

CHIMACTIV, un site pour se former à l'analyse chimique

Résumé Le site CHIMACTIV offre des ressources pédagogiques numériques libres d'accès dans le domaine de l'analyse chimique. Il répond à une préoccupation pédagogique : optimiser le temps d'apprentissage en présentiel (notamment en séances expérimentales) et enrichir les interactions apprenants-enseignants. Organisé en cinq thèmes et trente fiches (en version bilingue français/anglais), CHIMACTIV offre une grande diversité de ressources numériques (contenus théoriques, schémas animés, courtes vidéos, exercices, quiz...), adaptables au support de lecture (ordinateur, tablette, smartphone). Selon leur intention pédagogique, les enseignants peuvent orienter les élèves vers les ressources à consulter avant, pendant ou après des séances de cours, TD ou TP, afin de réviser des prérequis, acquérir de nouvelles connaissances ou interpréter des résultats. Ces ressources sont également utiles pour des stagiaires en laboratoire de recherche ainsi que pour des professionnels évoluant dans un secteur lié à l'analyse chimique.

Mots-clés **Autoapprentissage, chimie analytique, dispositif numérique, enseignement différencié, expérimentation, hybridation, innovation.**

Abstract **CHIMACTIV, a website to train in chemical analysis**

The CHIMACTIV website offers open access, digital educational resources related to chemical analysis. It tackles a teaching problematic: how could we encourage students to be more involved in learning during teaching courses (especially lab work) and provide deeper teacher-learner interactions during the sessions? With thirty autonomous bilingual (English/French) sheets classified in five themes, CHIMACTIV offers a great variety of media (scientific content, short videos, interactive schemes, pictures, games, quizzes and exercises) with responsive nature allowing their consultation on any support (computer, tablet, smartphone). Depending on their educational objectives, the professors can guide the students towards the appropriate resources to consult before, during or after class and lab sessions, in order to revise prerequisites, build new scientific background or analyze data. These digital resources are also very useful for trainees in research labs as well as for professionals working in a sector linked to chemical analysis.

Keywords **Self-learning, analytical chemistry, digital learning, student-centered learning, teaching experiment, blended course, innovation.**

Problématique initiale

En chimie, l'apprentissage expérimental est important, voire incontournable. Il permet tout d'abord d'acquérir des gestes opératoires pour l'expérimentation en laboratoire et d'appréhender le fonctionnement de différents appareillages et instruments. Il autorise aussi la production de données et l'estimation des erreurs expérimentales, donnant un sens concret aux principes de métrologie et de bonnes pratiques en laboratoire. Enfin, la démarche expérimentale offre l'opportunité de former les apprenants à la planification et la gestion de projet. Pourtant, les enseignants en chimie doivent souvent composer avec un temps dévolu aux séances expérimentales de plus en plus restreint dans les emplois du temps des formations (qu'il s'agisse de travaux pratiques ou de travaux par projet), ce qui oblige à gagner en efficacité dans ces séances pour atteindre les mêmes objectifs d'apprentissage. Dans le même temps, les enseignants doivent proposer des modalités pédagogiques adaptées à un public d'apprenants de plus en plus hétérogène compte tenu des passerelles développées entre les différents cursus de formation et de l'internationalisation des formations.

Le site CHIMACTIV⁽¹⁾ est né de ce constat et du sentiment, partagé par les enseignants mobilisés dans ce projet, que les situations d'apprentissage dévolues aux quelques séances expérimentales disponibles dans les emplois du temps se cantonnent le plus souvent à de faibles niveaux cognitifs (ex. imitation, reproduction). L'utilisation de ressources

numériques interactives en complément de séances expérimentales a donc été proposée comme une modalité possible, et potentiellement attractive, pour des apprenants issus des jeunes générations (« digital natives »), afin de réinvestir le temps de travail expérimental encadré et le consacrer effectivement à l'acquisition de compétences et à la réflexion scientifique. Le numérique a donc été pensé comme un vecteur de ressources pédagogiques adaptées en complément de séances expérimentales, avec différents objectifs : optimiser le temps en présentiel, gérer l'hétérogénéité des étudiants et offrir des formes d'apprentissages différenciées/variées aux apprenants [1].

Un site unique et innovant

Le site CHIMACTIV est unique, en ce qu'il n'existe aucun autre site dans le monde offrant un contenu aussi étoffé en ressources pédagogiques numériques dans le domaine de l'analyse chimique. Il couvre en effet un champ très large dans le domaine de la chimie analytique, allant des notions de base jusqu'à des apports méthodologiques avec des applications concrètes comme illustré dans la figure 1.

Les ressources présentent des niveaux de complexité graduels, ce qui permet une consultation adaptable selon les acquis de l'apprenant et ses objectifs d'apprentissage visés. Il existe donc une grande diversité d'usages et d'utilisateurs, comme initialement imaginé dans la conception du site. Ainsi, outre son utilisation en formation initiale, CHIMACTIV est un



Figure 1 - Illustration du champ couvert par le site.

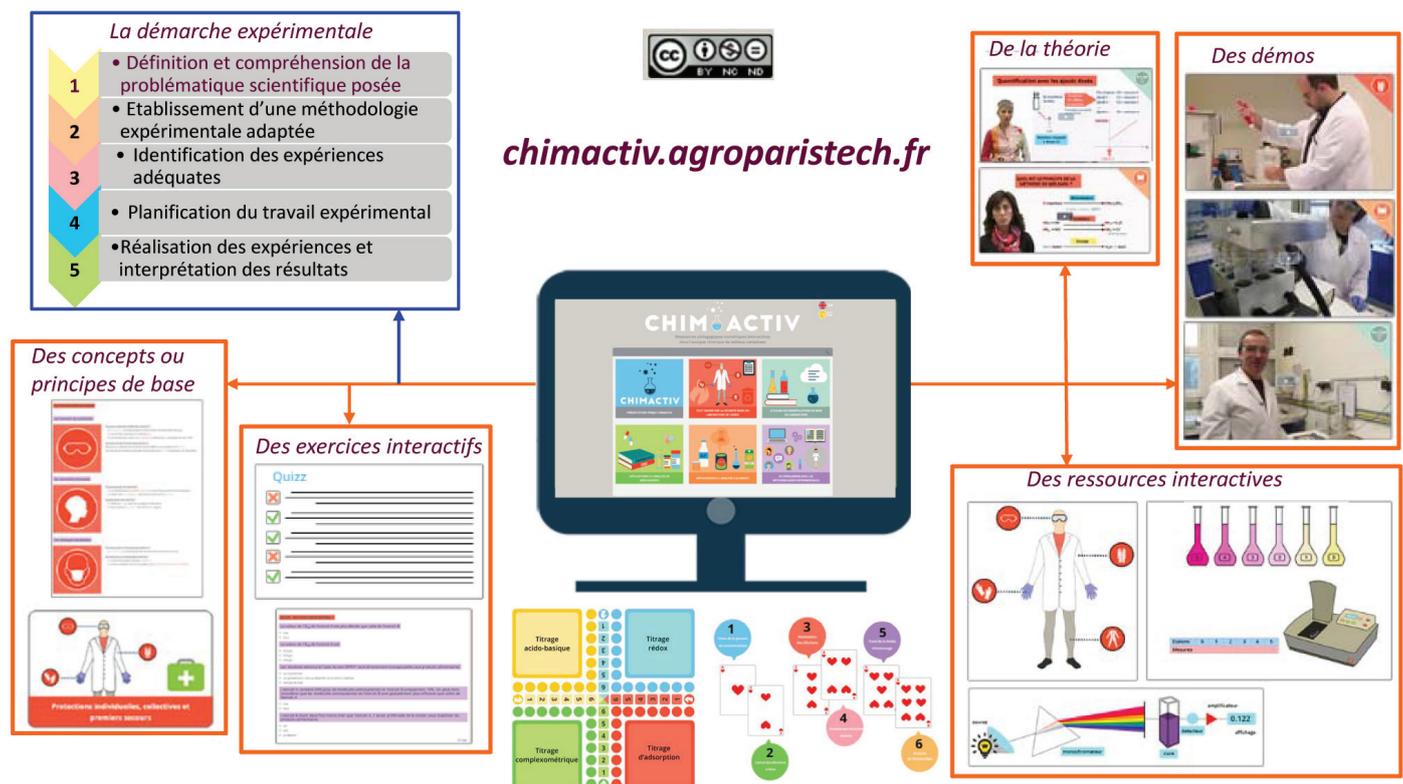


Figure 2 - Une grande diversité de ressources pédagogiques.

site exploitable tout au long de la vie par des professionnels désireux de se former sur un point précis relatif à l'analyse chimique. Pour ce faire, l'architecture du site a été conçue de manière à permettre son évolution et l'intégration de nouveaux contenus selon les besoins. Il est notamment prévu de l'implémenter prochainement par quelques propositions de scénarios pédagogiques afin de faciliter son intégration dans les enseignements.

De plus, le site offre une grande variété de contenus (textes, images, courtes vidéos, schémas animés ou interactifs, jeux, voir figure 2), certains directement téléchargeables (diaporamas ou retranscriptions de vidéos). Il propose également des outils d'autoévaluation (quiz et exercices), favorisant un apprentissage diversifié et ludique par les apprenants et facilitant l'autoformation.

CHIMACTIV est innovant par plusieurs aspects. Le site est ouvert à tous en accès libre (sous licence Creative Commons), sans avoir besoin de créer un compte, afin d'en faire bénéficier

toute la communauté enseignante et apprenante. Il offre donc une grande liberté de consultation, la seule contrainte étant de disposer d'un débit Internet suffisant pour consulter certaines ressources (ex. vidéos). Une particularité des ressources est leur caractère adaptable au support de consultation : ainsi, l'interactivité des vidéos et animations est conservée sur ordinateur, tablette et smartphone, permettant la consultation du site par tous. Enfin, un point fort du site réside dans la facilité de navigation et l'attractivité du graphisme (voir figure 3), suscitant l'intérêt et l'envie de consulter les ressources numériques une fois connecté.

Le contenu du site

CHIMACTIV offre aujourd'hui trente fiches numériques consultables en version bilingue français/anglais, réparties en cinq grands thèmes directement accessibles via la page d'accueil du site : la sécurité dans un laboratoire de chimie,

le b.a.-ba des manipulations, l'analyse de médicaments, l'analyse d'aliments, la familiarisation avec les méthodologies expérimentales. Un thème dédié à la présentation du site, de sa genèse et de son contenu est également proposé : il a vocation à être prochainement enrichi de propositions de scénarios pédagogiques pour faciliter l'intégration du site dans les enseignements.

Le thème sur la sécurité contient deux fiches qu'il est utile pour les étudiants de consulter en amont de séances expérimentales, et ce quel que soit leur niveau d'étude. En effet, la première détaille les différentes options pour se protéger (ex. port de blouse et de lunettes de protection) et protéger les autres (ex. organisation du plan de travail, rangement dans la salle). Plusieurs recommandations en cas d'incidents sont également données, ainsi que des renseignements sur les appareils de secours (ex. types d'extincteurs). Deux courtes vidéos permettent de voir concrètement les bons comportements à adopter dans un laboratoire de chimie. La seconde fiche de ce thème concerne la manipulation de produits chimiques à risque : elle précise les pictogrammes de danger, la typologie des produits classiquement présents dans un laboratoire (solvants organiques, produits réactifs, toxiques, acides et bases) et les conditions de stockage préconisées. Cette fiche traite également du devenir au sein du laboratoire des déchets liquides et solides. Pour chaque type de déchets, un arbre de décision est proposé pour orienter vers la bonne option de gestion.

Le thème sur le b.a.-ba des manipulations est très étoffé puisqu'il compte quinze fiches. Une partie de ces fiches est axée matériel ou manipulations de base (ex. choix de la verrerie, réalisation d'une dilution), avec dans certains cas de courtes vidéos à l'appui pour permettre de visualiser la réalisation de certaines opérations. D'autres fiches sont orientées instruments ou techniques (ex. fluorescence, HPLC) ; dans ce cas, après une présentation plus ou moins détaillée de la théorie et des principes scientifiques sous-jacents, la partie appareillage est illustrée (photos, schémas) et documentée. Dans certaines

fiches (spectroscopie vibrationnelle et résonance magnétique nucléaire), le volet analyse de données et interprétation de spectres est également explicité. Il s'agit donc du thème le plus polyvalent du site, avec des ressources consultables par des apprenants de tous niveaux. Une proposition des niveaux d'étude concernés par chacune des quinze fiches est illustrée sur la figure 4. Il s'agit d'une indication, les niveaux concernés par chaque fiche étant fonction du type de formation (initiale ou continue, généraliste ou spécialisée en chimie), des acquis des apprenants et de l'intention pédagogique de l'enseignant. Le thème consacré à l'analyse d'aliments rassemble cinq fiches. Les applications décrites et abondamment illustrées vont de déterminations relativement générales (matière sèche ou matières grasses) à des analyses plus spécifiques (état d'oxydation de la matière grasse, analyse de l'azote Kjeldahl ou mesure d'une activité antioxydante). Ce thème propose aussi une fiche très complète sur l'analyse d'une eau de source, dans laquelle sont présentées différentes méthodes et leurs déclinaisons expérimentales pour déterminer plusieurs caractéristiques (dureté, conductivité, titre alcalimétrique) ou mesurer divers paramètres (teneurs en cations, anions, oxygène dissous, ou encore indice permanganate).

L'autre thème applicatif concerne l'analyse de médicaments (détermination de substance active dans une forme galénique). Il offre quatre fiches, chacune concernant un dosage bien précis et minutieusement détaillé du point de vue des conditions opératoires. De courtes vidéos permettent également de visualiser en gros plan le dosage en cours d'exécution.

Le dernier thème, qui traite de la familiarisation avec les méthodologies expérimentales, comprend quatre fiches. Deux sont plutôt d'ordre méthodologique (gestion d'un projet expérimental encadré, métrologie), tandis que les deux autres sont davantage orientées problématiques applicatives (méthodologie d'analyse de contaminants dans des matrices complexes, ou choix et mise au point d'une méthode d'extraction).

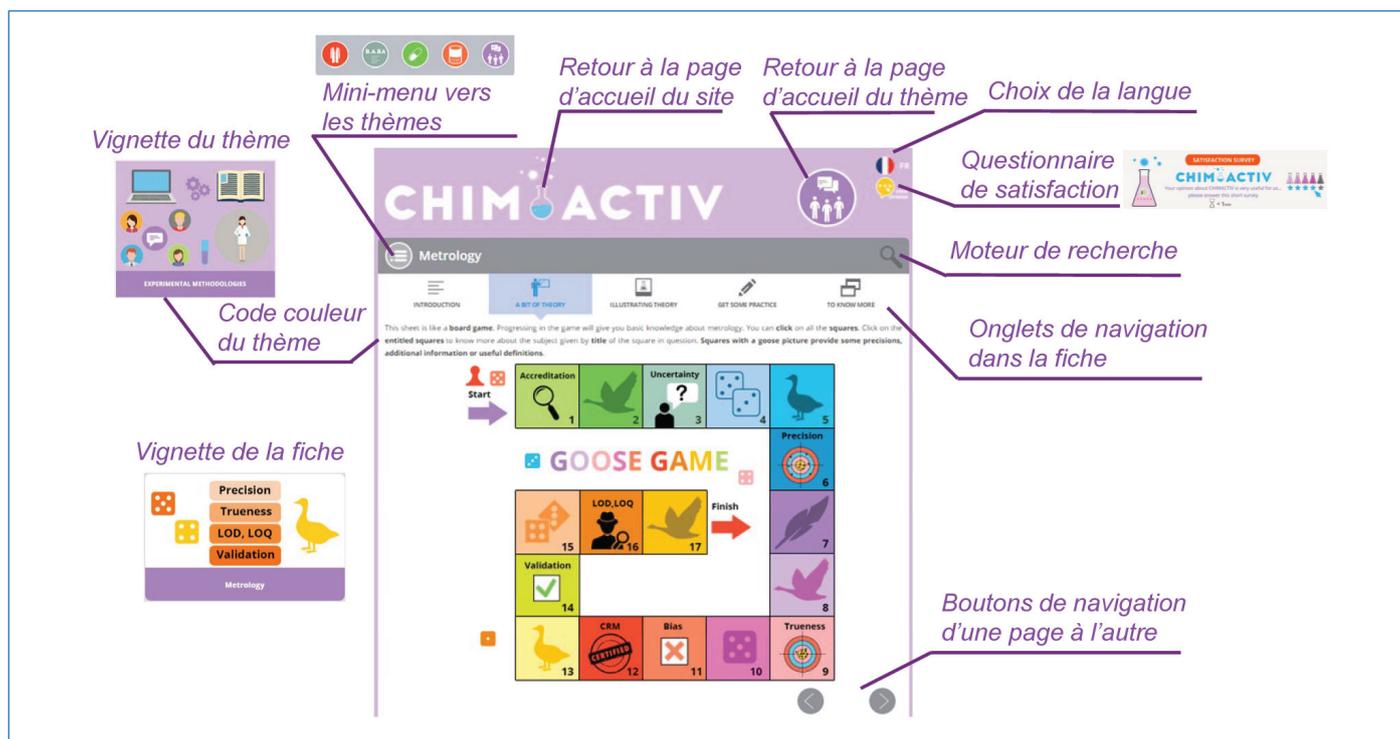


Figure 3 - La navigation au sein d'une fiche CHIMACTIV.

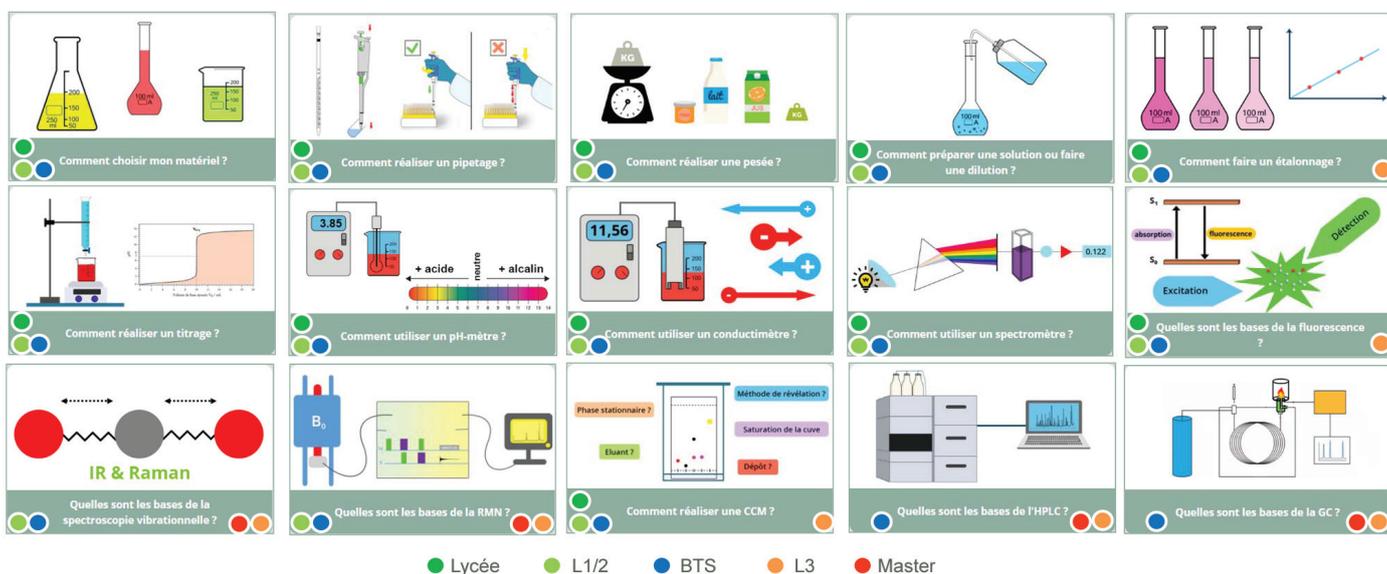


Figure 4 - Les fiches du thème B.A.BA et les niveaux d'étude potentiellement concernés.

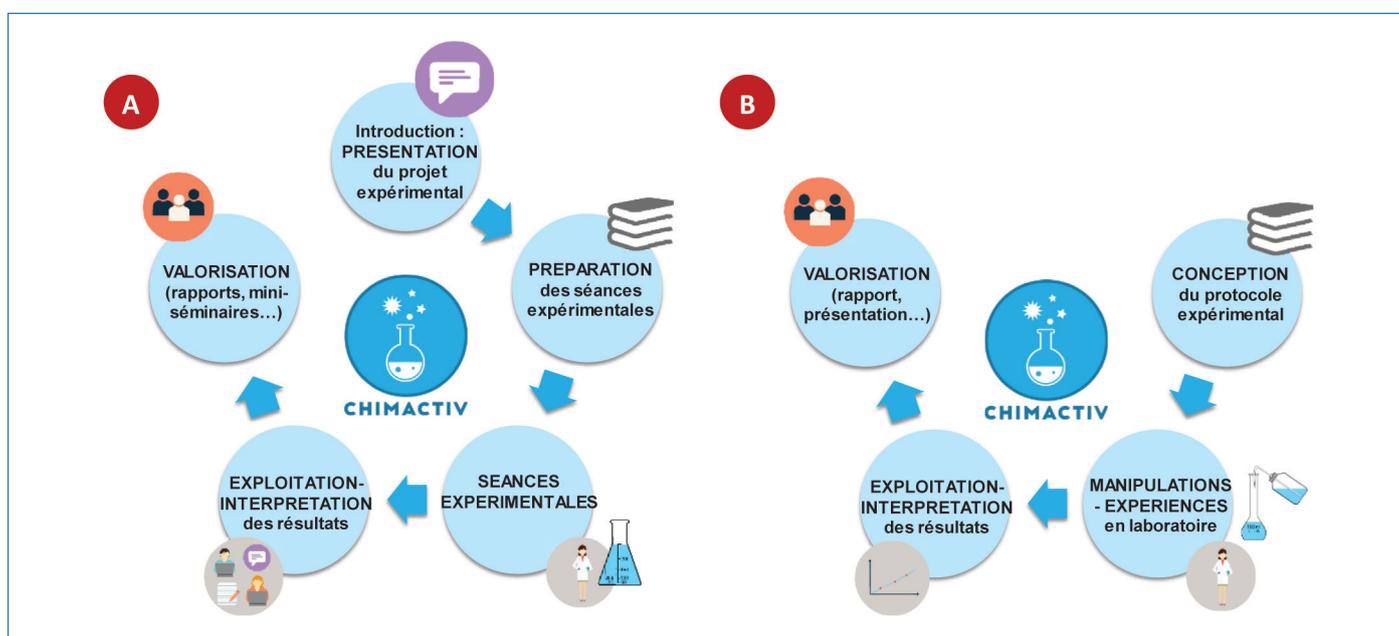


Figure 5 - Exemples de scénarios pédagogiques : (A) intégration du site dans des enseignements classiques ; (B) utilisation par des étudiants en stage.

L'utilisation du site en pratique

CHIMACTIV s'adresse en premier lieu à des enseignants de chimie et à leurs apprenants. L'utilisation des ressources peut se faire en amont de séances en présentiel pour permettre aux élèves de réviser des acquis afin d'être plus opérants en séance, ou de consulter de nouveaux contenus afin de se familiariser avec certains concepts ou instruments qui seront exploités ensuite en présentiel (ce qui permet d'opérer dans un mode de type « classe inversée »). La consultation peut également se faire pendant les séances (grâce à l'interactivité conservée sur smartphones, les laboratoires de travaux pratiques disposant rarement d'ordinateurs ou de tablettes), pour éclaircir ou approfondir certains points. Enfin, la consultation des ressources peut également être faite après des séances, pour favoriser l'assimilation de concepts et procédures abordés avec l'enseignant ou aider l'apprenant à mettre en forme et interpréter des données expérimentales

acquises durant les séances de travaux pratiques. En pratique, le site est également utilisé lors de périodes de révision avant des examens, ou dans la phase de rédaction d'un rapport (de travaux pratiques, de projet ou de stage par exemple) (figure 5).

Ainsi, grâce à la richesse et la diversité de ses ressources, CHIMACTIV offre une pluralité d'usages possibles. Si un temps d'appropriation du contenu du site est nécessaire par l'enseignant qui veut l'utiliser, celui-ci peut ensuite imaginer différents scénarios pédagogiques pour intégrer ces ressources dans ses enseignements, selon les cursus de formation concernés et les objectifs d'enseignement et d'apprentissage qu'il vise.

Plusieurs usages existent déjà, et l'équipe porteuse du projet dispose aujourd'hui d'un retour d'expériences intéressant dans ce domaine, qu'elle partage volontiers avec d'autres enseignants – notamment par des communications lors de colloques de chimie ou de pédagogie (une adresse mail

générique a également été créée dans ce but⁽²⁾. L'élargissement futur à de nouveaux utilisateurs et à d'autres cursus de formation permettra de diversifier la palette de ces usages. L'intérêt d'enseignants de langues concernés par des cursus scientifiques est également apparu depuis la mise en ligne d'une version bilingue français/anglais. Il s'agit d'une utilisation qui n'avait pas été imaginée initialement et qui témoigne de l'attrait suscité par le site. Là encore, les utilisations futures permettront de donner des retours d'expériences et de disposer d'exemples d'intégration de ces ressources numériques dans des scénarios pédagogiques.

Des utilisateurs réduits et satisfaits

Grâce à un outil de statistiques installé sur le site, nous disposons de données factuelles et temporelles de ses consultations. Nous observons que le nombre de visiteurs est en augmentation régulière depuis son ouverture, avec un total de 5 167 visiteurs uniques atteint en octobre 2019 (voir encadré). L'implémentation du site en version anglaise a permis d'étendre l'utilisation à des pays non francophones, en particulier en Amérique du Nord.

Nous disposons par ailleurs de plusieurs données relatives à la satisfaction des utilisateurs. En premier lieu, nous avons élaboré un questionnaire type à destination des étudiants (en version papier et en ligne), ajusté par chaque enseignant pour l'adapter au contexte de son enseignement. Ce questionnaire permet d'évaluer la satisfaction et le sentiment d'efficacité personnelle (niveaux 1 et 2 de Kirkpatrick⁽³⁾) ; il est transmis aux apprenants en fin de séquence d'enseignement intégrant CHIMACTIV et garantit l'anonymat des répondants. Pour l'heure, les données afférentes à ce type de questionnaire concernent uniquement des étudiants des trois établissements pilotes du projet. Il apparaît que selon les scénarios pédagogiques et l'organisation des enseignements,

Statistiques de consultation du site CHIMACTIV (octobre 2019)

- 5 186 visiteurs depuis l'ouverture du site en décembre 2016, dont 5 167 visiteurs uniques ; seulement 18 % des visiteurs ont survolé le site (quitté après consultation d'une seule page).



- 8 min 13 sec de durée moyenne d'une visite ; 16,4 actions en moyenne par visite.
- 62 228 pages vues ; 26 498 pages vues uniques.
- 19 589 téléchargements, dont 785 téléchargements uniques.
- Répartition géographique des visiteurs (seuls les pays représentant 1 % ou plus sont indiqués) : France 55,8 % ; États-Unis 6,4 % ; Chine 2,5 % ; Belgique 2,4 % ; Maroc 2 % ; Royaume-Uni 1,7 % ; Algérie 1,6 % ; Grèce 1,5 % ; Tunisie 1,2 % ; Canada : 1,1 %.

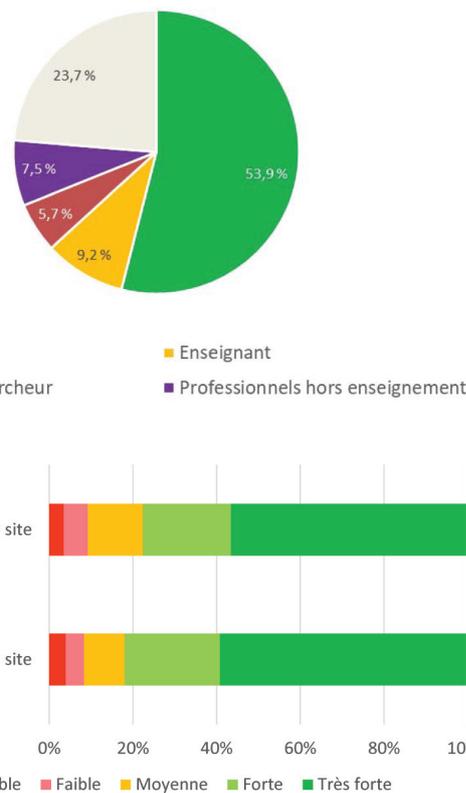


Figure 6 - Profil des 228 répondants au questionnaire en ligne (en haut) et utilité perçue du site par ces répondants (en bas).

la consultation des fiches se fait en amont, pendant et/ou après les séances encadrées [1-2].

Pour une majorité d'étudiants, il s'agit de réviser des connaissances déjà acquises (50 à 80 % selon les fiches consultées) ou d'acquérir de nouvelles compétences (jusqu'à 65 % des étudiants pour certaines fiches). Les apprenants orientent la consultation des ressources numériques en fonction de leur profil et de leurs acquis initiaux. La consultation pendant les séances expérimentales se fait prioritairement pour des ressources dédiées aux manipulations à réaliser, notamment pour visionner les vidéos pouvant aider à la réalisation des expériences ou comprendre le principe des méthodes avant de les utiliser. Chez les apprenants enquêtés, le sentiment d'atteinte de leurs objectifs d'apprentissage grâce à l'utilisation de CHIMACTIV est très fort. De leur côté, les enseignants ont pu constater que les apprenants ayant utilisé les ressources en amont des séances s'étaient familiarisés avec les équipements et les protocoles, et avaient ainsi appréhendé les expériences plus rapidement et avec plus de facilité. Les échanges sur les concepts abordés peuvent être davantage approfondis en séance.

Depuis avril 2019, nous disposons également d'un questionnaire en ligne qui nous permet d'accéder à des retours utilisateurs externes à nos établissements, et potentiellement à l'étranger. À ce jour, 228 personnes ont répondu à cette enquête de satisfaction (niveau 1 de Kirkpatrick) ; il s'agit principalement d'enseignants et d'apprenants (du lycée jusqu'au master), mais on note également plusieurs professionnels (figure 6), travaillant le plus souvent en contrôle qualité, dans un service R & D ou au sein d'une unité de recherche. Les données confirment une très forte satisfaction après consultation du site (figure 6), avec une très grande majorité des répondants qui envisage de l'utiliser à nouveau ultérieurement.

Vers une communauté CHIMACTIV...

La réalisation du site CHIMACTIV a permis de fédérer une équipe plurielle inter-établissements dans la transformation pédagogique [3]. Le caractère innovant et évolutif du site a permis de nourrir la dynamique de l'équipe durant cinq années et d'essaimer au-delà des enseignants mobilisés. Notre retour d'expériences sur la plus-value du site pour les apprentissages, l'intérêt manifesté pour le site et son contenu par de nombreux enseignants avec qui nous avons échangé (en particulier lors d'un atelier de prise en main proposé aux JIREC en mars 2018⁽⁴⁾, de la journée liaison lycée-université de l'Université Paris-Sud en mai 2019, et sur le stand CHIMACTIV du 9^e colloque « De la Recherche à l'Enseignement » en septembre 2019⁽⁵⁾), et enfin les données d'utilisation et de satisfaction que nous avons recueillies jusqu'à présent nous confortent dans l'idée qu'une communauté d'utilisateurs CHIMACTIV est en train d'émerger. D'ailleurs, l'intérêt du site et son caractère innovant ont été récemment salués par un jury de professionnels présidé par le directeur Formation et Professionnalisation d'EDF, qui lui a décerné le trophée « Digital Learning Excellence Awards 2019 »⁽⁶⁾ dans la catégorie Éducation.

Nous souhaitons déployer encore cette communauté, tant dans le monde académique que dans le secteur privé, et la faire vivre concrètement en organisant une journée utilisateurs en 2020. Parallèlement, nous nous employons à assurer la pérennisation du site afin d'être en capacité de faire évoluer son contenu pour l'adapter à de nouveaux utilisateurs et intégrer de nouveaux contenus. Pour cela, nous proposons une offre de sponsoring modulable et adaptable sur la base d'un devis personnalisé⁽²⁾ à destination de sociétés savantes ou d'entreprises, pouvant aller de l'apposition du logo sur le site (sur une page spécifique, une fiche, un thème ou dans un futur onglet « Nos sponsors »), à la création d'un lien vers une page web ou un site donné.

Les auteurs remercient toutes les autres personnes ayant participé aux ressources du site CHIMACTIV⁽⁷⁾, ainsi que l'Université Paris-Saclay pour son soutien financier (financements IDEX accordés lors des appels à projets « Former par le numérique » 2014 et « Initiatives pédagogiques – Transformer » 2016 et 2018).

Notes et références

(1) <http://chimactiv.agroparistech.fr>

(2) Contact : chimactiv@agroparistech.fr

(3) Le modèle de Kirkpatrick comporte quatre niveaux d'impact. Le niveau 1 rend compte de la satisfaction des répondants, et le niveau 2 permet d'approcher la plus-value pédagogique (sentiment de gain en compétences ou connaissances des répondants).

(4) Les Journées de l'Innovation et de la Recherche pour l'Enseignement de la Chimie (JIREC) 2018 ont eu lieu du 20 au 23 mars 2018 à Roz Armor, Erquy (22). Ces Journées sont organisées par la division Enseignement-Formation de la Société Chimique de France et par un établissement d'enseignement supérieur. www.societechimiquedefrance.fr/Ressources-JIREC.html#ArchiveJIREC2018

(5) Le colloque « De la recherche à l'Enseignement », organisé par la Société Chimique de France (SCF), réunit tous les ans des professeurs de chimie autour de conférenciers de haut niveau récemment primés par l'Académie des Sciences, la SCF ou le CNRS et qui s'attachent à faire découvrir leurs champs de recherche respectifs. Soutenu par l'Union des Professeurs de classes préparatoires Scientifiques (UPS), l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie (UdPPC) et l'Inspection Générale de l'Éducation Nationale, ce colloque est devenu au fil des ans une journée de formation continue incontournable pour de nombreux enseignants.

(6) Organisés par le groupe Cegos en partenariat avec le groupe AEF INFO, les « Digital Learning Excellence Awards » (DLEA) récompensent depuis neuf ans des dispositifs reflétant toute la richesse et la diversité du « digital learning » déployé dans les entreprises et dans le monde de l'éducation.

(7) Pierre Giampaoli, Luc Eveleigh, Véronique Bosc, Paola Soto (AgroParisTech, Université Paris-Saclay); Christie Aroulanda, Jean-François Peyrat, Alain Danan, Nicolas Fouquet, Éric Pivert (Université Paris-Sud, Université Paris-Saclay); Natalia Alvarado (infographiste) et Duke Software (développeur web).

[1] Camel V., Peyrat J.-F. et al., Gérer l'hétérogénéité en situation expérimentale grâce au numérique ?, Actes du 9^e Colloque « Questions de pédagogies dans l'enseignement supérieur », 2017, p. 161.

[2] Camel V., Fitoussi G. et al., CHIMACTIV : un site pédagogique innovant pour favoriser l'apprentissage des étudiants en situation expérimentale, Colloque PédagoTICE, 2017; vidéo : <https://pedagogice.ubicast.tv/permalink/v12587983f20cddr116k>

[3] Camel V., Piard J. et al., La construction du site pédagogique numérique CHIMACTIV : analyse d'une coopération réussie entre enseignants, Actes du 10^e Colloque « Questions de pédagogies dans l'enseignement supérieur », 2019, p. 972.

Valérie CAMEL (auteur correspondant*) et **Marie-Noëlle MAILLARD**, professeures, **Mathieu CLADIÈRE**, maître de conférences, Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SayFood, Massy.

Gérôme FITOUSSI, ingénieur multimédia, Université Paris-Saclay, AgroParisTech, Direction des Systèmes d'Information, Paris.

Jonathan PIARD et **Cécile DUMAS**, professeurs agrégés, Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, Département de Chimie, Cachan.

Émilie BRUN, **Isabelle BILLAULT** et **Cécile SICARD-ROSELLI**, maîtres de conférences, Université Paris-Saclay, CNRS, Institut de Chimie Physique, UMR 8000, Orsay.

CHIMACTIV a reçu le prix 2019 de la division Enseignement-Formation de la Société Chimique de France.

* valerie.camel@agroparistech.fr

CHIMACTIV

Pour les enseignants et les apprenants

Ressources pédagogiques numériques interactives dans l'analyse chimique de milieux complexes

- Un contenu riche et varié (apports théoriques, photos, vidéos, animations, quizz, mini-jeux...)
- Une interactivité conservée sur tous supports de consultation

30 fiches | 5 thèmes

Thèmes : Sécurité, Méthodologie, Aliments, Médicaments, B.A.BA

chimactiv.agroparistech.fr
Contact : chimactiv@agroparistech.fr

Digital Learning Excellence Awards
Lauréat 2019 Catégorie éducation

Créé et conçu par : université PARIS-SACLAY