



Séquence n°1

Qui a tué Claude Boidest ?

L'objectif de cette séquence est la mise en place d'activités pour le thème science et investigation policière. Pour cela l'élève devra au cours des différentes séances comprendre et utiliser certaines techniques de la police scientifique pour analyser différents indices. En fin de séquence, la mise en relation de tous ces indices permettra de résoudre l'enquête.



Plan

Partie 1 : Découverte de l'affaire : option scène de crime – message codé

Partie 2 : Datation du décès : mesure du refroidissement d'un corps chaud.

Partie 3 : Datation du décès : modélisation et utilisation du nomogramme

Partie 4 : Morphoanalyse d'une trace de sang.

Partie 5 : Analyse d'un son

Partie 6 : Chromatographie d'une encre

Partie 7 : Titrage d'une substance et détermination de sa composition conclusion de l'enquête



PARTIE 1 : Découverte de l'affaire

ACTIVITE 1. Découverte de l'affaire Claude Boidest

- **Objectifs** : Mettre en place l'environnement (victime, suspects) qui va être utilisé pendant toute la séquence avec des pistes multiples.
- **Ressources disponibles** : article de journal, fiches sur la victime et sur les suspects.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** : les élèves pourront se référer à ces documents pendant toute l'enquête pour orienter leurs déductions. Il est possible de laisser simplement les élèves prendre connaissance des documents en autonomie.

Document 1 : Article de presse relatant l'affaire

Le Républicain

Tragédie au lycée Saint-Exupéry : un professeur assassiné

Le 27 octobre - Une nouvelle a jeté un froid immense sur la communauté éducative. Ce matin, vers 8 heures, le corps sans vie de M. Claude Boidest, professeur de physique-chimie au lycée Saint-Exupéry, a été découvert dans la salle 370.

Les circonstances exactes de ce décès violent restent à éclaircir. C'est Mme Hélène Richard, préparatrice en laboratoire, qui a fait la macabre découverte et a immédiatement alerté les secours. Malheureusement, les pompiers n'ont pu que constater le décès de l'enseignant. La gendarmerie a été saisie de l'affaire et une enquête a été ouverte.

Une communauté sous le choc

La nouvelle de ce décès brutal a profondément choqué les élèves, les professeurs et les personnels du lycée. Claude Boidest était connu pour son dévouement, sa passion pour son métier et sa grande humanité. L'établissement scolaire a mis en place une cellule psychologique pour accompagner les personnes les plus affectées par ce drame. Le proviseur, Michel Courfin, s'est refusé à tous commentaires demandant seulement de laisser les enquêteurs faire leur travail.

Une cérémonie en hommage à Claude Boidest devrait être organisée dans les prochains jours. L'enquête se poursuit pour tenter de comprendre les raisons de ce meurtre et identifier le ou les auteurs de ce crime odieux. *Nous reviendrons vers vous dès que de nouveaux éléments nous parviendront.*



La victime : Claude Boidest



Document 2 : Fiche d'informations sur la victime



Nom : BOIDEST Prénom : Claude

Age : 57 ans Profession : Professeur de physique-chimie au lycée St Exupéry

Etat marital : Divorcé, célibataire.

Informations : Claude Boidest est un professeur très discret. Il travaille au lycée Saint Exupéry depuis 6 ans et avait un bon contact avec les élèves. Il aimait les voyages et les voitures de sport au point que ses collègues s'étonnaient de son train de vie.

Il est retrouvé mort dans la salle 370, le matin du 27 octobre par la préparatrice de chimie Madame Hélène Richard.



Document 3 : Fiches d'informations sur les suspects éventuels.

Document 3a



Nom : RICHARD Prénom : Hélène
Age : 49 ans Profession : Préparatrice de chimie
Etat marital : Mariée, 2 enfants.

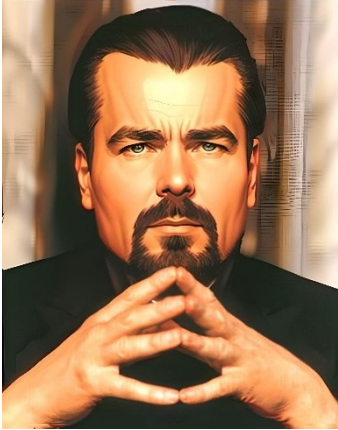
Informations : Hélène Richard est très bien notée dans son travail et elle est en poste au lycée Saint Exupéry depuis 12 ans. Cependant elle souffre de stress important depuis 4 ans ce qui nuit à sa santé et elle consomme régulièrement des antidépresseurs. Elle a demandé sa mutation dans un autre établissement cette année.

Relations avec la victime : Difficiles. Claude Boidest était très exigeant et demandait beaucoup de matériel à la dernière minute et hurlait sur la préparatrice si ce n'était pas fait rapidement. Parfois le matériel n'était pas utilisé pour des TP par les élèves. Il n'était pas inhabituel que Claude Boidest soit encore au laboratoire les soirs lorsqu'elle quittait son service. C'est elle qui a trouvé le corps sans vie du professeur en salle 370 le 27 octobre à 7h15 du matin.

Emploi du temps du 26 Octobre : Elle déclare qu'elle est restée travailler au laboratoire jusqu'à 17h00 (Claude Boidest était encore présent) puis elle est partie faire des courses au centre commercial à 1,5 km du lycée. Elle rentre à la maison à 18h20 où elle y retrouve un de ses fils et son mari.



Document 3b



Nom : COURFIN Prénom : Michel
Age : 55 ans Profession : Proviseur
Etat marital : Mariée, 1 enfant.

Informations : Michel Courfin est proviseur du lycée Saint Exupéry depuis 8 ans. Il est très droit et strict et entretient des relations courtoises avec les enseignants comme avec les agents.

Relations avec la victime : Orageuses. Monsieur Courfin avait fait de nombreux rappels à l'ordre à Claude Boidest qui ne respectait pas les règles de sécurité sur le stockage des produits chimiques et sur les dépenses anormales du laboratoire en matériel. Par opposition M. Boidest s'opposait en permanence à sa gestion de l'établissement et contestait son autorité.

Emploi du temps du 26 Octobre : Sa secrétaire est partie à 17h40. Il déclare avoir travaillé dans son bureau jusqu'à 19h30 puis il a regagné son logement de fonction à l'étage. Son épouse et son fils étaient à l'entraînement de judo de 18h30 à 19h30, ils sont rentrés à 19h50.



Document 3c



Nom : GERARD Prénom : Anne
Age : 38 ans Profession : Professeure adjointe
Etat marital : Divorcée, 1 enfant.

Informations : Anne Gerard a été nommée professeure adjointe du lycée il y a 2 ans. Elle a un mal de dos chronique depuis un grave accident de voiture. Elle prend des antidouleurs à haute dose pour calmer ses douleurs. Elle est particulièrement appréciée pour sa diplomatie dans l'établissement.

Relations avec la victime : Plutôt bonnes. Mme Gerard est intervenue plusieurs fois auprès du professeur pour sauver la mise de M. Boidest : les absences aux conseils de classe, les problèmes avec les élèves, la gestion du laboratoire ... Sans elle, le professeur, M. Courfin, aurait fait un rapport à l'inspection académique.

Emploi du temps du 26 Octobre : Après son travail à 17h30, elle dit avoir rejoint son cours de Yoga de 18h00 à 19h00 à la salle communale comme tous les mardis. Elle est rentrée dans son logement de fonction au lycée à 19h15 où elle réside seule. A ce moment là, la lumière était encore allumée dans le bureau du professeur.



Document 3d



Nom : AMPERE Prénom : Claudine
Age : 52 ans Profession : Professeure de physique-chimie
Etat marital : Célibataire, pas d'enfants.

Informations : Professeure de physique-chimie affectée au lycée Saint-Exupéry depuis 12 ans, elle est également chargée de mission auprès de l'inspection académique.

Relations avec la victime : Avec Claude Boidest les relations étaient plutôt amicales, ils avaient même été en couple il y a 4 ans, pendant 6 mois, avant de se séparer en bons termes. Depuis 1 an elle s'inquiétait de sa gestion du laboratoire ce qui avait provoqué une réaction vive de Boidest et un refroidissement de leurs relations.

Emploi du temps du 26 Octobre : A la fin de ses cours à 17h40, elle déclare être rentrée chez elle. Elle n'est pas sortie de la soirée. Elle a appelé sa sœur au téléphone de 18h50 à 19h10.



Document 3e



Nom : AVERT Prénom : Jean-Claude
Age : 37 ans Profession : Professeur d'EPS
Etat marital : Marié, en instance de divorce,
sans enfants.

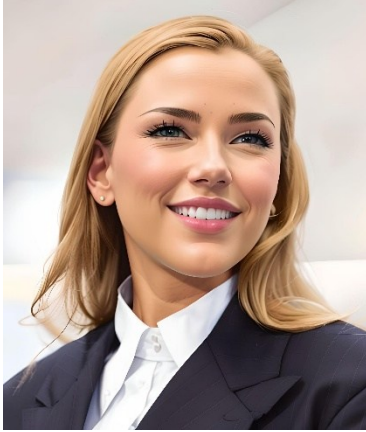
Informations : Professeur d'EPS, affecté au lycée Saint-Exupéry depuis 10 ans. Entraîneur de l'équipe de football de la ville.

Relations avec la victime : Avec Claude Boidest, les relations étaient très mauvaises l'année dernière, Mr Avert et la victime se sont même bagarrés plusieurs fois, Mr Avert soupçonnait en effet la victime de vouloir séduire sa femme. Depuis la rentrée, tout semblait être rentré dans l'ordre mais leurs relations étaient purement professionnelles.

Emploi du temps du 26 Octobre : A la fin de ses cours à 16h45, il déclare avoir été au stade pour l'entraînement des U15 de 17h30 à 19h00. Puis, il est rentré chez lui à 19h45.



Document 3f



Nom : AVERT Prénom : Christine
Age : 34 ans Profession : Professeure d'anglais
Etat marital : Mariée, en instance de divorce, sans enfants.

Informations : Professeur d'anglais, affectée au lycée Saint-Exupéry depuis 7 ans, en poste au lycée Charlemagne depuis cette année.

Relations avec la victime : Avec Claude Boidest, les relations étaient chaleureuses au point que son mari, professeur d'EPS, en prenne ombrage et se querelle souvent avec Boidest à ce sujet. Les difficultés conjugales du couple se rajoutant à ça, Christine demanda le divorce et changea d'établissement cette année.

Emploi du temps du 26 Octobre : Elle déclare qu' elle n'avait pas cours cet après-midi, elle est restée travailler à la maison. Elle indique que son mari est rentré à 19h45.



Document 3g



Nom : BOLZINGER Prénom : Jessica
Age : 17 ans Profession : Elève de terminale T03
Etat marital : Célibataire.

Informations : Elève de T03, ses résultats scolaires sont moyens, elle a quelques problèmes de discipline et d'absences. Les relations avec les parents sont aussi conflictuelles.

Relations avec la victime : Avec Claude Boidest, les relations étaient difficiles. M. Boidest a écrit un rapport sévère sur Jessica Bolzinger qui a imité la signature de ses parents pour couvrir ses absences aux devoirs communs de physique. Elle risque l'exclusion au conseil de discipline prévu dans 2 semaines.

Emploi du temps du 26 Octobre : A la fin de ses cours à 17h40, elle déclare être rentrée chez elle seule. Sa mère est rentrée du travail à 18h45.



Document 3h



Nom : LEJEUNE Prénom : Virginie
Age : 18 ans Profession : Elève de terminale T01
Etat marital : En couple avec Alexandre Martino.

Informations : Elève de T01 plutôt brillante, elle est déléguée de la classe.

Relations avec la victime : Les relations étaient bonnes au début mais elles se sont brouillées avec Claude Boidest. M^{elle} Lejeune reprochait à ce professeur de noter ses devoirs trop sévèrement et de manière injuste. Elle a d'ailleurs eu une altercation avec la victime le 9 octobre à la fin du cours au sujet du dernier devoir en classe.

Emploi du temps du 26 Octobre : A la fin de ses cours à 17h40, elle déclare être restée avec Alexandre Martino devant le lycée puis a pris le bus de 18h30 pour arriver à la maison à 19h05 et y retrouver sa sœur et sa mère.



Document 3i



Nom : MARTINO Prénom : Alexandre
Age : 19 ans Profession : Elève de terminale T01
Etat marital : En couple avec virginie Lejeune.

Informations : Elève de T01 d'un niveau moyen. Il a redoublé sa terminale et semble faire des efforts pour avoir son bac cette année.

Relations avec la victime : Bien qu'il ne soit pas un élève très investi, Alexandre Martino avait des relations correctes avec son professeur et il ne posait pas de problèmes en classe.

Emploi du temps du 26 Octobre : A la fin de ses cours à 17h40, il déclare être resté avec Virginie Lejeune devant le lycée puis il est rentré chez lui à pied pour y arriver à 18h45. Son père est rentré à 19h00.



Document 3j



Nom : CARNET Prénom : Michel
Age : 53 ans Profession : Professeur de mathématiques
Etat marital : Marié, 1 enfant.

Informations : En poste dans le lycée depuis 9 ans. Conseiller municipal d'opposition, candidat à la mairie pour les prochaines élections.

Relations avec la victime : Les relations avec Claude Boidest étaient conflictuelles car Michel Carnet a des engagements et des choix politiques à l'opposé de Claude Boidest. Ils ont eu d'ailleurs quelques altercations politiques lors des grèves de septembre.

Emploi du temps du 26 Octobre : Il déclare avoir quitté le lycée à 15h30 pour rentrer chez lui avant de repartir à 18h15 pour le conseil municipal en mairie jusqu'à 23h00.



Document 3k



Nom : CARNET Prénom : Sophie
Age : 50 ans Profession : Professeur de mathématiques
Etat marital : Mariée, 1 enfant.

Informations : En poste au lycée depuis 7 ans.

Relations avec la victime : Elle avait des relations purement professionnelles avec Claude Boidest

Emploi du temps du 26 Octobre : A la fin de ses cours à 16h45, elle est partie voir sa mère à la maison de retraite et elle est rentrée à 18h45 chez elle.



Document 3I



Nom : VIRLOT Prénom : Serge
Age : 45 ans Profession : Professeur de SVT
Etat marital : Marié, 3 enfants

Informations : En poste dans le lycée depuis 11 ans. Serge Virlot est un joueur compulsif qui a beaucoup de dettes de jeu.

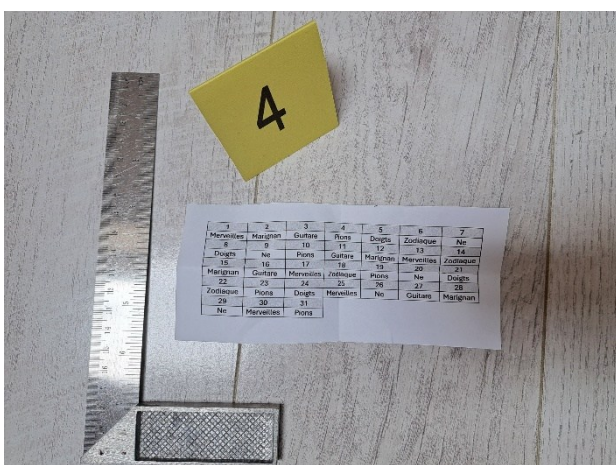
Relations avec la victime : Il s'entend très bien avec la victime et ils déjeunent souvent ensemble à la cantine. Il paraît que Claude Boidest lui a prêté une grosse somme d'argent l'année dernière.

Emploi du temps du 26 Octobre : A la fin de ses cours à 16h45, il a déclaré être resté 1h dans sa salle pour corriger des copies puis il est passé au collège à 17h50 prendre ses enfants avant de rentrer à la maison.



ACTIVITE 2.Scène de crime (optionnelle)

- **Objectifs** : Etablir le protocole nécessaire pour analyser une scène de crime. Introduire le principe de Locard.
- **Matériel** : Une petite salle, un mannequin, des douilles, des traces de sang, une lettre de menace (activité partie 6), un sachet avec de la poudre (activité partie 7)
- **Ressources disponibles** :
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Cette activité est optionnelle en fonction du matériel disponible. Il faudra aménager une scène de crime dans une salle et faire passer les groupes d'élèves en leur laissant 2 min pour étudier la scène.



Remarque : Cet indice n°4 est utile pour decoder les messages (sans être indispensable). Soit il faut le mettre sur la scène de crime, soit il faut monter la vidéo de l'enquêteur aux élèves pour l'activité 3.



Document 1 : le principe de Locard

Le premier expert de la police scientifique est français : **EDMOND LOCARD** (1877 – 1966)

En 1910, Edmond Locard crée dans les combles du palais de justice de Lyon le premier laboratoire de police scientifique. A l'époque, il dispose pour tout matériel d'un bec bunsen et d'un microscope ; il met au point des techniques d'expertise basées sur la toxicologie, les empreintes digitales, la physique chimie puis la balistique.

Le principe d'échange d'Edmond Locard :

« ... Nul ne peut agir (...) sans laisser des marques multiples de son passage [...].

Tantôt le malfaiteur a laissé sur les lieux les marques de son passage, tantôt, par une action inverse, il a emporté sur son corps ou sur ses vêtements les indices de son séjour ou de son geste ».



L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques (1920), Chap.4.

Questions

1. Après avoir vu le principe de Locard, Etablir les points importants du **protocole de l'intervention sur une scène de crime** (on pourra discuter ensuite des séries policières pas toujours très réalistes !).
2. Par groupe de 4 élèves, vous avez 2 minutes pour **observer et noter** tous les points importants de la scène de crime. **Faire un rapport** de vos observations.



ACTIVITE 3. Messages codés

- **Objectifs** : Comprendre et utiliser les techniques de codage et de décodage.
- **Matériel** : attaches parisiennes pour la fabrication de la roue de César ou ordinateur pour le décodage des messages (utilisation d'un programme Python ou d'un outil de décodage en ligne).
- **Ressources disponibles** : vidéo réalisée par l'enquêteur.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** : Les élèves doivent dans un premier temps étudier les messages et proposer des hypothèses sur les codages possibles à l'aide des documents retrouvés sur la scène de crime ou cachés dans le bureau. Les élèves ont à disposition une [vidéo](#) réalisée par un enquêteur quelques heures après le décès du professeur. Cette vidéo donne des indices sur le décodage des messages. Le professeur peut proposer une séance dédiée au codage/décodage des messages. Le document en annexe peut être exploité pour aider les élèves à décoder les messages.



Le Commissaire Jérôme Gerber vous convoque dans son bureau :
« On a du nouveau dans l'affaire Boidest. On a trouvé dans sa boîte mail plusieurs messages incompréhensibles. A vous d'étudier tout ça et de me faire un rapport ! »

Questions

1. Etudier les mails (documents 1,2,3,4). Décoder ces messages.
2. Ecrire un rapport de 5 à 10 lignes décrivant votre méthode de décodage ainsi que ce que vous avez appris sur le contenu de ces mails.



Document 1 : message codé n°1

Gmail interface showing an email from Claude Boidest. The email text is:

message important 21

Boidest Claude
À moi

Xyefovvo mywwkxno : Sv pked zbynesbo msxa usvyqbkwwoc od dbkxcwoddbo k fydbo myxdkmd vymkv. Vk vsfbkscyx ocd zbofeo vo nyejo cozdowlbo. Vo zbsh bocdo sxmrkxqo. Vo bocoke Mylkvd.

Document 2 : message codé n°2

Gmail interface showing an email from Claude Boidest. The email text is:

message important 22

Boidest Claude
À moi

Rk inkl kyz skiutzktz jk rg wagtzozk robxkk. Yo buay t'kzky vgy igvghrk jk vxujaoxk, ut lkxg gvvkr g at gazxk luaxtooykax. Or tuay lgaz naoz qorumxgssky vuax rk jkad uizuhxk. Yo buay tk vxujaoykf vgy gyykf, rk vxod hgoyykxg ! Rk xkykga Iuhgrz.

Document 3 : message codé n°3

Gmail interface showing an email from Claude Boidest. The email text is:

message important 23

Boidest Claude
À moi

Jwqlmab, dwca vm xwcdmh xia dwca uwycmz lc zmamic Kwjitb quxcvmumvb ! Vwbzm xibqvmkm i lma tquqbma. Dwca nqvqzmh xiz mv xigmz tma kwvamycmvkma ! Ti tqdzizqawv mab quxmzibqdmumvb xzwoziuumm tm bzmvmw kwbwjm. Vm vwca lmkmdmh xia.

Document 4 : message codé n°4

Gmail interface showing an email from Claude Boidest. The email text is:

message CB

Claude Boidest <claud.boidest@gmail.com>
À RCob

255145243224441511513311532433513332151424444135442445242142511525112411321133112444353415
452551452432244415331533153311451543214513254131515131542512413353333153413151111
454524431543321145451534452435342515211543112445355145333534413544442412321541355143431544
411513451543331544153422112215331534454412352414154445



Annexe : Techniques de codage/décodage

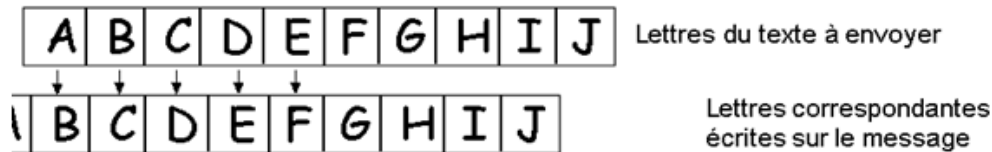
I. Techniques de codage

1. Codage par décalage de lettres constant (code César)

Très simple, il était utilisé par Jules César dans ses correspondances secrètes.

Le chiffre de César fonctionne par décalage des lettres de l'alphabet :

Décalage de 1 rang :



Exemple : le mot « DEFI » sera codé par EFGJ

On peut aussi faire un décalage de 2, 3, 4 ... rangs pour compliquer le code.

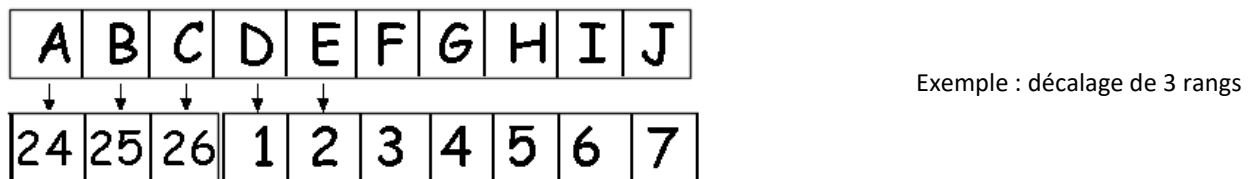
La clé du message peut être communiquée par un mot-code comme un jeu de mot :

Avocat (A vaut K) = décalage de 10 rangs

Hélène (L = N) = décalage de 2 rangs

2. Codage par association de nombre et décalage (code César numérique)

Ici on associe à une lettre son n° dans l'alphabet et on fait un décalage :



Exemple : le mot « DEFI » sera codé par 1 2 3 6

Ici aussi on peut faire plusieurs décalages : décalage de 4 rangs : code cassette (K = 7) ou décalage de 5 rangs : code cassis (K = 6) ...

3. Intercaler des lettres

On choisit le message, par exemple : « SUIVEZ LA FLÈCHE » et on intercale au hasard une, deux ou trois lettres entre chacune des lettres du message. Il suffit d'indiquer le nombre de lettres à ne pas lire. Par exemple : on intercale 1 lettre, il faut lire une lettre sur deux. Cela donne :

SYUDIGVREGZH LJAB FNLTEFCPHTE

4. Lettres inversées

- Mot par mot

Chaque mot est inversé. Par exemple la phrase « suivez la flèche » nous donne ...

ZEVIOUS AL EHCELF

- Message complet

Tout le message est inversé. Pour le décoder, il suffit de commencer par la fin :

EHCELF AL ZEVIOUS



5. Le carré de Polybe

Chaque lettre peut être représentée par ses coordonnées dans un tableau carré :

Lettre = ligne / colonne.

Ainsi "e"=15, "u"=51, "n"=34, ...

Comme il y a 25 cases, pour mettre les 26 lettres on regroupe v et w dans la même case (ils ont souvent la même prononciation)

Pour compliquer le code on peut mettre les lettres dans le tableau dans un autre ordre que l'ordre alphabétique. Il faudra communiquer le tableau au correspondant.

	1	2	3	4	5
1	a	b	c	d	e
2	f	g	h	i	j
3	k	l	m	n	o
4	p	q	r	s	t
5	u	vw	x	y	z

Carré de Polybe

II. Techniques de décodage

Le codage avec les lettres inversées peut être rapidement testé.

Pour les codes type César ou Polybe : Si on ne connaît pas la clé de codage on peut utiliser les statistiques sur les lettres les plus fréquentes en français pour retrouver le code : dans l'ordre (avec leur % d'apparition) :

E	A	S	I	T	R	N	U	O	L
17,0	8,3	7,9	7,6	7,0	7,0	6,9	6,2	5,5	5,5

On remarque que si on identifie le E qui de plus est souvent à la fin des mots, la clé de codage est trouvée facilement pour les codes 1, 2 et 5.

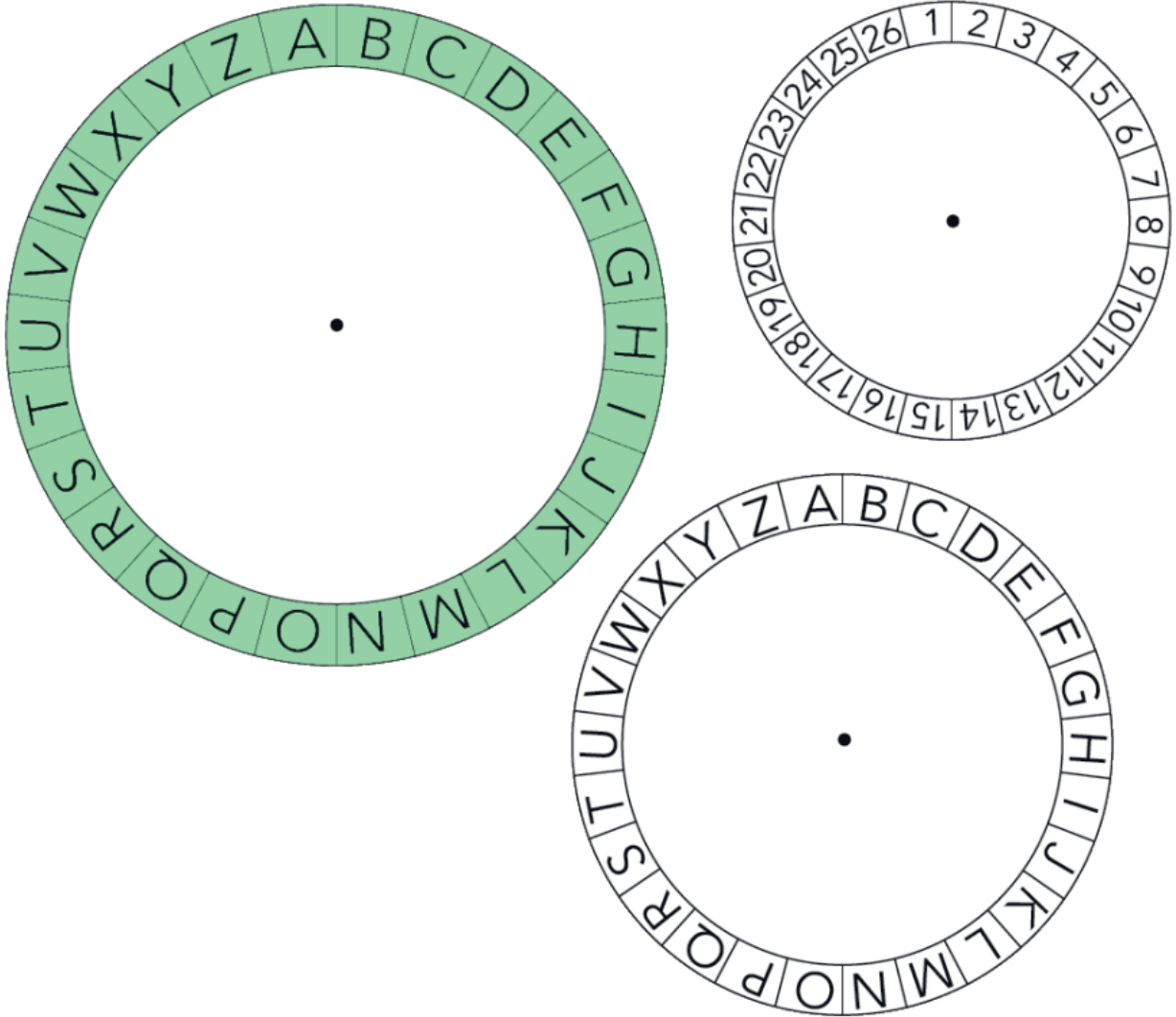
On peut aussi repérer le caractère qui code le « s » du pluriel en fin de mots ou les consonnes doubles de certains mots : « tt » « ss » « ll ». L'identification des articles (le, la, les. Les, un, une, des, les ...) dans les phrases peut aider.



Pour tester les différents codes possibles on peut utiliser un tableau de correspondance comme ci-dessous :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
2	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
3	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
4	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
5	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
6	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
7	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
8	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
9	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
10	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
11	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
12	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
13	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
14	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
15	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
16	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
17	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
18	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
19	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
20	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
21	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
22	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
23	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
24	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
25	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

On peut également utiliser une roue de décryptage (à découper et à maintenir avec une attache parisienne ou une punaise).



Deuxième document : Roue de Cesar à fabriquer à l'aide d'attaches parisiennes

Il existe **deux solutions alternatives** pour décoder les messages.

On peut utiliser un **outil de décodage en ligne** comme <https://md5decrypt.net/Cesar/> ou <https://www.dcode.fr/chiffre-cesar> .

Ou bien utiliser les **programmes python** suivants qui seront à modifier :

```
Messagecrypter="QGPKD IJ PH GTJHHX" # Message à coder ou décoder.  
cle=-15 # Décalage de 15 rang (P vaut A) dans l'exemple pour décodage.  
# Clé positive pour codage et négative pour décodage.
```

```
acrypter=Messagecrypter.upper() # Le texte crypté est mis en majuscules ... donc oublier les accents  
et la ponctuation.
```

```
print (acrypter)
```

```
lg=len(acrypter) # Mesure la longueur du message en nombre de caractères
```

```
MessageCrypte="" # Initialisation du message crypté
```

```
for i in range(lg):
```



```
if acrypter[i]!=' ':
    MessageCrypte+=' ' # Ne modifie pas les espaces du message
else:
    ascii=ord(acrypter[i])
    MessageCrypte+=chr((ascii-64+cle)%26+64) # Calcul pour décaler chaque lettre et revenir au
    début de l'alphabet si on dépasse la 26ème lettre

print (MessageCrypte)
```




Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

<p>Cette partie 1 peut comprendre l'activité 1 en classe et l'activité 3 si on ne dispose pas du matériel pour l'activité 2.</p> <p>Sinon on peut laisser l'activité 1 à lire en autonomie et faire l'activité 2 et l'activité 3 en classe.</p>	
<p>Activité 1 Cette activité consiste simplement à présenter les documents relatant l'affaire qui seront utilisés tout au long de la séquence. Elle peut être faite en classe (prévoir 15 min). En cas d'activité en autonomie, les documents sont simplement donnés à lire aux élèves pour utilisation dans les différentes parties de l'enquête.</p>	
<p>Activité 2 La scène de crime peut être un véritable plus mais nécessite une organisation et un matériel ce qui n'est pas toujours possible. Elle est optionnelle. Etablir le protocole en classe entière. Faire passer les groupes d'élèves sur la scène de crime.</p>	<p><u>(Activité 2) Protocole de l'intervention sur une scène de crime</u></p> <p>1. Le Gel des Lieux : Sanctuariser la Scène</p> <p>La toute première action, et sans doute la plus critique, est de "geler les lieux". Il s'agit d'établir un périmètre de sécurité clair et infranchissable pour toute personne non autorisée : balisage, contrôle d'accès, protection contre les éléments si on est en extérieur.</p> <p>2. La Protection Individuelle et la Prévention de la Contamination</p> <p>La hantise de tout enquêteur est la contamination de la scène, c'est-à-dire l'introduction d'éléments étrangers (fibres, cheveux, ADN) ou l'altération des indices déjà présents : Port d'équipements de protection individuelle (EPI), cheminement unique (Un couloir d'accès est matérialisé par des flèches pour que les intervenants suivent tous le même trajet, minimisant ainsi les perturbations)</p> <p>3. La Fixation de l'État des Lieux : Figer le Temps</p> <p>Avant toute manipulation, la scène doit être "fixée", c'est-à-dire documentée dans son état originel : photographies (avec les numéros des indices et une échelle métrique), vidéo (pour modélisation 3D), notes détaillées (température, odeur, éclairage ...)</p> <p>4. La Recherche et la Collecte des Traces et Indices : Une Quête Minutieuse</p> <p>Chaque indice potentiel, du plus visible au plus infime, est recherché, prélevé et conditionné avec le plus grand soin en faisant un quadrillage de la scène de crime. Chaque prélèvement est placé dans un emballage scellé, étiqueté et numéroté. La nature de l'indice, son emplacement, la date et l'heure du prélèvement, ainsi que l'identité du préleveur y sont mentionnés.</p>



Activité 3

Donner les messages codés aux élèves et leur montrer la vidéo de l'enquêteur. Le papier retrouvé dans la poubelle donne des indices sur clé de déchiffrement. Les 31 nombres correspondent aux jours dans un mois. En lisant la date du mail, on retrouve une clé de décodage dans le tableau.

Après questionnement avec les élèves donner les informations sur les codes et le décodage pour qu'ils puissent décoder les messages avec la méthode de leur choix.

Message important 21 du 26 août

Xyefovvo mywvxno : Sv pked zbynesbo msxa usvyqbkwwoc od dbkxcwoddbo k fydbo myxdkmd vymkv. Vx vsfbkscyx ocd zbofeo vo nyejo cozdowlbo. Vo zbsh bocdo sxmrkxqo. Vo bocoke Mylkvd.

Néon

Code avec décalage de 10 (le Néon est l'élément n°10) :

Nouvelle commande : Il faut produire cinq kilogrammes et transmettre à votre contact local. La livraison est prévue le douze septembre. Le prix reste inchangé. Le réseau Cobalt.

Message important 22 du 16 septembre

Rk ink1 kyz skiutzktz jk rg wagtzozk robxkk. Yo buay t'kzky vgy igvghrk jk vxujaoxk, ut lkxg gvvkr g at gazxk luaxtoyykax. Or tuay lgaz naoz qorumxgssky vuax rk jkad uizuhk. Yo buay tk vxujaoykf vgy gyykf, rk vxod hgoyykgx ! Rk xkykga Iuhgrz.

Guitare

Code avec décalage de 6 (la guitare a 6 cordes) :

Le chef est mécontent de la quantité livrée. Si vous n'êtes pas capable de produire, on fera appel à un autre fournisseur. Il nous faut huit kilogrammes pour le deux octobre. Si vous ne produisez pas assez, le prix baissera ! Le réseau Cobalt.

Message important 23 du 4 octobre

Jwqlmab, dwca vm xwcdmh xia dwca uwycmz lc zmamic Kwjitb quxcvmumvb ! Vwbzm xibqmvkm i lma tqubma. Dwca nqvqzmh xiz mv xigmz tma kwvamycmvkma ! Ti tqdziqawv mab quxmzibqdmumvb xzwoziuumm tm bzmvmw kwbwjm. Vm vwca lmkmdmh xia.



Code avec décalage de 8 (il y a 8 pions blanc dans un jeu d'échecs) :

Boidest, vous ne pouvez pas vous moquer du réseau Cobalt impunément ! Notre patience a des limites. Vous finirez par en payer les conséquences ! La livraison est impérativement programmée le trente octobre. Ne nous décevez pas.



Message CB du 17 septembre 18:52
 2551452432244415115133115324335133321514244441354
 4244524214251152511241132113311244435341545255145
 2432244415331533153215331145154324153214513254131
 5151315425124133533331534131511114545244315433211
 4545153445243534251521154311244535514533353441354
 4442412321541355143431544411513451543331544153422
 112215331534454412352414154445

Code carré de Polybe simple
 J'utilise au maximum le dispositif que j'ai à la maison et
 j'utilise même le matériel du lycée ce qui commence à attirer
 l'attention. Je ferai tout mon possible pour respecter mes
 engagements. Boidest

Tableau des clés de décalage des messages en fonction du jour d'envoi. Soit à
 mettre sur la scène de crime (Activité 2 optionnelle) soit fournir aux élèves la vidéo.

1	2	3	4	5	6	7
Merveilles	Marignan	Guitare	Pions	Doigts	Zodiaque	Ne
8	9	10	11	12	13	14
Doigts	Ne	Pions	Guitare	Marignan	Merveilles	Zodiaque
15	16	17	18	19	20	21
Marignan	Guitare	Merveilles	Zodiaque	Pions	Ne	Doigts
22	23	24	25	26	27	28
Zodiaque	Pions	Doigts	Merveilles	Ne	Guitare	Marignan
29	30	31				
Ne	Merveilles	Pions				

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	- Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée.	Activité n°1
ANA	- Choisir, élaborer, justifier un protocole.	Activité n°2
VAL	- Mettre en œuvre les étapes d'une démarche.	Activité n°3
COM	- Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente.	Activité n°2 et 3

Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Transversal	Utilisation du langage de programmation Python	Activité n°3



PARTIE 2 : Etude du refroidissement d'un corps

ACTIVITE 1. Introduction

- **Objectifs** : Questionner les élèves sur les méthodes pour dater un décès.
- **Matériel** : /
- **Ressources disponibles** : Document 1
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Questionnement de 5 minutes.

Document 1 :

Dater le décès et en trouver les causes : L'une des priorités des enquêteurs est de déterminer la date, voire l'heure de la mort, puis d'en connaître les causes. C'est le travail des médecins légistes. Les enquêteurs travaillent avec les Instituts médico-légaux.

Source : <https://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr/gendinfo/dossiers/criminalistique-le-futur-des-a-present/les-experts-des-scenes-de-crime>

Questions

1. Comment dater l'heure d'un décès ?
2. De quoi dépend la vitesse de refroidissement d'un corps ?

ACTIVITE 2. Courbe de refroidissement

- **Objectifs** : Suivre et comparer l'évolution de la température de refroidissement d'un système (tracer une courbe). Vérifier qualitativement la validité des correctifs de la modélisation de Henssge.
- **Matériel** : bouilloire, 12 béchers de 150 mL forme haute, bouchons en polystyrène, thermomètres, « chaussettes en coton », cristallisoirs, ventilateur. (Il est éventuellement possible d'utiliser une thermistance CTN pour les mesures à la place du thermomètre si le chapitre a été fait en physique chimie)
- **Ressources disponibles** : Document et protocole, feuille de réponse.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : on demande aux élèves de mettre en œuvre le protocole, de tracer la courbe avec leurs résultats et de comparer les résultats des groupes pour valider les coefficients de Henssge.

Document 2 : La datation du crime par mesure de la température du cadavre

La température corporelle

L'homme est un mammifère homéotherme, c'est-à-dire que sa température interne, grâce à un mécanisme de thermorégulation, reste constante malgré les variations de température du milieu ambiant. La température normale d'un être humain vivant au repos est de 37,2°C. Quand un organisme meurt, le phénomène de régulation de température disparaît. La température du corps va donc progressivement évoluer jusqu'à être égale à la température ambiante.

Modélisation du refroidissement

Un modèle mathématique a été élaborée par le Dr. Claus Henssge permettant de trouver l'heure de décès à partir de la température interne du corps (du foie ou rectale), d'une température ambiante, et de la masse de l'organisme

On obtient le délai *post-mortem* entre 0 et 80 heures pour **un corps nu dans un air calme**. Il est donc souvent nécessaire de faire intervenir des éléments de corrections qui réduisent ou accélère le refroidissement d'un facteur correctif Cf. Ces corrections dépendent des conditions dans lesquelles le cadavre a été retrouvé (corps habillé ou non, air en mouvement, corps retrouvé dans une eau stagnante).



Autrement dit il faut multiplier le délai post-mortem obtenu par ce facteur Cf afin de déterminer plus précisément l'heure du crime.

Si Cf est supérieur à 1, le corps se refroidit plus lentement. Un facteur Cf inférieur à 1 indique que le corps se refroidira plus vite.

Exemples :

- Corps nu, air calme : Cf = 1,0 (situation standard du nomogramme))
- Corps habillé chaudement (plus de 4 couches de vêtements), air calme : Cf = 1,4
- Corps habillé chaudement et vêtements humides, air calme : Cf = 1,2

Exemple : Sur le graphique, la température du corps nu dans un air calme chute à 20°C au bout de 22 h. Si ce corps est peu habillé et exposé au vent (air en mouvement), il faut affecter un facteur correctif Cf = 0,9 donc il atteint la température de 20°C au bout du temps $t = 22 \text{ h} \times 0,9 = 19,8 \text{ h}$.

Document 3 : Obtention de la courbe de refroidissement expérimentale d'un corps

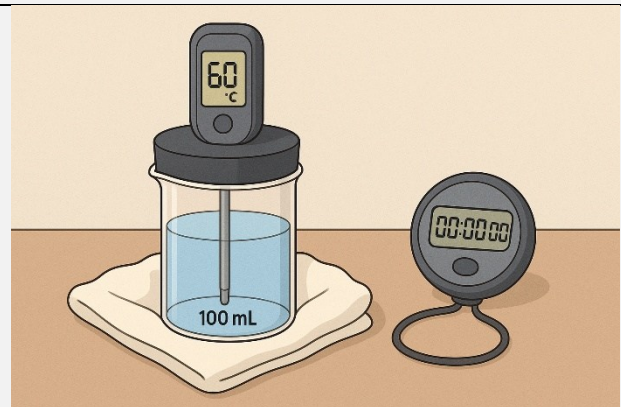
L'objectif de cette activité est d'estimer certains facteurs de correction. Les expériences de Henssge ont été faites avec des corps humains. Nous allons modéliser notre situation avec un système constitué d'un béccher de 150mL contenant 100 mL d'eau chaude et étudier son refroidissement dans différentes conditions

On étudie **plusieurs situations** (chaque groupe en étudie une) :

- Corps nu
- Corps chaudement habillé
- Corps dans eau stagnante
- Corps nu, air en mouvement

Dispositif expérimental pour étudier le refroidissement d'un corps :

On étudie **plusieurs situations** (chaque groupe en étudie une) :



Protocole

- Chauffer l'eau à 60°C environ.
- Prélever un volume $V = 100 \text{ mL}$ d'eau avec l'éprouvette graduée en prenant garde à ne pas se brûler.
- Placer le béccher dans la situation demandée avec un bouchon et un thermomètre.
- Lorsque la température atteint $T_0 = 50^\circ\text{C}$, démarrer le chronomètre. Relever la valeur de la température toutes les minutes pendant 15 minutes.

Matériel

- Béccher de 150 mL forme haute avec « bouchon en polystyrène)
- Thermomètre
- Chronomètre
- Eau
- Bouilloire ou plaque chauffante
- Tissus « chaussette » en coton (ou autre)
- Petit cristalliseur avec 150 ml d'eau
- Éprouvette graduée de 100 mL
- Ventilateur



<ul style="list-style-type: none">• Les valeurs seront présentées dans un graphique de T (°C) en fonction de t (en min)	Feuille de réponse
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------

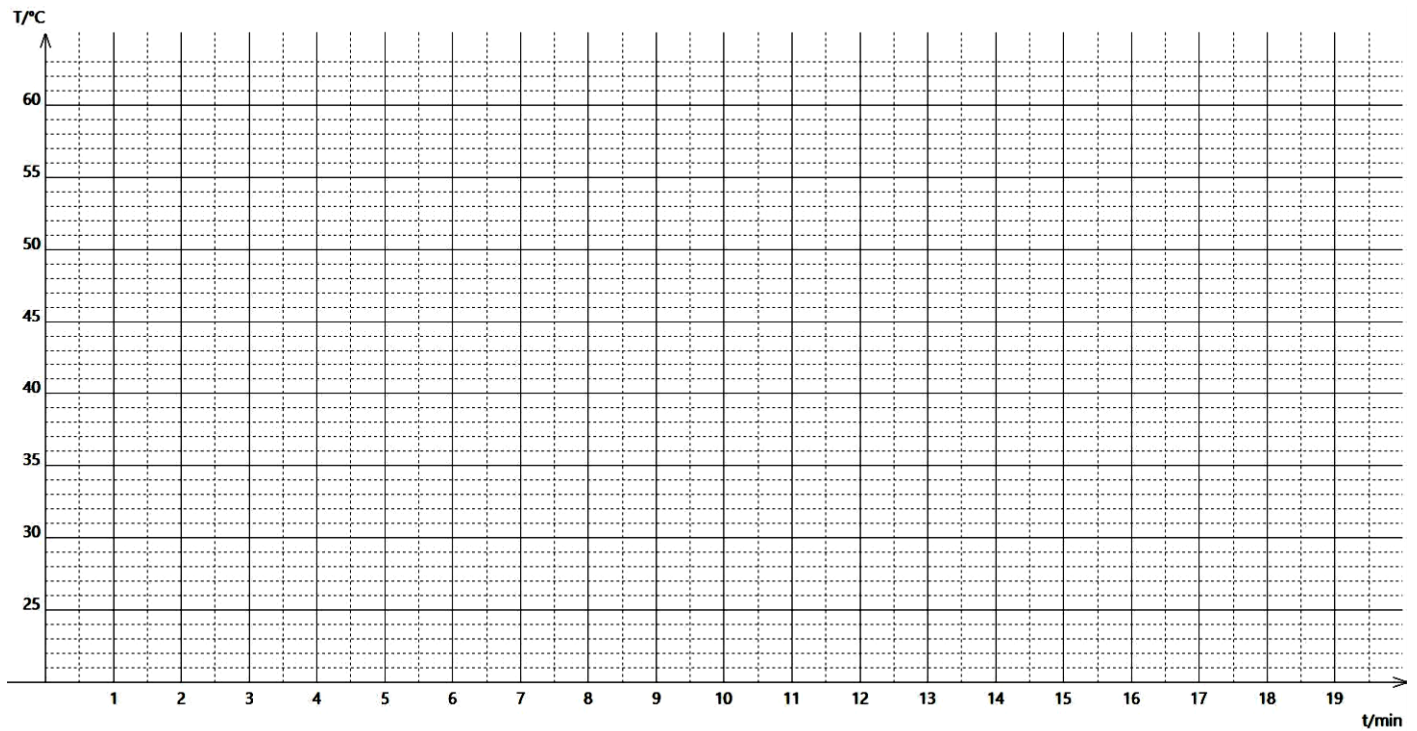
Questions

1. Compléter le protocole pour tenir compte de la situation proposée
2. Réaliser le protocole et compléter le tableau et faire le graphique de la température T en °C en fonction du temps t en s.
3. Noter la température ambiante de la salle.
4. Noter au tableau, pour tous les groupes, la température au temps t = 10 min. Faire la moyenne des groupes étudiant les mêmes situations en excluant les valeurs incohérentes s'il y en a.
5. A l'aide de l'expérience témoin (a béccher simple), comparer les vitesses de refroidissement dans les 3 situations (b c et d). Interpréter ces résultats.
6. Estimer le facteur correctif de chaque situation, utilisé par Henssge dans sa modélisation.



1) Mesures et graphique de T en fonction de t : Situation étudiée :

t en min	0																			
T en °C	60°C																			



2) T ambiante = °C

3) Tableau de mesures des groupes :

Situations étudiées	Température à 10 min des groupes			Moyenne
Bécher « nu » (situation témoin)				
Bécher habillé par une écharpe				
Bécher dans l'eau				
Bécher dans un courant d'air				



Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

<p>Activité 1</p> <p>Questionnement des élèves</p> <p>5 minutes</p>	<p>3. Comment dater l'heure d'un décès ?</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mesure de la température. ✓ Observation de la lividité cadavérique, la rigidité cadavérique et l'opacification de la cornée. ✓ Dosage du potassium, état de putréfaction, présence d'insectes nécrophages. ✓ Dosage des isotopes. <i>Source et compléments</i> <p>4. De quoi dépend la vitesse de refroidissement d'un corps ?</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Température ambiante (froid accélère, chaleur ralentit). ✓ Humidité et ventilation (air sec/ventilé refroidit plus vite). ✓ Poids et taille du corps (masse importante refroidit plus lentement). ✓ Vêtements ou couverture (isolent et ralentissent le refroidissement). ✓ Position du corps (étendu refroidit plus vite qu'en position fœtale). ✓ Cause du décès (infections ou fièvre avant la mort peuvent modifier la courbe).
<p>Activité 2</p>	<p>Après les mesures, les élèves observent que</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Le béccher « habillé » refroidit moins vite que le béccher nu. ✓ Le béccher dans l'eau et le béccher dans un courant d'air refroidit plus vite que le béccher nu. <p>Les coefficients d'Henssge donnent Cf = 1 corps nu ; Cf = 1,2 corps habillé modérément ; Cf = 0,5 corps nu dans l'eau stagnante ; Cf = 0,75 corps nu dans de l'air en mouvement. Ce qui est cohérent avec les observations.</p>

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée	Activité n°2
ANA	Formuler des hypothèses	Activité n°1
	Procéder à des analogies	Activité n°2
REA	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche	Activité n°2
	Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité à partir d'un schéma ou d'un descriptif.	Activité n°2
VAL	Effectuer des procédures courantes (collectes de données, représentation graphique).	Activité n°2
	Confronter un modèle à des résultats expérimentaux	Activité n°2
COM	Valider ou invalider une hypothèse en argumentant.	Activité n°2
	Utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés	Activité n°2



Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Signaux et capteurs	Capteurs électriques : Mesurer une grandeur physique à l'aide d'un capteur électrique résistif	Activité n°2

Liens avec le programme de physique chimie de terminale générale (modestement !)

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Effectuer des bilans d'énergie sur un système : le premier principe de la thermodynamique	Suivre et modéliser l'évolution de la température d'un système incompressible.	Activité n°2



PARTIE 3 : Modélisation du refroidissement d'un corps

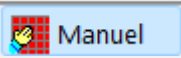
ACTIVITE 1. Modélisation des données expérimentales

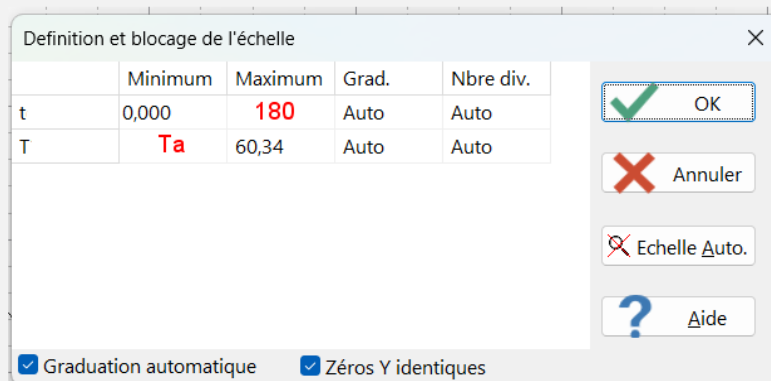
La modélisation des données expérimentales en physique-chimie est une démarche fondamentale qui consiste à **construire un modèle (souvent mathématique)** à partir des résultats obtenus lors d'expériences. L'objectif principal est de **décrire, comprendre, expliquer et même prédire le comportement d'un système** physique ou chimique.

- **Objectifs** : Montrer le principe de la modélisation avec Regressi
- **Matériel** : /
- **Ressources disponibles** : Logiciel Regressi
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Faire le travail sur Regressi en suivant le protocole du document 1. Répondre aux questions. Travail estimé à 15 min.

Document 1 : Protocole pour la modélisation sur Regressi

On utilisera le logiciel Regressi :

- Remplir les données que vous avez mesurées lors de la partie 2 dans le tableau de mesures (Fichier/Nouveau/Clavier) en précisant les grandeurs et unités suivantes : T en °C et t en min
- Afficher la température T (ordonnées) en fonction de t (abscisses) à l'aide du menu graphe / Coord..
- Modéliser le nuage de points avec l'équation $T = T_a + (T_0 - T_a) \times \exp(-t/k)$
Ta est la température ambiante et T₀ la température initiale
- Cliquer sur Ajuster afin d'obtenir les coefficients a et k calculés par Regressi.
- Noter les valeurs de a et de k sur votre compte rendu.
- Changer l'échelle de Regressi  pour régler le maximum de l'abscisse à 180 min et le minimum de l'ordonnées à la valeur de Ta



Questions

5. En utilisant la courbe de modélisation, déterminer, avec 3 chiffres significatifs, la température qui sera atteinte par votre béccher au bout d'1 heure.
6. Déterminer également le temps qu'il faudra pour atteindre la température de 35°C.
7. Quel est l'intérêt de cette modélisation ?



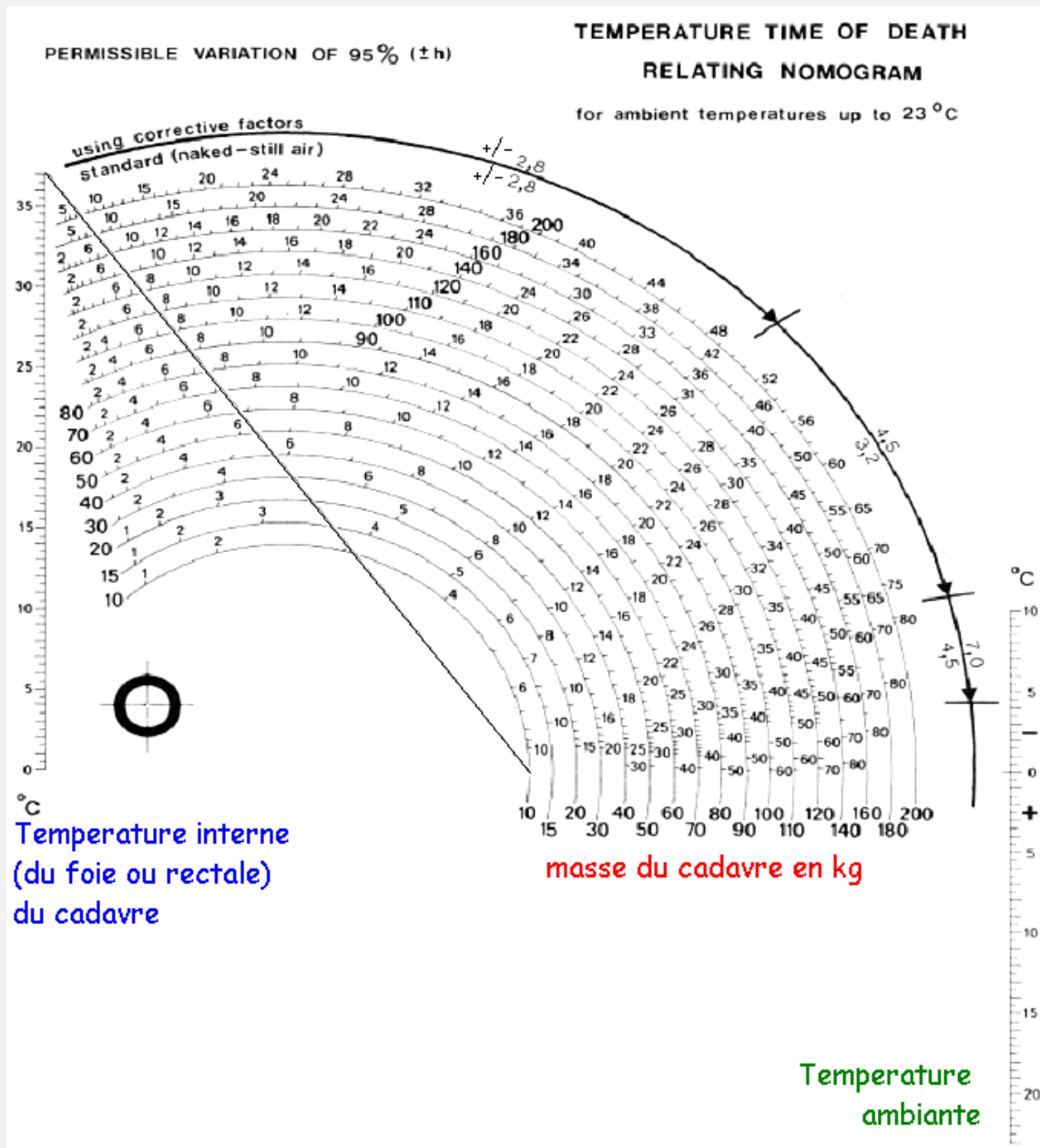
ACTIVITE 2. Le nomogramme d'Henssge

Pour faciliter le travail du médecin légiste à l'époque où il n'y avait pas d'ordinateurs, Claus Henssge a créé un graphique permettant de déterminer, en fonction de la température du corps, de la température ambiante et de la masse de l'individu, la date probable de la mort. C'est le **nomogramme de Henssge**.

- **Objectifs** : Suivre le protocole de lecture du nomogramme pour arriver à dater le décès. Introduire la notion d'incertitudes.
- **Matériel** : /
- **Ressources disponibles** : Document et protocole, feuille de réponse.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** : Après explication détaillée de la démarche en utilisant l'exemple corrigé de la situation 1, les élèves font l'exercice de la situation 2 en autonomie pour s'exercer puis traitent la situation de l'enquête.

Document 2 : Utilisation du nomogramme

- On note les données importantes du rapport du légiste.
- On trace un trait reliant la température interne (à gauche) et la température ambiante (à droite). Ce trait coupe la droite diagonale noire en un point I.
- On trace alors une seconde droite partant du centre de la cible et passant par le point I précédent.
- En se basant sur cette droite, on lit le délai post-mortem H en heures sur l'intersection avec l'arc de cercle correspondant à la masse corporelle en kg.
- Sur l'arc le plus extérieur, on lit l'incertitude sur ce délai H suivant qu'il y aura ou pas des facteurs correctifs à appliquer (Cf)
- On applique le facteur correctif (si nécessaire) suivant la situation (*) : $H' = H \times Cf$.
- En retranchant H' à l'heure des mesures, on obtient la datation de la mort avec une incertitude et une fiabilité correspondante de 95%.



(*) On obtient le délai *post-mortem* pour un corps nu dans un air calme. Il est donc souvent nécessaire de faire intervenir des éléments de corrections qui réduisent ou accélère le refroidissement d'un facteur Cf. Si Cf est supérieur à 1, le corps se refroidit plus lentement. Un facteur Cf inférieur à 1 indique que le corps se refroidira plus vite.

Facteur correctif (Cf)

- Corps nu, air calme : Cf = 1,0 (situation standard du nomogramme))
- Corps peu habillé, air calme : Cf = 1,1
- Corps habillé modérément, air calme : Cf = 1,2
- Corps habillé chaudement (plus de 4 couches de vêtements), air calme : Cf = 1,4
- Corps très habillé, très couvert, lit : Cf = 2 à 2,4

- Corps nu, air en mouvement : Cf = 0,75



- Corps peu habillé, air en mouvement : Cf = 0,9
- Corps habillé modérément, air en mouvement : Cf = 1,2
- Corps habillé chaudement, air en mouvement : Cf = 1,4

- Corps nu et mouillé, air calme : Cf = 0,5
- Corps peu habillé et vêtements humides, air calme : Cf = 0,8
- Corps habillé modérément et vêtements humides, air calme : Cf = 1,2
- Corps habillé chaudement et vêtements humides, air calme : Cf = 1,2

- Corps nu et mouillé, air en mouvement : Cf = 0,7
- Corps peu habillé et vêtements humides, air en mouvement : Cf = 0,7
- Corps habillé modérément et vêtements humides, air en mouvement : Cf = 0,9
- Corps habillé chaudement et vêtements humides, air en mouvement : Cf = 0,9

- Corps nu dans l'eau stagnante : Cf = 0,5
- Corps peu habillé dans l'eau stagnante : Cf = 0,7
- Corps habillé modérément dans l'eau stagnante : Cf = 0,9
- Corps habillé chaudement dans l'eau stagnante : Cf = 1,0

- Corps nu dans l'eau courante : Cf = 0,35
- Corps peu habillé dans l'eau courante : Cf = 0,5
- Corps habillé modérément dans l'eau courante : Cf = 0,8
- Corps habillé chaudement dans l'eau courante : Cf = 1,0

Notion d'incertitude de la détermination du délai *post-mortem*

La méthode de détermination du délai post-mortem à l'aide du diagramme et des différentes mesures réalisées, est incertaine.

La quantification de ce doute est l'incertitude. Autrement dit la datation de la mort dépend de la valeur du délai post mortem et de l'incertitude correspondante

Exemple : on trouve un délai post mortem de 12h avec une incertitude de 2,8h ce qui situe la date de la mort entre $12-2,8 = 9,2$ h et $12+2,8 = 14,2$ h avant la mesure des températures.

Le nomogramme indique les incertitudes à appliquer suivant les situations :

- Standard (naked, still air) : prendre cette valeur si on est dans la situation standard (nu, dans un air calme).
- Using corrective factors : prendre cette valeur si on utilise des facteurs correctifs pour déterminer le délai post mortem.



Document 3 : exemple d'une situation

Situation 1 : On retrouve un corps nu dans une mare le 13 novembre. Celui-ci pèse 80 kg et sa température interne, mesurée par le légiste à 18h15, est de 20 °C. On mesure la température de l'eau et on trouve 10°C.

Solution du cas 1 :

Masse du corps (en kg)	Description du corps et de son milieu	Température interne (en °C)	Température extérieure (en °C)	Heure des mesures sur le corps	Durée écoulée estimée par le diagramme H	Incertitude donnée par le diagramme	Délais post mortem après application éventuelle du facteur correctif
80 kg	Nu dans une mare (eau stagnante)	20°C	10°C	18h15	22,5	+/- 4,5 avec correctif	22,5 × 0,5 = 11,25

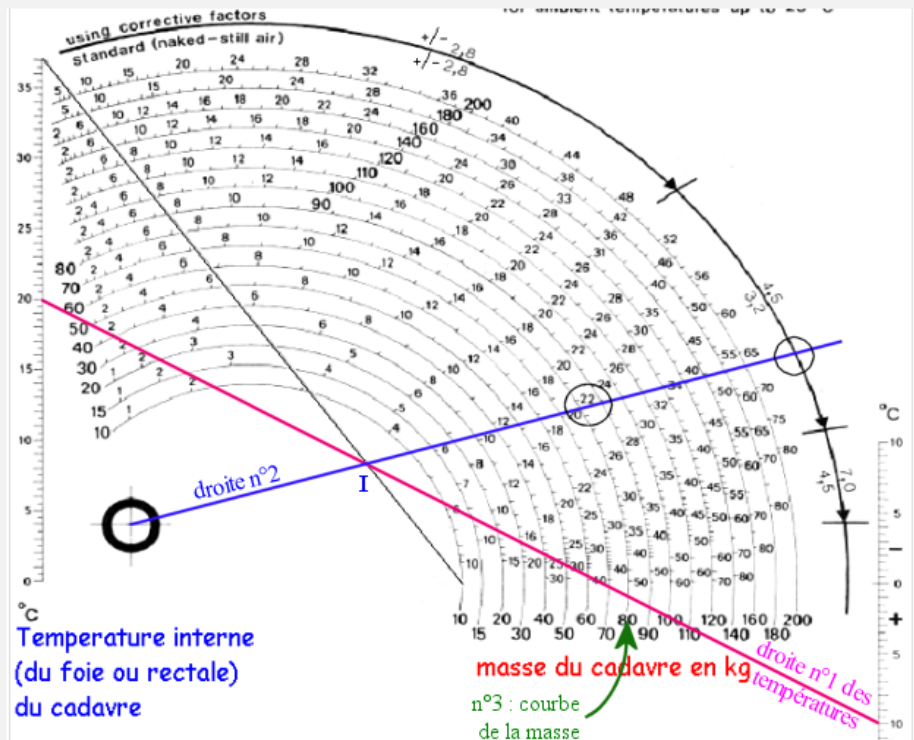
Solution du cas 1 :

Sur le nomogramme, on lit 22,5 heures pour l'estimation, puis on applique le facteur correctif : étant donné que le corps a été retrouvé nu dans de l'eau stagnante, il faut multiplier le délai estimé par Cf = 0,5.

On obtient donc $H' = 0,5 \times 22,5 = 11,25$ heures.

L'incertitude sur ce temps est, dans ce cas précis, de + ou - 4,5 h (car on a utilisé des facteurs correctifs) ce qui place la date de la mort entre 6,75h et 15,75h avant la mesure sur le corps.

Soit le 13/11 entre 2h30 et 11h30.



Le résultat est présenté sous la forme d'un encadrement $2h30 \leq H' \leq 11h30$ car, comme toute mesure en physique, le résultat présente des incertitudes.

Plus la date de décès est ancienne, plus les incertitudes seront importantes.

Il y a d'autres méthodes pour dater le décès d'un corps, elles peuvent être utilisées pour confirmer la valeur obtenue par mesure de la température :

Le pH et la fluidité cadavérique. Le dosage du potassium dans l'humour vitré de l'œil. L'antémortelle.



Document 4 : situation n°2

Le matin du 25 décembre, il fait 5°C avec du vent, sans pluie. Un homme corpulent de 110 kg, habillé d'un épais manteau rouge et blanc a été retrouvé mort. Le légiste mesure une température interne de 30°C à 9h00 du matin.

Document 5 : Rapport du légiste



Laboratoire de médecine légale

Affaire Boidest Claude 57 ans, retrouvé mort le 27 octobre

Constatations du légiste

Le 27 octobre à 7h15 du matin, Mme Hélène Richard, préparatrice au laboratoire de physique, découvre le corps sans vie de M. Claude Boidest dans la salle 370. Elle prévient aussitôt les pompiers qui constatent rapidement le décès et avertissent les services de la gendarmerie.

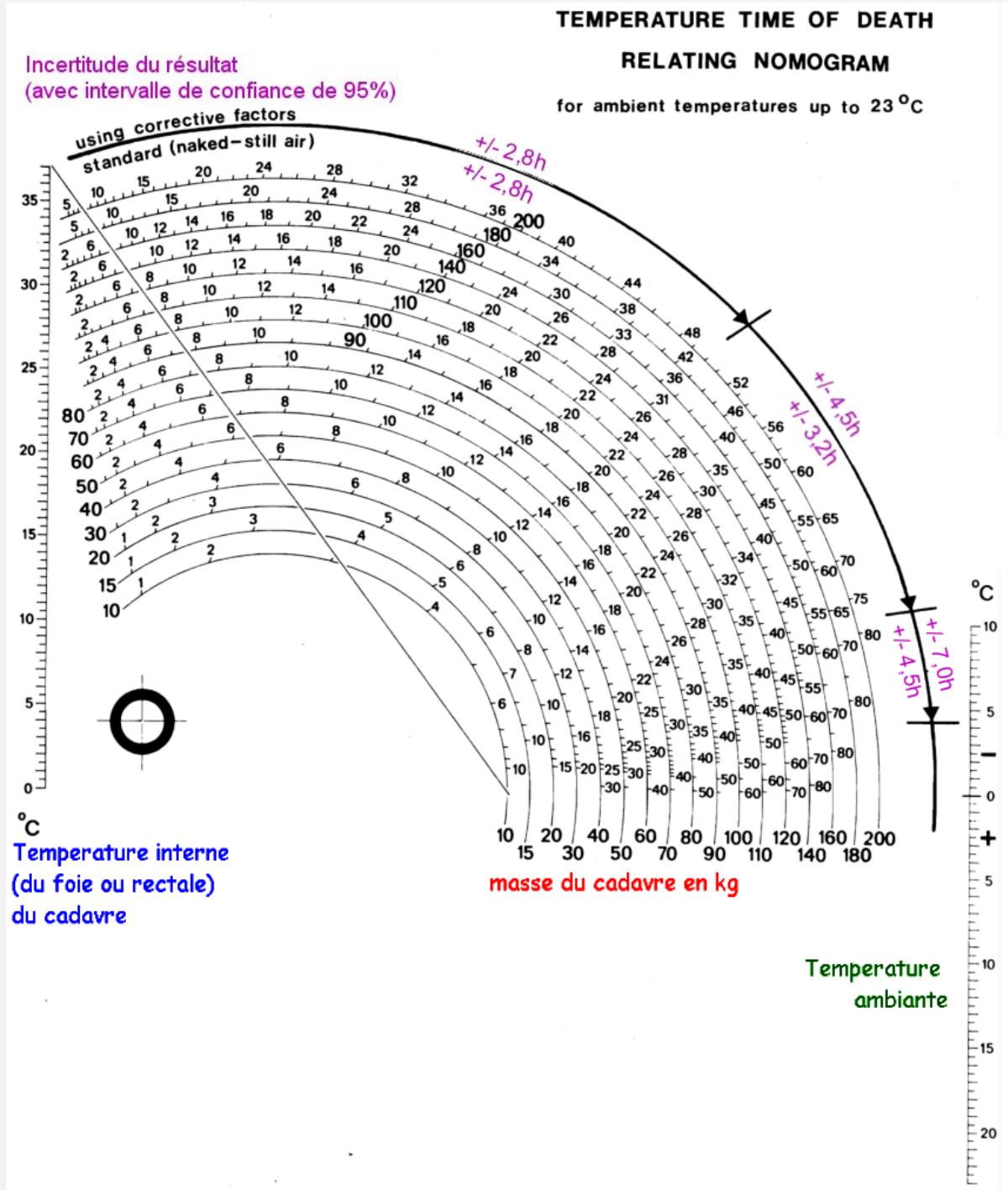
Le médecin légiste arrive sur les lieux à 8h30 et fait ses premières constatations avant un examen plus approfondi :

Présence d'un homme environ 80 kg, la cinquantaine, étendu au sol sur le dos avec 2 plaies d'arme à feu (un impact à l'épaule droite et l'autre au-dessus du cœur qui a sans doute perforé l'aorte causant une hémorragie fatale). La température du foie prise à 8h30 est de 32,0 °C. L'homme est habillé normalement (pantalon, chemise, pull). Les fenêtres de la salle sont fermées et la température du chauffage pendant la nuit est réglée à 20°C. Les lividités cadavériques dans le dos indiquent que le cadavre n'a pas été déplacé et la rigidité complète du cadavre laisse à penser que la mort remonte à entre 6 heures et 48 heures.

Sylvie Scalpel, médecin légiste assermentée



Document 6 : Nomogramme, feuille réponse.





Données et mesures :

Masse du corps (en kg)	Description du corps et de son milieu	Température interne (en °C)	Température ambiante (en °C)	Date et heure des mesures sur le corps	Durée écoulée estimée par le diagramme H	Incertitude donnée par le diagramme

On applique le facteur correctif Cf = Ce qui donnera H' =

Avec l'incertitude : ≤ H' ≤

Conclusion : la victime est décédée entre

.....h..... le eth..... le

Questions

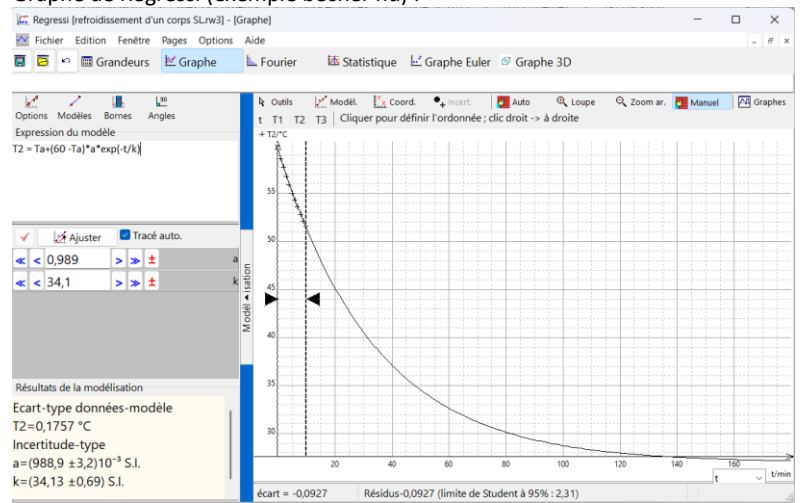
1. A l'aide du nomogramme du document 6, déterminer un encadrement de l'heure de décès de situation n°2 :
2. A l'aide du nomogramme du document 4, déterminer un encadrement de l'heure de décès dans le cadre de notre enquête (document 5).
3. Confronter cette plage horaire avec les alibis des suspects.



Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

Activité 1

Graphe de Regressi (exemple bécner nu) :

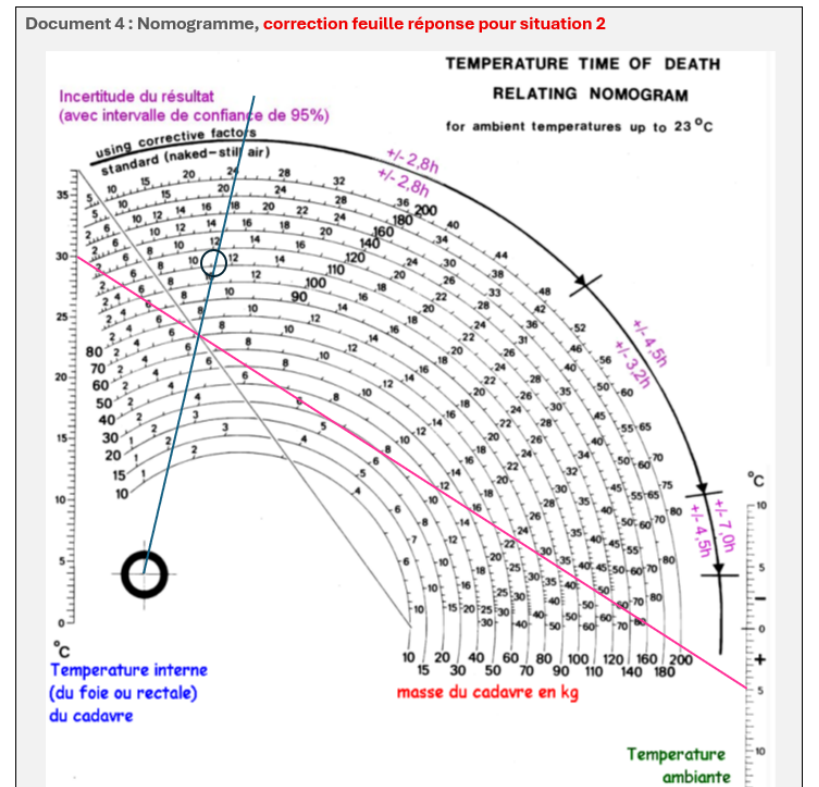


a et k en fonction de la situation étudiée

1. $T(1h) = 30,6^{\circ}\text{C}$ dans l'exemple joint
2. $t(35^{\circ}) = 47,95$ min dans l'exemple joint
3. Cette modélisation permet de trouver une fonction mathématique reliant la température au temps de refroidissement. Grâce à cette modélisation on peut ainsi prévoir les résultats dans d'autres situations en supposant que le modèle est tout le temps valable.

Activité 2

Correction situation 2 (à faire en exercice en classe) :





Données et mesures :

Masse du corps (en kg)	Description du corps et de son milieu	Température interne (en °C)	Température ambiante (en °C)	Date et heure des mesures sur le corps	Durée écoulée estimée par le diagramme H	Incertitude donnée par le diagramme
110 kg	habillé d'un épais manteau. Météo : vent, sans pluie.	30°C	5°C	9h00 le 25/12	11,1 h	+/- 2,8

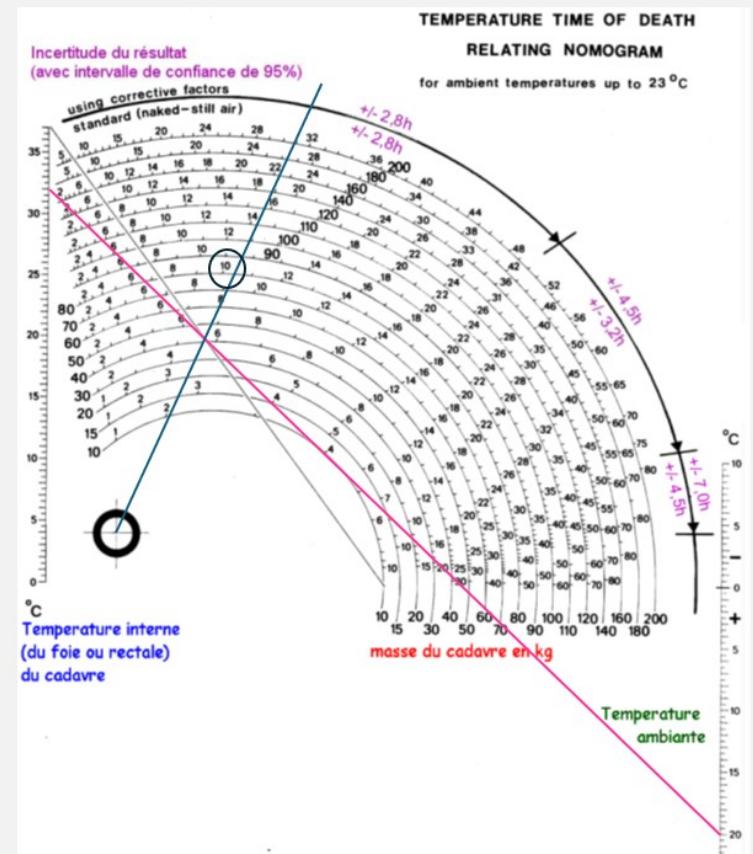
On applique le facteur correctif Cf = 1,4 ce qui donnera H' = 15,5 h
(Corps habillé chaudement, air en mouvement : Cf = 1,4)

Avec l'incertitude : $12,7 \leq H' \leq 18,3$

Conclusion : la victime est décédée entre 14 h 42 le 24/12 et 21 h 18 le 24/12

Correction de l'enquête (à ramasser éventuellement) :

Document 4 : Nomogramme, correction feuille réponse pour situation 2



Données et mesures :

Masse du corps (en kg)	Description du corps et de son milieu	Température interne (en °C)	Température ambiante (en °C)	Date et heure des mesures sur le corps	Durée écoulée estimée par le diagramme H	Incertitude donnée par le diagramme
80 kg	habillé normalement Météo : dans une salle fermée	32°C	20°C	8h30 le 27/10	10,5 h	+/- 2,8



	<p>On applique le facteur correctif $C_f = 1,2$ ce qui donnera $H' = 12,6$ h</p> <p>(Corps habillé modérément, air calme : $C_f = 1,2$)</p> <p>Avec l'incertitude : $9,8 \leq H' \leq 15,4$</p> <p><u>Conclusion</u> : la victime est décédée entre 17 h 06 le 26/10 et 22 h 42 le 26/10</p> <p>Comparaison avec les alibis : Sous réserve de vérification de la véracité : Hélène Richard et Jean Claude Avert ont un alibi plus solide que les autres. Virginie Lejeune et Alexandre Martino aussi sauf s'ils sont complices. En conclusion, vu la plage horaire donnée, la plupart des suspects ont eu la possibilité de commettre le crime.</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Se mobiliser en cohérence avec les consignes données ; extraire des informations utiles d'un texte ou d'une représentation conventionnelle (schéma, tableau, graphique,...)	Activité n°2 et n°1
ANA	Faire des prévisions à l'aide d'un modèle.	Activité n°1
REA	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche	Activité n°2 et 1
	Réaliser ou compléter un schéma	Activité n°2
VAL	Maîtriser certains gestes techniques (utiliser les outils informatiques : Regressi)	Activité n°1
	Calculer l'incertitude d'une mesure	Activité n°2
	Confronter un modèle à des résultats expérimentaux	Activité n°2

Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Mesure et incertitudes	Notion d'incertitude	Activité n°2

Liens avec le programme de physique chimie de terminale générale (modestement !)

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Effectuer des bilans d'énergie sur un système : le premier principe de la thermodynamique	Modéliser l'évolution de la température d'un système incompressible.	Activité n°1



PARTIE 4 : Morphoanalyse de traces de sang

ACTIVITE 1. Analyse des traces de sang passives

Le sang est un élément primordial sur une scène de crime, il permet d'établir un profil génétique mais pas seulement : où le sang atterrit, comment il atterrit, sa consistance, la taille et la forme de ses gouttelettes ou éclaboussures, peuvent révéler de nombreux aspects importants du crime. L'étude de ces données s'appelle la morphoanalyse des traces de sang.

Objectifs : Etablir une courbe de modélisation reliant le diamètre d'une tache de sang passive à la hauteur de chute. Exploiter cette courbe avec une tache de sang à analyser.

Matériel : Feuille blanche, faux sang (voir composition en annexe), pipette plastique, bécher, réglet, téléphone (appareil photo), PC.

Ressources disponibles : Tableur grapheur (Libre office, Excel ou Regressi , Site de référence : <https://www.police-scientifique.com/les-traces/morphoanalyse/#:~:text=Mais%20qu'est%2Dce%20que,morphoanalyse%20de%20trace%20de%20sang>.

Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles : Après explications les élèves peuvent travailler en autonomie. Le graphique et la modélisation peuvent se faire sur Regressi si les élèves connaissent le logiciel.

Document 1 : Différentes traces de sang

D'un point de vue physique, le sang est une **suspension complexe** (un mélange de cellules solides dans un liquide). Sa densité moyenne est d'environ 1,050 à 1,060. Le sang est 3 à 4 fois plus visqueux que l'eau.

Sur une scène de crime on va retrouver principalement 3 types de traces de sang :

Les traces de sang passives, formées par des gouttes tombant à la verticale sur le sol, elles sont rondes ;
Les traces de sang projetées, formées lors d'un impact avec un angle sur un support, elles sont elliptiques (ovales) ;
enfin les traces de sang transférées, formées par un objet recouvert de sang sur un support, elles ont la forme de l'objet.



Photographie de scène de crime :

Document 2 : taches de sang passives

Lorsqu'une goutte de sang tombe verticalement sur une surface plane et horizontale (angle de 90°), la gravité s'exerce uniformément de tous les côtés au moment de l'impact. La forme de la goutte est alors **un cercle** presque



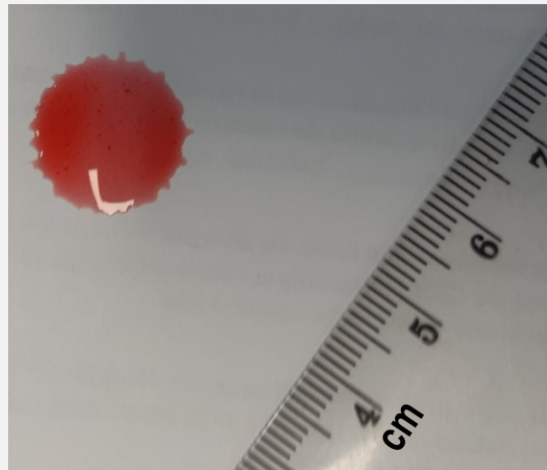
parfait. Si la goutte tombe de haut, les bords peuvent devenir irréguliers et former de petites "épines" ou créer de minuscules gouttelettes secondaires autour de la tache principale (appelées "satellites").
Le diamètre de la tache dépend du support sur lequel la goutte tombe mais aussi de la hauteur de chute.

Document 3 : Protocole de mesure du diamètre des traces de sang passives en fonction de la hauteur de chute.

- Noter hauteur h de chute donnée par le professeur (h compris entre 5 à 45 cm).
- Prendre une pipette plastique (tous les groupes ont une pipette identique).
- Aspirer un peu de « sang » dans un bécher (c'est du « faux sang » qui a la même viscosité, fabriqué avec de l'eau, de la farine de maïs et un colorant rouge).
- A l'aide du réglet, positionner le bout de la pipette à la hauteur h qu'on vous a donné) au-dessus du support (feuille de papier) sur votre table ou au sol.
- Appuyer doucement sur la pipette pour laisser tomber une goutte en évitant les bulles d'air. Recommencer plusieurs fois pour avoir 5 taches satisfaisantes.
- Prendre en photo les tâches avec votre smartphone : appareil bien parallèle à la table, mettre un réglet à côté des tâches pour servir d'échelle. Transférer la photo sur le PC.
- Utiliser Mesurim2 pour déterminer les diamètres des tâches. Faire la moyenne D_m .
- Inscrire votre résultat sur la feuille réponse et au tableau.
- A l'aide des données de la classe, faire un graphe de D_m en fonction de h sur feuille ou sur Regressi.
- Modéliser les points expérimentaux par une fonction affine. (Noter l'expression de cette fonction si vous travaillez sur Regressi).

Document 4 : Application à la tache de sang de la scène de crime.

Dans une scène de crime, on a retrouvé une trace de sang sur une feuille de papier.



Tache de sang sur une feuille de papier

Questions

8. Dans le document 1, identifier sur la photo des traces de sang passives, des traces de sang projetées et des traces de sang transférées.
9. Réaliser l'expérience sur les traces de sang passives et compléter le document réponse avec vos résultats et ceux des autres groupes.
10. A l'aide de des différents documents, décrire la trace de sang de la photographie du document 4. Utiliser la droite de modélisation obtenue dans la feuille réponse pour déterminer la hauteur de chute de cette goutte.



ACTIVITE 2. Analyse des traces de sang projetées

Lorsque la goutte frappe la surface avec un angle (par exemple, si la personne qui saigne marche, ou si la surface est inclinée, ou si le sang est projeté), la goutte "s'étale" dans la direction du mouvement. Cette goutte projetée a deux caractéristiques :

- ▶ **Forme** : Elliptique (ovale).
- ▶ **Directionnalité** : La partie la plus arrondie de la tache indique d'où vient le sang. La partie la plus pointue ou allongée indique la direction vers laquelle le sang se déplaçait. On appelle souvent cette forme un "point d'exclamation" lorsque l'angle est très faible, car une petite gouttelette satellite se détache souvent de la pointe.
- **Objectifs** : prendre des mesures sur les photos pour déterminer la direction, l'angle d'impact et la vitesse d'une goutte de sang.
- **Ressources disponibles et matériel** : PC avec Mesurim2
- **Explicitation des consignes, des attentes, tâches possibles** : Prévoir 20 min pour cette activité.

Document 1 : l'angle d'impact de la goutte

La gouttelette de sang se dirige vers le sol

Vue de profil

Surface du sol

A B

α

W : longueur
L : Largeur

A B

W : longueur
L : Largeur

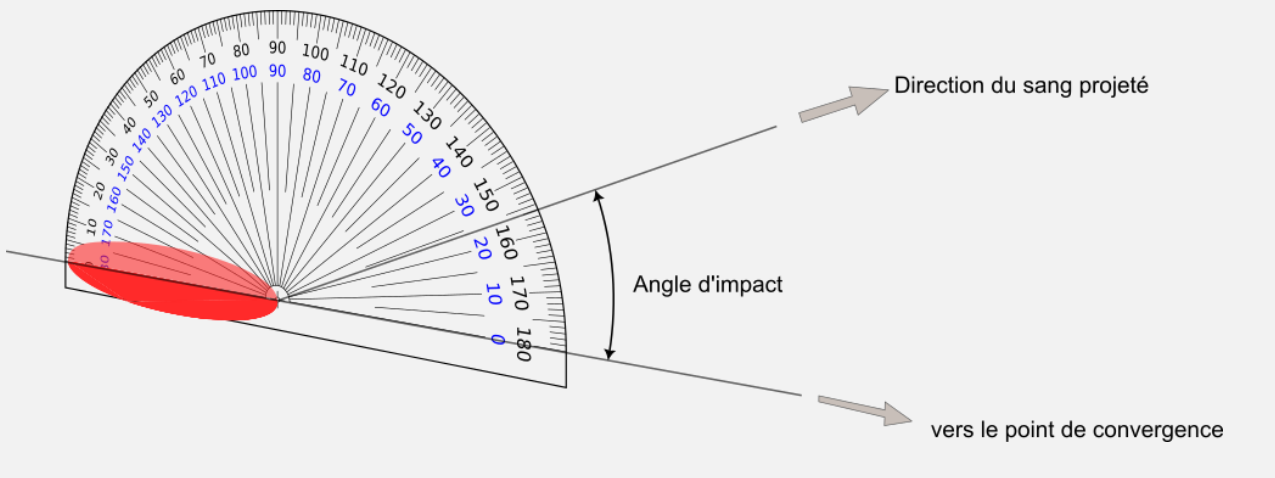
Gouttelette projetée sur le sol

Méthode pour le calcul de l'angle d'impact : une formule mathématique permet de calculer l'angle α :

$$\frac{W}{L} = \sin \alpha$$



Une fois que les experts connaissent les angles de plusieurs traces, ils peuvent commencer à placer des ficelles depuis les bords arrière des taches de sang, aux angles appropriés afin de trouver la zone d'origine de l'impact et ainsi mieux comprendre le déroulement des faits.



Document 2 : estimation de la vitesse

La vitesse des projections n'est pas la vitesse à laquelle la goutte a traversé l'air, mais c'est la quantité d'énergie donnée par la source (arme du crime) à cette goutte.

Il existe 3 types de projections :

- Les projections à **basse vitesse** : Il s'agit d'un objet (l'arme du crime) qui se déplace à $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et qui entre en contact avec une source de sang (la victime), ce qui va produire des gouttes de sang qui feront en général plus de 3 mm de diamètre ($W > 3\text{mm}$)
- Les projections à **moyenne vitesse** : L'objet se déplace cette fois-ci de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à $7,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, les taches seront alors de 1 mm à 3 mm ($1\text{mm} < W < 3\text{mm}$). Les armes pouvant produire de telles gouttes seront les objets contondants ou les couteaux.
- Les projections à **forte vitesse** : Il s'agira d'objet se déplaçant à plus de $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, les tâches seront alors encore plus petites, c'est-à-dire moins de 1mm ($W < 1 \text{ mm}$). Ce sont les armes à feu et les explosifs qui produisent de telles gouttes de sang à cette vitesse-là. Mais attention la toux et l'éternuement produisent les mêmes projections !

Questions

11. Analyser les 2 traces de sang projetées attribuées à votre groupe.
12. Donner la direction de la goutte, l'angle d'impact, la vitesse de la goutte. Compléter le document réponse.



Annexe 1 : composition du faux sang :

Pour obtenir un faux sang réaliste (**densité $\approx 1,060$** et **viscosité $\approx 3-4$ fois celle de l'eau**), il ne faut pas mélanger les ingrédients au hasard.

La **glycérine** (densité $1,26 \text{ g/cm}^3$) est l'ingrédient clé pour alourdir l'eau (densité $1,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), tandis que la **fécule de maïs** modifie la viscosité.

Les Ingrédients (pour environ 100 ml)

1. **Eau** : 75 ml (Base du plasma)
2. **Glycérine végétale** : 25 ml (Pour augmenter la densité et donner l'aspect "brillant/humide")
3. **Féculé de maïs (Maïzena)** : 1 à 2 cuillères à café (Agent viscosifiant)
4. **Colorant alimentaire rouge (liquide)** : quelques gouttes
5. **Cacao en poudre (non sucré)** : 1 petite cuillère à café (Pour foncer le rouge et ajouter de l'opacité, imitant les globules rouges)

A. Le Protocole de Préparation

Pour éviter les grumeaux (le défaut principal du faux sang amateur), suivez cet ordre précis :

1. Le "Slurry" (Pâte de base) :

Dans un bol, mélangez la fécule de maïs et le cacao en poudre. Écrasez bien les poudres pour qu'elles soient fines.

2. L'incorporation de la Glycérine :

Versez la glycérine sur le mélange de poudres. Remuez vigoureusement jusqu'à obtenir une pâte chocolatée lisse et sans aucun grumeau.

- *Pourquoi ?* La fécule se disperse mieux dans la glycérine ou l'huile que directement dans l'eau.

3. La dilution (Ajustement de la densité) :

Ajoutez l'eau progressivement tout en fouettant le mélange.

4. La coloration :

Ajoutez le colorant rouge. Mélangez. Observez la couleur.

- *Si le sang fait trop "bonbon" (rose/clair)* : Rajoutez une pincée de cacao.
- *Si le sang est trop marron* : Rajoutez du colorant rouge.

5. Ajustement final de la viscosité :

Laissez reposer 5 minutes. Plongez une cuillère et laissez couler une goutte. Si elle file trop vite (comme de l'eau), vous pouvez rajouter un tout petit peu de fécule (préalablement diluée dans un peu d'eau).

B. Pourquoi cette recette fonctionne (Explication Physique)

Voici la justification scientifique de ce mélange par rapport aux propriétés du vrai sang :

La Densité (Masse Volumique)

- Le sang a une densité de **1,060**
- L'eau est à **1,000**. La Glycérine est à **1,260**.
- Avec un mélange de **75% d'eau et 25% de glycérine**, on obtient mathématiquement une densité d'environ **1,065**. C'est extrêmement proche de la réalité. Cela signifie que vos gouttes tomberont avec la même accélération et le même impact qu'une vraie goutte de sang.

La Viscosité et la Texture

- Le sang est un **colloïde** (particules solides en suspension). Le cacao et la fécule jouent ici le rôle des globules rouges et des plaquettes : ils apportent une texture "granuleuse" microscopique qui empêche le sang d'être trop transparent.
- La glycérine empêche le mélange de sécher trop vite (le vrai sang reste poisseux en coagulant).

La Couleur

- Le sang veineux (celui qu'on voit lors d'une blessure) n'est pas rouge vif, mais rouge sombre (car pauvre en oxygène). Le cacao neutralise la brillance artificielle du colorant rouge pour imiter cette teinte ferreuse.



Précautions

- **Taches** : Ce mélange tache redoutablement les vêtements et les surfaces poreuses (à cause du colorant rouge pur).
- **Conservation** : Comme il contient de la fécule et de l'eau, ce mélange peut fermenter s'il est conservé plusieurs jours à température ambiante. Gardez-le au réfrigérateur si vous ne l'utilisez pas tout de suite.



Annexe 2 : feuille réponse

Noms des enquêteurs : groupe n° Classe :

Activité 1 : tache de sang passive

Hauteur de chute de la goutte : $h =$

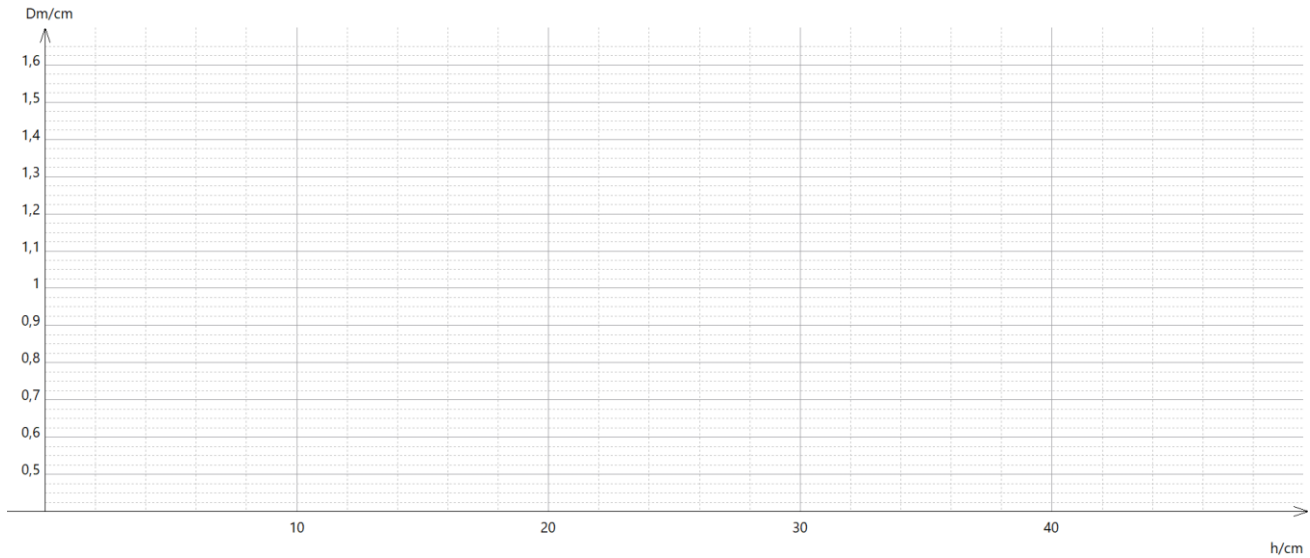
Diamètre des gouttes en cm									
----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Diamètre moyen de la tache formée : $D_m =$

Résultats de tous les groupes :

h en cm	5	10	15	20	25	30	35	40	45
D_m en cm									

Graphique :



Tache de sang inconnue à analyser :

Diamètre de la tache mesuré avec Mesurim2 :

Hauteur de chute déduite de la courbe de modélisation :

Activité 2 : tache de sang projetée

Tache n° Direction de la goutte :

Mesure de L = Mesure de W = Calcul de a =

Type de vélocité :

Tache n° Direction de la goutte :

Mesure de L = Mesure de W = Calcul de a =

Type de vélocité :

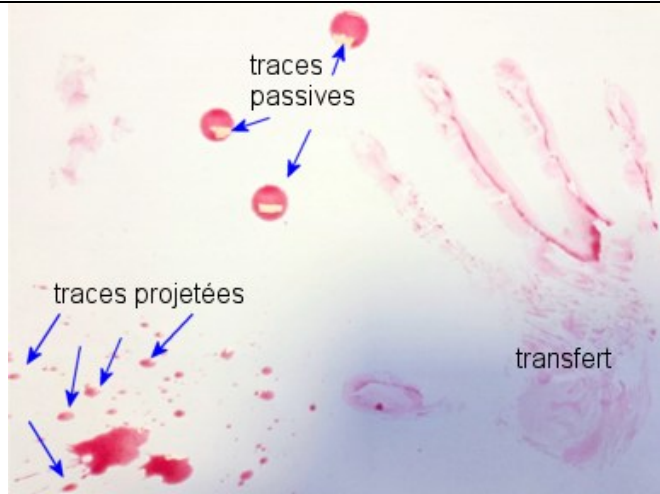


Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

Activité 1

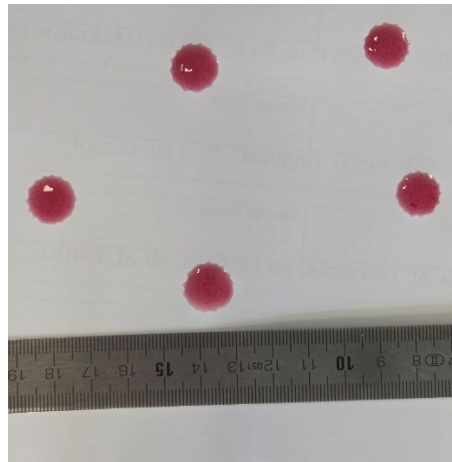
Expliquer le travail à faire. Les élèves travaillent en autonomie.

Prévoir 1h00 à 1h10 avec les explications.

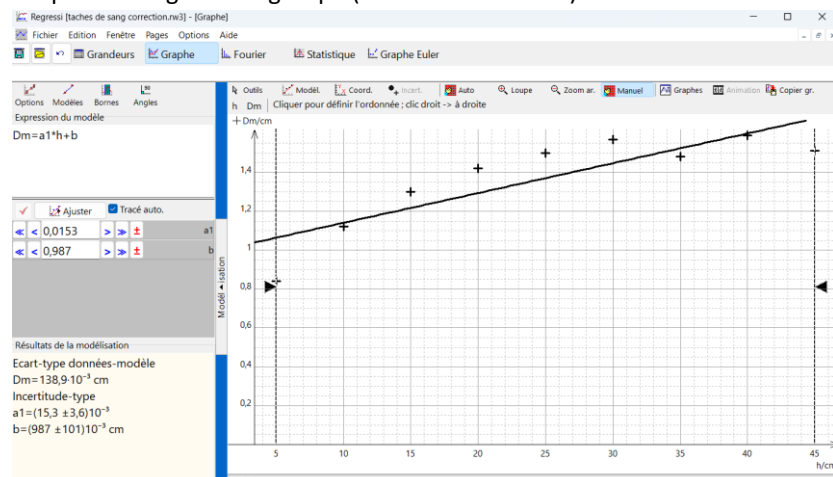


1.

2. Exemple de résultat d'élève pour $h=25$ cm :

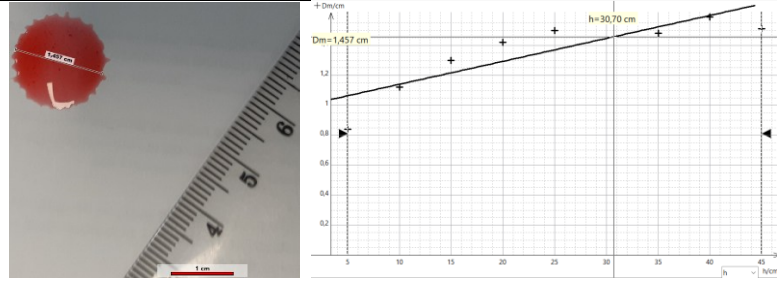


Graphe sur Regressi du groupe (modélisation affine) :



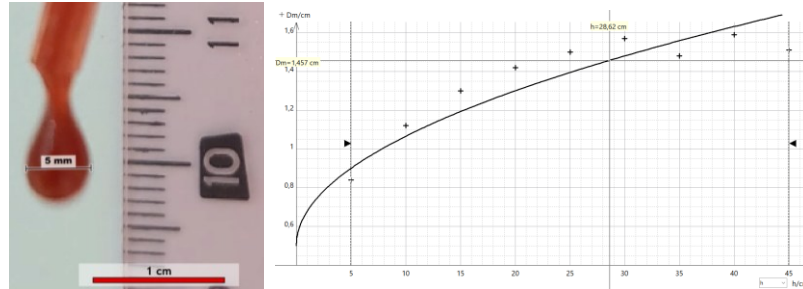
3. Mesure de la tache de la scène de crime

Tache ronde avec des épines mais sans satellites.



Diamètre de 1,457 cm et d'après la droite de modélisation $h = 30,7$ cm.

A noter que la modélisation admise est plutôt $Dm = a\sqrt{h} + b$, où b est le diamètre de la goutte que j'ai mesuré à $b=0,5$ cm avec la pipette utilisée.



Cependant il y a peu d'écart entre les 2 modèles dans le domaine d'étude ($h = 28,6$ au lieu de $30,7$ cm) et il sera plus facile pour les élèves d'utiliser le modèle affine.

Activité 2

Prévoir 20 min pour faire l'activité.

Possibilité de ramasser la feuille réponse pour évaluation

Chaque groupe a 2 traces à étudier :

Groupe	Traces de sang à étudier	
n°1	1	2
n°2	2	3
n°3	3	4
n°4	4	5
n°5	5	6
n°6	1	4
n°7	6	3
n°8	3	5
n°9	2	4
n°10	6	1

L'analyse se fait avec Mesurim2

Correction :

	direction	W (mm)	L (mm)	alpha	vélocité
tache 1	NE	4,271	8,853	28,8	faible
tache 2	S	2,169	10,12	12,4	moyenne
tache 3	SO	2,891	8,389	20,2	moyenne
tache 4	N	1,68	3,32	30,4	moyenne
tache 5	NO	4,449	7,499	36,4	faible
tache 6	O	0,6096	1,508	23,8	forte



Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Se mobiliser en cohérence avec les consignes données ; extraire des informations utiles d'un texte ou d'une représentation conventionnelle (schéma, tableau, graphique,...)	Activité n°2 et n°1
ANA	Faire des prévisions à l'aide d'un modèle.	Activité n°1
REA	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche	Activité n°2 et 1
	Maîtriser certains gestes techniques (utiliser les outils informatiques : Regressi, Mesurim2)	Activité n°2 et n°1



PARTIE 5 : Analyse d'une voix ou d'un son

ACTIVITE 1. Analyse de la voix, détermination du registre vocal

Menaces de mort, appels malveillants, fausse alerte à la bombe ou revendication d'attentats terroristes, un nombre croissant de cas délictuels ou criminels impliquent l'étude des documents sonores. Les investigateurs comptent de plus en plus sur les experts pour en identifier l'auteur ou identifier les sons présents sur un enregistrement.

- **Objectifs** : Analyse d'un son avec Regressi
- **Matériel** : Micro et PC
- **Ressources disponibles** : Logiciel Regressi
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Faire le travail sur Regressi en suivant le protocole du document 4. Répondre aux questions. Travail estimé à 45 min.

Document 1 : Comment naît la voix ?

La formation de la voix est déterminée par un ensemble de structures :

1. **L'appareil respiratoire, producteur de souffle**

Il produit le souffle nécessaire à la production de la voix. Les poumons, par l'intermédiaire du diaphragme, envoient un flux d'air qui remonte le long de la trachée et atteint les cordes vocales.

2. **Le vibreur laryngé, producteur du son de la voix**

Le passage du souffle d'air entre les deux cordes vocales les fait vibrer. C'est l'origine du son de la voix. Les deux cordes sont placées horizontalement dans le larynx à hauteur de la pomme d'Adam.

3. **Les espaces d'amplification et de résonance**

Ce sont la gorge, la bouche et le nez. Ces espaces, ou cavités, changent de volume et de forme grâce au jeu des muscles du voile du palais, des lèvres, de la langue, etc. Ils peuvent ainsi modifier les qualités de la voix.

Les dimensions des cordes vocales varient entre 17 et 25 mm de long chez un homme et entre 13 et 18 mm chez une femme. La fréquence de vibration des cordes vocales dépend de leur tension et de leur épaisseur. Plus les cordes vocales sont courtes et fines, plus elles peuvent vibrer rapidement lors du passage de l'air et produire des sons aigus.

Document 2 : Description de la voix

La voix peut être caractérisée par quatre paramètres principaux :

- **La hauteur** : sensation auditive liée à la fréquence fondamentale des vibrations des cordes vocales (son grave, son aigu). Unité de mesure : hertz (Hz).
- **L'intensité** : sensation auditive liée à l'amplitude des vibrations (son fort, son faible). Unité : décibel (dB).
- **Le timbre** : sensation auditive liée à la présence de fréquences harmoniques dans le son (son complexe, son pur).
- **La tenue** : sensation auditive liée à la durée des vibrations (son long, son court).

Document 3 : Registres des voix humaines (pour les chanteurs professionnels)

Le registre d'une voix correspond à l'étendue de son échelle vocale, de la note la plus grave à la plus aiguë.



Classe de chanteur	Registre de notes	Registre de fréquences (en Hz)
Basse	Mi1-Mi3	82,41—329,63
Baryton	Fa1-Fa3	87,31—349,23
Ténor	Do2-Do4	130,81—523,25
Contralto	Fa2-Fa4	174,61—698,46
Mezzo-soprano	La2-La4	220,00—880,00
Soprano	Do3-Do5	261,63—1046,50

Document 4 : Protocole d’analyse de la voix

Matériel utilisé : microphone branché à l’ordinateur

Logiciel utilisé : Regressi

Il est impératif de travailler dans le plus grand silence.

- 13.** Pour chaque élève du groupe, enregistrer les sons suivants et les analyser à l’aide de Regressi (voir le tutoriel du document 5) :
- Prononcer le son « hooooooooo » le plus grave possible (sans forcer) en maintenant la note. Faire l’analyse du son (voir tutoriel Regressi document 5, recopier et compléter le tableau ci-dessous). En déduire la fréquence fondamentale f_1 et le nom de la note 1 jouée.
 - Prononcer le son « haaaaaaaaa » le plus aigu (sans forcer) possible en maintenant la note. Faire l’analyse du son (voir tutoriel Regressi document 5, recopier et compléter le tableau ci-dessous). En déduire la fréquence fondamentale f_2 et le nom de la note 2 jouée.
- 14.** En déduire (approximativement) le registre le plus proche de votre voix.

Travail d’analyse de votre voix :

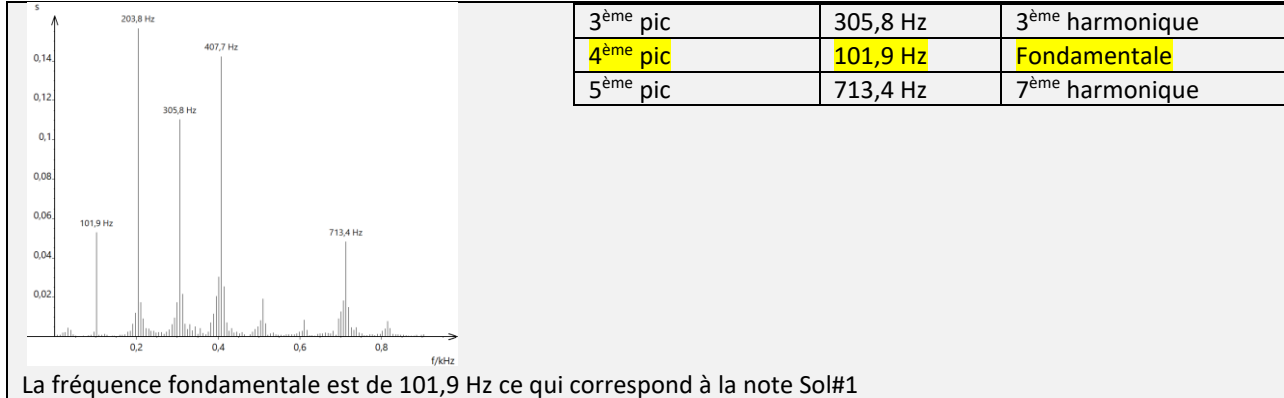
- 15.** En vous aidant du document 6, identifier les 5 plus grands pics de fréquence de votre voix (si possible) dans l’ordre décroissant d’amplitude, compléter les colonnes 1 et 2 du tableau.

Ordre des pics	Fréquence	Multiplicité
1 ^{er} pic		
2 ^{ème} pic		
3 ^{ème} pic		
4 ^{ème} pic		
5 ^{ème} pic		

En déduire la fréquence fondamentale et la multiplicité (colonne 3) de chaque pic de fréquence.

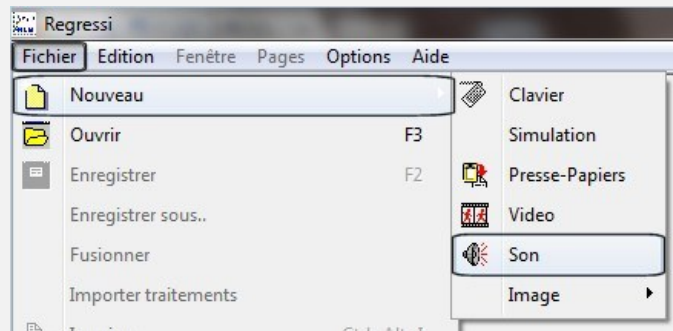
Exemple :

Ordre des pics	Fréquence	Multiplicité
1 ^{er} pic	203,8 Hz	2 ^{ème} harmonique
2 ^{ème} pic	407,7 Hz	4 ^{ème} harmonique

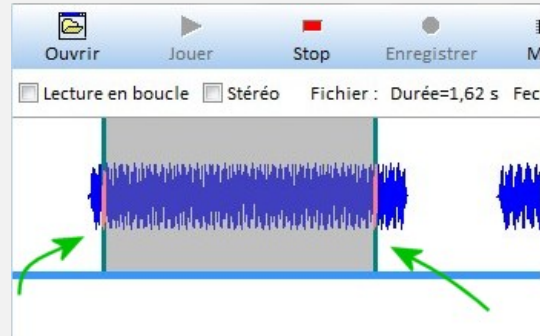


Document 5 : Tutoriel d'utilisation de Regressi

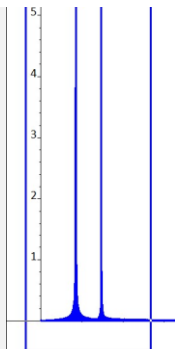
- Ouvrir Regressi et choisir Fichier/Nouveau/Son



- **Enregistrer** un son et terminer l'enregistrement en cliquant sur **stop**.
- Sélectionner la partie du son que vous voulez analyser en déplaçant les curseurs de gauche et de droite.
- Traiter la partie sélectionner en cliquant sur TRAITER. Ne pas sauvegarder le fichier.



- Cliquer sur **FOURIER** pour réaliser l'analyse du spectre de fréquence du son. Dans ce spectre, les fréquences qui composent le son apparaissent sous forme de pics.
 - Zoomer sur la partie qui vous intéresse (entre 0 et 2000 Hz) avec la loupe.
 - Sélectionner dans curseur / Réticule pour lire les valeurs de fréquences des principaux pics du spectre.
- (Attention, surtout dans une salle de classe il y a un important bruit de fond et il y peut y avoir des pics parasites. Si l'enregistrement est trop brouillé, ne pas hésiter à le refaire).



Document 6 : Analyse d'un son par décomposition de Fourier



• **Diapason (son pur)**

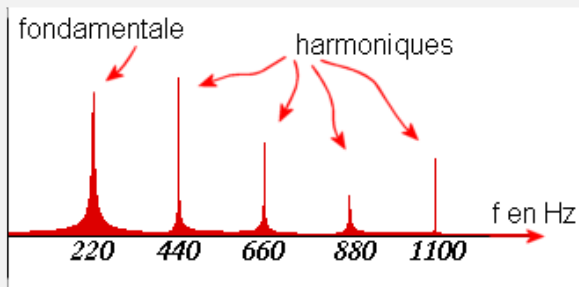
Certains émetteurs de sons, comme les diapasons, ont un spectre composé d'un seul pic. C'est un son pur et la fréquence de ce pic est la fréquence fondamentale donc la hauteur de la note.



• **Instrument de musique ou voix (son complexe)**

Une note jouée par un instrument de musique ou par la voix a un spectre avec plusieurs pics. Il est composé de la **fréquence fondamentale** (qui correspond à la hauteur de la note) et d'autres fréquences (**les harmoniques**) dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale. La décomposition du son en harmoniques caractérise **le timbre** de l'émetteur ce qui différencie les différentes voix et peut permettre de les identifier (assistants vocaux ...).

Exemple : Spectre de fréquences de Fourier d'un son musical complexe :



La fréquence fondamentale celle correspondant au premier pic. La note jouée correspond à cette fréquence. Toutes les autres fréquences associées aux autres pics sont des multiples de cette fréquence fondamentale.

Pour identifier **la fréquence de la note** (fréquence fondamentale), il faut vérifier que les autres pics principaux de fréquences correspondent bien à **des multiples** de cette **fréquence fondamentale**.

Remarque : Chaque note de musique correspond à une fréquence fondamentale :

Exemple : le Mi de l'octave 3 a pour fréquence $f_{Mi3} = 329,63 \text{ Hz}$

Fréquences des hauteurs (en Hertz)

Note/octave	0	1	2	3	4	5	6	7
Do	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,01
Do#	34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	4434,92
Ré	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64
Ré#	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	4978,03
Mi	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04
Fa	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65
Fa#	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1479,98	2959,96	5919,91
Sol	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1567,98	3135,96	6271,93
Sol#	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,22	3322,44	6644,88
La	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00
La#	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	7458,62
Si	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13

Questions

1. Pourquoi chaque personne a une voix différente (Document 1)
2. Mettre en œuvre le protocole du Document 4 pour déterminer le registre de chaque élève.



ACTIVITE 2. Le codage d'un numéro de téléphone

Les touches du téléphone sont codées par un code de fréquence : le codes DTMF qui permet au serveur d'identifier les numéros composés.

- **Objectifs** : Utiliser les outils d'analyse du son pour identifier un numéro de téléphone.
- **Matériel** : PC et microphone, logiciels Regressi et Audacity
- **Ressources disponibles** : Documents et tutoriels
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Donner 2 fichiers son à chaque groupe d'élèves

Document 1 : le code DTMF

Lorsqu'on appuie sur une touche correspondant à un numéro, le téléphone génère une tonalité qui combine simultanément des signaux de haute fréquence et de basse fréquence. Il s'agit d'un **code DTMF** (dual-tone multi-frequency). Cette paire de signaux unique est ensuite transmise au central téléphonique et décodée pour déterminer quel numéro a été composé

Techniquement, chaque touche d'un téléphone correspond à un couple de deux fréquences audibles pures qui sont jouées simultanément. De cette façon, 7 fréquences bien distinctes permettent de coder les 12 touches du clavier. Ces fréquences peuvent être reconnues par des dispositifs électroniques et sont utilisées pour réaliser des serveurs vocaux.

Fréquences	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz
697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6
852 Hz	7	8	9
941 Hz	*	0	#

Ainsi, le couple de fréquences correspondant à 1 est (1209 Hz, 697 Hz), celui de 2 est (1336 Hz, 697 Hz), et ainsi de suite.

Les huit fréquences utilisées restent dans la bande passante de la téléphonie fixe classique (qui se situe entre 300 et 3400 Hz)

Document 2 : Déposition d'un témoin

Témoignage d'un élève : Le 26 octobre à 15h45 pendant la récréation, un élève utilisait son téléphone portable pour enregistrer un message dans le couloir du 2^{ème} étage. M. Claude Boidest est alors passé dans le couloir à ce moment tout en composant un premier numéro sur son téléphone. Il a attendu un moment sans parler puis il a composé un deuxième numéro avant de rentrer dans la salle 278.

On n'a pas retrouvé ce téléphone portable sur le corps de M. Boidest ni lors des différentes perquisitions. Il n'y a pas non plus de contrat chez un opérateur à son nom.

L'élève a donné le fichier de cet enregistrement aux enquêteurs. Ce fichier a été scindé en deux fichiers sonores correspondant aux deux appels téléphoniques. Il faudra les exploiter pour tenter d'identifier les numéros composés. Le premier numéro composé par la victime concerne le fichier 2. Le second numéro composé correspond au fichier 4.



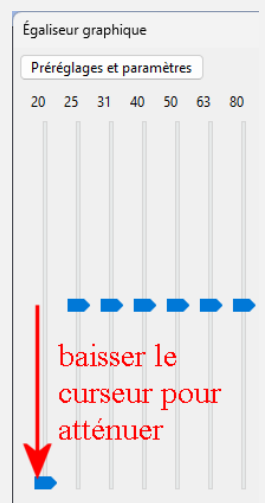
Document 3 : Annuaire téléphonique

Pertinence	
Ampère Claudine	06 32 45 66 20
Avert Jean-Claude	06 39 93 02 55
Avert Christine	07 62 85 35 45
Boidest Claude	06 96 32 01 73
Bolzinger Jessica	07 68 20 69 04
Carnet Michel	06 39 56 25 96
Carnet Sophie	06 23 10 66 48
Courfin Michel	06 32 61 96 30
Dubosc Kevin	06 59 62 35 41
Gérard Anne	07 69 20 47 03
Lejeune Virginie	07 35 69 20 14
Martino Alexandre	06 52 03 95 87
Richard Hélène	06 54 17 23 47
Virlot Serge	06 32 18 65 42

Document 4 : Filtre de fréquences avec Audacity



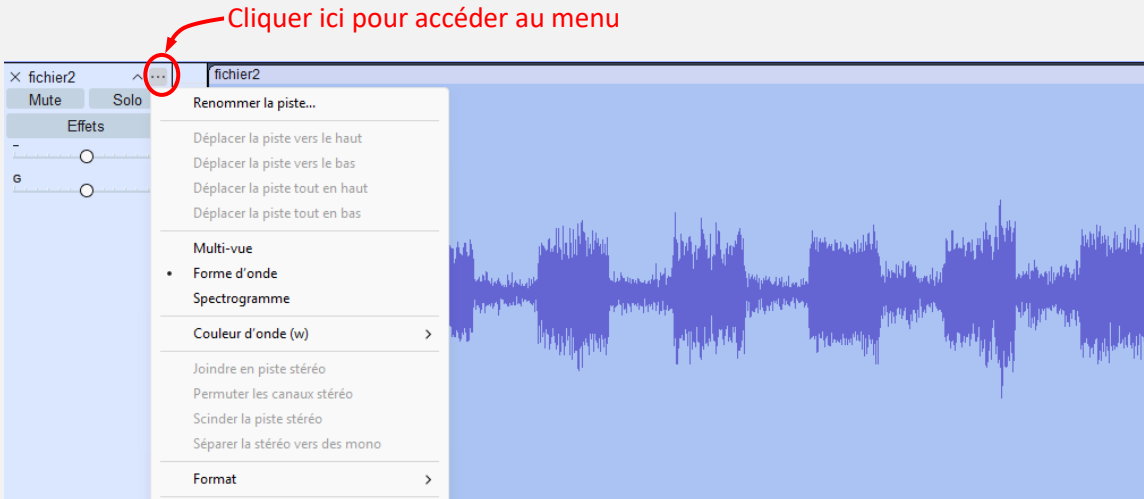
- Ouvrir le fichier à analyser
- Sélectionner l'intégralité du signal sonore à l'aide du menu Sélectionner/tout. La piste devient bleu foncé.
- Cliquer sur Egalisation dans le menu Effet puis cocher Graphique pour ajuster les fréquences.
Laisser le curseur en place pour une fréquence à conserver et baisser le curseur pour une fréquence à atténuer. C'est le filtrage proprement dit.
- Exporter et enregistrer le fichier modifié sur votre ordinateur à l'aide du menu Fichier.





Document 5 : Analyse des fréquences du signal sonore filtré grâce à la fonction spectrogramme du logiciel Audacity

16. Pour réaliser l'analyse du son, ouvrir le menu et cliquer sur spectrogramme. Le spectrogramme du signal sonore est une représentation en 3 dimensions du son. Les ordonnées indiquent les composantes fréquentielles constituant le signal alors que les abscisses correspondent au temps qui s'écoule. Enfin, la couleur du diagramme dépend de l'intensité sonore du signal.

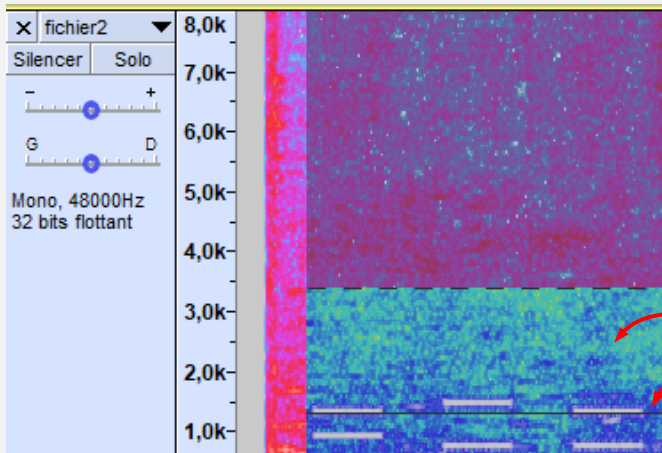


Lorsque le spectrogramme apparaît, cliquer à nouveau pour faire apparaître le menu et changer les couleurs grâce aux paramètres du spectrogramme.

17. Sélectionner la zone du spectrogramme comprise entre 600 et 1500 kHz.

A l'aide du menu affichage, sélectionner barre d'outils puis barre d'outils de sélection spectrale.

En déplaçant la ligne intermédiaire dans la fenêtre, il est possible de mesurer chaque fréquence du signal DTMF (la valeur correspond à la fréquence centrale indiquée plus bas). Le pas du curseur est grossier mais par encadrements successifs on peut en déduire facilement chaque fréquence.



Fréquence centrale et largeur


1,333,76 Hz 0 1,907 octaves



Questions

4. Réaliser un filtrage des messages sonores des fichiers 2 et 4 à l'aide du logiciel Audacity (voir document 4) afin de conserver les fréquences utiles.
5. Identifier les deux numéros de téléphone composés par Claude Boidest à l'aide du tutoriel du document 5. Identifier les personnes contactées. Ajouter ces informations à votre enquête.

Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

Activité 1	En fonction des voix des élèves. Prendre l'intervalle le plus proche pour la tessiture.									
Activité 2 Cette activité peut être ramassée pour évaluation	<p>Donner le fichier 2 et 4 à analyser (possibilité de prendre d'autres pistes pour l'enquête avec le fichier1).</p> <p>Avec Audacity il faut garder les fréquences du code DTMF et éliminer le reste et donc affaiblir toutes les fréquences sauf celles entre 630 Hz et 1,6 kHz</p>  <p>Numéros des fichiers :</p> <table border="1" data-bbox="683 1328 1342 1447"> <tr> <td>fichier 1</td> <td>"07 62 85 35 45"</td> <td>Avert Christine</td> </tr> <tr> <td>fichier 2</td> <td>"06 52 03 95 87"</td> <td>Alexandre Martino</td> </tr> <tr> <td>fichier 4</td> <td>"06 32 18 65 42"</td> <td>Serge Virlot</td> </tr> </table>	fichier 1	"07 62 85 35 45"	Avert Christine	fichier 2	"06 52 03 95 87"	Alexandre Martino	fichier 4	"06 32 18 65 42"	Serge Virlot
fichier 1	"07 62 85 35 45"	Avert Christine								
fichier 2	"06 52 03 95 87"	Alexandre Martino								
fichier 4	"06 32 18 65 42"	Serge Virlot								

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Se mobiliser en cohérence avec les consignes données ; extraire des informations utiles d'un texte ou d'une représentation conventionnelle (schéma, tableau, graphique,...)	Activité n°2 et n°1
REA	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche	Activité n°2 et 1
	Maîtriser certains gestes techniques (utiliser les outils informatiques : Regressi)	Activité n°2 et n°1
	Confronter un modèle à des résultats expérimentaux	Activité n°2



Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Signal sonore périodique, fréquence.	Enregistrer et caractériser un son (hauteur) à l'aide d'un dispositif expérimental dédié.	Activité n°1 et n°2

Liens avec le programme de première enseignement scientifique (modestement !)

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Son et musique	Un signal périodique de fréquence f se décompose en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples entières de f Utiliser un logiciel permettant de visualiser le spectre d'un son.	Activité n°1 et n°2



PARTIE 6 : Analyse d'une encre et d'un papier

ACTIVITE 1. Chromatographie d'une encre

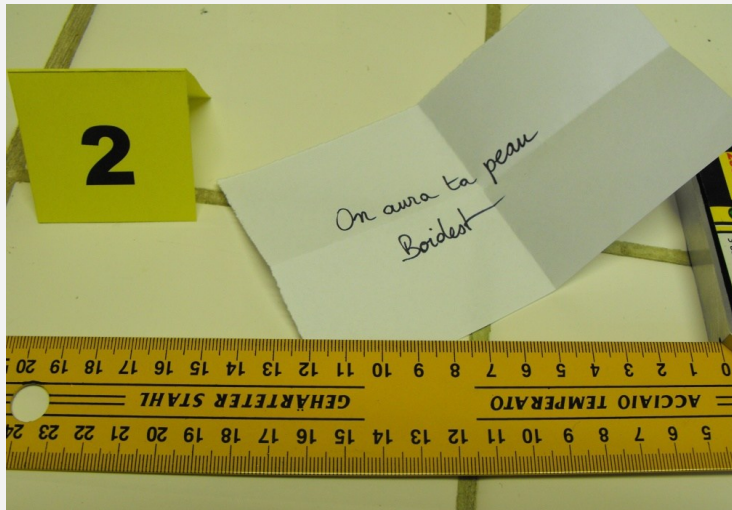
La Chromatographie sur couche mince est une technique d'analyse qui permet de déterminer la composition d'un mélange par comparaison à des espèces chimiques de référence. Elle permet de confirmer ou d'infirmer la présence d'une ou plusieurs espèces chimiques dans une substance. Elle peut être utilisée pour des encres, des colorants, des peintures, des médicaments ou des substances psychotropes.

- **Objectifs** : Analyse d'une encre par CCM
- **Matériel** : Plaques de CCM, éluant, cuve (voir document 3)
- **Ressources disponibles** : protocole expérimental pour la réalisation de la chromatographie
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Analyse de la chromatographie de la vidéo (10 min) et mise en œuvre de la chromatographie de l'enquête. Pendant la phase d'élution, démarrer les activités 2 et 3.

Document 1 : Lettre de menace

Piece à conviction n°006 - Affaire Boidest Claude

On a retrouvé une lettre de menace dans la poche de la victime. Elle a été écrite au stylo feutre noir.



Lors d'une perquisition chez les principaux suspects les gendarmes ont saisi tous les feutres noirs qu'ils possédaient ainsi que les feuilles de papier. Nous allons les comparer par chromatographie avec l'encre de la lettre de menace qui sera extraite du papier grâce à un solvant, analyser le papier et faire des comparaisons graphologiques.



Document 2 : Exemple d'expérience de chromatographie

Regarder la vidéo suivante : <https://tube-sciences-technologies.apps.education.fr/w/pfmYb7zHLNCR3y8UZHHIEA>
C'est un extrait des experts Las Vegas (CSI Las Vegas) servant de publicité à la société analtech qui fabrique du matériel de chromatographie.

Document 3 : Protocole de la chromatographie

- Extraction de l'encre : découper les mots du message. Plonger les bouts de papier dans un bécher avec 2mL de solvant. Remuer avec une baguette de verre jusqu'à ce que la solution soit bien noire. Laisser macérer pour extraire de l'encre (cette opération a déjà été réalisée par les agents de laboratoire).
- Réalisation du chromatogramme 1 de l'encre des feutres
 - ✓ Phase stationnaire : plaque de chromatographie sur gel de silice
 - ✓ Phase mobile (éluant) : Eluant 1 : butanol 60%-éthanol 20%-ammoniaque 2mol·L⁻¹ 20%
 - ✓ Substance étudiée : encre du message et encre des feutres
 - ✓ Révélateur : aucun (tâches colorées)

Protocole

- Sur la plaque de chromatographie, tracer au crayon de papier un trait fin sans appuyer à 1,5 cm du bord inférieur de la feuille (feuille d'environ 4 cm sur 10 cm)
 - Repérer 6 points espacés régulièrement sur le trait.
 - Sur chaque emplacement, dans l'ordre des n° de feutres, faire un point avec chacun des 6 feutres.
 - Fixer la plaque dans la cuve de façon à ce que son bord inférieur trempe dans la solution d'éluant mise à votre disposition mais sans que le niveau du liquide n'atteigne le trait. Une fois en place on ne touche plus à la cuve !
 - Sortir la plaque du bécher lorsque le niveau du liquide est à environ 2 cm du haut
 - Repérer le niveau atteint (front du solvant) à l'aide d'un crayon puis sécher le papier au sèche-cheveux.
- La chromatographie de la lettre de menace a été réalisée dans les mêmes conditions : le **chromatogramme 2** correspondant vous sera donné pour comparaison et analyse.

Document 4 : Analyse d'une chromatographie sur couche mince (CCM)

La chromatographie permet de **séparer** et d'**identifier** les espèces chimiques.

Principe :

On dépose les gouttes de la substance à étudier sur un support fixe solide appelé **phase stationnaire** (gel de silice déposé en couche mince sur une plaque d'aluminium, feuille de papier whatman).

On plonge le bas de la phase stationnaire dans un mélange de solvants appelé **éluant**.

La substance à étudier est entraînée par l'éluant qui constitue donc la **phase mobile**.

On appelle **élution**, la période pendant laquelle l'éluant monte dans la plaque, ça peut durer 20 à 30 min.

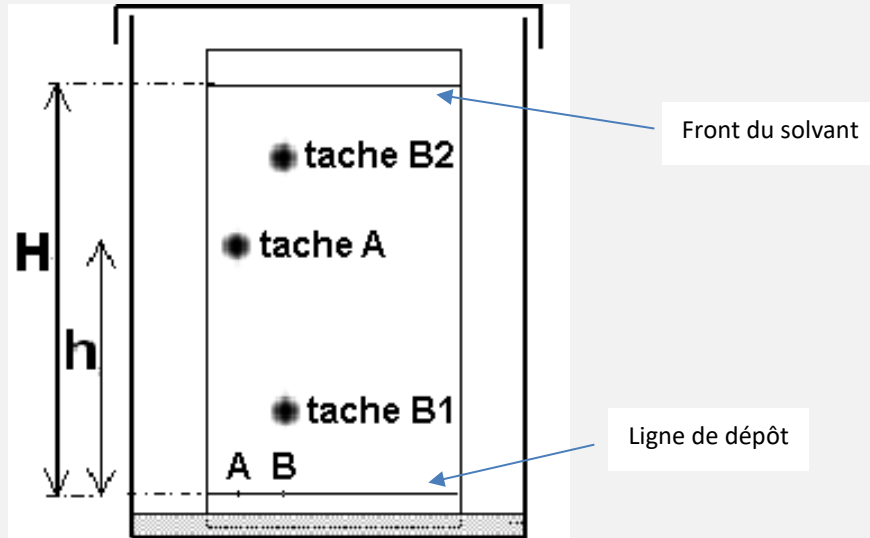
Si cette substance est un mélange (elle n'est pas pure), les constituants du mélange se séparent en plusieurs taches. Chacun des constituants est d'autant plus entraîné par l'éluant qu'il est plus soluble dans celui-ci et moins adsorbé (fixé) sur la phase stationnaire.

Après migration, si les taches correspondant à chaque constituant ne sont pas colorées, elles doivent être **révélées** (par UV ou chimiquement par un bain de permanganate de potassium).



Résultats :

- Pour chaque tâche on peut calculer le rapport frontal : exemple $Rf(A) = \frac{h}{H}$ pour la tâche A
- **Etude verticale :** Le chromatogramme présente **autant de taches que l'échantillon étudié contient d'espèces chimiques différentes**. Si le corps étudié ne présente **qu'une tache** après révélation on peut affirmer **qu'il est pur**.
- **Etude horizontale :** Deux corps présentant **des taches à la même hauteur** (et de même couleur si elles sont colorées) sur la même plaque **sont identiques**. Ils ont aussi le **même rapport frontal**.
- En comparant les rapports frontaux des taches laissées par l'échantillon étudié aux rapports frontaux des taches laissées par les corps de référence (**authentiques**), il est possible de déterminer **la composition** de l'échantillon.



Document 5 : Résultat des perquisitions

Les enquêteurs ont perquisitionné aux domiciles des suspects pour saisir tous les feutres noirs et toutes les feuilles de papier blanc qui s’y trouvaient. Voici les résultats :

Nom	Types de feutres retrouvés						Types de papiers	
	feutre1	feutre2	feutre3	feutre4	feutre5	feutre6		
Ampère Claudine	x		x				100g/m ²	90g/m ²
Avert M. et Mme		x		x			80g/m ²	90g/m ²
Bolzinger Jessica					x	x	90g/m ²	
Carnet M. et Mme	x	x					90g/m ²	
Courfin Michel					x		100g/m ²	80g/m ²
Gerard Anne				x			100g/m ²	80g/m ²
Lejeune Virginie	x				x		80g/m ²	
Martino Alexandre			x			x	80g/m ²	
Richard Hélène						x	80g/m ²	
Virilot Serge			x				90g/m ²	

Questions



18. Que cherche à faire l'enquêtrice dans la vidéo document 2 ?
19. Quel est le résultat de son analyse ? Justifier avec le chromatogramme.

20. Mettre en œuvre le protocole du document 3 pour identifier le feutre utilisé pour écrire la lettre de menace. Identifier le feutre avec lequel la lettre de menace a été écrite. Justifier en analysant la composition de son encre et en calculant dans les deux chromatogrammes le rapport frontal d'une des tâches (voir document 4). Rédiger votre rapport. (Remarque : faire l'activité 2 et 3 pendant l'élution).

ACTIVITE 2. Mesure du grammage du papier

- Le papier lui-même peut apporter des informations : Un papier est différent d'un autre par son grammage, sa texture, sa couleur, sa finition qui caractérisent son épaisseur, son toucher, son rendu, sa qualité.
- **Objectifs** : Mesurer le grammage (masse par unité de surface) d'un échantillon de papier
- **Matériel** : règle, ciseaux, balance au 1/100^{ème} de g
- **Ressources disponibles** : /
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Donner une feuille avec le texte de la lettre de menace. Les élèves doivent la découper correctement et la peser pour calculer le grammage.

Document 1 :

➤ Mesure du grammage de la feuille

Le grammage du papier détermine les propriétés physiques du papier. Il est une mesure de la densité de papier, exprimée en grammes par mètre carré (g/m²). Cette mesure est utilisée pour déterminer la résistance et la qualité du papier. Plus le grammage est élevé, plus le papier est lourd et plus il est épais. Cela signifie également qu'il sera plus résistant et plus durable. Le grammage classique des papiers pour imprimante ou pour la correspondance sont entre 60 et 100 g/m².

Pour déterminer le grammage d'un papier, découpez un carré de papier de 10×10 cm par exemple, calculez sa surface **S** en m² et pesez-le pour mesurer sa masse **m** en g. Utilisez la formule pour calculer le grammage en g/m² :

$$\text{grammage} = \frac{m \text{ (en g)}}{S \text{ (en m}^2\text{)}}$$

➤ Incertitude des mesures

La masse **m** va être mesurée avec la balance avec une incertitude **U(m) = 0,02 g**.

La surface **S** va dépendre de la précision de la découpe estimée à 1 mm près donc l'incertitude **U(S) = 1,4 .10⁻⁴ m²**

L'incertitude sur cette mesure peut être donnée par la formule :

$$U(\text{grammage}) = \text{grammage} \times \sqrt{\left(\frac{U(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{U(S)}{S}\right)^2} \text{ en g/m}^2$$

Questions

21. Faire les mesures et les calculs nécessaires pour obtenir le grammage de la feuille.
22. Calculer l'incertitude U(grammage) de votre résultat. En déduire si cette technique permet d'identifier le grammage de la feuille sans confusion possible.



ACTIVITE 3. Analyse en comparaison d'écriture

L'expertise en écriture est souvent confondue avec la graphologie. Il s'agit de deux spécialités bien différentes. Le graphologue étudie l'écriture d'une personne afin d'établir son profil psychologique alors que l'expert en comparaison d'écritures compare plusieurs écrits et cherche à identifier un écrit litigieux.

Source <https://www.police-scientifique.com/valeurs-des-expertises-en-ecriture/>

Document 1 : Comparaison d'écriture

Pour une comparaison scientifiquement valide, voici les points à considérer :

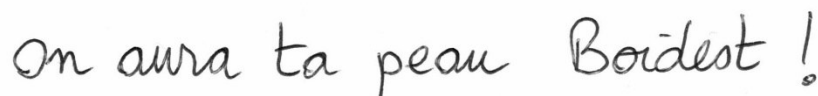
Pour déterminer lequel des 10 suspects a écrit la menace "On aura ta peau Boidest !", vous devrez analyser :

1. **Morphologie des lettres** : forme des boucles, arcs et angles
2. **Pression et épaisseur des traits** : force appliquée sur le papier
3. **Inclinaison et orientation** : angle de l'écriture par rapport à la ligne
4. **Espacement et rythme** : distance entre les lettres et les mots
5. **Particularités individuelles** : habitudes d'écriture uniques comme la façon de former certaines lettres.

Le suspect dont l'écriture présente des caractéristiques identiques ou très similaires à celles du message de menace sera probablement l'auteur recherché.

Document 2 : Lettre de menace et dictée

Les enquêteurs ont demandé aux suspects d'écrire un texte pour le comparer à l'écriture de la lettre de menace, voici les résultats :



Lettre de menace



Suspect n°1

Test d'écriture pour les sciences et laboratoire

Suspect n°2

Test d'écriture par les sciences et laboratoire

Suspect n°3

Test d'écriture pour les sciences et laboratoire

Suspect n°4

Test d'écriture pour les sciences et laboratoire

Suspect n°5

Test d'écriture pour les sciences et laboratoire

Suspect n°6

Test d'écriture pour les sciences et laboratoire

Suspect n°7

Test d'écriture pour les sciences et laboratoire.

Tests écriture des suspects

Suspect 1	Michel Courfin
Suspect 2	Claudine Ampère
Suspect 3	Serge Viriot
Suspect 4	Alexandre Martino
Suspect 5	Jean-Claude Avert
Suspect 6	Hélène Richard
Suspect 7	Michel Carnet

Liste des suspects

Questions

23. Comparer l'écriture de la lettre de menace avec celle des suspects. Argumenter votre comparaison avec 2 ou 3 détails similaires dans les deux textes.
24. Conclure les trois activités sur l'auteur probable de la lettre de menace en argumentant votre choix.



Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

Activité 1

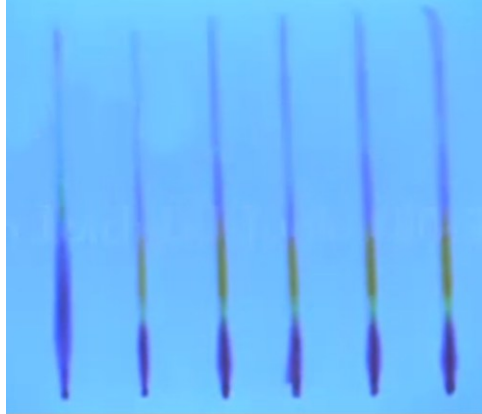
Analyse d'une expérience
(Les questions 1 et 2 peuvent être données à la maison pour préparer la séance)

Réalisation d'une chromatographie

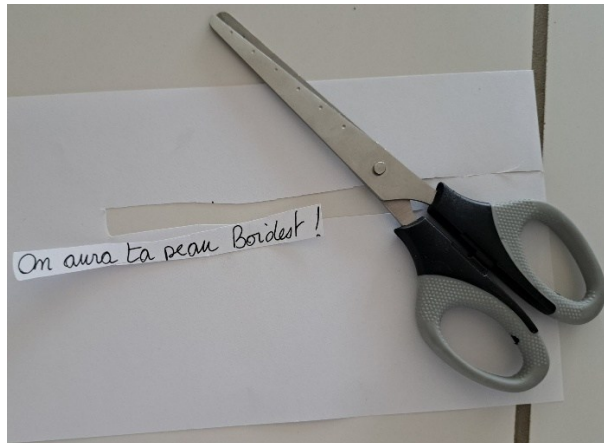
1. L'enquêtrice analyse l'encre de chaque chiffre de la date du document pour savoir si cette date n'a pas été modifiée. (Attention la date aux USA s'écrit MM/JJ/AA)



2. Le chromatogramme montre que le 1^{er} chiffre n'a pas été écrit avec la même encre que les 5 autres. Il a donc été rajouté pour faire passer un document daté de février (2) pour un document daté de décembre (12).



3. Il peut être possible de faire toute la démarche (dissoudre l'encre d'une lettre de menace réalisée pour en faire la chromatographie) mais les résultats sont difficiles à interpréter car on arrive généralement mal à dissoudre l'encre pour qu'elle soit assez concentrée.





Pour ces feutres, voici les résultats :





Choisir dans le commerce des feutres noirs fins de marques différentes et les tester de façon à avoir des chromatogrammes intéressants.

Le chromatogramme 2 donné aux élèves correspondra à un des feutres qui porte le n°3. Les suspects sont donc : Claudine Ampère, Alexandre Martino, Serge Virilot.

Activité 2

A faire pendant l'élution du chromatogramme de l'activité 1

1. Donner aux élèves une feuille de 80 g/m²
Mesures attendues : m = 0,80 g
Calculs : S = 0,10 x 0,10 = 0,01 m²
Grammage = 0,80 / 0,01 = 80 g/m²

2. Calcul de l'incertitude :

$$80 \sqrt{\left(\frac{0,02}{0,8}\right)^2 + \left(\frac{1,4 \times 10^{-4}}{0,01}\right)^2}$$

2,29

Soit U(grammage) = 2,3 g/m²

L'incertitude est suffisamment faible pour ne pas confondre 80g/m² avec 90 g/m² par exemple.

Au préalable le professeur peut faire réfléchir les élèves sur les causes d'incertitude de la mesure du grammage. La relation peut être donnée dans un second temps.



<p>Activité 3</p> <p>A faire pendant l'élution du chromatogramme de l'activité 1</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'écriture est cette lettre est celle de Alexandre Martino. Le oi de Boidest et laboratoire sont faits de la même façon Le st de Test et de Boidest sont séparés 2. Le feutre n°3 et le papier 80g/m² ont été retrouvés chez Alexandre Martino et l'écriture correspond à la sienne. Il fait figure de suspect principal pour la lettre de menace mais ça ne veut pas dire qu'il est le meurtrier. Si c'est le cas il faut remettre en cause le témoignage de Virginie Lejeune pour son alibi...
---------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Extraire des informations utiles d'une vidéo	Activité n°1
REA	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche	Activité n°1 et n°2
	Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.).	Activité n°1 et n°2
VAL	Confronter un modèle à des résultats expérimentaux Estimer une incertitude	Activité n°2
	Calculer l'incertitude d'une mesure	Activité n°2
COM	Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente.	Activité n°3

Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Corps purs et mélanges au quotidien.	Réaliser une chromatographie sur couche mince	Activité n°1
Mesure et incertitudes	Notion d'incertitude	Activité n°2



PARTIE 7 : Titrage d'une substance inconnue

ACTIVITE 1. Titrage colorimétrique

Lorsqu'on a une substance dont on veut déterminer la concentration on peut réaliser un titrage colorimétrique. Le principe consiste à ajouter un réactif, dont on connaît la concentration, en quantité suffisante jusqu'à observer un changement de couleur. Avec le volume de réactif ajouté, on peut alors calculer la concentration inconnue de l'espèce chimique à identifier.

- **Objectifs** : Réaliser un titrage colorimétrique pour déterminer la masse de vitriol vert qu'il contient.
- **Matériel** : Agitateur magnétique, burette graduée, solutions de permanganate de potassium de concentration massique $0,395 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($2,5\cdot 10^{-3}$) $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, sachets avec 1 g de poudre à tester. Fiole jaugée de 100 mL ; pipette jaugée de 10 mL, bécher de 100 mL.
- **Ressources disponibles** : Protocoles de dissolution, protocole d'utilisation de la burette.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : En fonction de l'aisance et de l'autonomie des groupes, certains feront un, deux ou trois titrages en 1h30.

Document 1 : article de presse

Le
Républicain
ÉCLAIRÉ

Le Réseau Cobalt Inonde la Région avec une Nouvelle Drogue de Synthèse : le Vitriol Vert

Dans une révélation inquiétante, les autorités locales ont mis en garde contre l'émergence d'une nouvelle drogue de synthèse, connue sous le nom de "Vitriol Vert", qui se répand rapidement dans la région. Cette substance, particulièrement dangereuse en raison de sa composition chimique inconnue et de ses effets imprévisibles, est distribuée par un gang de trafiquants notoire appelé le Réseau Cobalt.

Les forces de l'ordre ont signalé une augmentation alarmante des cas d'overdose et d'hospitalisations liées à la consommation de cette drogue au cours des dernières semaines. Le Vitriol Vert, ainsi nommé en raison de sa couleur distinctive, est décrit comme extrêmement addictif et associé à des comportements violents et erratiques chez ses consommateurs.

"Nous faisons face à une crise majeure", a déclaré un porte-parole de la police locale. "Le Réseau Cobalt utilise des méthodes de distribution sophistiquées et ciblées, rendant notre tâche de démantèlement particulièrement difficile. Nous appelons la population à la vigilance et à signaler toute activité suspecte."

La drogue est diffusée dans des petits sachets en plastique contenant à chaque fois une dose de 1g. Les enquêteurs ont remarqué que le vitriol vert n'est pas toujours pur et qu'il est parfois coupé avec d'autres substances.

Des opérations conjointes entre la police, les douanes et les unités spécialisées dans la lutte contre le trafic de drogue sont en cours pour démanteler le Réseau Cobalt et stopper la propagation de cette



substance mortelle. Les citoyens sont encouragés à coopérer avec les autorités en fournissant toute information susceptible d'aider à l'arrestation des membres de ce gang.

En attendant, les services sociaux et les centres de désintoxication se préparent à une augmentation du nombre de patients nécessitant une aide d'urgence. Des campagnes de sensibilisation sont également prévues pour informer le public, en particulier les jeunes, des dangers associés au Vitriol Vert et aux autres drogues de synthèse.

La situation reste tendue alors que les autorités tentent de contenir cette nouvelle menace qui pèse sur la sécurité et la santé de la communauté.

Document 2 : Protocole du titrage

But du titrage

Déterminer la quantité de matière, la masse ou la concentration d'une espèce chimique en solution.

Principe d'un titrage

Lorsqu'on fait un titrage on introduit progressivement une solution contenant un réactif de concentration connue (solution titrante) qui réagit avec la solution à analyser (solution titrée) selon une réaction chimique connue appelée réaction de titrage (simplifiée ici) :

Vitriol vert + réactif violet (permanganate de potassium) → produits (incolores)

On continue à ajouter le réactif jusqu'à ce qu'**il n'y ait plus** de vitriol vert dans notre échantillon. Cet instant, appelé **équivalence** du titrage est repérable par un changement de couleur appelé virage : à ce moment, la couleur violette ne disparaîtra plus.

En pratique :

- 1^{ère} étape : Réaliser une solution de volume $V_S = 100$ mL avec la totalité de l'échantillon à analyser (voir protocole de dissolution).
- 2^{ème} étape : Prélever un volume $V_p = 10,0$ mL de cette solution avec une pipette jaugée de 10 mL et les verser dans un bécher.
- 3^{ème} étape : Remplir une burette graduée avec la solution titrante contenant le réactif (ici c'est le permanganate de potassium).

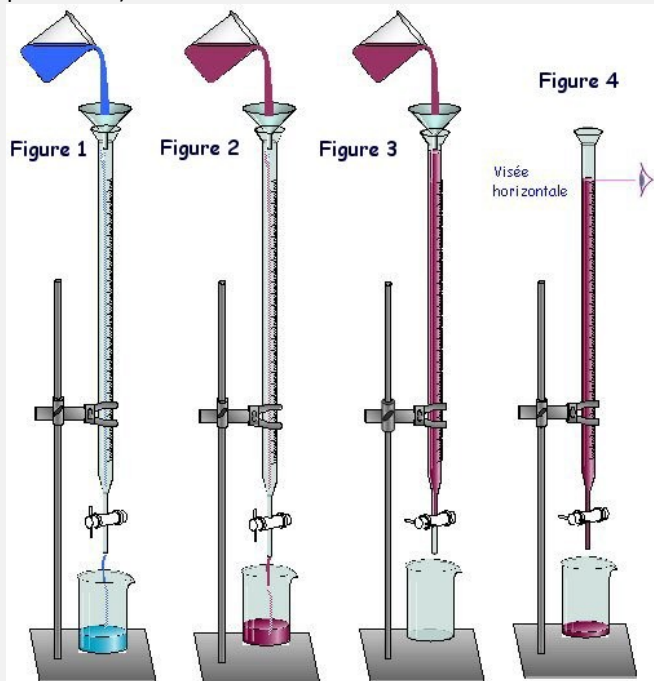


Figure 1 : La burette est rincée à l'eau distillée.

Figure 2 : les parois de la burette sont rincées avec la solution titrante.

Figure 3 : on remplit en dépassant le 0.

Figure 4 : La bulle d'air située sous le robinet est chassée et le niveau du liquide est ajusté au zéro.

Source : académie de Marseille

4^{ème} étape ; Verser progressivement dans le bécher, sous agitation magnétique, la solution titrante contenue dans la burette jusqu'au repérage de l'équivalence : **Un brusque changement de couleur appelé virage a lieu à une goutte près (ici la solution cesse de se décolorer et elle prend une teinte rosée).**



Il faut noter soigneusement le volume de solution titrante versée à l'équivalence V_E , il sera utilisé pour les calculs.

Document 3 : Calcul pour obtenir la concentration

On connaît la concentration de la solution titrante : $C_R = 0,395 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

On a mesuré le volume de cette solution versé à l'équivalence : $V_E = \dots\dots\dots \text{ mL} = \dots\dots\dots \text{ L}$

Relation à utiliser pour calculer la masse de vitriol vert :

$$m = \frac{V_E \times V_S \times 12,4 \times C_R}{V_P}$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} \text{Masse de vitriol vert } m \text{ en g} \\ \text{Volume } V_E, V_P \text{ et } V_S \text{ en L} \\ \text{Concentration } C_R \text{ en } \text{g}\cdot\text{L}^{-1} \end{array} \right.$

Lors de différentes opérations antidrogues, les services de police ont saisi des sachets de poudre de 1g. Votre but est d'analyser le contenu de ces sachets par titrage.

Le sachet n°1 a été saisi le 12 aout, le sachet n°2 le 21 septembre et le sachet n°3 le 16 octobre.

Questions

1. Analyser un sachet de poudre par un titrage colorimétrique et en déduire la masse de vitriol vert qu'il contient.
2. Analyser ensuite de la même façon un 2^{ème} puis un 3^{ème} sachet en fonction du temps disponible.
3. Comparer les résultats. Qu'en déduisez-vous ?

ACTIVITE 2. Bilan final de l'enquête

Analyser les résultats des séances précédentes et en déduire des interprétations permettant d'expliquer ce qui s'est passé et d'identifier un ou des suspects probables pour ce meurtre.

- **Objectifs** : Faire le bilan de l'enquête en interprétant les résultats des différentes investigations.
- **Matériel** : /
- **Ressources disponibles** : les résultats des parties 1, 3, 5, 6, 7
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : A faire à la maison. Possibilité d'une restitution sous forme de rapport ou de présentation. Possibilité aussi de prévoir une présentation orale.

Questions

1. A partir des résultats des parties précédentes et en utilisant les documents sur l'enquête, déterminer le scénario probable de l'affaire Boidest. Après avoir résumé le contexte en introduction, vous détaillerez les indices importants retrouvés, les analyses réalisées et les interprétations que vous déduisez de vos résultats. Vous devrez identifier un ou des suspects principaux avec un mobile probable.

**Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux****Activité 1**

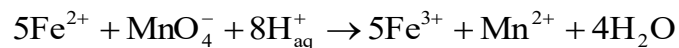
L'objet de ce TP est la réalisation du titrage colorimétrique avec l'utilisation de la burette graduée et l'ajout progressif du réactif pour obtenir l'équivalence. Le calcul final simplifié permet d'exploiter le résultat sans connaissances sur les moles.

1 et 2 On utilise comme solution titrante **réelle** une solution de permanganate de potassium KMnO_4 de concentration $C = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ acidifié avec acide sulfurique. Seule la notion de concentration massique est au programme en classe de seconde. Elle vaut ici $0,395 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Chaque sachet plastique contient du sel de Mohr avec des quantités différentes, mélangé avec du sulfate de sodium ($2 \text{ Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$) pour que la masse totale soit égale à 1 gramme.

Noter le n° de sachet et la date de saisie sur le sachet.

Réaction de titrage effective :



$$\text{Bilan de matière : } n \text{ Fe}^{2+} = 5 \times n \text{ MnO}_4^- = 5 \times C_{\text{MnO}_4^-} \times V_E$$

Préparation des sachets

		masses en g			V_E en mL
	Date des saisies				
Sachet 1	12-août	0,9	0,1	1	18,4
Sachet 2	21-sept	0,7	0,3	1	14,3
Sachet 3	16-oct	0,4	0,6	1	8,2

3. La masse de vitriol vert diminue au fur et à mesure des dates de saisie. Les doses dans les sachets sont donc de moins en moins concentrées.

Remarque : les anciens chimistes dénommaient le sulfate de fer *vitriol vert* pour sa teneur en soufre oxydé (vitriol). D'où le nom de la « drogue » dans cette enquête.



Activité 2 Cette activité peut être faite à la maison. Elle peut prendre la forme d'un travail sur feuille à rendre ou d'une présentation powerpoint, genially ou autres applications. On peut aussi organiser une présentation orale des groupes d'élèves.	1. Contexte et Victime Claude Boidest : Professeur de physique-chimie de 57 ans, retrouvé mort le 27 octobre à 7h15 dans la salle 370 du lycée Saint-Exupéry. Il a été tué par deux balles (épaule droite et cœur). Heure du décès : Entre 17h06 et 22h42 le 26 octobre (d'après le nomogramme d'Henssge et la température du corps). Mobile possible : Implication dans un réseau de trafic de drogue (Réseau Cobalt) et production de "Vitriol Vert", une drogue de synthèse. Aventure amoureuse, chantage, conflit professionnel ou politique ...
	2. Indices Clés A. Messages codés (Partie 1, Activité 3) Les messages décodés révèlent que Claude Boidest était en contact avec le Réseau Cobalt pour la production et la livraison de drogue. Exemple : "Nouvelle commande : Il faut produire cinq kilogrammes et transmettre à votre contact local. La livraison est prévue le douze septembre. Le réseau Cobalt." Menace : "Boidest, vous ne pouvez pas vous moquer du réseau Cobalt impunément ! [...] La livraison est impérativement programmée le trente octobre. Ne nous décevez pas." Conclusion : Boidest était sous pression pour livrer une commande de drogue. Son meurtre pourrait être lié à un échec de livraison ou à une trahison.
	B. Analyse des appels téléphoniques (Partie 5, Activité 2) Numéro 1 : "06 52 03 95 87" → Alexandre Martino (élève de terminale). Numéro 2 : "06 32 18 65 42" → Serge Virlot (professeur de SVT, joueur compulsif et endetté). Contexte : Claude Boidest a contacté ces deux personnes peu avant sa mort. Serge Virlot est connu pour ses dettes de jeu et son amitié avec Boidest, qui lui aurait prêté de l'argent. Alexandre Martino, élève moyen, n'avait pas de conflit apparent avec Boidest mais pourrait être son contact du réseau Cobalt.
	C. Analyse de la lettre de menace Partie 6, Activité 1 : l'encre Le chromatogramme de la lettre de menace correspond à un des feutres qui porte le n°3. Les suspects sont donc : Claudine Ampère, Alexandre Martino, Serge Virlot. Partie 6, Activité 2 : le papier Le grammage du papier est de 80 g/m ² (format courant). M. et Mme Avert, M. Courfin, Mme Gerard, Mme Lejeune, Mme Richard et M. Martino ont ce type de papier. Partie 6, Activité 2 : l'écriture La comparaison en écriture donne comme résultat Alexandre Martino. Contexte : Alexandre Martino a probablement écrit cette lettre de menace. Il pourrait être lié au Réseau Cobalt qui menacerait Boidest.
D. Analyse de la poudre (Partie 7, Activité 1) Les sachets de "Vitriol Vert" saisis contiennent une quantité décroissante de drogue pure au fil du temps, ce qui suggère une dilution volontaire ou une pénurie. Implication : Boidest était probablement responsable de la production ou de la distribution de cette drogue pour le Réseau Cobalt.	



3. Alibis et Suspects

A. Suspects avec des alibis faibles ou contradictoires

Nom	Relation avec Boidest	Alibi pour le 26/10 (17h06–22h42)	Motif
Alexandre Martino	Relations correctes, appelé par Boidest peu avant sa mort. Probablement rédacteur de la lettre de menace	Resté avec Virginie Lejeune, rentré à 18h45. Alibi qui dépend de Virginie (complice ?).	Peut être membre du Réseau cobalt : Règlement de compte.
Anne Gérard	Relations plutôt bonnes, l'a protégé des sanctions.	Cours de yoga de 18h00 à 19h00, rentrée à 19h15. Alibi partiel.	Aucune raison apparente.
Christine Avert	Relations chaleureuses (trop ?), divorce en cours.	Pas de cours, restée à la maison. Alibi non vérifiable.	Relation amoureuse (coup de téléphone)
Claudine Ampère	Ex-petite amie, relations refroidies.	Rentrée chez elle à 17h40, appel téléphonique de 18h50 à 19h10. Alibi solide.	Conflit personnel, mais alibi vérifiable.
Hélène Richard	Relations difficiles (stress, antidépresseurs, mutation demandée).	A quitté le lycée à 17h00, courses au centre commercial, rentrée à 18h20. Alibi solide.	Conflits professionnels, mais alibi vérifiable.
Jean-Claude Avert	Conflits passés (jalousie, bagarres), relations professionnelles depuis la rentrée.	Entraînement de football de 17h30 à 19h00, rentré à 19h45. Alibi solide.	Mobile possible (jalousie), mais alibi vérifiable.
Jessica Bolzinger	Conflit scolaire (rapport sévère, risque d'exclusion).	Rentrée chez elle à 17h40, mère rentrée à 18h45. Alibi partiel.	Mobile (vengeance), mais peu probable.
Michel Carnet	Conflits politiques, oppositions idéologiques.	Quitté le lycée à 15h30, conseil municipal de 18h15 à 23h00. Alibi solide.	Mobile politique, mais alibi vérifiable.
Michel Courfin	Conflits orageux (règles de sécurité, dépenses du laboratoire).	A travaillé dans son bureau jusqu'à 19h30, famille à l'entraînement de judo. Alibi partiel.	Opposition professionnelle, mais peu de mobile direct.
Serge Virlet	Ami proche, dettes de jeu, prêt d'argent par Boidest.	Resté 1h dans sa salle, puis passé au collège chercher ses enfants. Alibi non vérifiable.	Mobile fort : dettes, pression financière, appel de Boidest peu avant sa mort.
Sophie Carnet	Relations purement professionnelles.	Visite à sa mère, rentrée à 18h45. Alibi solide.	Aucun mobile.
Virginie Lejeune	Conflit sur les notes, altercation le 9 octobre.	Restée avec Alexandre Martino devant le lycée, bus à 18h30, rentrée à 19h05. Alibi solide.	Mobile (rancœur), mais alibi vérifiable.



Les suspects principaux semblent être Serge Virlot ou Alexandre Martino. Des interrogatoires et des perquisitions supplémentaires devront permettre de confirmer ces hypothèses.

En cas d'affirmations trop définitive, faire remarquer que l'écriture d'une lettre de menace ou un coup de téléphone n'est pas une preuve de l'exécution ou l'implication d'un meurtre.

**Ce qu'il faut savoir faire :**

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
REA	Réaliser le dispositif expérimental correspondant à un protocole	Activité n°1
	Maîtriser certains gestes techniques (utiliser le matériel de chimie, la calculatrice)	Activité n°1
ANA	Exploiter des informations extraites des données (les interpréter ; les exploiter en utilisant au besoin l'outil mathématique ou informatique)	Activité n°1
COM	Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente.	Activité n°2

Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Les solutions aqueuses, un exemple de mélange.	Utiliser la verrerie adaptée pour préparer une solution par dissolution.	Activité n°1

Liens avec le programme de physique chimie de 1^{ère} spécialité physique-chimie

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Détermination d'une quantité de matière grâce à une transformation chimique	Réaliser un titrage direct avec repérage colorimétrique de l'équivalence pour déterminer la quantité de matière (ou la masse) d'une espèce dans un échantillon.	Activité n°1