

**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE NORMALE SUPERIEURE
ANTANANARIVO**

DOMAINE : « SCIENCES DE L'EDUCATION »

MENTION : « Formation des Ressources Humaines de l'Education »

SPECIALITE : Physique - Chimie

PARCOURS : Formation de Professeur Spécialisé en Physique Chimie

MEMOIRE de MASTER PROFESSIONNEL

**ILLUSTRATION D'UTILISATION DE LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE
DANS LA VIE COURANTE
À L'AIDE DES ANIMATIONS NUMERIQUES**

Présenté par : RANDRIAMANAMPIHARISON Hoby Nirina

01 octobre 2018 ;



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE NORMALE SUPERIEURE
ANTANANARIVO



DOMAINE : « SCIENCES DE L'EDUCATION »

MENTION : « Formation des Ressources Humaines de l'Education »

SPECIALITE : Physique - Chimie

PARCOURS : Formation de Professeur Spécialisé en Physique Chimie

MEMOIRE de MASTER PROFESSIONNEL

**ILLUSTRATION D'UTILISATION DE LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE
DANS LA VIE COURANTE
À L'AIDE DES ANIMATIONS NUMÉRIQUES**

Présenté par : RANDRIAMANAMPIHARISON Hoby Nirina

Membres de Jury :

- **Président : RASOANAIVO René Yves,**
Titre : Ph. D et Maître de conférences.
- **Juge : RANDRIATEFISON Nirilalaina,**
Titre : Maître de conférences.
- **Encadreur : RANDRIANANDRAINA Faneva,**
Titre : Ph. D et Maître de conférences.

Date de la soutenance : 01 octobre 2018 ;
N° d'ordre : 10/FPSPC/FRHE

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à remercier l'Eternel notre Dieu pour cette grâce d'être en vie, en bonne santé jusqu'à ce jour, et de nous avoir donné la force, l'espoir pour accomplir ce mémoire de fin d'études.

Nous exprimons aussi toute notre profonde reconnaissance à toutes les personnes suivantes :

- *D'abord, à Monsieur RASOANAIVO René Yves, Ph.D et Maître de conférences, qui nous a fait l'honneur de présider la soutenance de ce mémoire.*
- *Ensuite, à Monsieur RANDRIATEFISON Nirilalaina, Maître de conférences, qui, malgré ses multiples occupations, nous accepte avec l'honneur de juger et d'examiner ce travail.*

Nous sommes heureux de pouvoir exprimer notre vif sentiment de gratitude à notre encadreur, Monsieur RANDRIANANDRAINA Faneva, Ph.D et Maître de conférences, pour sa disponibilité, son aide, ses encouragements bienveillants et ses précieux conseils tout au long de notre travail. La réalisation de ce mémoire n'aurait été possible sans votre aimable soutien, Monsieur, ainsi merci infiniment.

Ensuite, nous tenons à remercier :

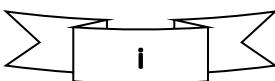
- *Tous les enseignants de l'Ecole Normale Supérieure d'Antananarivo pour leur dévouement d'avoir voulu partager avec nous leurs connaissances.*
- *Tous les enseignants et les élèves du Lycée Mananara Ambatomena qui nous accepte à collaborer avec nous pour la réalisation de ce mémoire.*
- *Nos chers parents, tous les membres de ma famille pour ses aides aussi bien financières que morales.*
- *Tous mes amis de la promotion FANASINA pour les échanges de capacités et de compétences pendant les années passées ensemble.*
- *Tous ceux qui nous ont appuyés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

Merci infiniment à vous tous et que Dieu vous bénisse.

Sommaire

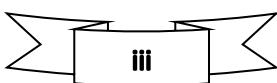
Remerciements

Sommaire	i
Liste des figures	v
Liste des tableaux.....	vi
Liste des sigles et acronymes	vii
Introduction	1
Première partie : Cadrage théorique.....	3
Chapitre 1 : Quelques notions sur la P.N.....	4
I. Le noyau atomique.....	4
I.1. Compositions d'un noyau atomique.....	4
I.2. Quelques définitions.....	5
I.3. Masse et énergie.....	5
I.3.1. Unité de masse atomique : u.m.a. ou u.....	5
I.3.2. Défaut de masse atomique : Δm	6
I.3.3. Principe d'équivalence.....	6
I.4. Stabilité d'un noyau.....	7
I.4.1. Energie de liaison ou énergie de cohésion : $E\ell$	7
I.4.2. Energie de liaison par nucléon : E_N	7
II. Réaction nucléaire spontanée.....	8
II.1. Propriétés d'un noyau radioactif.....	8
II.2. Différents types de radioactivités.....	8
II.2.1. Radioactivité alpha α	9
II.2.2. Radioactivité bêta β	9
II.2.3. Radioactivité gamma γ	10
II.3. Décroissance radioactive.....	10
II.3.1. Description.....	10
II.3.2. Lois de décroissance radioactive.....	11
II.4. Utilisation de la radioactivité.....	15
III. Réaction nucléaire provoquée : Radioactivité artificielle.....	15
III.1. Réaction de fusion nucléaire.....	15
III.1.1. Définition.....	15
III.1.2. Equation bilan de cette réaction.....	16
III.1.3. Conditions nécessaires pour avoir une réaction de fusion nucléaire.....	16
III.1.4. Utilisation de la réaction de fusion nucléaire.....	16



<i>III.1.5. Exemples des réactions de fusion nucléaire.</i>	17
III.2. Réaction de fission nucléaire.	17
<i>III.2.1. Définition.</i>	17
<i>III.2.2. Equation bilan de cette réaction.</i>	17
<i>III.2.3. Exemple : fission de l'uranium 235.</i>	18
<i>III.2.4. Utilisation de la réaction de fission nucléaire.</i>	18
Chapitre 2 : Méthode d'enseignement disponible pour enseigner la P.N..	18
I. Définitions.	18
I.1. Etymologique.	18
I.2. Pratique.....	19
I.3. Représentation et conception.....	19
II. Typologie des méthodes d'enseignement.	19
II.1. Méthode d'enseignement classique.....	20
II.2. Méthode d'enseignement interactive.....	21
II.2.1. <i>Méthode interrogative (ou maïeutique).</i>	21
II.2.2. <i>Méthode active.</i>	22
III. Qualité d'une bonne leçon.	23
Deuxième partie : Cadrage pratique.	25
Chapitre 1 : Etude préliminaire	26
I. Observation de la séance d'E/A de la P.N. au lycée.	26
I.1. Première observation.	26
I.2. Deuxième observation.....	27
II. Elaboration des questionnaires.	28
II.1. Présentation des questionnaires.....	28
II.2. Choix du lycée.....	29
II.3. Résultats des questionnaires avant notre intervention.....	29
II.3.1. <i>Résultats de la première partie.</i>	30
II.3.2. <i>Résultats de la deuxième partie.</i>	30
II.3.3. <i>Résultats de la troisième partie.</i>	30
III. Elaboration des exercices d'illustration d'utilisation de la P.N. dans la vie courante.	31
III.1. Présentation de ces exercices d'illustrations.	31
III.1.1. <i>Premier exercice.</i>	31
III.1.2. <i>Deuxième exercice.</i>	32
III.1.3. <i>Troisième exercice.</i>	32
III.2. Mise en œuvre de ces exercices.....	33

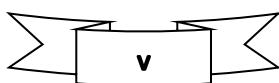
<i>III.2.1.</i>	<i>Création du groupe d'élèves.</i>	33
<i>III.2.2.</i>	<i>Critères à observer lors d'un travail de groupe pour voir la participation des élèves.</i>	33
III.3.	Résultats obtenus et analyse.	34
Chapitre 2 : Enseignement de la P.N. à l'aide des animations numériques.		35
I.	Présentation des animations numériques utilisées.	35
<i>I.1.</i>	<i>Animation 1 : cours concernant le noyau atomique.</i>	35
<i>I.2.</i>	<i>Vidéo et animation 2 : cours du défaut de masse atomique et notion d'énergie de liaison.</i>	37
<i>I.3.</i>	<i>Animation 1 et animation 3 : cours de la réaction nucléaire spontanée.</i>	39
<i>I.3.1.</i>	<i>Different types des radioactivités nucléaires.</i>	39
<i>I.3.2.</i>	<i>Propriétés de rayonnements émis.</i>	40
<i>I.3.3.</i>	<i>Utilisation de la radioactivité dans la vie courante.</i>	41
<i>I.4.</i>	<i>Animations utilisées dans le cours de la réactions nucléaires provoquées.</i>	46
<i>I.4.1.</i>	<i>Fission nucléaire : (Animation 5).</i>	46
<i>I.4.2.</i>	<i>Fusion nucléaire : (Animation 6).</i>	46
<i>I.4.3.</i>	<i>Utilisation de la réaction nucléaire provoquée dans la vie courante : (Animation 7 et animation 8).</i>	48
II.	Mise en œuvre de notre pratique.	51
II.1.	Approches d'enseignements utilisées.	51
<i>II.1.1.</i>	<i>Constructivisme.</i>	51
<i>II.1.2.</i>	<i>Socioconstructivisme.</i>	52
<i>II.2.</i>	<i>Méthodes d'enseignements utilisées.</i>	52
<i>II.3.</i>	<i>Description de notre pratique.</i>	53
<i>II.4.</i>	<i>Résultats obtenus lors de la discussion d'ensemble avec les élèves.</i>	54
<i>II.4.1.</i>	<i>Participation des élèves.</i>	54
<i>II.4.2.</i>	<i>Résultats de chaque partie de la P.N. traitée.</i>	55
III.	Evaluation des acquis et interprétation des résultats obtenus.	57
<i>III.1.</i>	<i>Evolution de la conception des élèves à propos de la P.N.</i>	57
<i>III.2.</i>	<i>Résultats obtenus à partir de la partie A et B de notre questionnaire.</i>	58
<i>III.3.</i>	<i>Résultats obtenus à partir de la partie C de notre questionnaire : Utilisation de la P.N. dans la vie courante.</i>	59
<i>III.4.</i>	<i>Discussions et perspectives.</i>	60
<i>III.4.1.</i>	<i>Avantages.</i>	61
<i>III.4.2.</i>	<i>Inconvénients.</i>	61
<i>III.4.3.</i>	<i>Perspectives.</i>	62
Conclusion		63
Références		64



Annexes	66
Annexe 1 : Questionnaires destiné aux élèves.....	66
Annexe 2 : Exercices d'illustration d'utilisation de la P.N. dans la vie courante.	69
Annexe 3 : Grille d'observation d'une séance d'E/A.	72
Annexe 4 : Série de questions utilisées pour élaborer un cours de P.N..	73
Annexe 5 : Grille de notation pour la partie 2 : Le phénomène de décroissance radioactive.	75
Annexe 6 : Grille de notation pour la partie 3 : Réaction nucléaire provoquée.	77
Annexe 7 : Listes des animations numériques utilisées.....	78

Liste des figures

<i>Figure 1 : Courbe représentative du nombre du noyau N en fonction du temps.....</i>	14
<i>Figure 2 : Participation des élèves.</i>	34
<i>Figure 3 : Constitution d'un atome.....</i>	36
<i>Figure 4 : composition d'un noyau atomique</i>	36
<i>Figure 5 : Représentation d'un noyau stable et d'un noyau instable.</i>	37
<i>Figure 6 : Illustration du défaut de masse.</i>	37
<i>Figure 7 : Balance de mesure d'une masse des noyaux atomiques.</i>	38
<i>Figure 8 : Les différents types des particules émises.....</i>	39
<i>Figure 9 : Différents types de la radioactivité nucléaire.</i>	40
<i>Figure10 : Vitesse de propagation, distance de pénétration dans l'air de chaque rayonnement</i>	40
<i>Figure 11 : Interaction des radiations avec la matière.....</i>	41
<i>Figure 12 : La scintigraphie</i>	42
<i>Figure 13 : Illustration de la scintigraphie à l'aide d'une animation.</i>	43
<i>Figure 14 : Déroulement de la scintigraphie.....</i>	45
<i>Figure 15 : Processus d'une réaction de fission nucléaire.....</i>	46
<i>Figure 16 : Réaction de fusion entre le deutérium et le tritium.</i>	47
<i>Figure 17 : Condition nécessaire pour avoir une réaction de fusion.</i>	47
<i>Figure 18 : Réaction de fusion nucléaire au soleil.</i>	48
<i>Figure 19 : Fonctionnement d'un réacteur nucléaire.....</i>	49
<i>Figure 20 : Production d'énergie nucléaire à partir du noyau d'uranium</i>	49
<i>Figure 21 : Fonctionnement d'une centrale nucléaire.</i>	50
<i>Figure 22 : Participation des élèves pendant le travail de groupe.....</i>	54
<i>Figure 23 : Variation des notes de chaque groupe concernant le noyau atomique</i>	55
<i>Figure 24 : Note obtenue par chaque groupe concernant le phénomène radioactif</i>	56
<i>Figure 25 : Variation des notes de chaque groupe concernant la réaction nucléaire provoquée.</i>	57
<i>Figure 26 : Comparaison de la conception des élèves avant et après notre intervention.</i>	58
<i>Figure 27 : comparaison des résultats obtenus avant et après notre intervention concernant la partie A et B de notre questionnaire.</i>	59
<i>Figure 28 : Comparaison des résultats obtenus avant et après notre intervention concernant l'utilisation de la P.N. dans la vie courante.</i>	60



Liste des tableaux.

<i>Tableau 1 : Choix des élèves.....</i>	33
<i>Tableau 2 : Répartition des notes pour chaque question de la partie 1.</i>	55
<i>Tableau 3 : Répartition des notes obtenues par chaque groupe pour chaque question.</i>	56

Liste des sigles et acronymes

E_ℓ : énergie de liaison.

A : Nombre de nucléons.

A.N. : Animations Numériques.

CD : Cristal Disque

CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives

CISCO : Circonscription Scolaire

DREN : Direction Régional de l'Education Nationale

E/A : Enseignement et apprentissage.

E_N : énergie de liaison par nucléon.

LPC : Laboratoire de Physique Corpusculaire

N : Nombre de neutrons.

N : Nombre du noyau

P.N. : Physique Nucléaire.

u.m.a. : unité de masse atomique.

Z : Nombre de protons.

ZAP : Zone d'Administration Pédagogique

\mathcal{A} : Activité nucléaire

\mathcal{N} : Nombre d'Avogadro

TIC : Technologie d'Information et de Communication.

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

Tep : Tonne équivalente pétrole.

Introduction

La physique chimie est une science expérimentale. La P.N. ou la physique nucléaire fait partie de cette science. Elle consiste à étudier les différents éléments constitutifs d'un noyau atomique. Elle est née à partir des années 1939 quand le physicien Chadwick a découvert le neutron, Dmitri Ivanenko et Werner Heisenberg ont fait une proposition que le noyau atomique est composé de protons et de neutrons. Et à partir de cette année, « le noyau atomique reste l'un des laboratoires privilégiés où sont testées les théories fondamentales de la physique ». (Adam et al. 2004).

Le noyau atomique, les protons et les neutrons sont tous des éléments infiniment petits et invisibles à l'œil nu. Donc, la physique nucléaire, la science qui les étudie, se fait à l'échelle microscopique. Difficile à expérimenter, son enseignement présente souvent une insuffisance au niveau des matériels didactiques. Les enseignants ont alors une tendance à utiliser tout simplement une méthode d'enseignement classique. Leurs cours sont théoriques et magistraux. De plus, le programme scolaire (1996, p.208) encourage les enseignants à se focaliser plus sur les théories que sur les applications. Dans la partie « radioactivité », un chapitre de la physique nucléaire, ce programme affirme que « les applications et les dangers de la radioactivité seront cités sans aucun détail ni technologie ».

Pourtant le cours théorique et magistral ne permet plus d'illustrer le cours de la physique nucléaire. Les élèves y restent passifs (Dermott & Redish, 1999) et les connaissances acquises ne restent pas ancrées dans leur mémoire à long terme. D'un autre côté, à travers ce type de cours, il n'est pas sûr que les élèves aient bien assimilé les connaissances à acquérir. Selon Giordan (1993), « Contrairement à la conception habituelle, ce n'est pas parce que l'enseignant a traité tout son programme et mené son cours avec sérieux qu'il a nécessairement fait passer un savoir... les savoirs fondamentaux ne s'acquièrent jamais par communication directe de l'enseignant à l'élève ». Dans ce cas, les élèves ne font que reciter le contenu du cours pour réussir aux examens sans être sûr de comprendre. On n'arrive pas alors à atteindre l'objectif général de la science physique. Selon Hulin (1991), pour l'enseignement de la science physique, dans ce type de cours « il n'y a pas formation de futur physicien, ni même des ingénieurs », mais il s'agit juste « de transmettre des cultures scientifiques ».

Alors que, selon Bernardin (2002), instituteur et maître formateur en France, pour apprendre, « l'élève doit savoir qu'il apprend, ce qu'il apprend, pourquoi il apprend et comment il apprend ». Pour l'apprentissage d'un phénomène, il doit connaître son utilité dans la vie courante. « Dans tous les phénomènes, on cherche l'utilité tout humaine, non seulement pour l'avantage qu'elle peut procurer, mais comme principe d'explication. Trouver une utilité, c'est trouver une raison » (Bachelard, 2004). Donc, pour enseigner la P.N. et pour augmenter la motivation des élèves à apprendre ce module d'enseignement, les enseignants doivent illustrer son utilisation dans la vie courante. Cela nous amène à poser la question : quel procédé, quel moyen doit-on utiliser pour rendre concret le cours de la P.N. au lycée ?

Notre mémoire de fin d'études qui s'intitule « **Illustration d'utilisation de la physique nucléaire dans la vie courante à l'aide des animations numériques** » se propose d'apporter une réponse à cette question. Nous avons pris comme hypothèse : l'utilisation des animations numériques favorise la compréhension des élèves lors de leurs études en P.N..

Notre travail comporte deux parties :

- La première partie est axée sur l'étude théorique dans laquelle nous avons élaboré un cours de P.N. selon les objectifs spécifiques du programme scolaire. Nous avons apporté quelques notions sur les méthodes d'enseignement ainsi que les caractéristiques d'une bonne leçon.
- La deuxième partie est consacrée à l'étude sur terrain que nous avons effectuée dans laquelle, nous avons fait une enquête préliminaire auprès des élèves à propos de la notion à traiter. Nous avons proposé quelques animations numériques pour enseigner la P.N.. Ces animations permettent d'illustrer l'utilisation de la P.N. dans la vie courante et de rendre concret ce module d'enseignement.

Première partie : Cadrage théorique

Cette première partie illustre les études bibliographiques que nous avons effectuées, contenant les généralités sur les concepts sur lesquels se basera notre travail de recherche. Elle illustre aussi quelques notions à connaître à propos de la P.N..

Chapitre 1 : Quelques notions sur la P.N..

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques notions à savoir à propos de la P.N. inspirer à partir du programme scolaire.

I. Le noyau atomique.

Historique.

A partir des années 1911 où le physicien et chimiste Britannique Rutherford a découvert le noyau atomique, le modèle atomique ne cesse plus d'évoluer. L'étude se focalise surtout sur le noyau atomique. Il est un élément constitutif d'un atome. Il occupe la partie centrale de l'atome. Il a de charges électriques et il est chargé positivement. Il représente la majeure partie de la masse d'un atome.

Aux années 1921, il y a une conférence sur la structure du noyau atomique faite par Rutherford. Il a dit que « le noyau atomique est un assemblage de protons et d'électrons en nombre variable ». Il évoqua aussi la possibilité d'un assemblage particulièrement étroit d'un proton et d'un électron qui forme une particule neutre très pénétrante. A partir de cette année, au laboratoire de Cavendish de Cambridge, Rutherford et ses collaborateurs ont fait des recherches sur la nature et les propriétés de cette particule neutre.

Aux années 1931, le physicien James Chadwick a prouvé l'existence de cette particule neutre. Il a découvert aussi la propriété de cette particule. Il la nomme « neutron ». Il a dit alors que le noyau atomique est constitué des deux particules « protons et neutrons ». L'ensemble de ces deux particules forme « le nucléons ».

Après la découverte du neutron, le modèle du noyau atomique a été développé rapidement par Dimitri Ivanenko et Warner Heisenberg.

Aux années 1970, le physicien Murray Gell-Mann a prouvé l'existence des petites particules autres que le proton et le neutron qui constituent le noyau atomique. Il les appelle « Quarks ». Il a dit alors que le proton et le neutron ne sont pas des particules élémentaires. Le proton et le neutron sont constitués par des Quarks.

Le noyau atomique est donc constitué des nucléons (formés de Z protons et de N neutrons) à l'intérieur desquels, on y trouve de petites particules appelées quarks.

Le nombre de protons définit l'élément chimique. Le nombre de protons et le nombre de neutrons sont voisins pour un élément chimique.

I.1. Compositions d'un noyau atomique.

Un noyau atomique est constitué par des A particules (nucléons) dont on trouve Z protons et $N = A - Z$ neutrons. La nature de l'élément chimique est déterminée par le nombre de protons Z et le nombre des particules A (nombre de masse ou nombre de nucléons du noyau). Les protons et les neutrons sont des nucléons liés par une force nucléaire. (Raoul ,1983).

I.2. Quelques définitions.

➤ Eléments chimiques.

Les éléments chimiques représentent l'ensemble des entités chimiques (atomes ou ions) ayant le même numéro atomique Z. A chaque nombre de protons Z correspond un symbole.

Exemple : Si Z = 8, l'élément en question est l'oxygène O ; si Z = 11, on a le sodium Na.

➤ Nucléides :

C'est l'ensemble des éléments chimiques qui ont les mêmes nombres de masse A. Il est représenté par ${}^A_Z X$ ou ${}^A X$ (Bramand, 1983) avec :

A : Nombre de masse du noyau atomique

Z : Nombre de charge ou nombre de protons du noyau atomique

X : Symbole de l'élément correspondant.

Exemples : ${}^{12}_6 C$; ${}^{14}_7 N$

➤ Isotope :

Des noyaux sont dits « isotopes » quand ils ont même nombre de charge, mais de nombre de masses A différent (Bessis, 1978). Ils diffèrent par leur nombre de neutrons N.

Exemples : ${}^{11}_6 C$; ${}^{12}_6 C$; ${}^{13}_6 C$; ${}^{14}_6 C$.

➤ Isobare :

Des nucléides sont dits isobares lorsqu'ils ont le même nombre de masse A mais de nombre de charges Z différentes (Bessis, 1978).

Exemples : ${}^{14}_6 C$, ${}^{14}_7 N$ et ${}^{14}_8 O$

➤ Isotone :

Ce sont des noyaux qui ont même nombre de neutrons N mais de numéro atomique Z différent (Bessis, 1978).

Exemples : ${}^{14}_6 C$, ${}^{15}_7 N$ et ${}^{16}_8 O$

I.3. Masse et énergie.

I.3.1. Unité de masse atomique : u.m.a. ou u.

La masse d'un atome peut être exprimée en Kilogramme. Mais il faudra manipuler des nombres très petits, car elle est de l'ordre de 10^{-27} Kg. C'est pour cette raison qu'on doit utiliser une autre unité de masse qui est « l'unité de masse atomique ».

On a remarqué que la masse de tous les atomes est un multiple de la masse d'un atome d'Hydrogène. Mais pour avoir la valeur d'une unité de masse atomique, on prend comme référence le « douzième de la masse d'un atome de carbone ${}^{12}C$ ».

« L'unité de masse atomique est égale à un douzième de la masse d'un atome de l'isotope 12 de l'élément carbone » (Coup et al, 2002).

✓ Par définition

$$1\text{u} = \frac{1}{12} \cdot m(^{12}_6C) \text{ Avec } m(^{12}_6C) = \frac{M(^{12}_6C)}{\mathcal{N}} \text{ donc } 1\text{u} = \frac{1}{12} \cdot \frac{M(^{12}_6C)}{\mathcal{N}}$$

✓ Application numérique :

$$M(^{12}_6C) = 12\text{g} = 12 \cdot 10^{-3} \text{Kg.mol}^{-1} \text{ et } \mathcal{N} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}.$$

$$1\text{u} = \frac{1}{12} \cdot \frac{12 \cdot 10^{-3} \text{Kg.mol}^{-1}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}}$$

$$\mathbf{1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{Kg.}}$$

I.3.2. Défaut de masse atomique : Δm .

Dans un noyau atomique, on ne trouve que de protons et de neutrons. Donc la masse d'un noyau atomique devrait être la somme des masses de protons et de neutrons qui le constituent.

L'expérience montre que la masse du noyau au repos d'un nucléide donné est inférieure à la somme de masses des nucléons séparés au repos. C'est-à-dire, lors d'une décomposition d'un noyau ${}^A_Z X$, de masse m_X , en ses constituants, on a remarqué que :



$$m_X < Zm_p + Nm_n$$

La différence entre la somme des masses des nucléons séparés au repos (sans interaction) par la masse du noyau au repos d'un nucléide représente le défaut de masse atomique. Si on veut utiliser un formalisme mathématique, pour un nucléide ${}^A_Z X$ donné, on peut exprimer le défaut de masse atomique, noté Δm , par la relation :

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_X$$

Avec : Z : nombre de protons ;

m_p : masse d'un proton ;

$A - Z = N$: nombre de neutrons ;

m_n : masse d'un neutron et

m_X : masse du noyau au repos.

I.3.3. Principe d'équivalence.

En 1905, Einstein pense que le défaut de masse était dû à l'interaction entre les nucléons dans le noyau. Pour justifier son hypothèse, il a postulé « le principe d'équivalence entre masse et énergie ». D'après lui, « une particule matérielle, **même au repos**, du seul fait de sa masse, possède une énergie nommée : *énergie de masse* ». (Coup et al, 2002).

Soit E l'énergie de masse d'une particule et m sa masse, on a la relation $E = mc^2$ avec c désigne la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 299\ 792\ 458 \text{ m/s}$).

I.4. Stabilité d'un noyau.

I.4.1. Energie de liaison ou énergie de cohésion : E_ℓ .

Les nucléons (protons et neutrons) d'un noyau atomique sont confinés dans un très petit volume. Il existe une répulsion électrostatique intense entre les protons, car ils ont toute la même charge électrique, qui devrait briser le noyau. Mais ce n'est pas le cas. Car les nucléons s'attirent aussi par interaction forte. Cette interaction ne modifie pas la taille du noyau, mais elle assure tout simplement la liaison entre les nucléons qu'ils soient protons soient neutrons. Il est donc difficile de séparer les nucléons d'un noyau, car ils sont très liés grâce à l'existence de cette interaction.

Donc, pour pouvoir séparer les nucléons d'un noyau en ses constituants, il lui faut apporter une certaine énergie. Cette sorte d'énergie est appelée « Energie de liaison ». « L'énergie de liaison du noyau, notée E_ℓ , est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau pris au repos pour le dissocier en ses différents nucléons obtenus isolés, immobiles et sans interaction entre eux. C'est l'énergie qu'il faut pour séparer les nucléons, pour casser la liaison entre les nucléons » (Coup et al, 2002).

A partir d'une réaction de décomposition d'un noyau en ses différents constituants, on peut trouver l'expression de l'énergie de liaison d'un noyau.

En effet soit la réaction de décomposition suivante :



Lors de cette réaction, l'énergie doit être conservée. Le noyau ${}_{Z}^{A}X$ a une énergie de masse $m_X c^2$ et aussi une énergie de liaison E_ℓ . Les Z protons et les N neutrons séparés ont tout simplement une « énergie de masse » respectivement $Z m_p c^2$ et $(A - Z) m_n c^2$. En utilisant le principe de la conservation de l'énergie, on a :

$$m_X c^2 + E_\ell = Z m_p c^2 + (A - Z) m_n c^2$$

$$\text{Alors } E_\ell = Z m_p c^2 + (A - Z) m_n c^2 - m_X c^2$$

$$\text{D'où } E_\ell = [Z m_p + (A - Z) m_n - m_X] \cdot c^2$$

$$E_\ell = \Delta m c^2$$

Cette expression signifie que l'énergie de liaison, d'un noyau, est une énergie de masse qui correspond au défaut de masse de ce noyau.

I.4.2. Energie de liaison par nucléon : E_N .

Chaque noyau a sa propre énergie de liaison. Plus l'énergie de liaison est élevée, plus le noyau est stable. Plus le noyau est lourd, plus l'énergie de liaison est élevée. Mais pour bien caractériser la stabilité d'un noyau, les physiciens ont introduit ce qu'on appelle « Energie de liaison par nucléon ». Comme son nom l'indique, l'énergie de liaison par nucléon, notée par E_N est donnée par la relation : $E_N = \frac{E_\ell}{A}$. Elle est exprimée en MeV/ nucléon. On a remarqué que, pour chaque élément chimique, sa valeur est presque sensiblement égale à 8 MeV/ nucléon. On prend alors 8 MeV/ nucléon comme référentiel.

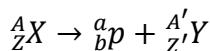
Quand l' E_N est strictement supérieur à 8 MeV/ nucléon, alors le noyau est stable. Dans le cas contraire, on dit qu'il est instable. Quand un noyau est instable, on dit qu'il est radioactif.

II. Réaction nucléaire spontanée.

II.1. Propriétés d'un noyau radioactif.

Un noyau radioactif est un noyau instable qui se transforme spontanément de façon aléatoire et imprévisible en un autre noyau en émettant des radiations. En d'autres termes, on peut dire qu'il se désintègre pour donner naissance à un autre noyau en expulsant d'autres particules. Dans ce cas, il y a apparition d'un phénomène de décroissance radioactive.

Ce phénomène peut se présenter par l'équation de désintégration suivante :



Avec :

- ${}_Z^AX$: Noyau instable, noyau radioactif ou noyau père.
- ${}_b^ap$: Particule expulsée lors de cette réaction de désintégration.
- ${}_{Z'}^{A'}Y$: Noyau stable que le précédent ou noyau fils.

La radioactivité est donc la désintégration (ou décomposition) spontanée (ou naturelle) d'un noyau ${}_Z^AX$ instable, accompagnée d'émission de particule ${}_b^ap$, des radiations et d'un noyau fils ${}_{Z'}^{A'}Y$ plus stable que le noyau père auparavant. Elle est aussi une propriété d'un noyau radioactif.

Quelques particules élémentaires rencontrées en P.N. :

- ✚ Proton ${}_1^1p$ ou ${}_1^1H$
- ✚ Neutron ${}_0^1n$
- ✚ Electron ${}_{-1}^0e$ ou particule β^-
- ✚ Positron ${}_1^0e$ ou particule β^+
- ✚ Noyau d'hélium ${}_2^4He$ ou particule α
- ✚ Neutrino ν (particule de masse nulle)
- ✚ Antineutrino $\bar{\nu}$ (particule de masse nulle)
- ✚ Gamma γ .

Lois d'une réaction nucléaire :

Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation du :

- Nombre de masse
- Nombre de charge

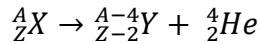
II.2. Différents types de radioactivités.

Il existe trois types de radioactivité nucléaire étudiée en classe de terminal S. La radioactivité alpha (α), la radioactivité bêta (β) (radioactivité bêta moins (β^-) et la radioactivité bêta plus (β^+)) et la radioactivité gamma γ .

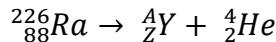
II.2.1. Radioactivité alpha.

a) Définition.

C'est la transformation au cours de laquelle le noyau père donne un noyau fils en émettant un noyau d'Hélium ${}_2^4He$ ou une particule α . La réaction de désintégration s'écrit :



Exemple :



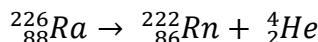
- ✓ D'après la conservation du nombre de masse :

$$226 = A + 4 \text{ donc } A = 226 - 4 = 222$$

- ✓ D'après la conservation du nombre de charge :

$$88 = Z + 2 \text{ donc } Z = 88 - 2 = 86.$$

- ✓ Alors, d'après le tableau de classification périodique des éléments chimiques, on trouve que le noyau fils ${}_Z^AY$ est le noyau ${}_{86}^{222}Rn$.
- ✓ D'où, l'équation de désintégration du radium est :



b) Propriétés du rayonnement alpha.

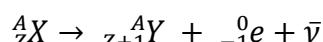
Le rayonnement alpha est composé par des particules alpha. Ces particules sont fortement ionisantes, mais peu pénétrantes. Elles sont arrêtées par une feuille de papier et par une épaisseur de quelques centimètres d'air (environ 4cm). Elles sont éjectées à grande vitesse de l'ordre de $2,0 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ et peuvent parcourir $50 \mu\text{m}$ dans le tissu humain, mais elles ne sont pas dangereuses pour la peau. Par contre, elles sont dangereuses par absorption interne (inhalation ou ingestion...).

II.2.2. Radioactivité bêta.

a) Radioactivité bêta moins β^- .

C'est la transformation au cours de laquelle le noyau père expulse un électron, c'est-à-dire, il y a une transformation d'un neutron en proton donc il y a une augmentation de nombre de charge. L'émission d'électron s'accompagne toujours d'émission d'antineutrino.

Cette réaction de désintégration s'écrit :

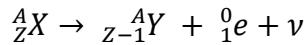


Exemple : ${}_{11}^{23}Na \rightarrow {}_{12}^{23}Mg + {}_-^0e + \bar{\nu}$

b) Radioactivité bêta plus β^+ .

C'est la transformation au cours de laquelle le noyau père expulse un positron, c'est-à-dire, il y a une transformation d'un proton en neutron donc il y a une diminution de nombre de charges. L'émission de positron s'accompagne toujours d'émission de neutrino.

La réaction de désintégration s'écrit :



Exemple : ${}_{16}^{22}S \rightarrow {}_{15}^{32}P + {}_{1}^{0}e + \nu$

c) *Propriétés du rayonnement bêta.*

Le rayonnement bêta est constitué par des particules β^- ou par des particules β^+ . Ces particules sont plus pénétrantes, mais moins ionisantes que les particules alpha. Elles sont arrêtées par un écran de plexiglas ou par une plaque d'aluminium de quelques centimètres (environ 3 mm). Elles sont émises à grande vitesse de l'ordre de $2,8 \cdot 10^8$ m/s. Elles sont dangereuses pour la peau.

II.2.3. *Radioactivité gamma γ .*

a) *Définition.*

Au même titre que les atomes, les noyaux peuvent se trouver dans un état excité ${}_{Z}^{A}X^*$. La désexcitation d'un noyau ${}_{Z}^{A}X^*$ vers son état fondamental s'accompagne d'une émission des rayonnements gamma de charge et de masse nulle.

✓ L'équation de cette désintégration est



b) *Propriétés du rayonnement gamma.*

Il est constitué d'une onde électromagnétique de très courte longueur d'onde, de l'ordre de picomètre, et de photons qui se déplacent à la vitesse de la lumière et dont la masse est nulle. Ils ne sont pas directement ionisants, mais ils sont très pénétrants et peuvent traverser jusqu'à 20 cm de plomb.

II.3. *Décroissance radioactive.*

II.3.1. *Description.*

Un noyau ${}_{Z}^{A}X$ se désintègre en un noyau ${}_{Z'}^{A'}Y$, son nombre de noyaux N diminue au cours du temps. Soient :

- N_0 : nombre de noyau initiale à l'instant $t = 0$ s de ${}_{Z}^{A}X$.
- $N = N(t)$: le nombre de noyaux de ${}_{Z}^{A}X$ restant (non désintégré) pendant l'instant t .

L'expérience montre que la variation dN du nombre de noyaux ${}_{Z}^{A}X$ est inversement proportionnelle au nombre de noyaux N et à la variation du temps dt . La constante de proportionnalité, notée par λ , est appelé constante radioactive. Celle-ci représente aussi la probabilité que présente un noyau radioactif de se désintégrer pendant une unité de temps. Elle s'exprime donc comme l'inverse du temps. C'est-à-dire, pendant l'intervalle de temps de 0 à Δt , le nombre du noyau désintégré est $\lambda \Delta t$.

Remarquons que la présence du terme « probabilité » nous amène à dire que *la désintégration nucléaire se fait de façon aléatoire*. Mais on peut faire des études statistiques pour grand nombre de noyaux.

Mathématiquement, on peut écrire :

Pour un noyau, le nombre du noyau désintégré pendant l'intervalle de temps de 0 à Δt est $\lambda \Delta t$. En d'autres termes, le nombre du noyau formé à partir du noyau initial est $\lambda \Delta t$ ainsi que le nombre du noyau restant est $1 - \lambda \Delta t$.

Alors pour N noyaux, le nombre du noyau désintégré est $\lambda N \Delta t$. Donc, il y a $\lambda N \Delta t$ noyau formé à partir de N_0 noyaux initiaux. Alors la variation du noyau ΔN , nombre du noyau restant diminué du nombre du noyau initial, est $\Delta N = N - N_0 = -\lambda N \Delta t$.

Et quand, Δt tend vers 0, on peut écrire :

$$dN = -\lambda N dt$$

Le signe moins indique qu'il y a une diminution du noyau pendant la désintégration nucléaire.

II.3.2. Lois de décroissance radioactive.

Pour avoir le nombre de noyaux restant N au bout d'un instant t quelconque, on doit intégrer la relation $dN = -\lambda N dt$ en faisant varier le nombre de noyaux N de N_0 à N . On doit faire ce calcul, car quand le temps varie de 0 à l'instant t quelconque, le nombre de noyaux varie de N_0 à N . C'est-à-dire : $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt$$

$$[\ln(N)]_{N_0}^N = -\lambda[t]_0^t$$

$$\ln N - \ln(N_0) = -\lambda(t - 0)$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$e^{\ln(\frac{N}{N_0})} = e^{-\lambda t}$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Cette relation traduit la loi de décroissance radioactive.

On peut aussi exprimer la loi de décroissance radioactive en fonction de la masse du noyau, car on peut exprimer le nombre du noyau en fonction de la masse de l'élément chimique à étudier. Soit M sa masse molaire, on y trouve N noyaux, N représente le nombre d'Avogadro Ampère. Si on prélève une masse m de cet élément, on doit y avoir N noyaux. Mathématiquement, on peut avoir la relation de proportionnalité suivante :

Masses de l'élément chimique à étudier (g)	M (masse molaire de cet élément)	m (masse de cet élément)
Nombre du noyau de l'élément chimique à étudier	N (Nombre d'Avogadro)	$N = ?$

On obtient alors : $N = m \times \frac{N}{M}$.

A $t = 0$ s, le nombre du noyau initial est N_0 . Alors N_0 a pour expression $N_0 = m_0 \times \frac{N}{M}$.

En remplaçant N_0 et N par leurs expressions dans la loi de décroissance radioactive, on obtient la nouvelle loi de décroissance radioactive ayant la dimension d'une masse. Cette loi peut s'écrire :

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$m \times \frac{N}{M} = m_0 \times \frac{N}{M} e^{-\lambda t}$$

Après simplification par $\frac{N}{M}$, on a $m = m_0 e^{-\lambda t}$.

On a donc deux expressions de la loi de décroissance radioactive : loi en fonction du nombre du noyau et loi en fonction de la masse du noyau. Ces deux expressions nous montrent que le nombre du noyau ou la masse du noyau décroît exponentiellement avec le temps. En d'autres termes, quand le temps augmente, le nombre du noyau restant diminue. Par conséquent, sa masse diminue aussi.

a) Période radioactive ou demi-vie : T.

On appelle période ou demi-vie, notée par T , d'un élément ${}^A_Z X$ le temps au bout duquel la moitié du noyau initialement présent se désintègre. C'est-à-dire, à l'instant t est égal à T , le nombre du noyau désintégré est $\frac{N_0}{2}$. Donc le nombre du noyau restant est $N = N_0 - \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{2}$. Chaque élément chimique est caractérisé par sa période T .

En utilisant la loi de décroissance radioactive, on peut obtenir l'expression de la période T . Maintenant, nous allons déterminer cette expression.

À un instant t quelconque, d'après la loi de décroissance radioactive, on a

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

À $t = T$, le nombre du noyau restant est $N = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$

Après simplification par N_0 , on a $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$.

En utilisant la propriété de la fonction logarithme Népérienne et de la fonction exponentielle Népérienne, on obtient :

$$\ln \frac{1}{2} = \ln e^{-\lambda T}, \text{ avec } \ln \frac{1}{2} = \ln 1 - \ln 2 \text{ et } \ln e^{-\lambda T} = -\lambda T$$

Donc $\ln 1 - \ln 2 = -\lambda T$. Or $\ln 1 = 0$, alors, on a $\ln 2 = \lambda T$ D'où $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

La période T est en unité de temps : en seconde, en minutes, en heures, en jours ou en ans. Et quand la période T est exprimée en seconde (s), la constante radioactive λ est exprimée en s^{-1} .

➤ **Conséquence :**

On peut exprimer la loi de décroissance radioactive en fonction de la période T en remplaçant la constante radioactive λ par $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$.

En effet, partant de la relation $N = N_0 e^{-\lambda t}$ avec $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$

$$\text{On a : } N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{T} \ln 2}$$

$N = N_0 e^{\ln 2 - \frac{t}{T}}$, car d'après la propriété d'une fonction logarithme Népérienne et de la fonction exponentielle Népérienne, $-\frac{t}{T} \ln 2 = \ln 2 - \frac{t}{T}$ et $e^{\ln 2 - \frac{t}{T}} = 2^{-\frac{t}{T}}$

$$\text{Alors, } N = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$\text{Donc } N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} \quad \text{d'où} \quad N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$$

Cette relation nous montre qu'aux instants :

- $t = 0$ s, le nombre du noyau restant est égale au nombre du noyau initial ($N = N_0$).
- $t = T$, le nombre du noyau restant est la moitié du noyau initialement présent ($N = \frac{N_0}{2}$).
- $t = kT$ le nombre du noyau restant est $N = \frac{N_0}{2^k}$ car $\frac{t}{T} = k$. Nous avons la même forme d'équation si on remplace le nombre du noyau N par sa masse m.

Courbe représentative de la loi de décroissance radioactive en fonction du temps t.

Pour tracer la courbe représentative de la loi de décroissance radioactive, on doit chercher quelques valeurs de N pour quelques valeurs de t donné. On doit dresser un tableau de valeur. Pour simplifier le calcul, on prend $t = kT$ avec $k \in \mathbb{N}$. On obtient alors le tableau suivant :

Instant t	0	T	2T	3T	4T	5T
Nombre du noyau restant	N_0	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{2^2}$	$\frac{N_0}{2^3}$	$\frac{N_0}{2^4}$	$\frac{N_0}{2^5}$

D'après ce tableau de valeur, on obtient la courbe suivante :

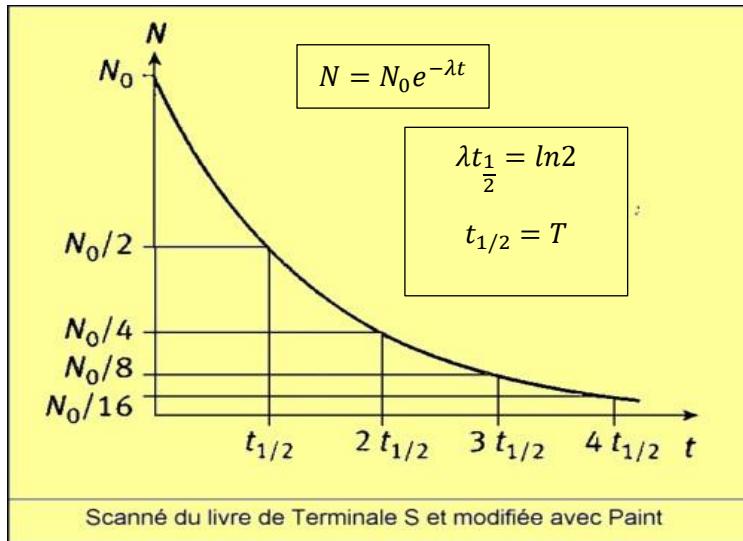


Figure 1 : Courbe représentative du nombre du noyau N en fonction du temps

Source : <http://pipouz.free.fr/Images/courbe.jpg>

b) Activité nucléaire d'un élément radioactif : \mathcal{A} .

Définition :

« L'activité nucléaire d'un élément radioactif \mathcal{A} à une date t d'un échantillon contenant N noyaux radioactifs est définie comme le nombre de noyaux qui se désintègrent par seconde ». Dans ce cas, l'activité nucléaire est exprimée en Becquerel (Bq). Mais de manière générale, on définit l'activité nucléaire comme le nombre de désintégrations par unité du temps, ou la vitesse de désintégration.

Pendant une durée élémentaire dt , il y a dN noyaux qui se désintègrent. C'est-à-dire, le nombre du noyau initial a diminué de dN noyaux. Mathématiquement, cette diminution est précédée par un signe moins. Alors, on peut exprimer l'activité nucléaire \mathcal{A} par $\mathcal{A} = -\frac{dN}{dt}$. Avec dt représente un intervalle de temps et dN le nombre du noyau qui se désintègrent.

Remarque :

Quand l'intervalle du temps dt est exprimé en seconde, l'activité nucléaire est exprimée en Becquerel (Bq). Mais on peut aussi exprimer l'activité nucléaire en Curie (Ci) telle que

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Bq} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ désintégration/seconde}$$

Il ne faut pas confondre l'activité nucléaire radioactive \mathcal{A} avec le nombre de masses A qui est une caractéristique du nombre de masse.

Expression mathématique :

D'après la loi de décroissance radioactive, on a : $dN = -\lambda N dt$

Alors $\mathcal{A} = -\frac{dN}{dt} = -(-\lambda N) = \lambda N$ donc $\mathcal{A} = \lambda N$ où \mathcal{A} est l'activité nucléaire d'un élément à l'instant t quelconque et N indique le nombre du noyau restant pendant cet instant. Or on a eu la relation $N = N_0 e^{-\lambda t}$. Quand on multiplie par la constante radioactive λ à gauche et à droite de cette égalité, on obtient : $\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$. Or $\mathcal{A} = \lambda N$ alors, on peut écrire

$\mathcal{A} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$. Posons \mathcal{A}_0 , l'activité initiale du noyau, à l'instant t est égale à zéro tel que $\mathcal{A}_0 = \lambda N_0$. D'où, on a $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 e^{-\lambda t}$. D'après cette relation, on peut exprimer aussi l'activité \mathcal{A} en fonction de la période radioactive d'un élément chimique.

► Expression de l'activité nucléaire \mathcal{A} en fonction de la période T.

On sait que $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$ donc $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$. En remplaçant λ par cette expression dans $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 e^{-\lambda t}$, on a : $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t} = \mathcal{A}_0 (e^{-\ln 2})^{\frac{t}{T}} = \mathcal{A}_0 (e^{\ln \frac{1}{2}})^{\frac{t}{T}} = \mathcal{A}_0 (\frac{1}{2})^{\frac{t}{T}} = \frac{\mathcal{A}_0}{2^{\frac{t}{T}}}$.

Finalement, on obtient $\mathcal{A} = \frac{\mathcal{A}_0}{2^{\frac{t}{T}}}$.

Dans le cas où l'instant t est égal à kT où k est un entier naturel, on a $\mathcal{A} = \frac{\mathcal{A}_0}{2^k}$.

On peut aussi exprimer l'activité nucléaire \mathcal{A} en fonction de la masse m de l'échantillon et la période radioactive T . En partant de la relation $A = \lambda N$ avec $N = m \times \frac{\mathcal{N}}{M}$ et $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$, on a :

$$\mathcal{A} = \frac{m \mathcal{N} \ln 2}{T M}$$

Cette relation nous montre que T et \mathcal{A} sont inversement proportionnels pour une masse donnée d'élément radioactif, l'activité est d'autant plus grande que la période est plus petite. La décroissance ou l'élimination du radioélément est alors plus rapide dans ce cas.

II.4. Utilisation de la radioactivité.

La radioactivité est utilisée dans plusieurs domaines :

- Domaine de médecine « médecine nucléaire » : imagerie médicale ;
- Technique de datation : datations des roches, des objets et des êtres vivants ;
- Armement : bombe atomique ;
- Production d'énergie : production d'électricité dans un réacteur nucléaire ;
- Alimentation : Stérilisation et conservation.

III. Réaction nucléaire provoquée : Radioactivité artificielle.

➤ Définition.

On appelle réaction nucléaire provoquée une réaction artificielle au cours de laquelle plusieurs noyaux réagissent par suite de choc ou bombardement. On distingue deux types de réaction nucléaire provoquée : *réaction de fission nucléaire* et *réaction de fusion nucléaire*. Pour bien comprendre ces deux types de réactions, nous allons étudier une à une ces deux réactions.

III.1. Réaction de fusion nucléaire.

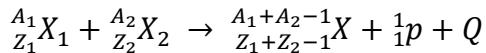
III.1.1. Définition.

La réaction de fusion est une réaction nucléaire qui permet de combiner deux noyaux légers ($Z < 30$) pour former un noyau plus lourd. Elle libère une très grande quantité d'énergie.

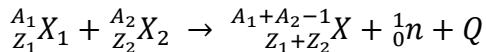
C'est-à-dire la réaction de fusion nucléaire est la condensation de deux noyaux légers en donnant un noyau plus lourd et un dégagement d'énergie Q.

III.1.2. Equation bilan de cette réaction.

De façon générale, en utilisant les lois de conservations en nombre de masse et en nombre de charges, cette réaction peut s'écrire des deux manières différentes. Car une réaction de fusion nucléaire est accompagnée soit d'une émission d'un proton soit d'une émission d'un neutron selon les équations bilans suivantes :



Ou



III.1.3. Conditions nécessaires pour avoir une réaction de fusion nucléaire.

Cette sorte de réaction nécessite une certaine condition. Premièrement, les deux noyaux à condenser sont tous chargés positivement. Alors, lorsque ces deux noyaux se rapprochent l'une de l'autre, une force électrostatique répulsive se produit et les deux noyaux se repoussent. Donc, pour qu'une telle réaction ait lieu, il faut fournir une certaine quantité d'énergie (énergie thermique ou une énergie cinétique) pour vaincre cette répulsion électrostatique. Deuxièmement, ces deux noyaux doivent être situés dans un état condensé. C'est-à-dire, la température et la pression du milieu où se produit une réaction de fusion nucléaire doivent être très élevées.

D'une manière générale, les noyaux légers doivent avoir une très grande quantité d'énergie cinétique, supérieure à 0,1 MeV, pour vaincre la répulsion électrostatique. Et cela ne peut être atteint qu'à une température extrêmement élevée, de l'ordre de 10^6 degrés Celsius (Coup et al, 2002). Pour avoir une telle température et aussi pour augmenter la probabilité de rencontre entre les deux noyaux, il faut réaliser la réaction de fusion nucléaire dans un lieu à haute pression.

Par conséquent, la réaction de fusion nucléaire ne se produit pas dans les conditions standards sur Terre. « Sur Terre, cette réaction n'a pu être réalisée par des physiciens que depuis une soixantaine d'années » (Coup et al, 2002). Mais, elle a déjà existé depuis des millénaires dans l'univers. Car, elle se produit au centre des étoiles comme notre soleil.

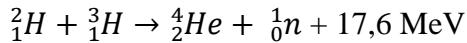
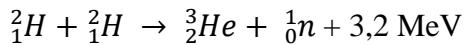
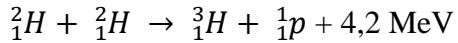
III.1.4. Utilisation de la réaction de fusion nucléaire.

L'analyse montre que la somme des masses de produits de la fusion est plus petite que celle des deux noyaux légers initiaux. Cela nous amène à penser qu'une certaine quantité « d'énergie de masse » est libérée lors de cette réaction. Elle libère plus d'un million de fois d'énergie qu'une réaction chimique. Donc, cette réaction est utilisée par les physiciens pour produire des énergies (Tokamak, Laser Mégajoule) (Coup et al, 2002).

Cette réaction est aussi utilisée dans les armes thermonucléaires (bombe à hydrogène) dont le principe est de combiner deux isotopes de l'hydrogène, le tritium 3H et le deutérium 2H pour former un isotope d'hélium.

III.1.5. Exemples des réactions de fusion nucléaire.

Au centre d'une étoile, la seule réaction qui se produit naturellement est la réaction de fusion entre deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium selon les équations suivantes :



III.2. Réaction de fission nucléaire.

III.2.1. Définition.

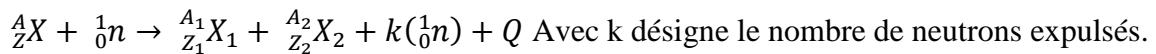
Dans la nature, il existe deux isotopes de l'uranium. L'uranium 238 ($^{238}_{92}U$ 99,3%) et l'uranium 235 ($^{235}_{92}U$ 0,7%) (Coup et al, 2002). Ce dernier a une propriété particulière. Frederic Joliot-Curie et ses collaborateurs ont remarqué que sous l'impact d'un neutron sur le noyau d'uranium 235, ce noyau se brise en deux noyaux légers et deux ou trois neutrons tout en libérant une quantité importante d'énergie Q. Telle réaction s'appelle réaction de fission nucléaire.

Elle a été découverte accidentellement par O. Hahn et F. Strassman aux années 1939. Ils ont voulu de produire des éléments « transuraniens » en bombardant de l'uranium naturel avec des neutrons. Ils ont montré qu'on obtenait des éléments plus légers de masse moyenne. En cette même année, L. Meitner et H. Frisch ont expliqué ce phénomène grâce au modèle de goutte liquide.

De façon générale, on peut définir la réaction de fission nucléaire comme suit : « La fission nucléaire est l'éclatement d'un noyau lourd ($Z > 82$) par un neutron en donnant deux noyaux légers, en libérant d'autres neutrons et de l'énergie ».

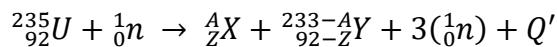
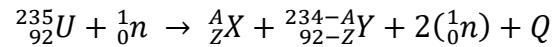
III.2.2. Equation bilan de cette réaction.

La réaction de fission est une réaction nucléaire. Donc, elle obéit aux lois des conservations en nombre de masse, en nombre de charges et en énergie. Alors, l'équation bilan de la fission d'un noyau lourd A_ZX par un neutron en donnant deux noyaux légers $^{A_1}_{Z_1}X_1$ et $^{A_2}_{Z_2}X_2$ et d'autres neutrons s'écrit :

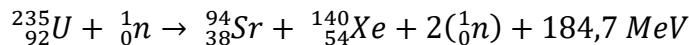


Remarques :

- Les noyaux $^{A_1}_{Z_1}X_1$ et $^{A_2}_{Z_2}X_2$ ainsi formés sont souvent des noyaux radioactifs β^- et émettent des rayonnements γ .
- Les autres neutrons émis peuvent produire d'autres réactions de fission. Dans ce cas, on a une réaction en chaîne.
- L'équation bilan de la fission d'un noyau d'uranium 235 peut s'écrire de deux manières différentes car cette réaction libère deux ou trois neutrons.



III.2.3. Exemple : fission de l'uranium 235.



III.2.4. Utilisation de la réaction de fission nucléaire.

On considère la réaction de fission nucléaire suivante : $^{235}_{92}U + {}_0^1n \rightarrow {}_{38}^{94}Sr + {}_{54}^{140}Xe + 2({}_0^1n)$. Cette réaction libère une énergie sous forme d'énergie cinétique (mouvement des noyaux fils et des deux neutrons) et d'énergie électromagnétique (émission du rayonnement γ). Cette réaction est donc utilisée par les physiciens, dans un réacteur nucléaire, pour produire des énergies thermiques et des énergies électriques. Cette réaction libère une grande quantité d'énergie. Car, l'énergie libérée pour la réaction précédente est donnée par la relation :

$$E = E_{\text{réactifs}} - E_{\text{produits}}$$

$$E = [m({}^{235}_{92}U) + m({}_0^1n)]c^2 - [m({}_{38}^{94}Sr) + m({}_{54}^{140}Xe) + 2m({}_0^1n)]c^2$$

Le calcul montre que E a une valeur très grande. Elle est exprimée en tonne équivalente pétrole (tep) sachant que 1 tep représente l'énergie libérée sur la combustion d'une tonne de pétrole vaut 42 GJ. D'après Coup et al (2002), la valeur de E est égale à 1,8 tep. On en déduit qu'un gramme d'uranium produit la même énergie que la combustion de 1,8 tonne de pétrole. Cette réaction apporte un grand avantage pour les hommes. Mais elle est en même temps dangereuse si on n'arrive pas à bien contrôler, car les deux noyaux légers ainsi obtenus sont tous des noyaux radioactifs.

Pour conclure, le chapitre nous avons montré que la P.N. présente de nombreux avantages. Mais selon la méthode d'enseignement adoptée par l'enseignant, les élèves peuvent être capables de connaître leurs avantages. Quelles sont les différentes méthodes d'enseignement disponibles pour enseigner la P.N. au lycée ? Quelles sont les caractéristiques de chaque méthode ? Ce sera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 2 : Méthode d'enseignement disponible pour enseigner la P.N..

Afin de choisir une méthode pour enseigner la P.N., il est important de définir ce qu'est la « méthode d'enseignement ». Mais, il est difficile de la définir théoriquement et de manière concrète, car plusieurs auteurs ont leur propre définition sur ce sujet. Essayons plutôt d'en dégager les caractéristiques générales à partir des définitions suivantes.

I. Définitions.

I.1. Etymologique.

Etymologiquement, la méthode est un chemin, une route, un cheminement à suivre pour atteindre un but, un objectif. Selon Larousse (2010), « une méthode est l'ensemble des procédés raisonnés pour faire une chose ; ordre qu'on suit pour étudier, enseigner ; manière d'agir et d'usage particuliers ». Donc, la méthode d'enseignement est l'ensemble des manières, des façons de procéder pour enseigner les élèves. Selon Leif, elle est « l'ensemble des principes,

des moyens, des démarches, des règles de l'action éducative ou pédagogique, en vue d'atteindre les buts, les objectifs, les fins qu'elle se fixe » (cité par Compaoré, 2008).

I.2. Pratique.

Pratiquement, la méthode d'enseignement est l'ensemble des procédés, des styles et des démarches pour instruire les élèves. Elle aide les élèves à acquérir facilement des connaissances. Pour Rousselot, la méthode d'enseignement « C'est le chemin le plus droit et le plus sûr pour arriver à découvrir la vérité ou à la communiquer lorsqu'elle est découverte » (cité par Compaoré, 2008).

La réussite d'un enseignement se base sur l'évolution des représentations des élèves. La méthode d'enseignement choisi garantira le changement vers des représentations plus juste ou encore plus erronées.

I.3. Représentation et conception.

En didactique, la représentation et la conception représentent le même concept. Selon De Vecchi et Giordan (2002), cité dans (Cina, 2011) d'une part, une conception « ce n'est pas ce qui émerge : c'est un modèle explicatif sous-jacent ». Elle aide l'apprenant à expliquer un phénomène. D'autre part, « elle est une structure organisée simple et cohérente parfois erronée, mais elle est en rapport direct avec le niveau de connaissance de l'apprenant ». Elle représente ce que l'élève connaît déjà de sa propre réalité.

La représentation de l'apprenant représente aussi leur « déjà-là » conceptuel. Elle désigne la conception que l'apprenant a, à un moment donné, d'un objet ou d'un phénomène et lui permet de comprendre le monde qui l'entoure. Selon Novak (1984), cité dans Tinas (2013), la représentation est un écart entre la pensée de l'apprenant et la pensée scientifique.

En effet, de nombreux chercheurs en didactique des sciences comme Anderson (1986) ; Driver (1985) ; Giordan et Tiberghien, (1987), affirment que les apprenants possèdent, avant d'aborder tout enseignement, des idées sur les questions étudiées que nous appelons représentations initiales. Ces représentations ont une certaine stabilité et l'apprentissage d'une connaissance dépend essentiellement de ces représentations initiales des apprenants.

Pour Astolfi (1989), cité dans Roux (2013) « Tout apprentissage vient en effet interférer avec un « déjà-là » conceptuel, qui, même s'il est faux sur le plan scientifique, sert de système d'explication efficace et fonctionnel pour l'apprenant ».

La prise en compte des représentations initiales des apprenants est alors très importante dans un enseignement. Astolfi (1998), cité dans Tinas (2013), considère qu'à tous les niveaux, les apprentissages ne viennent pas remplir un espace vide dû à l'ignorance, mais que ceux-ci sont en concurrence avec ce que les élèves savent ou croient déjà savoir.

II. **Typologie des méthodes d'enseignement.**

Quand on privilégie le mode de raisonnement, on peut distinguer deux types des méthodes : méthode inductive et méthode déductive. Mais notre travail ici se focalise surtout sur l'interrelation entre l'enseignant, l'élève et les contenus à enseigner, selon le triangle pédagogique de Houssaye (1993).

Privilégier l'interrelation entre ces trois partenaires pédagogiques implique la distinction de deux classes de méthodes d'enseignements : méthode d'enseignement classique et méthode d'enseignement interactive.

II.1. Méthode d'enseignement classique.

Dans la méthode d'enseignement classique, la méthode la plus utilisée est la méthode expositive. Cette méthode se centre sur l'activité de l'enseignant. Ce dernier fait des cours magistraux. Il expose, explique le savoir/ la leçon aux élèves qui doivent se l'approprier. En d'autres termes, dans cette méthode, l'enseignant joue le rôle de « détenteur d'information » et les élèves jouent le rôle de « receveur d'information ». Cette méthode est donc similaire à celle de la « pédagogie traditionnelle magistrale », car « celle-ci fonctionne par cours et présentation impositive et structurée (si possible) du savoir, exigeant des élèves une assimilation et une restitution contrôlées du savoir » (Houssaye, 1993). De plus, la plupart des enseignants considèrent que les élèves ne savent rien et par conséquent, ils doivent écouter et écrire.

En conséquence, les élèves deviennent passifs. L'enseignant attend des élèves une attitude de soumission, d'imitation et de reproduction des savoirs qu'il leurs donne. Alors, les comportements des élèves sont déjà pré-déterminés par l'enseignant et doivent être uniformes. Ils apprennent sans savoirs pourquoi ils les apprennent, mais ils apprennent tout simplement pour réussir aux examens. Notre enquête qui a été faite à un élève de Terminal D du lycée Jean Joseph RABEARIVELO, montre ce constat. Quand on lui demande « Pourquoi allez-vous étudier à l'école ? pourquoi apprenez-vous la physique ? ». Il me répond : « Je dois apprendre pour réussir à l'école, obtenir un bon métier, réussir ma vie et rendre mes parents fiers de ma réussite ». C'est-à-dire, cet élève n'est pas motivé à apprendre, mais il est obligé d'apprendre à cause des contraintes extérieures, dénué d'initiative personnelle.

L'utilisation ou la pratique de telle méthode d'enseignement entraîne la démotivation des élèves. Ensuite, le cours magistral n'est pas très attractif pour la majorité des élèves. Il n'aboutit généralement pas à la construction durable du savoir. Malgré cela, il favorise les « bons élèves ». Car plus un élève a de grandes capacités à retenir le cours et à le reproduire, plus il peut réussir son apprentissage donc avoir de bonne note.

Du côté de l'évolution de la conception de l'élève, cette méthode ne bénéficie pas d'une bonne réputation. Car ce n'est pas, tous les savoirs donnés, transmis par les enseignants qui sont acquis par les élèves. En plus, les conceptions initiales des élèves ne sont pas prises en compte durant l'enseignement. « Contrairement à la conception habituelle, ce n'est pas parce que l'enseignant a traité tout son programme et mené son cours avec sérieux qu'il a nécessairement fait passer un savoir... les savoirs fondamentaux ne s'acquièrent jamais par communication directe de l'enseignant à l'élève » (Giordan, 1993). Mais pour avoir des savoirs fondamentaux, l'élève lui-même doit construire sa propre connaissance. Selon Louis (1989), « chacun doit construire son propre savoir ». Et durant le processus d'enseignement, « l'apprentissage nécessite l'activité de l'apprenant ». C'est-à-dire, au sein d'un cours, il est nécessaire de faire participer les élèves.

A titre de recommandation, les enseignants doivent prendre en compte les représentations et les conceptions initiales des élèves. Sinon, la nouvelle conception, transmise

par l'enseignant à l'élève, n'est pas durable. Les anciennes conceptions erronées de cet élève risquent de persister et de resurgir petit à petit puisque les nouvelles conceptions n'ont pas été élaborées par lui-même. Pour susciter le désir des élèves à étudier, il est nécessaire de leurs montrer l'utilisation du cours dans la vie courante. Pour apprendre, « l'élève doit savoir qu'il apprend, ce qu'il apprend, pourquoi il apprend et comment il apprend ». (Bernardin, 2002.)

II.2. Méthode d'enseignement interactive.

Dans la méthode d'enseignement interactive, on distingue deux méthodes d'enseignement : méthode interrogative et méthode active. Ces deux méthodes sont toutes centrées sur les élèves et ses activités. Pour mieux savoir ces deux méthodes, nous allons les définir et les caractériser une à une.

II.2.1. Méthode interrogative (ou maïeutique).

Cette méthode est basée sur la maîtrise de la technique du questionnement. Elle consiste à faire découvrir à l'élève ce que l'on veut lui enseigner. L'enseignant conçoit, construit toute la leçon avec des questions qui vont susciter la contribution active des élèves. Selon Legrand (1993), « le cours (trace écrite) peut être directement élaboré à partir de la réponse des élèves, avec leurs mots et leurs phrases ».

Elle est centrée sur l'élève alors que la méthode expositive se repose en grande partie sur l'enseignant. Car, dans la méthode interrogative, l'élève fait la moitié du chemin, de l'activité sous la direction de l'enseignant. Elle nécessite donc l'effort des élèves. En plus, elle excite la curiosité des élèves, fais appel à leurs intelligences.

La véritable méthode interrogative utilise les procédés de l'interrogation de découverte, mais ce n'est pas une interrogation, évaluation des acquisitions. Elle sert à guider l'élève vers la découverte personnelle des connaissances. Chaque élève est alors obligé à répondre aux questions posées par l'enseignant afin d'élaborer sa propre connaissance. Selon Rousseau, « l'élève est forcé d'apprendre de lui-même, use de sa raison et non de celle d'autrui » (cité par Compaoré, 2008).

Mise en œuvre de cette méthode.

En général, la pratique de cette méthode se fait de deux manières : soit orale, soit écrite. La première est souvent appelée « cours vivant ». Il s'agit d'un cours vivant, car cette méthode nécessite une discussion directe entre l'enseignant et l'élève. L'enseignant pose des questions « réflexives », aux élèves. Il écoute, confronte leurs réponses, puis conclut à partir de leurs apports.

Quant à l'écrit, il s'agit « des activités » dans lesquelles, l'enseignant propose des activités aux élèves (étude documentaire, activité expérimentale...). Il va poser des questions aux élèves à propos de ces activités. Un temps de travail individuel leur est laissé puis l'enseignant corrige ces activités avec la classe.

La réalisation de cette méthode nécessite de nombreuses interactions entre l'enseignant et l'élève. L'enseignant pose des questions ouvertes aux élèves (toute la classe ou spécifique pour un élève désigné), ces derniers donnent leurs réponses personnelles et posent également

des questions complémentaires à l'enseignant. C'est-à-dire, cette méthode invite les élèves à réfléchir, à s'interroger pour répondre à la question posée par l'enseignant et/ou ses pairs.

Le savoir est donc construit à partir du questionnement et de l'implication des élèves. Cette méthode suscite les élèves à s'exprimer (oralement) ou à exprimer leurs connaissances et leurs opinions. Elle augmente la motivation des élèves. Alors, elle est attrayante pour eux. Mais, du point de vue de la conception, elle est tout à fait artificielle. Car, selon Houssaye (1993) dans le triangle pédagogique, le cours vivant est « celui qui procède par question réponse et qui peut faire croire que l'élaboration du savoir vient de l'élève (alors qu'il s'agit là d'une opération de déguisement et non de construction...) ».

Malgré tout cela, cette méthode présente des limites et des inconvénients. Pour Legrand (1993), même si les élèves expriment leurs opinions, c'est l'enseignant qui est le maître de la démarche d'accès aux savoirs. Selon lui, tout est préparé, structuré par l'enseignant et il fait réfléchir les élèves sur un point bien précis du cours en leurs donnant un questionnement orienté. Le rôle de l'enseignant est donc « de faire dire aux élèves (en fait, à certains), ce que l'enseignant à décider de faire émerger, les « mauvaises » remarques ne sont pas prise en compte... ». C'est-à-dire, il n'y a ni démarche d'élaboration ni de construction de savoir faite par les élèves.

Cette méthode favorise l'interaction entre l'enseignant et les élèves. Ces derniers peuvent s'exprimer, poser des questions à l'enseignant. Mais la plupart d'entre eux ne font pas émerger leurs conceptions initiales et se taisent. Dans ce cas, on observe une perte de temps.

Finalement, cette méthode augmente la motivation des élèves, mais ceci n'effectue pas vraiment une démarche d'élaboration de savoir.

II.2.2. Méthode active.

Comme son nom l'indique, cette méthode rend les élèves actifs. La construction du savoir est donc centrée sur les élèves. L'élève est acteur de la situation d'apprentissage et auteur de son propre cours. Dans cette méthode, l'enseignant joue le rôle de « guidance ». Il donne tout simplement des mises en situation aux élèves. Il énonce le thème à étudier et il invite les élèves à faire des exposées à propos de ce thème. Il incite la motivation des élèves.

Dans cette méthode, l'enseignant entend que les élèves accèdent directement aux savoirs sans sa médiation forcée. Il laisse les élèves faire tout pour construire leur propre savoir.

Mise en œuvre de cette méthode :

Cette méthode est centrée sur les activités des élèves. L'élève utilise sa propre démarche pour pouvoir construire son propre savoir. Cette construction est faite par lui-même. L'élève est donc un « élève sujet » dans sa construction de savoir. Cependant, l'enseignant n'est pas totalement exclu de la situation d'apprentissage. Dans cette situation, il guide, aide l'élève. C'est-à-dire, il joue le rôle de préparateur, d'accompagnateur de la situation d'apprentissage. L'élève et l'enseignant sont deux partenaires inséparables dans cette méthode. Ils ont des initiatives complémentaires. L'élève a l'initiative de découverte, de l'appropriation du savoir. Il choisit les supports à utiliser pour élaborer, améliorer sa propre connaissance. Il fait des recherches afin qu'il puisse établir le contenu du cours.

L'enseignant, en tant qu'enseignant, ne doit pas laisser les élèves tout seul. Car, cela induit des « erreurs » et des blocages pour l'enseignement. Et aussi, l'activité des élèves se trouverait vite bloquer en raison de leurs ignorances, de leurs compétences et de leurs erreurs. Donc, l'enseignant doit toujours accompagner les élèves pendant le cours.

L'enseignant doit avoir l'initiative de donner un thème d'étude en relation avec le programme scolaire. Puis, il demande aux élèves d'élaborer un cours à propos de ce thème en leur donnant les chemins à suivre. Il peut proposer aux élèves, si nécessaire, des activités à faire. Il énonce les objectifs à atteindre lors d'une situation d'apprentissage. Il guide les élèves, car il sait où il faut aller, il peut prévoir les chemins à prendre pour parvenir à la construction du cours. C'est-à-dire, l'enseignant doit connaître les besoins des élèves pour atteindre les objectifs.

Au moment où l'enseignant distribue le thème à étudier aux élèves, il doit y avoir de nombreuses interactions entre l'enseignant et l'élève. Car l'élève peut demander, à l'enseignant, une précision à propos du thème. Quand tout est précis, les élèves peuvent faire des recherches et ils peuvent construire et élaborer un cours.

Mais le problème se pose sur la motivation des élèves. Cette méthode nécessite des élèves motivés. Sinon, ils ne peuvent pas suivre les étapes de construction de savoir. De plus, l'enseignement doit répondre aux besoins et aux questions des élèves. Et ces derniers doivent mener des recherches et accomplir les démarches. Mais ce n'est pas le cas, car le programme est déjà imposé.

Mais cette méthode présente aussi des avantages. Elle prend en compte la représentation initiale des élèves. Elle améliore et fait évoluer cette représentation. Parce que, les élèves doivent réfléchir, confronter leurs anciennes représentations aux nouvelles, afin qu'ils puissent construire un savoir fiable. Le rôle de l'enseignant est « suggéré de conseiller et de convaincre l'élève de passer d'un niveau de pensée à un autre plus performant » (Giordan, 1993).

Parmi les trois méthodes d'enseignement proposées auparavant, la méthode active est très positive en tenant compte de la motivation et d'élaboration des savoirs faites par l'élève. Elle est la plus adaptée à la construction du savoir proprement dite. Mais est-ce que cette méthode permet d'avoir une bonne leçon ? Est-ce que les autres méthodes ne permettent pas d'avoir une bonne leçon ? Mais qu'est-ce qu'une bonne leçon ?

III. Qualité d'une bonne leçon.

Dans un premier temps, il est nécessaire de bien définir ce qu'est une bonne leçon. Une bonne leçon doit avoir de nombreuses qualités. Elle doit être simple, attrayante, vraie et adaptable.

Premièrement, la leçon doit avoir des objectifs bien fixés. Aucune leçon ne doit être donnée aux élèves sans que ces objectifs soient préalablement fixés. Ces objectifs sont déjà écrits dans le curriculum. Mais c'est l'enseignant qui les transforme pour que ces objectifs puissent viser les trois compétences suivantes : savoir, savoir-faire et savoir-être.

Deuxièmement, la leçon ne doit pas être trop chargée pour ne pas exiger des élèves de grands efforts et ne pas accabler leur intelligence. Quelques notions essentielles bien présentées

suffisent au lieu d'une leçon de plusieurs pages. C'est-à-dire, la bonne leçon doit être courte, claire et précise. Elle est aussi bien ordonnée avec une suite logique. De plus, elle doit être à la portée des élèves. La progression de l'enseignement doit suivre l'évolution de la vie mentale de l'élève. L'enseignant doit se mettre au niveau de ses élèves, être simple dans sa façon de s'exprimer. Il s'exprime avec un langage simple et correct (inutile d'utiliser des termes abstraits, d'expressions trop recherchées).

Troisièmement, elle doit être intéressante. La leçon doit susciter la curiosité des élèves. Pour cela, l'enseignant doit utiliser plusieurs procédés dans une même leçon (observation, analyse, exposé, interrogation...). Il doit inciter les élèves à faire agir, faire expérimenter, faire manipuler, faire écrire, faire dessiner et à faire des recherches. Ensuite, la bonne leçon doit faire naître l'intérêt. Elle doit être *concrète, vivante* et doit inciter l'élève à l'action. Elle doit contenir quelques choses des nouveaux. Elle doit montrer aux élèves ses utilités dans la vie courante.

Quatrièmement, elle doit être progressive. Elle respecte la progression logique, normale et cohérente, bien dosée ou bien graduée. Elle part du simple au composé, du concret à l'abstrait, du connu vers l'inconnu et du particulier aux générales.

Le dernier, mais pas le moindre, elle doit être pratique. Elle doit avoir des buts utilitaires. C'est-à-dire, elle doit être adaptée à la vie quotidienne et tirée des faits réels. Elle ne reste pas au savoir théorique, mais elle doit surtout s'intégrer au monde pratique. Dans ce cas, elle doit laisser une trace durable chez les élèves.

Une bonne leçon est donc concrète, courte et adaptée à l'attention des élèves. Elle doit être compréhensible et ordonnée. Elle est progressive, attrayante (sous forme ludique ou sous forme d'animation numérique), pratique et laisse une trace durable.

Alors la question qui se pose c'est que qui parmi les trois méthodes d'enseignement proposées auparavant peut répondre à cette qualité ? Quelle méthode ou quelle approche doit-on utiliser afin d'avoir une bonne leçon de P.N. ?

Deuxième partie : Cadrage pratique.

Cette partie est consacrée à l'étude sur terrain que nous avons effectué dans laquelle, nous avons fait une enquête préliminaire auprès des élèves à propos de la P.N.. Nous avons proposé et expérimenté quelques animations numériques pour enseigner ce module d'enseignement.

Chapitre 1 : Etude préliminaire

Dans ce chapitre, nous avons effectué une description de deux séances d'E/A de la P.N.. Après ces observations, nous avons élaboré des questionnaires pour connaître les différentes représentations et acceptations des élèves à propos de la P.N.. Pour attirer leurs intentions sur l'utilisation de la P.N. dans la vie courante, nous leur avons donné quelques exercices d'illustration de l'utilisation de la P.N..

I. Observation de la séance d'E/A de la P.N. au lycée.

Dans un premier temps, nous avons fait une observation de séances d'E/A ou Enseignement Apprentissage de la P.N. au lycée Jean Joseph RABARIVELO. Nous avons observé deux cours effectués par deux enseignants différents. Le premier a utilisé la méthode classique alors que le second utilise la méthode active. Pour mieux savoir ce qui a été passé, nous allons faire la description de chaque séance.

I.1. Première observation.

Notre première observation a été effectuée avec une classe de terminal D du lycée au mois de janvier 2018. L'enseignant de cette classe utilise la méthode classique pour enseigner la P.N.. Il a utilisé une méthode expositive.

Concernant le cours sur le noyau atomique, l'enseignant de cette classe n'a fait qu'une description théorique d'un noyau atomique. Il n'a pas donné de schéma représentatif et simplifié d'un noyau atomique.

Il a annoncé directement aux élèves l'existence de l'équivalence masse-énergie selon Einstein. Puis, il a montré théoriquement que la masse des nucléons liés est inférieure à la somme des masses des nucléons séparés. Il a défini ensuite le défaut de masse atomique comme la différence entre la masse des nucléons séparés par celle des nucléons liés. Il a expliqué aux élèves que cette différence de masse est obtenue grâce à l'existence d'une énergie de liaison entre les nucléons.

Il a dit que chaque noyau a sa propre valeur d'énergie de liaison. Et pour connaître la stabilité d'un noyau, il a introduit un autre paramètre qui est appelé « énergie de liaison par nucléon ». Il a formulé aux élèves que, pour chaque noyau, la valeur de l'énergie de liaison par nucléon est au voisinage de 8 MeV/nucléon. Il a pris alors cette valeur comme référence de la stabilité d'un noyau. Quand l'énergie de liaison par nucléon d'un noyau donné est supérieure à 8 MeV/nucléon, ce noyau est stable. Dans le cas contraire, il est instable.

Il a exprimé que lorsqu'un noyau est instable (noyau radioactif), il se désintègre en libérant des rayonnements et des particules pour avoir un état stable. Il a confirmé que l'équation bilan de la désintégration d'un noyau radioactif obéit aux deux lois suivantes :

- ✓ Lois de conservation en nombre de masse.
- ✓ Lois de conservation en nombre de charges.

Il a montré qu'il existe trois types de désintégration nucléaire selon la nature de la particule expulsée. Il y a :

- ✓ La désintégration alpha α : émission du noyau d'hélium 4_2He

- ✓ La désintégration bêta moins (β^-) : la particule expulsée est l'électron ${}_{-1}^0e$
- ✓ La désintégration bêta plus (β^+) : la particule expulsée est l'anti-électron ${}_{1}^0e$

Nous avons remarqué qu'il ne donne pas aux élèves les caractéristiques de chaque rayonnement émis lors d'une désintégration nucléaire. Il n'a pas non plus montré son utilité dans la vie courante. Il est resté sur l'écriture d'une équation bilan d'une réaction de désintégration nucléaire. Selon lui, c'est l'équation de désintégration nucléaire qu'on demande aux élèves à l'examen du baccalauréat (discussion avec cet enseignant).

Pour établir la loi de décroissance radioactive, il a fait une démonstration mathématique. Mais nous avons remarqué que c'est l'enseignant seul qui a effectué cette démonstration au tableau, pendant que les élèves écoutent et regardent ce qui se passe au tableau. Il leur a donné le contenu du cours en leur distribuant des polycopies.

Concernant la réaction nucléaire provoquée, il a confirmé qu'il y en a deux types :

- ✓ Réaction de fission nucléaire
- ✓ Réaction de fusion nucléaire

Il a attribué directement la définition, l'équation bilan de chaque réaction nucléaire. Il a démontré, aux élèves, à l'aide d'une démonstration mathématique que chaque réaction nucléaire (fission ou fusion) libère une quantité considérable d'énergie. Mais il n'a pas montré l'utilisation de ces deux réactions nucléaires dans la vie courante. Il n'a pas expliqué comment cela marche ?

Il n'a plus mentionné ni dans quelle condition la réaction de fusion nucléaire peut se produire ni pourquoi cette réaction est difficile à réaliser sur notre planète terre.

C'est pour cette raison que les élèves ne savaient plus l'avantage qu'on peut obtenir à partir d'une réaction nucléaire (production d'énergie nucléaire, origine de l'éclairement du soleil). Les élèves récitent tout simplement le cours, sans savoir son utilisation, pour avoir une bonne note de P.N. à l'examen.

Mais pour apprendre, selon Bernardin ; instituteur et maître formateur en France ; « l'élève doit savoir qu'il apprend, ce qu'il apprend, pourquoi il apprend et comment il apprend ». (Bernardin, 2002). Pour apprendre aussi un phénomène, on doit chercher son utilité dans la vie courante. « Dans tous les phénomènes, on cherche l'utilité tout humaine, non seulement pour l'avantage qu'elle peut procurer, mais comme principe d'explication. Trouver une utilité, c'est trouver une raison » (Bachelard, 2004).

I.2. Deuxième observation

Pour que les élèves puissent construire leur propre connaissance, un autre enseignant de science physique, dans ce même lycée, a utilisé une méthode active pour enseigner la P.N.. Il a utilisé un logiciel appelé « nucléaire.rar ». Ce logiciel est disponible dans la page de la nouvelle version de médiathèque¹.

¹ <http://41.207.40.59/educmad/mod/resource/view.php?id=25804>

Dans un premier lieu, il a énoncé aux élèves, dans la salle de classe, l'objectif général de la séance. Il a donné quelques consignes, quelques chemins à suivre pour établir un cours de P.N. concernant le noyau atomique et la réaction nucléaire spontanée.

En second lieu, il a continué le cours dans la salle de médiathèque. En utilisant le logiciel nucléaire, les élèves peuvent effectuer plusieurs activités. Ils ont fait des manipulations sur ordinateur (trois ou quatre élèves pour un ordinateur). L'enseignant ne fait que guider les élèves. Il surveille leur travail et les incite à faire des recherches, à répondre aux questions proposées dans ce logiciel.

Selon cet enseignant, lorsque les élèves arrivent à finir les activités proposées, à répondre à toutes les questions données dans ce logiciel, ils ont bien compris le cours de la P.N..

Pendant notre discussion avec cet enseignant, nous avons remarqué qu'il a l'intention d'améliorer encore le fichier numérique utilisé pour enseigner la P.N.. Il nous invite à utiliser des animations numériques pour rendre concret la P.N.. Il nous incite à créer, à rechercher des animations flash, des vidéos pour l'enseigner. Car, cela augmente la motivation des élèves à étudier ce module d'enseignement. C'est pour cette raison que nous avons choisi notre thème d'étude.

II. Elaboration des questionnaires.

II.1. Présentation des questionnaires.

Après les observations des séances d'E/A de la P.N. au lycée, nous avons l'intention de recueillir les conceptions des élèves à propos de la P.N.. Pour le faire, nous avons élaboré des questionnaires. Ces questionnaires sont divisés en trois grandes parties : les différents problèmes rencontrés par les élèves lors de ses études en P.N., la méthode d'enseignement de la P.N. et enfin, l'utilisation de la P.N. dans la vie courante.

Dans la première partie, nous avons posé cinq questions aux élèves. Dans la question n°1, nous avons l'intention de voir, si les élèves aiment étudier la P.N.. Dans la question n°2, nous voulons savoir s'ils ont eu des problèmes lors de leurs études en P.N.. Et dans le cas où ils ont eu des problèmes, nous voulons savoir, dans la question n°3, d'où viennent ces problèmes ? Pour mieux connaître ces problèmes, dans la question n°4, nous avons demandé aux élèves, dans quelles parties de la P.N. leur cause problème. Dans la dernière question, nous avons demandé quelques explications aux élèves : pourquoi cette partie présente-t-elle des difficultés pour eux ?

Dans la deuxième partie, nous nous sommes focalisé dans la méthode d'enseignement adoptée par les enseignants pour enseigner la P.N.. Quels que soient les problèmes rencontrés par les élèves lors de ses études en P.N., nous pensons que ces problèmes proviennent de la méthode d'enseignement. La question n°1 a pour but de savoir, si l'enseignement de la P.N., donné par les enseignants, est trop théorique. Pour mieux comprendre la réponse donnée par les élèves, nous leur avons demandé quelques explications à propos des réponses qu'ils ont fournies. Les questions n°2, n°3, n°4 et n°5 se focalisent sur l'utilisation ou non des animations numériques, des logiciels pendant l'enseignement de la P.N.. Dans le cas où l'enseignant utilise

des animations numériques, nous leur avons demandé, quelle a été leur impression ? Est-ce que ces animations, ces logiciels peuvent aider, améliorer leurs acquisitions des connaissances ?

Dans la troisième partie, notre question se fixe sur l'utilisation de la P.N. dans la vie courante. Nous voulons savoir, d'après le cours de P.N. fait par l'enseignant, si les élèves savent à quoi sert la P.N. dans la vie courante, à quoi servent les rayonnements émis lors d'une désintégration nucléaire et s'ils connaissent l'application de la réaction nucléaire provoquée dans la vie quotidienne. Les questions n°1 et n°2 se centrent sur la désintégration nucléaire. Elles ont pour but de savoir, si les élèves savent que les rayonnements émis lors d'une désintégration nucléaire sont utilisés dans le domaine de médecine (médecine nucléaire). Dans la question n°3, n°4 et n°5, nous voulons savoir la conception des élèves à propos de la fission nucléaire. Dans un premier lieu, nous avons demandé aux élèves, la définition de la fission nucléaire et le phénomène qui se produit lors d'une réaction de fission nucléaire. En deuxième lieu, nous leur avons demandé, quelle est l'application de la fission nucléaire dans la vie courante ? A partir de la question n°6 jusqu'à la question n°9, nos questions consistent à savoir les conceptions des élèves à propos de la fusion nucléaire. Nous avons insisté sur ce qui se passe lors d'une réaction de fusion nucléaire, par exemple, sur la conséquence de la présence d'une réaction de fusion nucléaire au niveau du soleil.

II.2. Choix du lycée.

Lorsque nous sommes arrivés à élaborer ces questionnaires, nous avons choisi un établissement dans lequel, nous pouvons faire notre pratique d'enseignement. Puisque notre pratique d'enseignement nécessite de l'électricité, des outils de TIC (ordinateur, vidéo projecteur) qui nous permettent de visualiser des animations numériques, nous sommes obligé de la faire dans un établissement public qui comporte des salles de médiathèque. A cause de la circonstance de grève des enseignants, nous ne pouvons pas faire notre pratique d'enseignement aux grands lycées du centre-ville d'Antananarivo. Nous avons alors choisi le Lycée Mananara Ambatomena pour réaliser notre pratique. Cet établissement se trouve dans le ZAP d'Ambatomena, CISCO Manjakandriana, DREN Analamanga.

Dans cet établissement, on trouve une salle de médiathèque qui comporte 19 ordinateurs. Au cours de la présentation de notre projet de recherche au proviseur et à l'enseignant responsable de la physique de cet établissement, ils nous ont acceptés pour effectuer notre pratique dans cette école. Ils nous ont incités de la faire, non seulement pour notre réussite, mais surtout pour l'amélioration de la « qualité d'enseignement de la physique ».

La terminale D de cette école a alors été la population cible de notre recherche. Cette classe comporte 38 élèves. Nous avons distribué notre questionnaire à ces 38 élèves. Puis, nous avons fait l'analyse de ces questionnaires pour pouvoir former un groupe hétérogène d'élève.

II.3. Résultats des questionnaires avant notre intervention.

Pour mieux comprendre, nous avons analysé une à une chaque partie de notre questionnaire. Puisque la réponse à chaque question nous aidera à constituer les membres de chaque groupe.

II.3.1. Résultats de la première partie.

Concernant la première partie, nous avons remarqué que la plupart des élèves (25 élèves parmi les 38 élèves) aiment étudier la P.N.. Il n'y a que 13 élèves parmi les 38 qui ne s'intéressent pas à l'étude de la P.N.. Malgré cela, nous avons remarqué, à l'aide de la question n°2, que la majorité de ces élèves (31 élèves parmi les 38 élèves) ont des problèmes sur l'étude de ce module. Leur problème se focalise surtout sur les expressions mathématiques utilisées (08/38 élèves) et sur le calcul à faire (13/38 élève) pendant le cours de la P.N.. Il nous explique que cette partie de la P.N. (Calcul de l'énergie de liaison, étude de la loi de décroissance radioactive) nécessite beaucoup de notions mathématiques et de précautions sur les calculs à faire (manipulation des plus petits nombres). Cependant, il y a aussi 4 élèves parmi les 31 qui ont des problèmes sur le contenu du cours. Ces élèves nous ont expliqué que la P.N. contient beaucoup de choses inconnues. Les autres problèmes se trouvent dans la réaction nucléaire provoquée. Sept élèves parmi les 38 élèves ne savent pas bien distinguer la réaction de fission nucléaire à celle de la fusion nucléaire.

II.3.2. Résultats de la deuxième partie.

Concernant la méthode d'enseignement de la P.N., nous avons remarqué que la totalité des élèves (37 élèves parmi les 38) répondait que l'enseignement de la P.N. est trop théorique. Leurs explications sont presque identiques. Selon eux, la P.N. est une science de description, d'imagination. Pendant le cours de la P.N., l'enseignant n'utilise pas ni animations numériques ni vidéos alors aucun élève parmi les 38 élèves n'a eu l'opportunité de voir des animations numériques. Ils répondaient qu'ils ne possèdent ni CD ni animations numériques concernant la P.N.. Ils répondaient aussi qu'ils n'ont pas d'équipements nécessaires à ces animations.

II.3.3. Résultats de la troisième partie.

Concernant cette partie, aucun élève parmi les 38 ne savait l'utilisation de la radioactivité nucléaire. Ils répondaient que les rayonnements émis lors d'une désintégration nucléaire ne servent à rien du tout. Ces rayonnements peuvent produire des dangers pour nous (source des cancers). Alors que la plupart d'entre eux (35 élèves parmi les 38) ne savaient plus l'existence de ces rayonnements. Ils ont pensé que lors d'une réaction de désintégration nucléaire, il y a simplement une expulsion de particules qui peuvent être des particules alpha ou bêta.

Nous avons observé que 31 élèves parmi les 38 élèves arrivent à définir la réaction de fission et fusion nucléaire. Il n'y a que 7 élèves qui les confondent. Mais à part la définition, nous avons constaté que la totalité de ces élèves (35 élèves parmi les 38) ne savait pas bien ce qui se passe lors d'une réaction de fission nucléaire. Ils ont pensé que, lors d'une réaction de fission nucléaire, il n'y a qu'une formation *d'un* noyau fils, alors qu'en réalité il y a formation de *deux* noyaux fils. Aucun élève ne savait qu'au cours d'une réaction de fission nucléaire, il y a une émission de radiations. Mais, ils savent juste que cette réaction est accompagnée d'un dégagement d'énergie (discussion avec les élèves). Malgré cela, ils n'arrivent pas à bien distinguer, sous quelle forme, cette énergie est dégagée lors de cette réaction.

Concernant son application dans la vie courante, aucun parmi les 38 élèves ne savait que la réaction de fission nucléaire nous apporte de nombreux avantages. 9 élèves ont pensé

que cette réaction est utilisée dans la production des bombes nucléaires. Selon eux, cette réaction ne fait que détruire la vie sur notre planète terre (utilisation négative de la réaction de fission nucléaire). Alors que les 29 autres élèves n'ont rien à dire à propos de l'utilisation de cette réaction de fission nucléaire dans la vie courante.

A propos de la réaction de fusion nucléaire, nous avons constaté que la quasi-totalité des élèves (15 élèves) savait que cette réaction est accompagnée d'un dégagement d'énergie. Mais aucun n'a pensé qu'il y a aussi des émissions de radiations.

La plupart de ces élèves (20 élèves parmi les 38 élèves) connaissaient que c'est la réaction de fusion nucléaire qui se passe au niveau du soleil. Alors que les autres élèves n'ont rien à dire. Malgré tout cela, les vingt élèves précédents n'arrivent pas à nous expliquer pourquoi le soleil brille. Nous avons pensé alors que ces élèves n'arrivent pas à bien savoir ce qui se passe lors d'une réaction de fusion nucléaire.

D'après cette analyse, nous étions convaincu que ces élèves ont des difficultés lors de leurs études en P.N.. Ils mémorisent juste le cours théorique donné par les enseignants. Alors, ils ne savent pas, l'utilisation de ce cours dans la vie courante. Ils n'arrivent pas à bien comprendre ce qui se passe lors d'une réaction de désintégration nucléaire ou lors d'une réaction nucléaire provoquée. Ce qu'ils savent c'est que la P.N. présente des inconvénients pour nous. Elle détruit notre vie.

Face à ces conceptions, nous avons l'intention de montrer à ces élèves qu'à part le côté négatif de la P.N., elle présente aussi de nombreux avantages pour nous. Pour le faire, nous avons recherché des exercices d'illustrations. Ces exercices d'illustrations ont pour but de leur montrer que la réaction de désintégration nucléaire est très utilisée dans le domaine de la médecine (médecine nucléaire) et que la réaction nucléaire provoquée est utilisée pour produire de l'énergie électrique.

III. Elaboration des exercices d'illustration d'utilisation de la P.N. dans la vie courante.

Pour pouvoir montrer aux élèves que la P.N. est très utilisée dans la vie courante, nous avons recherché et élaboré trois exercices d'illustrations. Ces trois exercices ont été élaborés pour faire réfléchir les élèves. Ils attirent leur curiosité à faire des recherches sur l'utilisation de la P.N. dans la vie courante. Ils poussent, les élèves, à savoir ce qui se passe vraiment lors d'une désintégration nucléaire, lors d'une réaction nucléaire provoquée. Décrivons avec plus de détail ces trois exercices dans le paragraphe qui suit.

III.1. Présentation de ces exercices d'illustrations.

III.1.1. Premier exercice.

Le premier exercice est composé de cinq questions. L'objectif général de cet exercice c'est de montrer aux élèves que le rayonnement gamma, émis lors d'une réaction de désintégration nucléaire, est utilisé dans le traitement de certains cancers. La première et la deuxième question permettent de connaitre si l'élève est capable d'écrire l'équation bilan de la réaction de désintégration nucléaire. La troisième et la quatrième question permettent de savoir s'il est capable de calculer l'énergie libérée lors d'une réaction de désintégration nucléaire. Elles servent également à évaluer, la capacité de l'élève à savoir sous quelle forme cette énergie

est libérée. La cinquième et dernière question a pour objectif de savoir, si l'élève est capable de caractériser les rayonnements émis lors d'une réaction de désintégration nucléaire.

III.1.2. Deuxième exercice.

Le deuxième exercice joue le rôle d'une activité documentaire. Dans un premier temps, nous avons une tendance à montrer aux élèves, à l'aide de cet exercice, que la réaction de désintégration nucléaire est utilisée dans le domaine de la médecine (médecine nucléaire). Cette réaction sert à réaliser la scintigraphie. Nous avons expliqué brièvement : ce qu'est la scintigraphie ? Que doit-on avoir pour faire la scintigraphie ?

Cet exercice est divisé en trois parties. Dans la première partie, nous avons évalué, en général, ce qu'on doit savoir sur le noyau atomique et les lois de conservation utilisées lors d'une réaction nucléaire spontanée ou provoquée. Elle comporte quatre questions.

Dans la deuxième partie, nous avons eu l'intention de montrer, aux élèves, l'utilisation de l'iode 131 émetteur (β^-, γ) dans la vie courante. Elle comporte quatre questions. La première, la deuxième et la troisième question sont des questions classiques. La dernière question nous montre l'utilisation de l'iode 131 dans la scintigraphie thyroïdienne. Elle sert à montrer aux élèves que la réalisation de la scintigraphie thyroïdienne ne présente plus des effets secondaires.

Dans la troisième partie, nous avons montré aux élèves que l'iode 123 émetteur γ pur de demi-vie 13,2h est aussi utilisé dans la réalisation de la scintigraphie thyroïdienne. Elle consiste à faire des comparaisons entre l'iode 131 et l'iode 123.

III.1.3. Troisième exercice.

Dans ce dernier exercice, notre objectif est de montrer aux élèves l'utilisation de la réaction nucléaire provoquée dans la vie courante. Il est divisé en deux parties (partie A et Partie B).

La partie A sert à montrer aux élèves que la réaction de fission nucléaire est très utilisée dans un réacteur nucléaire. Elle libère une quantité considérable d'énergie (exprimé en tep). Elle sert à produire du courant électrique.

La partie B sert à montrer aux élèves que la réaction de fusion nucléaire se produit au niveau des étoiles (soleil par exemple). Cette partie montre que l'énergie émise par le soleil provient de la réaction de fusion des quatre protons qui conduit à la formation d'un noyau d'hélium (Transformation de l'énergie de masse en énergie solaire). Cette réaction de fusion nucléaire permet de calculer la durée de vie du soleil. C'est-à-dire, sans la réaction de fusion, nous vivrons dans l'obscurité.

Ces exercices d'illustrations sont disponibles dans l'annexe 2 de notre travail. Pour connaître l'impact de ces exercices sur l'acquisition des connaissances des élèves, nous avons fait ces exercices d'illustrations avec les mêmes élèves que précédemment (ceux qui répondaient à notre questionnaire).

III.2. Mise en œuvre de ces exercices.

III.2.1. Création du groupe d'élèves.

Pour faire ces évaluations, nous avons choisi 20 élèves parmi les 38 précédents. Ces élèves sont répartis en quatre groupes. Chaque groupe est formé de cinq personnes et doit comporter aux moins :

- Un élève qui aime étudier la P.N., mais qui ne savait pas l'utilisation de la radioactivité dans la vie courante.
- Un élève qui ne s'intéresse pas à l'étude de la P.N. et qui pense que c'est une science théorique.
- Un élève qui a eu des problèmes lors de ses études en P.N. et qui confond la réaction de fission nucléaire à celle d'une fusion nucléaire.
- Un élève qui ne savait que l'inconvénient de la P.N. dans la vie courante.

Avec ces critères, nous avons pensé que chaque groupe cible est un groupe hétérogène. Car chaque élève qui le constitue a sa propre conception à propos de la P.N.. La répartition de ces élèves est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Choix des élèves.

Critères	Groupe			
	GI	GII	GIII	GIV
1. Un élève qui aime étudier la P.N., mais qui ne savait l'utilisation de la radioactivité dans la vie courante.	E1 E2	E1	E1	E1 E2
2. Un élève qui ne s'intéresse pas à l'étude de la P.N. et qui pense que c'est une science théorique.	E3	E2 E3	E2	E3
3. Un élève qui a eu des problèmes lors de ses études en P.N. et qui confond la réaction de fission nucléaire à celle d'une fusion nucléaire.	E4 E5	E4	E3	E4
4. Un élève qui ne savait que l'inconvénient de la P.N. dans la vie courante.		E5	E4 E5	E5

Codage : E1 : élève n°1, E2 : élève n°2, E3 : élève n°3, E4 : élève n°4 et E5 : élève n°5

III.2.2. Critères à observer lors d'un travail de groupe pour voir la participation des élèves.

Pendant ce travail de groupe, notre observation consiste à savoir s'il y a eu des interactions entre élève-élève ou élève-enseignant. Est-ce que ces exercices d'illustrations incitent les élèves ; à rechercher ce qui se passe vraiment lors d'une réaction nucléaire

spontanée et/ou provoquée ; à les faire réfléchir un peu sur l'utilisation de la P.N. dans la vie courante. Pour le faire, nous avons observé 6 critères :

- ✓ Est-ce que les élèves distraient dans le groupe.
- ✓ Est-ce que les élèves émettent des idées.
- ✓ Est-ce que les élèves expliquent ses idées.
- ✓ Est-ce que les élèves discutent l'idée des autres.
- ✓ Est-ce que les élèves sollicitent l'aide de ses camarades.
- ✓ Est-ce que les élèves sollicitent l'aide de l'enseignant.

Nous avons compté le nombre des élèves pour chaque caractère. Le résultat sera présenté ci-dessous à l'aide d'un histogramme.

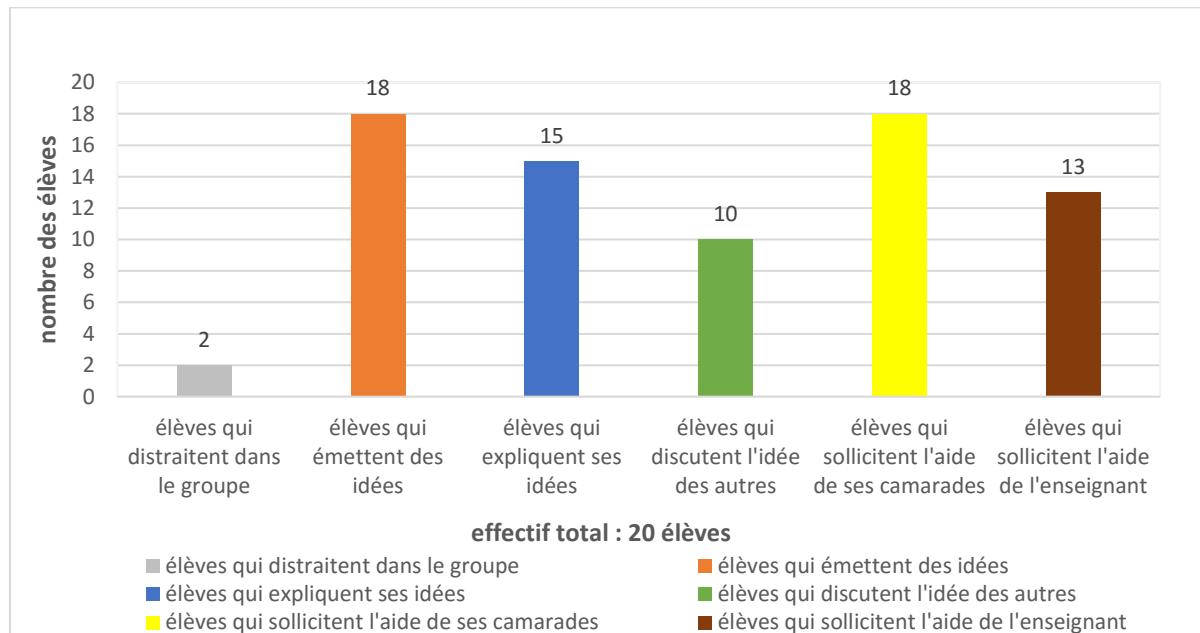


Figure 2 : Participation des élèves.

Cette figure montre que la totalité des élèves participe pendant notre évaluation. Il y a des échanges d'idée entre élève-élève et entre élève-enseignant.

III.3. Résultats obtenus et analyse.

A la fin de cette évaluation, nous avons fait une discussion d'ensemble avec les élèves à propos de ces exercices. Pendant cette discussion, nous avons remarqué que ces élèves sont capables d'écrire l'équation bilan d'une désintégration nucléaire (écriture et lois utilisées). La totalité de ces élèves (3 groupes parmi les quatre groupes) est capable de calculer l'énergie libérée lors d'une réaction nucléaire. Mais ils n'arrivent plus à savoir sous quelle forme cette énergie est libérée lors d'une désintégration nucléaire (aucun groupe parmi les quatre groupes). Ces quatre groupes n'ont rien à dire à propos du filtre utilisé pour protéger le patient du rayonnement β^- . Nous avons pensé alors que ces élèves ne savent pas bien les propriétés de ce rayonnement.

Dans l'exercice 1, les élèves s'étonnent lorsqu'ils voient que le rayonnement γ , provenant de la désintégration du cobalt est utilisé pour traiter des cancers. Ils savent aussi que

le rayonnement β^- ne doit pas atteindre le patient. Alors que l'exercice 2 montre que, pour faire la scintigraphie thyroïdienne, on doit injecter l'iode (émetteur β^-, γ) dans le patient. Ils nous demandent, si cette injection ne provoque pas des effets secondaires au patient.

A propos du troisième exercice, les élèves n'arrivent pas à répondre à la question : d'où vient l'énergie du soleil ? En général, ils rencontrent un problème de concrétisation.

Pendant cette discussion, la plupart de ces élèves nous demandent quelques explications et illustrations pour bien confirmer ce qui a été écrit dans ces exercices. Ils ont l'intention de vouloir connaître ce qui se passe vraiment lors d'une désintégration nucléaire. A quoi cela pourrait servir et ce qui se passe lors d'une réaction nucléaire provoquée. Nous avons pensé alors qu'ils ont des problèmes de concrétisation sur le phénomène physique étudié en P.N..

Chapitre 2 : Enseignement de la P.N. à l'aide des animations numériques.

En analysant les résultats de notre questionnaire et les résultats de la discussion d'ensemble avec les élèves après leur travail de groupe, nous avons convaincu que ces élèves rencontrent des problèmes de concrétisation du cours. Alors dans ce chapitre, pour rendre concret la P.N., nous avons recherché des animations numériques permettant de montrer ce qui se passe lors d'un phénomène physique étudié en P.N. ainsi que son utilisation dans la vie courante. Pour mieux connaître ces animations, nous allons les décrire une à une.

I. Présentation des animations numériques utilisées.

A notre avis, l'utilisation des animations numériques favorise l'acquisition des connaissances des élèves sur l'étude de la P.N.. Donc, pour l'enseigner, l'enseignant doit utiliser des animations numériques. Elles doivent être utilisées pour faire réfléchir les élèves et pour attirer leurs intentions. Ici, nous allons proposer quelques animations numériques à utiliser pour enseigner la P.N. dont chaque partie de la P.N. a sa propre animation. Nous allons voir en détail ces fichiers en exposant leur utilité et leurs importances.

I.1. Animation 1 : cours concernant le noyau atomique.

Pour illustrer le cours du noyau atomique, nous avons choisi l'animation 1 : « atome a radioactivite.swf ». Cette animation permet de montrer aux élèves les éléments constitutifs d'un atome. Elle montre qu'un atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent les électrons. Ces derniers suivent des chemins bien définis (orbitale atomique selon la théorie de Bohr). On peut schématiser un atome comme suit :

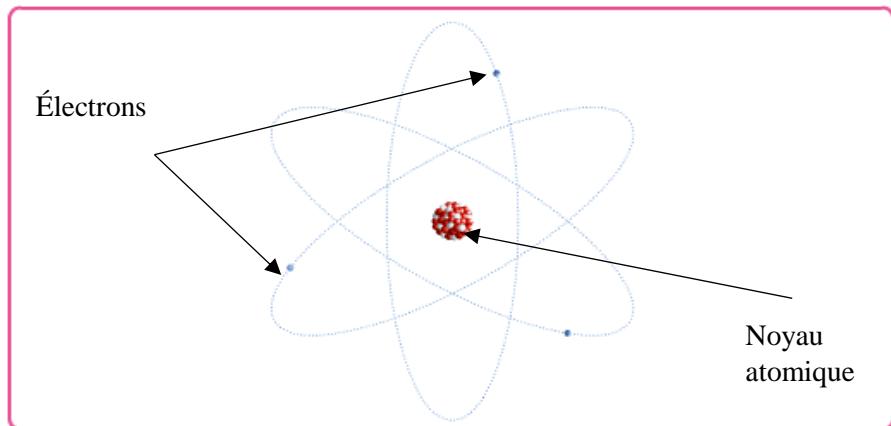


Figure 3 : Constitution d'un atome

Source :<http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/atome%20a%20radioactive.swf>

Cette figure montre aussi qu'un noyau atomique est constitué des deux entités chimiques. Ce sont les protons et les neutrons. L'animation montre ces deux éléments sous forme de boules de couleurs différentes. Elle utilise des couleurs différentes pour distinguer le proton du neutron. Cela ne veut pas dire que ces deux constituants doivent avoir des couleurs différentes. Il s'agit là, d'une représentation simplifiée du noyau atomique.

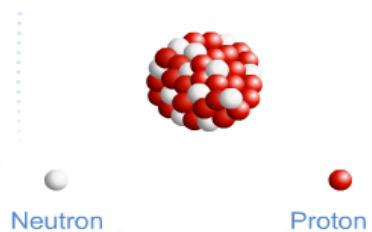


Figure 4 : composition d'un noyau atomique

Source :<http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/atome%20a%20radioactivite.swf>

Cette animation nous montre aussi qu'il existe deux états d'un noyau. Un noyau peut être stable ou instable selon la force de « l'interaction nucléaire » entre les protons et les neutrons. Elle représente la différence entre un noyau stable et un noyau instable. Le noyau stable ne bouge plus alors que le noyau instable se met en mouvement de vibration. Elle montre que lorsqu'un noyau est constitué par un grand nombre de particules, il devient instable, car il renferme beaucoup plus d'énergie. Et pour revenir à l'état stable, il émet des particules et des radiations. Dans ce cas, on dit qu'un noyau est radioactif. Il a l'intention de se désintégrer.

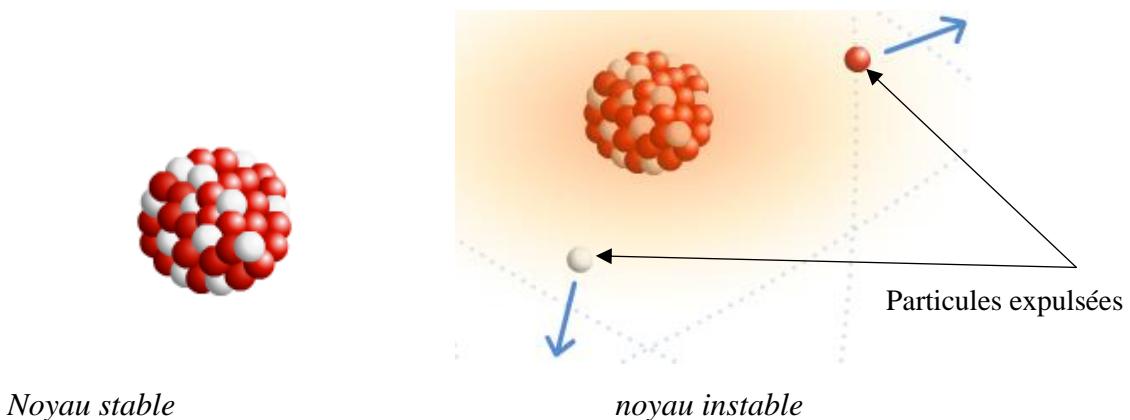


Figure 5 : Représentation d'un noyau stable et d'un noyau instable.

Source : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/atome%20a%20radioactivite.swf>

I.2. Vidéo et animation 2 : cours du défaut de masse atomique et notion d'énergie de liaison.

Pour expliquer l'instabilité d'un noyau, on introduit la notion d'une énergie de liaison et une énergie de liaison par nucléon d'un noyau. Cette énergie représente selon Einstein une énergie de masse. Elle se traduit par $E = \Delta mc^2$ où Δm représente le « défaut de masse atomique ». Pour montrer aux élèves l'existence de ce défaut de masse, nous avons utilisé une vidéo intitulée : « SCP4010 le défaut de masse. YouTube ». Elle montre également qu'un atome est constitué par des électrons (chargés négativement) et d'un noyau constitué de protons (chargés positivement) et des neutrons (sans charges). Cette vidéo montre que les constituants d'un noyau séparé pèsent plus lourd que les constituants d'un noyau lié.

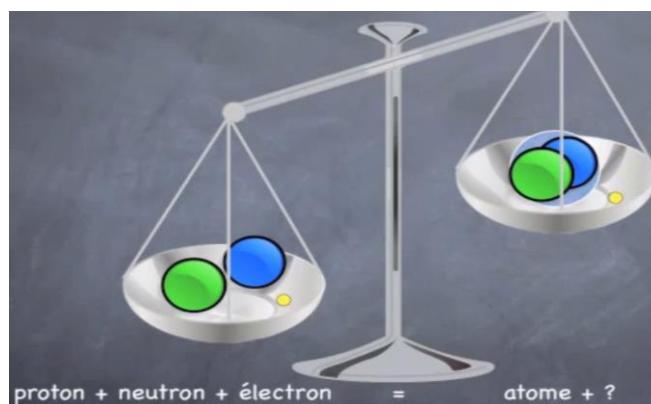


Figure 6 : Illustration du défaut de masse.

Source : <https://www.youtube.com/watch?v=tUTc5gHHIQ8>

L'inclinaison de cette balance montre l'inégalité entre ces deux masses. Elle nous dit que la condensation d'un proton, d'un neutron et d'un électron donne un atome, plus un dégagement d'énergie. C'est-à-dire, cette différence de masse se transforme en énergie.

L'utilisation de cette vidéo nous permet de faire une analyse qualitative. Mais on peut prouver aussi l'existence du défaut de masse atomique à l'aide d'une analyse quantitative. Pour cela, nous avons utilisé une autre animation « Animation 2 : masses-noyaux.swf » qui a été créée par Andien WILLM. Cette animation permet de mesurer la masse d'un noyau. Elle permet de faire une comparaison des masses entre deux ou plusieurs noyaux donnés. C'est-à-dire, à partir de cette animation, on demande aux élèves de faire une comparaison entre la masse d'un noyau lié et la somme des masses de ces éléments constitutifs séparés.

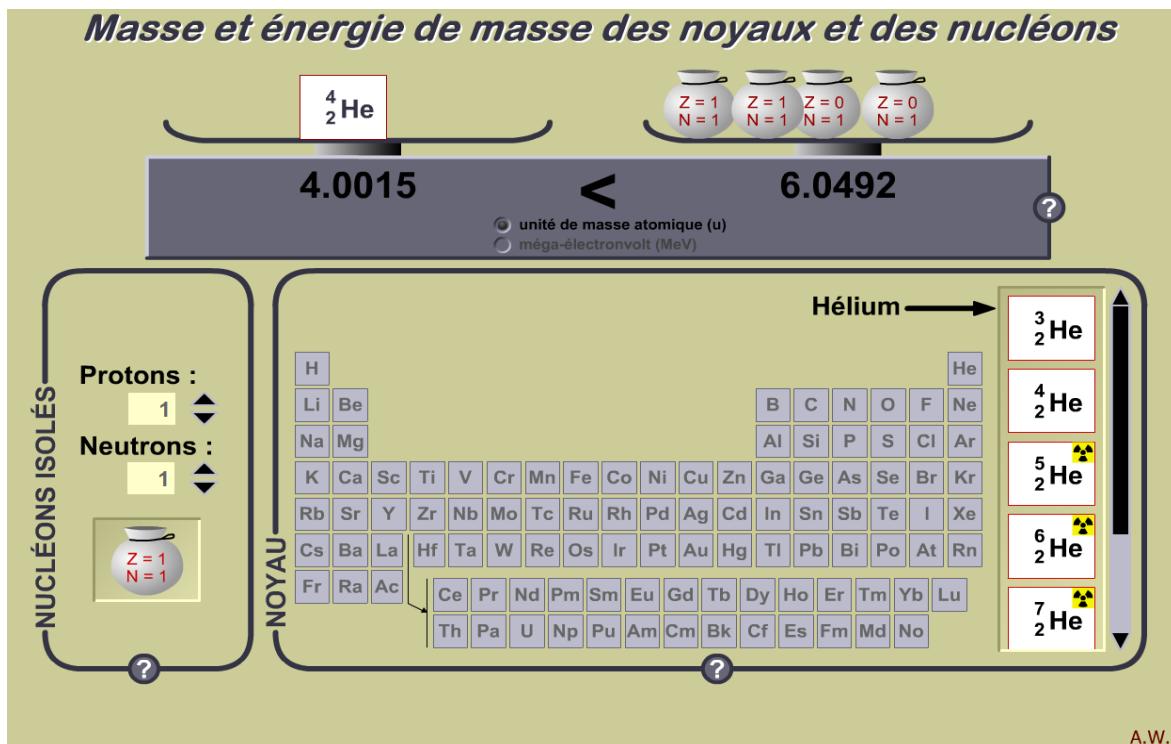


Figure 7 : Balance de mesure d'une masse des noyaux atomiques.

Source : http://www.ostralo.net/3_animations/swf/masses_noxyaux.swf

Cette figure nous montre que la masse du noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ est inférieure à la somme de masses de deux protons et de deux neutrons. Et cette différence ne peut être interprétée qu'à l'aide de la notion d'énergie dégagée.

Mise en œuvre de cette animation :

Dans un premier temps, vous pouvez cliquer un élément de ce tableau, puis tous les isotopes de cet élément sont affichés au côté droit du tableau. Glisser ensuite un isotope de cet élément vers la balance afin de mesurer sa masse. Si vous voulez avoir des nucléons isolés (protons ou neutrons), vous pouvez ajuster le nombre de protons et le nombre de neutrons au côté gauche de ce tableau. En d'autres termes, pour avoir un proton, on écrit 1 au-dessous des protons et 1 au-dessous des neutrons. Pour avoir sa masse, on doit le glisser vers la balance. Et pour enlever les éléments posés sur la balance, on doit les faire glisser vers l'extérieur.

I.3. Animation 1 et animation 3 : cours de la réaction nucléaire spontanée.

I.3.1. Différents types des radioactivités nucléaires.

Auparavant, nous avons déjà vu qu'il existe deux états d'un noyau atomique (Noyau stable et noyau instable). Le noyau instable est aussi appelé noyau radioactif. Il a une propriété particulière. Il a une tendance à se transformer en un noyau stable en expulsant des particules et en émettant des radiations. Et pour pouvoir montrer aux élèves les différents types de particules émises lors de cette transformation, on réutilise l'animation 1. Cela est représenté dans la figure suivante.

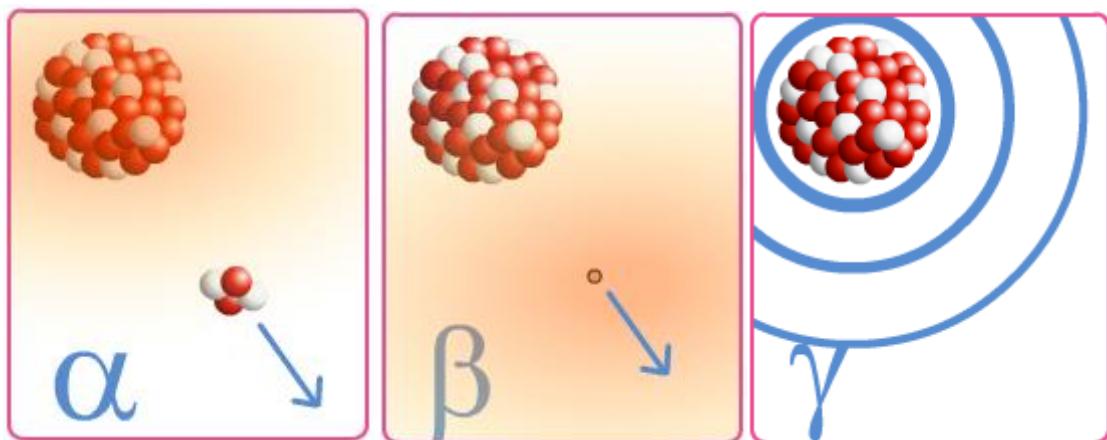


Figure 8 : Les différents types des particules émises

Source : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/atome%20a%20radioactivite.swf>

A partir de cette animation, les élèves peuvent conclure que lors d'une désintégration nucléaire, un noyau peut libérer soit un rayonnement alpha α , soit un rayonnement béta β ou un rayonnement gamma γ . Cela se fait tout en libérant des radiations électromagnétiques.

Elle montre aussi qu'un rayonnement alpha est constitué par des noyaux qui comportent deux protons et deux neutrons. Ces noyaux sont donc des héliums. Le rayonnement béta β est constitué d'autres particules que le proton et le neutron et l'analyse de ce rayonnement montre qu'il est constitué soit par un électron soit par un antiélectron.

Le rayonnement gamma γ se traduit par l'émission d'une onde électromagnétique de haute énergie. Il n'est pas constitué de particules.

De plus, pour bien illustrer le cours sur les différents types de désintégration nucléaire, nous avons aussi utilisé l'animation 3 : « radioactivite_anim.swf ». Cette animation nous montre quelques exemples de désintégrations nucléaires en nous donnant son équation de désintégration. Elle nous montre aussi les propriétés de chaque rayonnement émis lors de cette désintégration ainsi que son utilisation dans la vie courante.

LA RADIOACTIVITÉ

les isotopes radioactifs

La radioactivité est une propriété de certains isotopes instables. Un noyau radioactif instable se transmute spontanément en un noyau plus stable.

Ce phénomène libère une grande quantité d'énergie sous la forme de rayonnement : c'est la **radioactivité**.

La radioactivité alpha (α)
concerne les très gros noyaux dont $Z \geq 84$
Exemple : la désintégration alpha du plutonium 244 en uranium 240

$$^{244}_{94}\text{Pu} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{240}_{92}\text{U}$$

The diagram illustrates the process of nuclear decay. An unstable nucleus (labeled "noyau radioactif instable") undergoes "radioactivité" to become a stable nucleus ("noyau fils"). Three decay pathways are shown: ALPHA decay leads to a helium nucleus ("noyau d'hélium (2 protons et 2 neutrons)"); BETA decay leads to an electron ("1 électron"); and GAMMA decay leads to a photon ("1 photon").

classification périodique des éléments

les isotopes radioactifs

menu ⌂ retour suite ⌂

Figure 9 : Différents types de la radioactivité nucléaire.

Source : http://launay.elise.free.fr/radioactivite_anim.swf

I.3.2. Propriétés de rayonnements émis.

Chaque rayonnement a des propriétés bien particulières. Pour mieux connaître ces caractéristiques, nous allons réutiliser l'animation 3. Cette animation présente sept volets. Mais ce qui nous intéresse ici c'est le cinquième volet : « propriétés des radiations ». Elle montre que chaque rayonnement a sa propre vitesse de propagation dans l'air et a des interactions différentes avec les matières.

Premièrement, nous allons voir la vitesse de propagation et la distance de pénétration de chaque rayonnement dans l'air.

LA RADIOACTIVITÉ

les propriétés des radiations

propagation des radiations dans l'air
interaction des radiations avec la matière

The diagram shows the relationship between the type of radiation and its properties. On the left, three boxes list the types of radiation: "radiations alpha", "radiations bêta", and "radiations gamma". To the right, arrows indicate their speeds: "10 000 à 30 000 km / s" for alpha radiation, "280 000 km / s" for beta radiation, and "280 000 km / s" for gamma radiation. Below these, a horizontal scale represents distance in air, marked with 0, 5 cm, 0,5, and 1 m. A vertical dashed red line indicates the point where each radiation type penetrates 1 m into air.

les propriétés des radiations

menu ⌂ retour suite ⌂

Figure 10 : Vitesse de propagation, distance de pénétration dans l'air de chaque rayonnement

Source : http://launay.elise.free.fr/radioactivite_anim.swf

Cette animation montre que le rayonnement alpha α est moins pénétrante dans l'air. Cela est obtenu à cause de sa masse. Il a une vitesse de pénétration plus petite dans l'air que celle des autres rayonnements. Cette vitesse est de l'ordre de 10 à 30 000 km/s. Il peut traverser 5cm dans l'air. Le rayonnement bêta est peu pénétrant dans l'air. Il a une vitesse de propagation supérieure à celle du rayonnement alpha. Ce phénomène peut être expliqué tout simplement à cause de la différence de masse entre ces deux particules (l'hélium est plus lourd que l'électron ou l'antiélectron). Il a une vitesse de propagation dans l'air de l'ordre de 280 000 Km/s et peut traverser 1m dans ce milieu. Le rayonnement gamma est très pénétrant dans l'air. Il a une très grande vitesse de propagation et peut traverser 1000m dans l'air. Ce phénomène est logique, car il est constitué par des particules sans masse.

Deuxièmement, nous allons voir l'interaction de ces rayonnements avec la matière. On peut voir ces interactions avec la même animation que précédemment.

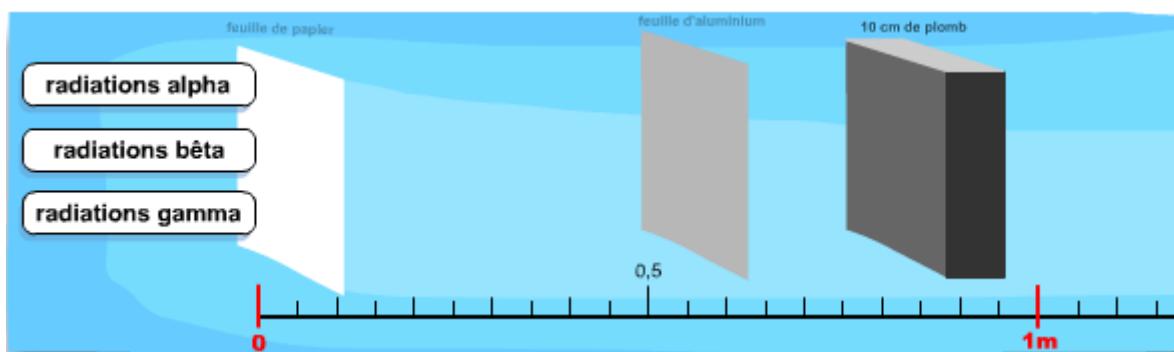


Figure 11 : Interaction des radiations avec la matière.

Source : http://launay.elise.free.fr/radioactivite_anim.swf

Cette animation montre que le rayonnement alpha est arrêté par une feuille de papier. Il ne peut pas traverser cette feuille de papier. Le rayonnement bêta peut traverser une feuille de papier. Mais il est arrêté par une feuille d'aluminium. Le rayonnement gamma est très particulier, car il peut traverser une feuille de papier et aussi une feuille d'aluminium. Il est arrêté par quelques centimètres de plomb.

Ces propriétés particulières des rayonnements émises poussent les physiciens à rechercher leurs utilisations dans la vie courante. C'est pour cette raison que la P.N. (la radioactivité) est appliquée à la médecine. Elle permet de faire une imagerie médicale (scintigraphie). Une autre animation flash permet d'expliquer ce processus.

I.3.3. Utilisation de la radioactivité dans la vie courante.

La P.N. est aussi utilisée dans le domaine de la médecine. Ce domaine d'étude est appelé « médecine nucléaire ». Ici, nous allons présenter quelques applications de la P.N. que nous connaissons.

a) La cobaltothérapie.

Le cobalt $^{60}_{27}Co$ est radioactif β^- . Le noyau fils émis lors de sa désintégration est à l'état excité. Il revient à l'état fondamental en émettant un rayonnement gamma. Et ce rayonnement, selon Coup et al (2002), est utilisé dans le traitement de certains cancers.

b) *La scintigraphie :*

La scintigraphie est une technique d'imagerie médicale qui utilise des substances radioactives. Elle est réalisée uniquement dans le domaine de la « médecine nucléaire ».

Elle consiste à injecter des isotopes radioactifs dans le patient. Ces isotopes se fixent sur l'organe ou les tissus à explorer. Dès qu'ils se fixent, ils émettent des rayonnements gamma qui seront captés par un gamma caméra. Ce dernier transforme les rayonnements reçus en signal électrique afin d'avoir une image (scintigramme) de l'organe sur l'écran d'observation. C'est pour cette raison que le médecin obtiendra plusieurs images de l'organisme ou du tissu voulu pour détecter les éventuelles altérations.

Elle permet de faire l'étude du fonctionnement de certains organes comme pour l'état de vascularisation² du cœur (scintigraphie myocardique), ou pour l'état de vascularisation des reins (scintigraphie rénale).

La figure ci-dessous montre les différents appareils utilisés lors d'une scintigraphie.

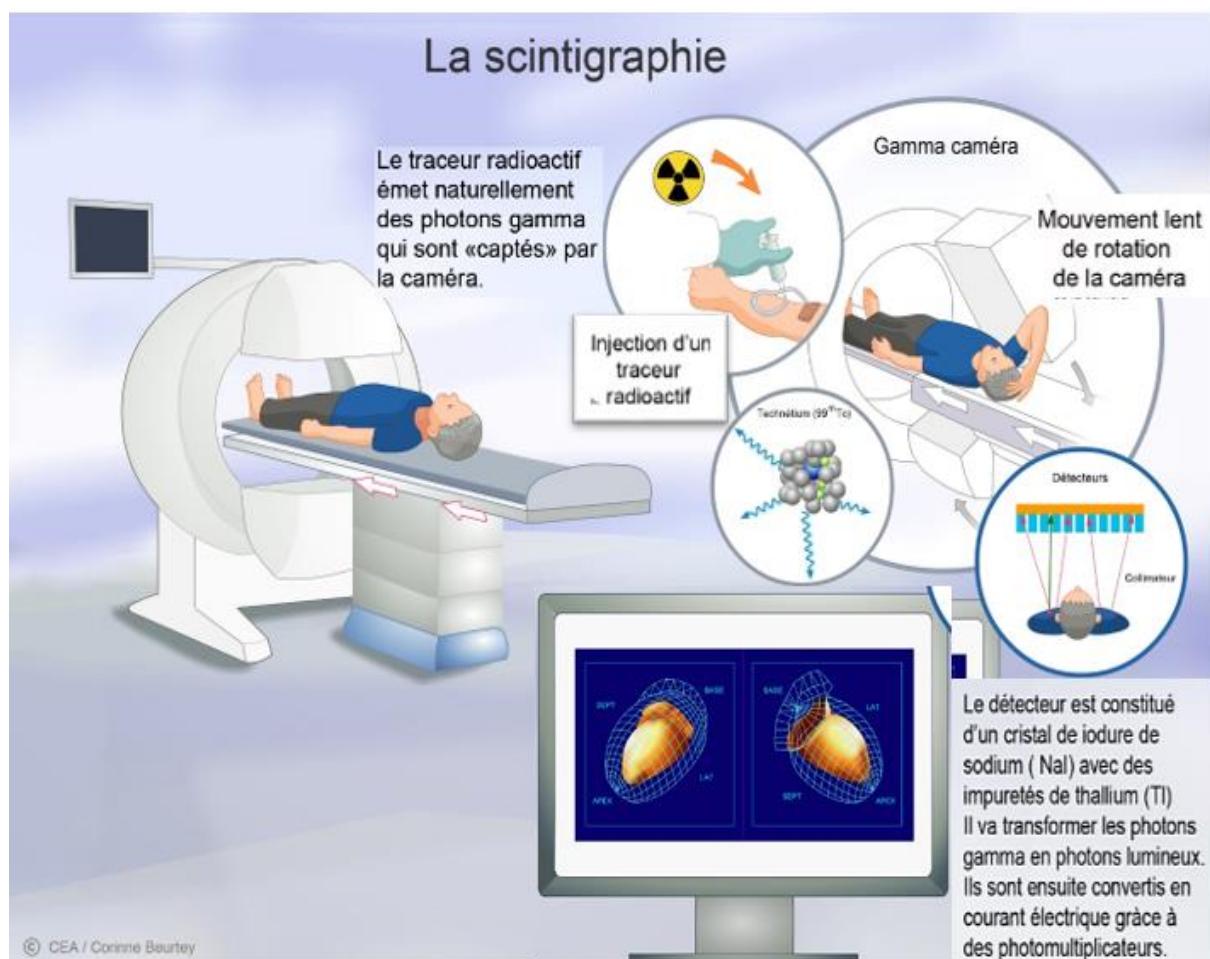


Figure 12 : La scintigraphie

Source : www.cea.fr/comprendre/pages/accueil/culture-scientifique.aspx

² Bonne irrigation du sang vers le cœur

Pour mieux comprendre la scintigraphie, nous avons utilisé une autre animation « animation 4 : animScintigraphieFinal.swf ». Cette animation permet de voir comment fonctionne la scintigraphie. Elle montre trois exemples de la scintigraphie en nous expliquant son fonctionnement. Voici une figure illustrant le fonctionnement de cette animation.

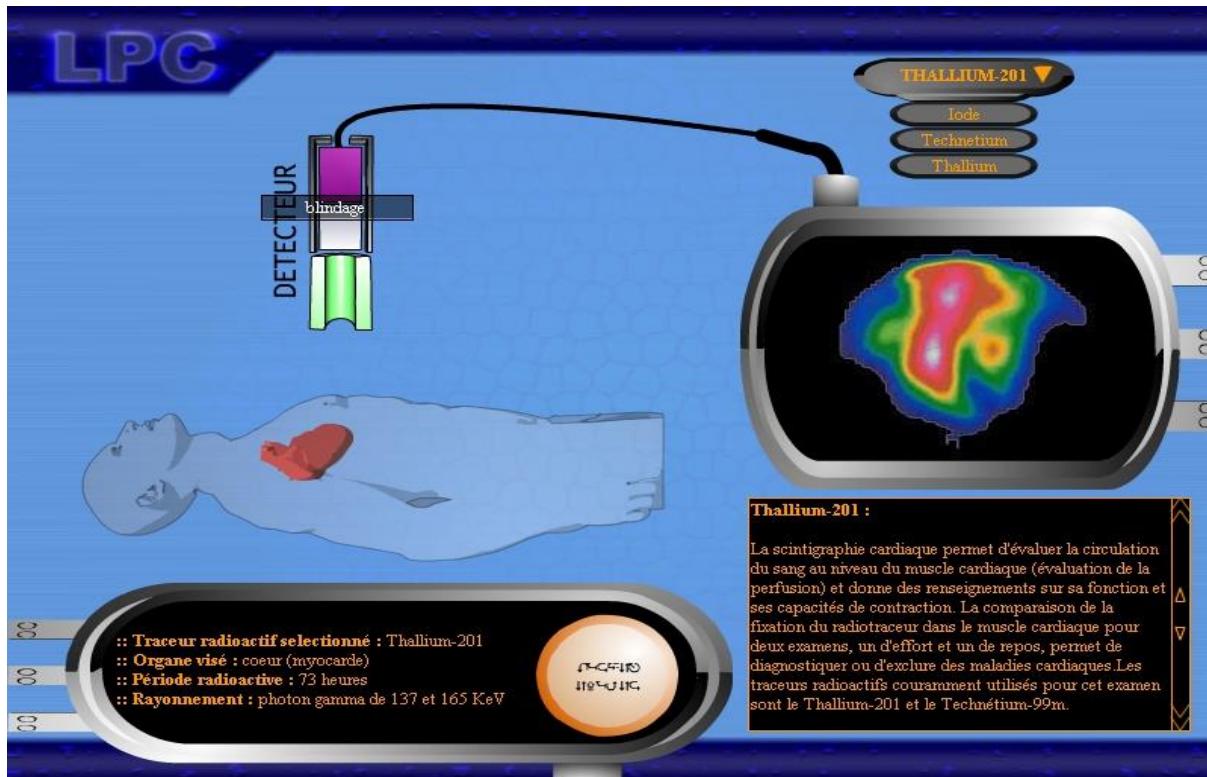


Figure 13 : Illustration de la scintigraphie à l'aide d'une animation.

Source : <http://caeinfo.in2p3.fr/IMG/Flash/animScintigraphieFinal.swf>

Pour réaliser la scintigraphie, à l'aide de cette animation, il faut choisir dans un premier temps le traceur à utiliser. Il se place tout en haut de l'écran d'observation. Dans cette animation, on distingue trois exemples de traceurs : iodé, technétium et thallium. Dès que le traceur est sélectionné, on clique sur le bouton « LANCER EXAMEN ». Puis l'examen commence.

Le traceur va se fixer tout de suite aux organes cibles. Et après quelques instants (selon sa période radioactive), il émet des rayonnements (gamma). Ces rayonnements seront captés par la caméra qui glisse au-dessus du patient (sans le toucher). Cette caméra est constituée par trois constituants : collimateur cylindrique, cristal plein et le photomultiplicateur. Ces deux derniers constituants sont entourés par un blindage. La caméra transforme les rayonnements émis par le traceur en signal électrique.

Des fils métalliques sont nécessaires pour transmettre ce signal électrique vers l'écran d'observation. Ce dernier affiche l'image de notre organe cible. En bas de cet écran, il y a une explication théorique de chaque scintigraphie réalisée (quelques définitions, propriétés du traceur utilisé ...)

Juste au-dessous du patient, dans le bouton « lancer examen », cette animation présente l'organe visé, le traceur utilisé ainsi que sa période radioactive. Enfin, elle donne la propriété du rayonnement gamma émis (énergie du rayonnement) pour chaque examen.

Selon la nature du traceur et du marqueur utilisé, on distingue plusieurs types de scintigraphie. Mais dans notre animation (animation 4), nous ne donnons que trois exemples :

- ✓ Scintigraphie myocardique qui utilise le thallium comme traceur.
- ✓ Scintigraphie thyroïdienne qui utilise l'iode radioactif comme traceur.
- ✓ Scintigraphie osseuse qui utilise le technétium comme traceur.

Remarque :

L'examen scintigraphique est moins dangereux que l'examen radiologique. Car dans l'examen radiologique, c'est le gamma caméra qui émet des rayonnements vers l'organisme. Alors, pour un traitement de longue durée, l'organisme est détruit par ces rayonnements.

Dans l'examen scintigraphique, c'est le marqueur qui émet des rayonnements vers le gamma caméra. Les éléments radioactifs utilisés ont, le plus souvent, une période radioactive très courte et ne restent pas longtemps dans l'organisme. Par exemple, le technétium a une période radioactive 6h alors son élimination dans l'organisme est rapide.

La figure ci-dessous montre le déroulement d'une scintigraphie ainsi que les étapes à suivre pendant la réalisation des images.

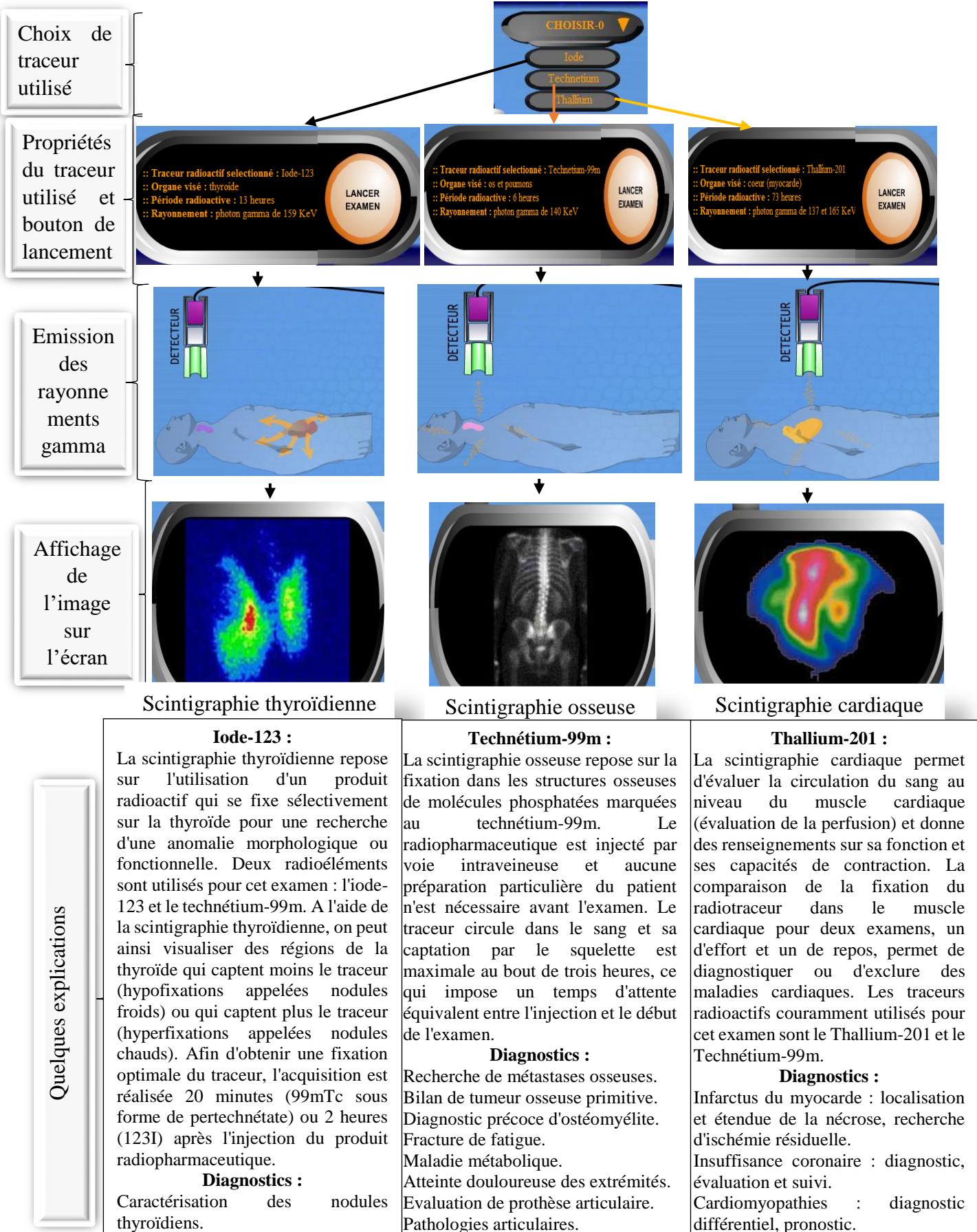


Figure 14 : Déroulement de la scintigraphie.

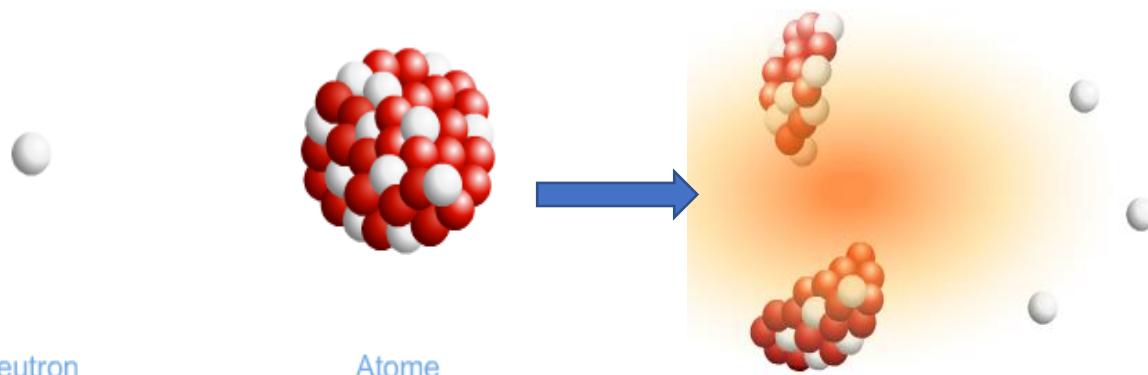
Source : <http://caeinfo.in2p3.fr/IMG/Flash/animations/appmedi/scinti/animScintigraphieFinal.swf>

I.4. Animations utilisées dans le cours de la réactions nucléaires provoquées.

Il existe deux types de réaction nucléaire provoquée : réaction de fission nucléaire et réaction de fusion nucléaire. Pour bien différencier ces deux réactions, pendant notre pratique d'enseignement, nous avons utilisé deux animations flash différentes (animation 5 : « fission.swf » et l'animation 6 : « fusion.swf »). Qu'est-ce qu'on peut faire à partir de ces deux animations ?

I.4.1. Fission nucléaire : (Animation 5).

Premièrement, l'animation 5 nous a aidés à connaitre la définition d'une réaction de fission nucléaire. Elle nous montre ce qui se passe lors de ce type de réaction (division d'un noyau lourd en deux noyaux légers avec émissions des radiations lumineuses et électromagnétiques). Elle montre aussi que cette réaction est accompagnée par un grand dégagement d'énergie. Enfin, elle mentionne que la réaction de fission nucléaire est utilisée dans le réacteur nucléaire. En utilisant cette animation, nous avons obtenu la figure suivante.



A l'origine de la réaction de fission, il y a un projectile, le neutron, qui vient frapper un noyau et le divise en deux parties. Cette réaction est appelée réaction de fission nucléaire. Elle est accompagnée par un dégagement d'énergie et une libération de neutrons. Ces neutrons libérés peuvent produire d'autre réaction de fission nucléaire. On a alors une réaction en chaîne qui est la plus utilisée dans un réacteur nucléaire.

Figure 15 : Processus d'une réaction de fission nucléaire.

Source : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/fission.swf>

I.4.2. Fusion nucléaire : (Animation 6).

Pour enseigner la fusion nucléaire, nous avons l'intention d'utiliser l'animation 5. Cette animation comporte trois boutons différents. Ces trois boutons (précédent, suivant et rejouer la scène) permettent de commander cette animation. On peut appuyer sur le bouton « suivant » pour avancer l'animation, le bouton « précédent » pour retourner dans l'animation précédente et le bouton « rejouer la scène » pour revoir l'animation.

Elle nous aide à comprendre le processus d'une fusion nucléaire. Elle nous montre ce qui se passe lors d'une réaction de fusion nucléaire. Elle mentionne que la réaction de fusion plus accessible pour l'homme est la réaction qui provoque la formation du noyau d'hélium à partir du deutérium et du tritium.

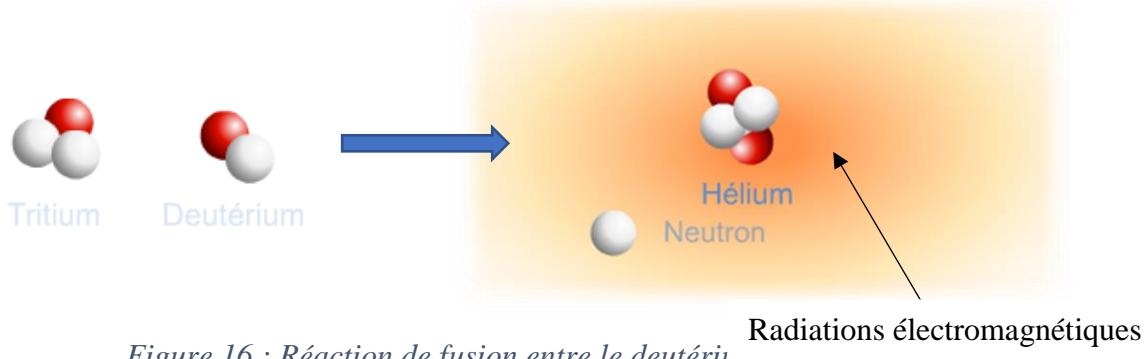


Figure 16 : Réaction de fusion entre le deutérium

Source : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/fusion.swf>

Elle signale que la réaction de fusion nucléaire est difficile à obtenir. Car il faut vaincre la répulsion électrostatique entre les deux noyaux chargés positivement pour pouvoir les rapprocher. Pour que ces deux noyaux puissent fusionner, elle confirme qu'on doit les porter à très haute température de l'ordre de 100 millions de degrés.

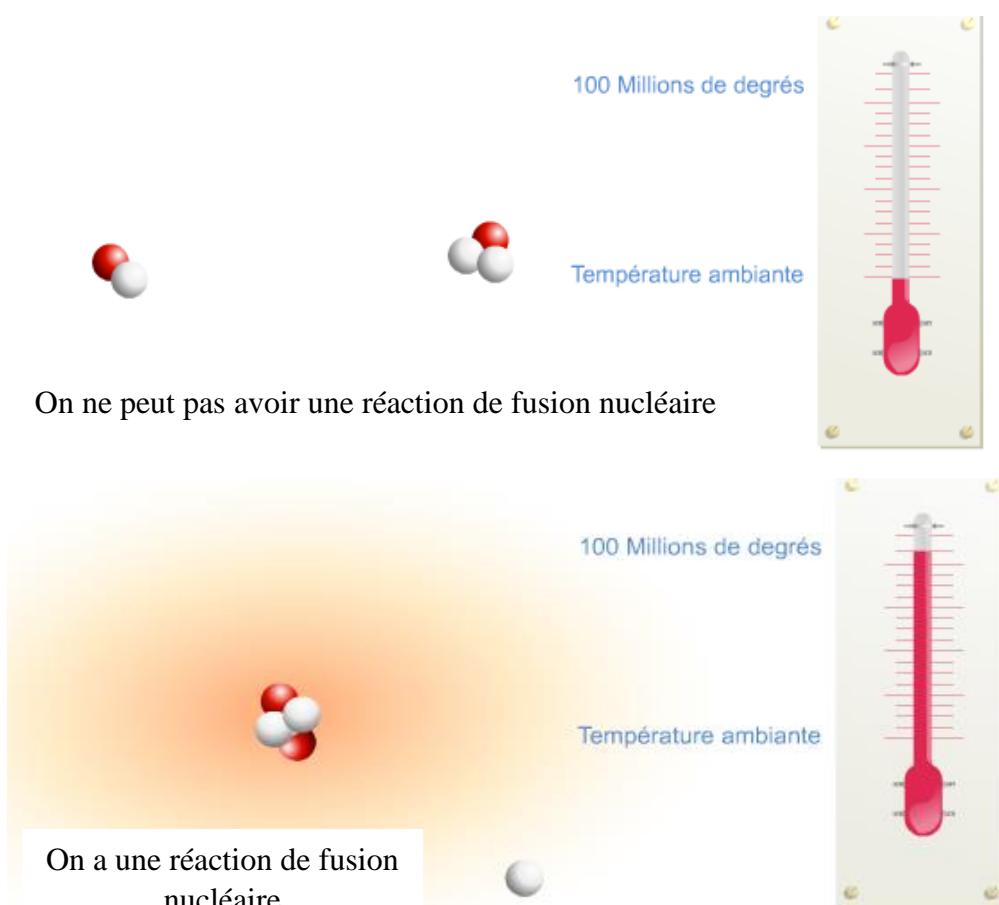


Figure 17 : Condition nécessaire pour avoir une réaction de fusion.

Source : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/fusion.swf>

Elle indique que la réaction de fusion nucléaire se produit dans le cœur du soleil. Car dans ce milieu, on peut avoir une température de l'ordre de plusieurs dizaines de millions de degrés. Le soleil peut émettre des lumières grâce à l'existence des réactions de fusion nucléaire à sa surface.

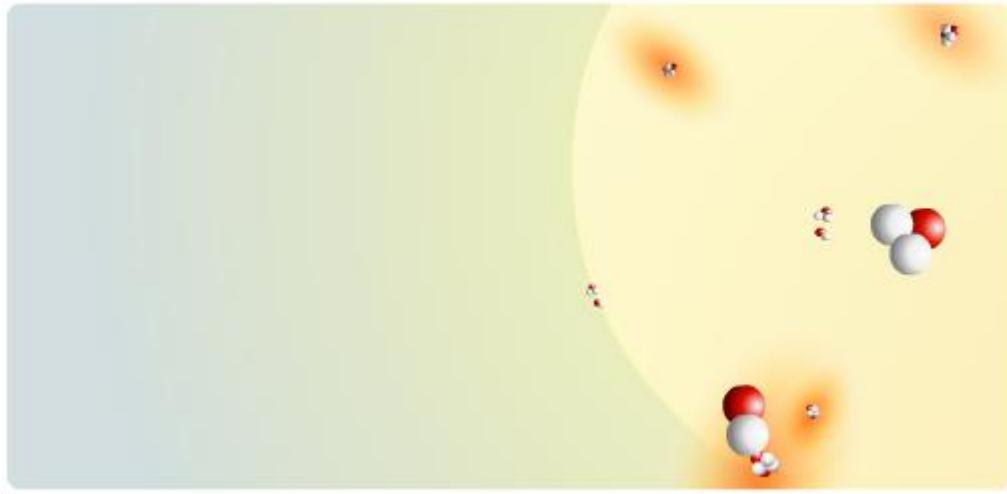


Figure 18 : Réaction de fusion nucléaire au soleil.

Source : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/fusion.swf>

I.4.3. Utilisation de la réaction nucléaire provoquée dans la vie courante : (Animation 7 et animation 8).

La réaction nucléaire provoquée est très utilisée dans la vie courante. Sans la réaction de fusion nucléaire, le soleil ne peut plus éclairer notre planète terre. Et grâce à l'existence de la réaction de fission nucléaire, on peut produire une grande quantité d'énergie thermique et électrique.

La réaction de fission nucléaire est utilisée dans un réacteur nucléaire pour pouvoir produire des énergies électriques. Nous allons voir en détail le mode de fonctionnement du central nucléaire.

La fission nucléaire libère une quantité d'énergie considérable sous forme de chaleur. Cette chaleur dégagée permet de chauffer de l'eau, dans un circuit primaire fermé, jusqu'à la température de 306⁰. A cette température, cette eau reste encore liquide grâce à un « pressuriser ». Elle sert également de modérateur³.

Dans le circuit secondaire fermé, l'eau est à l'état liquide entre le condensateur et le générateur de vapeur. Ce dernier sert à vaporiser cette eau. Nous tenons à remarquer que cette vapeur acquiert une grande vitesse. Elle permet de faire tourner une turbine. Puis, ces vapeurs arrivent dans le condenseur où ils redeviennent liquides et sont réutilisés dans le circuit primaire.

Le troisième circuit semi-ouvert sert uniquement de refroidisseur pour condenser l'eau du deuxième circuit.

Dans le circuit secondaire, la vapeur d'eau entraîne la rotation de la turbine. Le générateur, relié par cette turbine, est entraîné par cette dernière dans un mouvement analogue. Ainsi, on peut produire un courant électrique.

³ Ralentit les nucléons avant leur collision avec les noyaux d'uranium

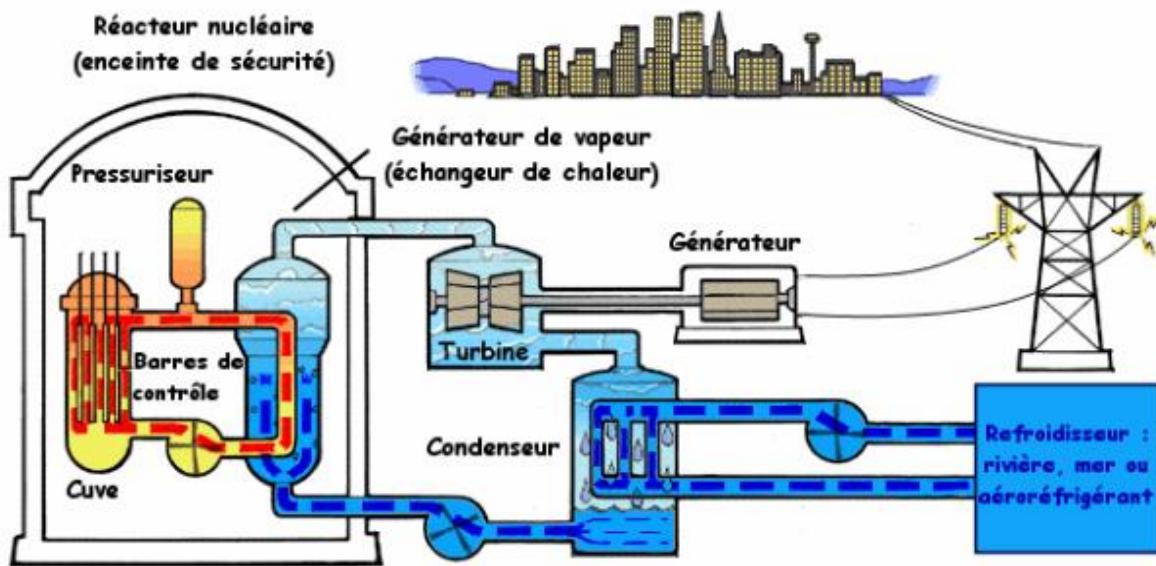


Figure 19 : Fonctionnement d'un réacteur nucléaire.

Source : <http://lenucleaire.wixsite.com/tpe-1s/single-post/2016/1/9/Fission-nucl%C3%A9aire-Application>

Pendant notre pratique d'enseignement, nous avons utilisé deux animations, animation7 « 9-nucléaire.swf », animation 8 : « animation-centrale-nucléaire.swf », pour illustrer aux élèves le fonctionnement d'un réacteur nucléaire. Ces animations confirment qu'on peut produire de l'énergie électrique à partir de la réaction de fission des noyaux d'uranium. Voici une figure qui illustre ce qu'il y a dans ces animations.

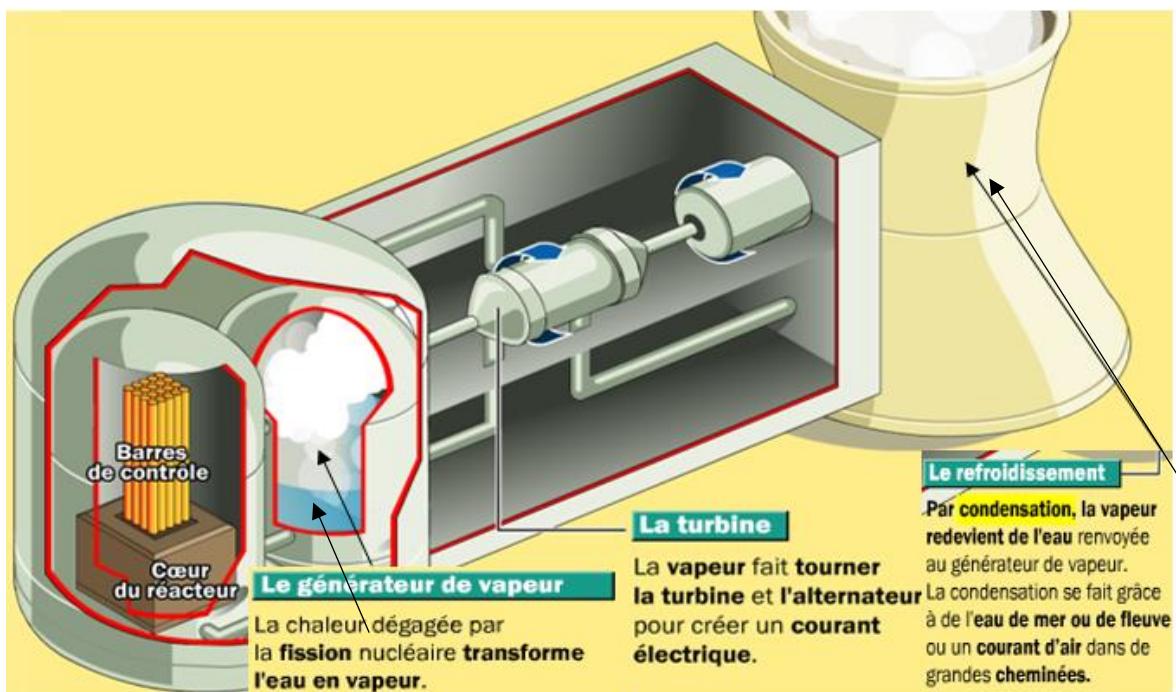
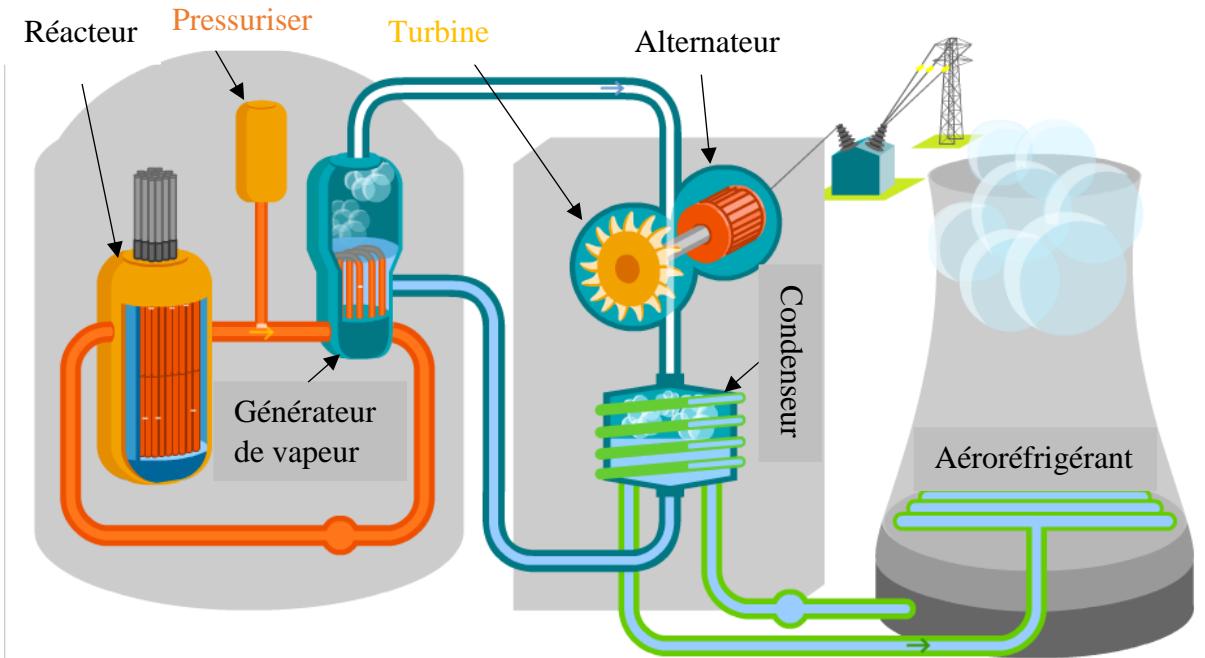


Figure 20 : Production d'énergie nucléaire à partir du noyau d'uranium

Source : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/energies/09-nucleaire.swf>



1 CIRCUIT PRIMAIRE **2 CIRCUIT SECONDAIRE** **3 CIRCUIT TERTIAIRE**

Revoir l'animation Fonctionnement d'une centrale nucléaire (de type eau pressurisée)

<u>Circuit primaire :</u> Fission des atomes.	<u>Circuit secondaire :</u> Production d'électricité	<u>Circuit tertiaire :</u> Circuit de refroidissement
<ul style="list-style-type: none"> ■ Dans le réacteur, la fission des atomes d'uranium 235 produit une grande quantité de chaleur. ■ Cette chaleur fait augmenter la température de l'eau qui circule autour du réacteur. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cette eau chaude chauffe l'eau du circuit secondaire qui se transforme en vapeur. ■ Cette vapeur fait tourner une turbine qui entraîne un alternateur. ■ L'alternateur produit un courant électrique, dont la tension est élevée par un transformateur pour être transportée dans les lignes 	<ul style="list-style-type: none"> ■ A la sortie de la turbine, la vapeur du circuit secondaire est transformée en eau grâce à un condenseur ■ La vapeur peut aussi être refroidie dans les aéroréfrigérants.

Figure 21 : Fonctionnement d'une centrale nucléaire.

Source : <http://www.physagreg.fr/animations/animation-centrale-nucleaire.swf>. Et l'auteur.

Remarque :

Le réacteur nucléaire est constitué de longs tubes, composés des pastilles d'uranium de 1cm de diamètre, de 4m de hauteur. C'est dans ces tubes qu'a lieu la fission nucléaire qui produit de l'énergie. Les barres de contrôle permettent de contrôler la réaction de fission nucléaire dans le réacteur, car elles peuvent absorber les neutrons dégagés par une réaction de fission.

La production d'énergie électrique à partir d'une énergie nucléaire utilise le même principe que la production d'énergie hydroélectrique. Mais la source de cette énergie la différentie.

- L'énergie hydroélectrique est obtenue en transformant une énergie cinétique et une énergie potentielle de l'eau en énergie électrique.
- L'énergie nucléaire est obtenue en transformant l'énergie thermique en énergie cinétique pour avoir une énergie électrique.

Nous espérons que ces animations permettent de rendre concret la P.N.. Elles aident les élèves à connaitre l'utilisation de la P.N. dans la vie courante. Mais cela dépend essentiellement de la manière de ses mises en œuvre. Comment doit-on utiliser ces animations pour qu'elles puissent améliorer l'enseignement et apprentissage des élèves ?

II. Mise en œuvre de notre pratique.

II.1. Approches d'enseignements utilisées.

Pour favoriser les échanges d'idées entre élève-élève, pour augmenter les interactions entre eux, nous avons utilisé l'approche « constructivisme » et « socioconstructivisme ». Nous avons pensé que ces approches d'enseignements permettent de faire participer les élèves.

II.1.1. Constructivism.

Nous avons utilisé l'approche constructivisme de Piaget, car nous avons pensé que la vraie connaissance se construit par ce qui apprennent. L'élève doit être considéré comme artisan de ses connaissances. Cette approche prend en compte les représentations et les conceptions initiales des élèves. Pour faire évoluer leurs représentations, nous avons confronté les apprenants à des situations problèmes. C'est-à-dire, nous ne faisons que favoriser le développement de conflit cognitif chez les élèves.

De plus, selon le modèle constructiviste, l'acquisition des connaissances ne se réalise pas par simple empilement, mais par une réorganisation de conceptions mentales précédentes un travail de construction ou de reconstruction. Selon Doollittle (1999), cité dans Mohammed et Rachid (2015), l'utilisation de cette approche nécessite huit conditions :

- ✓ On doit présenter aux apprenants des situations d'apprentissage complexe similaire à celle qu'ils rencontrent dans la vie courante.
- ✓ On doit favoriser l'interaction et la collaboration entre les apprenants.
- ✓ On doit donner les sens aux apprentissages des élèves.
- ✓ Tout apprentissage doit partir des acquis des élèves.
- ✓ Les élèves doivent bénéficier d'une évaluation formative continue.
- ✓ Les élèves doivent être responsables de leurs apprentissages.
- ✓ Les enseignants sont des guides et des agents qui facilitent l'apprentissage.
- ✓ Revoir des continues et les présenter selon diverses perspectives.

En respectant ces conditions, nous avons pensé que les élèves peuvent construire leurs propres connaissances. Leurs connaissances acquises restent ancrées dans leur mémoire à long terme, car c'est eux même qui les construisent.

II.1.2. Socioconstructivisme.

A part l'approche constructivisme, nous avons utilisé aussi une approche socioconstructivisme. Cette approche, selon Vygotsky, reprend l'idée principale du constructivisme de Piaget en y ajoutant le rôle social des apprentissages. Selon cet auteur, l'apprentissage est vu comme l'acquisition de connaissances grâce aux échanges entre les enseignants et les élèves ou entre élèves. De plus, « les élèves n'apprennent pas seulement grâce à la transmission de connaissances par l'enseignant, mais aussi grâce aux interactions » (Doise & Mugny, 1981). Le rôle de l'enseignant est donc de favoriser le débat entre les élèves (conflit sociocognitif) en les faisant travailler en groupe, mais pas de transmettre tout simplement des connaissances.

Quand les élèves font des « erreurs », l'enseignant ne doit pas les pénaliser. Ces erreurs correspondent également à un point d'appui par la construction de nouvelle connaissance. Sinon, l'enseignant empêche le développement mental des élèves. Il ne doit pas utiliser seulement un modèle transmissif pendant un cours. Selon Bruner (1996), cité dans Mohammed et Rachid (2015), ce modèle place l'enseignant en situation de monopole et cela empêche l'acquisition de l'autonomie des élèves. Pour lui, l'enseignant doit faire en sorte que la tâche soit plus agréable à réaliser avec son aide tout en évitant que l'élève devient dépendant de lui. L'enseignant doit mobiliser, motiver les élèves à effectuer les tâches.

Nous avons donc l'intention d'utiliser cette approche pour favoriser l'apprentissage des élèves et pour rendre les élèves en interaction.

II.2. Méthodes d'enseignements utilisées.

Nous avons utilisé des méthodes d'enseignement interactives pendant notre pratique d'enseignement. Nous avons utilisé une méthode active ou une méthode interrogative selon la partie de la P.N. à enseigner.

Partie 1 : Le noyau atomique

Pour faire le cours sur le noyau atomique, nous avons utilisé l'animation « atome a radioactive.swf ». Pour exploiter cette animation, nous avons utilisé une méthode d'enseignement « interrogative ». Nous avons proposé quelques activités aux élèves en leur distribuant quelques questions (version papier annexe 4). Nous avons impliqué les élèves dans une situation pour qu'ils puissent utiliser leurs compétences et les faire évoluer au cours de notre séance d'enseignement et apprentissage.

Nous avons utilisé aussi cette méthode d'enseignement dans cette partie, car cette méthode favorise le passage des messages dans la mémoire à long terme des apprenants. Elle favorise l'utilisation de l'ensemble de sens, en particulier du visuel, ce qui permet une meilleure structuration de l'information et une rapide intégration des messages dans le mémoire à long terme.

Notre objectif, pour chaque question, c'est d'inciter les élèves à rechercher les éléments constitutifs d'un atome ainsi que les éléments constitutifs d'un noyau atomique. Elles suscitent les élèves à rechercher des explications à propos de la question : pourquoi le noyau atomique est compact (les protons et les neutrons sont combinés) alors qu'il est composé de particules de

même charge ? De plus, elles poussent les élèves à connaitre qu'il y a deux états de noyau (noyau instable et noyau stable). Sur ce, notre question c'est que dans quelle condition un noyau est stable ou instable ? Qu'est-ce qui se passe quand un noyau est instable ?

Partie 2 : phénomène de décroissance radioactive :

Nous avons utilisé une méthode active et une méthode interrogative pour enseigner cette partie. Notre objectif c'est de faire réfléchir les élèves à propos de ce qui se passe vraiment lors d'une réaction de désintégration nucléaire. En utilisant l'animation 1 et l'animation 3, quel type des particules et des rayonnements peuvent-ils expulser lors d'une désintégration nucléaire ? Quelles sont les propriétés de chaque rayonnement émis ? Dans quel domaine peut-on utiliser la radioactivité nucléaire ? En manipulant l'animation 4, à quoi servent les rayonnements émis lors d'une désintégration nucléaire dans la vie courante ? Notre protocole de recherche est rapporté dans la page annexe de notre travail (annexe 4).

Partie 3 : Réaction nucléaire provoquée :

Pour cette partie, nous avons pratiqué la méthode d'enseignement active proprement dite. Sur ce, nous avons utilisé quatre animations : animation 5, animation 6, animation 7 et animation 8. Notre objectif est, après l'utilisation de ces animations numériques,

- ✓ L'élève devra être capable de définir une réaction de fission nucléaire et celle d'une fusion nucléaire.
- ✓ L'élève devra être capable de comparer la réaction de fission nucléaire à celle d'une fusion nucléaire.
- ✓ L'élève devra être capable d'expliquer l'origine de l'éclairement du soleil.
- ✓ L'élève devra être capable d'analyser le fonctionnement d'un réacteur nucléaire.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons laissé les élèves regarder et discuter de ce qu'il y a dans ces trois animations. Pendant ce temps, nous avons observé ce qu'ils (élèves) font. Nous les avons aidés en cas de difficulté (mauvaise manipulation sur ordinateur).

II.3. Description de notre pratique.

Nous avons repris les quatre groupes d'élèves auparavant (groupe d'élèves pendant la réalisation de l'exercice d'évaluations). Chaque groupe est constitué de cinq élèves qui ont des conceptions différentes à propos de la P.N.. Il s'agit donc de groupes hétérogènes.

Nous avons laissé les élèves à travailler en groupe, car ce travail nous permet de nous'appuyer sur les connaissances déjà existantes chez les élèves pour le faire évoluer. Dans ce travail, les participants peuvent partager leurs expériences et s'enrichissent mutuellement.

En général, pendant notre pratique, nous avons divisé une séance en trois parties. Dans la première partie, nous avons présenté aux élèves l'objectif général du cours. Nous avons proposé quelques chemins à suivre pour atteindre ses objectifs. Nous avons donné des consignes aux élèves. Pendant ce temps, il y a une interaction entre nous et les élèves. Quand tout est précis, nous avons passé dans la seconde partie.

Dans la seconde partie du cours, nous avons laissé les élèves travailler et manipuler sur ordinateur dans la salle de médiathèque. Les élèves vont faire les activités que nous avons

distribuées. Ils lancent et regardent l'animation flash avec trois fois de répétition au minimum. Puis, nous avons laissé les élèves discuter entre eux à propos de ces activités. Pendant ce temps, ils interagissent, confèrent pour accomplir les activités demandées. Nous ne faisons qu'aider les élèves en cas de difficulté. Et quand tous les groupes finirent leurs activités, nous avons passé dans la troisième partie.

Dans la troisième partie du cours, nous avons fait une discussion d'ensemble à propos de ces activités (chaque rapporteur du groupe va présenter ce qu'il a fait). Nous avons confronté les idées de chaque groupe. Notre objectif dans cette partie c'est de faire émerger leurs opinions à propos de ces activités, d'évaluer le travail de chaque groupe. Grâce à cette discussion, nous avons pu évaluer l'efficacité ou non de notre proposition d'une nouvelle méthode d'enseignement.

II.4. Résultats obtenus lors de la discussion d'ensemble avec les élèves.

II.4.1. Participation des élèves.

Pendant la réalisation de ce travail de groupe, nous avons utilisé la même grille d'observation qu'auparavant (grille d'observation du l'exercice d'évaluation). Cette grille permet de voir la participation des élèves durant le travail de groupe. En utilisant cette grille d'observation, nous avons obtenu les résultats suivants :

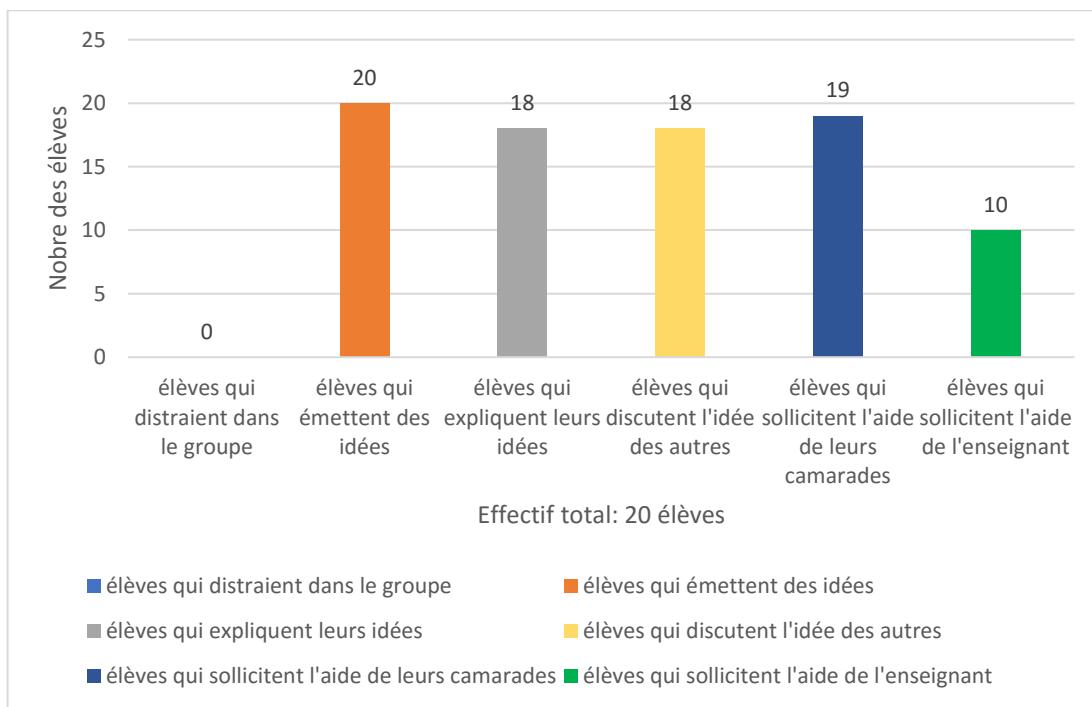


Figure 22 : Participation des élèves pendant le travail de groupe

Cette figure nous montre que, pendant le travail de groupe, la totalité des élèves participe. Ils collaborent, interagissent pour accomplir les activités dont on leur demande de le faire. Aucun élève parmi les vingt distracte pendant ce travail. Nous avons remarqué aussi qu'il n'y a que dix élèves parmi les vingt qui sollicitent l'aide de l'enseignant (Aide sur la manipulation de l'animation sur ordinateur). Comment sont alors les résultats de notre pratique pour chaque partie de la P.N. dont on a enseigné ?

II.4.2. Résultats de chaque partie de la P.N. traitée.

a) Résultat de la partie 1 : Le noyau atomique.

A propos de cette partie, nous avons posé quatre questions aux élèves. A chaque question, nous avons attribué une note. La répartition de cette note est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Répartition des notes pour chaque question de la partie 1.

Questions	Réponses attendues	Note attribuée
Q1	- Protons - Neutrons	1pt (0,5 pt + 0,5pt)
Q2	- Interaction nucléaire ou force de cohésion	1pt
Q3	- Si l'interaction nucléaire est insuffisante pour maintenir les nucléons en ensemble. - Si le noyau contient trop des particules - Si le noyau renferme trop d'énergie	1,5 pts (0,5 pt pour chaque réponse)
Q4	- Il libère de l'énergie en émettant des rayonnements - Il émet des particules - Il émet des radiations électromagnétiques	1,5 pts (0,5 pt pour chaque réponse)
Total		5pts

Après le travail de groupe fait par les élèves, nous pouvons représenter à l'aide de l'histogramme ci-dessous les résultats obtenus. Il représente les différentes valeurs de la somme des notes obtenues par chaque groupe.

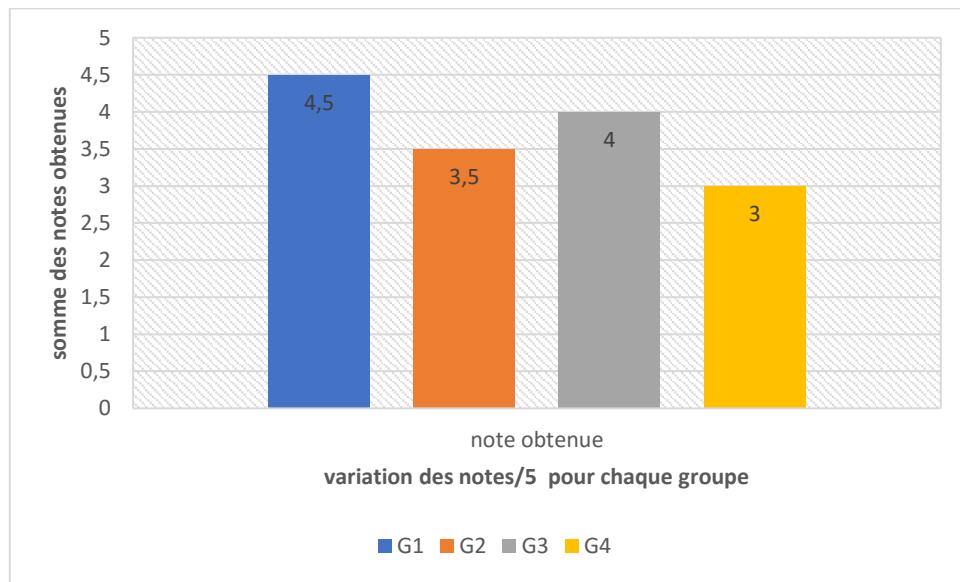


Figure 23 : Variation des notes de chaque groupe concernant le noyau atomique

Nous avons alors observé que chaque groupe a eu la moyenne. Chaque groupe a pu répondre à notre question. Après notre discussion d'ensemble ; la confrontation des idées de

chaque groupe ; nous avons pu compléter et corriger les conceptions des élèves à propos du noyau atomique.

b) *Résultat de la partie 2 : Phénomène de décroissance radioactive.*

Sur cette partie, nous avons posé dix questions aux élèves (Q5-Q14). La question Q5 consiste à pousser les élèves à rechercher la définition de la radioactivité. La question Q6 jusqu'à la question Q10 aide les élèves à connaître les différentes formes d'une radioactivité ainsi que les propriétés de chacune d'elle. La question Q11 jusqu'à la question Q14 incite les élèves à rechercher l'utilisation de la radioactivité dans la vie courante. Le tableau suivant représente les notes obtenues par chaque groupe.

Tableau 3 : Répartition des notes obtenues par chaque groupe pour chaque question.

	Q5/ 2	Q6/ 3	Q7/ 7	Q8/ 3	Q9/ 3	Q10/ 2	Q11/4	Q12/1	Q13/3	Q14/9	Total/ 37
G1	1,5	3,0	7,0	3,0	3,0	1,0	4,0	1,0	2,0	9,0	34,5
G2	2,0	3,0	5,0	3,0	2,5	1,0	4,0	1,0	2,0	9,0	31,5
G3	1,0	3,0	5,0	3,0	3,0	1,5	4,0	1,0	3,0	9,0	33,5
G4	2,0	3,0	6,0	3,0	2,5	1,0	4,0	1,0	2,0	9,0	33,5

Codage : G1 : groupe 1 ; G2 : groupe 2 ; G3 : groupe 3 ; G4 : groupe 4 ; Q5 : Question n°5, Q6 : Question n°6 ; Q7 : Question n°7 ; Q8 : Question n°8 ; Q9 : Question n°9 ; Q10 : Question n°10 ; Q11 : Question n°11 ; Q12 : Question n°12, Q13 : Question n°13 et Q14 : question n°14

La figure ci-dessous montre les résultats de notre recherche. Il représente la somme des notes, sur 37, obtenues par chaque groupe.

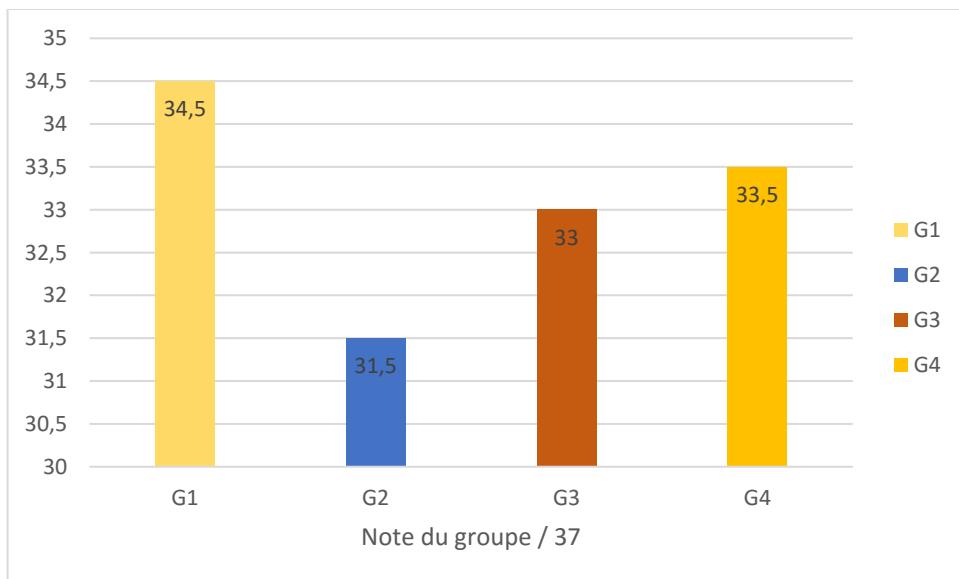


Figure 24 : Note obtenue par chaque groupe concernant le phénomène radioactif

Cette figure montre qu'après le travail de groupe fait par les élèves, chaque groupe arrive à trouver des réponses adéquates à notre question. Le problème que nous avons vu c'est que chaque groupe a confondu le rayonnement émis à celle de la radiation électromagnétique. Dans

la question n°7, 3 parmi les quatre groupes ont négligé l'existence d'une radioactivité β^+ qui est accompagnée par l'émission d'antiélectron. Deux groupes parmi les quatre ont des problèmes sur l'écriture de l'équation bilan d'une désintégration gamma. Un groupe parmi les quatre a souvenu que le nombre du noyau décroît exponentiellement avec le temps. Alors que les trois autres ont affirmé qu'il varie inversement proportionnel avec le temps. Mais à part tout cela, nous avons convaincu que chaque groupe arrive à savoir ce qui se passe lors d'une désintégration nucléaire. De plus, chaque groupe est capable d'analyser l'utilisation de la radioactivité dans la vie courante.

c) *Résultat de la partie 3 : Réaction nucléaire provoquée*

Sur cette partie, nous avons posé quatre questions aux élèves. Ces questions ont pour but d'encourager les élèves à comparer la réaction de fission nucléaire à celle d'une réaction de fusion nucléaire. Elles incitent les élèves à rechercher ce qui se passe vraiment lors d'une réaction nucléaire provoquée (fission ou fusion nucléaire) et à viser ses utilisations dans la vie courante (voir annexe 4). Nous avons évalué le travail de chaque groupe en lui attribuant des notes. Nous avons représenté à l'aide d'un histogramme (figure 25) la variation des notes obtenues par chaque groupe. Il montre que l'utilisation des animations numériques favorise l'acquisition des connaissances des élèves à propos de la réaction nucléaire provoquée. Grâce à l'utilisation des animations numériques, chaque groupe est capable de savoir ce qui se passe lors d'une réaction nucléaire provoquée, et de connaître son utilisation dans la vie courante.

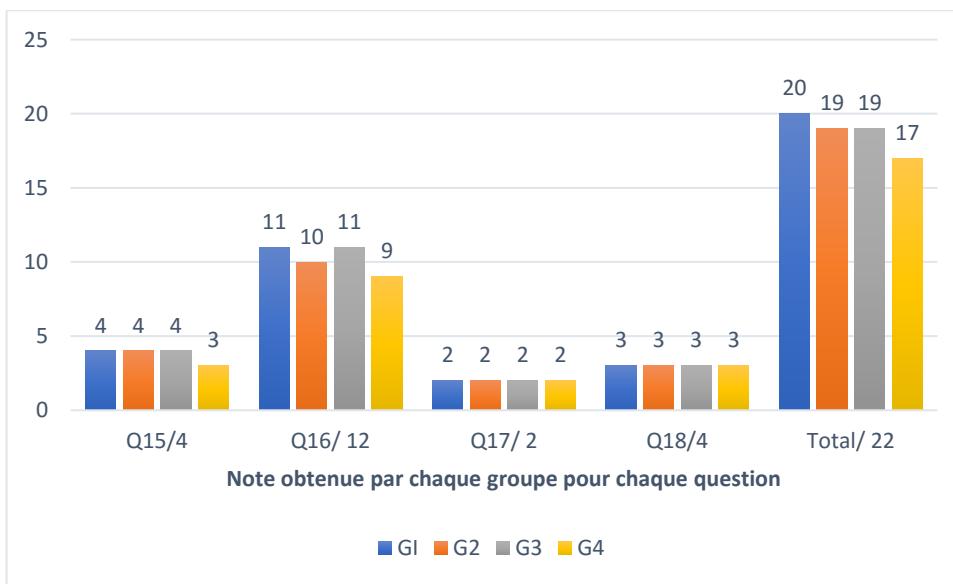


Figure 25 : Variation des notes de chaque groupe concernant la réaction nucléaire provoquée.

III. Evaluation des acquis et interprétation des résultats obtenus.

III.1. Evolution de la conception des élèves à propos de la P.N..

Une semaine après notre pratique d'enseignement, nous avons évalué le changement de conceptions et de représentations de chaque élève. Pour le faire, nous avons redistribué, aux élèves, notre questionnaire (voir annexe 1). Nous avons collecté, analysé les résultats obtenus puis nous avons comparé ces résultats avec les résultats que nous avons déjà obtenus auparavant

(résultat du questionnaire avant notre intervention). Le diagramme ci-dessous montre cette comparaison.

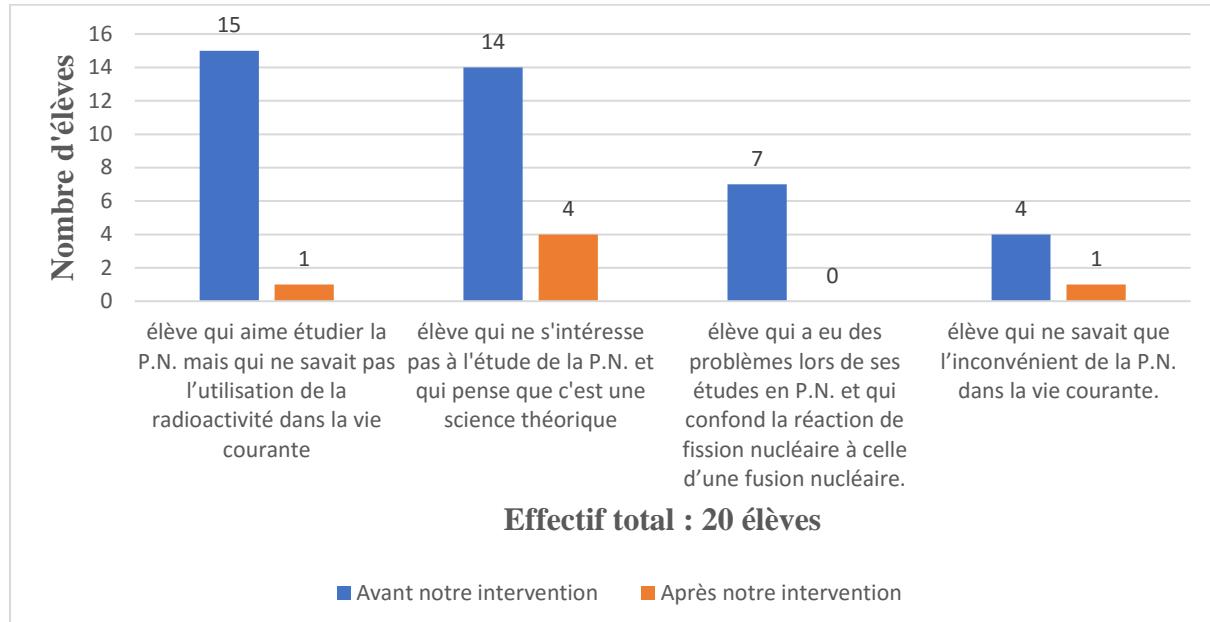


Figure 26 : Comparaison de la conception des élèves avant et après notre intervention.

Cette figure nous a permis de dire que l'utilisation des animations numériques animées permet de changer la représentation des élèves à propos de la P.N.. Il n'y a que quatre élèves parmi les vingt qui ne s'intéressent pas à étudier la P.N. et qui pensent qu'elle est une science théorique. Selon eux, La P.N. est une science théorique, car il s'agit d'une « resabe angalana diploma fotsiny » et pendant le cours, l'enseignant ne réalise plus d'expérience réelle. De plus, 1/4 de ces élèves a remarqué qu'on ne peut pas expérimenter réellement le phénomène physique étudier en P.N.. Un élève parmi les vingt pense que l'utilisation de la P.N. dans la vie courante nécessite beaucoup de précautions.

III.2. Résultats obtenus à partir de la partie A et B de notre questionnaire.

Dans la suite, nous avons comparé les résultats de notre enquête pour chaque partie de notre questionnaire. Dans un premier temps, nous avons fait une analyse comparative des résultats obtenus dans la partie A de notre questionnaire avant et après notre intervention ainsi que celle de la partie B. Pour représenter la différence des résultats obtenus dans cette analyse, nous avons illustré ces résultats à l'aide d'histogramme suivant.

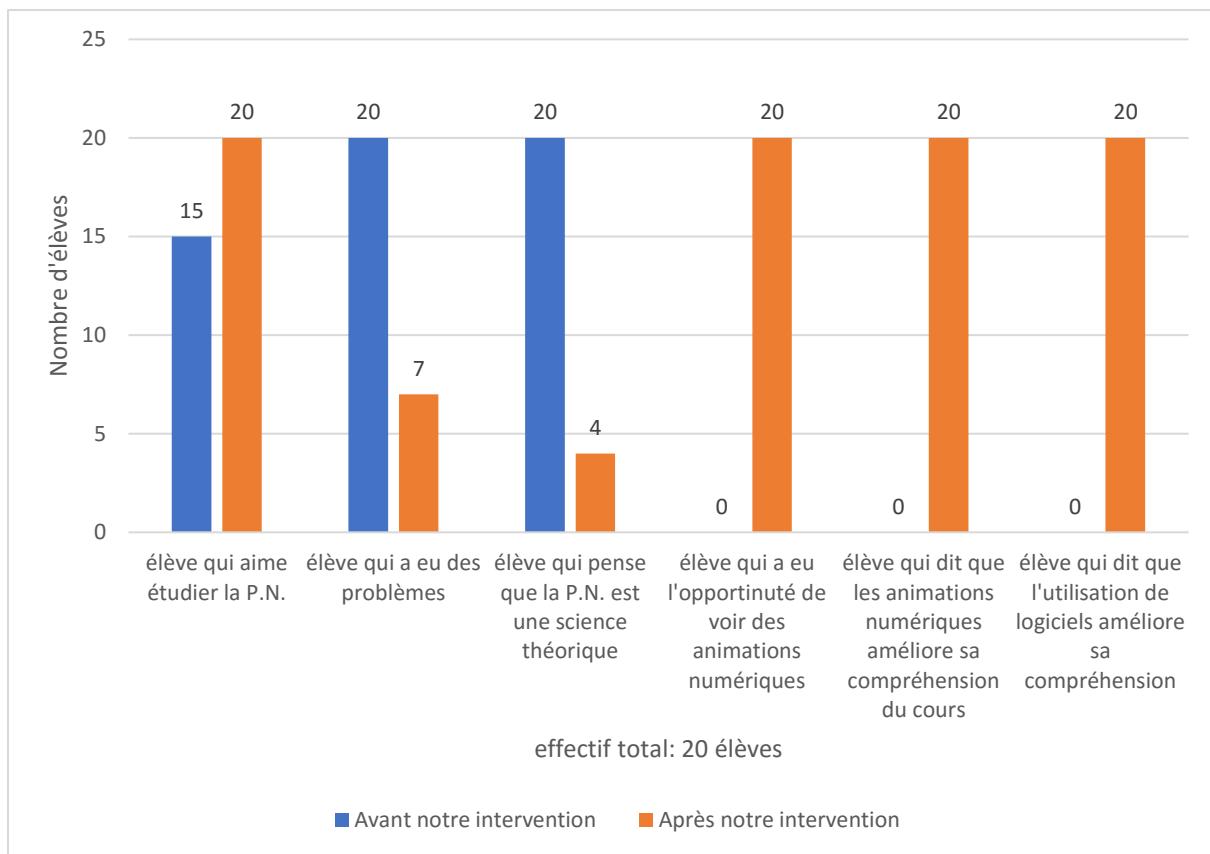


Figure 27 : comparaison des résultats obtenus avant et après notre intervention concernant la partie A et B de notre questionnaire.

Cette figure montre qu'après l'utilisation des animations numériques, la totalité des élèves (20/ 20 élèves) aime étudier la P.N.. Il n'y a que 7 élèves qui ont eu des problèmes lors de ses études en P.N.. Leur problème se focalise surtout sur les calculs à faire et les formules à utiliser. Alors, ces animations permettent de rendre concret cette science, mais elles ne permettent pas de rendre facile les calculs à faire.

III.3. Résultats obtenus à partir de la partie C de notre questionnaire : Utilisation de la P.N. dans la vie courante.

Pour évaluer ce qui a été ancré dans la mémoire de chaque élève à propos de l'utilisation de la P.N. dans la vie courante, et à propos de ce qui se passe lors d'un phénomène physique étudié dans ce module d'enseignement, nous avons analysé les résultats obtenus à partir de la partie C de notre questionnaire. Les résultats de cette analyse seront présentés dans la figure suivante.

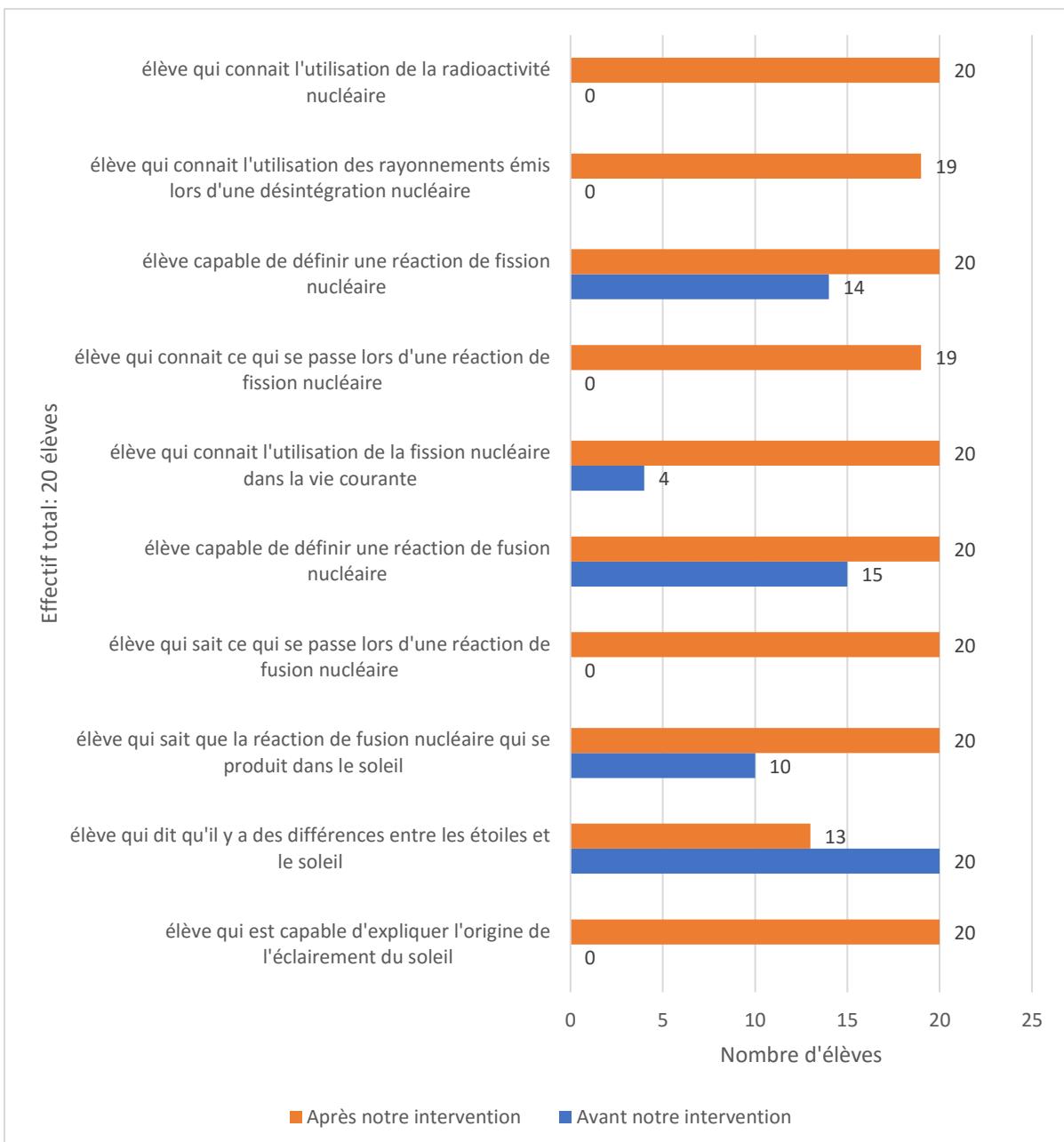


Figure 28 : Comparaison des résultats obtenus avant et après notre intervention concernant l'utilisation de la P.N. dans la vie courante.

Cette figure nous affirme que l'utilisation des animations numériques permet d'une part de concrétiser la P.N. et d'autre part d'illustrer son utilisation dans la vie courante. Grâce à elle, la totalité de ces élèves connaît l'utilisation de chaque phénomène physique étudié en P.N.. Elle favorise donc la compréhension des élèves.

III.4. Discussions et perspectives.

Par le biais des réponses aux questionnaires distribués, les élèves de la série scientifique rencontrent beaucoup de problèmes lors de ses études en P.N.. D'abord, ils ne savent pas vraiment à quoi sert la P.N. dans leur vie et se démotivent face à cela. Ensuite, leurs conceptions initiales ne sont pas prises en compte lorsque l'enseignant utilise une méthode d'enseignement magistrale ou traditionnelle. De plus, l'enseignement de la P.N. présente souvent une

insuffisance au niveau des matériels didactiques. Les enseignants ont alors une tendance à utiliser tout simplement une méthode d'enseignement classique. Leur cours théorique et magistral ne permet plus d'illustrer la P.N.. Les élèves y restent passifs et les connaissances acquises ne restent pas ancrées dans leur mémoire à long terme. Face à ce problème, il est souhaitable de proposer une nouvelle procédé d'E/A de cette science, c'est l'utilisation des animations numériques illustrant la P.N. dans la vie courante. L'utilisation de ces animations présente des avantages et aussi des inconvénients.

III.4.1. Avantages.

L'utilisation des animations numériques est bénéfique pour les élèves. Elles concrétisent la P.N. et favorisent aussi l'acquisition des connaissances des élèves. Grâce à elle, les élèves sont capables de connaitre ce qui se passe vraiment lors de phénomènes physiques étudiés dans la P.N.. Ensuite, en analysant ces phénomènes ils arrivent à appréhender leur avantage et leur inconvénient, ainsi que leur utilisation dans la vie courante.

Les animations se présentent sous forme ludique et attrayante pour les élèves. En les manipulant, leurs degrés de motivations à apprendre la P.N. augmentent puisqu'ils construisent eux-mêmes leurs propres connaissances et l'enseignant n'intervient que rarement pendant la séance.

L'utilisation des animations présente une bonne façon d'encourager les apprenants à apprécier la science physique et de faire participer les élèves qui n'ose pas prendre la parole en lui de poser des séries de questions à propos de ce qu'il y a dans chaque animation.

Le dernier, mais pas le moindre, elles permettent de pallier les manques des matériels didactiques pour faire des illustrations du cours.

Ainsi, les animations numériques développent un esprit scientifique chez les élèves. Elles augmentent leurs motivations à apprendre en développant leur autonomie, tout en contribuant à la vulgarisation scientifique moderne.

III.4.2. Inconvénients.

Malgré ces nombreux avantages, les animations numériques présentent aussi des inconvénients. Elles ne sont qu'une modélisation simplifiée de la réalité. Elles ne sont pas perceptibles qu'avec l'œil contrairement aux activités expérimentales qui sont perceptibles avec tous les autres sens.

La recherche des animations numériques et leur élaboration présentent un autre inconvénient. Ils nécessitent beaucoup de temps. Leur recherche s'avère parfois difficile, car elles ne contiennent pas toujours les informations nécessaires à l'atteinte des objectifs spécifiques présents dans le programme scolaire. Parfois, les animations numériques cohérentes avec ces objectifs spécifiques ne sont pas accessibles à tous. Elles sont visibles sur internet, mais sont non téléchargeables. Nous avons rencontré ce problème au cours de la recherche d'animation numérique permettant de visualiser le fonctionnement d'un examen scintigraphique. De plus, certaines animations sont sélectives par rapport aux matériels utilisés. Elle exige alors beaucoup de préparation de la part des enseignants.

L'utilisation de ces animations numériques nécessite des outils en TIC ainsi que des notions de base en informatique, nécessite aussi de la part de l'élève une maîtrise des outils informatiques qui pourrait interférer dans l'atteinte des objectifs spécifiques visés par le cours, surtout vis-à-vis du temps. Enfin, elle nécessite de l'électricité.

III.4.3. Perspectives.

Vu les avantages de l'utilisation des animations numériques supra, nous recommandons l'élaboration d'un nouveau programme scolaire les utilisant.

Par rapport à la difficulté de la recherche de ces animations, il serait avantageux de créer, préalablement, au cours de l'élaboration de ce programme, des animations numériques appropriées à quelques chapitres.

Plusieurs études menées ont permis de conclure que l'utilisation des animations numériques, des bandes dessinées et/ou des documents sur papier en même temps permet d'avoir de meilleurs résultats. Nous recommandons alors d'élaborer des documents d'accompagnements pour chaque animation numérique à utiliser. L'enseignant doit élaborer des séries de questions permettant d'exploiter les contenus cachées dans l'animation.

Conclusion

Nous avons réalisé notre travail dans le but d'illustrer l'utilisation de la P.N. dans la vie courante et d'améliorer l'enseignement et apprentissage de ce module d'enseignement au lycée. Ainsi, nous avons posé la question suivante : quel procédé, quel moyen doit-on utiliser pour atteindre ces objectifs ?

Pour répondre à cette question, nous avons fait deux observations différentes des séquences d'enseignements et apprentissage de la P.N. au lycée. Ces observations nous ont incités à faire une enquête à l'aide de questionnaire, auprès d'élèves de TD afin de déterminer leurs représentations sur la P.N. et leurs principaux problèmes pour l'apprendre. Pour trouver des solutions à ces problèmes, et pour déstabiliser les fausses représentations, nous avons élaboré dans un premier temps, des exercices qui illustrent l'utilisation de la P.N. dans la vie courante. Ensuite, nous avons utilisé des animations numériques pour confirmer tout ce qui a été écrit dans ces exercices.

Avec les résultats de notre recherche, nous avons pu constater, chez les élèves des effets positifs sur l'utilisation de ces animations à la fois sur le plan pédagogique que sur le plan personnel. D'une part, elles augmentent la motivation des élèves à étudier la P.N. et leur permettre de construire leurs propres connaissances avec le minimum de participation de la part de l'enseignant. D'autre part, elles suscitent chez les élèves un esprit d'analyse et favorisent leur compréhension du cours. Et cela répond parfaitement à notre question de recherche.

Nous pensons alors que ces animations numériques peuvent aider les enseignants dans leur travail et leur offrent le moyen de pallier l'insuffisance des matériels didactiques pour illustrer le cours. Nous espérons aussi qu'elles suscitent chez les élèves un certain intérêt pour l'étude de la P.N., car elles sont attrayantes, plus ludiques et accessibles à tous.

Néanmoins, l'utilisation de ces animations numériques présente des limites. Elle nécessite beaucoup de temps de préparation par l'enseignant. Ce dernier doit savoir par cœur tous les contenus de ces animations, être capable de manipuler ainsi que de naviguer sur ordinateur. De plus, trouver des animations toutes faites qui correspondent aux objectifs spécifiques visés par le programme scolaire n'est pas toujours facile. De ce fait, l'enseignant est souvent obligé de concevoir lui-même les animations, ou au moins, y apporter des modifications. Une maîtrise de notions de base en informatique et en logiciels lui est indispensable. Elle nécessite aussi de la part de l'élève une maîtrise des outils informatiques qui pourrait interférer dans l'atteinte des objectifs spécifiques visés par le cours, surtout vis-à-vis du temps. Le dernier, mais pas le moindre, l'utilisation de ces animations nécessite de l'électricité, des outils de TIC et beaucoup de temps pour sa recherche, pour sa préparation et pour sa réalisation.

Malgré que cette étude ait été menée à une échelle restreinte, les résultats de cette recherche sont satisfaisants du point de vue pédagogique et nous recommandons son utilisation dans le programme scolaire. Des animations numériques devraient être préconçues par une équipe pour dépasser les limites citées supra.

Références

- Adam, J.-C et al. (2004). Phénomènes physiques, théories et modèles. *Rapport de conjoncture*. 02, 140-141. Consulté le 29 janvier 2018 sur le site : www.cnrs.fr/comitenational/doc/rapport/2004/rapport/.../0137-0154-Chap02.pdf
- Astolfi, J.-P. (1989). *Apprendre par franchissement d'obstacles*. Consulté le 28 juin 2018 sur le site : http://ife.enslyon.fr/publications/editionelectronique/reperes/INRP_RS005_7.pdf
- Bachelard, G. (2004). La formation de l'esprit scientifique. Dans H. Gauthier et F.-F. Courtine (dir), *contribution à une analyse de la connaissance* : Paris : France (p 112) : *Bibliothèque des textes philosophiques*.
- Bernardin, J. (2002). *Comment les enfants rentrent dans la culture écrite*. Paris : Retz.
- Bessis, J. (1978). *Manuel de physique nucléaire*. Paris : Eyrolles.
- Bramand, P., Durandeau, J-P., Faye, Ph., Thomassier, G. (1989). *Physique Terminale C et E*. Paris : Hachette.
- CEA. (2003). *Animation sur la fusion – CEA*. Consulté le 20 février 2018 Sur le site : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/fusion.swf>
- CEA. (2003). *La fission-CEA*. Consulté le 20 février 2018 sur le site : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/fission.swf>
- Centrale nucléaire – Physagreg. Consulté le 16 juin 2018 Sur le site : <http://www.physagreg.fr/animations/animation-centrale-nucleaire.swf>
- Cina, A. (2011). *Apprendre en Sciences. Le modèle allostérique ; facteur de changement conceptuel ?* (Mémoire). Université de Maurice :
- Compaoré, G. (2008). Méthodes et techniques pour l'enseignement des sciences physiques. *Ressources didactiques*. Consulté le 08 avril 2018 sur le site : <http://lewebpedagogique.com/compgreg/2008/12/27/methodes-et-techniques-pourlenseignement-des-sciences-physiques/>
- Coup, J., Ambare, H., Duriaud, B., Hervé, N., Jean, A., Malvezin, E., & Paul, J.C. (2002) : *Physique T^{erme} S programme 2002, enseignement obligatoire*. Italie : Bordas.
- Cours de Radioactivité – LPSC. (2009-2010). Consulté le 29 avril 218 sur le site : <https://lpsc.in2p3.fr/schien/PHY113a/Cours%20radioactivite%202009-2010.pdf>
- De l'atome à la radioactivité-CEA. Consulté le 17 janvier 2018 sur le site : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/radioactivite/atome%20a%20radiactivite.swf>
- De Vecchi, G., & Giordan, A. (2002). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que "ça marche ?"*. Paris : Delagrave.
- Doise, W. & Mugny, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence* (1). Paris : InterEditions
- Fission nucléaire_Application_tpe_1s*. Consulté le 28 juin 2018 sur le site : <http://lenucleaire.wixsite.com/tpe-1s/single-post/2016/1/9/Fission-nucl%C3%A9aire-Application>

- Flamérion, L. (2004). *Les différentes méthodes d'enseignement en science physique au lycée* (Mémoire de DEA). Bourgogne : IUFM. Consulté le 29 janvier 2018 sur le site : https://www2.espe.u-bourgogne.fr/doc/mémoire.04/04_03STA16216.pdf.ok.
- Giordan, A. (1993). *Les conceptions des apprenants dans la pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris : ESF, p. 264.
- Houssaye, J. (1993). *Le triangle pédagogique ou comment apprendre la situation pédagogique dans la pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris : ESF, p.20- p.22.
- Hulin, N. (1991). La constitution et les débats de la commission Lagarrigue (1969-1971) ou du rôle moteur des sociétés savantes. *Bulletin de l'union des physiciens*, N° 730 (1).
- Louis, N. (1989). *L'enseignement répondant*. Paris : PUF.
- LPCC. (2017). Cliquer pour lancer l'animation sur la scintigraphie – LPC Caen. Consulté le 04 avril 2018 Sur le site : <http://www.lpc.caen.in2p3.fr/IMG/Flash/animations/appmedi/scinti/animScintigraphieFinal.swf>
- Ministère de l'éducation nationale. (1996). *Programme scolaire terminale*. Antananarivo : Unité d'étude et recherche pédagogique.
- Mohammed, C., Mohammed, L. Rachid, J.-I. (2015). *L'évolution des théories de l'apprentissage à l'ère du numérique*. Consulté le 03 juin 2018 sur le site : <https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1502b.htm>.
- Tatchou, G. (2004). *Conceptions d'élèves du secondaire sur le rôle de l'expérience en sciences physiques*. Université Cheick Anta Diop Dakar.
- Quelques applications de la radioactivité et des ...-CSNSM-IN2P3. Consulté le 03 Mai 2018 sur le site : <https://www.csnsm.in2p3.fr/IMG/pdf/radioactivite-2007-applications-web.pdf>
- Réaction nucléaire-CEA. Consulté le 04 avril 2018 sur le site : <http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/energies/09-nucleaire.swf>
- Rebstein,J.-M et Reginelli, R.(2012). *De l'importance de la pratique expérimentale dans l'enseignement des sciences* (Mémoire professionnel). Haute école pédagogique, Lausanne. Consulté le 28 janvier 2018 sur le site : http://doc.rero.ch/record/234136/files/md_ms2_p22345_p24190_2012.pdf
- Rioul, L. (1983). *Les armes modernes*. Paris : Antropos.
- Roux, E (2013). *Comment faire évoluer les conceptions des élèves ? Les températures de changement d'état de l'eau au cycle 3* (Mémoire Master). Grenoble.
- Tinas, J-L. (2013). *Apprentissage d'un concept scientifique : statut de l'hypothèse dans la démarche d'investigation en science physiques*. Doctorat de l'université Bordeaux. 2.www.theses.fr/2013BOR22051.
- Wushbuch, G. (2014). Réflexion sur la science physique au lycée. *Skholer.fr*.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaires destiné aux élèves.

Anarana sy fanampiny :

.....
Lohahevitra : Fampianarana ny fizika nokleary amin'ny alalan'ny sary mihetsika sy « logiciels »

Fanamarihana :

- ✓ Ny famaliana ireto fanontaniana ireto dia tsy misy fatraikany velively amin'ny fianarana ataonao fa mijanna ho soso-kevitra ihany ahafahana manatsara ny fampianarana fizika.
- ✓ Tsy misy valiny marina na diso amin'ity fanadiadiana ity fa ny zava-dehibe dia ny fanehoanao ny hevitrao. Azo valiana amin'ny teny Malagasy.
- ✓ Vakio tsara ny fanontaniana dia valio araka izay maharesilahatra anao. (Aza manontany olon-kafa)

Ity fanadiadiana ity dia mijanona ho tsiambaratelo tanteraka. (Ce questionnaire est tout à fait confidentiel)

A. Olana mahakasika ny fizika nokleary.

1. Tianao ve ny nianatra ny fizika nokleary? (Est-ce que vous avez aimé étudier la physique nucléaire) ?
 Eny Tsia
2. Nanana olana ve ianao tamin'ny fianarana ny fizika nokleary ? (Est-ce que vous avez eu des problèmes dans l'enseignement de la physique nucléaire).
 Eny Tsia
3. Raha eny, Avy amin'iza na inona izany olana izany ? (Si oui, d'où vient ce problème) ?
 Enseignant Le contenu du cours Expression Mathématique Calcul à faire.
4. Inona ao anatin'ilay fizika nokleary no hitanao ho olana ? (Dans quelle partie de la physique nucléaire vos problèmes se trouvent-ils) ?
 Noyau atomique Désintégration nucléaire Réactions nucléaires spontanées. Réactions nucléaires provoquées.
5. Fa maninona no miteraka olana aminao io « partie » io ? (Pourquoi cette partie présente-t-elle des difficultés pour vous) ?
.....
.....
.....

B. Fomba fampianarana ny fizika nokleary.

1. Lasa resabe fotsiny ve ny fampianarana fizika nokleary nomena anareo? (L'enseignement de la physique nucléaire qu'on vous a donné est-il trop théorique)?
 Eny Tsia

Porofo :

.....
.....
.....

2. Efa mba nanana irika nahafahana njery sary mihetsika momba ny fizika nokleary ve ianao nandritra ny fianaranao ? (Avez-vous eu l'opportunité de voir des vidéos ou animations numériques pendant le cours de physique nucléaire) ?

Eny Tsia.

3. Raha eny, ohatra ny ahoana ny fahitanao azy? (Si oui, Quelle a été votre impression)?
.....
.....

4. Raha tsia, inona no nahatonga anao tsy nanana irika nahafahana njery izany? (Si non, Pourquoi n'y a-t-il pas eu cette opportunité)?
.....
.....

5. Ny fampiasana sary mihetsika ve mety hanatsara ny fahazoanao ny fizika nokleary. (Les vidéos ou animations numériques ont-ils améliorer votre compréhension du cours de physique nucléaire).

Eny Tsia.

6. Ny fampiasana « logiciels » ve mety hanatsara ny fahazoanao ny lesona momba ny fizika nokleary indrindra indrindra ny mahakasika ny « loi de décroissance radioactive » ? (L'utilisation des logiciels a-t-elle améliorer votre compréhension du cours de physique nucléaire surtout sur la loi de décroissance radioactive) ?

Eny Tsia.

C. **Ny ilana ny fizika nokleary eo amin'ny fiainana.**

Araka izay nianaranao (D'après ce que vous avez appris) :

1. Atao inona eo amin'ny fiainana ny « radioactivité » nokleary ? (A quoi sert la radioactivité nucléaire) ?
.....
.....

2. Inona no mety hilana ilay « rayonnement » mivoaka rehefa misy « désintégration nucléaire » ? (A quoi sert les rayonnements émis lors d'une désintégration nucléaire) ?
.....
.....

3. Inona no atao hoe « réaction de fission nucléaire » ? (Comment définissez-vous une réaction de fission nucléaire) ?
.....
.....

4. Inona ny zavatra mitranga rehefa misy « fission nucléaire ». (Qu'est ce qui se passe lors d'une réaction de fission nucléaire).

Formation d'un noyau fils Dégagement d'énergie Emissions de radiations

5. Atao inona eo amin'ny fiainana andavan'andro ny « fission nucléaire » ? (Quelle est l'application de la fission nucléaire dans la vie quotidienne) ?

.....
.....
.....

6. Inona no atao hoe « fusion nucléaire » ? (Qu'est-ce qu'une réaction de fusion nucléaire) ?

.....
.....
.....

7. Inona ny zavatra mitranga rehefa misy « réaction de fusion nucléaire » ? (Qu'est ce qui se passe lors d'une réaction de fusion nucléaire) ?

Conservation du noyau parent Dégagement des énergies Emissions de radiations

8. Inona no mitranga ao amin'ny masoandro : « réaction de fission » ve sa « réaction de fusion » ? (Qu'est-ce qui se passe dans le soleil : des réactions de fission ou des réactions de fusion) ?

.....
.....

9. Misy mahasamihafa azy ve ny kitana sy ny masoandro? (Y a-t-il des différences entre le soleil et les étoiles)?

.....
.....

10. Mety afaka manazava ve ianao hoe fa maninona no mamoaka hazavana ny kitana na ny masoandro ? (Pouvez-vous expliquer pourquoi les étoiles ou le soleil brillent) ?

.....
.....

Misaotra anao amin'ny fiaraha-miasa.
(Merci pour votre collaboration).

Annexe 2 : Exercices d'illustration d'utilisation de la P.N. dans la vie courante.

Exercice 1 : La cobaltothérapie.

Le cobalt ^{60}Co est radioactif émetteur β^- , avec une demi-vie $T = 5,3\text{ans}$. Le noyau fils est émis dans un état excité. Il revient à l'état fondamental en émettant un rayonnement γ d'énergie 1,33 MeV. *Ce rayonnement γ est utilisé dans le traitement de certains cancers.*

1. Ecrire la réaction de désintégration β^- du cobalt ^{60}Co .
2. Ecrire la réaction correspondant à la désexcitation du noyau fils obtenu.
3. Calculer l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau du cobalt. Sous quelle forme d'énergie est-elle libérée ?
4. En tenant compte de l'énergie du rayonnement γ , déduire l'énergie apportée par le rayonnement β^- .
5. Le rayonnement β^- ne doit pas atteindre le patient, en cours de traitement. Quel type de filtre faut-il utiliser ?

Données :

Energie de masse du cobalt : 55 814,64 MeV ; énergie de masse du nickel : 55 811,23 MeV.

Extrait du tableau périodique :

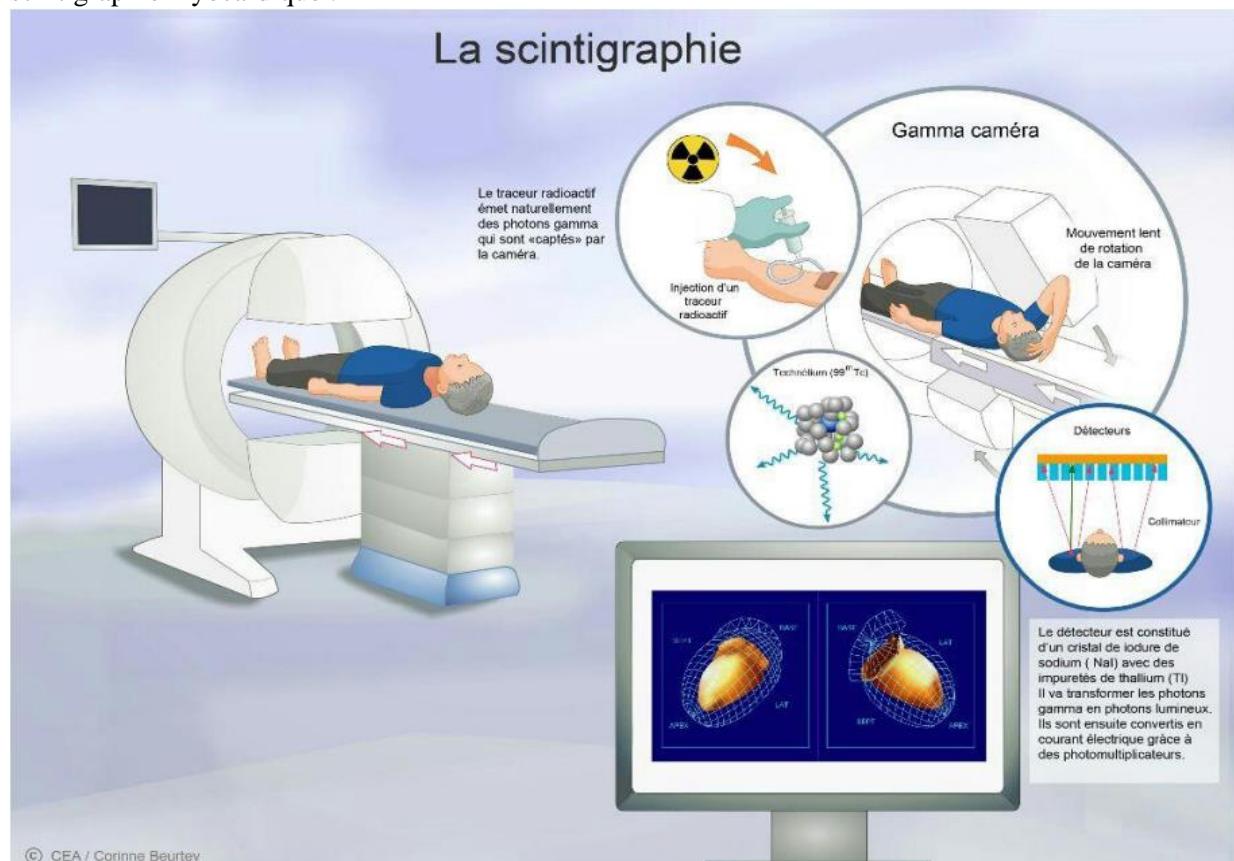
Fe	Co	Ni
Z = 26	Z = 27	Z = 28

Exercice 2 : La scintigraphie :

La scintigraphie est une **technique d'imagerie médicale** qui utilise des substances radioactives pour la réalisation d'images. Elle utilise deux substances : Traceur et marqueur

- ✓ Un traceur est une substance qui peut se localiser de façon sélective au niveau d'une structure particulière de l'organisme.
- ✓ Un marqueur est un radionucléide qui se prête aisément à une détection externe. *Il émet des rayonnements γ* qui sont détectés à l'extérieur de l'organisme à l'aide d'*un gamma caméra*.

L'association d'un traceur et d'un marqueur permet, grâce au marqueur, de suivre l'évolution du traceur dans l'organisme. La figure ci-dessous montre le processus de fonctionnement d'une scintigraphie myocardique :



© CEA / Corinne Beurtey

Pour réaliser la scintigraphie thyroïdienne, l'iode radioactif est le traceur physiologique de référence, il sert à la fois de traceur et de marqueur. On utilise pour cela soit l'iode 131 soit l'iode 123.

Partie A : Généralités.

1. Donner la structure des noyaux des deux isotopes de l'iode.
2. L'iode 123 est produit par réaction de fusion nucléaire entre le deuton de haute énergie et du tellure $^{122}_{52}Te$. Ecrire la réaction correspondante à cette réaction.
Préciser les lois de conservation utilisées et donner la nature de la particule qui accompagne la formation d'iode 123.
3. Quelle doit être la caractéristique commune aux deux isotopes de l'iode pour qu'ils puissent être utilisés comme marqueur ?
4. Calculer l'énergie de liaison par nucléon de ces deux isotopes d'iode. En déduire leurs stabilités.

Partie B : Utilisation de l'iode 131 émetteur (β^- , γ) de demi-vie $T = 8$ jours.

1. Quels sont les rayonnements émis par l'iode 131 lors de sa désintégration ?
2. Ecrire l'équation de sa désintégration en utilisant l'extrait de la classification périodique.
3. Calculer, en MeV, l'énergie libérée par chaque désintégration.
4. Pour une scintigraphie thyroïdienne, un patient adulte doit ingérer par voie orale une quantité d'iode 131 d'activité \mathcal{A}_o . Le délai entre l'administration du traceur et la réalisation des images est de 24 h. Quelle est, en fonction de \mathcal{A}_o , l'activité \mathcal{A} de l'iode 131 dans le corps au moment où les images sont réalisées ?

Partie C : Utilisation de l'iode 123 émetteur γ pur de demi-vie $T = 13,2$ h.

1. Calculer la constante radioactive de l'iode 123.
2. Pour une scintigraphie thyroïdienne, il faut injecter à un patient adulte une quantité d'iode 123 d'activité égale à 6,4 MBq. Tracer la courbe représentant \mathcal{A} en fonction de t (on tracera la courbe sans calculatrice, on représentera simplement les activités correspondantes à T , $2T$, $3T$, $4T$ et $5T$, ...)
3. La réalisation des images se fait entre 2 et 4h après administration de l'iode. Déterminer graphiquement l'activité de l'iode 123 au bout de 4h. Que vaudrait-elle si on réalisait, comme dans le cas de l'iode 131, une image 24 h après injection ?

Données :

- ✓ Masse du noyau d'iode 123 : 122,876 52u
- ✓ Masse du noyau d'iode 131 : 130,877 05u
- ✓ Masse du noyau de Xénon 131 : 130,875 45u
- ✓ Masse du proton : 1,007 28u ; masse du neutron : 1,008 66u
- ✓ Masse de l'électron : 5,485. 10^{-4} u.

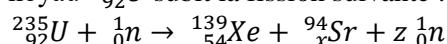
Tellure Te : Z = 52 ; Iode I : Z = 53 ; Xénon Xe : Z = 54 et Césium Cs : Z = 55

Exercice 3 : Utilisation de la réaction nucléaire provoquée dans la vie courante.

Partie A : Production d'énergie à partir de la réaction de fission nucléaire.

Un réacteur de centrale nucléaire est utilisé pour produire des énergies électriques. Il fonctionne à l'uranium enrichi : 3% d'uranium 235 fissile et 97% d'uranium 238 non fissile.

Par capture d'un neutron lent, le noyau $^{235}_{92}U$ subit la fission suivante :



1. Calculer x et z pour équilibrer cette équation de réaction nucléaire.
2. Calculer l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235. Exprimer cette énergie en joule et en mégaelectronvolts (MeV)
3. Quelle serait l'énergie, exprimée en joules, fournie par la fission d'une mole de noyaux d'uranium 235 ? Exprimer cette énergie en tonne équivalente pétrole (tep).

Données :

$C = 3.10^8$ m/s ; $\mathcal{N} = 6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$; $1 MeV = 1,6 \cdot 10^{-13} J$; $1 tep = 42 GJ$ et $1 u = 1,66 \cdot 10^{-27} Kg$,

Noyau	$^{235}_{92}U$	$^{139}_{54}Xe$	${}^{94}_{x}Sr$	${}_0^1n$
Masse en (u)	235, 013 4	138,888 2	93,894 6	1,0087

Partie B : l'énergie du soleil et la réaction de fusion nucléaire.

Une grande partie de l'énergie émise par le soleil est attribuée à un ensemble de réactions nucléaires dont le bilan peut s'écrire : $4_1^1H \rightarrow 4_2^4He + 2_{+1}^0e$

1. Quelle est l'origine de l'énergie émise par le soleil ? Quel type de réaction est ici mise en jeu ?
2. Calculer, E_1 , l'énergie de masse des réactifs, puis E_2 , énergie des masses des produits de la réaction.
3. En déduire l'énergie E libérée par cette réaction. Evaluer la fraction $\alpha = \frac{E}{E_1}$. Montrer que cette fraction α peut aussi s'écrire $\alpha = \frac{\Delta m}{4m_1}$ et représente la fraction de la masse du soleil convertie en énergie libérée.

Remarque : Quand on connaît α , on peut évaluer approximativement l'espérance de vie du soleil.

Données : $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, $1u = 931,5 \text{ MeV}$

Noyau	Electron ou positron	Hydrogène	Hélium
Masse (u)	$5,485 \cdot 10^{-4}$	1,007 284	4,001 502

Annexe 3 : Grille d'observation d'une séance d'E/A.

1. Rôle de l'élève pour chaque groupe. Groupe

	Chef de groupe	Secrétaire	Rapporteur	Simple membre
E1				
E2				
E3				
E4				
E5				

2. Participation des élèves.

	E1	E2	E3	E4	E5
Distraient dans le groupe					
Emettent des idées					
Expliquent ses idées					
Discutent l'idée des autres					
Sollicitent l'aide de ses camarades					
Sollicitent l'aide de l'enseignant					

3. Changement des représentations des élèves.

		E1	E2	E3	E4	E5
Problèmes rencontrés	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					
Vision de l'E/A de la P.N..	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					
Impact de l'utilisation des animations numériques	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					
Utilisation de la radioactivité dans la vie courante	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					
Ce qui se passe lors d'une réaction de fission nucléaire	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					
Utilisation de la fission	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					
Ce qui se passe lors d'une réaction de fusion nucléaire	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					
Réaction nucléaire au niveau du soleil	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					
Origine de l'éclairement du soleil.	Sans usage des A.N.					
	Avec usage des A.N.					

Codage : A.N. : Animations Numériques. E1 : élève n°1, E2 : élève n°2, E3 : élève n°3, E4 : élève n°4 et E5 : élève n°5. E/A : Enseignement/apprentissage.

Annexe 4 : Série de questions utilisées pour élaborer un cours de P.N..

Partie 1 : Noyau atomique.

En utilisant l'animation « radioactivite-anim.swf » et « atome a radioactivite.swf », veillez répondre aux questions suivantes :

- *Composition d'un noyau atomique :*

Q1 : Quels sont les éléments constitutifs d'un noyau atomique ?

Réponse 1 :

- *Stabilité d'un noyau atomique :*

Q2 : Quelle interaction assure la stabilité d'un noyau atomique ?

Réponse 2 :

Q3 : Dans quel cas, un noyau est-il instable ?

Réponse 3 :

Q4 : Qu'est-ce qui se passe si un noyau est instable ?

Réponse 4 :

Partie 2 : Phénomène de décroissance radioactive.

- *Définition de la radioactivité :*

Q5 : Qu'appelle-t-on radioactivité nucléaire ?

Réponse 5 :

- *Forme de la radioactivité :*

Q6 : Qu'est-ce qui se passe lors d'une désintégration nucléaire ?

Réponse 6 :

Q7 : Quels types de particules sont expulsés lors d'une désintégration. Ecrivez les équations bilans correspondantes.

Particules expulsées	Equations bilans correspondantes

Q8 : Selon la nature de la particule expulsée (radiation), énumérer les différentes formes possibles d'une radioactivité.

Réponse 8 :

Q9 : Quelles sont les caractéristiques de chaque rayonnement (particule expulsée) ? (Propagation de chaque radiation dans l'air ; son interaction avec la matière ; l'impact de ces radiations sur l'ADN humain).

Réponse 9 :

Rayonnement	Sa vitesse de propagation dans l'air	Son interaction avec la matière	Impact sur l'ADN humain

Q10 : Comment varie le nombre du noyau N en fonction du temps ?

Réponse 10 :

➤ *Utilisation de la radioactivité dans la vie courante :*

Q11 : Préciser, dans quel domaine peut-on utiliser la radioactivité nucléaire ? Pour chaque domaine, à quoi sert-elle ?

Réponse 11 :

Domaine	Utilisation

✓ *Exemple d'illustration : la scintigraphie. (En utilisant animScintigraphieFinal.swf).*

Q12 : Qu'appelle-t-on scintigraphie ?

Réponse 12 :

Q13 : Comment fonctionne l'examen scintigraphique ?

Réponse 13 :

Q14 : Donner quelques exemples d'examen scintigraphique ? Préciser le traceur utilisé ainsi que sa propriété pour chaque examen.

Réponse 14 :

Exemple de scintigraphie	Traceur utilisé	Propriété du traceur

Partie 3 : Réaction nucléaire provoquée.

Q15 : Qu'appelle-t-on : réaction de fission nucléaire, réaction de fusion nucléaire.

Réponse 15 :

Q16 : Comparer la réaction de fission à celle de la fusion nucléaire.

	Fission	Fusion
Origine		
Qu'est-ce qui se passe ?		
Condition nécessaire		
A quoi ça sert ?		

Q17 : D'où vient l'éclairement du soleil ? Expliquer.

Réponse 17 :

La réaction de fission nucléaire est utilisée dans un réacteur nucléaire pour produire de l'énergie électrique.

Q18 : Décrivez brièvement le mode de fonctionnement d'un réacteur nucléaire.

Réponse 18 :

Annexe 5 : Grille de notation pour la partie 2 : Le phénomène de décroissance radioactive.

Répartition des notes pour chaque question dans la partie 2 : le phénomène de décroissance radioactive.
Groupe :

Questions	Réponse attendue			Note attribuée	Barème
Q5	<ul style="list-style-type: none"> Propriété de certains isotopes instables C'est le phénomène physique qui transmute spontanément un noyau instable en un noyau stable en libérant une quantité d'énergie sous forme de rayonnement 				2pts
Q6	<ul style="list-style-type: none"> Il y a émission des radiations et/ou des rayonnements Il y a émission des particules Il y a libération d'énergie 				3pts
Q7	<ul style="list-style-type: none"> Particule alpha (noyau d'hélium) $\checkmark \quad {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He$ Particule bêta (électron ou anti électron) $\checkmark \quad {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e + \bar{\nu}$ (Pour l'émission d'électron) $\checkmark \quad {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_1^0e + \nu$ (Pour l'émission d'antiélectron) Particule gamma (rayonnement gamma) $\checkmark \quad {}_Z^AX^* \rightarrow h\nu + {}_Z^AX$ (On écrit $h\nu$ ou γ) 				7pts (1 pt pour chaque réponse)
Q8	<ul style="list-style-type: none"> Radioactivité alpha (avec émission d'une particule alpha) Radioactivité bêta (avec émission d'électron ou antiélectron) Radioactivité gamma (avec émission du rayonnement gamma) 				3pts
Q9	Rayonnement	Sa vitesse de propagation dans l'air (Km/s)	Son interaction avec la matière		3 pts
	Alpha	10 000 à 30 000 (parcours 5cm dans l'air)	Stopper par une feuille de papier		
	Béta	280 000 (parcours 1 m dans l'air)	Stopper par une feuille d'aluminium		
	Gamma	A une grande vitesse (parcours 1000 m dans l'air)	Stopper par quelques cm du plomb		
Q10	<ul style="list-style-type: none"> N est inversement proportionnel à l'instant t. N décroît exponentiellement avec le temps t. 				2pts
Q11	Domaine	Utilisation			4 pts
	Médecine	Scintigraphie, traitement des cancers, scanner			
	Armement	Bombe atomique			
	Technique de datation	Datation des rochers et des objets, Datation des organismes vivants			
	Production d'énergie	Production d'électricité			
Q12	La scintigraphie est une technique d'imagerie médicale qui utilise des substances radioactives pour la réalisation d'images				1pts

Q13	<p>Elle se fait en trois étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Injection d'un traceur (élément radioactif). • Temps d'attente (dès que le traceur arrive sur l'organisme cible, il émet des rayonnements gamma qui seront captés par le gamma caméra) • Réalisation d'image (le gamma caméra transforme le rayonnement gamma qu'il a reçu en signal électrique afin d'avoir une image sur l'écran d'observation) 				3 pts
Q14	Exemple de scintigraphie et organe visé	Traceur utilisé	Propriété du traceur		9 pts
	Scintigraphie cardiaque ou myocardique (cœur)	Thallium 201	Période radioactive : 73 h Il émet des rayonnements gamma de 137 et 165 KeV		
	Scintigraphie thyroïdienne (thyroïde)	Iode 123	Période radioactive : 13h Il émet des rayonnements gamma 159 Kev		
	Scintigraphie osseuse (os + poumons)	Technétium 99m	Période radioactive : 6h Il émet des rayonnements gamma 140KeV		
Total					37 pts

Annexe 6 : Grille de notation pour la partie 3 : Réaction nucléaire provoquée.

Question s	Réponses attendues			Note attribuée	Barème
Q15	<ul style="list-style-type: none"> La fusion nucléaire est le mariage des deux noyaux légers pour donner un noyau plus lourd en libérant une très grande quantité d'énergie. La fission nucléaire est la division d'un noyau lourd par un neutron en donnant deux noyaux légers en libérant une très grande quantité d'énergie 				4 pts
Q16		Fission	Fusion		
	Origine	Rencontre d'un neutron à un noyau lourd	Rencontre des deux noyaux légers		
	Qu'est-ce qui se passe ?	<ul style="list-style-type: none"> Il y a éclatement d'un noyau Il y a dégagement d'énergie Il y a émission des neutrons 	<ul style="list-style-type: none"> Il y a condensation des deux noyaux Il y a dégagement d'énergie Il y a émission d'un neutron 		12 pts
	Condition nécessaire	Le neutron projectile doit avoir une certaine énergie cinétique	Cette réaction ne peut se produire qu'à très haute température		
	A quoi ça sert ?	Utilisée dans un réacteur nucléaire : production d'énergie électrique	Source de l'éclairage du soleil		
Q17	L'éclairage du soleil provient de la radiation émise par la réaction de fusion nucléaire qui a lieu à sa surface.				2 pts
Q18	La réaction de fission nucléaire qui se produit au cœur du réacteur libère d'énergie sous forme de chaleurs, ces chaleurs dégagées ont une certaine vitesse et qui permettent de faire tourner une turbine. Cette dernière est reliée à un générateur afin d'avoir un courant électrique				
					4pts
Total					22pts

Annexe 7 : Listes des animations numériques utilisées.

Animation 1 : « atome a radioactivite.swf »

Animation 2 : « masses-noyaux.swf ».

Animation 3 : « radioactivite_anim.swf »

Animation 4 : « animScintigraphieFinal.swf »

Animation 5 : « fission.swf »

Animation 6 : « fusion.swf »

Animation 7 : « 09-nucléaire.swf »

Animation 8 : « animation-centrale-nucléaire.swf »

Université d'Antananarivo

Ecole Normale Supérieure

DOMAINE : « SCIENCES DE L'EDUCATION »

MENTION : « Formation des Ressources Humaines de l'Education »

SPECIALITE : Physique - Chimie

PARCOURS : Formation de Professeur Spécialisé en Physique Chimie

Résumé du Mémoire de Master Professionnel

Titre : Illustration d'utilisation de la physique nucléaire dans la vie courante à l'aide des animations numériques.

Mots-clés : P.N., Méthode d'enseignement, utilisation, illustration, Animation numérique, réaction nucléaire, Concrétisation, rayonnement, radiation, désintégration.

La P.N. fait partie de la science physique. C'est une science qui se fait à l'échelle microscopique. Son enseignement présente souvent une insuffisance au niveau des matériaux didactiques. Les enseignants qui l'enseignent ont alors une tendance à faire des cours théoriques et magistraux. A travers ce type de cours, il n'est pas sûr que les élèves aient bien assimilé les connaissances à acquérir ainsi que ses utilisations dans la vie courante.

Ainsi dans ce mémoire, nous avons proposé et expérimenté quelques animations numériques à utiliser pour enseigner la P.N.. Notre objectif c'est de concrétiser et d'illustrer l'utilisation de la P.N. dans la vie courante. Nous avons fait une analyse comparative entre les acquis d'élèves ayant déjà suivi un cours magistral de P.N. et de leurs acquis après un cours de P.N. faisant usage d'animations numériques.

Notre terrain d'étude est le lycée Mananara Ambatomena. Les résultats de notre recherche montrent que l'utilisation des animations numériques favorise la compréhension des élèves.

Abstract:

Titre : Illustration of using Nuclear Physics in everyday life using digital animations.

Keywords : P.N., teaching method, use, drawing, digital animation, Nuclear reaction, embodiment, radiance, radiation, desintegration

P.N. is part of physical science. It's a science that is done on a microscopic scale. His teaching is often deficient in teaching materials. The teachers who teach it have a tendency to do theoretical and master classes. Through this type of course, it is not sure that students have assimilated the knowledge to acquire and its uses in everyday life.

Thus in this thesis, we proposed and experimented some digital animations to be used to teach nuclear physics. Our goal is to concretize and illustrate the use of nuclear physics in everyday life. We have made a comparative analysis between the achievements of students who have already taken a lecture on nuclear physics and their achievements after a nuclear physics course using digital animations.

Our field of study is the high school of Mananara Ambatomena. The results of our research show that the use of digital animations improves student understanding.

Auteur : RANDRIAMANAMPIHARISON Hoby Nirina

Coordonnées : mapsonhobynirina@gmail.com. **Tél :** 034 04 099 97

Encadreur : RANDRIANANDRAINA Faneva, Ph.D et Maître de Conférence.

Coordonnées :