

Conception d'une application de simulation de sources radioactives

Véronique Riffault, Nadine Locoge, Étienne Leblanc et Mathieu Vermeulen

- Résumé** Cet article présente une application de simulation de sources radioactives émettrices de rayonnement gamma développée pour les élèves de première année de l'École des Mines de Douai. Elle permet de générer des résultats bruts de comptage au format XML qui pourront être exploités statistiquement par l'élève en lien avec les concepts fondamentaux de la radioactivité (loi de décroissance, isotropie du rayonnement, atténuation par les matériaux). L'application est distribuée sous licence libre de diffusion, avec une feuille tableur permettant de guider l'analyse des résultats et le fascicule de TP correspondant.
- Mots-clés** **Radioactivité, compteur Geiger-Müller, travaux pratiques, simulateur, JIREC 2010.**
- Abstract** **Development of an application simulating radioactive sources**
This paper presents an application simulating radioactive gamma sources developed in the "École des Mines" of Douai (France). It generates raw counting data as an XML file which can then be statistically exploited to illustrate the various concepts of radioactivity (exponential decay law, isotropy of the radiation, attenuation of radiation in matter). The application, with a spreadsheet for data analysis and lab procedures, has been released under free license.
- Keywords** **Radioactivity, Geiger-Müller counter, lab work, simulator, JIREC 2010.**

Contexte et objectifs du projet

Les travaux pratiques concernant la radioactivité, initialement effectués en présentiel⁽¹⁾, imposent de nombreuses contraintes en termes de sécurité et d'autorisation. Néanmoins, les acquis de ce type de manipulation sont importants car ils permettent d'appréhender des notions théoriques dispensées en cours magistral et en travaux dirigés.

Des logiciels – généralement payants mais abordables – existent déjà dans ce domaine ; ils présentent cependant souvent l'inconvénient de fournir des résultats déjà exploités totalement ou partiellement, dans le but de faciliter le travail d'analyse des données pour les élèves. Cette démarche leur enlève par là même la possibilité de chercher par eux-mêmes et de s'approprier l'exploitation de résultats expérimentaux alors que l'implication de l'étudiant dans son propre apprentissage favorise l'acquisition des savoirs et des savoir-faire [1].

Les élèves de première année de l'École des Mines de Douai suivent actuellement 12 h de cours magistraux et participent à deux séances de 2 h de travaux dirigés sur le thème de la radioactivité, qui visent à leur faire appréhender les principaux concepts et à leur donner des notions en génie atomique et en radioprotection. Ils réalisent six séances de travaux pratiques de 4 h qui cherchent à mobiliser trois types de compétences définies par le référentiel de compétences de l'école : la maîtrise des savoirs fondamentaux ; le développement de capacités de réflexion, d'analyse et de synthèse ; l'analyse et l'interprétation de données expérimentales.

Dans ce contexte, une application permettant de simuler des montages expérimentaux de sources radioactives émettant des rayonnements gamma a été développée : elle permet de mesurer les évolutions temporelle et spatiale de la radioactivité et de déterminer l'influence des caractéristiques de différents matériaux dans l'atténuation du rayonnement, en générant des fichiers de données de comptage de noyaux radioactifs.

Description de l'application

L'application déployée en local utilise le moteur d'exécution Adobe® AIR™. Un accès protégé par mot de passe permet aux enseignants d'ajouter des éléments radioactifs avec leurs caractéristiques – masse atomique, période [2], type(s) et longueur(s) d'onde des radiations émises [3] –, et des matériaux atténuateurs avec leurs caractéristiques [4] – masse volumique et coefficients massiques d'atténuation en fonction de l'énergie du photon gamma.

À l'heure actuelle, la base de données est constituée par cinq éléments dont la période varie de entre 6 h à 53 ans et par quatre matériaux (Cu, Pb, Al et air sec). Elle est facilement configurable par la modification du fichier XML correspondant. Les calculs s'appuient sur les relations fondamentales de la radioactivité rappelées dans l'*encadré* ; ils intègrent également les incertitudes sur les périodes [2], sur le nombre d'Avogadro [5], sur le temps réel de mesure et la distance source-captteur.

L'écran est divisé en plusieurs parties : dans une colonne à droite, deux champs permettent à l'étudiant de choisir la

Concepts fondamentaux de la radioactivité

Loi de décroissance temporelle

Dans le cas d'un élément radioactif, le nombre de noyaux radioactifs au temps t , $N(t)$, suit une loi cinétique du premier ordre et peut s'écrire :

$$N(t) = N(0) \exp(-\lambda t)$$

avec λ , constante radioactive caractéristique de l'élément ; $\lambda = \ln 2 / T$, où T est la période (ou temps de demi-vie) de l'élément.

Isotropie du rayonnement

Pour un grand nombre de radiations émises, on peut considérer que le rayonnement est isotrope (identique dans toutes les directions de l'espace). L'intensité mesurée du rayonnement, proportionnelle au nombre de coups détectés par le capteur, N , varie dans ce cas linéairement en fonction de $1/d^2$, où d est la distance entre la source et le capteur.

Atténuation du rayonnement

Lors de la traversée d'un matériau par des photons (rayonnement gamma), seule une partie d'entre eux traversent sans interagir – les autres sont absorbés ou diffusés –, et on peut estimer le nombre de photons « restants », N_f , par rapport au nombre incident, N_i , par la relation :

$$N_f = N_i \exp(-\mu x)$$

où x est l'épaisseur de matériau traversée et μ le coefficient d'atténuation linéique, caractéristique du matériau pour une énergie de photon donnée ; $\mu = \ln 2 / x_{1/2}$ (avec $x_{1/2}$ la couche de demi-atténuation).

source radioactive (nom de l'élément et masse) et un cadre rappelle la configuration du capteur. Cette colonne reste inchangée tout au long du TP.

La fenêtre principale évolue sous forme d'onglets suite à la validation de chacune des étapes du TP par l'élève, qui peut revenir en arrière sur un onglet déjà traité. Elle permet de visualiser les différents montages expérimentaux, de choisir les paramètres, de lancer l'acquisition des mesures et de créer le fichier XML d'exportation des données pour traitement ultérieur sous Excel®. Les différents onglets portent des titres relativement peu évocateurs de manière à ne pas orienter *a priori* l'exploitation des données par l'étudiant (par exemple « Influence des matériaux » et non « Loi d'atténuation »). L'enseignant peut personnaliser un

cadre de texte (au format HTML) pour chaque onglet (voir figure).

Séquence et objectifs pédagogiques

La séquence pédagogique d'une durée totale de 4 h est structurée en quatre chapitres correspondant à quatre onglets dans l'application. Elle vise pour l'étudiant à (i) optimiser les paramètres de mesure, (ii) traiter statistiquement les données obtenues, (iii) établir les lois de décroissance temporelle et spatiale, et celle de l'atténuation du rayonnement par les matériaux.

Après un premier onglet introductif qui présente le principe de fonctionnement du compteur Geiger-Müller, le deuxième onglet permet à l'élève de simuler une acquisition de données en fixant un certain nombre de paramètres : durée de comptage, distance source-capteur et nombre de mesures. Il peut ainsi vérifier que les paramètres de mesure qu'il a choisis conduisent bien à une distribution gaussienne (*via* le tracé d'un histogramme de fréquence en fonction du nombre de coups par seconde qui lui est suggéré dans la feuille tableur et le fascicule) et apprécier la qualité des données obtenues au travers de l'évolution du coefficient de variation des séries de mesures en fonction de la durée de comptage (ce qui nécessite le calcul des moyennes et écarts-types des différentes séries de mesure).

Dans l'onglet 3 (intitulé « Évolution temporelle »), un calendrier simplifié permet de simuler des comptages réalisés jusqu'à plusieurs années par rapport à un temps initial correspondant à la date du TP ; l'élève peut ainsi tracer la courbe de décroissance d'un échantillon radioactif et en déduire sa période.

L'onglet 4 (« Évolution spatiale ») permet d'une part de mettre en évidence l'isotropie du rayonnement, et d'autre part d'établir la relation entre le nombre de particules émises et la distance source-détecteur, *via* le déplacement du compteur dans l'espace, tout en gardant ou non la distance source-capteur constante.

Enfin, l'interprétation de la courbe d'évolution des mesures en présence d'un matériau atténuateur (onglet 5 : « Influence des matériaux ») permet de déterminer la couche de demi-atténuation du matériau en intercalant entre la source et le détecteur un ou plusieurs matériaux avec sept épaisseurs prédéfinies entre 0,1 et 10 mm.

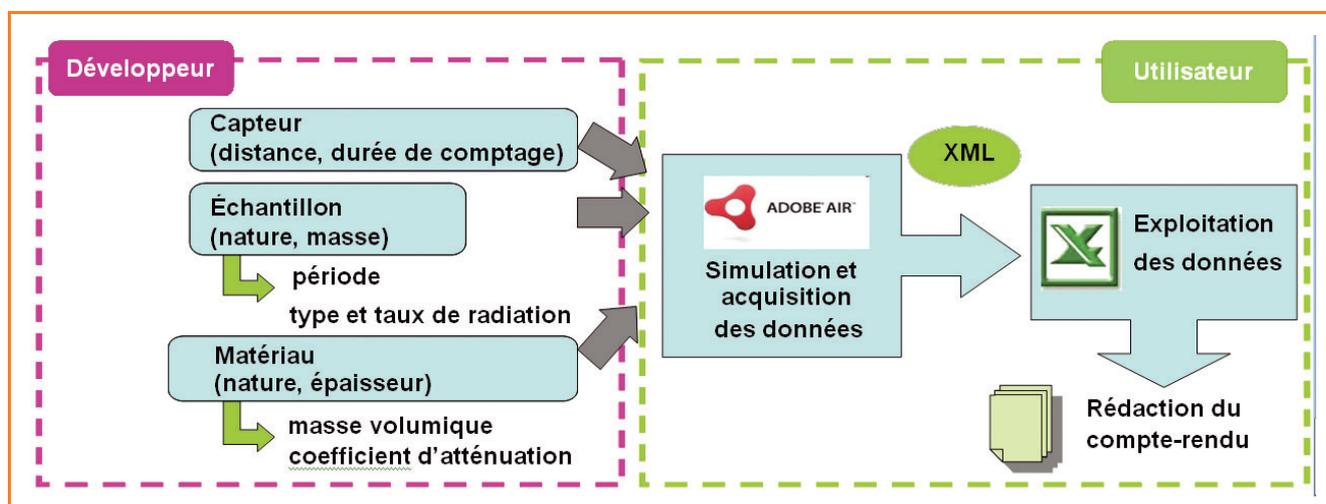


Schéma de principe d'utilisation de l'application.

L'ensemble des données sont exploitées dans un fichier Excel[®] comprenant différentes feuilles associées chacune à un onglet de l'application, ce qui permet d'homogénéiser la présentation des résultats et ainsi de faciliter le travail de correction et d'évaluation des encadrants.

Conclusion et perspectives

Une application de simulation de sources radioactives émettant des rayonnements gamma a été développée et permet d'appréhender les concepts fondamentaux *via* des données de comptage facilement exportables vers un tableur. L'exploitation des données reste donc très libre et ouverte pour l'étudiant.

L'application est distribuée sous licence libre de diffusion (Creative Commons BY-NC-SA) sur l'espace Campus de l'École⁽²⁾. Cet espace propose également le téléchargement du fascicule de TP et de la feuille tableur utilisée pour le traitement des données, ainsi qu'un forum d'échanges pour les utilisateurs.

Cette application est intégrée depuis deux ans à un module de travaux pratiques de chimie sous forme d'une séance monoposte réalisée par binôme. Une évolution envisagée à court terme consistera à proposer ce TP plutôt sous la forme d'un TD applicatif, chaque élève ayant l'application installée sur son ordinateur portable.

Par ailleurs, la simulation permet actuellement de proposer un vaste ensemble de sources radioactives émettrices de rayonnements gamma. Les évolutions de l'application portent notamment sur la prise en compte des particules bêta dans le comptage.

Remerciements

Le développement de l'application a été financé par la GEV (Grande École Virtuelle) du Groupement des Écoles des Mines.

Notes et références

- (1) *Présentiel* : moment où les personnes qui suivent une formation sont réunies dans un même lieu avec un formateur.

- (2) <http://campus-douai.gemtech.fr/course/view.php?id=778>
 [1] Dumon A., Quelle(s) méthode(s) pour l'enseignement expérimental de la chimie ?, *Revue Française de Pédagogie*, **1988**, 84, p. 29.
 [2] Bé M.M., Chisté V., Dulieu C., *Périodes radioactives – Table de valeurs recommandées*, CEA, Note technique DIMRI/LNHB/01-2003, **2003**, www.nucleide.org/DDEP_WG/Periodes_2003.pdf (consulté le 15/02/11).
 [3] Firestone R.B., Ekström L.P., *WWW Table of Radioactive Isotopes* (database), **1999**, <http://ie.lbl.gov/toi/radSearch.asp> (consulté le 15/02/11).
 [4] Hubbell J.H., Seltzer S.M., *Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV for elements Z = 1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest, v1.4*, **2004**, www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm (consulté le 15/02/11).
 [5] Mohr P.J., Taylor B.N., Newell D.B., *The 2006 CODATA internationally recommended values of the fundamental physical constants, v5.2*, NIST Physical Measurement Laboratory, **2007**, <http://physics.nist.gov/constants> (consulté le 15/02/11).



V. Riffault



N. Locoge



E. Leblanc

Véronique Riffault (auteur correspondant) est maître-assistante et **Nadine Locoge** est professeur au Département Chimie & Environnement de l'École des Mines de Douai*.

Étienne Leblanc est technicien informatique et **Mathieu Vermeulen** est ingénieur pédagogue multimédia à la Cellule Im@gine de l'École des Mines de Douai*.



M. Vermeulen

* École des Mines de Douai, 941 rue Charles Bourseul, F-59500 Douai.

Courriels : veronique.riffault@mines-douai.fr,
nadine.locoge@mines-douai.fr,
etienne.leblanc@mines-douai.fr,
mathieu.vermeulen@mines-douai.fr



Ressources nationales de chimie

www.educnet.education.fr/rnchimie

RNChimie (Ressources nationales de chimie) est un site destiné aux enseignants des lycées généraux et technologiques, des BTS et des CPGE. Vous y trouverez plus de 600 protocoles de travaux pratiques, des recommandations pédagogiques, des cours, des exercices, des présentations sous forme de diaporamas télé-chargeables, des fiches techniques de TP, des informations relatives à la sécurité mais aussi de l'histoire des sciences, des informations et des données sur les techniques spectroscopiques et chromatographiques dont des données expérimentales directement utilisables. Vous y trouverez également des cours, TD et applications sur les plans d'expérience (mathématiques), des cours et exercices de génie chimique, des exemples de TP basés sur la démarche d'investigation.

**RNChimie, c'est 600 pages web,
700 fichiers doc/zip, 930 documents pdf
et des dizaines de diaporamas à votre disposition !**

© Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Direction de la technologie - SDTICE