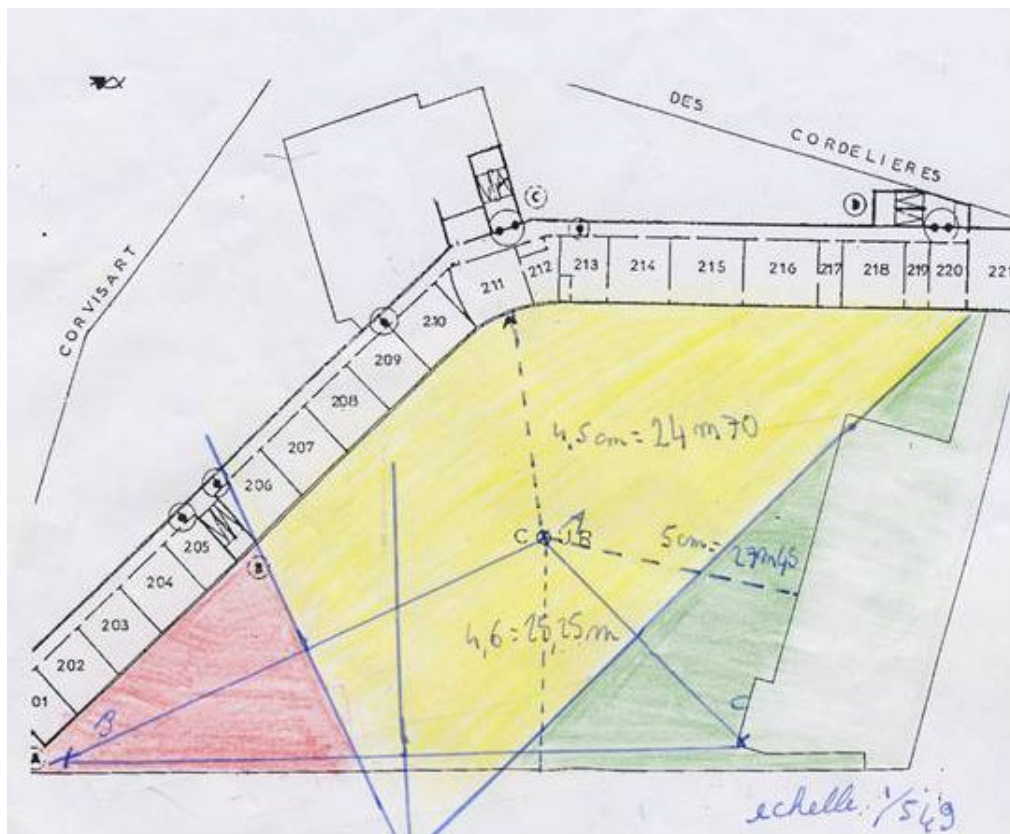
$$T = (T_A \times S_A + T_B \times S_B + T_C \times S_C) / S$$

La cour du lycée Rodin

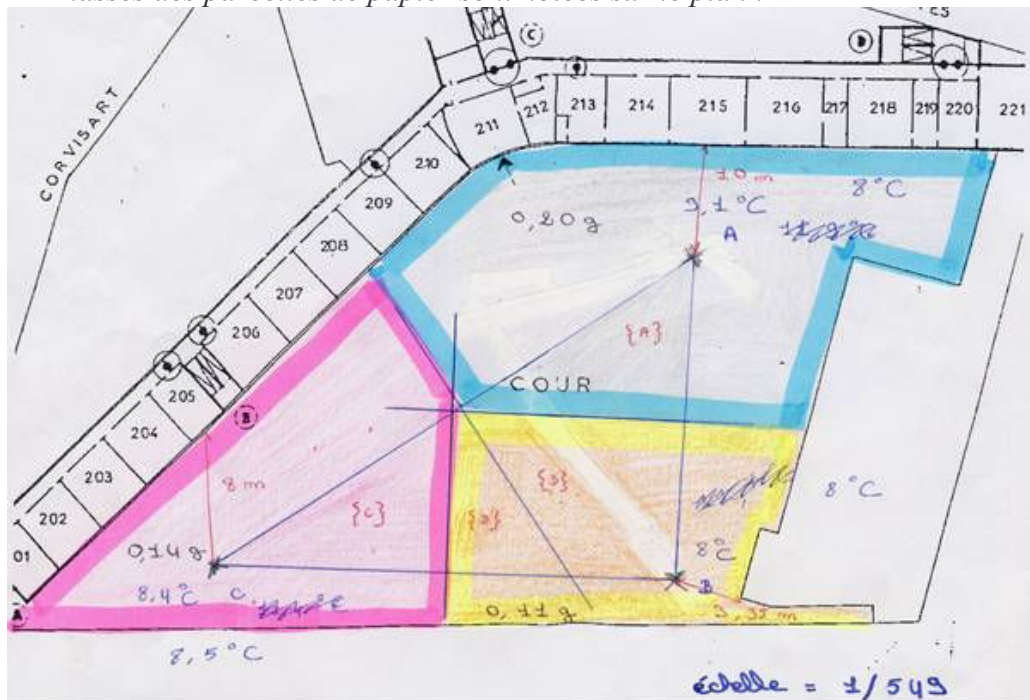


- ▶ Déterminer l'échelle du plan de la cour
- ▶ Chaque groupe choisit 3 points A, B et C dans la cour, mesure les températures quasiment au même moment et place les points de mesure sur le plan
- ▶ Chaque groupe construit ses surfaces S_A , S_B , S_C par la méthode des médiatrices, puis décalque ces surfaces, les découpent et pèsent chaque morceau à l'aide d'une balance sensible au centigramme (les masses des morceaux de papier sont proportionnelles aux aires).

Exemple de travail d'élève (Joséphine 2^{nde} 7)



Robin (2^{nde} 7) : les positions des points sont légèrement différentes ; les valeurs des masses des parcelles de papier sont notées sur le plan .



Voici quelques résultats pour la température du 9 janvier.

T (°C)	8,4	8.6	9,0	9,1	8,9	8,8	8,5
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Pour les élèves la variabilité des résultats, parfois vu comme des divergences vient des thermomètres – et des manipulateurs (ils n’attendaient pas assez, ils bougeaient la sonde tout le temps, ils ont pris certaines mesures au soleil, etc ...) ; ils n’ont pas l’idée qu’elle vient aussi du choix des points. Il aurait fallu décrire avec plus de précision un protocole « relevé de la température en un point ».

Il convient de prendre le temps de réfléchir avec les élèves à la variabilité de la mesure de la température de la cour, à une heure donnée.

- les points ne sont pas les mêmes
- les élèves ont réalisé les mesures avec différents thermomètres (supposés préalablement étalonnés)
- les reports des points sur le plan sont entachés d’incertitude
- les mesures des masses sont entachées d’incertitude

4-Suivi de l’évolution temporelle

- Au cours d’une séance (3h)
- Au cours de l’année (1 mesure par semaine à heure fixe)

Préparation d’une feuille de calcul (tableur).

Colonne A : consigner les dates t

Colonnes B,C et D : consigner les températures T_A , T_B , T_C

Colonne E : éditer une formule entre les cellules permettant le calcul automatique de la température $T(t)$ de la cour.

Exploitations

Visualiser le graphe de l’évolution temporelle de la température T .

Eventuellement aborder les températures moyennes sur des durées à préciser.

Commenter le niveau des températures intérieures au regard des économies de chauffage.

Si l’activité est mise en œuvre plusieurs années de suite, une réflexion sur l’évolution climatique est envisageable, tout en relativisant les conclusions : une mesure par semaine (hors vacances) est-elle suffisante pour observer une tendance généralisable ?

Document élève 1 : tableau des mesures de Kevin et Joséphine (voir plan plus haut)

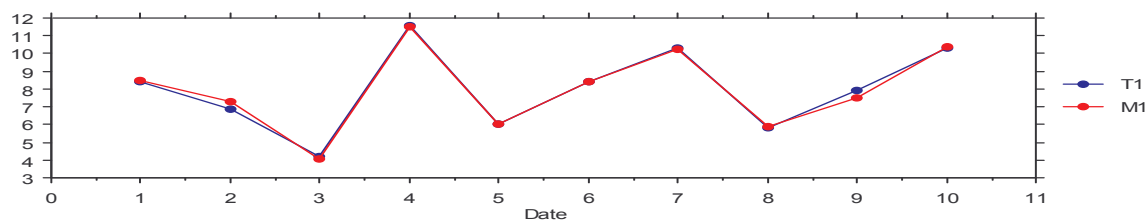
A	B	C	D	E
t date	T a	T b	T c	T
09/01/2008	8.3	8.4	8.7	8.4
23/01/2008	6.7	7.8	7.4	6.9
30/01/2008	4.3	4.2	3.7	4.2
06/02/2008	11.7	11.1	11.7	11.6
13/02/2008	6	6.4	5.6	6.0
20/02/2008	8.4	8.6	8.3	8.4
12/03/2008	10.4	10.2	10.2	10.3
19/03/2008	5.8	6.2	5.7	5.8

26/03/2008	8.1	7.3	7.1	7.9
02/04/2008	10.3	10.5	10.4	10.3

formule en E2 $(B2*0,32+C2*0,06+D2*0,05)/(0,32+0,06+0,05)$

Poids respectifs : $s_C/s = 32/43$, $s_B/s = 6/43$, $s_A/s = 5/43$

Remarque : Les différences sont légères par rapport à une moyenne arithmétique (M1) ; en effet, les mesures prises sont voisines, donc quelque soit la pondération, le résultat final ne variera pas beaucoup.



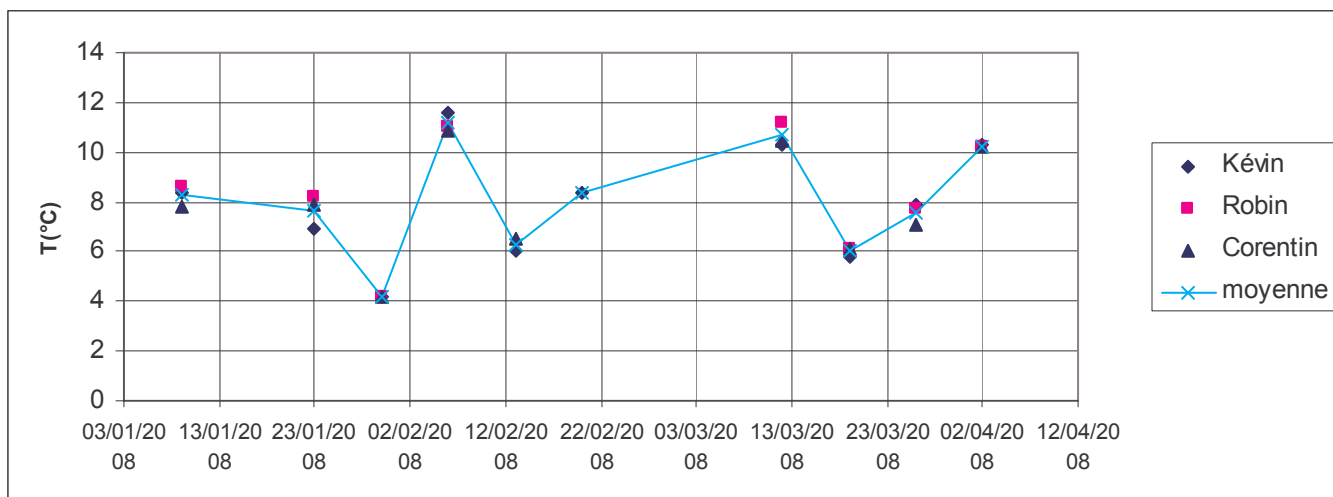
Document élève 2 : tableau des mesures de Robin et Florian.

A	B	C	D	E
T date	Ta	Tb	Tc	T
09/01/2008	9.1	8	8.4	8.6
23/01/2008	8	8	8.5	8.2
30/01/2008	4.5	3.9	4	4.2
06/02/2008	11	10.9	11	11.0
13/02/2008	8.4	7.8	8.2	8.2
20/02/2008	Elèves absents (voyage linguistique)			
12/03/2008	11.1	11.7	10.9	11.2
19/03/2008	6.8	5.4	5.7	6.1
26/03/2008	8	7.4	7.6	7.7
02/04/2008	10.4	10	10.2	10.2

en E2 = $(B2*0,20+C2*0,11+D2*0,14)/(0,20+0,11+0,14)$

t date	Kévin	Robin	Corentin
09/01/2008	8.4	8.6	7.8
23/01/2008	6.9	8.2	7.9
30/01/2008	4.2	4.2	4.2
06/02/2008	11.6	11.0	10.9
13/02/2008	6.0	erreur	6.5
20/02/2008	8.4		
12/03/2008	10.3	11.2	10.5
19/03/2008	5.8	6.1	6.1
26/03/2008	7.9	7.7	7.1
02/04/2008	10.3	10.2	10.2

On peut faire les courbes d'évolutions (ci-dessous pour trois groupes) ; il y a peu de variations d'un groupe à l'autre, la température de la cour semble en effet assez homogène.



Cette activité a intéressé les élèves. Elle leur fait toucher du doigt :

- la difficulté de mesures qui semblent a priori simples,
- la nécessité d'analyser les sources de variabilité d'une mesure,
- que les mesures obtenues ne sont pas des données brutes, mais obtenues en combinant ces dernières (les températures en certains points) selon une formule dont en plus ici les paramètres sont eux-mêmes estimés.

L'activité peut se continuer avec l'annexe 4 et être complétée avec celle de l'annexe 3.

L'intérêt de ce type d'activité est aussi de cumuler des données sur plusieurs années : on pourra ainsi détecter des années particulières, et regarder s'il y a une « tendance » et comment la quantifier.

Ce sera alors une bonne occasion pour différencier la météorologie de l'étude du climat et pour parler de la notion de température moyenne de la Terre .

Annexe 1

Références au programme (option MPI en classe de 2^{nde}) :

Étude de la partie analogique de la chaîne [de mesure] et son exploitation Le capteur de température

L'échelle de température est une première approche de ce qui sera approfondi dans le programme de tronc commun de physique et chimie.

La technologie du composant est hors programme, on se limitera à étudier expérimentalement sa fonction et ses caractéristiques. Étude documentaire sur la température

- On introduira l'échelle de température avec un éclairage historique en cohérence avec le niveau du tronc commun.

Acquisition et traitement de résultats expérimentaux pour déterminer la fonction du capteur.

- Dans ce cadre on réalisera des mesures manuelles et à l'aide d'une centrale d'acquisition.

- Utilisation d'un tableur grapheur : les résultats expérimentaux doivent être exploités (mise en forme, représentation graphique et ajustement) à l'aide de logiciels adaptés (tableur, grapheur, logiciels généralistes, ...)

Partie thématique

Le choix du contenu de cette partie est laissé à la liberté de l'enseignant en fonction des spécificités locales et de l'intérêt des élèves.

On ne pourra mettre en oeuvre des compétences que dans le prolongement de celles du programme du tronc commun de cet enseignement de détermination.

Cette partie du programme pourra être l'occasion de créer des conditions d'enseignement pluridisciplinaire à travers les manipulations ou des études communes.

Programme SVT classe de seconde

Une partie (sur 3) s'intitule :

"La planète Terre et son environnement"

Dans le but de situer l'homme dans le monde au sens le plus large, l'étude de la planète Terre est l'occasion de décrire et de percevoir les dimensions dans l'espace, les durées et les mouvements.

Ces connaissances sont nécessaires à la compréhension de l'environnement, de son évolution et à la perception de sa fragilité.

Quantité d'énergie reçue par les planètes : climats et saisons - effet de serre

Annexe 2

Un devoir-évaluation pour vérifier que le principe de la mesure de température par une moyenne pondérée est bien compris.

Eloïse Taupin
 2nde 7
 excellent travail

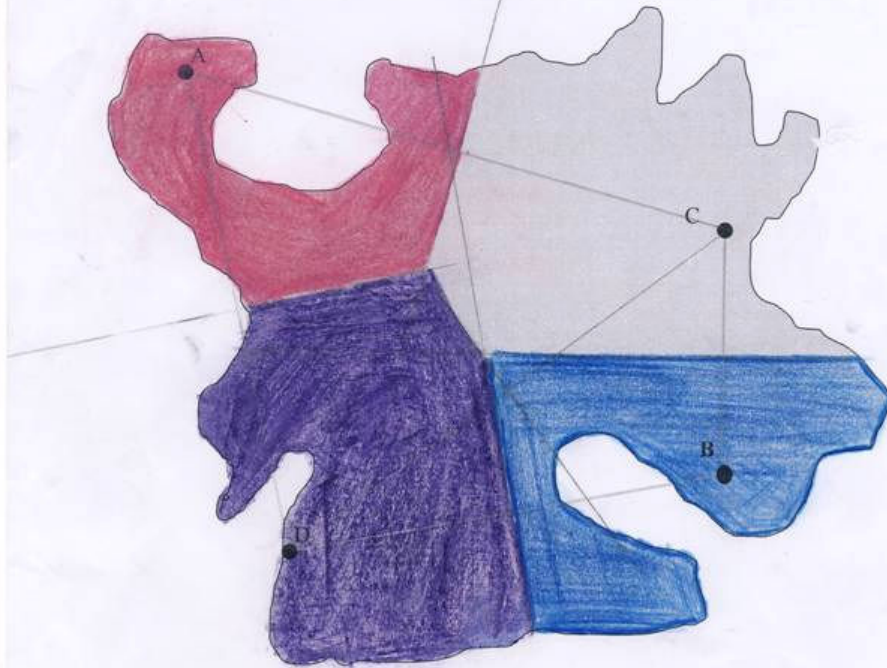
10/10



Quelle est la température diurne moyenne au mois de janvier sur l'île aux Colibris ?

Quatre stations météorologiques ont enregistré les températures diurnes durant cette période :

Station	Température (°C)
Station du Capucin A	29
Station du Cacatoès B	22
Station du Coucou C	24
Station de la Colombe D	30



- 1) A l'aide de la méthode présentée en classe déterminer la température diurne moyenne sur l'île pendant cette période.
- 2) Quelle est la valeur de cette température
 - > Dans l'échelle Fahrenheit
 - > Dans l'échelle des températures absolues

$m_A = 0,26g$ $T_A = 29^{\circ}C$ $m_{TOTAL} = 1,407g$
 $m_B = 0,30g$ $T_B = 22^{\circ}$
 $m_C = 0,44g$ $T_C = 24^{\circ}C$
 $m_D = 0,42g$ $T_D = 30^{\circ}C$

$$T = \frac{T_A \times m_A + T_B \times m_B + T_C \times m_C + T_D \times m_D}{m_A + m_B + m_C + m_D}$$

$= 299,2 K$ (absolue)

Bon

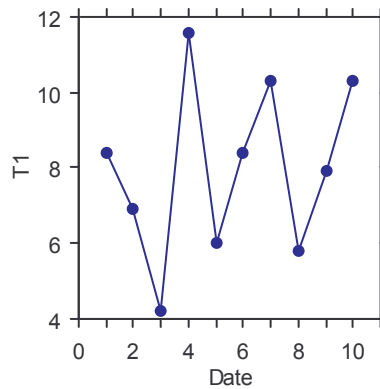
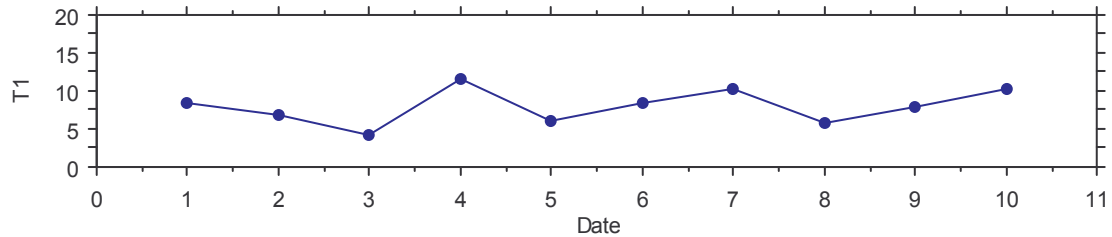
$T_A 26,2^{\circ}C$

$T = 78,32^{\circ}F$

Bonne

Annexe 3

Ci-joint deux représentations graphiques d'une même série de températures (celles de la cour du lycée Rodin à certaines dates).



On peut avoir l'impression d'une plus grande variation dans le graphique 2 : on a le droit d'avoir les impressions qu'on veut...mais **l'impression dépend du dessin et non des données!**

Dire que ça varie peu ou ça varie beaucoup n'a de toute façon pas grand sens : peu ou beaucoup **par rapport à quoi ?**

Y a-t-il une représentation plus juste que l'autre ? Non...L'habitude est, si les données ne sont pas dans un ensemble de référence donné (pour des notes, l'ensemble de référence serait de 0 à 20) de prendre l'ordonnée à l'origine proche de minimum et la plus grande ordonnée visible proche du maximum, comme pour le second graphique. La forme du graphique (cadre plus ou moins carré) est affaire de goût et de place.

Annexe 4 Les échelles de température et les conversions

Cette partie documentaire peut avantageusement être faite par les élèves en autonomie avec recherche documentaire et réalisation d'un exposé ou d'une affiche.

Rappels des trois unités de mesures pratiquées.

1) Echelle Celsius centigrade (°C)

Celsius, physicien suédois réalisa en 1741 un thermomètre à mercure utilisant les points fixes facilement reproductibles.

- $\theta_0 = 0\text{ °C}$ dans la « glace fondante » : eau saturée d'air en équilibre avec la glace à pression atmosphérique normale
- $\theta_{100} = 100\text{ °C}$ pour l'ébullition de l'eau : vapeur d'eau en équilibre avec l'eau pure sous pression atmosphérique normale

L'intervalle entre θ_0 et θ_{100} est divisé en 100 parties égales, ce qui permet une lecture directe de la température en °C. Il s'agit d'une échelle centésimale affine :

Les graduations sont prolongées au-dessus et en dessous par des graduations équidistantes.

A la suite de la révolution française et de l'adoption du système métrique cette échelle centésimale fut adoptée en 1794.

2) L'échelle Kelvin(K) est la seule qui ne possède pas de valeurs négatives et commence par le zéro absolu. Le zéro absolu est en théorie la température la plus basse qu'un corps puisse atteindre. Il correspond à une température de $-273,15\text{ °C}$. Les molécules qui atteignent cette température se figent ; il n'y a plus d'agitation moléculaire.

Le K est l'unité de température du système international d'unités.

3) L'échelle Fahrenheit , la plus ancienne, encore en vigueur dans les pays anglo-saxons. En 1717, **Fahrenheit**, construisit le premier thermomètre à **mercure**

Les points fixes historiques au départ de cette échelle peuvent être qualifiés de « subjectifs » car liés à l'homme et son environnement :

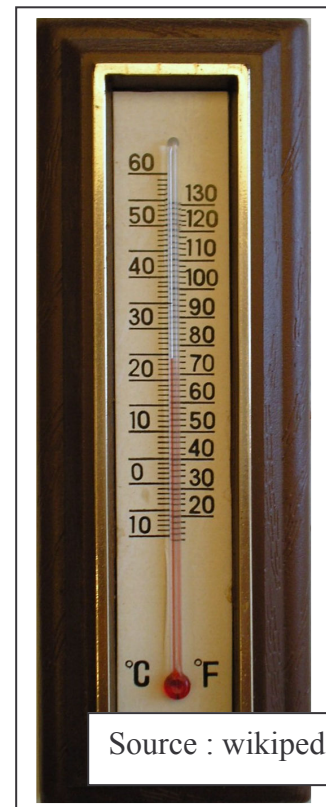
0°F : la plus basse température mesurée durant l'hiver de 1708 à 1709 dans la ville natale de Danzig, également température d'un mélange d'un volume égal de chlorure d'ammonium et de glace.

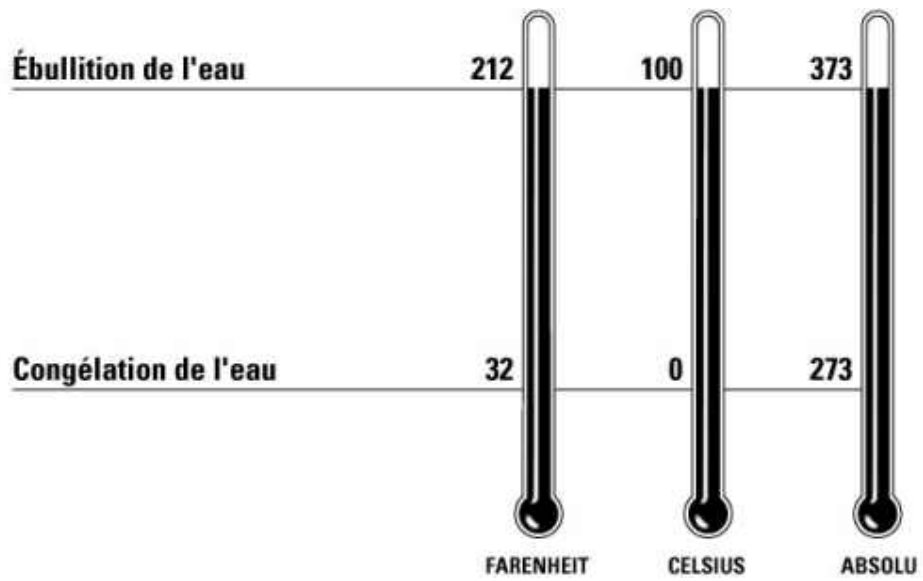
96 °F (96 = 12 x 8) température du sang

Aujourd'hui, on fait référence à d'autres points fixes :

32°F : glace fondante

212°F : ébullition de l'eau sous pression normale





source : http://www.qc.ec.gc.ca/Meteo/images/Fig_2-3.jpg

Des exercices de conversion utilisant éventuellement un tableau peuvent être proposés dans ce prolongement.

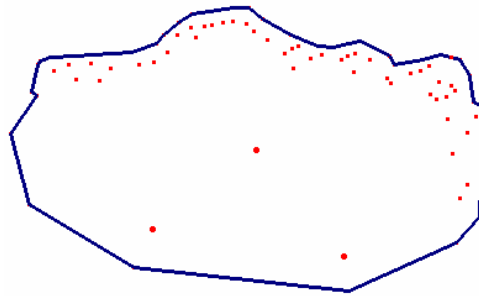
ANNEXE (pour les mathématiques)
:Diagramme de Voronoi à r points.

A partir de « au-delà des points de Königsberg, Théorie des Graphes » (p.237)
De Olivier Cogis et Claudine Robert chez Vuibert (juin 2003)

Quelle température fait-il?

Quand on annonce que la température moyenne de la journée, dans une certaine région a été de 7°C , comment obtient-on un tel chiffre ?

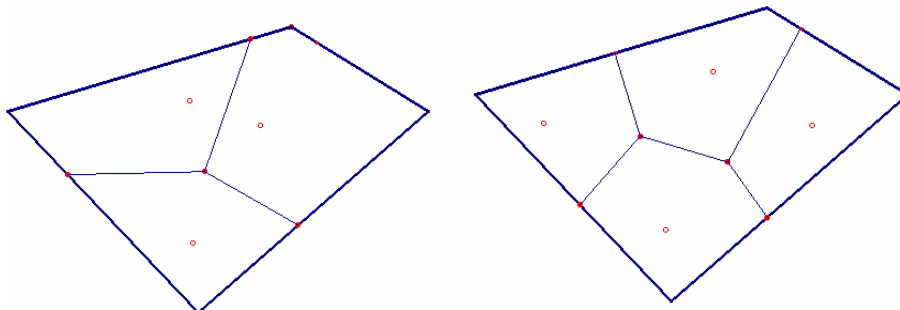
Une des méthodes employées est la suivante : on mesure la température t_1, \dots, t_r en r points x_1, \dots, x_r de la région et on en fait une moyenne pondérée. On pourrait évidemment prendre la moyenne arithmétique, mais ce n'est pas forcément judicieux (figure 1).



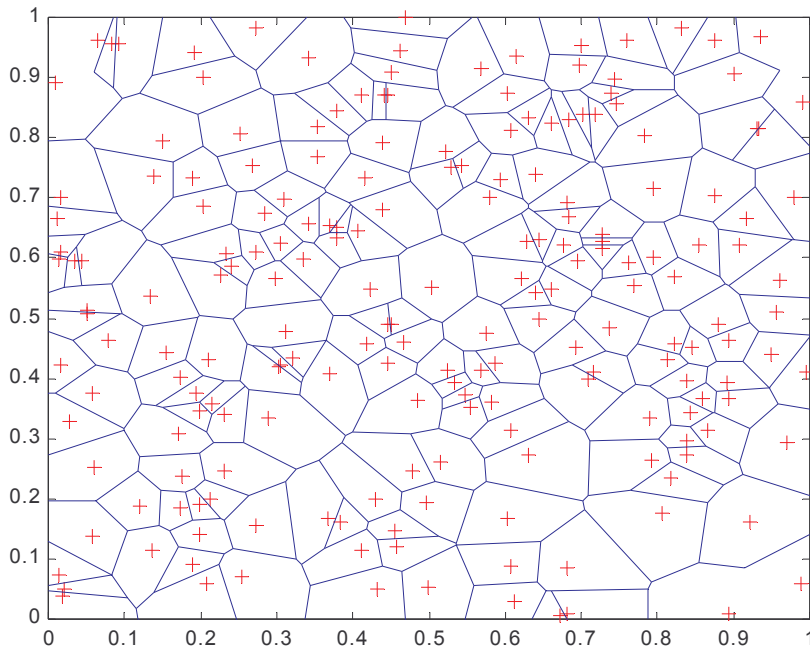
Les zones où on a mesuré beaucoup de points sont des zones où il est facile de faire des mesures.

Une méthode de pondération des températures observées consiste à diviser la région en r zones z_1, \dots, z_r . La zone z_i contient x_i et tous les points qui sont plus près de x_i que d'aucun des autres points x_j , $j \neq i$: l'ensemble des zones constitue ce qu'on appelle un diagramme de Voronoi à r points.

Les zones z_i sont délimitées par des segments appartenant aux médiatrices des points x_i .



Un diagramme de Voronoi a trois ou quatre points. Les traits en gras délimitent la frontière de la région considérée.



Un diagramme de Voronoi dans une région carrée, où les 200 points ont été choisis au hasard.

On prend alors comme température de la région la moyenne des températures mesurées pondérées par les superficies a_i des zones z_i , soit :

$$t = \frac{1}{a} \sum_i a_i t_i$$

où a est la superficie de la région considérée, soit : $a = \sum_i a_i$

Les zones, ou faces, des diagrammes de Voronoi sont délimités par des segments appartenant aux médiatrices des points. On observe ici les faits suivants :

1- les nœuds du maillage définis par ce découpage en zones sont le plus souvent communs à exactement trois zones.

2- pour un diagramme de Voronoi associé à r points, lorsque r devient grand, le nombre moyen de cotés des zones est le plus souvent voisin de 6.

Pourquoi en est-il ainsi ? Est-ce propre à ce dessin ?

-Pour le point 1, il suffit de remarquer que si les médiatrices d'un triangle sont concourantes, celles de polygones ayant plus de trois sommets ne le sont en général pas. En représentant la frontière de la région par une ligne polygonale, le maillage de la région obtenu par cette méthode est composé de lignes polygonales et un nœud du maillage intérieur à la région est le plus souvent commun à trois zones.

- Pour le point 2, c'est plus difficile pour les élèves.

Pour les enseignants :

On suppose que les r points sont choisis au hasard (en particulier, 3 d'entre eux ne sont presque jamais alignés).

La formule d'Euler permet d'expliquer le phénomène observé. Considérons le graphe G assorti à un diagramme de Voronoi construit à partir de r points ; soit n, m, r les nombres de ses sommets, arêtes et faces. Chaque face est délimitée par un cycle et le nombre n_i de sommets de la face i , $i=1..r$, est donc égal au nombre de ses cotés. Nous ferons de plus les approximations suivantes :

-la somme du nombre de cotés de chaque face est à peu près deux fois le nombre d'arêtes du graphe :

$$2m \approx \sum_{i=1..r} n_i .$$

(Dans cette approximation, on compte à tort deux fois les arêtes de la frontière de la région, mais l'approximation est justifiée dès que le nombre d'arêtes en frontière de la région est petit devant le nombre total d'arêtes, ce qui est le plus souvent le cas dans des applications pratiques où r est *grand*).

-la somme du nombre de sommets de chaque face est à peu près égal à trois fois le nombre total de sommets. C'est à dire qu'on néglige encore les phénomènes de bord ainsi que le cas exceptionnel de sommets intérieurs du graphe qui ne sont pas de degré 3.

$$3n \approx \sum_{i=1..r} n_i$$

La formule d'Euler permet alors d'écrire, pour le graphe G :

$$r + \frac{1}{3} \sum_{i=1..r} n_i \approx \frac{1}{2} \sum_{i=1..r} n_i + 2.$$

Le nombre moyen de cotés (ou de sommets) par faces est : $\lambda = \frac{1}{r} \sum_{i=1..r} n_i$ et on a alors : $1 - \frac{2}{r} = \frac{\lambda}{6}$.

Lorsque r devient grand, on a $1/r$ devient négligeable et donc λ tend vers 6.