

Activité expérimentale n° 2 – Rendre visible l'invisible

► Introduction

Une nouvelle page s'ouvre dans le carnet d'analyses du laboratoire municipal, et cette semaine, **l'œil ne suffit plus**. La cuisine centrale demande un contrôle sur un flacon de **colorant vert alimentaire** : un liquide parfaitement uniforme, d'un vert identique du fond jusqu'au bouchon. Est-il formé d'une seule espèce chimique colorée, ou de plusieurs ? Au même moment, l'atelier de maintenance demande de caractériser le **gaz produit par la combustion du fusain** (charbon de bois) de son braseiro d'essai : un gaz **invisible**, sur lequel l'œil ne dit rien non plus.

Dans les deux cas, le laboratoire applique la même logique : **provoquer un phénomène qui rend l'espèce chimique visible**. Deux voies s'offrent à lui : la faire *migrer* pour la *séparer*, ou la faire *réagir* pour qu'un changement d'aspect la *trahisse*.

Mission (1 h 30, semi-autonome) : en binôme, réaliser la CCM du colorant vert et l'exploiter (Partie A) ; interpréter la combustion du carbone et son test à l'eau de chaux (Partie B, encadrée par le professeur) ; puis rédiger la synthèse des deux voies d'identification (Partie C).

Comment le chimiste révèle-t-il ce que l'œil ne voit pas ?

✓ Savoirs et savoir-faire

Savoirs	Savoir-faire / capacités
- Chromatographie sur couche mince : séparer les espèces colorées d'un mélange ; rapport frontal $R = h/H$. - Corps pur et mélange, réinvestis à un niveau nouveau : invisible à l'œil. - Tests d'identification courants (eau, dihydrogène, dioxygène, dioxyde de carbone).	- Réaliser une chromatographie sur couche mince et mettre en œuvre des tests chimiques, pour identifier une espèce chimique et, le cas échéant, qualifier l'échantillon de mélange. - Citer des tests courants de présence d'eau, de dihydrogène, de dioxygène et de dioxyde de carbone. - Distinguer un mélange d'un corps pur à partir de données expérimentales.

Document 1 – Le protocole de la CCM

Le laboratoire sépare par **chromatographie sur couche mince** (CCM) quatre échantillons : **A** = colorant vert alimentaire ; **B** = témoin de **bleu de patenté** ; **C** = témoin de **tartrazine** (additif E102, jaune) ; **D** = colorant rouge alimentaire. Les colorants alimentaires sont **colorés** : aucune révélation (par exemple sous lampe UV) n'est nécessaire pour voir les taches ; elle ne serait utile que pour des espèces incolores.

- Tracer, **au crayon graphite**, la ligne de dépôt à 1 cm du bas de la plaque (jamais au stylo – pourquoi ? voir la question 2).
- Déposer sur la ligne, en quatre points écartés, une très petite goutte de chaque échantillon (A, B, C, D) ; laisser sécher entre deux dépôts.
- Verser l'**éluant** (eau salée) dans la cuve sur environ 0,5 cm de hauteur : la ligne de dépôt doit rester **au-dessus** du liquide.
- Poser la plaque dans la cuve et **fermer la cuve** pendant toute l'élution.
- Quand le front de l'éluant a presque atteint le haut de la plaque, la retirer et **tracer immédiatement le front au crayon**, avant séchage.
- Laisser sécher : le chromatogramme est prêt à être exploité (Document 2).

Document 2 – La cuve de CCM : avant et après élution

La figure ci-dessous montre la cuve **avant l'élution** (à gauche), puis la plaque **après élution** (à droite). Une **échelle graduée**, tous les 1 cm, est intégrée à la figure : les hauteurs se mesurent directement dessus, depuis la **ligne de dépôt**. Le **front de l'éluant** est la limite atteinte par l'éluant qui monte dans la plaque ; chaque **tache** est une espèce chimique colorée qui a migré avec l'éluant. Sur la plaque de droite, l'espace entre la ligne de dépôt et le front est laissé **en blanc** : vous y dessinerez, d'après vos observations, les taches de chaque dépôt.

Activité expérimentale n° 2 – Rendre visible l'invisible

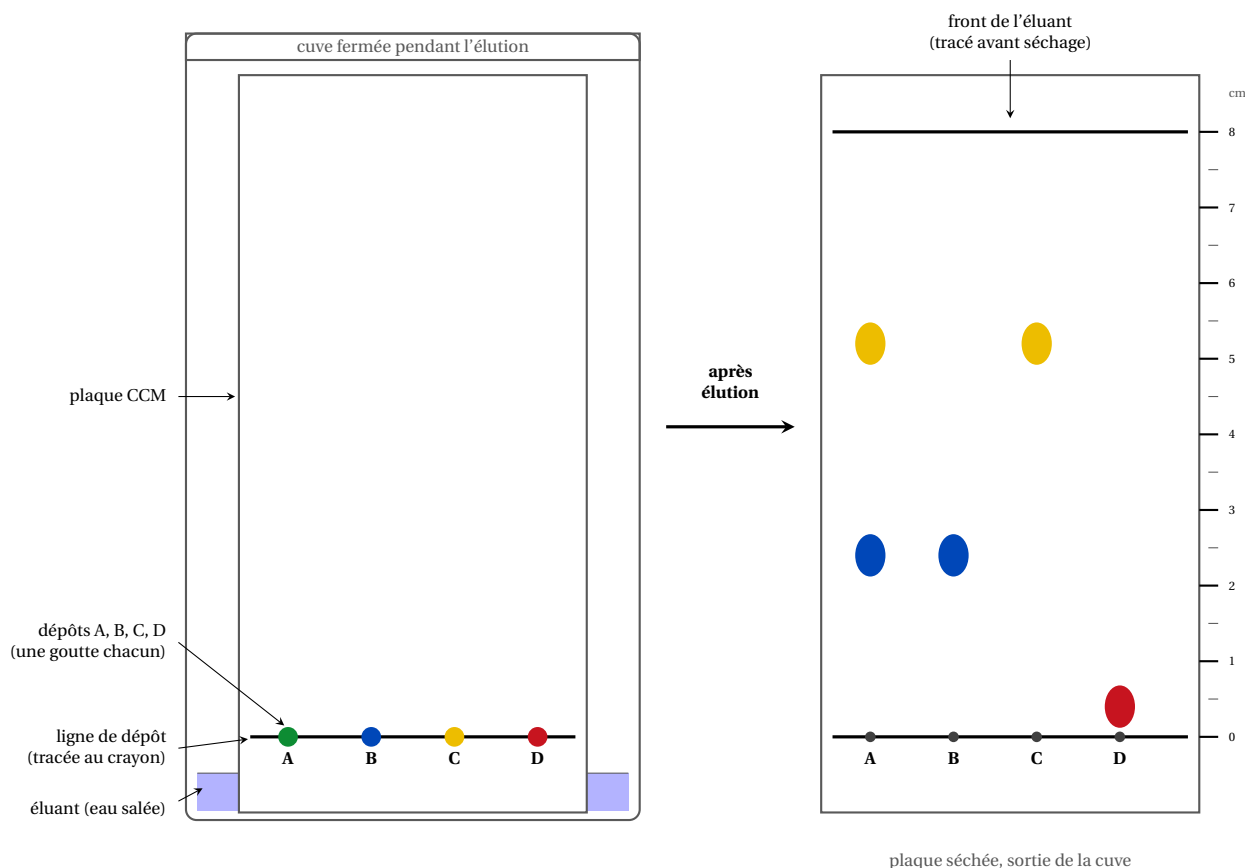


FIGURE 1 – La cuve **avant élution** (à gauche) et la plaque **après élution** (à droite). Dépôts : A = colorant vert alimentaire; B = témoin de bleu de patenté; C = témoin de tartrazine (E102); D = colorant rouge alimentaire. Les taches du chromatogramme attendu sont représentées : comparez-les à vos observations. Les traits de mesure H , h_1 et h_2 sont à tracer à la règle (question 1).

1. Partie A – Séparer : la CCM du colorant vert

1. (*compétence Réaliser*) Réaliser la CCM en suivant le protocole du **Document 1**. Le front de l'éluant a été tracé avant séchage : sur le schéma de droite du **Document 2**, dessiner d'abord vos taches, puis tracer à la règle les trois **traits de mesure** : du milieu de la ligne de dépôt au **front** (hauteur H), puis du milieu de la ligne de dépôt au **centre de chaque tache** du dépôt A (hauteurs h_1 et h_2). Relever ces trois hauteurs avec l'échelle graduée et les noter. Vérifier enfin que les taches de chaque dépôt (A, B, C, D) ont bien été dessinées sur le schéma (la hauteur du front, elle, dépend de la durée d'élution).

✓ Correction

Le chromatogramme attendu : dépôt A – **deux taches**, une bleue et une jaune; B – une tache bleue, à la même hauteur que la tache bleue de A; C – une tache jaune, à la même hauteur que la tache jaune de A; D – une tache rouge, qui migre à peine. Hauteurs relevées depuis la ligne de dépôt (celles du laboratoire, reprises à la question 6) : $H = 8,0$ cm; $h_1 = 2,4$ cm (tache bleue de A); $h_2 = 5,2$ cm (tache jaune de A).

Activité expérimentale n° 2 – Rendre visible l'invisible

2. Pourquoi la ligne de dépôt se trace-t-elle **au crayon de papier** et jamais au stylo ? Que se passerait-il sinon, sur le chromatogramme ?

✓ Correction

L'encre du stylo est soluble dans l'éluant : elle migrerait avec lui et laisserait ses propres taches, qui se superposeraient à celles des colorants et fausseraient la lecture du chromatogramme. Le graphite du crayon, lui, n'est pas entraîné par l'éluant : la ligne de dépôt reste en place.

3. (compétence **Analyser**)

- (a) Indiquer combien de **taches** présente chaque dépôt (A, B, C, D) et, pour le dépôt A, la couleur de chaque tache.
(b) Chaque tache correspond à une espèce chimique colorée qui a migré avec l'éluant : que peut-on dire de la composition d'un dépôt qui donne **plusieurs** taches ?

✓ Correction

- (a) A : deux taches, une **bleue** et une **jaune** ; B : une tache bleue ; C : une tache jaune ; D : une tache rouge.
(b) Un dépôt qui donne plusieurs taches contient **plusieurs espèces chimiques colorées** : c'est un **mélange**.

4. (compétence **Valider**)

- (a) Le colorant vert alimentaire est-il un **corps pur** ? Justifier à partir des observations.
(b) Un dépôt ne donnant qu'**une seule** tache prouve-t-il à coup sûr que l'échantillon est un corps pur ? Expliquer la réserve, puis dire ce que le laboratoire pourrait faire pour la lever.

✓ Correction

- (a) Non : le colorant vert donne **deux taches**, donc au moins deux espèces chimiques colorées ; c'est un **mélange**, pas un corps pur.
(b) Non, pas à coup sûr : une seule tache ne prouve qu'**une seule espèce colorée visible**. Des espèces **incolores** peuvent être présentes sans donner de tache, et deux espèces différentes peuvent migrer à la même hauteur avec cet éluant. Pour lever la réserve : refaire la CCM avec un **autre éluant** (des espèces confondues ici peuvent s'y séparer) et, pour les espèces incolores, utiliser une **révélation** sous lampe UV.

5. (compétence **Valider**) Comparer la position des taches du dépôt A à celles des témoins B et C : **identifier** les deux colorants présents dans le colorant vert alimentaire (noms et codes E), en précisant à quoi reconnaît chacun d'eux.

✓ Correction

La tache bleue du dépôt A migre à la même hauteur que la tache du témoin B : c'est le **bleu de patenté** (E133). La tache jaune du dépôt A migre à la même hauteur que la tache du témoin C : c'est la **tartrazine** (E102).



Formule à savoir utiliser

Le **rapport frontal** d'une espèce chimique, pour une CCM donnée :

$$R = \frac{h}{H}$$

avec h la hauteur parcourue par la tache (mesurée au *centre de la tache*) et H la hauteur parcourue par le front de l'éluant, toutes deux mesurées **depuis la ligne de dépôt**. R est un nombre **sans unité**, compris entre 0 et 1. Deux CCM réalisées avec le **même éluant** donnent le même R pour une même espèce, même si les durées d'élution diffèrent.

Activité expérimentale n° 2 – Rendre visible l'invisible

6. (compétence **Réaliser**) Le laboratoire a relevé, au centre des taches et depuis la ligne de dépôt : $H = 8,0 \text{ cm}$; $h_1 = 2,4 \text{ cm}$ (tache bleue du dépôt A) ; $h_2 = 5,2 \text{ cm}$ (tache jaune du dépôt A).
- (a) Rédiger le calcul des rapports frontaux $R_1 = h_1 / H$ et $R_2 = h_2 / H$ (résultats avec 2 chiffres significatifs). Vérifier que chaque R est bien compris entre 0 et 1, et noter son absence d'unité.
- (b) Un autre binôme a laissé élever plus longtemps : son front est monté à $10,0 \text{ cm}$ et ses taches du dépôt A se trouvent à $3,0 \text{ cm}$ et $6,5 \text{ cm}$ de sa ligne de dépôt. Calculer ses rapports frontaux et les comparer aux vôtres. Quel **intérêt** le rapport frontal présente-t-il alors pour comparer des CCM réalisées avec des durées d'élution différentes ?

✓ Correction

(a)

$$R_1 = \frac{h_1}{H} = \frac{2,4 \text{ cm}}{8,0 \text{ cm}} = 0,30 \quad R_2 = \frac{h_2}{H} = \frac{5,2 \text{ cm}}{8,0 \text{ cm}} = 0,65.$$

Chaque rapport est bien compris entre 0 et 1 ; hauteur divisée par hauteur, il est **sans unité**.

- (b) $R'_1 = \frac{3,0 \text{ cm}}{10,0 \text{ cm}} = 0,30$ et $R'_2 = \frac{6,5 \text{ cm}}{10,0 \text{ cm}} = 0,65$: les mêmes valeurs que les nôtres, alors que le front est monté plus haut. Le rapport frontal ne dépend pas de la durée d'élution : pour une même espèce et un même éluant, il garde la même valeur, ce qui permet de comparer des CCM réalisées dans des conditions différentes.

2. Partie B – Faire réagir : la combustion du carbone

Le colorant vert a livré son secret par **séparation**. Pour le gaz produit par la combustion du fusain, cette première voie ne convient pas : un gaz ne se dépose pas sur une plaque de CCM. Le laboratoire choisit donc la seconde voie, **faire réagir** : cette expérience est une **démonstration**, réalisée par le professeur ou par des binômes successifs sous sa surveillance. Le fusain (charbon de bois) y est **assimilé au carbone**, noté C(s) : un charbon commercial n'est pas un corps pur, mais c'est bien le carbone qu'on veut suivre. Le gaz produit est **invisible** : après la combustion, c'est le test à l'**eau de chaux**, solution saturée d'hydroxyde de calcium fraîchement préparée et conservée bouchée, qui doit le trahir.

Document 3 – Le montage de combustion et son témoin

Protocole suivi :

1. **Avant la combustion (témoin)**. Verser un peu d'**eau de chaux** dans un **bocal identique (témoin)**, le boucher et l'agiter : l'eau de chaux n'y brasse que l'air ambiant enfermé. Noter l'observation.
2. Accrocher un morceau de fusain au fil métallique fixé sous le couvercle, puis verser un **fond d'eau** dans le bocal : il protège le verre de l'échauffement. Travailler sous hotte ou en pièce ventilée.
3. Porter le fusain suspendu à **incandescence** au-dessus d'une flamme, puis replacer aussitôt le couvercle : le fusain **pend** dans le bocal, au-dessus du fond d'eau, et la braise s'y établit.
4. Observer pendant la combustion (braise, suie, fusain qui diminue). Quand la braise s'éteint, ouvrir le bocal, y verser un peu d'**eau de chaux**, reboucher et agiter ; comparer l'aspect des deux bocaux à la fin des manipulations.

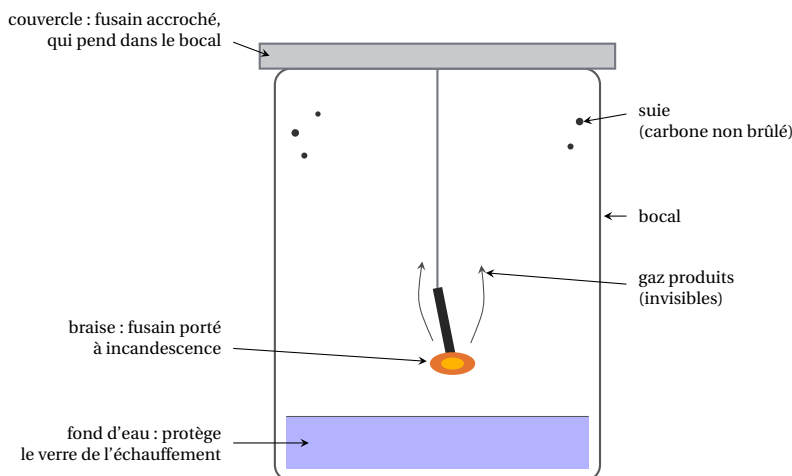


FIGURE 2 – Combustion du fusain dans un **bocal** fermé. Le fusain est accroché au couvercle et **pend** dans le bocal ; un **fond d'eau** protège le verre de l'échauffement.

Activité expérimentale n° 2 – Rendre visible l'invisible

7. (compétence **Analyser**) Pendant la combustion, décrire ce que devient le fusain : l'aspect de la braise (flamme? couleur?), le dépôt noir – la **suie**, qui est du carbone n'ayant pas brûlé (la combustion est incomplète) –, et le morceau de fusain, qui **diminue** peu à peu. Où passe la matière qui « disparaît »? Que fait le montage pour le découvrir?

✓ Correction

La braise est une zone **incandescente** (rouge-orange), **sans flamme**; un dépôt noir de **suie** se forme sur les parois froides; le fusain **diminue** peu à peu. La matière qui « disparaît » n'est pas détruite : elle part dans les **gaz invisibles** produits par la combustion. Le bocal **fermé** piège ces gaz, et l'eau de chaux versée ensuite sert justement à les révéler.

8. (compétence **Valider**)

- (a) L'air ambiant contient déjà du dioxyde de carbone (environ 0,04 % du volume de l'air). Pourquoi le trouble de l'eau de chaux du bocal ne suffirait-il pas, à lui seul, à prouver que ce dioxyde de carbone vient de la combustion?
- (b) Le bocal témoin a été préparé avant la combustion (Document 3). Comparer les deux bocaux à la fin des manipulations : intensité et rapidité du trouble. Quelle **différence d'observation** (et non une simple présence ou absence de trouble) prouve que la combustion produit beaucoup de dioxyde de carbone?

✓ Correction

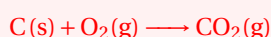
- (a) L'air enfermé dans le bocal contient déjà du dioxyde de carbone : l'eau de chaux pourrait se troubler un peu avec le seul CO₂ de l'air, sans que la combustion en ait produit. Un trouble seul ne prouve donc pas que le CO₂ vient de la combustion.
- (b) Dans le bocal témoin, l'eau de chaux reste quasi limpide, ou se trouble à peine et lentement; dans le bocal de combustion, elle se trouble **nettement et rapidement**. C'est cette **différence d'intensité et de rapidité** du trouble entre les deux bocaux – et non la simple présence d'un trouble – qui prouve que la combustion produit beaucoup de dioxyde de carbone.

9. (compétence **Valider**)

- (a) Écrire, avec les formules, le **bilan** de la transformation : le carbone C(s) du fusain réagit avec le dioxygène O₂ de l'air pour donner du dioxyde de carbone CO₂ (réactifs à gauche, produit à droite, avec une flèche).
- (b) Utiliser ce bilan pour interpréter les observations : pourquoi l'eau de chaux du bocal trouble-t-elle nettement et rapidement? Que conclurait-on si elle restait **limpide** après l'agitation?

✓ Correction

(a)



- (b) Le bocal contient une grande quantité de dioxyde de carbone produit par la combustion : l'eau de chaux s'en trouble nettement et rapidement. Si elle restait limpide après agitation, on en conclurait que la combustion n'a pas produit de dioxyde de carbone.

10. L'eau de chaux doit être **fraîche et conservée bouchée**. Expliquer pourquoi : que se passe-t-il, jour après jour, pour une eau de chaux laissée ouverte au contact de l'air? Quel faux résultat cela risque-t-il de donner lors du test?

✓ Correction

Au contact de l'air, l'eau de chaux réagit peu à peu avec le dioxyde de carbone de l'air : laissée ouverte, elle se trouble toute seule dans son flacon (et son réactif s'épuise). Le test donnerait alors un **faux positif** : un trouble présent alors même que le gaz testé ne contient pas de CO₂ (ou, si elle est épuisée, plus de trouble possible en présence de CO₂). D'où une eau de chaux fraîche, conservée bouchée.

Activité expérimentale n° 2 – Rendre visible l'invisible

11. Le fusain est assimilé au carbone, mais beaucoup de combustions (bois, papier, gaz de cuisinière) consomment des espèces qui contiennent aussi de l'hydrogène. Parmi les tests d'identification appris au collège, lequel permettrait de montrer qu'une telle combustion produit aussi de l'eau? Décrire brièvement la vérification.

✓ Correction

Le test de l'eau : le **sulfate de cuivre anhydre**, blanc, devient **bleu** au contact de l'eau. Vérification : déposer du sulfate de cuivre anhydre au contact des gaz de combustion (par exemple sur une paroi froide où la vapeur se condense) : s'il bleuit, la combustion produit aussi de l'eau.

♥ À retenir

À retenir :

- La **chromatographie** est une technique d'**identification** et de **séparation** des composants d'un **mélange homogène** : elle a révélé les deux colorants (bleu de patenté et tartrazine) du colorant vert, pourtant uniforme à l'œil.
- D'autres techniques d'**identification** – les **tests chimiques** – sont présentées dans le tableau ci-dessous.
- Lien avec le TP n°1 : la mesure d'une grandeur caractéristique – **masse volumique** d'un liquide ou **température de fusion** d'un solide –, comparée à une valeur de référence, est aussi une technique d'identification.

Test de :	Réactif et mode opératoire (court)	Observation « test positif »
l'eau (H ₂ O)	sulfate de cuivre anhydre (blanc), déposé au contact de l'échantillon	il devient bleu
le dioxyde de carbone (CO ₂)	eau de chaux fraîche, versée dans le gaz puis agitée	elle se trouble (blanchit)
le dioxygène (O ₂)	bûchette incandescente (sans flamme) présentée dans le gaz	la bûchette s'enflamme vivement
le dihydrogène (H ₂)	bûchette enflammée présentée dans le gaz	petite détonation : le gaz « aboie »