

Radioactive

un film de Marjane Satrapi

Dossier pédagogique



zéro de
conduite
.net

Avec le
soutien de


institut
Curie

Elle est la première femme professeure à la Sorbonne, la première à avoir reçu le Prix Nobel (elle en a même remporté deux, un en Physique et un en Chimie), la deuxième à être entrée au Panthéon (mais la première n'y a été invitée que pour accompagner son mari !)... Tout le monde aura reconnu Marie Curie née Sklodowska (1867-1934), une des plus grandes scientifiques du XX^e siècle. Mais connaît-on vraiment Marie Curie ? Avec son nouveau film *Radioactive*, Marjane Satrapi fait revivre la scientifique et la femme de chair et de sang derrière l'icône. Le film raconte bien sûr la lutte opiniâtre d'une femme pour faire reconnaître son génie dans un monde d'hommes, il met en scène l'histoire d'amour bouleversante qui unit le couple de scientifiques. Mais il s'affranchit des limites narratives du "biopic" pour proposer une réflexion sur la science et ses responsabilités : Marjane Satrapi nous emmène au cœur de la matière pour nous faire comprendre l'atome. Elle nous projette dans le futur pour explorer les conséquences, bénéfiques (la radiothérapie) ou terribles (la bombe atomique), des découvertes des Curie. *Radioactive* permettra ainsi d'illustrer des notions importantes des programmes de Lycée. Mais au-delà, il est à conseiller vivement aux élèves de Lycée, parce qu'il entretient cet "esprit d'aventure" dont, un an avant sa mort, Marie Curie chantait les louanges : "Je suis de ceux qui pensent que la science a une grande beauté. Si je vois autour de moi quelque chose de vital, c'est précisément cet esprit d'aventure qui me paraît indéracinable et s'apparente à la curiosité."



RADIOACTIVE

Un film de Marjane Satrapi

Genre : Biopic

Durée : 110 minutes

Paris, fin du XIX^e siècle. Marie est une scientifique passionnée, qui a du mal à imposer ses idées et découvertes au sein d'une société dominée par les hommes. Avec Pierre Curie, un scientifique tout aussi chevronné, qui deviendra son époux, ils mènent leurs recherches sur la radioactivité et finissent par découvrir deux nouveaux éléments : le radium et le polonium. Cette découverte majeure leur vaut le prix Nobel et une renommée internationale. Mais après un tragique accident, Marie doit continuer ses recherches seule et faire face aux conséquences de ses découvertes sur le monde moderne...

AU CINÉMA LE 11 MARS 2020

SOMMAIRE DU DOSSIER

Entretien avec l'historienne Natalie Pigéard p. 3

Repères chronologiques p. 7

Du roman graphique au film p. 8

Activités Histoire p. 10

Activités Sciences p. 19

Activités SVT p. 25

Organiser une séance scolaire p. 30



Entretien avec l'historienne Natalie Pigeard

Natalie Pigeard est historienne, spécialiste de Marie Curie, et responsable des ressources historiques du Musée Curie à Paris. Nous lui avons demandé de retracer les grandes étapes de la vie de cette figure majeure de l'histoire des sciences.

Propos recueillis par Pauline le Gall

Quand le film commence, Maria Sklodowska est déjà étudiante à la Sorbonne... Pouvez-vous nous rappeler comment elle en est arrivée là ? D'où vient sa farouche indépendance d'esprit ?

Maria Sklodowska vient d'une famille polonaise très aisée. À l'époque, dans les pays de l'Est, les jeunes filles ont le droit à un enseignement secondaire public de très haute qualité, ce qui n'est pas le cas en France. Son père est directeur d'un collège-lycée et professeur de mathématiques et de physique. Sa mère dirige une pension pour jeune fille. Ses parents, et surtout son père puisque sa mère meurt alors qu'elle a à peine 11 ans, ont une volonté affirmée d'instruire leurs enfants.

Quatre d'entre eux ont d'ailleurs passé le diplôme du secondaire et trois ont obtenu une médaille d'or. En 1885 la sœur de Maria, Bronia, part faire ses études de médecine à Paris. Il faut savoir que depuis 1868,

l'université y est ouverte aux femmes. Les Polonais et les Russes s'y installent souvent pour étudier. La France représente pour eux le pays des Lumières et les Polonais qui s'opposent à la domination russe y retrouvent un certain esprit de liberté. Maria Sklodowska s'y rend à son tour en 1891 et fait ainsi partie

de ces jeunes filles venues à Paris dans l'idée de devenir plus indépendantes.

Maria Sklodowska fait partie de ces jeunes filles polonaises venues à Paris dans l'idée de devenir plus indépendantes.

Le scénario utilise comme fil rouge sa peur des hôpitaux et de la médecine, qu'il relie à la maladie de sa mère. Cette figure maternelle a-t-elle eu une grande importance dans la vie de Marie ?

La mort de sa mère a eu une grande importance puisque cet événement l'a poussée à

remettre en cause sa foi. La peur des hôpitaux chez Marie Curie est en revanche une invention du scénario, qui permet de faire le lien entre différentes scènes et différentes époques de sa vie.





Où en est le monde scientifique français au moment où elle commence ses recherches ? Est-il plus ouvert (par rapport aux femmes, aux étrangers) que la société française de l'époque ?

Lorsque Maria Sklodowska arrive en France en 1891, les femmes sont acceptées dans la recherche depuis près de 30 ans. Dans les années 1880, il y avait à peu près une centaine d'étudiants dans chacune des facultés de lettres et sciences et une majorité de bourgeois mondains, qui venaient suivre des cours pour s'occuper. Il était possible de devenir professeur dans un collège de garçons avec simplement le bac en poche. Lorsque Maria Sklodowska arrive, la faculté des sciences commence tout juste à être professionnalisante. À partir de 1880, il faut donc avoir la licence pour enseigner. Il s'agit aussi d'une période de pleine expansion de l'industrie chimique de synthèse, ce qui engendre un besoin important de personnel qualifié. Dans ce contexte, le marché du travail est en demande et les femmes et les étrangers sont les bienvenus. Comme on le voit dans le film, Maria Sklodowska n'a pas eu de problèmes pour avoir une place à la Sorbonne et dans les laboratoires.

Peut-on dire que Marie Curie était « féministe » ?

Le terme est à définir chronologiquement bien sûr, pour éviter les anachronismes. On peut répondre que Marie Curie était féministe dans sa façon de vivre, mais qu'elle n'a jamais été militante. Il a fallu la forcer pour qu'elle prenne position sur des sujets féministes comme le droit de vote des femmes ou la libération des suffragettes emprisonnées en Angleterre. Marie Curie considérait qu'elle n'était pas

compétente pour s'exprimer dans des domaines hors de la science.

La découverte du radium et de la radioactivité est vue presque comme magique et entraîne un vrai engouement populaire : des séances de spiritisme, la commercialisation d'allumettes ou de chocolat "radioactifs"... Comment cette découverte a-t-elle été perçue par le public ?

Pierre et Marie Curie ont découvert l'intensité de rayonnement de deux nouveaux éléments, mais il faut se rendre compte qu'ils n'ont pas pu les montrer tout de suite, parce qu'ils n'avaient pas pu les purifier. Dans un premier temps, leurs travaux ne font donc pas beaucoup de bruit dans la société. Les milieux scientifiques et l'Académie des Sciences s'y intéressent, bien sûr, mais surtout à l'étranger. Il faut attendre qu'ils remportent le prix Nobel pour véritablement se faire connaître du public. C'est alors qu'apparaissent

les objets un peu extravagants que l'on voit dans le film, comme les "allumettes radioactives". Le nom des Curie est d'emblée associé à la radioactivité, on cherche d'ailleurs à exploiter leur notoriété. L'une des grandes marques de cosmétiques, Tho-Radia, va ainsi jusqu'à trouver un certain docteur Alfred Curie (qui n'est absolument pas de la même famille !) afin de l'aider à vendre ses produits.

Les dangers de leurs recherches semblent leur échapper dans un premier temps. Marie Curie continue à travailler dans son laboratoire alors qu'elle est enceinte. Comment ces dangers leur sont-ils apparus ? Comment cela a-t-il changé la perception de leur travail ?

Il s'agit aussi d'une période de pleine expansion de l'industrie chimique de synthèse, ce qui engendre un besoin important de personnel qualifié.

Ils s'aperçoivent assez rapidement des dangers de leurs recherches, notamment par les nécroses sur leurs mains. En ce qui concerne les rayons X, les radiologues sont très vite malades. Comme on le voit dans le film *Henri Danlos*, un dermatologue de l'hôpital Saint-Louis, teste la radioactivité sur des lupus et des cancers. Ils savent donc très rapidement que la radioactivité a un effet biologique. Mais comment le définir ? Comment savoir si le radium, le polonium, l'uranium ont le même effet ? Faut-il les avaler, les toucher, les respirer ? Ils ignorent tout cela. Dans tous les cas il est fort probable que Marie Curie ait ramené du sel de radium chez elle. L'inquiétude n'apparaît socialement que dans les années 1920.

Le film donne justement une place importante aux inquiétudes des Curie quant aux utilisations (potentiellement néfastes) de leurs découvertes. Que pensez-vous du choix de la réalisatrice d'avoir mêlé au récit des scènes autour de la bombe d'Hiroshima et de la catastrophe de Tchernobyl ?

Associer Marie Curie et la bombe atomique est un raccourci : entre la découverte de la radioactivité et la fabrication de la bombe atomique, prennent place bien d'autres scientifiques, bien d'autres découvertes ! Il ne faut pas confondre le nucléaire et la recherche atomique. Pour moi, ce rapprochement fait plutôt écho au discours de Pierre Curie au Nobel, lorsqu'il se demande si l'humanité est en mesure d'utiliser leur découverte de façon posi-

tive. Les images d'Hiroshima, qui sont alternées à la reconstitution de ce discours, ne sont pour moi pas la suite de la découverte de la radioactivité mais plutôt l'expression de la peur de Pierre Curie de savoir ce que l'on allait faire de leur découverte. À l'époque, le sentiment le plus répandu est que la science va sauver l'humanité, éradiquer la faim dans le monde, permettre de soigner toutes les maladies... Exprimer

des doutes par rapport à cette vision positive est déjà très fort. Le film montre d'ailleurs les effets positifs comme négatifs de la découverte de l'atome : les images d'essais nucléaires sont contrebalancées par l'image de l'enfant qui se fait soigner d'un cancer dans les années 1950...

Marjane Satrapi fait une large place au scandale de sa liaison avec Paul Langevin. Comment le regard des Français sur Marie Curie a-t-il évolué au fil du temps ? Pourquoi a-t-elle été la cible d'un tel acharnement, auquel Langevin semble avoir échappé ?

Au moment où cette relation commence, Marie Curie est veuve et Paul Langevin est séparé. Le beau-frère de la femme de Langevin est journaliste dans les milieux d'extrême droite. Pour replacer le contexte historique, nous sommes en 1910, soit quatre ans après la réhabilitation de Dreyfus. L'extrême droite catholique se divise et cherche à rassembler ses troupes autour d'un seul mouvement. Ils cherchent un bouc émissaire et choisissent Marie Curie : elle est polonaise, son second prénom Salomé a des consonances

Les Curie savent très rapidement que la radioactivité a un effet biologique. Mais comment le définir ? Comment savoir par exemple si le radium, le polonium ou l'uranium ont les mêmes effets ?





juives... Elle est présentée dans ces journaux comme une étrangère qui vient voler un mari et père de cinq enfants à une française d'origine. Cette polémique lancée par la presse d'extrême droite va aller très loin : Marie Curie est agressée chez elle, des duels sont organisés...

Vous avez publié un ouvrage sur les femmes du laboratoire de Marie Curie. On voit dans le film qu'elle est soutenue par les féministes en Suède, que les femmes sont les premières à l'applaudir lors de son discours du Nobel. Quel rôle a-t-elle joué pour les femmes dans le milieu de la science ?

Elle était loin d'être la seule dans le milieu de la science mais elle a eu un rôle de modèle pour les femmes qui étaient dans son laboratoire, notamment après la Première Guerre mondiale. Pendant la guerre, sur les 100 000 infirmières en activité, 70 000 étaient des femmes bénévoles qui n'avaient habituellement pas besoin de travailler pour vivre. En temps de paix, ces femmes seraient restées chez elles attendre leur mari. Or elles ont découvert qu'elles pouvaient être utiles socialement et certaines d'entre elles ont donc repris des études à la fin du conflit. Après la guerre, les françaises arrivent ainsi plus nombreuses dans le laboratoire de Marie Curie et cette dernière devient un modèle. Elle ne s'est jamais posé la question de choisir entre sa carrière ou avoir des enfants, tout comme la majorité des femmes de son laboratoire. Avec le temps, l'histoire a fait d'elle une exception, mais elle n'était pas seule dans ce cas, surtout si on regarde au-delà des frontières françaises.

À la fin du film, Marie Curie conseille à sa fille Irène de s'éloigner de la radioactivité qui ne lui a apporté que « très peu de bonheur ». Cette dernière va pourtant elle-même remporter un prix Nobel. Comment a-t-elle poursuivi les travaux de sa mère ?

Marie Curie a vraiment poussé sa fille Irène dans les sciences. Alors qu'elle n'avait que 10 ans, sa mère lui envoyait des intégrales de mathématiques ! À la sortie de la guerre, Marie Curie prend Irène comme préparatrice à son laboratoire alors qu'elle n'a pas encore sa licence. L'université ne refuse rien à Marie Curie ! Irène travaille donc immédiatement avec sa mère et elle décide de faire sa thèse, qu'elle soutient en 1925, sur le polonium. Ce n'est qu'à ce moment de sa vie qu'elle rencontre Frédéric Joliot. C'est d'ailleurs Irène qui forme Frédéric à la radioactivité. Ensemble, ils réussissent à rendre un élé-

ment non-radioactif radioactif, ce qui leur vaudra à leur tour le Prix Nobel en 1935. Pour l'utilisation de la radioactivité dans le champ de la santé, cette avancée va être fondamentale.

Natalie Pigeard est historienne et spécialiste de l'histoire des femmes en sciences et en médecine. Autrice des Femmes du laboratoire de Marie Curie (éditions Glyphé), elle est actuellement responsable des ressources historiques du Musée Curie.

Repères chronologiques



MARIE CURIE

Naissance de Maria Skłodowska en Pologne

1867

Elle s'installe à Paris et s'inscrit à la Sorbonne.

1891

Elle rencontre Pierre Curie.

1893

Pierre et Marie Curie découvrent deux éléments radioactifs, le polonium et le radium.

1895

Ils se voient décerner le Prix Nobel de Physique.

1903

Décès de Pierre Curie

1906

Marie Curie est nommée professeure à la Sorbonne.

1908

Scandale de la relation de Marie Curie avec Paul Langevin
Marie Curie se voit décerner le Prix Nobel de Chimie.

1911

Marie Curie et sa fille Irène se mettent au service des blessés de guerre avec leurs unités radiologiques de terrain.

1914

Première Guerre Mondiale

1918

Création de la Fondation Curie à Paris (qui deviendra l'Institut Curie en 1978).

1921

Marie Curie décède à Paris, probablement d'une leucémie.

1934



1935

Irène et Frédéric Joliot-Curie remportent le Prix Nobel de Chimie pour avoir créé les premiers éléments radioactifs artificiels.

1939

Deuxième Guerre Mondiale

1945

Les États-Unis font exploser deux bombes atomiques sur les villes japonaises d'Hiroshima et Nagasaki.

1957

Démarrage du 1^{er} réacteur nucléaire civil aux États-Unis.

1961

La France se dote à son tour de l'arme nucléaire.

1968

Signature du traité de non prolifération nucléaire

1974

Apparition de l'imagerie scanner, qui permet d'améliorer l'efficacité de la radiothérapie

1986

Catastrophe de Tchernobyl en Union Soviétique



Marie Curie entre au Panthéon.

1995

2011

Catastrophe de Fukushima au Japon
L'Allemagne décide de sortir du nucléaire.

Du roman graphique au film

Dans *Radioactive*, Marjane Satrapi s'inspire d'un roman graphique de Lauren Redniss. Celui-ci dresse la biographie de Marie Curie, mais aussi une histoire de la radioactivité au XX^e siècle. L'adaptation cinématographique de ce récit tenait de la gageure.

Un roman graphique inclassable

Avec *Radioactive*, Marjane Satrapi porte à l'écran la bande dessinée de Lauren Redniss, *Marie et Pierre Curie, l'histoire de deux forces invisibles : la radioactivité et l'amour* (en VO : *Radioactive : Marie & Pierre Curie, A tale of love and fallout*, 2011)

Ce roman graphique inclassable et touffu, dont aucune page n'est semblable à une autre, est une biographie de Marie Curie autant qu'une histoire de la radioactivité au XX^e siècle. Il mélange jeu sur la typographie et la composition, dessins figuratifs et abstraits, collages photographiques, et un procédé artisanal intitulé "cyanotype", qui pour Lauren Redniss évoque la "lumière spontanée du radium".

La gageure de l'adaptation

Adapter ce livre représentait une véritable gageure pour le scénariste et dramaturge Jack Thorne (il a notamment porté à la scène *Harry Potter et l'Enfant*

maudit avec J.K. Rowling) et la cinéaste Marjane Satrapi (elle-même autrice de bande dessinée).

Il s'agissait de rendre justice à la figure populaire de Marie Curie, d'en faire une vraie héroïne de cinéma, susceptible de toucher un public large et divers (d'où le choix de l'anglais et d'un casting de stars anglo-saxonnes : Rosamund Pike et Sam Riley), tout en restant fidèle à l'esprit du roman graphique de Lauren Redniss.

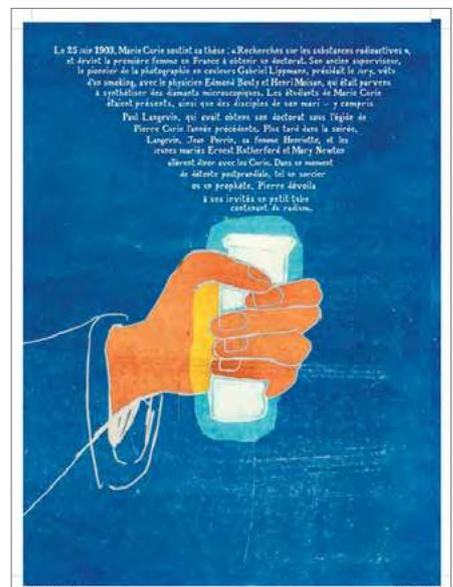
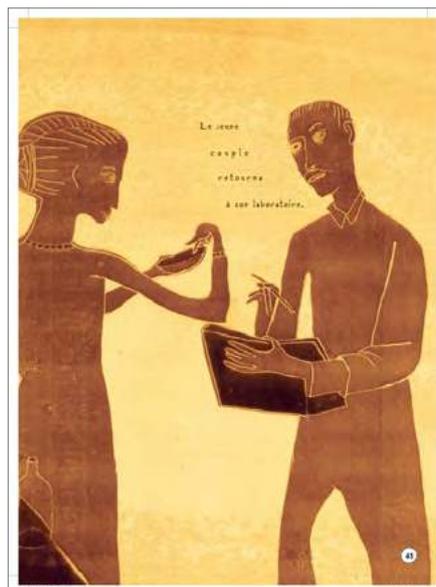
Se couler dans le genre du biopic...

Le film parvient à se couler dans le genre du biopic "en costumes" (il fait revivre le Paris de la Belle Époque), montrant une femme qui n'a jamais cessé de se battre face à l'adversité pour exprimer son génie et en offrir les fruits à l'humanité (ainsi de son engagement au service des blessés pendant la

Première Guerre Mondiale). Il tisse habilement les deux fils narratifs de la scientifique et de la femme, qui furent indissociables chez Marie Curie.

"À chaque fois au cinéma, ou presque, la femme est l'épouse, la mère, la fille, ou la sœur de quelqu'un. Elle se définit toujours par rapport à quelqu'un d'autre. D'après ce que j'ai pu lire sur Marie Curie, elle n'était pas la muse de Pierre Curie. Ils étaient plutôt deux esprits brillants."

Marjane Satrapi



Du roman graphique au film

Marjane Satrapi s'est ainsi attachée à mettre en scène une Marie de chair et de sang, qui tempête, qui se bat, qui accouche toute seule ou presque, qui pleure la mort de son mari, qui s'affranchit des convenances de son époque pour aimer Paul Langevin, qui cache tout au long de sa vie ses sentiments derrière un bouclier d'orgueil et de sévérité. Elle réussit à rendre le caractère concret et physique de la recherche scientifique à l'époque, notamment le travail harassant pour extraire le précieux radium des tonnes de minerai de pechblende, l'exposition aux vapeurs et aux produits nocifs dans l'atelier.

... et s'en échapper

Mais le film échappe également au programme classique du "biopic" : d'abord par ses bonds dans le temps et l'espace, qui permettent de raconter l'histoire contrastée de l'atome après la mort de Marie Curie. Marjane Satrapi use d'audacieux *flash-forwards* qui s'insèrent harmonieusement dans la narration : le vol fatal d'Enola Gay s'intercale dans le discours prophétique de Pierre Curie devant l'académie Nobel, une calèche parisienne se transforme en camion de pompier russe parti éteindre l'incendie de Tchernobyl.

Radioactive tente aussi de nous faire saisir l'incroyable défi à l'entendement humain que constituait la découverte (ou l'invention) de la radioactivité : une découverte qui brouilla les frontières entre le visible et l'invisible (pour la première fois on pouvait voir à l'intérieur d'un corps), entre la science et la magie (le film évoque les expériences spirites d'Eusapia Palladino)... Baigné par la « terrifiante beauté du radium », le film prend souvent des accents quasi fantastiques, qu'accroissent le travail sur le son et l'utilisation de la thérémine dans la musique originale.

Pour ces séquences qui constituent autant de paris, la cinéaste (qui a déjà porté deux de ses romans graphiques à l'écran : *Persepolis* en animation, et *Poulet aux prunes* en prises de vues réelles) a dessiné de nombreuses planches de storyboard ainsi que des animatiques (synchronisation des images avec la bande-son, technique utilisée pour le dessin animé), qui montrent son sens du découpage.

Marjane Satrapi, filmographie sélective

Persepolis, 2007 (avec Vincent Paronnaud)

Poulet aux prunes, 2011 (avec Vincent Paronnaud)

The Voices, 2014

Radioactive, 2019



Extrait du story-board de Marjane Satrapi



Marie Curie, une femme et une scientifique dans l'Histoire

Dans *Radioactive*, un film de Marjane Satrapi, 2020

Type d'activité : Questionnaire après visionnage

Durée de l'activité : 2 h

Introduction

Lauréate de deux Prix Nobel, première femme à être entrée au Panthéon "pour ses propres mérites" (selon le mot de François Mitterrand), Marie Curie (née Sklodowska) est une des grandes figures de l'Histoire de France au XX^e siècle. Le film de Marjane Satrapi permettra d'aborder le personnage sous l'angle de "Marie Curie dans la guerre" (un des "points de passage et d'ouverture" du programme de 1^{ère}), mais aussi de replacer la trajectoire singulière de la scientifique d'origine polonaise dans le cadre plus général de la condition des femmes au tournant du XX^e siècle. Ce film très riche permettra aussi de prendre un peu d'avance sur le programme en abordant le devenir des découvertes des époux Curie dans la deuxième partie du XX^e siècle. Il donnera enfin l'occasion de réfléchir, en véritable historien-ne, sur les usages de la figure de Marie Curie aujourd'hui.

Dans les programmes d'Histoire

Niveau	Objets d'étude
1 ^{ère}	<p>Thème 3 : La Troisième République avant 1914</p> <p>Chapitre 1 - La mise en œuvre du projet républicain : les oppositions qui s'expriment (courants révolutionnaires, refus de la politique laïque par l'Église catholique, structuration de l'antisémitisme autour de l'affaire Dreyfus, nationalisme...); le refus du droit de vote des femmes.</p> <p>Chapitre 2 - Permanences et mutations de la société française jusqu'en 1914</p> <p>- l'industrialisation et les progrès techniques ; l'immigration et la place des étrangers ; l'évolution de la place des femmes.</p> <p>Thème 4 : La 1^{ère} Guerre mondiale</p> <p>Chapitre 2 - Les sociétés en guerre : des civils acteurs et victimes de la guerre : les dimensions économique, industrielle et scientifique de la guerre ; les conséquences à court et long termes de la mobilisation des civils, notamment en ce qui concerne la place des femmes dans la société.</p> <p>Point de passage et d'ouverture : Marie Curie dans la guerre.</p>



Radioactive

Un film de Marjane Satrapi

Paris, fin du XIX^e siècle. Marie est une scientifique passionnée, qui a du mal à imposer ses idées et découvertes au sein d'une société dominée par les hommes. Avec Pierre Curie, un scientifique tout aussi chevronné, qui deviendra son époux, ils mènent leurs recherches sur la radioactivité et finissent par découvrir deux nouveaux éléments : le radium et le polonium. Cette découverte majeure leur vaut le prix Nobel et une renommée internationale. Mais après un tragique accident, Marie doit continuer ses recherches seule et faire face aux conséquences de ses découvertes sur le monde moderne...

I/ UNE FEMME D'EXCEPTION AU TOURNANT DU XX^E SIÈCLE



1/ Dressez un portrait du personnage de Maria Sklodowska (future Marie Curie) tel qu'il est mis en scène au début du film de Marjane Satrapi, notamment dans ses rapports avec Pierre Curie ou avec le Professeur Lippman (son supérieur hiérarchique à la Sorbonne). Quels adjectifs pourraient-ils le mieux la définir ?

Comment expliquer ces traits de caractère ?

2/ Maria Sklodowska (future épouse Curie) est-elle représentative des femmes de son époque ? Pourquoi ? Vous pouvez vous appuyer sur les deux autres personnages de femme présentés dans le film (la sœur de Marie et Sophie, la femme de Paul Langevin) et sur les **document 1 et 2**.

Document 1

Chronologie : L'éducation des filles en France à la fin du XIX^e siècle

1880	Création de collèges et de lycées publics de jeunes filles (loi Camille See)
1881	Enseignement primaire obligatoire pour les garçons et les filles (Lois Jules Ferry)
1882	Le programme des écoles primaires précise que "grâce aux travaux manuels comme la couture, la maîtresse développera chez les filles les qualités sérieuses de la femme de ménage"

Document 2

Marie Curie : éléments biographiques

Maria Sklodowska vient d'une famille polonaise très aisée. À l'époque, dans les pays de l'Est, les jeunes filles ont le droit à un enseignement secondaire public de très haute qualité, ce qui n'est pas le cas en France. (...) En 1885 la sœur de Maria, Bronia, part faire ses études de médecine à Paris. Il faut savoir que depuis 1868, l'université y est ouverte aux femmes et les Polonais et les Russes s'y installent souvent pour étudier. (...) Lorsque Maria Sklodowska arrive en France en 1891, les femmes sont acceptées dans la recherche depuis près de 30 ans. (...) Il s'agit aussi d'une période de pleine expansion de l'industrie chimique de synthèse, ce qui engendre un besoin important de personnel qualifié. Dans ce contexte, le marché du travail est en demande et les femmes et les étrangers sont les bienvenus.

Source : Entretien avec l'historienne Natalie Pigeard, dossier pédagogique du film *Radioactive*

3/ Les personnages suivants ont-ils aidé ou au contraire entravé la carrière de Marie Curie ? Justifiez votre réponse d'après le film. NB : il peut y avoir des réponses multiples...

		A entravé Marie Curie	A aidé Marie Curie
	Pierre Curie		
	Le Professeur Lippman		
	Le comité Nobel		
	La presse à scandales		

4/ Marie Curie n'est pas la première femme à être entrée au Panthéon : Sophie Berthelot l'avait précédée en 1907. Mais c'était pour accompagner son mari, le scientifique Marcelin Berthelot (1827-1907).

Voici comment le ministre Aristide Briand la présentait, dans son hommage (1907): *"Elle avait toutes les qualités rares qui permettent à une femme belle, gracieuse, douce, aimable et cultivée d'être associée aux préoccupations, aux rêves et aux travaux d'un homme de génie"*.

Quelles sont les différences de caractère entre Marie Curie et Sophie Berthelot ? Entre le couple Berthelot et le couple Curie ?

5/ Faites une recherche sur internet : combien de femmes sont enterrées au Panthéon pour combien d'hommes ? Remplissez un tableau sur ce modèle :

Année	Nom	Pour quels mérites

Quelles autres femmes pourraient d'après vous entrer au Panthéon ?

6/ Voici comment la cinéaste Marjane Satrapi présente son film :

"À chaque fois au cinéma, ou presque, la femme est l'épouse, la mère, la fille, ou la sœur de quelqu'un. Elle se définit toujours par rapport à quelqu'un d'autre. D'après ce que j'ai pu lire sur Marie Curie, elle n'était pas la muse de Pierre Curie. Ils étaient plutôt deux esprits brillants."

En quoi d'après vous la production d'un film sur Marie Curie résonne avec les préoccupations contemporaines concernant l'égalité hommes-femmes, la parité, la représentation des femmes au cinéma ?

II/ MARIE CURIE, UNE SCIENTIFIQUE DANS LA GUERRE



1/ Qui sont les personnages qui apparaissent dans cette séquence du film ? En quoi cette image est-elle emblématique de la Première Guerre mondiale ?

2/ Comment Irène Curie parvient-elle à convaincre sa mère ?

3/ Dans un livre paru trois ans après la fin de la guerre, Marie Curie revient sur son expérience au service des blessés. D'après cet extrait (**document 2**) quelles étaient ses motivations ?

Document 3 La radiologie en temps de guerre par Marie Curie

Depuis la découverte des rayons X, en 1895, les méthodes de la radiologie, progressivement élaborées par les médecins, ont été appliquées avec succès sous la forme de radio-diagnostic et de radiothérapie. (...) Il était à prévoir que la radiologie serait d'un secours puissant pour l'examen des blessés de guerre. Néanmoins, on peut affirmer, que les services qu'elle a pu rendre à ce point de vue ont grandement dépassé toutes les prévisions. Il en est résulté, de divers côtés, un double effort : d'une part, pour développer et multiplier les méthodes d'observation radiologique, d'autre part, pour réaliser des installations et des appareillages capables de répondre à tous les besoins et à toutes les conditions de travail, dans les ambulances du front comme dans les hôpitaux du territoire.

(...) Les circonstances ont fait qu'à cette évolution, encore inachevée, j'ai pris une part active. Ayant voulu, comme tant d'autres, me mettre au service de la Défense nationale dans les années que nous venons de traverser, je me suis presque aussitôt orientée du côté de la radiologie m'efforçant de contribuer à l'organisation des services radiologiques notoirement insuffisants au début de la guerre. (...) Ce service a pris une grande extension, en raison même des besoins auxquels il s'agissait de faire face. Il m'a fallu faire de nombreux voyages aux hôpitaux et aux ambulances, pour vivre de leur vie et participer à leur travail. Il m'a fallu aussi m'occuper de la formation de personnel pour les besoins du service.

Marie Curie, *La Radiologie et la guerre*, 1921, Éditions Felix Alcan

Les motivations alléguées par Marie Curie en 1921 sont-elles les mêmes que celles que lui prête le film de 2020 ? Émettez une hypothèse pour expliquer cette différence.

4/ D'après le film et le **document 4**, qu'apporte la radiologie au traitement des blessures de guerre?

Document 4 Les utilisations de la radiologie en temps de guerre

J'ai gardé le souvenir d'une séance d'examen radiologiques dans un hôpital où se trouvait, entre autres, un jeune blessé, dépérissant depuis quelques semaines, avec le bassin fracturé. On avait peu d'espoir de le sauver. (...) Ayant pris, tout d'abord, la radiographie du bassin, on procéda à la radioscopie des membres inférieurs. Celle-ci fit apercevoir au-dessus du genou un éclat d'obus de dimensions considérables qui fut repéré et aussitôt extrait d'une poche de pus à grande quantité de liquide. On ne croyait pas sur le moment que cette opération, quoique nécessaire, aurait une grande répercussion sur l'état du blessé qui semblait souffrir surtout de sa fracture du bassin. Pourtant, après quelques semaines, j'appris que, du jour même de l'opération, l'état du blessé s'améliora avec rapidité (...). Ayant ainsi reconnu l'importance de l'extraction des projectiles, nous pouvons aussitôt affirmer que (...) l'emploi de la radiologie est indispensable. Nul n'accepterait plus de tenter cette aventure décevante de chercher à tâtons et à coups de bistouri le corps étranger souvent englobé dans des tissus qui en interceptent le contact. Et qui donc, en effet, pourrait s'y résoudre, sachant que grâce aux rayons X, il lui est possible de voir de ses propres yeux l'objet caché ?

Marie Curie, *La Radiologie et la guerre*, 1921, Felix Alcan

5/ D'après le film et le **document 5**, en quoi la Première Guerre mondiale a-t-elle pu faire évoluer la place des femmes dans la société française ?

Document 5

Les femmes pendant la guerre

Pendant la guerre, sur les 100 000 infirmières en activité, 70 000 étaient des femmes bénévoles qui n'avaient habituellement pas besoin de travailler pour vivre. En temps de paix, ces femmes seraient restées chez elles attendre leur mari. Or elles ont découvert qu'elles pouvaient être utiles socialement et certaines d'entre elles ont donc repris des études à la fin du conflit. Après la guerre, les françaises arrivent ainsi plus nombreuses dans le laboratoire de Marie Curie et cette dernière devient un modèle.

Source : Entretien avec Natalie Pigéard, dossier pédagogique du film *Radioactive*



DEBAT

Le poète Paul Valéry écrit à propos de la Première Guerre mondiale : *"Il a fallu sans doute beaucoup de science pour tuer tant d'hommes, dissiper tant de biens, anéantir tant de villes en si peu de temps."*

Listez* les avancées scientifiques et technologiques qui ont pris place avant, pendant et juste après le conflit mondial, et débattiez sur les effets positifs ou négatifs de la science.

* Vous pouvez vous aider de ce site :

<https://www.reseau-canope.fr/apocalypse-10destins/fr/dossiers-pedagogiques/les-progres-technologiques-et-scientifiques.html>

III/ LA SCIENCE ET SES APPLICATIONS EN DÉBAT

1/ Dans *Radioactive*, le récit fait des bonds en avant (des "flash-forwards") pour raconter les conséquences de la découverte de la radioactivité.

À quels événements ou périodes historiques font référence les séquences suivantes du film ?

	ÉVÉNEMENT HISTORIQUE
	
	
	
	



Point cinéma : le flash-forward

Le récit cinématographique procède souvent à des retours dans le passé : on appelle ce procédé cinématographique le « flash-back » (en littérature on emploie plutôt le mot savant d'analepse). Il effectue plus rarement des sauts dans le futur, ou « flash forwards » (en littérature : prolepse). Le scénario de *Radioactive* pousse ces procédés à l'extrême : commençant en 1934, peu avant la mort de Marie Curie, il va raconter la vie depuis sa naissance, mais aussi nous projeter dans le futur, bien après qu'elle a disparu : 1946, 1957, 1986.



2/ Lorsque Pierre Curie reçoit à Stockholm le Prix Nobel de Physique qu'il a remporté avec Marie Curie pour leurs travaux sur le radium, il prononce les phrases suivantes (**document 5**).

Faites une recherche : qui était Alfred Nobel ? Qu'a-t-il inventé ?

Document 5

Le discours de Pierre Curie lors de la remise de son Prix Nobel (extrait)

On peut concevoir que le radium soit très dangereux dans des mains criminelles. On peut se demander si l'humanité a avantage à connaître les secrets de la nature, si elle est mûre pour en profiter, et si cette connaissance ne lui sera pas nuisible. L'exemple des découvertes de Nobel est caractéristique. Les explosifs puissants ont permis à l'homme de faire des travaux admirables. Ils sont aussi un moyen terrible de destruction aux mains des grands criminels qui entraînent les peuples vers la guerre. Je suis de ceux qui pensent, avec Nobel, que l'humanité tirera plus de bien que de mal des découvertes nouvelles.

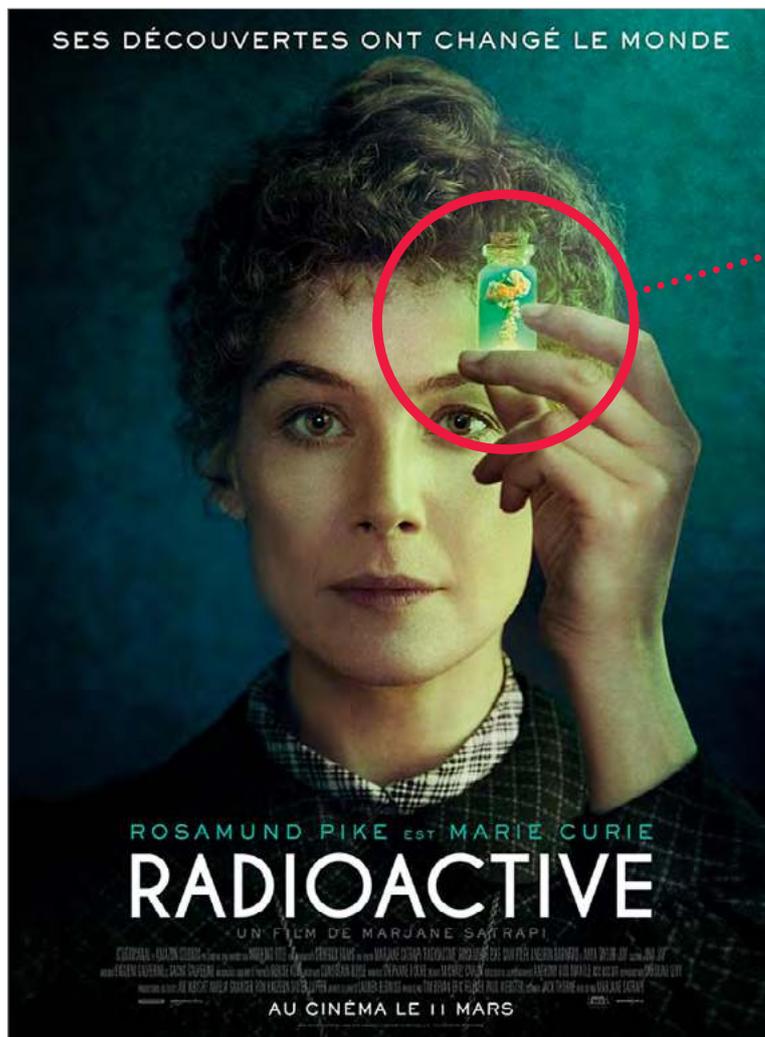
Source : Relevé des dialogues (sous-titres français) du film *Radioactive*



3/ Par quel procédé le film présente-t-il ce discours comme visionnaire ?

4/ Peut-on dire que *Radioactive* est une biographie de Marie Curie, mais aussi une "histoire de la radioactivité" ?

LECTURE D'IMAGE



5/ Analysez l'affiche du film *Radioactive*.

En quoi annonce-t-elle la thématique du film ?

6/ En vous appuyant sur le **document 5**, discutez la thèse du film de Marjane Satrapi.

Document 5

Une historienne discute la thèse du film

Associer Marie Curie et la bombe atomique est un raccourci : entre la découverte de la radioactivité et la fabrication de la bombe atomique, prennent place bien d'autres scientifiques, bien d'autres découvertes ! Il ne faut pas confondre le nucléaire et la recherche atomique.

Source : Entretien avec l'historienne Natalie Pigéard, dossier pédagogique du film *Radioactive*



I/ UNE FEMME D'EXCEPTION AU TOURNANT DU XX^E SIÈCLE

1/ Réponses possibles : intelligente / brillante / fière / indépendante / farouche / rebelle / sévère / agressive. On laissera débattre les élèves pour déterminer s'il s'agit de qualités ou de défauts.

Le film montre qu'elle a développé ces traits de caractère pour s'affirmer et défendre ses intérêts dans une société dominée par les hommes.

2/ Les deux autres personnages de femmes du film (si l'on excepte les filles de Marie Curie, et notamment Irène qui apparaît à la fin du film) sont la sœur de Marie et la femme de Paul Langevin. Ni l'une ni l'autre ne semblent travailler, elles sont présentées dans leur rôle de mère et d'épouse. Marie Curie n'est pas représentative des femmes de son époque car elles sont très rares à mener des études supérieures et à exercer ensuite des emplois qualifiés.

3/	A entravé Marie Curie	A aidé Marie Curie
Pierre Curie		Il propose à Marie de partager son atelier, il l'aide dans ses recherches. Il insiste auprès du comité Nobel pour que le Prix soit décerné à Marie autant qu'à lui.
Le Professeur Lippman	Il refuse à Marie un atelier plus grand, l'oblige à déplacer son matériel.	Il a engagé Marie à la Sorbonne. Il l'engage comme professeure après la mort de Pierre.
Le comité Nobel	Il décerne d'abord le prix Nobel de Physique à Pierre Curie seulement.	Il décerne un deuxième prix Nobel (de chimie) à Marie Curie.
La presse à scandales	Elle révèle la liaison de Marie avec Paul Langevin et monte une campagne de dénigrement contre elle.	

4/ Le caractère de Sophie Berthelot (tel qu'il apparaît dans l'hommage d'Aristide Briand) s'oppose à celui de Marie Curie (tel qu'il apparaît dans le film) : Marie n'est ni "douce", ni "gracieuse", ni "aimable", du moins au premier abord. Ce sont les qualités attendues des femmes de l'époque. Le couple asymétrique formé par les époux Berthelot et l'antithèse du couple égalitaire formé par les époux Curie : chez les Curie la femme n'est pas au service de son mari, il n'y a pas un génie mais deux.

5/

Année	Nom	Pour quels mérites
1907	Sophie Berthelot	Femme et assistante du scientifique Marcelin Berthelot (1827-1907)
1995	Marie Curie	Scientifique
2015	Geneviève de Gaulle-Anthonioz	Résistante, déportée pendant la Seconde Guerre mondiale Femme politique, présidente de l'association ATD Quart-Monde
2015	Germaine Tillion	Résistante, déportée pendant la Seconde Guerre mondiale Ethnologue
2017	Simone Veil	Déportée pendant la Seconde Guerre mondiale Femme politique engagée pour les droits des femmes (loi portant sur la légalisation de l'avortement) et pour la construction européenne.

II/ UNE SCIENTIFIQUE DANS LA GRANDE GUERRE

1/ Les personnages dans les fauteuils roulants sont des mutilés de guerre. Cette image est emblématique d'une guerre extrêmement violente qui a fait des millions de blessés et de mutilés. On pourra remarquer l'absence d'une "gueule cassée" (blessé au visage), autre symbole de la Guerre de 1914-1918. Debout derrière eux on remarque des infirmières, symbole de l'engagement des femmes dans la guerre.



Éléments de correction

2/ Irène convainc sa mère en lui montrant les victimes d'amputations, que pourrait éviter l'usage de la radiologie. Elle fait appel à sa compassion pour la souffrance des mutilés de guerre.

3/ On peut relever la phrase "Ayant voulu, comme tant d'autres, me mettre au service de la Défense nationale dans les années que nous venons de traverser." Dans le texte, Marie Curie met donc en avant des motifs patriotiques : elle a participé comme les autres Français et Françaises à la Défense nationale. Le texte a été écrit en 1921, trois ans après la guerre, dans un contexte d'exaltation du sentiment national (élection de la chambre "bleu horizon" en 1919). Plus de cent ans après le conflit, le spectateur d'aujourd'hui est moins sensible à cette dimension patriotique qu'à la souffrance des soldats, de quelque nationalité qu'ils soient.

4/ De nombreux blessés avaient reçu des balles et des éclats d'obus. L'utilisation des radios permet de localiser ces projectiles et de les extraire plus facilement, permettant ainsi de traiter plus rapidement, de faciliter la guérison et d'éviter des amputations inutiles.

5/ Les hommes étant au front, l'effort de guerre a nécessité la mobilisation de nombreuses femmes qui auparavant étaient cantonnées chez elle à l'entretien du foyer. Le rôle important qu'elles ont tenu pendant la guerre (par exemple les infirmières), leur a fait prendre conscience de leurs capacités, et les a incitées à exercer une activité professionnelle, à reprendre des études, après la guerre.

III/ LA SCIENCE ET SES APPLICATIONS EN DÉBAT

1/	ÉVÉNEMENT HISTORIQUE
Hiroshima, 1945	Largage de la première bombe atomique par l'armée américaine sur la ville japonaise d'Hiroshima.
Cleveland, 1957	Un jeune garçon subit une séance de radiothérapie pour traiter son cancer.
Nevada, 1961	Essais de la bombe atomique H (à hydrogène) dans le désert du Nevada par l'armée américaine.
Chernobyl, 1986	Accident de l'usine nucléaire de Tchernobyl en Ukraine.

2/ Alfred Nobel (1833-1896) est l'inventeur de la dynamite et d'autres procédés explosifs. Il a fait fortune dans la vente d'armement et décidé de consacrer une partie de cette fortune à la création et la dotation du prix qui allait porter son nom.

3/ Le film utilise le montage alterné : deux séquences (le discours de Pierre Curie, la bombe atomique larguée sur Hiroshima). Ce procédé est utilisé habituellement pour montrer la simultanéité de deux actions. Ici, les deux événements sont espacés de plusieurs dizaines d'années. C'est une manière de montrer le caractère visionnaire du discours de Pierre Curie, comme s'il avait déjà prévu ce qui allait se passer à Hiroshima.

4/ Le film ne s'arrête pas à la mort de Marie Curie, comme une biographie classique : il relate également des événements marquants liés aux utilisations civiles (radiothérapie, production d'électricité) ou militaires (bombe atomique) de l'atome.

5/ Marie Curie tient une petite fiole dont la lumière verte irradie toute la composition. Cette image reprend une scène du film au cours de laquelle Marie admire l'éclat du radium pur dont elle a réussi à isoler une petite quantité. Mais à l'intérieur de la fiole le graphiste a placé un "champignon atomique" (nuage de fumée caractéristique d'une explosion atomique) : manière de signifier que la découverte de Marie Curie porte en germe le danger de la bombe atomique.

6/ L'historienne Natalie Pigéard fait remarquer que de nombreuses découvertes scientifiques ont été nécessaires pour passer de la découverte du radium (Marie Curie) à la conception d'une bombe atomique : elle conteste qu'on puisse rendre Marie Curie "responsable" de celle-ci.



La démarche scientifique à travers *Radioactive*

Un film de Marjane Satrapi, 2019

Type d'activité : Questionnaire après visionnage

Durée de l'activité : 1h

Extraits utilisables :

Extrait 1 : De 11:36 à 13:19 (travail au laboratoire)

Extrait 2 : De 31:21 à 33:06 (séance de spiritisme)

Introduction

Les programmes de SVT, de Physique Chimie et d'Enseignement scientifique au Lycée ont notamment pour objectifs de faire appréhender aux élèves la démarche scientifique et de distinguer le savoir scientifique des croyances ou opinions. La reproductibilité des résultats, la précision des mesures, la tenue d'un carnet de laboratoire, le travail en équipe : autant de points qui sont présentés de manière juste et vivante dans le film *Radioactive*, au travers du travail de Marie et Pierre Curie.

Dans les programmes

Disciplines	Niveaux	Les objectifs de formation dans les programmes
Sciences de la Vie et de la Terre	Lycée	Renforcer la maîtrise de connaissances validées scientifiquement et de modes de raisonnement propres aux sciences
Physique chimie	Lycée	Faire pratiquer les méthodes et démarches de la physique et de la chimie en mettant particulièrement en avant la pratique expérimentale et l'activité de modélisation.
Enseignement scientifique	1 ^{ère}	Développer des compétences générales par la pratique de la réflexion scientifique.

Radioactive

Un film de Marjane Satrapi

Paris, fin du XIX^e siècle. Marie est une scientifique passionnée, qui a du mal à imposer ses idées et découvertes au sein d'une société dominée par les hommes. Avec Pierre Curie, un scientifique tout aussi chevronné, qui deviendra son époux, ils mènent leurs recherches sur la radioactivité et finissent par découvrir deux nouveaux éléments : le radium et le polonium. Cette découverte majeure leur vaut le prix Nobel et une renommée internationale. Mais après un tragique accident, Marie doit continuer ses recherches seule et faire face aux conséquences de ses découvertes sur le monde moderne...



1/ La méthode scientifique a été développée au XVII^e siècle. Employée par Marie et Pierre Curie, elle l'est encore par les scientifiques d'aujourd'hui. Elle est basée sur des observations, la formulation d'une problématique et d'hypothèses qui vont être testées puis infirmées ou confirmées par observation ou expérimentation. Cette méthode permet ainsi la construction de théories.

Dans l'une des scènes de *Radioactive*, Marie répète une expérience depuis une semaine, ce qui interroge Pierre Curie. S'ensuit un échange entre les deux scientifiques.

Radioactive : Retranscription des dialogues (11:36 à 13:19)

Pierre : Vous faites ce test depuis une semaine.

Marie : J'observe.

Pierre : Vous cherchez quoi ?

Marie : J'observe mieux en silence. Je mesure l'uranium et y découvre moins de radiations que dans son minerai.

Pierre : Le minerai est plus puissant que l'élément ?

Marie : Exactement. Et je ne peux...

Pierre : Simple anomalie.

Marie : J'ai fait l'analyse six fois, le résultat est identique. Mon instinct me dit qu'il y a un autre élément qui fausse le résultat.

Pierre : Vous auriez trouvé un nouvel élément ?

Marie : Si vous vous moquez, je...

Pierre : Non, pas du tout. C'est exaltant. Vos appareils sont inefficaces.

Marie : ils fonctionnent.

Pierre : pour des chiffres exacts, il nous faut une précision extrême.

Marie : Pas de « nous ».

Pierre : Il faut mesurer l'aspect microscopique de l'énergie.



Photogramme 1

Marie Curie répète la même expérience depuis une semaine

Document 1 La mesure et sa précision

Le mesurage (ou mesure) est l'ensemble des opérations permettant d'obtenir la valeur d'une grandeur. Le mesurage peut être direct (utilisation d'un instrument de mesure) ou indirect (grâce à une relation).

La valeur vraie correspondrait au résultat si le mesurage était parfait, c'est-à-dire sans aucune erreur.

La valeur mesurée, quant à elle, est la valeur trouvée expérimentalement.

L'erreur de mesure est la différence entre la valeur mesurée et la valeur vraie.

On distingue deux types d'erreurs :

- L'erreur systématique qui ne dépend pas du nombre de mesurages effectués et qui peut être due à une mauvaise connaissance du processus de mesure (effet physique non pris en compte, mauvaise connaissance des appareils par exemple).
- L'erreur aléatoire qui est liée à une dispersion des résultats des valeurs mesurées lors de la répétition des mesurages. Cette erreur est traitée de façon statistique ou probabiliste. Évaluer l'incertitude équivaut à estimer l'erreur aléatoire commise lors d'une mesure. Elle donne accès à un intervalle autour de la valeur mesurée dans lequel est supposée s'inscrire la valeur vraie.

QUESTION : Expliquez l'importance de répéter plusieurs fois la même expérience pour un scientifique, comme le fait Marie Curie, en vous appuyant sur le document 1 et la retranscription des dialogues du film.

2/ Au cours de l'échange, Pierre suppose que les résultats de Marie, pour être exacts, devraient être d'une précision extrême et lui propose ensuite de s'associer et d'utiliser un instrument de précision, mis au point par son frère et lui, un électromètre à quadrants.



Photographie de Pierre et Marie Curie (à droite) posant devant l'électromètre à quadrants, instrument de précision inventé par Pierre et son frère Jacques

Source : Wikipedia commons
https://wellcomeimages.org/indexplus/obf_images/b7/7d/Ofdedbd7465b85ef124e289c3358.jpg

L'expérience suivante va permettre de vérifier si, selon le matériel utilisé, les valeurs mesurées peuvent varier.

Expérience de mesure d'un volume d'eau

Objectif : On cherche à évaluer la précision de la mesure d'un volume d'eau grâce à différents types d'éléments de verrerie.

MATÉRIEL :

- 1 balance de précision
 - De l'eau
- 3 récipients pour effectuer la pesée :
- 1 bécher
 - 1 éprouvette graduée
 - 1 fiole jaugée

- Mesurer 50 mL d'eau avec un bécher, une éprouvette graduée et une fiole jaugée.
- Peser les 50 mL d'eau mesurés avec ces différents éléments de verrerie et noter les résultats dans le tableau suivant.
- Calculer la valeur vraie de la masse de 50 mL d'eau sachant que la masse volumique de l'eau est égale à 1 g.mL⁻¹.

Élément de verrerie	Bécher	Eprouvette graduée	Fiole jaugée
Masse de 50 mL d'eau			

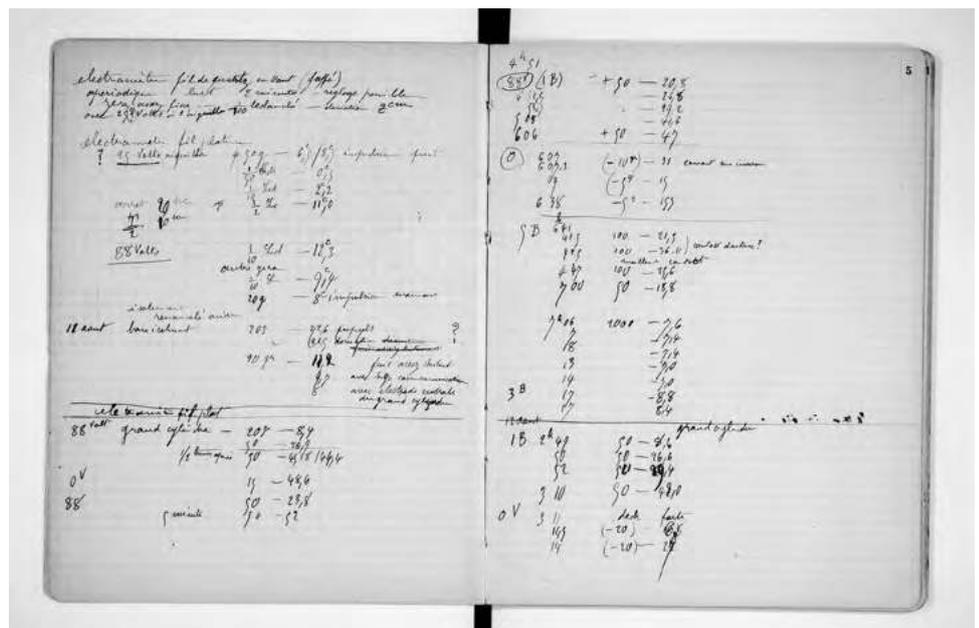
QUESTION : Expliquer l'importance pour un scientifique de choisir le matériel de mesure adéquat en comparant la précision des valeurs mesurées par rapport à la valeur vraie et en utilisant le **document 1**.

3/ En discutant des résultats de l'expérience qu'elle a répétée pendant la semaine avec Pierre, Marie consulte un cahier de laboratoire, dans lequel elle les a consignés.



Photogramme 2
Marie Curie consigne ses résultats dans son carnet de laboratoire.

Extrait d'un cahier de laboratoire de Pierre et Marie Curie, mentionnant l'électromètre
Source : Pierre et Marie Curie . Papiers. I — ŒUVRES ET TRAVAUX SCIENTIFIQUES. I-XIV Pierre Curie . Œuvres et travaux. VII Cahier de laboratoire : notes d'expériences sur la radioactivité. 27 juillet 1905-18 avril 1906.
Source : Gallica.fr



Les carnets de laboratoire sont des outils qui sont aujourd'hui codifiés et utilisés par les chercheurs.

Document 2 Les exigences du carnet de laboratoire au CNRS (Centre National de Recherche Scientifique)

Le cahier de laboratoire est un outil naturel du métier de chercheur. Il identifie l'auteur des travaux. Il mentionne la date et l'intitulé des travaux, leur description précise au fur et à mesure de leur avancement, les relevés de mesures et les conditions d'obtention, toute nouvelle hypothèse de travail, les liens entre les différentes phases d'une même expérimentation, les interprétations, critiques et commentaires sur les manipulations effectuées et sur les résultats obtenus, les réflexions visant à modifier les manipulations et/ou à améliorer les résultats constatés, le référencement des documents associés.

Source : <http://www.cnrs.fr/infoslabos/cahier-laboratoire/>

QUESTION : Expliquez l'intérêt de tenir des cahiers de laboratoire, tels que le faisaient Marie et Pierre Curie en utilisant le **document 2**.

4/ Dans *Radioactive*, Pierre emmène Marie assister à une séance de spiritisme menée par la médium Eusapia Palladino. La médium convoque l'âme de Beethoven grâce aux rayons X tandis qu'un pianiste, une plaque photographique sur la tête, interprète la *Sonate au Clair de lune* du compositeur. Le portrait de Beethoven apparaîtra sur cette plaque.



Photogramme 3

Séance de spiritisme initiée par la médium Eusapia Palladino

La découverte des rayons X en 1895 par Wilhelm Röntgen et celle de la radioactivité en 1896 par Henri Becquerel déclenchèrent un engouement du public pour les phénomènes invisibles. Des photographes commencèrent alors à chercher comment capturer ce qui ne pouvait être perçu par la vision humaine.

« Lorsque l'âme humaine émet une pensée, elle fait vibrer le cerveau, elle allume le phosphore qui y est contenu ; et les rayons sont projetés à l'extérieur. Lorsqu'on concentre sa pensée sur une forme mentale, un objet simple de contours, une bouteille par exemple, cette forme est susceptible de venir, sortant par les yeux, s'étaler lumineuse sur la plaque en y graphifiant son empreinte. (...) Ce phénomène se retrouve, obtenu sans le vouloir et sans fatigue, dans les objets regardés ; ayant une plaque enveloppée sur le front. J'ai la figure de Beethoven assez bien faite par un de mes amis qui, jouant au piano pendant une heure, avait accidentellement le portrait de ce compositeur sur une page détachée placée à côté de la partition. »

Source : Louis Darget, *Exposé de différentes méthodes pour l'obtention de photographies fluïdo-magnétiques et spirites*, Editions de l'initiation, 1909

QUESTION : Donnez l'explication « scientifique » avancée pour justifier l'apparition du portrait de Ludwig van Beethoven sur la plaque photographique lors de la séance de spiritisme en vous appuyant sur la séance de spiritisme présentée dans le film et le **document 3**.

5/ Au cours de cette scène, Pierre s'enthousiasme des nouvelles perspectives offertes par les découvertes scientifiques récentes et affirme que le spiritisme est « une science comme une autre ». Marie, quant à elle, objecte qu'il n'y a rien de scientifique dans tout cela : « Il n'y a rien à voir ni à analyser ».

Document 4 « Science et croyance : l'illusion du vrai et la certitude du faux »

La croyance est le fait d'affirmer l'existence de quelqu'un ou de quelque chose qui n'est ni perceptible à nos cinq sens ni vérifiable par une approche scientifique.

Une des caractéristiques de ceux qui sont habités par des croyances est le fait qu'ils ont le sentiment de détenir LA Vérité et la certitude que ceux qui ne la partagent pas sont dans l'erreur. A l'inverse, la science remet constamment en jeu son contenu (...). Aucun scientifique ne peut prétendre détenir la Vérité. (...)

La recherche scientifique repose sur deux piliers : celui de l'expérimentation ou de l'observation et celui de l'interprétation ou de l'approche théorique. Observer sans interpréter n'a aucun intérêt, croire en une théorie sans l'avoir testée conduit à des errements. (...) Le meilleur moyen de lutter contre les croyances est évidemment d'enseigner la science et ses méthodes. Cela veut-il dire que les scientifiques ne seraient pas sensibles aux croyances ? Toute l'histoire des sciences nous montre le contraire.

Source : Extrait d'un article de André BRAHIC « Science et croyance : l'illusion du vrai et la certitude du faux » publié dans la revue *Raison présente* en 2013 - Source : https://www.persee.fr/doc/raipr_0033-9075_2013_num_188_1_4505

QUESTION : Montrer que le spiritisme est une croyance (point de vue de Marie Curie) en utilisant le contenu de la séance de spiritisme du film *Radioactive* et le **document 4**.



Éléments de correction

1/ D'après la retranscription des dialogues de l'extrait 1 de *Radioactive*, Marie répète six fois la même expérience depuis une semaine et obtient à chaque fois le même résultat. Or, le document 1 nous apprend qu'il existe une erreur aléatoire lorsque l'on réalise un mesurage. Cette erreur est traitée de façon statistique ou probabiliste, d'où l'importance de reproduire plusieurs fois la même expérience pour un scientifique, comme le fait Maria Skłodowska.

2/ Calcul de la valeur vraie de la masse de 50 mL d'eau :

- Formule littérale : $\mu_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} / V_{\text{eau}}$ donc $m_{\text{eau}} = \mu_{\text{eau}} \times V_{\text{eau}}$
- Application numérique : $m_{\text{eau}} = 1 \times 50 = 50 \text{ g}$
- La valeur vraie de la masse de 50 mL d'eau est de 50 grammes.

3/ Les valeurs mesurées par les différents éléments de verrerie sont variables et ne sont pas égales à la valeur vraie calculée précédemment. Le document 1 nous indique qu'une valeur mesurée est soumise à des erreurs et que, selon le matériel, on peut obtenir une erreur systématique. C'est pour cela qu'il est important pour un scientifique de choisir le matériel de mesure adéquat et que, grâce à l'électromètre à quadrants, instrument de précision, conçu par Pierre Curie et son frère, Marie obtient des résultats concluants.

4/ Marie et Pierre Curie tenaient des cahiers de laboratoire. Cela permet notamment de garder une trace de la démarche scientifique des chercheurs.

5/ La médium Eusapia Palladino, lors de la séance de spiritisme mise en scène dans *Radioactive*, obtient une image de Beethoven en plaçant une plaque sur le front d'un pianiste jouant ce compositeur, grâce aux « regards X ». En effet, les découvertes scientifiques des rayons X et de la radioactivité ouvrent de nouvelles perspectives et des photographes, comme Louis Darget, pensent capter les pensées grâce à des plaques photographiques. Dans le document 3, celui-ci cite justement une expérience où Beethoven a été photographié grâce à un pianiste. Ainsi, ce résultat s'expliquerait par des rayons X émis par le cerveau du pianiste jouant le morceau composé par Beethoven.

6/ On peut penser que le spiritisme est une croyance et non pas une science car c'est l'affirmation de l'existence d'un phénomène qui n'est ni perceptible à nos cinq sens ni vérifiable par une approche scientifique (document 4), ce qui est appuyé par Marie Curie qui souligne qu'il n'y a rien à voir ni à analyser. On croit à cette théorie sans l'avoir testée alors que dans la méthode scientifique, on observe puis on formule un problème puis des hypothèses que l'on teste afin de construire une théorie.

Pour aller plus loin

- ▶ Marie Curie – *La combattante aux deux prix Nobel qui sauva des millions de vies*, Collection « Femmes d'exception », RBA, 2020 (<https://www.femmes-dexception.fr>)
- ▶ Persée est une unité mixte de services qui réunit l'ENS de Lyon, le CNRS, l'Université de Lyon. Ouvert en 2005, le portail Persée réunit des collections complètes de revues, d'actes de colloques, de séries et de livres. (<http://info.persee.fr>)
- ▶ *La photographie transcendante : les êtres et les radiations de l'espace*, Paris : Librairie Nationale, 1910



Les applications médicales des découvertes de Marie et Pierre Curie à travers *Radioactive*

Un film de Marjane Satrapi, 2019

Type d'activité : Questionnaire après visionnage

Durée de l'activité : 1 h

Extraits intéressants : **Extrait 1** : De 35:06 à 36:05 (test du radium sur une tumeur)
 Extrait 2 : De 36:05 à 38:34 (radiothérapie du garçon)

Introduction

Dans son film *Radioactive*, Marjane Satrapi propose une biographie romancée de la vie de Marie Curie, mais également une brève histoire de la radioactivité (sa découverte, ses applications) au XX^e siècle. À côté des utilisations militaires de l'atome, le film montre comment les découvertes de Marie et Pierre Curie ont permis de développer des traitements efficaces pour soigner les cancers.

Discipline	Niveau	Dans les programmes
SVT	1 ^{ère} spécialité SVT	Des modifications du génome des cellules somatiques surviennent au cours de la vie individuelle par mutations spontanées ou induites par un agent mutagène ou certaines infections virales. Elles peuvent donner naissance à une lignée cellulaire dont la prolifération incontrôlée est à l'origine de cancers. La connaissance des causes d'apparition d'un type de cancers permet d'envisager des mesures de protection (éviter des agents mutagènes, surveillance régulière en fonction de l'âge, vaccination), de traitements (médicaments, thérapie génique par exemple) et de guérison.



Radioactive

Un film de Marjane Satrapi

Paris, fin du XIX^e siècle. Marie est une scientifique passionnée, qui a du mal à imposer ses idées et découvertes au sein d'une société dominée par les hommes. Avec Pierre Curie, un scientifique tout aussi chevronné, qui deviendra son époux, ils mènent leurs recherches sur la radioactivité et finissent par découvrir deux nouveaux éléments : le radium et le polonium. Cette découverte majeure leur vaut le prix Nobel et une renommée internationale. Mais après un tragique accident, Marie doit continuer ses recherches seule et faire face aux conséquences de ses découvertes sur le monde moderne...

1/ C'est en 1896 que Henri Becquerel découvre la radioactivité, c'est-à-dire la transformation spontanée d'un noyau instable en un autre noyau, accompagnée de l'émission d'un rayonnement radioactif. En 1898, travaillant à extraire les composants les plus actifs de la pechblende, Marie et Pierre Curie découvrent deux nouveaux éléments, le polonium et le radium. Marie entreprend ensuite d'isoler du sel de radium pur. En 1903, Marie Curie, Pierre Curie et Henri Becquerel partagent le prix Nobel de physique pour leurs recherches sur les radiations.

Cependant, dès 1898, les Curie ressentent une grande fatigue.

Le film *Radioactive* montre la toux sanglante de Pierre Curie, la nécrose (mort) des tissus de sa peau suite au contact avec du radium et l'anémie (quantité insuffisante d'hémoglobine dans le sang) de Marie Curie. Celle-ci décède finalement d'une leucémie (cancer des cellules de la moelle osseuse) en 1934.



Photogramme 1

Dans leur lit, Pierre est pris d'une quinte de toux et Marie tient précieusement un petit flacon de radium dans sa main.

Document 1 Origine d'un cancer

Un **cancer** est une prolifération incontrôlée des cellules, formant des tumeurs qui ont tendance à se détacher (elles sont dites malignes) et à s'implanter dans différentes parties du corps où elles forment des métastases.

Une **tumeur** est le développement d'un ensemble de cellules. Il peut être limité dans l'espace et dans le temps, on parle de tumeur bénigne. Les cellules peuvent continuer à proliférer et se détacher pour s'implanter dans différentes parties du corps où elles forment des métastases, on parle alors de tumeur maligne.

La prolifération incontrôlée de cellules est due à des **mutations** (modifications de la séquence de nucléotides de l'ADN). Les mutations peuvent être induites par un **agent mutagène** qui augmente la fréquence de mutation (rayonnement radioactif par exemple).

QUESTION : Expliquez les problèmes de santé de Marie et Pierre Curie en utilisant le **photogramme 1** et le **document 1**.

2/ Le film présente deux événements ayant conduit à une forte exposition de populations humaines à des rayonnements radioactifs : l'accident nucléaire de Tchernobyl et le bombardement atomique de la ville d'Hiroshima.



Photogramme 2

un pompier intervenant
la nuit du drame de
Tchernobyl en 1986



Photogramme 3

bombardement atomique de la
ville japonaise de Hiroshima en
1945 par les Etats-Unis

Document 2 Conséquences sur la santé des populations de l'accident de Tchernobyl

La catastrophe nucléaire de Tchernobyl datant du 25 avril 1986 a conduit à la libération d'importantes quantités d'éléments radioactifs dans l'atmosphère, provoquant une très large contamination de l'environnement.

Deux études internationales ont estimé une relation entre la dose reçue à la moelle osseuse et le risque de leucémie proche de celle observée chez les survivants des bombardements de Hiroshima et de Nagasaki. Chez les liquidateurs chargés du nettoyage du site et des alentours dans les premiers mois après l'accident, le risque de leucémie est multiplié par un facteur allant de 2 à 6. En plus des intervenants sur le site de la centrale de Tchernobyl, environ 5 millions d'habitants de Biélorussie, d'Ukraine et de Russie ont été exposés.

L'effet majeur au sein de ces populations a été une augmentation importante de la fréquence des cancers de la thyroïde dans les 4 à 5 ans suivant l'accident, en particulier chez les individus qui étaient alors enfants.

Source : institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (ISRN)

QUESTION : Identifiez des effets sur la santé humaine liés à l'exposition aux substances radioactives en justifiant grâce aux **photogrammes 2 et 3** et au **document 2**.

3/ Le film met également en lumière les traitements pour lutter contre le cancer que les découvertes de Marie et Pierre Curie ont permis de développer. Le dermatologue Henri-Alexandre Danlos est la première personne, sur les conseils de Pierre Curie, à implanter des sources radioactives de radium dans une tumeur.

Radioactive : retranscription des dialogues (de 35:06 à 36:05)

Pierre : Danlos, le dermatologue, est venu me voir la semaine dernière, exalté. Il a mis du chlorure de radium sur une tumeur. Et elle a considérablement diminué.

Marie : Diminué ?

Pierre : Deux mille ans, le cancer, la maladie incurable. Tu imagines ? Ils forment un groupe de travail.

Marie : Notre radium soignerait les cancers.

Pierre : Danlos n'est qu'un début. Je sens notre travail rayonner. Je le sens changer le monde.

Document 3 Le principe de la curiethérapie ou radiothérapie interne ou radiumthérapie

Planning de traitement de curiethérapie



Sources radioactives utilisées en curiethérapie



La curiethérapie consiste à mettre au contact ou à l'intérieur des tumeurs des sources radioactives (petits morceaux de métal radioactif), ce qui permet un traitement ciblé. En effet, la radioactivité émise par la source permet de détruire les cellules cancéreuses sans trop toucher les cellules à proximité. Elle peut être prescrite pour certains cancers de la prostate, gynécologiques, du canal anal ou de l'œil.

Source : <https://curie.fr/page/radiotherapie>

Photos : © Wikipedia commons



Photogramme 4

Peter, le premier garçon atteint d'un cancer traité grâce à un accélérateur linéaire de particules dans un hôpital de Cleveland, en 1957, par radiothérapie externe

Document 4 Le principe de la radiothérapie externe

La radiothérapie externe consiste à délivrer un faisceau d'électrons, de photons ou de protons (protonthérapie). Ces rayons sont produits par un accélérateur linéaire de particules. Au départ de cet appareil, les rayons sont dirigés avec grande précision jusqu'à la partie du corps à traiter. Ces rayons vont traverser la peau et les tissus sains pour atteindre la tumeur.

QUESTION : Présentez les applications des découvertes de Marie et Pierre Curie dans la lutte contre le cancer en utilisant les **documents 3 et 4**, ainsi que les dialogues du premier extrait, le **photogramme 4** de *Radioactive*.



Éléments de correction

1/ Marie et Pierre Curie, en contact quasi permanent avec des éléments radioactifs, montrent des symptômes tels que toux sanglante, grande fatigue et anémie. Par ailleurs, Marie Curie décèdera d'une leucémie. On peut se demander s'il existe un lien entre cette exposition et leurs problèmes de santé. Or, le document 2 nous permet de relier le cancer à une prolifération incontrôlée de cellules due à des mutations. Ces mutations peuvent être le résultat d'une exposition à des agents mutagènes tels que les rayonnements radioactifs.

2/ Dans la zone à proximité de Tchernobyl, une augmentation des cancers de la thyroïde et de la moelle osseuse (leucémies) a été notée chez les personnes étant intervenues sur le site et chez les habitants. Cette augmentation est comparable à celle évaluée suite aux bombardements de Hiroshima et Nagasaki. L'exposition aux rayonnements radioactifs augmente donc la fréquence des mutations et par conséquent, celle des cancers.

3/ Dans l'extrait 1, Pierre Curie explique que Danlos, le dermatologue a appliqué du chlorure de radium sur une tumeur et qu'elle a considérablement diminué. C'est un premier essai de curiethérapie. Le document 4 nous apprend que dans cette radiothérapie interne, de petits morceaux de métal radioactifs sont placés dans ou à proximité de la tumeur. La radiothérapie externe, utilisée pour traiter le jeune garçon dans l'extrait de *Radioactive* correspond à l'application de rayons ciblés sur la tumeur. L'objectif est de détruire les cellules tumorales. Les avancées du couple ont également ouvert la voie à la radiothérapie externe. Dans le film, un jeune garçon est traité en 1957 (photogramme 5) grâce à des rayons ciblés au niveau de la tumeur délivrés par un accélérateur linéaire de particules (document 5).

Pour aller plus loin

► Visite du Musée Curie - 21, rue Tournefort, 75005 Paris : <https://musee.curie.fr/>

► Institut Curie

L'institut Curie est une fondation reconnue d'utilité publique depuis 1921. Son ambition, depuis sa création par Marie Curie, est axée autour de trois missions : la recherche, les soins, la conservation et la transmission des savoirs : <https://curie.fr/>

Organiser une séance scolaire

Pour organiser une séance de cinéma pour vos classes dans la salle de cinéma de votre choix, connectez-vous à Zérodeconduite et remplissez un formulaire de demande de séance.

www.zerodeconduite.net/seances-scolaires

Crédits du dossier

Dossier réalisé par Pauline Le Gall, Vital Philippot et Fanny Renaud (activités pédagogiques Sciences) pour Zérodeconduite.net en partenariat avec Studiocanal.

Photos : © StudioCanal SAS - Amazon Content Services LLC