

## Report of innovation

### La simulation informatique : outil d'aide à l'apprentissage de la chimie des solutions : compte rendu d'innovation

### Learning of chemistry of solution with help of computer simulation

**Mohamed ERRADI, M. KHALDI, S. EZZAHRI,  
A. BENNAMARA, M. TALBI, S. BENMOKHTAR**

U.F.R. des sciences et procédés d'analyse en chimie analytique  
E.R.D.I.C. (ENS de Tétouan)  
& E.R.D.I.C. (Faculté Ben Msik), Maroc.

#### **Résumé**

*Le présent article rend compte d'une expérimentation utilisant des simulations informatiques de titrages acide-base dans des situations didactiques d'apprentissage basées sur l'investigation et la participation de l'apprenant dans la construction de son savoir. Deux approches dans l'utilisation des simulations de titrages pH-métriques à l'aide du logiciel « SIMULTIT2 » sont mises en place et évaluées avec un groupe d'enseignants en formation continue et un groupe d'élèves-professeurs en formation initiale. On montre que les simulations informatiques créent un contexte pédagogique favorisant l'apprentissage par la découverte ou l'exploration basée sur les conflits cognitifs.*

**Mots clés :** *pédagogie, chimie des solutions, simulation, changements cognitifs, démarches de résolution.*

### **Abstract**

*The present article gives account of an experimentation using the computer simulations of titration acidic-bases in the didactic situations of training based on the investigating and the involvement of learning it in the construction of his knowledge. Two approaches in the utilization of the pH-metric titration simulations with the help of the software "SIMULTIT2", are setting up and valued with a group of teachers in continuing education and a group of futures teachers in initial formation. We show that the computer simulations create an educational context encouraging the training by the discovery or the exploration based on the cognitive conflicts.*

**Key words :** *pedagogy, chemistry solutions, simulation, conceptual change, problem solving behaviors.*

### **Resumen**

*El presente artículo este referido a una experimentación donde se utilizaron simulaciones informáticas sobre los ácidos-bases en situación didáctica de aprendizaje basadas en la investigación y la participación del alumno para la construcción de su saber. Fue elaborado y evaluado por un grupo de docentes en formación continua y un grupo de alumnos-profesores en formación inicial, dos enfoques para la utilización de simulaciones de los PH-métricos con la ayuda del programa "SIMULTIT2." Se muestra que las simulaciones informáticas crean un contexto pedagógico que favorece el aprendizaje por descubrimiento o la exploración basada en conflictos cognitivos.*

**Palabras claves :** *pedagogía, química de las soluciones, simulación, cambios cognitivos, procedimientos de resolución.*

## **INTRODUCTION**

De nombreuses recherches en Sciences de l'Éducation ont permis de remettre en question le modèle d'enseignement traditionnel basé sur la transmission des contenus scientifiques. On propose, à l'encontre, un modèle d'enseignement par l'investigation (ou par la recherche), où l'apprentissage est conçu comme un ensemble de processus dynamiques conduisant à des changements conceptuels et méthodologiques chez les

apprenants (Gil, 1993). L'expérimentation d'un tel modèle s'est révélée efficace dans la mesure où l'apprenant devient acteur principal dans la construction de son savoir (Njoo & De Jong, 1993 ; Torres & Garcia, 1997).

D'autres études ont montré l'importance des stratégies basées sur les conflits cognitifs dans le développement d'un enseignement par la recherche (Niaz, 1995). Dans ce sens, la simulation informatique peut constituer un outil pédagogique favorisant à la fois l'enseignement par la recherche et la création de situations de conflit cognitif. L'apprenant peut chercher le modèle caché par la simulation, changer les paramètres et les variables, interpréter les résultats, découvrir un nouveau savoir et le comparer avec ses préconceptions.

Selon Durey & Beaufile (1998), la simulation informatique se situe aujourd'hui au même niveau que l'expérimentation. Les situations didactiques où l'on peut introduire la simulation sur ordinateur sont nombreuses et diverses, en particulier dans le domaine des sciences physiques. Intégrées dans les cours magistraux, les simulations informatiques sont utilisées, par exemple, pour illustrer un savoir théorique, des phénomènes naturels, etc. Utilisées en travaux pratiques, les simulations peuvent servir pour expérimenter un modèle, interpréter des observations expérimentales, etc. En articulant simulation et expérimentation, les apprenants peuvent travailler librement. Ils peuvent changer les paramètres et les variables, et visualiser immédiatement les conséquences sur les manipulations pratiques.

## **1. LA CHIMIE DES SOLUTIONS : UN DOMAINE PERTINENT POUR L'UTILISATION DES SIMULATIONS INFORMATIQUES.**

La chimie des solutions constitue la partie la plus importante de la chimie enseignée dans le secondaire. Ses notions et concepts interviennent dans l'enseignement d'autres modules de la chimie (chimie organique) ou d'autres disciplines scientifiques (biochimie, hydrobiologie, écologie, etc.)

Les réactions acide-base forment le pivot de cette partie de la chimie autour duquel s'articule un bon nombre de réactions d'oxydoréduction, d'électrochimie, de précipitation et de complexation. Comprendre les réactions acide-base suppose la maîtrise d'un grand nombre de paramètres qui font appel à d'autres notions fondamentales : l'atome, la molécule, l'équilibre chimique, etc.

Dans le programme marocain, l'enseignement des réactions acide-base dans le secondaire comme dans le supérieur présente le titrage pH-

métrique comme une simple technique permettant la détermination de la concentration d'un acide ou d'une base. Des aspects scientifiques, pédagogiques et didactiques sont complètement négligés : confrontation théorie et expérimentation, influence de la concentration et du pka, limitation de la technique, etc. Les apprenants (ou parfois les futurs professeurs) conçoivent des idées fausses sur les réactions acide-base et le titrage pH-métrique. Les problèmes d'acide-base sont réduits, pour eux, à de simples opérations mathématiques qui, parfois, n'ont aucune approche avec la réalité chimique (Erradi, 2001).

## 2. APPROCHES DANS L'UTILISATION DES SIMULATIONS INFORMATIQUES

Dans cette partie nous présentons deux expérimentations, que nous avons menées à l'École Normale supérieure de Tétouan (Maroc), sur l'utilisation des simulations informatiques dans l'enseignement des réactions acide-base. En mettant les stagiaires dans des situations d'apprentissage par l'investigation et en adoptant une stratégie basée sur les conflits cognitifs, nous nous sommes intéressés aux différents changements pouvant être générés par les simulations informatiques tant sur le plan conceptuel qu'au niveau des démarches de résolution des problèmes.

Pour examiner ces changements nous avons utilisé comme méthode d'investigation :

– l'analyse des protocoles d'interviews enregistrés à l'aide d'un magnétoscope. L'interview de type semi-structuré est réalisée à la fin de la séquence didactique. Les questions furent :

- Pourquoi le choix d'un tel système à étudier ?
- Quelles sont les réactions mises en jeu ?
- Quelles courbes à tracer et pourquoi ?
- Les résultats obtenus sont-ils conformes à vos pré-connaissances sur le titrage des polyacides et des solutions mélanges ?
- L'activité autour de la simulation informatique vous a-t-elle permis d'acquérir un nouveau savoir et un savoir-faire (technique, scientifique, pédagogique) ? Lesquels ?
- Quels types de difficultés avez-vous rencontrés (technologiques, pédagogiques...) ? ;

- l'analyse des comptes rendus ; à la fin de la séquence didactique (avant le déroulement des interviews), les enquêtés doivent fournir un compte rendu de leur travail, un rapport dans lequel ils doivent décrire en détail la démarche adoptée dans la résolution de chaque problème, les résultats obtenus, l'interprétation ;
- l'analyse des résultats du QCM (avant et à la fin de la séquence didactique).

### **3. PREMIÈRE EXPÉRIMENTATION : LES SIMULATIONS POUR DÉCOUVRIR UN SAVOIR...**

Cette expérimentation a été réalisée avec un groupe de 32 enseignants des sciences physiques dans le secondaire (dont 8 femmes) dans le cadre de la formation continue.

Afin de mettre les stagiaires dans des situations de conflits cognitifs, nous les avons soumis à un pré-test écrit (sous forme d'un QCM dont une partie est reproduite en annexe) dans lequel ils devaient répondre à une série d'items portant sur les notions de réaction totale et de prédominance, le rapport entre nombre d'acidités et nombre de points d'équivalence apparus dans une courbe de titrage, les neutralisations successives dans un mélange, le rapport entre la nature de l'acide (fort ou faible) et la forme de l'inflexion apparue dans une courbe de titrage. Il s'agit là d'une phase de prédiction nécessaire à l'installation du conflit cognitif.

Le pré-test a été soumis aux stagiaires la veille de l'expérimentation. Notre seule aide a concerné l'explication de chaque item (sur le plan de la formulation) pour éviter toute mauvaise interprétation de la question.

L'outil utilisé dans cette approche expérimentale est le logiciel Simultit2. Nous avons opté pour ce logiciel pour deux raisons principales : son adaptabilité aux besoins de notre public et la facilité de son utilisation.

Après une séance de prise en mains du logiciel, et après avoir expliqué aux stagiaires le principe d'une simulation et le modèle mathématique qui la régit, nous avons demandé aux stagiaires de chercher des justifications aux différentes questions posées dans le pré-test. Les stagiaires ont travaillé librement par binôme sans directivité.

Les activités de recherche sont centrées sur quatre items principaux :

- le rapport entre le nombre d'acidités d'un acide et le nombre de points d'équivalence qui doit apparaître dans la courbe de son titrage pH-métrique,

- l'influence de la présence d'un acide faible dans un mélange (d'acides fort et faible) sur le titrage d'un acide fort,
- les neutralisations successives dans les mélanges complexes d'acide et de base,
- l'influence du pka et de la concentration d'un acide faible sur son titrage pH-métrique.

Dans le but de trouver des solutions à ces différentes questions les stagiaires ont commencé par simuler le titrage d'une série de polyacides (acide oxalique, acide sulfurique, acide citrique, acide phosphorique, EDTA), d'une série de mélanges acide fort (HCl) et acide faible (à différentes valeurs de pka), et enfin une série d'acides faibles (à différentes valeurs de pka et de concentration).

À la fin de cette expérimentation, nous avons redistribué un post-test aux stagiaires (Il s'agissait des mêmes items du post-test).

L'observation des stagiaires et l'analyse de leurs comptes rendus nous ont permis de dégager un modèle général (figure1) illustrant la démarche adoptée dans la recherche des solutions aux différentes questions.

Dans ce modèle la simulation informatique constitue le tronc principal de la démarche de résolution. La situation de conflit cognitif apparaît au moment de la visualisation de la courbe  $\text{pH}=\text{f}(\text{V})$ . En effet, tous les enquêtés croient que le nombre de points d'équivalence qui doit apparaître dans la courbe de titrage d'un polyacide est égal au nombre d'acidités de ce dernier, ce qui n'est pas vrai. Ce désaccord entre l'idée qu'ont les enquêtés et le résultat obtenu par simulation a conduit ces stagiaires à chercher d'autres types de courbes pour pouvoir justifier la courbe de pH obtenu.

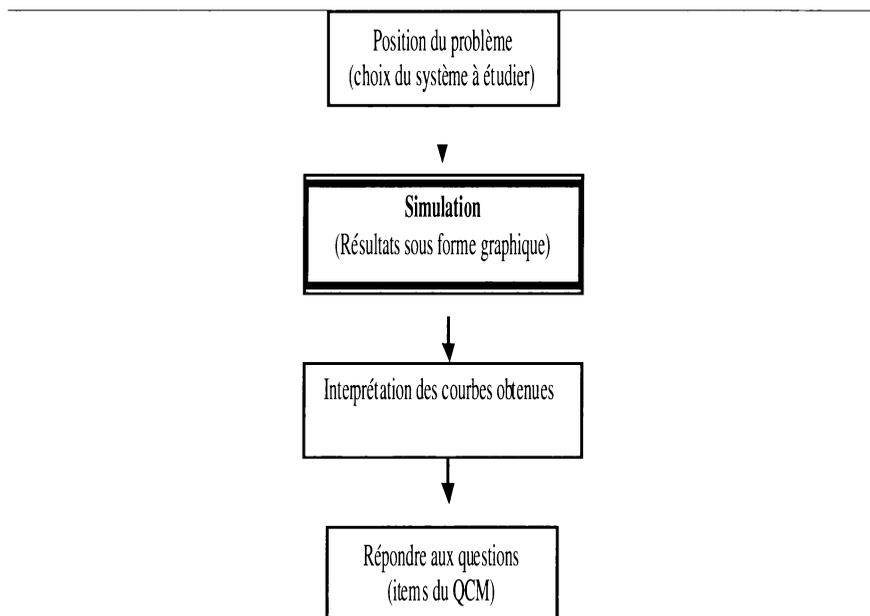


Figure 1 : **Modèle de démarche adoptée par les stagiaires**

Sur le plan conceptuel, l'analyse du pré-test et du post-test (QCM identique à celui du pré-test et distribué à la fin de l'expérimentation) et de l'interview des stagiaires nous a permis de noter des changements importants au niveau de leurs connaissances relatives à la pHmétrie et aux réactions acide-base, et par conséquent sur leurs représentations du concept acide-base (tableau1).

Pré-test	Post-test
Le nombre de points d'équivalence apparus dans une courbe de titrage acide base est égal au nombre d'acidités de l'acide.	Si $\Delta pka$ entre deux acidités est supérieur ou égal à 4, l'acidité est titrable (apparition d'un point d'équivalence).
Dans une courbe de titrage acide-base, un saut de pH important autour du point d'équivalence correspond toujours au titrage de l'acide fort.	Cette remarque n'est pas générale. La présence d'un acide faible à une concentration et à pka bien déterminés peut influencer sur la nature du saut de pH (marqué ou peu marqué).
Les acides faibles sont titrables pH-métriquement quelque soit la concentration et le pka.	Plus l'acide est faible (plus le pka croît), plus la limite inférieure de la concentration à laquelle l'acide peut être titré par une base forte est élevée.

Tableau 1 : **Changements cognitifs observés**

#### 4. DEUXIÈME EXPÉRIMENTATION : L'ARTICULATION SIMULATION-EXPÉRIMENTATION

Cette expérimentation a été réalisée avec un groupe de 22 élèves-professeurs des sciences physiques (dont 10 femmes) dans le cadre de la formation initiale. Nous avons utilisé le logiciel Simultit2 pour la réalisation des simulations et la configuration SMF10 pour la réalisation des manipulations pratiques.

Dans cette approche la simulation est utilisée en aval de l'expérimentation, pour analyser et interpréter les résultats expérimentaux obtenus. L'activité proposée consiste à résoudre deux problèmes pratiques :

- étude du titrage pH-métrique de 10 ml d'une solution mélange contenant, à la préparation,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (0.1M),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (0.1M), HF (0.1M) par une solution de soude NaOH 0.2 M,
- étude du titrage pH-métrique d'une série de polyacides (acide phosphorique, acide borique, acide citrique, acide oxalique) par une solution de soude NaOH.

La figure 2 représente le modèle de la démarche adoptée par les stagiaires dans la résolution du problème proposé. Dans ce modèle, la simulation informatique constitue un élément fondamental dans la démarche de résolution dans la mesure où elle a permis de rendre compte des différentes réactions mises en jeu dans ce titrage. Elle a permis aussi d'interpréter et de justifier les différentes inflexions observées dans la courbe de titrage.

De l'analyse des résultats du pré-test / post-test (QCM), des comptes rendus et de l'interview des stagiaires, nous avons pu déceler d'importants changements sur les plans cognitif et méthodologique.

Les stagiaires ont des idées sur les notions de quantitativité, de prédominance, de la force d'un acide, de la précipitation, de la complexation, etc. Ces idées ne sont pas, cependant, mobilisées dans la situation-problème en question. Le recours à la simulation les a obligés à remettre en question ces hypothèses. En effet, là encore, et à titre d'exemple, nous avons remarqué que tous les élèves-professeurs croient que la courbe de titrage pH-métrique de l'acide phosphorique doit avoir 3 points d'équivalence et qu'une inflexion « marquée » correspond toujours à la neutralisation d'un acide fort. On peut dire qu'à ce niveau la simulation informatique a pu stimuler une situation de conflit cognitif importante. Les hypothèses faites par les stagiaires sont souvent contradictoires avec les résultats obtenus. Cette situation leur a permis de reconstruire le savoir sur les notions citées auparavant.

Sur le plan méthodologique, la simulation a permis aux stagiaires de développer une activité jusque-là sous-estimée par beaucoup de nos étudiants (Erradi, 2001), qui est l'analyse des données d'un problème. En interrogeant les stagiaires sur les bases de leurs hypothèses, nous avons remarqué qu'ils ne donnent aucune importance aux phénomènes qui ont déjà eu lieu au moment de la préparation de la solution mélange, avant même de commencer à ajouter la solution titrante (réactions d'acide-base, de précipitation, et de complexation). Ceci montre qu'aucune analyse des données du problème n'a été faite. L'absence de cette étape primordiale dans la démarche de résolution du problème est la cause principale de l'élaboration aléatoire des hypothèses.

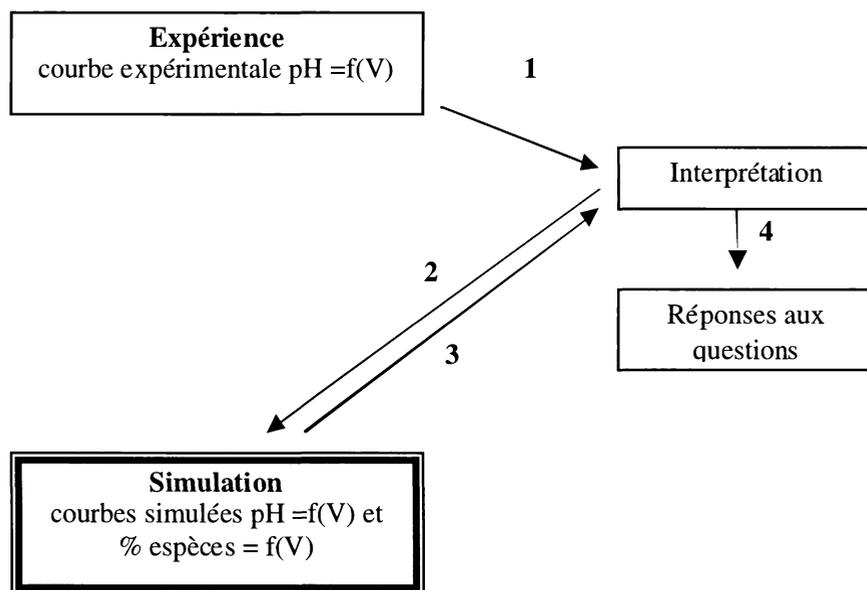


Figure 2 : Démarche adoptée par les stagiaires dans la réalisation de la tâche : expérimentation – simulation

Le recours à la simulation a obligé les stagiaires à relire de nouveau le problème attentivement, en faisant une analyse des réactifs formant la solution initiale et en réfléchissant sur les différentes réactions qui peuvent avoir lieu avant et au cours du titrage.

## CONCLUSIONS

Dans les différentes approches didactiques présentées dans cet article, la simulation informatique constitue un élément fondamental de la démarche scientifique. Elle a pu créer des situations de conflit cognitif permettant aux stagiaires de tester, d'évaluer et de reconstruire leur propre savoir sur des notions et des concepts fondamentaux en chimie des solutions, comme la prédominance, la réaction totale, la force d'un acide, le degré d'avancement d'une réaction, la neutralisation, etc.

De telles approches, utilisant principalement les courbes de répartition des espèces entre les différentes formes, ont permis aux stagiaires d'élaborer des modes de raisonnement simples autorisant une prévision rapide de l'évolution de la composition des systèmes chimiques étudiés.

Utilisée seule, la simulation permet d'activer chez les stagiaires des processus de recherche de l'information, de son analyse et de son utilisation. Utilisée en aval d'une expérience, la simulation permet la confrontation de la théorie avec l'expérience, ce qui a pu conduire les stagiaires à interpréter correctement les résultats obtenus expérimentalement.

## BIBLIOGRAPHIE

- DUREYA . & BEAUFILS D. (1998). L'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques : Questions de didactique. In *Actes des 8èmes Journées Nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, UDP et INRP*, pp. 63-74.
- ERRADI M. (2001). *Conception d'un hypermédia didactique pour la formation continue en chimie des solutions : CHIMSOL*. Thèse de Doctorat, Faculté Ben-Msik, Maroc.
- GIL D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique, *Aster*, vol.17, pp. 41-64.
- NIJAZ M. (1995). Cognitive conflict as a teaching strategy in solving chemistry problems : a dialectic – constructivist perspective. *Journal of research in science teaching*, vol. 32, n° 9, pp. 959-970.
- NJOO M. & DE JONG T. (1993). Exploratory learning with a computer simulation for control theory : Learning processes and instructional support. *Journal of research in science teaching*, vol. 30, n° 6, pp. 821-844.
- TORRES SALCEDO L.-E. & GARCIA GARCIA J.-J. (1997). Los suelos en la enseñanza de la teoría ácido-base de Lewis. Una estrategia didáctica de aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 15, n° 1, pp. 59-71.

**ANNEXE****Une partie du QCM (le QCM entier est constitué de 21 items)**

1- La constante de l'équilibre de la réaction suivante :

$A + B \rightleftharpoons C + D$  est  $K = 10^6$ . Sachant que  $[A]_0 = [B]_0 = 0.1M$ , on peut dire que :

- la réaction dans le sens (1) est réaction totale
- la réaction dans le sens (2) n'est pas réaction totale
- la réaction dans le sens (1) n'a pratiquement pas lieu
- les 4 espèces co-existent en quantités notables

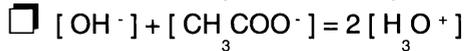
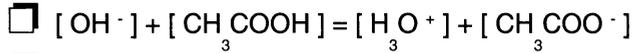
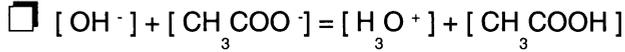
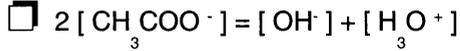
2- L'acide orthophosphorique  $H_3PO_4$  est un triacide de  $pka_1 = 2.1$ ;  $pka_2 = 7.2$  ;  $pka_3 = 12.1$ . La courbe de son dosage pH-métrique par NaOH (0.1 M) doit présenter :

- un point d'équivalence
- deux points d'équivalence
- trois points d'équivalence
- quatre points d'équivalence

3- Dans un titrage pH-métrique d'une solution d'acide faible par une base forte :

- seuls les acides faibles dont le pka est faible sont titrables et ceci quelle que soit leur concentration
- seuls les acides faibles dont la concentration est élevée sont titrables et ceci quel que soit leur pka
- plus l'acide est faible, plus la limite inférieure de la concentration à laquelle il peut être titrable est élevée
- tous les acides faibles sont titrables quels que soient leur pka et leur concentration

4- On mélange à volume égal  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (0.1M) et  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (0.1M), l'équation traduisant l'échange protonique est :



5- Une des définitions suivantes des acides ne dépend pas du solvant, laquelle ?

Arrhénius

Bronsted-Lowry

Franklin

Lux Flood

6- Un réactif B à la concentration 1M est ajouté dans un mélange de 2 composés A' et A'' chacun à la concentration 0.1M et susceptible de réagir selon :



la réaction (1) est prépondérante

la réaction (2) est prépondérante

les deux réactions sont prépondérantes

aucune des réactions n'est prépondérante

7- Une solution aqueuse contient, à la préparation,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (0.1M) ;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (0.1M) et HF (0.1M). 10 ml de cette solution sont dosés par 25 ml de NaOH (0.1M). Quelles sont les espèces neutralisées successivement par la soude ?

HF puis  $\text{NH}_4^+$  puis  $\text{CO}_3^{2-}$

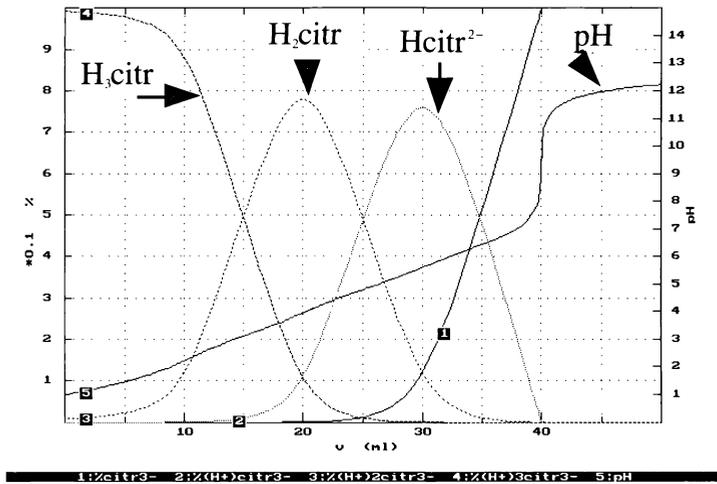
HF puis  $\text{NH}_4^+$  puis  $\text{HCO}_3^-$

$\text{NH}_4^+$  puis  $\text{HCO}_3^-$

HF puis  $\text{NH}_4^+$

8- Étant donnée la courbe de simulation du titrage pH-métrique de l'acide citrique (un triacide  $H_3\text{citr}$ ) par la soude 0.1M, une seule acidité est titrable, laquelle ?

- la première
- la deuxième
- la troisième
- aucune



Cet article a été reçu le 24/10/2000 et accepté le 18/06/2002.