



MAS/Diplôme en enseignement pour le degré secondaire II

**L'utilisation du smartphone comme instrument d'analyse
en travaux pratiques de chimie : mise en œuvre, apports et
contraintes**

Mémoire professionnel

Laurent Liardet

Sous la direction de : **Julien Bugmann**

Membre du Jury : **Christiane Caneva**

Lausanne, le 14.06.2021

Table des matières

Introduction	1
1 Le numérique en éducation	2
1.1 L'éducation par smartphones	2
1.2 Influence du numérique sur la motivation.....	4
1.3 Concrétisation d'expériences sous un nouvel angle.....	5
2 Problématique et questionnements de recherche	6
3 Méthodologie.....	7
3.1 Récolte des données	7
3.2 Déroulement des séances	8
3.3 Description des TP	8
3.3.1 TP 1 : Analyse de la concentration d'une solution de sulfate de cuivre par colorimétrie	8
3.3.2 TP 2 : Détermination de l'identité de colorants alimentaires par spectroscopie d'absorption.....	10
4 Outils d'évaluation et de vérification des hypothèses	12
4.1 Outils de collecte des données	12
4.2 Traitement des données collectées	14
5 Résultats	14
5.1 Premières observations générales.....	14
5.2 Résultats du TP 1.....	15
5.2.1 Contraintes techniques et usage en classe	15
5.2.2 Habitudes d'usage et familiarité.....	16
5.2.3 Motivation, investissement et performance	17
5.3 Résultats du TP2.....	17
5.3.1 Motivation, investissement et performance	18
5.3.2 Contraintes techniques et usage en classe	18
6 Réponses aux questions de recherche et discussion	20

Conclusion.....	22
Bibliographie.....	23
Annexe 1 : Description des applications pour l'analyse d'image.....	26
Annexe 2 : Protocole du TP 1	27
Annexe 3 : Compte rendu du TP 1	30
Annexe 4 : Protocole du TP 2.....	33
Annexe 5 : Compte rendu du TP 2	35
Annexe 6 : Questionnaire d'évaluation du TP 1.....	38
Annexe 7 : Questionnaire d'évaluation du TP 2.....	40
Résumé	42

Introduction

De nos jours, les technologies du numérique font intégralement partie de nombreux aspects de notre société. Il est donc naturel que l'école se tourne vers celles-ci afin d'enseigner aux élèves la culture numérique nécessaire pour bien appréhender le monde qui les attend. L'éducation numérique a d'ailleurs été récemment implémentée dans le Plan d'études romand pour les différents cycles de l'école obligatoire (CIIP, 2018). De plus, le canton de Vaud va introduire, dès 2022, la science informatique en tant que discipline obligatoire au niveau du secondaire II (Etat de Vaud (DFJC), 2019).

L'inclusion du numérique à l'école, avec l'utilisation d'ordinateurs et plus récemment de tablettes tactiles a aussi été vue, en plus de préparer les élèves au monde moderne, comme une opportunité de diversifier les enseignements ainsi que d'accroître la motivation, l'investissement et par conséquent la réussite des élèves (Karsenti & Fievez, 2013; Leroux et al., 2017). Depuis une dizaine d'années, d'autres objets numériques, tels les smartphones, sont apparus dans notre société et l'exploration du potentiel pédagogique de ces outils ne fait que débiter. En effet, un des avantages du smartphone, en comparaison à d'autres technologies du numérique telles que les tablettes tactiles, est que c'est un objet que possède la très grande majorité des adolescents (Bernath et al., 2020). Les capacités technologiques du smartphone ainsi que son abondance en font un objet rapidement utilisable en classe et ne demandant que peu d'investissements de la part des établissements. De plus, ses capacités technologiques, au travers de ses différents capteurs, en font un objet potentiellement utilisable comme instrument d'analyse pour récolter des données expérimentales lors de l'enseignement pratique de certaines sciences telles que la physique ou la chimie (Delval et al., 2017; Mathevet et al., 2019; Vuaridel & Debernardi, 2017).

Dans ce travail, nous nous intéressons à la mise en œuvre de travaux pratiques (TP) de chimie utilisant le smartphone comme instrument d'analyse, ceci afin de non-seulement explorer des possibilités novatrices dans l'utilisation pédagogique de cet objet mais aussi d'en identifier les impacts sur la motivation et l'investissement des élèves ainsi que les éventuelles contraintes liées à son usage.

1 Le numérique en éducation

Depuis la deuxième moitié du 20^{ème} siècle jusqu'à nos jours, période marquée par le fulgurant essor des technologies du numérique, l'école essaie constamment de les adopter. L'intégration des ordinateurs durant les années 80 dans la sphère éducative a suscité beaucoup d'intérêt de la part des pédagogues et enseignants qui ont vu dans cet objet une possibilité immense de moderniser et diversifier l'enseignement ainsi que de renforcer les apprentissages (Gabriel, 1998). Depuis une dizaine d'années, les tablettes tactiles ainsi que les smartphones ont fait leur apparition dans notre société et viennent compléter l'arsenal des moyens numériques à disposition des enseignants. Selon une étude critique de Leroux et *al.* (Leroux et al., 2017) examinant des méta-analyses portant sur l'impact des technologies du numérique sur les apprentissages, les usages numériques à visées éducatives ont des résultats qui varient largement selon les études. Les auteurs en concluent que les dispositifs numériques ont bien un effet positif sur les apprentissages mais que cet effet reste modeste par rapport aux méthodes d'enseignement plus conventionnelles. Ils expliquent aussi que les bénéfices sur les apprentissages pourraient dépendre des disciplines et seraient plus importants pour les disciplines scientifiques. Les auteurs suggèrent que « l'effet de nouveauté » des technologies du numérique pourrait être en mesure d'accroître la motivation des élèves, ce qui entraînerait une attention plus poussée et aussi de plus grands efforts investis de leur part, ce qui influencerait positivement les apprentissages.

1.1 L'éducation par smartphones

Depuis le vaste engouement populaire suscité par l'arrivée de l'iPhone et de l'iPad il y a maintenant plus d'une dizaine d'années, les dispositifs numériques mobiles, en particulier les tablettes tactiles, ont rapidement trouvé leur place dans les établissements scolaires du monde entier. Leur popularité dans l'enseignement est liée à leur polyvalence et facilité d'utilisation ainsi qu'à la croyance que l'on prête à ces technologies de pouvoir influencer positivement la motivation, l'investissement et la réussite des élèves (Karsenti & Fievez, 2013).

En tant qu'objet pédagogique, le smartphone se positionne dans le sillage de la tablette tactile et ces deux objets ont, du fait de leurs similarités technologiques, des possibilités d'utilisation très semblables. Une différence notable entre le smartphone et la tablette est que cette dernière est généralement fournie aux élèves par les établissements et sa fonction est donc entièrement dévolue à l'enseignement. Le smartphone, quant à lui, trouve son utilisation première dans la

sphère privée. En suisse, il est estimé que plus de 99 % des jeunes entre 12 et 19 ans possèdent un téléphone portable de type smartphone (Bernath et al., 2020).

Depuis quelques années, le smartphone commence à entrer dans les salles de classes et son utilisation à des fins pédagogiques se développe constamment. On le retrouve notamment dans les disciplines scientifiques avec l'exploitation et le détournement de ses capteurs (accéléromètre, magnétomètre, capteur photographique, etc.) par exemple pour l'enseignement de la physique (Vuaridel & Debernardi, 2017) et de la chimie (Delval et al., 2017; Mathevet et al., 2019).

L'utilisation du smartphone en classe possède certains avantages. Tout d'abord, les élèves utilisent leur smartphone personnel, qui est un objet familier pour eux, comme objet d'apprentissage. De plus, les leçons utilisant le smartphone étant encore assez rares, une activité qui l'utilise a un aspect original et différent pour les élèves, ce qui pourrait augmenter leur motivation ainsi que l'attractivité de l'activité par l'effet de « nouveauté » (Leroux et al., 2017). Un autre avantage provient de la grande disponibilité de ces appareils. Comme évoqué précédemment, presque tous les élèves du secondaire II en possèdent un et donc, les établissements scolaires n'ont pas besoin de faire des investissements pour acquérir ce type d'objets numériques.

Cependant, l'usage des smartphones comporte aussi certains désavantages. Premièrement, ces objets sont interdits dans certains établissements, ce qui peut rendre compliqué voire impossible leur utilisation pédagogique en classe. Les raisons à cela ont plusieurs origines comme la lutte contre la cyberdépendance, le cyberharcèlement, le partage de contenus problématiques ainsi que la prise de photos et vidéos à l'insu des enseignants ou des autres élèves. De plus, contrairement aux tablettes tactiles fournies par certains établissements, les smartphones ne sont pas seulement dévolus à l'éducation et donc il y a des risques de détournement d'attention et de baisse de concentration chez les élèves qui seraient tentés d'utiliser les fonctionnalités relevant de la sphère privée. Le manque de connaissance sur les potentiels effets positifs de tels outils en éducation est aussi un facteur d'exclusion des smartphones en classe (Anshari et al., 2017; Domenjoz, 2020). Deuxièmement, une grande diversité de modèles de smartphones, et donc de versions de systèmes d'exploitation, existe. Il faut donc en tenir compte si des applications mobiles sont à télécharger afin qu'elles fonctionnent sur tous les appareils. Un autre désavantage d'une activité qui utilise les smartphones est que celle-ci dépend de leur état et donc les pannes, bugs, batteries déchargées et autres problèmes de ce type doivent être pris en compte lors de la planification des activités (Halaweh, 2017). Troisièmement, l'usage personnel

du smartphone étant différent de celui fait en classe, les enseignants eux-mêmes doivent aussi apprendre à connaître et utiliser les possibilités pédagogiques de cet objet afin de l'appivoiser sous ce nouvel angle. Un apprentissage de leur part est donc recommandé (Al-Furaih & Al-Awidi, 2020; Crichton et al., 2012).

1.2 Influence du numérique sur la motivation

Les bénéfices qu'apportent les technologies du numérique sur les apprentissages est un sujet largement étudié en sciences de l'éducation (Leroux et al., 2017). Cependant, le fulgurant essor de certaines de ces technologies, comme par exemple la tablette tactile et le smartphone, est relativement récent dans les classes. Par conséquent, de nombreuses questions quant à leur potentiel pédagogique restent à étudier et à confirmer. Un des arguments fréquemment avancé concernant l'utilisation des tablettes tactiles est qu'elles favoriseraient les apprentissages en stimulant la motivations des élèves (Ciampa, 2014; Gitsaki & Robby, 2014; Karsenti & Fievez, 2013). Cependant, ce ne sont pas ces outils numériques qui sont en soi directement responsables de l'augmentation de la motivation mais les pratiques pédagogiques, par exemple les tâches proposées aux élèves, élaborées par l'enseignant (Karsenti & Fievez, 2013). Il est donc nécessaire d'utiliser les technologies du numérique comme éléments centraux des tâches proposées aux élèves et pas seulement comme support de cours, par exemple pour transmettre des documents et informations aux élèves.

Selon Supper et al. (2019), la motivation accrue des élèves pourrait provenir du fort niveau d'interactivité et de stimulation sensorielle qu'apportent les technologies tactiles. Cette forte intensité sensorielle aurait comme conséquence de changer les perceptions qu'ont les élèves sur la forme des contenus scolaires qui sont traditionnellement plus basés sur les livres et les documents imprimés. Les caractéristiques visuelles, digitales et animées rendraient les contenus médiatisés au travers de ces technologies moins abstraits et plus accessibles aux élèves. Cela leur permettrait de mieux appréhender le contenu sur lequel ils travaillent et de réaliser plus facilement des tâches spécifiques.

L'accroissement de la motivation associée à l'utilisation des technologies du numérique, en particulier des tablettes tactiles, pourrait cependant n'être qu'un « effet de nouveauté » (Leroux et al., 2017; Supper et al., 2019). L'effet qu'induisent ces technologies sur la motivation, l'investissement et les performances des élèves sur le long terme n'a pas été, à nos connaissances, encore étudié.

Le smartphone, de par ses caractéristiques d'interactivité et de stimulation sensorielle similaires aux tablettes tactiles, possède aussi un fort potentiel d'augmentation de la motivation ainsi que des performances des élèves (Kacetyl & Klímová, 2019). Rappelons cependant que le smartphone est sensiblement différent des tablettes tactiles du fait qu'il s'agisse d'un objet personnel que possèdent et maîtrisent davantage les élèves. L'utilisation détournée en classe du smartphone personnel pourrait accroître leur motivation du fait du sentiment de compétence que pourrait induire ces objets. Un élève qui se perçoit comme compétent dans une matière réussit mieux dans cette matière (Guay et al., 2001).

1.3 Concrétisation d'expériences sous un nouvel angle

Ce constat étant fait, il est à relever que l'utilisation du numérique, et plus précisément du smartphone, pourrait être particulièrement pertinente dans le cadre de certains enseignements qui possèdent des caractéristiques singulières. Par exemple, nous pensons ici à l'enseignement de la chimie, via les travaux pratiques qui en font partie, et qui souffre quelque fois de différents manques. En effet, l'absence de matériel adéquat ou moderne est l'un des critères qui influence négativement l'attrait de la chimie auprès des élèves et donc aussi diminue l'intérêt pour l'apprentissage de cette discipline (Koleva & Nacheva-Skopalik, 2012). L'utilisation pédagogique du smartphone pourrait participer à combler ces manques et être parfaitement pertinente dans le cadre de certains cours de chimie au vu du potentiel d'accroissement de la motivation et de la performance que pourrait induire l'usage de cet objet sur les élèves. L'utilisation de smartphone en chimie, en particulier durant les travaux pratiques (TP), reste un sujet très peu exploré. Les cours pratiques de chimie requièrent des infrastructures et du matériel adaptés (des produits chimiques, de la verrerie, des équipements de laboratoires et des appareils d'analyse plus ou moins complexes et onéreux). Ce matériel ayant un coût non-négligeable, les laboratoires scolaires en sont plus ou moins bien équipés selon le budget alloué. Bien que ce matériel de base permette déjà la réalisation d'une variété immensurable d'expériences différentes, le smartphone offre une opportunité nouvelle, concrète et unique d'élargir la gamme de travaux pratiques réalisables et de sortir du cadre conventionnel.

Delval et al. (2017) ont exploré les possibilités de la réalité augmentée rendue possible par les capteurs photographiques et la puissance de calcul des smartphones, cela afin de créer des séances de travaux pratiques ne requérant pas d'infrastructures ni de matériel de laboratoire. Les travaux pratiques proposés par ces auteurs explorent la représentation tridimensionnelle de la géométrie des molécules ainsi que la visualisation d'éléments chimiques et « *permettent aux*

élèves de faire des voyages dans le monde des molécules et des atomes en stimulant leur imagination, leur créativité et leur apprentissage ».

L'utilisation du capteur photographique de la caméra des smartphones permet aussi l'élaboration de travaux pratiques basés sur la spectrométrie pour étudier par exemple l'interaction du spectre lumineux avec la matière ainsi que la détermination de la concentration des molécules (Carnets de science, 2017; Mathevet et al., 2019; Warren, 2017). Ce genre de travaux pratiques utilise donc le smartphone de manière détournée et comme instrument de laboratoire à part entière.

2 Problématique et questionnements de recherche

La chimie est, comme toutes les autres sciences, une discipline dont l'apprentissage passe en grande partie par l'expérimentation. Il est donc tout à fait logique que les programmes de chimie comportent une partie expérimentale sous forme de travaux pratiques. Un laboratoire est un environnement complexe et les expériences possibles sont innombrables. Cependant, le matériel disponible à la bonne réalisation d'expériences dépend fortement des établissements et des budgets alloués à l'éducation de la chimie. Il peut donc y avoir une grande différence entre les établissements en termes d'appareils de laboratoire et de matériel chimique de base. Cette problématique revoie au concept fondamental de l'équité dans l'accès à l'éducation. Comme nous le proposons ci-avant, le smartphone pourrait être utilisé pour combler ces différences en termes d'appareils de laboratoires.

Cela nous amène à nous poser les deux questions de recherche suivantes : **Est-ce que le smartphone est un outil adapté aux TP de chimie ? Et a-t-il le pouvoir d'accroître la motivation et l'investissement des élèves dans des activités de ce type ?**

Les travaux pratiques utilisant le smartphone étant peu courants, et en tenant compte des potentiels bénéfiques de son utilisation évoqués plus haut, nous faisons l'hypothèse *HI* que l'utilisation du smartphone pourrait participer à la stimulation de la motivation et de l'investissement des élèves en cours de chimie. Par ailleurs, la réalisation de TP utilisant ce dispositif, sans difficultés particulières observées, et l'évaluation de la compréhension des élèves par un compte rendu, pourraient confirmer la possible adaptation du smartphone à des enseignements de ce type.

Cependant, du fait de la grande disparité des modèles de smartphones et de systèmes d'exploitation ainsi qu'à l'utilisation principalement privée du smartphone, son utilisation dans un cadre pédagogique pourrait causer des problèmes non-seulement techniques (installation et

utilisation d'applications) mais aussi des réticences de la part de certains élèves quant à cette approche BYOD (« bring your own devices »). Nous émettons toutefois l'hypothèse *H2* que le côté novateur de son utilisation en travaux pratiques prévaudrait sur l'aspect d'intrusion dans la sphère privée.

Ce travail de recherche vise donc premièrement à vérifier notre hypothèse sur la motivation et l'investissement des élèves lorsqu'ils utilisent leur smartphone comme élément central dans les travaux pratiques de chimie. Nous allons aussi essayer de déterminer la prévalence des aspects négatifs que pourrait avoir cette approche BYOD, telles que les éventuelles réticences des élèves à l'utilisation de leur smartphone comme outil éducatif ainsi que les difficultés techniques qui pourraient survenir, notamment l'installation et l'utilisation d'applications utiles aux TP. En observant la réalisation concrète de ces TP, de leur mise en œuvre à l'évaluation des apprentissages des élèves, nous pourrions apporter des éléments de réponse à l'adaptation éventuelle d'un tel outil en cours de chimie.

3 Méthodologie

3.1 Récolte des données

La récolte de données pour ce travail de recherche se fera dans un gymnase à l'aide de deux travaux pratiques dont le niveau correspond à la 1^{ère} année de gymnase. Le premier TP est fait avec une classe d'école de culture générale de 1^{ère} année (classe 1C) ainsi qu'une classe d'école de maturité de 1^{ère} année (classe 1M) et qui ont la chimie en tant que discipline fondamentale. Le second TP est dispensé seulement à la classe de maturité pour des raisons d'organisation.

Chaque classe est divisée en deux demi-classes pour les cours de travaux pratiques. La classe d'école de culture générale comprend 25 élèves et celle de maturité 18 élèves. Chaque TP est prévu, pour chaque demi-classe, pour 2 périodes de 45 minutes.

Le planning de ces TP est indiqué dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Planning des TP

	Dates du TP 1 (2 périodes)		Dates du TP 2 (2 périodes)	
	Demi-groupe A	Demi-groupe B	Demi-groupe A	Demi-groupe B
Classe 1C	9 mars 2021	16 mars 2021		
Classe 1M	11 mars 2021	18 mars 2021	22 avril 2021	29 avril 2021

3.2 Déroulement des séances

Le déroulement des TP s'effectue selon la temporalité suivante :

Tableau 2. Temporalité du déroulement des TP

	TP 1	TP 2
Temps consacré à l'introduction du TP	20 min	10 min
Temps consacré au téléchargement et à l'installation des applications (<i>RGB Color Detector</i> et <i>ColorPicker</i>)	5 min	
Temps consacré à la construction du spectromètre		20 min
Temps consacré à la partie pratique et au remplissage du compte rendu	60 min	55 min
Temps consacré au remplissage du questionnaire d'évaluation	5 min	5 min

Pour le TP 1, durant le temps dédié au téléchargement des applications (*RGB Color Detector* et *ColorPicker*) la connexion Wifi pour les enseignants de l'établissement est partagée avec les élèves afin que tous puissent télécharger les applications indépendamment de leur possibilité personnelle d'accéder à internet.

3.3 Description des TP

3.3.1 TP 1 : Analyse de la concentration d'une solution de sulfate de cuivre par colorimétrie

La premier TP a pour but d'analyser et de déterminer la concentration d'une substance chimique colorée dissoute dans une solution. Ce TP se focalise plus précisément sur une situation de la vie réelle que pourrait typiquement rencontrer un chimiste : la détermination de la teneur en sulfate de cuivre (CuSO_4) d'une solution de concentration inconnue. Le sulfate de cuivre est une substance généralement utilisée en agriculture comme fongicide et aussi dans certains produits pour le traitement de l'eau des piscines pour réguler la prolifération d'algues. Le sulfate du cuivre est une substance qui, lorsqu'il est dissous dans de l'eau, comporte une certaine toxicité pour la santé humaine et pour l'environnement.

L'objectif ici est que les élèves fassent d'abord une calibration en faisant une série de solutions contenant différentes concentrations de CuSO_4 . Dans une situation réelle de la vie de tous les jours, une analyse de ce type pourrait être faite par colorimétrie et donc nécessiterait une instrumentation dédiée, par exemple un spectrophotomètre. Ce TP vise à introduire le concept d'analyse chimique par colorimétrie en utilisant le capteur photographique du smartphone afin de s'affranchir d'instruments coûteux. Pour réaliser cette analyse, une photo peut être prise des 4 solutions de calibration et d'un échantillon de la solution de concentration inconnue (voir Figure 1). A l'aide d'une application d'analyse d'image pour smartphone, tels que *RGB Color Detector* sur Android ou *ColorPicker* sur iOS (description des applications en Annexe 1), la valeur RVB (rouge, vert, bleu) des pixels peut être extraite de la photo des solutions (Tableau 3). En se basant sur la valeur du pixel rouge en fonction de la couleur, et par conséquent la concentration en CuSO_4 de la solution, une droite d'étalonnage peut être construite. Cette droite peut être ensuite utilisée pour retrouver la concentration en sulfate de cuivre de la solution de concentration inconnue (voir Figure 2). Le protocole expérimental complet de ce TP qui est donné aux élèves est indiqué en Annexe 2.



Figure 1. A) Photo des 4 éprouvettes remplies avec les solutions de calibration contenant différentes concentrations en CuSO_4 avec les zones de pixels analysées (cercles noirs) par l'application. B) Photo de la solution de concentration inconnue en CuSO_4 avec la zone de pixels analysée (cercle noir).

Tableau 3. Valeur RVB des pixels en fonction de la concentration.

Echantillon	Concentration en CuSO ₄	Valeur du sous-pixel rouge	Valeur du sous-pixel vert	Valeur du sous-pixel bleu
Solution 1	40 g/L	83	205	216
Solution 2	30 g/L	109	207	218
Solution 3	20 g/L	155	215	225
Solution 4	10 g/L	201	220	227
Solution de concentration inconnue	À déterminer	181	209	210

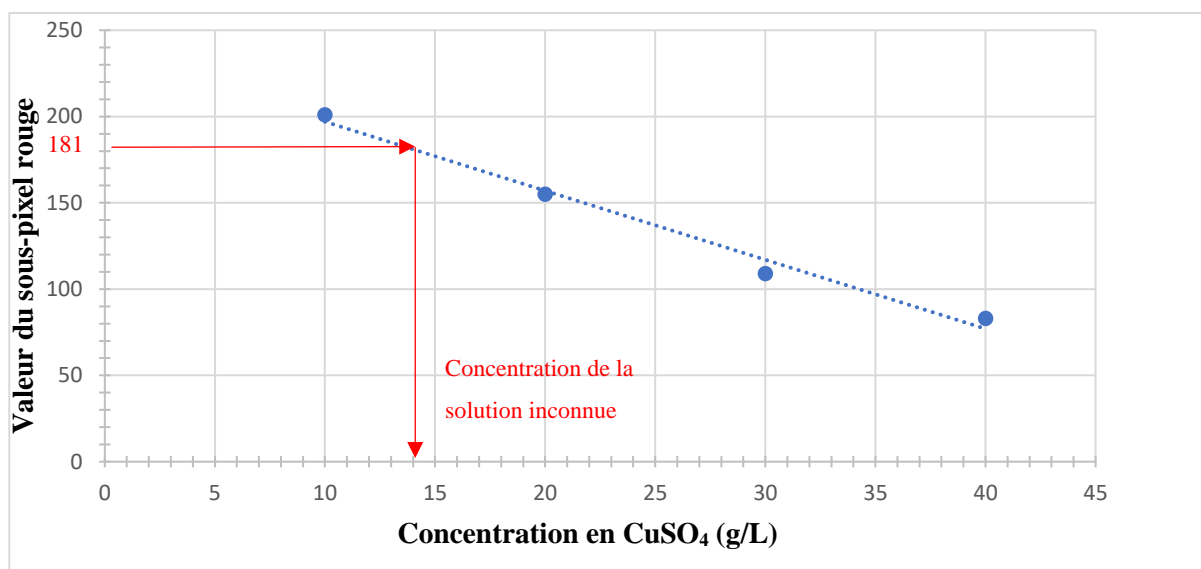


Figure 2. Droite d'étalonnage obtenue à l'aide de la valeur du sous-pixel rouge et détermination de la concentration en CuSO₄ de la solution inconnue.

3.3.2 TP 2 : Détermination de l'identité de colorants alimentaires par spectroscopie d'absorption

Le second TP a pour but d'analyser l'identité de substances chimiques colorées dissoutes en solution par spectrométrie d'absorption de la lumière visible. Ce TP se focalise plus précisément sur l'analyse de colorants alimentaires afin d'en identifier les molécules qui sont responsables de leur couleur.

Pour ce TP, la première étape consiste à faire construire aux élèves un spectromètre « DIY » (« Do It Yourself ») en papier-carton avec un bout de DVD vierge faisant office de prisme pour décomposer le spectre lumineux (Figure 3). Les plans de construction pour ce type de

spectromètre low-cost sont disponibles sur internet (Warren, 2017). L'expérience consiste, après avoir fixé le spectromètre sur la caméra du smartphone, à pointer le spectromètre en direction d'une source lumineuse pour prendre une photo du spectre qu'elle émet.

Dans ce TP, une source lumineuse blanche contenant l'entier du spectre lumineux visible (Figure 4) par exemple une lampe de poche à LED, est passée à travers différentes solutions colorées par des colorants alimentaires. Les molécules responsables de la couleur des colorants vont absorber seulement certaines longueurs d'onde (i.e. certaines parties) du spectre lumineux émit par la lampe. Par conséquent, les molécules de colorant vont laisser passer les autres longueurs d'ondes.



Figure 4 : A) Spectromètre DIY en papier-carton. B) Spectromètre fixé sur la caméra du smartphone.

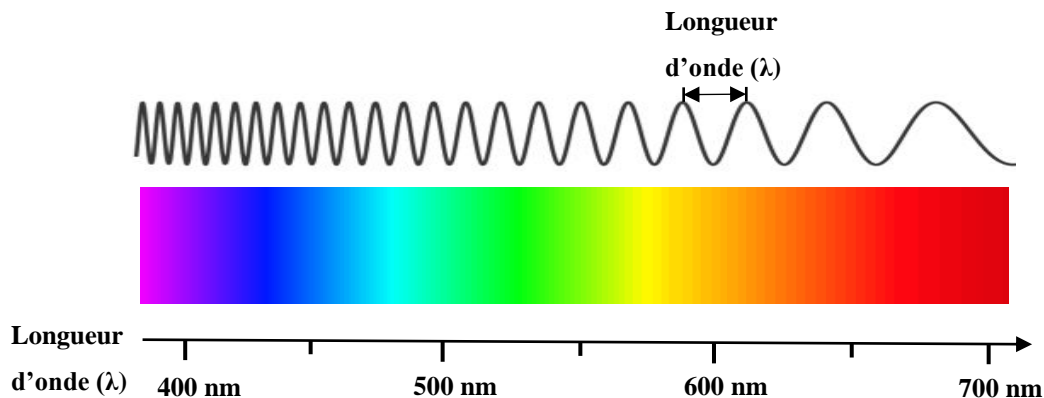


Figure 3. Spectre de la lumière visible.

Ces longueurs d'ondes non-absorbées sont responsables du spectre lumineux de transmission que l'on pourra observer à l'aide du spectromètre en carton monté sur la caméra du smartphone (Figure 3 B). Le spectre lumineux de transmission observé peut ensuite être utilisé afin d'identifier la molécule responsable de la couleur du colorant alimentaire en comparant ce spectre aux longueurs d'ondes théoriques qu'absorbe la molécule. L'expérience est représentée dans la Figure 5. Le protocole expérimental complet de ce TP qui a été donné aux élèves est indiqué en Annexe 4.

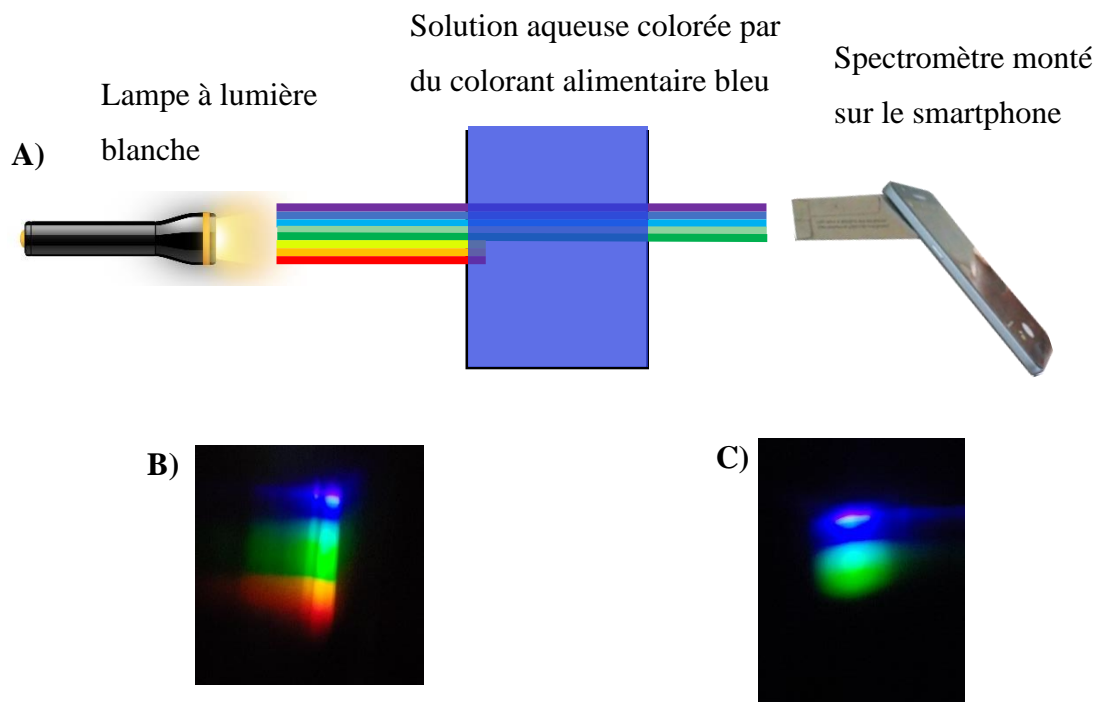


Figure 5. A) Expérience de spectroscopie d'absorption de la lumière visible. B) Spectre lumineux d'une lampe de poche à LED (émettant de la lumière blanche entre 400 et 700 nm) obtenu avec le smartphone-spectromètre. C) Spectre lumineux, obtenu avec le smartphone-spectromètre, d'une lampe de poche après passage du rayon lumineux dans une solution colorée en bleu à l'aide d'un colorant contenant de l'erioglaucine (aussi appelé bleu brillant FCF) qui absorbe la lumière entre 550 et 700 nm.

4 Outils d'évaluation et de vérification des hypothèses

4.1 Outils de collecte des données

Afin de répondre aux hypothèses de ce travail de recherche, plusieurs outils sont utilisés.

Pour évaluer la **motivation et l'investissement** des élèves pour ces TP, un questionnaire (Annexe 6 et Annexe 7) est distribué à la fin de la séance de chaque TP à chaque élève. Le questionnaire pour le TP 1 et celui pour le TP 2 comportent des questions similaires (questions 1 et 5 à 11), en particulier celles qui sont reliées à la motivation et à l'investissement. Les questions 2 à 4 sont différentes entre les deux questionnaires car elles visent à évaluer les aspects techniques qui diffèrent entre le TP 1 et TP 2. Les élèves doivent individuellement donner un score sur 5 à des affirmations telles que « *Vous vous êtes plus investi dans ce TP que dans un TP plus classique (sans utilisation de votre smartphone)* » ou « *Le fait d'utiliser votre smartphone en cours vous a apporté de la motivation pour réaliser les tâches demandées* ».

La **facilité d'utilisation des applications** ainsi que du spectromètre est évaluée avec des affirmations telles que « *Le téléchargement et l'installation de l'application étaient facilement réalisables* », « *L'application d'analyse d'image était facile à utiliser* » ou encore « *Le système spectromètre-smartphone était facile à utiliser* ». Ces questionnaires comportent aussi des questions ouvertes visant à évaluer les réticences et les problèmes techniques que les élèves ont rencontrés lors de l'utilisation détournée de leur smartphone.

Enfin, pour s'assurer de l'adaptation d'une activité de ce type pour des TP de chimie, l'évaluation des apprentissages des élèves a été effectuée à l'aide de compte rendus, sur la même base que ce qui est effectué dans un enseignement traditionnel. Ainsi, les élèves doivent par binôme, tout au long de chaque TP, remplir un compte rendu composé de questions. Pour le TP 1, des questions telles que « *Indiquez dans le tableau la valeur RVB de la couleur de chaque solution* » ou « *Quelle est la concentration en CuSO_4 dans l'échantillon de l'eau de piscine* » sont posées et pour le TP 2, des questions telles que « *A quoi sert le spectromètre que vous avez construit ?* » ou « *De quelle molécule est composé chaque colorant ?* » sont posées. Ces comptes rendus sont affichés en Annexe 3 et Annexe 5.

Le choix d'utiliser des comptes rendus est motivé par le fait que c'est le système habituel pour la vérification des objectifs d'apprentissage qui est utilisé avec ces deux classes. De plus, la rédaction de comptes rendus ou rapports est couramment employée pour non-seulement évaluer les élèves mais aussi les aider à améliorer leur compréhension de la théorie (Schouwey & Decker, 2016).

Tableau 4 : Outils de collecte des données

Élément mesuré	Outil de mesure	Temporalité	Nombre de participants
Motivation et investissement	Questionnaires papiers (Annexe 6 et Annexe 7)	A la fin du TP	TP1 : n = 36 TP 2 : n = 15
Apprentissages	Comptes rendus (Annexe 3 et Annexe 5)	Pendant le TP	TP1 : n = 36 TP 2 : n = 15
Réticences et problèmes techniques des élèves	Questionnaires papiers (Annexe 6 et Annexe 7)	A la fin du TP	TP1 : n = 36 TP 2 : n = 15

4.2 Traitement des données collectées

Concernant les deux questionnaires remplis par les élèves, la moyenne ainsi que l'écart-type des scores des questions 1 à 10 sont calculés. Pour les questions ouvertes A et B de ces questionnaires, les réponses sont relevées et synthétisées.

Les comptes rendus sont corrigés manuellement et le même barème est utilisé pour les 2 classes. Pour le compte rendu du TP 1, 8 points sont distribués sur l'ensemble des questions (sans compter la question bonus). Pour le TP 2, 9 points sont distribués sur l'ensemble des questions.

5 Résultats

Dans cette section, nous décrivons les résultats obtenus lors de cette étude. Nous y présentons nos premières observations effectuées durant les activités ainsi que les différents résultats obtenus lors des deux TP.

5.1 Premières observations générales

Lorsque nous avons effectué ces TP en classe, nous les avons introduits en disant aux élèves qu'ils allaient effectuer, en tant que « cobayes », un type de TP différent où leur smartphone serait l'élément central pour réaliser les expériences. De plus, nous avons insisté auprès des élèves sur l'aspect novateur de ces TP et que leur avis, récolté au travers de questionnaires, serait indispensable afin d'évaluer leur pertinence. Les réactions des élèves étaient positives après leur avoir présenté le but de ces TP et nous avons observé qu'ils se prenaient globalement au jeu. Bien qu'un peu de surveillance, sur ce que faisaient les élèves avec leur smartphone était nécessaire au début des séances pour éviter les détournements d'attention (utilisation des fonctions privées de leur smartphone), une fois les expériences commencées, les élèves

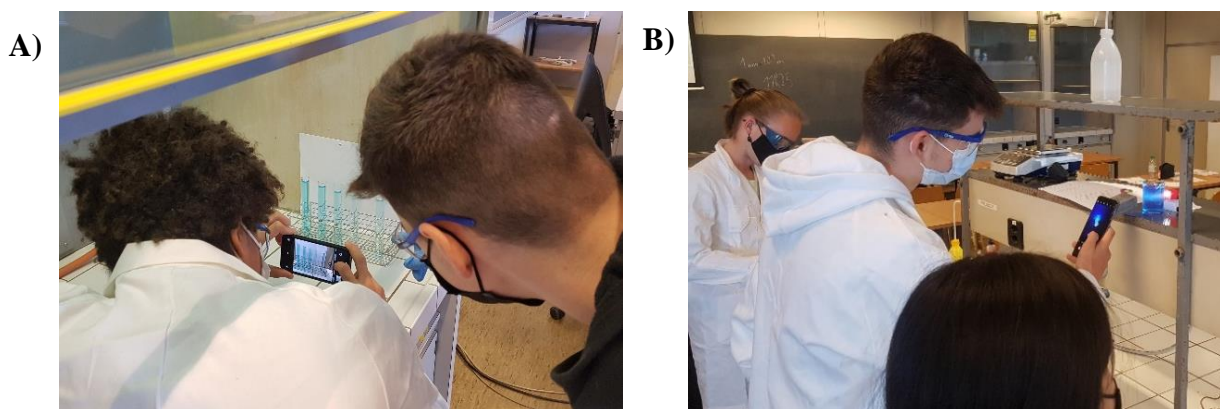


Figure 6. A) Elèves effectuant le TP 1. B) Elèves effectuant le TP 2.

s'appliquaient à réaliser le travail demandé. L'utilisation hors cadre des smartphones n'a pas été plus importante durant ces TP que durant des TP plus classiques (sans utilisation du smartphone).

5.2 Résultats du TP 1

Le TP 1 a été fait avec 2 classes. 36 élèves au total ont pris part à ce TP et répondu au questionnaire (Annexe 6). Les résultats des questions 1 et 5 à 10 de ce questionnaire du TP 1 (ainsi que ceux du TP 2) sont représentés dans la Figure 7.

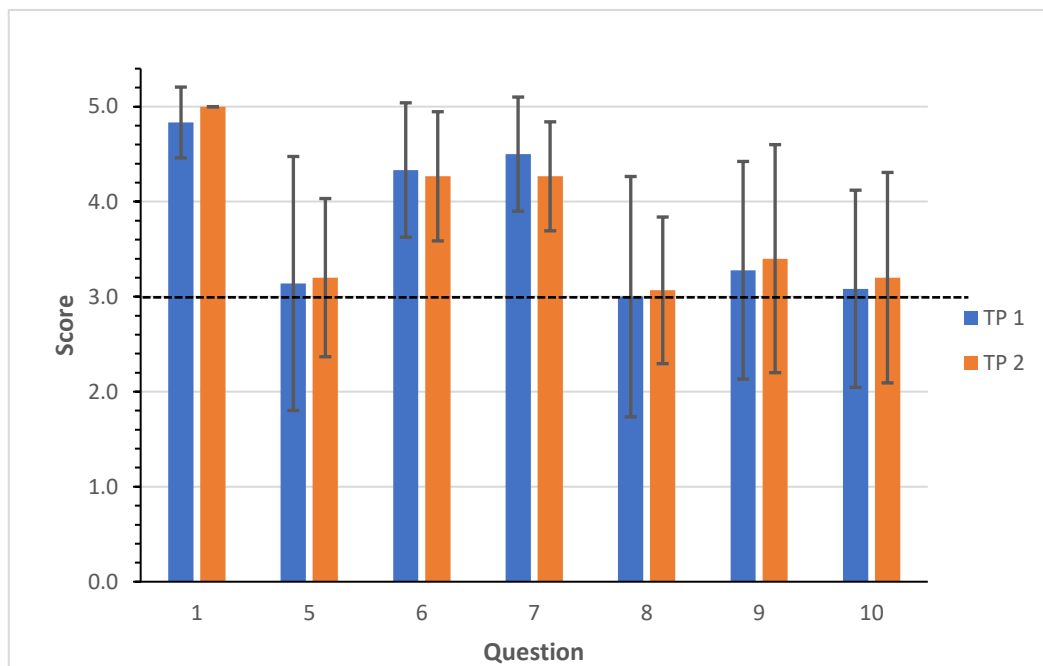


Figure 7 : Moyenne des scores obtenu pour les questions 1 et 5 à 10 du questionnaire du TP 1 et TP 2. La ligne en traitillé sur le score de 3 indique le score neutre.

5.2.1 Contraintes techniques et usage en classe

Les questions 2 et 4 portent sur la facilité du téléchargement et de l'installation des applications ainsi que sur leur utilisation et sont représentées dans la Figure 8. Ces questions obtiennent respectivement des scores moyens de 4.8 et 4.6 sur 5. Ces scores indiquent que les aspects techniques d'installation et d'utilisation d'applications mobiles ne représentent pas des barrières à l'utilisation des smartphones en cours. Cependant, la question 3 qui cherche à évaluer si les élèves ont eu besoin d'explications pour utiliser les applications obtient un score de 4.4 sur 5 (Figure 8), indiquant que les élèves ont quand même besoin d'être guidés lors d'une utilisation de leur smartphone et d'applications dont ils n'ont pas l'habitude.

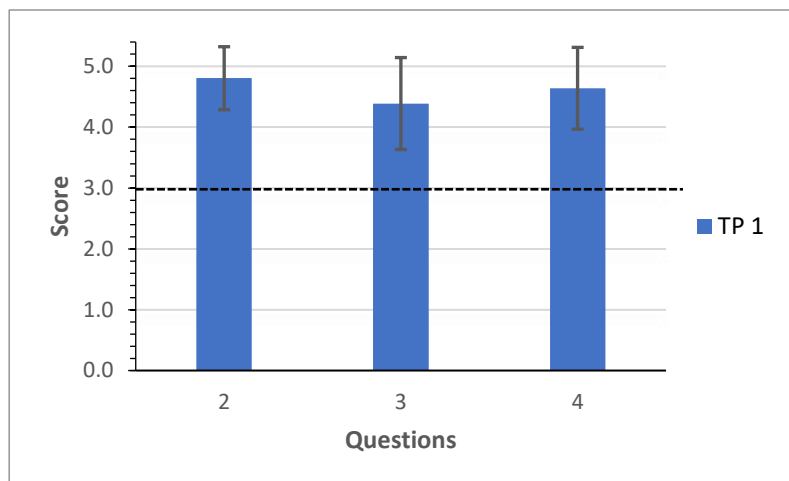


Figure 8 : Moyenne des scores obtenus pour les questions 2 à 4 (visant à évaluer la facilité du téléchargement, de l'installation et de l'utilisation des applications) du questionnaire du TP 1. La ligne en traitillé sur le score de 3 indique le score neutre.

Par le biais de la question ouverte A du questionnaire, il n'a pas été détecté de difficultés majeures liées aux aspects techniques (téléchargement, installation et utilisation des applications) de l'utilisation du smartphone dans ce TP. Le seul obstacle relevé a concerné 3 élèves (sur les 36 ayant participé à ce TP) qui ont dû demander à leurs parents de télécharger les applications à cause du contrôle parental activé sur leur smartphone. Avertir les élèves quelques jours avant le TP est donc recommandé afin que tout le monde ait la possibilité d'installer les applications. La possibilité d'avoir un Wifi en classe pour télécharger les applications a été mise en avant par un élève comme étant un aspect essentiel car tous ne disposent pas d'un abonnement avec de grandes quantités de données mobiles. Au travers de la question ouverte B, aucun élève n'a eu de réticences à utiliser son smartphone personnel dans le cadre de ce TP.

5.2.2 Habitudes d'usage et familiarité

Le score de la question 1, qui portait sur la familiarité qu'ont les élèves à utiliser un smartphone dans leur vie quotidienne, montre qu'ils se sentent très majoritairement à l'aise avec l'utilisation de cet objet. De plus, ce résultat est en accord avec les conclusions de l'étude JAMES qui montrent que le smartphone joue un rôle prépondérant dans la vie des jeunes et que ses nombreuses fonctions sont bien maîtrisées par ceux-ci (Bernath et al., 2020). La question 5 visant à évaluer si les élèves ont l'habitude d'utiliser leur smartphone dans un contexte pédagogique obtient un score proche de 3 avec un écart-type important. Cela pourrait provenir du fait que certains enseignants utilisent le smartphone dans leurs enseignements mais que ce n'est pas une

pratique généralisée. Bien que ce résultat comporte une certaine fragilité, il va dans le sens d'une autre étude qui montre que l'adoption du smartphone en tant qu'objet pédagogique dépend en partie des compétences personnelles des enseignants à utiliser cet objet mais aussi des caractéristiques de l'environnement dans lequel ils exercent, comme par exemple le positionnement et le règlement des établissements sur les smartphones ou les éventuelles formations disponibles et encouragements à adopter ces objets en classe (Al-Furaih & Al-Awidi, 2020).

5.2.3 Motivation, investissement et performance

Les questions 6 et 7, avec des scores de respectivement 4.3 et 4.5 sur 5 indique que les élèves ont trouvé ce TP original et différent d'un TP plus conventionnel (sans smartphone) et que l'utilisation du smartphone était intéressante et pertinente. De plus, l'évaluation de la performance des élèves, à l'aide de comptes rendus, indique une moyenne de 7 points sur un total de 8 points, indiquant un taux de 87% de réponses correctes (Tableau 5). Ce résultat montre que les élèves ont bien appréhendé le principe de la colorimétrie utilisée dans ce TP.

Les questions 8 et 9 visant à évaluer respectivement l'investissement ainsi que la motivation des élèves montrent qu'ils ne se sont pas sentis plus investis ou motivés par le fait d'utiliser leur smartphone. Cela contraste avec l'observation que tout du long de ce TP, les élèves s'impliquaient à réaliser les tâches demandées et travaillaient consciencieusement. La question 10 montre un score moyen de 3.1 sur 5, indiquant que l'utilisation par les élèves de leur smartphone ne permet pas de les rassurer et de mieux comprendre les notions théoriques présentes dans ce TP. Ce résultat est en accord avec le fait que le smartphone n'est pas utilisé dans ce TP pour aborder la théorie mais est utilisé en tant qu'instrument de laboratoire permettant de récolter des données.

Tableau 5 : Moyenne et écart-type obtenus sur les comptes rendus des TP 1 et TP 2.

	TP 1	TP 2
Moyenne	7 ± 1.4 (/8 points)	6 ± 2.0 (/9 points)

5.3 Résultats du TP2

Le TP 2 a été réalisé avec 15 élèves provenant de la même classe. Les questions 1 et 5 à 10 du questionnaire de ce TP 2 (Annexe 7) montrent des scores semblables à ceux du questionnaire du TP 1 (Figure 7).

5.3.1 Motivation, investissement et performance

Cela indique, tout comme pour le TP 1, que les élèves trouvent que ce TP est original et qu'il est intéressant et pertinent d'utiliser leur smartphone comme instrument de laboratoire. Tout comme le TP 1, l'utilisation du smartphone n'accroît pas la motivation et l'investissement ressentis par les élèves par rapport à des TP plus conventionnels.

Concernant la performance des élèves, les comptes rendus du TP 2 obtiennent une moyenne de 6.0 points sur 9 (voir Tableau 5). Cela correspond à un taux de réponses justes de 67 %. Comparé au TP 1, la performance moins bonne des élèves sur ce TP pourrait s'expliquer par le fait qu'il y avait beaucoup d'artefacts lumineux sur les spectres obtenus (voir Figure 10 B), compliquant ainsi le traitement des résultats. Des commentaires tels que « *Il y avait plusieurs arcs-en-ciel, on ne savait pas lequel prendre* » ou « *Prendre des photos étaient assez dur* » tendent à confirmer cette hypothèse.

5.3.2 Contraintes techniques et usage en classe

La facilité de construction et d'utilisation du spectromètre est étudiée avec les questions 2 à 4 et leur score sont représentés à la Figure 9.

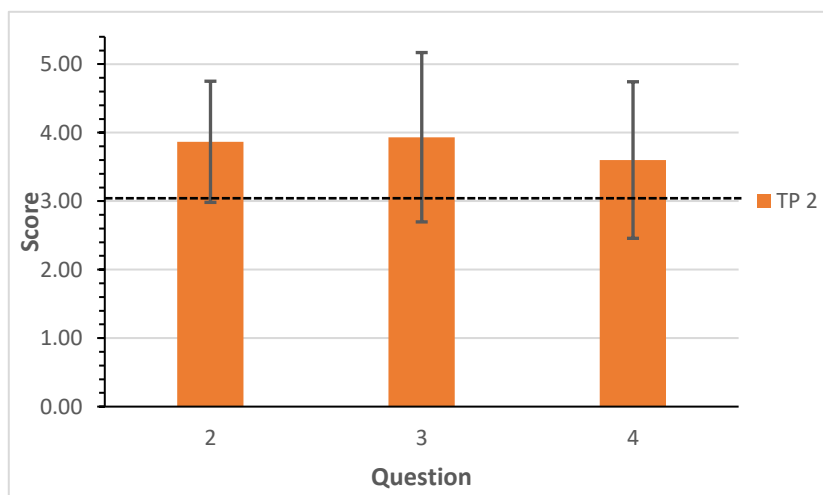


Figure 9 : Moyenne des scores obtenus pour les questions 2 à 4 du questionnaire du TP 2. La ligne en traitillé sur le score de 3 indique le score neutre.

La question 2, portant sur la facilité de construction du spectromètre, obtient un score de 3.9 sur 5, indiquant que ce spectromètre DIY est réalisable mais qu'il n'est pas tout simple à construire. La question 3 obtient aussi un score de 3.9 sur 5, indiquant que la construction n'est pas forcément intuitive et que des explications données par l'enseignant sont nécessaires. La question 4 portant sur la facilité d'utilisation du spectromètre avec le smartphone obtient un score de 3.6 sur 5. Cela indique qu'il n'est pas très facile d'utiliser le système spectromètre-

smartphone pour récolter des données. Tout au long du TP, il a été effectivement remarqué que certains élèves avaient du mal à obtenir des spectres lumineux utilisables et sans trop d'artefacts provenant de lumière parasite qui s'infiltrait entre le spectromètre et la caméra du smartphone. Cela va dans le sens des commentaires faits par les élèves à la question ouverte A du questionnaire de ce TP. 7 élèves sur 15, qui utilisaient tous des iPhone, ont commenté qu'il était difficile de faire tenir le spectromètre sur leur smartphone et de faire en sorte que de la lumière parasite ne s'infilte pas par les côtés du système spectromètre-smartphone. La constitution même des iPhone, avec leur caméra placée dans le coin supérieur gauche de la partie arrière (Apple, 2021), peut expliquer ces difficultés. Certains spectres lumineux obtenus par les élèves sont représentés à la Figure 10.

La question ouverte B de ce questionnaire du TP 2 montre, tout comme la même question dans le questionnaire du TP 1, que les élèves n'ont pas de réticences à utiliser leur smartphone dans un contexte pédagogique.

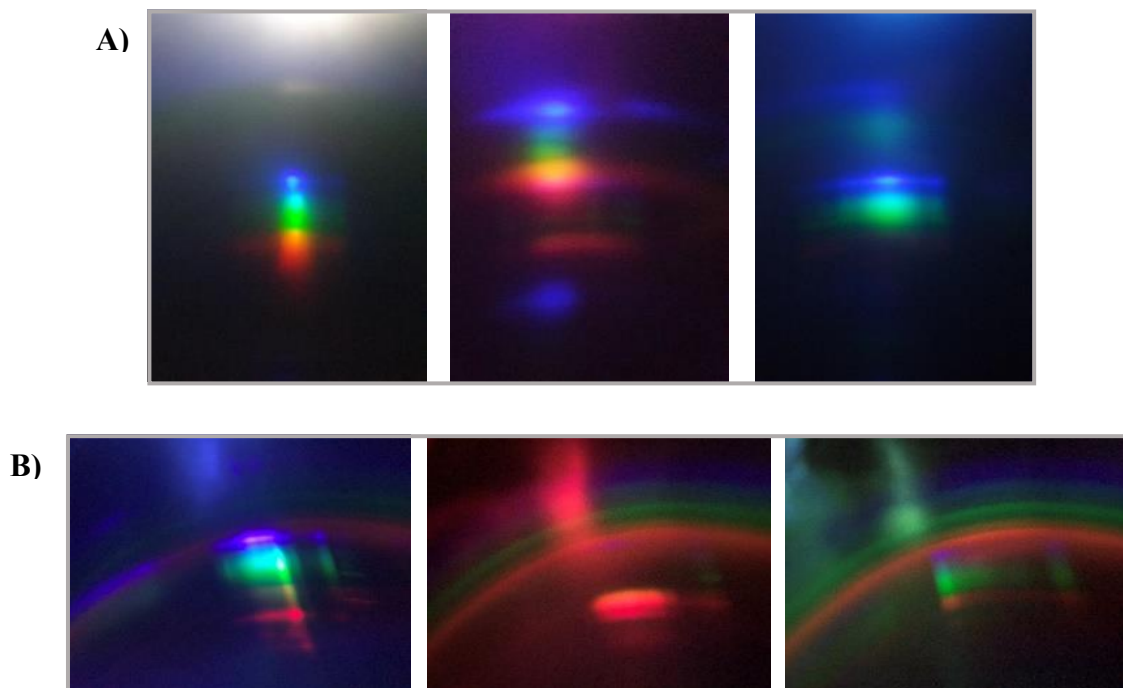


Figure 10 : A) Spectres lumineux obtenus avec un système spectromètre-smartphone « hermétique » à la lumière. B) Spectres lumineux obtenus avec un système spectromètre-smartphone « non-hermétique » à la lumière.

6 Réponses aux questions de recherche et discussion

Les résultats obtenus par les comptes rendus ainsi que les questionnaires de ces deux TP nous permettent de répondre à nos questionnements initiaux de cette recherche et apportent des éléments de validation, ou non, de nos hypothèses *H1* et *H2*. Tout d'abord, les élèves sont à l'aise avec les aspects techniques de l'utilisation de leur smartphone et sont tout à fait capables de l'utiliser dans un contexte détourné de son utilisation conventionnelle. Cela montre que les technologies du numérique sont bien maîtrisées par les adolescents à cause du rôle central de celles-ci dans leur quotidien.

Malgré l'utilisation du smartphone, les réponses dans les questionnaires indiquent que les élèves ne se sont pas sentis plus motivés ou investis que dans un TP conventionnel. Ce résultat ne va pas dans le sens de notre hypothèse *H1* qui était que l'utilisation du smartphone en TP augmenterait la motivation et l'investissement des élèves. Cette absence d'accroissement de la motivation et de l'investissement pourrait s'expliquer par deux facteurs. Premièrement, « l'effet de nouveauté » (Leroux et al., 2017) associé à l'utilisation du smartphone en classe ne serait pas très marqué du fait que les élèves pourraient avoir l'habitude d'utiliser leur smartphone aussi dans d'autres disciplines. Deuxièmement, les laboratoires de chimie des établissements du secondaire II sont généralement bien équipés en matériel, comme c'est le cas au gymnase de cette recherche. Cette abondance de matériel permettant déjà d'élaborer des TP divers et variés, l'absence de matériel adapté ne serait pas ici un facteur qui jouerait un rôle dans l'attrait de la chimie pratique et qui pourrait être comblé en partie par l'utilisation du smartphone. Il serait intéressant de tester notre hypothèse *H1* dans des établissements moins bien équipés en matériel de chimie afin de déterminer si l'utilisation du smartphone en TP peut réellement influencer la motivation. Cependant, l'absence d'augmentation de la motivation obtenue avec les données des questionnaires contraste avec les observations faites durant les TP que les élèves s'impliquaient et avaient l'air intéressés. Cette différence pourrait être expliquée par le fait qu'il existe deux types de motivation : la motivation implicite, qui est reliée à des processus cognitifs subconscients, et la motivation explicite qui est reliée à des processus cognitifs volontaires (Lawrence & Jordan, 2009). Les questionnaires utilisés ici évaluent la motivation explicite et nos observations du comportement des élèves seraient plutôt en rapport avec l'évaluation de la motivation implicite.

Le côté novateur et original de ces TP a plu aux élèves et cela ne leur a pas posé de réticences à utiliser leur propre smartphone. Cela valide notre hypothèse *H2* qui était que le côté novateur de ces TP prévaudrait sur l'aspect d'intrusion dans la vie privée. L'absence de réticences

concernant l'utilisation du smartphone personnel des élèves pourrait venir du fait que ceux-ci utilisent déjà cet objet dans de multiples situations de leur vie quotidienne (communication entre pairs et avec les acteurs scolaires, socialisation, divertissement, etc.) et que l'utilisation en TP n'en serait donc qu'une parmi les autres.

Finalement, l'utilisation du smartphone a donné des résultats globalement positifs sur les apprentissages et cet objet a permis de réaliser des expériences concrètes sans difficultés techniques insurmontables. De plus, ces deux TP ont permis aux élèves de bien comprendre les principes fondamentaux des deux techniques d'analyse chimiques utilisées ici (colorimétrie et spectroscopie d'absorption) en démystifiant les instruments conventionnels d'analyse qui représentent souvent des « boîtes noires » pour les élèves.

Le smartphone peut donc être considéré comme un outil adapté à des TP de chimie. Malgré l'absence d'accroissement de la motivation et de l'investissement perçus par les élèves, l'utilisation pédagogique du smartphone offre une opportunité unique d'élaborer des TP innovants et différents ainsi que d'ouvrir l'esprit des élèves sur les capacités et la polyvalence de cet objet. La pertinence de l'utilisation du smartphone en tant qu'instrument d'analyse pourrait être encore renforcée dans les établissements qui sont moins bien équipés en matériel que ceux de notre pays, par exemple dans les pays en voie de développement.

Certaines limitations de notre étude sont toutefois à mentionner. Tout d'abord, notre recherche se focalise sur la faisabilité de l'adoption du smartphone en TP de chimie ainsi que sur les impacts de ce dispositif sur la motivation et l'investissement des élèves, mais les bénéfices apportés par l'utilisation de cet outil numérique sur les apprentissages ne sont pas ici étudiés. Il pourrait être intéressant d'évaluer si l'utilisation du smartphone amène à de meilleures apprentissages en comparaison à d'autres méthodes plus traditionnelles. Ensuite, l'échantillon de participants n'est pas grand (seulement 36 élèves pour le TP 1 et 15 pour le TP 2). Par conséquent, les résultats obtenus ne peuvent pas être considérés comme statistiquement significatifs mais comme une première approximation de réponse à nos questions de recherche. Enfin, un facteur ayant une importance cruciale pour l'implémentation de TP utilisant le smartphone, mais qui n'a pas été évalué dans cette recherche, est l'avis qu'ont les enseignants de chimie sur ce sujet. En effet, le smartphone peut avoir toutes les qualités pour être utilisé dans des TP mais si les enseignants ont des réticences à l'utiliser dans leurs enseignements, cela constituerait un obstacle majeur. Cette problématique pourrait être utilisée comme point de départ pour un autre projet de recherche.

Conclusion

Dans cette recherche, nous nous sommes intéressés à l'utilisation du smartphone en tant qu'objet pédagogique en TP de chimie au secondaire II. Pour cela, nous avons créé deux TP qui utilisent le smartphone comme instrument d'analyse et les avons testés avec une classe de 1^{ère} année d'école de culture générale ainsi qu'une classe de 1^{ère} année de maturité. Le TP 1 se focalisait sur la détermination d'une concentration par colorimétrie et le TP 2 se focalisait sur l'identification de molécules par spectroscopie d'absorption. Nous avons ensuite cherché à évaluer, à l'aide de questionnaires ainsi que de comptes rendus de TP, si le smartphone personnel des élèves était adapté pour une utilisation en tant qu'instrument de laboratoire pour récolter des données expérimentales. Nous avons cherché à savoir s'il y avait des considérations d'ordre technique et des réticences de la part des élèves à utiliser leur smartphone personnel de manière détournée. De plus, nous avons aussi cherché à déterminer si l'utilisation de ce dispositif permettait d'accroître la motivation et l'investissement des élèves.

L'analyse des questionnaires et des comptes rendus nous a permis de déterminer que les élèves étaient à l'aise avec l'utilisation de leur smartphone en TP et qu'il n'y avait pas de problèmes techniques majeurs rencontrés qui pourraient disqualifier l'utilisation du smartphone en tant qu'instrument de laboratoire. De plus, les élèves n'ont pas eu de réticences à utiliser leur smartphone de manière détournée dans ces TP de chimie. L'utilisation du smartphone ici n'a pas permis d'accroître la motivation et l'investissement ressentis des élèves en comparaison à des TP plus classiques (sans utilisation du smartphone). Cependant, les élèves ont apprécié ces TP et nous avons pu remarquer durant les séances de TP qu'ils s'investissaient et qu'ils travaillaient consciencieusement. Nous avons pu voir à l'aide de l'analyse des comptes rendus que la performance des élèves était globalement positive.

Tous ces résultats nous permettent d'avoir la confirmation que le smartphone est un objet qui peut avoir sa place comme instrument de laboratoire en chimie.

Bibliographie

- Al-Furaih, S. A. A., & Al-Awidi, H. M. (2020). Teachers' Change Readiness for the Adoption of Smartphone Technology : Personal Concerns and Technological Competency. *Technology, Knowledge and Learning*, 25(2), 409-432. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9396-6>
- Anshari, M., Almunawar, M. N., Shahrill, M., Wicaksono, D. K., & Huda, M. (2017). Smartphones usage in the classrooms : Learning aid or interference? *Education and Information Technologies*, 22(6), 3063-3079. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9572-7>
- Apple. (2021). *Page web des produits iPhone*. <https://www.apple.com/iphone/>
- Bernath, J., Suter, L., Waller, G., Külling, C., Willemse, I., & Süss, D. (2020). *Rapport sur les résultats de l'étude JAMES 2020*.
- Carnets de science. (2017). *Un smartphone en TP de physique-chimie*. <https://carnetsdescience.xyz/un-smartphone-en-tp-de-physique-chimie.html>
- Ciampa, K. (2014). Learning in a mobile age : An investigation of student motivation. *Journal of Computer Assisted Learning*, 30(1), 82-96. <https://doi.org/10.1111/jcal.12036>
- CIIP. (2018). *Education numérique au Plan d'études romand*. <https://www.plandetudes.ch/web/guest/education-numerique>
- Crichton, S., Pegler, K., & White, D. (2012). *Personal Devices in Public Settings : Lessons Learned From an iPod Touch / iPad Preject*. 10(1), 23-31.
- Delval, F., Gradinaru, J., & Donzé, L. (2017). *Utilisation de TICE dans l'enseignement de la chimie au secondaire 2 : Mise en oeuvre, apports, contraintes et évaluation*. HEP Vaud.
- Domenjoz, J.-C. (2020). *Pour l'utilisation des smartphones en classe*. <https://educationauxmedias.ch/pour-utilisation-des-smartphones-en-classe/>
- Etat de Vaud (DFJC). (2019). *L'éducation numérique*. <https://www.vd.ch/toutes-les-autorites/departements/departement-de-la-formation-de-la-jeunesse-et-de-la-culture-dfjc/rentree-scolaire-2020-2021/deuxieme-partie-les-quatre-chantiers-prioritaires-du-dfjc/leducation-numerique/>
- Gabriel, P. (1998). Enseignement et informatique pour tous : Où en sommes-nous ? *Revue française de pédagogie*, 124, 99-108. JSTOR.

- Gitsaki, C., & Robby, M. A. (2014). Post-Secondary Students Using the iPad to Learn English : An Impact Study. *International Journal of Mobile and Blended Learning (IJMBL)*, 6(4), 53-74. <https://doi.org/10.4018/ijmbl.2014100104>
- Guay, F., Boggiano, A. K., & Vallerand, R. J. (2001). Autonomy Support, Intrinsic Motivation, and Perceived Competence : Conceptual and Empirical Linkages. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 27(6), 643-650. <https://doi.org/10.1177/0146167201276001>
- Halaweh, M. (2017). Using Mobile Technology in the Classroom : A Reflection Based on Teaching Experience in UAE. *TechTrends*, 61, 218-222.
- Kacetl, J., & Klímová, B. (2019). Use of Smartphone Applications in English Language Learning—A Challenge for Foreign Language Education. *Education Sciences*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/educsci9030179>
- Karsenti, T., & Fievez, A. (2013). *L'iPad à l'école : Usages, avantages et défis : Résultats d'une enquête auprès de 6057 élèves et 302 enseignants du Québec (Canada)*. Montréal, QC: CRIFPE.
- Koleva, M., & Nacheva-Skopalik, L. (2012). *Making Chemistry an Attractive Subject for Lifelong Learning : Interactive Approach in Presenting Educational Content*.
- Lawrence, S., & Jordan, P. (2009). Testing an explicit and implicit measure of motivation. *International Journal of Organizational Analysis*, 17(2), 103-120. <https://doi.org/10.1108/19348830910948959>
- Leroux, G., Monteil, J.-M., & Huguet, P. (2017). Apprentissages scolaires et technologies numériques : Une revue critique des méta-analyses. *L'Année psychologique*, 117(4), 433-465. Cairn.info. <https://doi.org/10.4074/S0003503317004018>
- Mathevet, R., Jammes, E., Fabre, C., Lamrani, N., Martin, S., Castro, J., Staacks, S., & Marchou, P. (2019). Une approche quantitative de la loi de Beer-Lambert avec un smartphone. Première partie. *hal-02355756f*.
- Schouwey, C., & Decker, J.-C. (2016). *C'est quoi un bon TP? La didactique du travail pratique de chimie au secondaire II*. HEP Vaud.

Supper, W., Guay, F., Falardeau, E., Karsenti, T., & Pelletier, G. (2019). *La fréquence d'utilisation de la tablette numérique à des fins pédagogiques et le rendement scolaire des élèves : Le rôle médiateur de la motivation autodéterminée*. 42:2.

Vuaridel, B., & Debernardi, Y. (2017). *Les Smartphones et l'enseignement de la Physique*. HEP Vaud.

Warren. (2017). *Built a papercraft spectrometer for your phone—Version 2.0*.

<https://publiclab.org/notes/warren/11-30-2017/build-a-papercraft-spectrometer-for-your-phone-version-2-0>

Annexe 1 : Description des applications pour l'analyse d'image

Les deux applications utilisées dans le TP 1 sont *RGB color Detector* pour Android (Figure 11) et *ColorPicker* pour iPhone (Figure 12). Ces deux applications sont gratuites et disponibles respectivement sur l'App Store d'Apple et sur le Play Store de Google. Elles ont été choisies du fait de leur gratuité, de leur simplicité d'utilisation ainsi que de leur affichage limité de publicités. Ces deux applications utilisent la caméra du smartphone et permettent d'obtenir la valeur RVB des pixels d'une zone d'une photo prise au préalable ou directement en pointant le viseur de l'interface de l'application sur la zone d'intérêt à analyser.

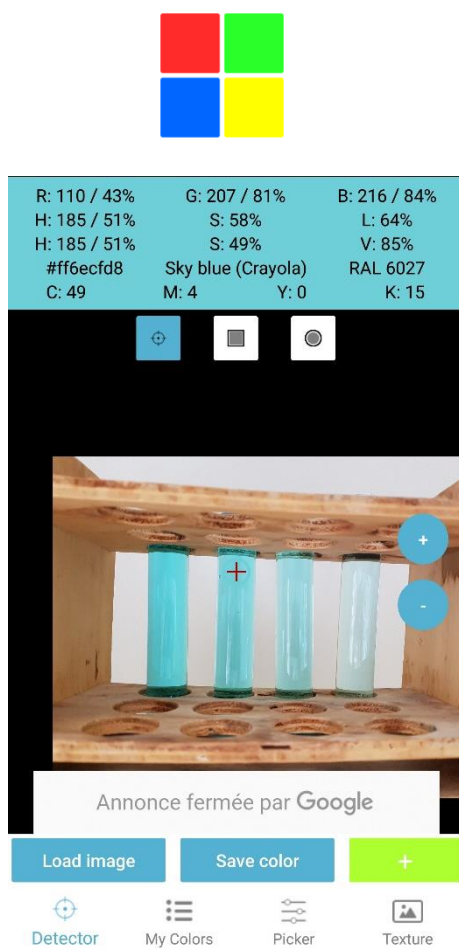


Figure 11. Logo et interface principale de l'application RGB Color Detector (pour Android).



Figure 12. Logo et interface principale de l'application ColorPicker (pour iPhone).

Annexe 2 : Protocole du TP 1

Analyse de la concentration d'une solution de sulfate de cuivre par colorimétrie

Mise en situation

Par une belle journée d'été ensoleillée et chaude, vous allez passer l'après-midi chez un(e) de vos ami(e)s qui a une piscine dans son jardin.

En entrant dans l'eau, vous remarquez que l'eau de la piscine a une teinte légèrement bleutée qui n'est pas la couleur habituelle de l'eau. Vous trouvez cela un peu suspect et demandez alors à votre ami(e) si cela est normal. Votre ami(e) vous répond que c'est son père



Sulfate de cuivre

qui s'occupe de la piscine et qu'il a mis récemment un peu de **sulfate de cuivre (CuSO₄)** dans la piscine pour nettoyer l'eau car il y avait beaucoup d'algues qui s'étaient développées.

Vous vous rappelez que vous avez appris en cours de chimie que **le sulfate de cuivre est nocif pour la santé** et décidez d'interroger le père pour être sûr que c'est sans danger de se baigner. Le père n'est plus très sûr de la quantité de sulfate de cuivre qu'il a ajouté mais pense qu'il a respecté le dosage de sécurité indiqué sur l'emballage du produit et qu'il a mis **150 g de sulfate de cuivre pour 1000 L d'eau**.

Vous décidez alors d'essayer de déterminer la concentration en sulfate de cuivre de l'eau de la piscine pour vérifier si le père a bien respecté le dosage recommandé sur l'emballage.

Pour déterminer la concentration en CuSO₄ de l'eau de la piscine, vous prélevez un échantillon et vous faites une analyse colorimétrique. Pour cela, vous décidez d'abord de construire une **droite d'étalonnage en préparant 4 solutions étalons** contenant différentes concentrations de CuSO₄ pour ensuite en déduire la concentration du CuSO₄ de l'eau de la piscine.

Matériel

4 fioles jaugées de 100 ml	1 spatule
1 pipette de transfert en plastique	De l'eau déminéralisé
1 balance	Du sulfate de cuivre
5 éprouvettes	Un échantillon d'« eau de la piscine ».
1 porte-éprouvettes	1 smartphone avec l'application <i>RGB Color Detector</i> (Android) ou <i>ColorPicker</i> (iPhone)
1 entonnoir	

Protocole expérimental

- 1) Préparez une solution étalon de CuSO_4 **de concentration 40 g/L**. Pesez le CuSO_4 et remplissez la fiole jaugée jusqu'au $\frac{3}{4}$ avec de l'eau déminéralisée. Secouez la fiole (avec son bouchon !) durant quelques minutes jusqu'à ce que tout le CuSO_4 se soit dissous. Complétez avec de l'eau déminéralisée le reste de la fiole jaugée pour arriver au trait de jauge des 100 ml.
- 2) Préparez 3 autres solutions étalons de CuSO_4 , **de concentration 30 g/L, 20 g/L et 10 g/L**, dans 3 autres fioles jaugées de 100 ml.
- 3) Remplissez 4 éprouvettes avec les 4 solutions étalons préparées précédemment ainsi qu'une éprouvette avec l'échantillon d'« eau de la piscine ». Remplissez les éprouvettes jusqu'à environ 1 cm du bord.
- 4) Placez le porte-éprouvettes contenant les 5 éprouvettes remplies sur un fond blanc. A l'aide de votre smartphone et de l'application dédiée à l'analyse RVB des pixels, **obtenez la valeur RVB** de la couleur de chaque solution.

Pour être le plus précis possible, évitez d'analyser la valeur RVB là où il y a des reflets sur le verre des éprouvettes. De plus, analysez toujours la même zone des éprouvettes (par exemple vers le haut de l'éprouvette et au centre).
- 5) **Tracez la droite d'étalonnage avec la valeur du sous-pixel rouge** de chaque solution étalon.

Les pixels et les couleurs

Le fonctionnement des écrans (télévisions, smartphones, ordinateurs etc.) est basé sur le système de **synthèse additive des couleurs**. De plus, chaque écran est composé de milliers d'unités fondamentales : **les pixels** (des « petits carrés » qui émettent de la lumière de la couleur désirée).

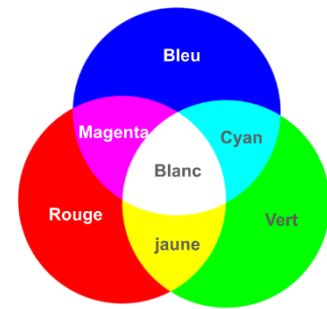
Pour pouvoir afficher une vaste gamme des couleurs, chaque pixel contenu dans un écran est divisé en **trois sous-pixels** plus petits :

- un sous-pixel émettant de la lumière **rouge**
- un sous-pixel émettant de la lumière **verte**
- un sous-pixel émettant de la lumière **bleue**

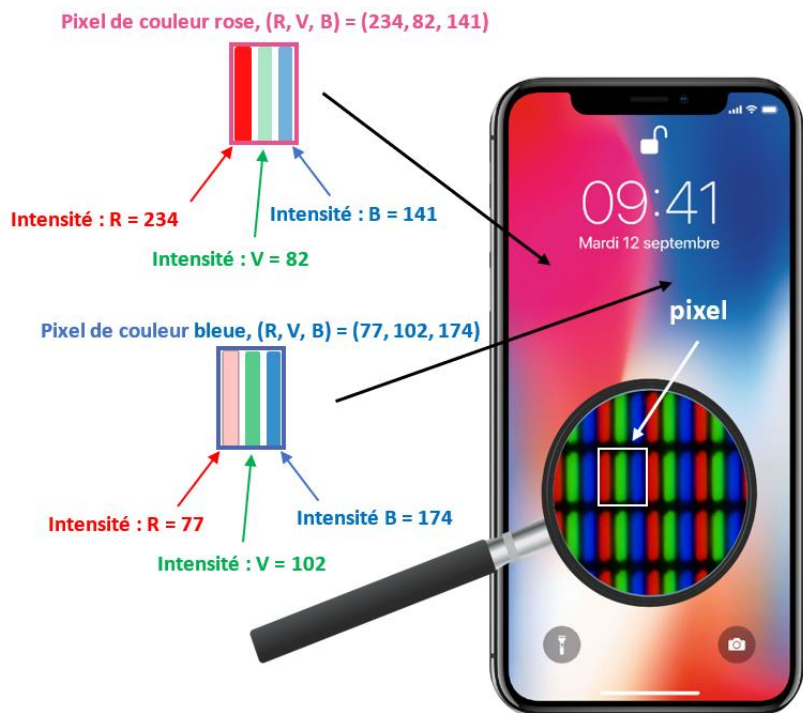
En mélangeant diverses proportions (différentes intensité lumineuse) des trois couleurs primaires de ces 3 sous-pixels (le rouge, vert et bleu) le pixel va pouvoir produire la couleur désirée à afficher sur l'écran. **Chaque sous-pixel peut avoir 255 niveaux d'intensité lumineuse** (niveau 0 = sous-pixel éteint, niveau 255 = intensité lumineuse maximale).

Pour décrire la couleur qu'émet un pixel d'un écran, on utilise le **système de codage RVB (rouge (R), vert (V), bleu (B))**. Chaque pixel peut être décrit par les trois valeurs d'intensité de ses 3 sous-pixels.

Par exemple un pixel émettant du rouge aura une valeur RVB de (255, 0, 0). Un pixel émettant du vert aura un code RVB de (0, 255, 0) et un pixel bleu aura une valeur RVB de (0, 0, 255).



Synthèse additive



Annexe 3 : Compte rendu du TP 1

Noms et prénoms :

Compte rendu - Questions

1) Remplissez le tableau en indiquant la masse de CuSO_4 que vous avez ajoutée pour la préparation de chaque solution étalon.

Solution étalon	Concentration (g/L) en CuSO_4 de la solution étalon	Masse (g) de CuSO_4 ajoutée	Volume de la solution (ml)
1			
2			
3			
4			

2) Décrivez la couleur de chaque solution étalons et expliquez la raison pour laquelle elles ont des couleurs différentes. Pour cela, utilisez un langage de chimiste en faisant figurer dans votre explication les mots « concentration », « composé chimique » et « CuSO_4 ».

.....

.....

.....

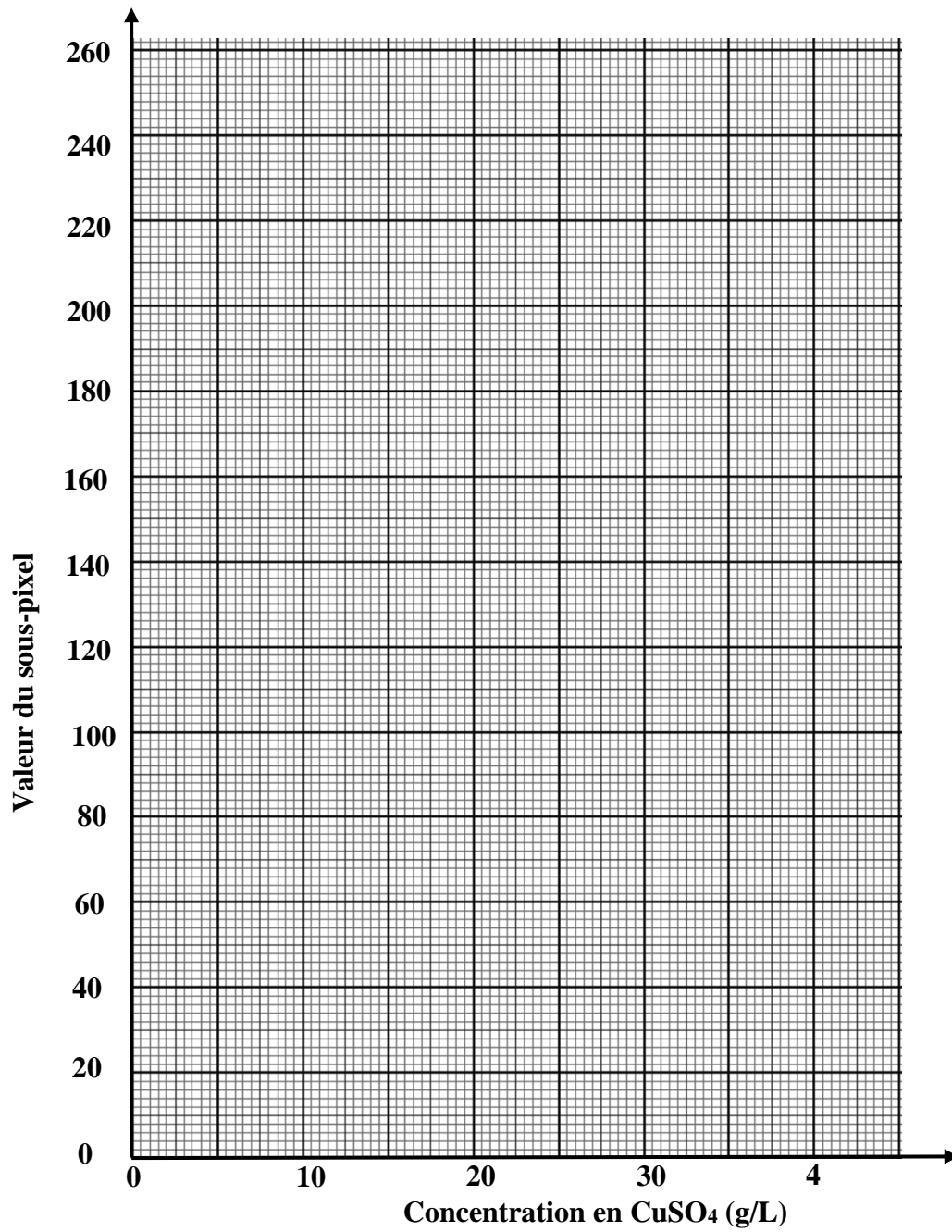
.....

.....

3) Indiquez dans le tableau la valeur RVB de la couleur de chaque solution.

Solution	Valeur du sous-pixel rouge	Valeur du sous-pixel vert	Valeur du sous-pixel bleu
1			
2			
3			
4			
Échantillon de l' « eau de piscine »			

4) Tracez la droite d'étalonnage avec les valeurs du sous-pixel rouge de chaque solution.



5) Quelle est la concentration en CuSO_4 dans l'échantillon de l'« eau de piscine » ?

.....

.....

.....

.....

6) Le père de votre ami(e) a-t-il bien respecté le dosage de sécurité inscrit sur l'emballage ?
Justifiez votre réponse.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Question bonus : Pourquoi utilise-t-on les valeurs du sous-pixel rouge (et pas celles des sous-pixels verts ou bleus) pour tracer la droite d'étalonnage ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

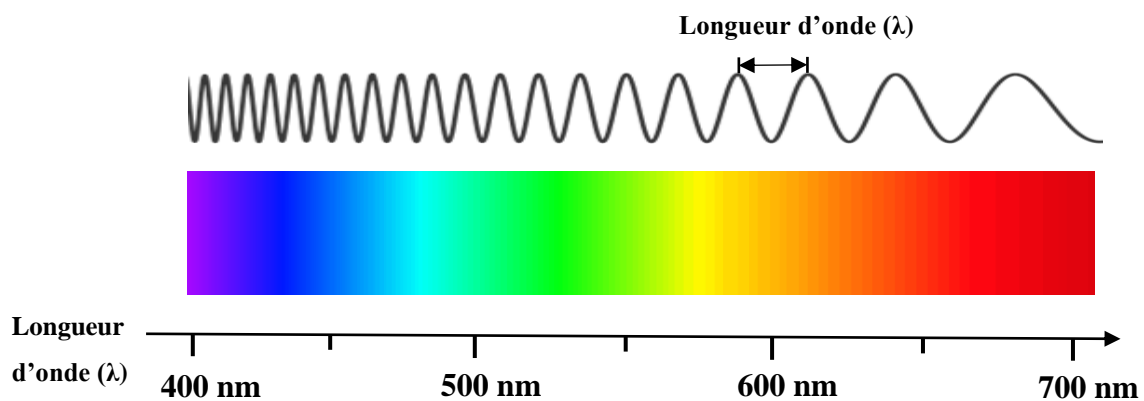
.....

Annexe 4 : Protocole du TP 2

Spectroscopie d'absorption pour l'identification de colorants alimentaires

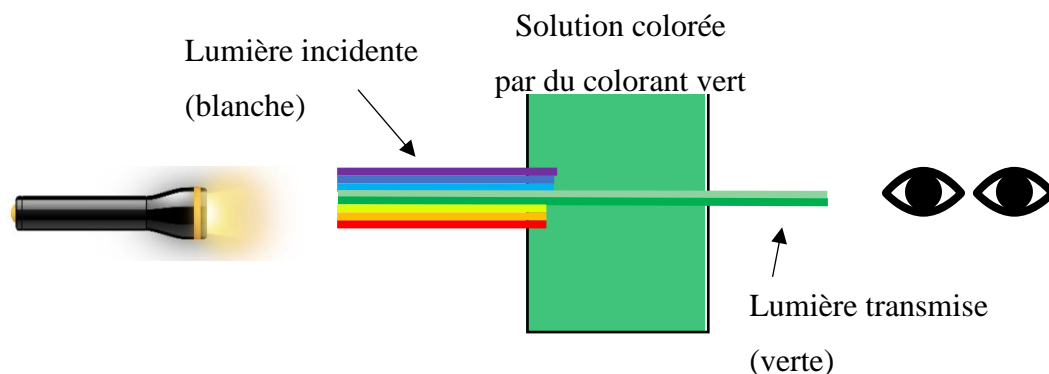
La lumière blanche (par exemple la lumière du soleil ou d'une lampe de poche) contient toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.

La lumière est composée de photons (des petites particules de lumière) qui se comportent comme des ondes. Suivant la longueur d'onde qu'ont les photons, la lumière n'aura pas la même couleur. **Chaque couleur de lumière peut donc être définie par une longueur d'onde.**



Certaines molécules ont la propriété de pouvoir absorber sélectivement certaines longueurs d'onde (on parle de **zone d'absorption**) et de ne pas interagir avec les autres. C'est le cas par exemple des molécules qui sont responsables de la couleur des colorants. La **zone d'absorption** d'une molécule est une caractéristique qui permet **l'identification de la nature de cette molécule.**

Une solution contenant des molécules pouvant absorber la lumière a donc le pouvoir de n'absorber que certaines couleurs et de laisser passer les autres couleurs. Ce phénomène est appelé l'**absorbance** et c'est cela qui est responsable de la couleur perçue par nos yeux d'une solution.



En utilisant **un spectromètre** (un appareil qui permet de décomposer la lumière en ses différentes couleurs), il est possible de retrouver quelles couleurs (longueurs d'onde) ont été absorbées par les molécules d'un colorant et donc d'identifier la nature de ces molécules. C'est le principe de la **spectroscopie d'absorption**.

But du TP

Le but de ce TP est d'analyser, par spectroscopie d'absorption, différentes solutions colorées par des colorants alimentaires et de déterminer l'identité des molécules de colorants en utilisant un smartphone muni d'un spectromètre construit par vous-mêmes.

Matériel

Un bécher de 100 ml	Une coupelle de pesée en plastique
Une lampe de poche	Un smartphone
Un cylindre gradué de 100 ml	Matériel de bricolage (colle, scotch, ciseaux).
Un DVD	Une spatule
Un modèle imprimé du spectromètre	Des colorants alimentaires (rouge, bleu, vert)
Une pipette en plastique	De l'eau du robinet

Protocole expérimental

- 1) Construisez le spectromètre en papier-carton en suivant les instructions de l'enseignant.
- 2) Fixez, à l'aide de scotch, le spectromètre en carton sur la caméra de votre smartphone. Ouvrez l'application de photos de votre smartphone et pointez l'objectif en direction de la lampe de poche allumée. Ajustez le spectromètre jusqu'à ce qu'un arc-en-ciel apparaisse sur l'écran.
- 3) Remplissez le bécher avec environ 100 ml d'eau. Eclairez avec la lampe de poche à travers le bécher et **prenez une photo du spectre lumineux transmis à travers la solution**.
- 5) Faites de même mais cette fois avec des solutions colorées avec le **colorant rouge, le bleu et le vert** en ajoutant à chaque fois **20 gouttes de colorant**.

Compte rendu - Questions

1) A quoi sert le spectromètre que vous avez construit ici ?

.....

2) Dessinez les spectres lumineux (transmis à travers la solution) que vous avez obtenus (à l'aide de votre smartphone muni du spectromètre) de la solution :

- Sans colorant (juste l'eau)

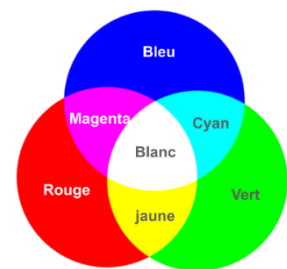
- Avec le colorant bleu

- Avec le colorant rouge

- Avec le colorant vert

3) De quelle molécule est composé chaque colorant ? Expliquez vos réponses en vous aidant du tableau et de l'image de la synthèse additive des couleurs.

Molécule	Zone d'absorption
Erioglaurine	De 550 à 700 nm
Acide carminique	De 430 à 600 nm
Chlorophylle	De 400 à 450 nm et de 600 à 700 nm



Synthèse additive des couleurs

.....

.....

.....

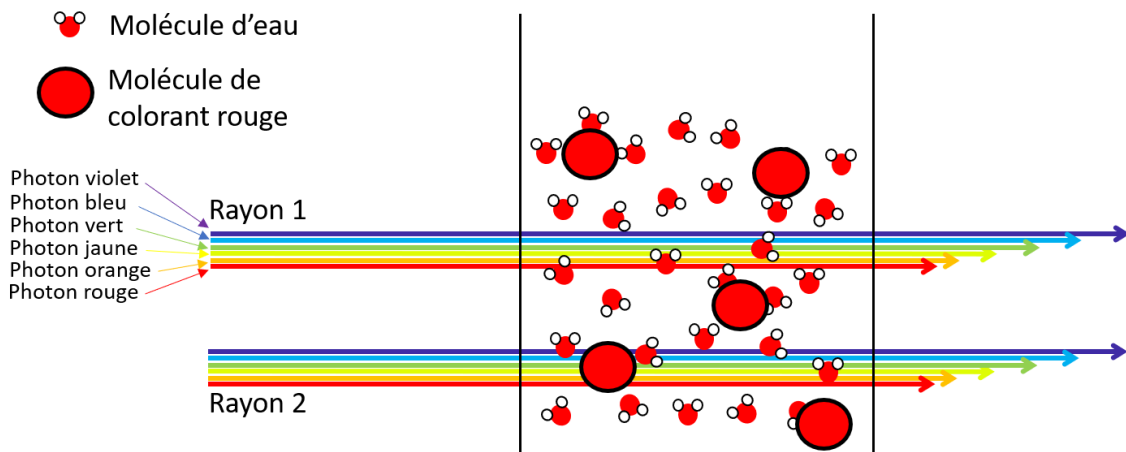
.....

.....

.....

4) Le schéma suivant représente 2 rayons de lumière blanche (contenant chacun des photons de toutes les couleurs) qui passent à travers une solution contenant du colorant rouge.

Pour chaque photon du rayon 1 et du rayon 2, indiquez s'il a été absorbé ou non par la solution.



5) En vous basant sur le schéma ci-dessus, faites une hypothèse de quels sont les paramètres expérimentaux qui ont une influence sur l'absorbance de la solution (en d'autres mots, quels sont les paramètres qu'on pourrait expérimentalement modifier afin d'influencer le spectre lumineux transmis à travers la solution) ?

.....

.....

.....

.....

.....

6) En vous basant sur votre hypothèse du point 5), choisissez un des paramètres expérimentaux que vous avez identifiés et proposez une expérience qui vous aiderait à déterminer si ce paramètre a une influence sur le spectre lumineux transmis (et donc sur l'absorbance de la solution).

Réalisez ensuite l'expérience et notez vos observations. Les résultats obtenus sont-ils cohérents avec votre hypothèse du point 5) ?

Paramètre expérimental choisi et description de l'expérience réalisée :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Résultats de l'expérience :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Annexe 6 : Questionnaire d'évaluation du TP 1

Dans le cadre de votre cours de chimie, vous avez effectué un travail pratique qui utilisait votre smartphone de manière peu conventionnelle pour réaliser une expérience d'analyse.

Répondez aux affirmations et questions suivantes en suivant les critères suivants :

Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Ni d'accord, ni pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
5	4	3	2	1

Avez-vous utilisé un iPhone ou un smartphone avec Android ? <input type="checkbox"/> iPhone <input type="checkbox"/> Android	
1) Le smartphone est un objet dont l'utilisation vous est familière	
2) Le téléchargement et l'installation de l'application étaient facilement réalisables	
3) Les explications données sur l'utilisation de l'application vous ont été utiles	
4) L'application d'analyse d'image était facile à utiliser	
5) Vous avez l'habitude d'utiliser votre smartphone dans le cadre d'autres disciplines que la chimie	
6) Par rapport à un TP classique de chimie (sans utilisation de votre smartphone), ce TP vous a semblé différent et original	
7) L'utilisation de votre smartphone comme instrument d'analyse vous a paru intéressante et pertinente	
8) Vous vous êtes plus investi dans ce TP que dans un TP plus classique (sans utilisation de votre smartphone)	
9) Le fait d'utiliser votre smartphone en cours vous a apporté de la motivation pour réaliser les tâches demandées	
10) L'utilisation de votre smartphone pour ce TP vous a rassuré et permis de comprendre la théorie et les notions travaillées dans ce TP	
11) Vous avez appris durant ce TP des choses qui vous semblaient intéressantes et utiles pour d'autres disciplines ou pour la vie de tous les jours	

A) Si vous avez rencontré des difficultés lors du téléchargement, de l'installation ou de l'utilisation de l'application d'analyse d'image, décrivez-les brièvement.

.....
.....
.....

B) Avez-vous eu des réticences sur le fait d'utiliser votre propre smartphone comme instrument de laboratoire ? Si oui, expliquez brièvement les raisons de vos réticences.

.....
.....
.....

Annexe 7 : Questionnaire d'évaluation du TP 2

Nom et prénom :

Dans le cadre de votre cours de chimie, vous avez effectué un travail pratique qui utilisait votre smartphone de manière peu conventionnelle pour réaliser une expérience d'analyse.

Répondez aux affirmations et questions suivantes en suivant les critères suivants :

Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Ni d'accord, ni pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
5	4	3	2	1

Avez-vous utilisé un iPhone ou un smartphone avec Android ? <input type="checkbox"/> iPhone <input type="checkbox"/> Android	
1) Le smartphone est un objet dont l'utilisation vous est familière	
2) La construction du spectromètre en papier-carton était facilement réalisable	
3) Les explications données sur la construction du spectromètre en papier-carton vous ont été utiles	
4) Le système spectromètre-smartphone était facile à utiliser	
5) Vous avez l'habitude d'utiliser votre smartphone dans le cadre d'autres disciplines que la chimie	
6) Par rapport à un TP classique de chimie (sans utilisation de votre smartphone), ce TP vous a semblé différent et original	
7) L'utilisation de votre smartphone comme instrument d'analyse vous a paru intéressante et pertinente	
8) Vous vous êtes plus investi dans ce TP que dans un TP plus classique (sans utilisation de votre smartphone)	
9) Le fait d'utiliser votre smartphone en cours vous a apporté de la motivation pour réaliser les tâches demandées	
10) L'utilisation de votre smartphone pour ce TP vous a rassuré et permis de comprendre la théorie et les notions travaillées dans ce TP	
11) Vous avez appris durant ce TP des choses qui vous semblaient intéressantes et utiles pour d'autres disciplines ou pour la vie de tous les jours	

A) Si vous avez rencontré des difficultés lors de l'utilisation du système smartphone-spectromètre, décrivez-les brièvement

.....
.....
.....

B) Avez-vous eu des réticences sur le fait d'utiliser votre propre smartphone comme instrument de laboratoire ? Si oui, expliquez brièvement les raisons de vos réticences.

.....
.....
.....

Résumé

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'utilisation du smartphone en tant qu'objet pédagogique en travaux pratiques (TP) de chimie au secondaire II. Partant du constat que le smartphone est un objet technologiquement polyvalent et que la quasi-totalité des adolescents en possèdent un de nos jours, nous avons cherché à exploiter ses possibilités techniques afin de l'utiliser en tant qu'instrument d'analyse pour réaliser des expériences novatrices visant à susciter l'intérêt des élèves durant les travaux pratiques de chimie.

Pour cela, nous avons élaboré deux TP différents qui utilisent le smartphone comme instrument d'analyse, le premier TP (TP 1) consistant en une expérience d'analyse de concentration par colorimétrie à l'aide d'une application mobile d'analyse d'image et le second TP (TP 2) se focalisant sur l'identification de molécules par spectroscopie d'absorption à l'aide d'un spectromètre en papier-carton à construire et attacher sur la caméra des smartphones. Nous avons cherché à évaluer, au travers de questionnaires ainsi que de comptes rendus de TP, si l'utilisation par les élèves de leur smartphone personnel était pertinente et que des données expérimentales utilisables pouvaient être récoltées. Nous avons recherché les considérations d'ordre techniques, les réticences des élèves à utiliser leur smartphone de manière détournée ainsi que l'impact de l'utilisation de cet objet numérique sur la motivation et l'investissement des élèves.

Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas de problèmes techniques majeurs à l'utilisation du smartphone en TP, que les élèves sont à l'aise et qu'ils n'ont pas de réticences avec l'utilisation détournée de leur smartphone. De plus, les élèves ont trouvé ces deux TP intéressants, originaux et novateurs. Malgré cela, les élèves n'ont pas ressenti d'augmentation de leur motivation ou de leur investissement. Toutefois, la performance des élèves était globalement positive. Ces résultats nous permettent de nous positionner positivement sur le fait que le smartphone est un objet qui pourrait avoir sa place comme instrument d'analyse en TP de chimie.

Mots clés : Chimie, Smartphone, Instrument de laboratoire, Travaux pratiques, Secondaire II, Motivation, Investissement.