

# L'enseignement du contrôle de qualité, nouvel outil pédagogique pour l'enseignement expérimental de chimie analytique \*

par Y. Pegon, C. Paultre, F. Comet, C. Escoffier, H. Herilier, B. Ribon et C. Quincy

(Département de chimie analytique et Laboratoire de mathématiques, Faculté de Pharmacie, Université Lyon I, 8, avenue Rockefeller, 69373 Lyon Cedex 2).

## 1. Introduction

Traditionnellement, l'enseignement expérimental de chimie analytique en pharmacie a plusieurs fonctions :

- apprendre aux étudiants les gestes élémentaires correspondant à des manipulations simples,
- illustrer le cours théorique,
- donner des éléments permettant d'évaluer une méthode de dosage.

Dans la mesure où le travail de l'étudiant s'exprime en enseignement expérimental de chimie analytique par un résultat de dosage,

## 2. Réflexions sur l'application des techniques du contrôle de qualité dans un laboratoire d'enseignement

Pour réaliser, en enseignement expérimental, une simulation pertinente des conditions réelles dans lesquelles s'élabore, se mesure et s'améliore la qualité des dosages dans un laboratoire, il est nécessaire d'analyser les moyens humains et matériels mis en œuvre.

La qualité d'un dosage n'est pas, par nature, différente de la qualité d'un produit manufacturé ou d'un service. Nous nous sommes donc servis, dans notre analyse, d'un certain nombre de notions largement utilisées en qualité. En cette matière, la nature et le rôle des intervenants sont considérés par tous les spécialistes comme le point le plus important. Schématiquement on distingue deux types d'intervenants : la direction et l'exécution.

La direction doit définir les critères de la qualité, mettre en œuvre les moyens de l'obtenir, de la contrôler et de l'améliorer.

L'exécutant effectue les tâches définies par la direction et participe aux tâches de contrôle.

Un exécutant est qualifié de responsable si les trois conditions suivantes sont remplies :

- savoir ce qu'il est censé faire,
- savoir ce qu'il fait,
- pouvoir réguler son action (c'est-à-dire corriger les écarts entre ce qu'il est censé faire et ce qu'il fait).

Pour que ces conditions soient simultanément remplies, la direction intervient de plusieurs façons sur l'exécutant :

- information et formation,
- évaluation et contrôle,
- motivation et sanction.

Lorsque l'on veut simuler dans un enseignement expérimental le contrôle de qualité tel qu'il est utilisé dans un laboratoire d'analyse (industriel, biologique, alimentaire...), on se heurte à des difficultés provenant des différences de nature entre le laboratoire d'analyse

il nous est apparu intéressant de mesurer la qualité de ces résultats avec les techniques utilisées aujourd'hui dans les laboratoires d'analyse sous le nom de contrôle de qualité.

Nous avons également pensé que l'enseignement de la « Qualitologie », c'est-à-dire des techniques du contrôle de qualité, serait très utile pour la vie professionnelle future de l'étudiant. Cet enseignement peut s'effectuer très naturellement dans le cadre de l'enseignement expérimental de chimie analytique.

et le laboratoire d'enseignement. Ces différences portent en particulier sur :

### a) Les finalités d'un dosage

Dans un laboratoire d'analyse, le résultat est utilisé par des tiers pour prendre des décisions qui ne concernent pas le laboratoire.

Dans un laboratoire d'enseignement, le résultat donné par l'étudiant mesure en fait son habileté et son degré d'apprentissage : il s'agit d'un service interne rendu à l'étudiant.

### b) Les sanctions

Pour un laboratoire d'analyse, les sanctions sont économiques et juridiques.

Pour un laboratoire d'enseignement, la sanction est beaucoup moins nette et a souvent un caractère moral. Malheureusement la promotion des enseignants est peu liée à la qualité de leurs interventions pédagogiques et les notes d'enseignements pratiques sont rarement un élément déterminant pour décider de la réussite d'un étudiant à un examen.

### c) La formation des intervenants

L'enseignement supérieur doit former des cadres correspondant à la fonction de direction.

Un laboratoire industriel assure principalement une formation complémentaire au niveau des exécutants, plus rarement au niveau de la direction.

En réalité, dans le cadre de l'enseignement expérimental, les étudiants sont considérés par les enseignants comme des exécutants, alors que les conditions matérielles (faible encadrement et durée limitée de l'enseignement expérimental) ne permettent même pas de former de bons exécutants.

### d) La répétitivité des tâches

Dans un laboratoire d'analyse, la répétitivité apparaît surtout au niveau de l'exécutant et a pour effet d'accroître son habileté manuelle et de diminuer sa motivation au travail.

Dans un laboratoire d'enseignement la répétitivité apparaît seulement au niveau de la direction puisque l'enseignant face à un

\* Travail effectué dans le cadre de l'action de recherche de la Direction de l'enseignement supérieur : « Application du concept de contrôle de qualité à l'enseignement expérimental en pharmacie », n° 17.02.09.

Communication présentée aux Journées annuelles de la Division Enseignement de la chimie de la S.C.F., sur « L'enseignement expérimental dans le premier cycle universitaire » (Montpellier).

grand nombre d'étudiants doit multiplier des interventions pédagogiques à caractère répétitif.

Pour palier aux difficultés que ces différents points vont soulever, il faut :

- faire un effort particulier pour motiver enseignants et étudiants,

### 3. Intérêt pédagogique du contrôle de qualité

La mise en place de l'enseignement du contrôle de qualité conduit à élaborer un outil pédagogique original et efficace du fait de la notion même de qualité.

La qualité d'un dosage effectué par un étudiant en enseignement expérimental dépend :

- de la qualité de l'apprentissage de l'étudiant,
- de la qualité matérielle du laboratoire,
- de la qualité des interventions pédagogiques des enseignants.

Cette situation permet alors des régulations pédagogiques parti-

- essayer de trouver les conditions permettant d'initier les étudiants aux tâches de direction,
- diminuer la répétitivité des tâches de l'enseignant.

L'emploi des techniques du contrôle de qualité permet, comme nous le verrons, de résoudre certains de ces problèmes.

culièrement simples et naturelles. Comme il est indiqué sur la figure 1, les étudiants, après avoir effectué les dosages, donnent les résultats. Ceux-ci sont exploités en utilisant les techniques du contrôle de qualité par les étudiants avec l'aide des enseignants. L'étudiant peut juger par lui-même de la qualité de ses résultats ; il perçoit son niveau d'apprentissage et il peut envisager les moyens de s'améliorer, ce qui correspond sur la figure à la voie de régulation n° 1. En même temps, avec les mêmes techniques, l'équipe d'enseignants mesure la qualité de ses interventions pédagogiques et peut agir auprès de l'étudiant pour l'aider à s'améliorer, ce qui correspond à la voie de régulation n° 2.

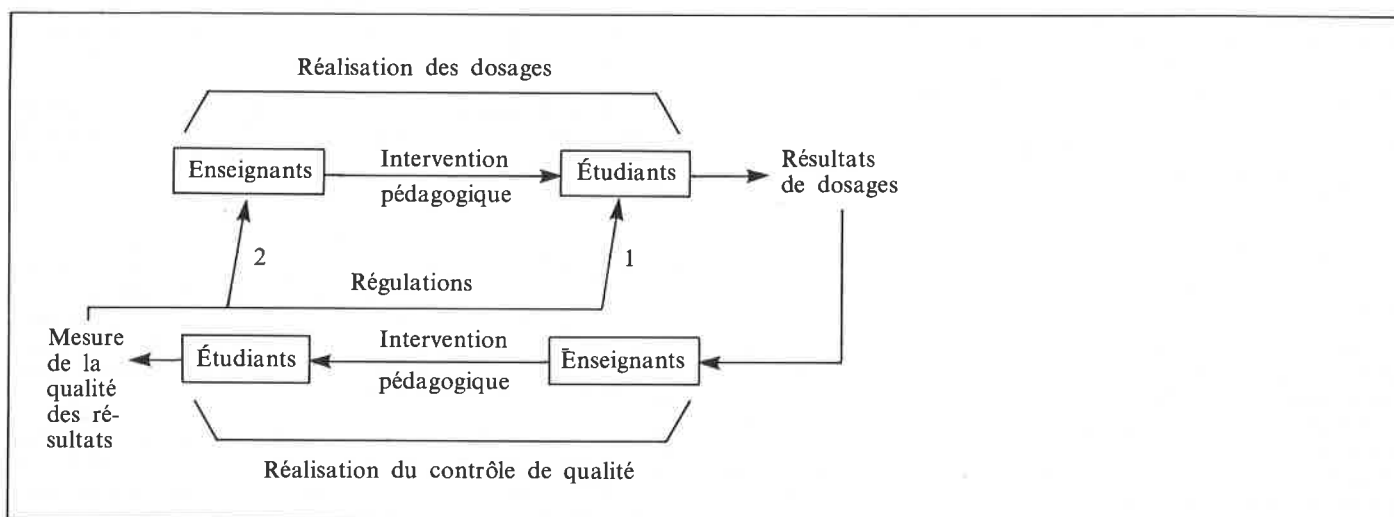


Figure 1. Les régulations pédagogiques induites par le contrôle de qualité.

### 4. Réalisation pratique

#### 4.1. L'environnement pédagogique

L'environnement pédagogique est celui d'une U.E.R. de pharmacie relativement importante. L'intervention porte sur des étudiants en 2<sup>e</sup> année de 1<sup>er</sup> cycle, au nombre de 400. L'enseignement est organisé de façon classique avec 20 heures de cours magistraux et 72 heures d'enseignement dirigé et de travaux pratiques. L'encadrement est composé d'un professeur, de deux maîtres assistants et de trois assistants. C'est dire que l'expérience que nous avons conduite se déroule dans le cadre d'un enseignement « de masse » de premier cycle sans encadrement renforcé.

#### 4.2. Chronologie des opérations

##### 4.2.1. 1<sup>re</sup> opération : présentation du matériel utilisé couramment en titrimétrie.

Cette présentation est faite au cours de la 1<sup>re</sup> séance d'enseignements dirigés et d'enseignement expérimental. En enseignements dirigés un rappel sur la manipulation de ce matériel est fait par des moyens audio-visuels (diapositives). En enseignement expérimental, la présentation est illustrée par le dosage d'une solution d'hydroxyde de sodium par une solution d'acide chlorhydrique, dosage dont la compréhension ne pose plus de problèmes particuliers à ce niveau des études. Le titre des solutions fournies à l'étudiant est choisi de telle façon qu'il est nécessaire de diluer au dixième la solution de base à titrer. On propose à l'étudiant d'utiliser pour cette dilution d'une part une pipette 10 ml ; deux

traits et d'autre part une fiole jaugée de 100 ml, une éprouvette de 100 ml et un erlen de 250 ml gradué approximativement. Pour chacune des trois dilutions qu'il aura ainsi effectuées, l'étudiant réalise un dosage. Les trois résultats trouvés sont introduits par chaque étudiant au clavier d'un ordinateur PDP 8 situé dans la salle d'enseignement expérimental. Pour cela nous avons réalisé un programme conversationnel avec lequel l'étudiant entre son nom, son numéro de groupe, puis successivement chacune des trois valeurs expérimentales. L'ordinateur affiche ensuite sur un écran les renseignements fournis par l'étudiant afin que celui-ci les valide.

Lorsque tous les étudiants ont effectué cette séance d'enseignement expérimental, les données sont traitées par le calculateur selon un programme statistique. L'ordinateur imprime une feuille de résultats par type de dilution. Les feuilles sont photocopiées, distribuées à chaque étudiant et commentées au cours d'un enseignement dirigé.

Pour chaque type de dilution, l'ordinateur fournit les données suivantes :

- le rejet des valeurs aberrantes qui est effectué selon le test de Pearson.

Avec chaque valeur aberrante figure le nom de l'étudiant responsable du dosage. Ce nom est ainsi connu de tous, ce qui incite l'étudiant à se poser des questions et à améliorer la qualité des dosages qu'il fera ultérieurement,

- la moyenne,
- l'écart-type,
- l'écart-type à la moyenne,
- un histogramme.

L'interprétation faite en enseignement dirigé comprend plusieurs étapes :

1. L'étudiant effectue pour chacune des techniques de dilution un calcul d'erreur faisant intervenir la précision de la verrerie telle qu'elle est donnée par le fabricant. Il évalue ainsi l'erreur due à l'appareillage.
2. L'étudiant analyse les résultats statistiques fournis par le calculateur. Il évalue ainsi la somme des erreurs dues à l'appareillage et à sa manipulation.
3. En comparant les résultats obtenus au cours de chacune des deux étapes précédentes, l'étudiant comprend que la qualité d'un résultat ne dépend pas seulement des facteurs d'appareillage mais aussi des facteurs humains. Ceci est d'autant plus net que, cette séance étant la première, les étudiants ont un faible degré d'apprentissage des gestes élémentaires.
4. L'analyse des histogrammes fait apparaître des biais (erreurs par défauts) qui montrent que certaines consignes ou que certaines explications n'ont pas été entendues, comprises ou suivies (mauvaise agitation, mauvais prélèvement, mauvais rinçage du matériel...). L'origine de ces biais est discutée avec les étudiants afin de leur faire saisir l'importance de certains gestes.

#### 4.2.2. 2<sup>e</sup> opération : essai interlaboratoire.

La manipulation proposée aux étudiants est un dosage de cuivre (II) par iodométrie.

A la suite de cette manipulation chaque étudiant peut mesurer la qualité de ses résultats en utilisant la technique de l'essai interlaboratoire.

Au début de la séance d'enseignements pratiques, chaque étudiant réalise la manipulation une ou deux fois avec une solution de titre connu afin de voir comment se présente le virage de l'indicateur. Puis il dose quatre échantillons portant chacun un numéro d'identification en opérant qu'un seul dosage par échantillon. Les résultats trouvés sont entrés au clavier du calculateur avec l'aide d'un programme conversationnel analogue à celui employé précédemment. Pour l'ensemble des étudiants, il a été utilisé huit solutions différentes. Sur les quatre échantillons distribués à chaque étudiant, trois étaient identiques ; mais les étudiants l'ignoraient et ils ne pouvaient le découvrir car les titres des solutions étaient très voisins. Nous avons vérifié qu'il n'y avait eu aucun biais. Chaque solution a, de ce fait, été dosée trois fois par 80 étudiants.

Comme pour l'opération précédente, les feuilles de résultats fournis par l'ordinateur sont photocopiées, distribuées aux étudiants et commentées au cours d'un enseignement dirigé. Pour chaque solution, le calculateur établit la moyenne et la variance sur les trois résultats de chaque étudiant.

## Conclusions

L'enseignement du contrôle de qualité intégré à l'enseignement expérimental de chimie analytique s'avère particulièrement efficace et adapté pour les objectifs pédagogiques que nous poursuivons. Sa mise en place ne nécessite que des moyens limités en temps et en personnel.

Cet enseignement contribue à motiver les étudiants. Pour mettre ceci en évidence, nous avons fait effectuer aux étudiants, pendant la manipulation n° 4, une dilution analogue à celle qui a fait l'objet de la manipulation n° 1. Les résultats obtenus sont excellents et montrent que l'étudiant suit les consignes qui lui sont données lorsque le résultat du contrôle de qualité lui en démontre l'importance.

De plus, les techniques du contrôle de qualité permettent aux enseignants de connaître rapidement les étudiants dont les résultats sont insuffisants. Il est alors possible d'intervenir seulement

Il donne ensuite :

- le rejet des valeurs aberrantes pour la moyenne en indiquant le nom de l'étudiant qui a effectué les dosages correspondants,
- un histogramme des moyennes,
- la moyenne générale,
- l'écart-type des moyennes,
- le rejet des valeurs aberrantes pour la variance en indiquant le nom de l'étudiant qui a effectué les dosages correspondants,
- une nouvelle valeur de la moyenne générale compte tenu des valeurs précédemment éliminées,
- la variance de répétabilité ou variance intragroupe. Au cours de l'enseignement dirigé, chaque étudiant compare sa variance à la variance de répétabilité en utilisant un test F. Il peut ainsi comparer sa variance à celle des autres étudiants,
- la variance intergroupe,
- la variance totale.

A partir de la moyenne générale, de la variance totale et de la variance intragroupe, les étudiants calculent pour chaque solution l'intervalle de confiance autour de la moyenne générale ; ils peuvent alors comparer leur moyenne à la moyenne générale.

Un classement est établi à partir de la variance de chaque étudiant et de l'écart entre sa moyenne et une valeur cible obtenue après dosage de la solution par des manipulateurs expérimentés.

Grâce à la technique de l'essai interlaboratoire, l'étudiant est amené à comparer sa reproductibilité à celle des autres étudiants, et sa moyenne à celle des autres étudiants et à une valeur de référence.

#### 4.2.3. 3<sup>e</sup> opération : carte de contrôle.

Il serait fastidieux et trop lourd de réaliser un essai interlaboratoire pour chaque manipulation effectuée par l'étudiant. Pour les autres manipulations, nous avons remplacé l'essai interlaboratoire par la technique de la carte de contrôle dans laquelle le manipulateur positionne son résultat sur un graphique où figurent la valeur cible et les bornes d'acceptabilité.

Puisque l'étudiant ne doit connaître ni la valeur cible ni les bornes, ces données sont stockées dans l'ordinateur. L'étudiant a la possibilité d'entrer au clavier le résultat qu'il a trouvé ainsi que le numéro de son échantillon. L'ordinateur lui indique si ce résultat est compris ou non dans les limites d'acceptabilité. Si le résultat est inacceptable, l'étudiant a la possibilité de refaire une fois le dosage et d'introduire pour contrôle le nouveau résultat dans l'ordinateur, la durée d'une séance d'enregistrement pratique étant limitée à 3 heures.

#### 4.2.4. Évaluation :

Pour chaque opération, l'évaluation comprend :

- un compte rendu,
- une note pour le dosage,
- une sanction pour les étudiants dont les valeurs ont été jugées aberrantes.

auprès de ces étudiants ce qui diminue la répétitivité des tâches de l'enseignant.

Dans le système que nous avons mis au point, l'étudiant est placé pour partie en auto-contrôle. Il assume la qualité de ses résultats et doit décider de la marche à suivre, ce qui est un début d'initiation aux tâches de direction. Pour que cette initiation soit plus complète nous envisageons d'utiliser les étudiants en fin d'étude pour organiser avec l'aide des enseignants une partie du contrôle de qualité pour les étudiants des autres années.

Le travail présenté ici n'a rien de définitif ni d'achevé car les possibilités offertes par les applications pédagogiques des techniques du contrôle de qualité sont nombreuses. Aussi sommes-nous en train de mettre en place ces applications pour d'autres années et d'autres disciplines.