

# Formalabo

## Un outil pour intégrer la dimension HSE dans la mise en œuvre de TP en chimie de synthèse

Laurence Charpentier, Philippe Gall et Jean Paul Leroux

**Résumé** Dans le cadre des formations d'ingénieurs ou de techniciens supérieurs, la conduite de travaux pratiques constitue une occasion unique de bien former ces étudiants aux comportements de base essentiels en santé et sécurité au travail qui sont ceux qu'ils devront adopter et faire adopter au cours de leur vie professionnelle. C'est dans cette perspective et pour aider à la prise de contact avec la synthèse chimique que l'outil Formalabo a été conçu par un réseau d'enseignants d'écoles de chimie. Il s'agit d'un guide et d'un support d'accompagnement de l'étudiant pour l'acquisition d'une démarche ou méthodologie générale prenant en compte les aspects scientifiques et liés à la sécurité pour la réalisation de la synthèse organique. Cet article donne un aperçu du contenu et des fonctionnalités de cet outil pédagogique, et relate le retour d'expérience de son utilisation à l'échelle d'une promotion.

**Mots-clés** **Hygiène-sécurité-environnement, chimie, synthèse, travaux pratiques, outil pédagogique.**

**Abstract** **Formalabo: a helpful tool for chemistry lab work on hygiene, safety and environmental issues**  
The practical laboratory sessions which are part of the training received by engineers or higher technicians provide a unique occasion to train these students in behavioural skills necessary for their future professional lives. In order to help in this training and to provide an introduction to synthetic chemistry, a network of teachers from chemistry schools has developed the tool "Formalabo". It gives the basics of safety and security at work, and presents the most common techniques practiced in the laboratory. This article provides an overview of the content and functions of this pedagogical tool, and a feedback of its use by students.

**Keywords** **Safety-security-environment, chemistry, synthesis, lab work, pedagogical tool.**

L'outil Formalabo a fait l'objet d'une présentation lors du Congrès SFC Eurochem 2005 à Nancy [1] et d'une communication orale aux 24<sup>e</sup> Journées de l'innovation et de la recherche dans l'enseignement en chimie (JIREC) en 2008 à Ambleteuse [2].

### Origine du projet

Depuis 1996, l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) développe un projet d'aide aux écoles d'ingénieurs pour leur permettre d'améliorer l'enseignement de la prise en compte du risque chimique dans leurs formations [3]. Son action s'est traduite par la création de trois réseaux, qui regroupent la majorité des écoles françaises de chimie et génie chimique : « Risque chimique et hygiène industrielle » (RCHI), « Analyse du risque industriel » (ARI) et « Procédés propres et sûrs » (PPS). Ils permettent un échange permanent pour développer des démarches pédagogiques innovantes et pour intégrer continuellement l'analyse du risque et la prévention dans les différents cursus d'enseignement.

Le réseau RCHI s'est d'abord concentré sur la recherche d'informations concernant les produits utilisés dans les laboratoires et l'industrie chimique, à savoir l'exploitation pédagogique des fiches toxicologiques de l'INRS. Cette première action a permis l'édition du multimédia « TOXICLEFS » [4] pour développer leur utilisation dans les formations de l'enseignement supérieur.

Afin de tirer le meilleur profit de l'expérience acquise dans l'analyse des fiches de données sur les risques liés à

l'emploi des produits chimiques, le réseau RCHI décide en 2000 d'aborder la démarche à adopter lors des travaux pratiques de chimie en synthèse organique et inorganique. Dans la perspective d'un contexte de formations à finalités professionnelles, il contribue à intégrer la maîtrise des risques dans les TP et à développer ainsi des compétences appropriées chez les élèves ingénieurs.

Si les documents destinés à la préparation des TP prennent systématiquement en compte les notions actuelles de sécurité, il n'existe pas à notre connaissance de multimédia ou de logiciel francophone destiné exclusivement à l'enseignement pour aborder une démarche globale des opérations de synthèse en TP de chimie intégrant l'analyse des risques, le choix des paramètres opératoires et l'enregistrement numérique des comptes rendus d'expérience. Pour contribuer à combler cette lacune, un groupe d'enseignants de différentes écoles animé par l'INRS et l'Institut de l'homme et de la technologie (IHT, aujourd'hui intégré à Polytech'Nantes) s'est constitué pour s'engager dans la création d'un outil pédagogique. Après avoir analysé les démarches spécifiques aux opérations de la synthèse, ce groupe a procédé à la clarification des objectifs pédagogiques associés au projet. En 2003, sur la base du cahier des charges préalablement défini, l'INRS fait appel à un prestataire

spécialisé pour initier la conception de l'outil Formalabo ; sa version actuelle est achevée en 2007. Depuis, elle fait l'objet de plusieurs expérimentations pédagogiques afin de faciliter l'utilisation de cet outil par les écoles, de développer ses potentialités et de compléter son livret d'accompagnement.

## L'outil Formalabo

### Principales caractéristiques et objectifs

Adopter les bonnes procédures, respecter les règles d'hygiène, de sécurité et de protection de l'environnement lors des TP, assimiler et maîtriser les techniques expérimentales, acquérir de l'autonomie dans ses activités : tels sont les objectifs pédagogiques associés à Formalabo.

Intégrer cet outil dans l'organisation des TP de chimie doit entraîner inévitablement des effets bénéfiques, à savoir :

- une meilleure répartition dans le temps des efforts à fournir par l'élève (préparation des séances),
- un enrichissement du dialogue entre l'élève et l'enseignant,
- l'amélioration de la mise à disposition d'informations (forme et accès).

Tenir compte des conditions d'utilisation diversifiées de Formalabo a été l'un des principes de conception adopté. Ainsi, le mode de navigation est libre, le produit est ouvert à des sources documentaires disponibles en ligne. Il est possible d'archiver à la demande les travaux réalisés, de consulter Formalabo à distance (dans l'espace ou dans le temps), d'éditer des fiches pour documenter le rapport de TP (préparation, réalisation). De même, l'outil est adaptable aux spécificités des écoles, à l'évolution du contexte. Il est utilisable en monoposte ou à travers un serveur et permet le suivi des travaux de préparation des élèves.

Cet outil a été financé par l'INRS pour être mis gratuitement à disposition des enseignants de l'enseignement supérieur, afin de promouvoir de bonnes pratiques en santé et sécurité au travail respectueuses de l'environnement. Intégrable dans les activités de TP existantes, support d'une démarche aboutie associant les dimensions scientifiques, techniques et sécuritaires, utilisable dans différents contextes pédagogiques (cours de sensibilisation, travaux dirigés, projets), Formalabo dispose d'atouts qui devraient conduire nombre d'enseignants de chimie à en faire bon usage.

### Aperçu des fonctionnalités et du contenu

Formalabo se présente comme un local virtuel dans lequel, à partir d'un hall d'accueil, on peut accéder librement à un espace de formation, à un espace d'étude, et *via* un vestiaire, à un laboratoire de travaux pratiques (*figure 1*). Il est accompagné d'un guide technique d'utilisation qui fournit toutes les indications indispensables sur ses potentialités.

#### • Le hall d'accueil

Il permet de repérer les principales fonctionnalités de l'outil associées à des espaces géographiques bien différenciés, puis d'orienter son choix selon la tâche à effectuer. L'utilisateur est invité à s'identifier s'il souhaite enregistrer son travail.

#### • L'espace de formation (*figure 2*)

Le contenu, limité aux connaissances essentielles pour préparer et conduire un TP, traite d'une part des questions d'hygiène, sécurité et environnement dans un laboratoire de



Figure 1 - Le local virtuel.



Figure 2 - L'espace de formation.

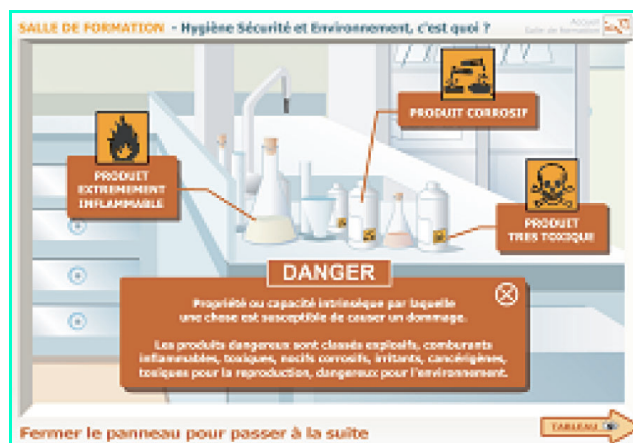


Figure 3 - Situation rencontrée.

chimie, et d'autre part des méthodes expérimentales et des montages les plus courants.

L'introduction en « Sécurité au laboratoire de chimie » permet d'esquisser brièvement des situations rencontrées (*figure 3*), des non-conformités à éviter. Ensuite, est offerte une présentation rapide et illustrée des principaux dangers susceptibles d'être présents, qu'ils soient de nature chimique, thermique, électrique ou mécanique (manutention, déplacements). Une partie intitulée « L'évaluation des risques chimiques » aborde la question des sources

d'informations disponibles, en commençant par les pictogrammes, les phrases R et S et leurs significations, puis se poursuit par la description des fiches toxicologiques de l'INRS, l'analyse des seize rubriques de la fiche de données de sécurité, et rappelle enfin les clés de lecture des étiquettes. La rubrique « Prévention » s'inscrivant dans le prolongement logique aborde tout d'abord les mesures de protection collective, puis les équipements de protection individuelle (EPI) pour les risques qui ne peuvent être évités et les consignes de sécurité applicables dans un laboratoire.

Pour compléter la démarche sous-jacente qui se veut complète, la dernière partie évoque la gestion des déchets, le tri, le stockage et leur élimination. Les consignes qui en découlent, spécifiques à chaque établissement, sont précisées aux étudiants par l'enseignant.

Dans la rubrique « Techniques de laboratoire », douze techniques parmi les plus courantes sont répertoriées et font l'objet de présentations structurées de façon identique. Après avoir indiqué les critères de choix qui peuvent conduire à sélectionner la technique considérée, un schéma commenté décrit la composition du montage (figure 4). Le principe scientifique qui fonde la technique retenue est expliqué brièvement. Les différentes étapes pratiques pour sa mise en œuvre font l'objet de schémas représentant les états successifs du système.

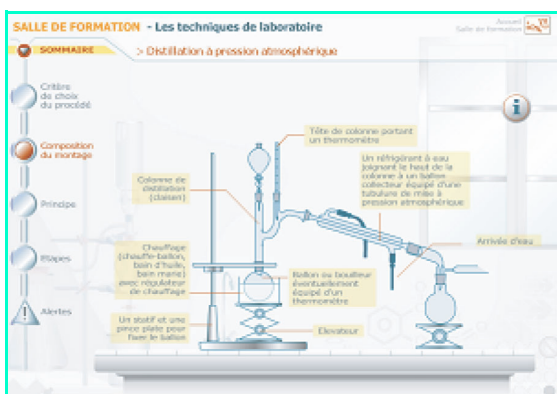


Figure 4 - Exemple de technique de laboratoire.

Pour conclure, des alertes mettent en garde l'élève quant aux points essentiels à considérer.

• **L'espace d'étude**

Il est constitué d'un centre de ressources qui oriente la recherche bibliographique vers les ouvrages disponibles dans l'établissement. Des liens Internet permettent de consulter les fiches toxicologiques de l'INRS ainsi que des fiches de données de sécurité. La salle de préparation constitue ce que l'on peut considérer comme le cœur de l'outil. Un tableau de bord guide et structure le déroulement et la succession des actions en conformité avec la démarche méthodologique que l'on cherche à inculquer à l'élève (figure 5). Il s'agit de débiter la démarche par l'exploration des différentes voies de synthèse possibles (1), puis en fonction des choix opérés, de définir les équations bilans qui en découlent (2). L'étape suivante consiste à rechercher puis à mettre, dans une forme structurée



Figure 5 - Tableau de bord.

selon la « Fiche produit », les informations sur les produits susceptibles d'être mis en œuvre et le résultat de leur analyse (3). Après avoir dimensionné la réaction par un calcul de masses et de volumes (4), on procède au choix de la technique la plus appropriée (5). Il convient alors de déterminer les quantités attendues (6). À partir du dossier de préparation enrichi par l'édition de documents (7), un point peut être prévu avec l'équipe pédagogique pour valider le travail, discuter des mesures de prévention et du choix des EPI (8).

• **Le vestiaire**

Ce passage obligé avant d'entrer au laboratoire marque l'importance du travail de préparation, de l'analyse *a priori* des risques et de la mise en œuvre effective des mesures de prévention. Il symbolise un point de contrôle du travail de l'étudiant par l'enseignant.

• **Le laboratoire de TP**

La préparation pratique pourra alors être engagée (passage symbolique par le vestiaire) avec le choix raisonné du poste de travail (9) (figure 6), la description du montage prévu avec en support l'édition de schémas (10), l'approche de la gestion des déchets (11).

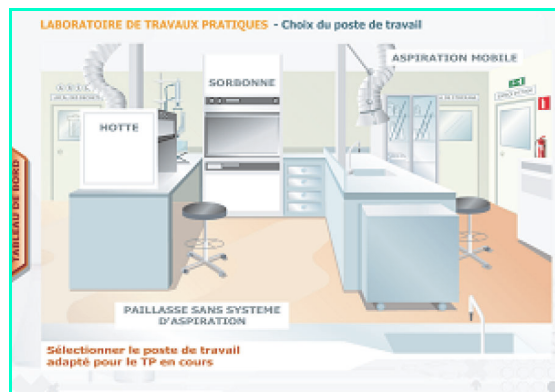


Figure 6 - Poste de travail.

En conclusion et après réalisation du TP, les élèves peuvent étayer le compte rendu avec les différents documents élaborés avec Formalabo qu'ils auront pris soin de sélectionner et d'éditer.

**Le livret pédagogique d'accompagnement**

Un livret est destiné à accompagner enseignants et étudiants lors de l'utilisation de l'outil en proposant divers cheminements en fonction des objectifs poursuivis par les utilisateurs, facilitant ainsi son appropriation. Dans ce livret, l'accent est mis sur trois objectifs principaux, correspondant à ceux définis dans le cahier des charges de Formalabo :

- l'apprentissage de la démarche à suivre lors de la réalisation d'une synthèse de produits chimiques : l'outil présente un tableau de bord qui permet d'accompagner les élèves ou tout utilisateur en proposant un cheminement logique, les guidant pas à pas dans la préparation et la réalisation de la synthèse d'un produit ;
- l'acquisition de connaissances en hygiène et sécurité et en techniques de laboratoire ;
- la possibilité d'effectuer des recherches documentaires et bibliographiques.

Pour chacun de ces objectifs, le livret comprend une description des salles concernées et des éléments que l'on

peut y trouver, des scénarios pédagogiques permettant d'atteindre ces objectifs ainsi qu'un retour des expérimentations menées par différentes écoles.

Outre la présentation d'aspects théoriques, ce livret a pour vocation de transmettre des informations sur les pratiques pédagogiques des écoles et de faciliter le partage d'expériences.

Suite à sa demande de mise à disposition adressée à l'INRS (J.P. Leroux), l'enseignant se verra remettre gratuitement ce livret et un exemplaire de Formalabo. En tant qu'utilisateur, il pourra ensuite accéder à la version électronique enrichie au fur et à mesure des expérimentations menées dans les différents établissements.

Sa version actuelle fournit divers documents élaborés par les écoles comme des supports de cours préparant aux séances de travaux pratiques, des modèles de fiches produits réalisés par des élèves, une matrice d'incompatibilité des principaux produits utilisés par une école pour la réalisation des TP.

Les éléments constitutifs du livret sont régulièrement discutés lors de séminaires organisés par le réseau RCHI, rassemblant des enseignants, afin d'instaurer une dynamique d'échanges inter-écoles, non seulement d'expériences sur l'utilisation de Formalabo, mais également sur les pratiques des écoles en matière d'enseignement en santé et sécurité au travail.

## Expérimentation pédagogique

### Contexte et public

Depuis 2007, une expérimentation originale a été mise en place à l'INSA de Rennes afin de tester le logiciel Formalabo. Cette expérience a été menée sur un public de plus de 300 étudiants de niveau L3, divisés par groupes de 24 élèves répartis en binômes sur douze postes de travail équivalents. La particularité de ces élèves-ingénieurs est liée à l'hétérogénéité de leurs connaissances en chimie du fait du mode de recrutement intégrant en L3 des étudiants n'ayant, selon les options choisies, plus du tout fait de chimie depuis la terminale. Dans cette optique, l'utilisation d'un outil d'auto-apprentissage a constitué une motivation supplémentaire quant à l'impact attendu sur ce type d'étudiants. Le temps consacré (par groupe) était réparti entre une séance de 1 h 30 de présentation du logiciel (support Powerpoint) et du travail préparatoire demandé et une séance de TP de 4 h deux semaines plus tard.

### Mise en application

Lors de la séance de présentation de l'outil, outre une description des fonctionnalités du logiciel, une attention particulière est portée sur l'espace de formation. Plus spécifiquement, l'accent est mis sur les techniques opératoires disponibles ainsi que sur les ressources liées à la sécurité (signification des phrases R et S, fiches de données de sécurité, fiches toxicologiques de l'INRS...).

Bien que n'étant pas strictement une démarche complète de synthèse, nous avons choisi une manipulation se rapportant principalement à la distillation. En effet, cette manipulation est une opération de purification pré- ou post-opératoire présente dans de nombreuses synthèses en chimie organique. Ce choix nous permet également de proposer Formalabo pour d'autres TP en chimie analytique par exemple.

La manipulation choisie, intitulée « Analyse d'un produit de substitution dans un protocole QHSE », est volontairement simple, d'une part pour ne pas pénaliser les étudiants ayant peu pratiqué de TP de chimie, et d'autre part afin d'évaluer facilement les effets du logiciel sur l'activité de préparation des étudiants.

En séance de TP, après une brève introduction sur la nécessité de substitution de certains solvants comme l'acétone par exemple, il est demandé aux étudiants de tester des mélanges de produits (de type dégraissant) et d'en évaluer les risques. Concrètement, la séance débute par le tirage au sort d'un des quatre mélanges proposés à l'étude (répondant à des noms évocateurs tels que « toutnet », « gwenspirit »...). Ces derniers étant constitués de deux produits (exemple : cyclohexane/cyclopentanol), les étudiants doivent utiliser la distillation fractionnée pour séparer les deux constituants. La mise en œuvre de la technique opératoire se fait en totale autonomie, une vérification d'usage avant le début du chauffage est simplement effectuée par les enseignants. La séparation terminée, il incombe alors aux étudiants d'identifier les constituants des mélanges de façon qualitative en comparant les températures d'ébullition relevées avec une liste de composés dont les caractéristiques physiques sont fournies. Ce travail préliminaire permet de limiter le champ de possibilités des produits. Par la suite, une analyse quantitative par prise des indices de réfraction (réfractomètre Mettler 30 GS), complétée éventuellement par la réalisation d'un spectre IR (spectromètre Perkin Elmer RXI paragon 100), conduit les élèves aux noms des constituants de leurs mélanges. Le temps consacré à cette première partie du TP est en général de 1 h 45.

Forts de ces résultats, les étudiants abordent alors la rédaction des fiches produits et des étiquettes *via* le logiciel (figure 7), ainsi que le compte rendu final. Cette étape s'est avérée particulièrement riche d'échanges entre élèves et enseignants car l'évaluation globale et systématique des risques est un domaine nouveau, difficilement maîtrisé par les étudiants en début de formation.

Par ailleurs, afin de favoriser l'utilisation de Formalabo lors du travail préparatoire, il est précisé que la mise en œuvre des techniques opératoires lors de la séance de TP se fera en quasi autonomie, et que le rapport final doit obligatoirement contenir un descriptif concernant la distillation sous pression atmosphérique, les « Fiches produits » (figure 7a) et les étiquettes pré-formatées indiquant le nom du produit, les pictogrammes, ainsi que les phrases R et S associées aux constituants analysés (figure 7b).

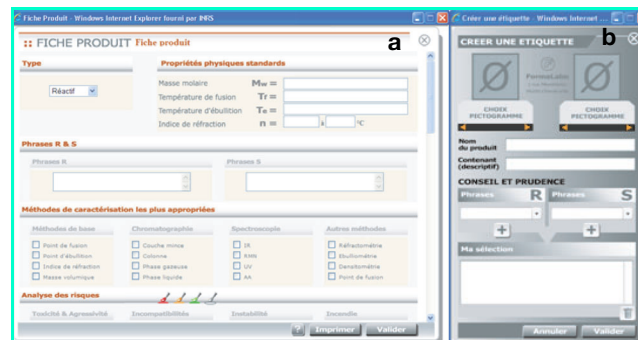


Figure 7 - Fiche produit (a) et création d'une étiquette (b).

### Résultats et analyse

Les résultats significatifs de cette expérimentation sont les suivants :

- 90 % des étudiants ont préparé le TP (ce chiffre est

largement supérieur à la moyenne habituelle), ce qui représente un « investissement temps » minimum d'une heure par étudiant ;

- l'évaluation du travail de préparation est facilitée par la demande d'édition de documents (technique de la distillation dans le cas présent) ;

- l'apprentissage en auto-formation est très bien perçu par les étudiants, leur autonomie et leur implication lors du TP sont nettement renforcées.

Cette expérimentation nous a montré que l'utilisation de Formalabo dans la préparation des TP de chimie structure bien la démarche méthodologique des étudiants scientifiques vis-à-vis de l'analyse de risques, fait intégrer systématiquement la dimension HSE dans la démarche globale, et nous semble favoriser sensiblement leur autonomie.

## Conclusion

Le travail collectif mené entre différentes écoles de chimie pour l'élaboration du cahier des charges de Formalabo a permis, outre la réalisation d'un outil pédagogique multimédia partagé, un échange enrichissant des pratiques en matière d'enseignement à la santé et à la sécurité au travail. Ces échanges ont favorisé et favorisent encore l'évolution des scénarios pédagogiques mis en œuvre dans les établissements concernés. Ainsi de nouvelles expérimentations pédagogiques utilisant Formalabo sont en cours ; le bilan fera l'objet de rencontres organisées dans le cadre du réseau RCHI et ira enrichir le livret pédagogique.

Enfin, pour tenir compte de l'évolution de la réglementation sur l'étiquetage, mais aussi pour améliorer l'outil suite aux remarques formulées par les utilisateurs, un nouveau cahier des charges a été élaboré et fait actuellement l'objet de négociations avec la société ayant réalisé Formalabo. La réalisation de la version 2 du logiciel sera effective prochainement. Elle intégrera la nouvelle législation européenne sur le classement et l'étiquetage des produits chimiques. Il est peut-être utile de rappeler que l'objectif principal associé à ce projet est de faire acquérir aux étudiants, dans le cadre des TP de chimie, une démarche méthodologique qui intègre la dimension HSE. Cet outil a vocation à enrichir les dispositifs pédagogiques déjà mis en place et à faciliter le dialogue entre étudiants et enseignants. Il n'a pas pour objet la simulation de réactions dangereuses, l'édition d'équations chimiques ou la rédaction complète d'un rapport de TP.



L. Charpentier



P. Gall



J.P. Leroux

### Laurence Charpentier

est ingénieur de recherche en formation continue à Polytech'Nantes<sup>1</sup>.

### Philippe Gall

est maître de conférences, équipe « Chimie du Solide et Matériaux », Sciences Chimiques de Rennes, INSA<sup>2</sup>.

### Jean Paul Leroux

est responsable « Action Écoles d'Ingénieurs » à l'INRS<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Polytech'Nantes, Rue Christian Pauc, F-44306 Nantes Cedex 3.

Courriel : laurence.charpentier@univ-nantes.fr

<sup>2</sup> Sciences Chimiques de Rennes, Équipe Chimie du Solide et Matériaux (CSM), UMR 6226 CNRS/INSA, 20 avenue des Buttes de Coësmes, CS 70839, F-35708 Rennes Cedex 7.

Courriel : philippe.gall@insa-rennes.fr

<sup>3</sup> INRS, 30 rue Olivier Noyer, F-75680 Paris Cedex 14.


Courriel : jean-paul.leroux@inrs.fr

Destiné à une large diffusion auprès des établissements d'enseignement supérieur, Formalabo doit contribuer à une meilleure formation initiale dans le domaine HSE de tout futur acteur du monde du travail, qu'il soit en production ou en conception, voire dans une activité de conseil.

## Références

- [1] Bouy-Debecq D., Clement R., Charpentier L., Formalabo, la prévention du risque chimique, *Congrès SFC Eurochem Nancy 2005*, CD-Rom, Édition ID-DIS®, 2006.
- [2] Follet-Houttemane C., Valorisation et cycle de vie de la matière minérale, *L'Act. Chim.*, 2009, 335, p. 15 (voir « Formalabo, un outil d'aide pour la préparation et la réalisation de TP de chimie intégrant une démarche HSE », p. 17).
- [3] a) Jézéquel B., La prévention à la porte des écoles d'ingénieurs, *Travail Sécurité*, 2000, 5, p. 8 ; b) Leroux J.P., L'école et les compétences en santé et sécurité au travail des jeunes ingénieurs diplômés, *L'Act. Chim.*, 2010, 340, p. 48.
- [4] *Toxiclefs : outil d'aide à l'utilisation des fiches toxicologiques*, INRS, 1999.

**+ simple**  
**+ fiable**  
**+ rapide**



L'HPTLC, la chromatographie liquide sur plaque de silice est une méthode actuelle.

Elle permet, directement sur la plaque :

- L'analyse quantitative
- La caractérisation par spectrométrie de masse
- L'objectivation d'activité biologique

Matériel et méthodes :

[www.chromacim.com](http://www.chromacim.com)

Distributeur exclusif CAMAG en France depuis 2002

