



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université de Blida-1



Faculté des Sciences de la Nature et de la vie

Département de biologie

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : Biologie et physiologie de la reproduction

Thème :

## Les radiations et leur impact sur la reproduction : étude analytique

Présenté par :

**Ait Hamadouche Meriem**

Soutenu :

**16 juillet 2025**

Soutenu devant le jury:

Président :	M Kalem.A	MCA	ISV/USDB1
Examinatrice :	Mme. Tarzaali.D	MCA	USDB1
Encadreur :	M.BESSAAD.A	MCA	USDB1

Année Académique : 2024/2025



## Résumé :

Notre étude porte sur l'impact des radiations concernant la reproduction. Face à une exposition croissante aux rayonnements d'origine médicale, environnementale ou technologique, il était crucial d'analyser les conséquences biologiques et cliniques de ces agents sur la fertilité.

À travers une analyse bibliographique approfondie de 15 articles scientifiques, nous avons exploré les effets des radiations ionisantes (rayons X, gamma, alpha...) et non ionisantes (radiofréquences, Wi-Fi) sur la spermatogenèse, l'ovogenèse, la fonction hormonale et utérine, ainsi que sur les risques génétiques et transgénérationnels.

Nous avons regroupé les articles selon des stratégies méthodologiques (expérimentales, cliniques, dosimétriques, analytiques) et selon les thématiques (fertilité masculine/féminine, types de rayonnement, âge, radiosensibilité). Des figures comme des histogrammes et des courbes dose-effet ont été élaborées pour illustrer les différences de radiosensibilité selon le sexe et l'âge.

Les résultats mettent en évidence une radiosensibilité accrue chez les femmes, surtout les filles prépubères, et des effets critiques dès 2–4 Gy. Les effets chez l'homme apparaissent à des doses plus élevées, mais peuvent aussi mener à une stérilité irréversible.

L'étude conclut sur l'importance d'une approche multidisciplinaire pour comprendre et prévenir les effets des radiations sur la reproduction, en associant biologie moléculaire, médecine clinique, physique médicale et épidémiologie.



## تلخيص :

من كان والتكنولوجي، والبيئي الطبي المنشأ ذات للإشعاعات التعرض تزايده ظل في .الإنجاب على الإشعاع تأثير على دراستنا ثُرَّكَرَ الخصوبة على العوامل لهذه والسريرية البيولوجية الآثار تحليل الضروري

ألفا، أشعة جاما، أشعة السينية، الأشعة) المؤين الإشعاع آثار استكشفنا علمياً، مقالاً عشر لخمسة العلمية للأدبيات معمقة مراجعة خلال من والرحمية، الهرمونية والوظائف البويبضات، وتكوين المنوية، الحيوانات تكوين على (فاي واي الراديوية، التردادات) المؤين وغير (الخ الأجيال عبر والمخاطر الجينية المخاطر إلى بالإضافة

الإناث، الذكور خصوبة) والمواضيع (التحليلية الجرعات، قياس السريرية، التجريبية)، المنهجية للاستراتيجيات وفقاً المقالات صُنِّفت في الاختلافات لتوضيح للجرعة الاستجابة ومنحنيات التكرارية المدرجات مثل أشكال وضع .(الإشعاع الحساسية العمر، الإشعاع، أنواع والعمر الجنس حسب للإشعاع الحساسية

2 بين تتراوح بجرعات تبدأ حرجة وتأثيرات البلوغ، سن قبل الفتيات وخاصة للإشعاع، النساء حساسية زيادة على الضوء النتائج شُلُط فيه رجعة لا عقم إلى أيضًا تؤدي قد ولكنها أعلى، لجرعات التعرض عند الرجال لدى التأثيرات هذه تظهر .غراء 4 و

الجزئي، الأحياء علم بين يجمع منها، والوقاية الإنجاب على الإشعاع آثار لفهم التخصصات متعدد نهج اتباع أهمية إلى الدراسة وثُلُصَنَ الأوبئة وعلم الطبية، والفيزياء السريري، والطب

\*



## **Abstract :**

Our study focuses on the impact of radiation on reproduction. Faced with increasing exposure to radiation from medical, environmental, or technological sources, it was crucial to analyze the biological and clinical consequences of these agents on fertility.

Through an in-depth bibliographic analysis of 15 scientific articles, we explored the effects of ionizing radiation (X-rays, gamma rays, alpha particles...) and non-ionizing radiation (radiofrequencies, Wi-Fi) on spermatogenesis, oogenesis, hormonal and uterine function, as well as genetic and transgenerational risks.

We grouped the articles according to methodological strategies (experimental, clinical, dosimetric, analytical) and according to themes (male/female fertility, types of radiation, age, radiosensitivity). Figures such as histograms and dose-response curves were developed to illustrate differences in radiosensitivity by sex and age.

The results highlight an increased radiosensitivity in females, especially prepubescent girls, and critical effects beginning at 2–4 Gy. Effects in males appear at higher doses but can also lead to irreversible sterility.

The study concludes with the importance of a multidisciplinary approach to understand and prevent the effects of radiation on reproduction, combining molecular biology, clinical medicine, medical physics, and epidemiology.



## **Remerciments :**

Avant toute chose nous remercions ALLAH, le tout puissant de nous avoir donné la force, la patience et le courage d'entamer et de terminer ce mémoire .

Nos remerciements les plus profonds vont à Monsieur BESSAAD Mohamed El Amine, notre promoteur, pour son accompagnement précieux, sa disponibilité constante et ses conseils avisés. Votre encadrement rigoureux, mais toujours bienveillant, a été d'une aide inestimable. Nous avons grandement apprécié votre soutien, tant sur le plan scientifique que personnel.

Votre générosité, votre compréhension et votre dévouement resteront gravés dans nos mémoires.

Nous exprimons également notre gratitude à Monsieur KALEM, président du jury, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'évaluer notre travail. Sa présence et son attention ont été très appréciées, et nous lui témoignons tout notre respect et nos remerciements.

Nos remerciements vont aussi à Madame TARZAALI, examinatrice, pour l'intérêt qu'elle a porté à notre travail et pour ses remarques constructives qui nous ont permis d'approfondir notre réflexion. Sa rigueur et son implication nous ont été très bénéfiques.

Enfin, nous remercions de tout cœur toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à la réalisation de ce travail par leur aide, leurs conseils ou leurs encouragements.



## Dédicaces :

À la douce mémoire de ma mère,

toi qui m'as transmis la force de croire, d'apprendre, d'avancer et encouragé durant ces années d'études

Ton absence est une blessure silencieuse,

mais ton amour continue de m'accompagner chaque jour.

Ce travail, fruit de tant d'efforts et d'espérance,

je te le dédie humblement, avec respect, gratitude et tout mon cœur.

Tu vis à travers chaque ligne, chaque réussite, chaque pas.

À mon père,

pilier de ma vie, source de sagesse et de force.

Merci pour ton amour constant, ton soutien inébranlable,

et pour tous les sacrifices que tu fais avec le cœur pour nous

Ce mémoire est le fruit d'un chemin que tu as toujours soutenu,

et je te le dédie avec toute ma gratitude et tout mon amour.

Je vous aime.

À mes frères yacine, Abdelilleh, Zohir et Zakaria, mes sœurs Maria, et Zineb

mes premiers alliés, mes repères et mes complices de toujours.

A mes belles soeurs, mes nièces leina, Chaima et Céline mon neveu Yanis

A mes cousines Alia et Mira

A mes amis ceux qui m'ont entourée, soutenue

Merci pour votre aide précieuse, votre patience, vos encouragements

et pour les moments partagés entre rires, stress, et motivation.

Votre présence m'a portée dans les moments difficiles et ce mémoire porte aussi

la trace de votre bienveillance avec toute ma gratitude et mon affection.



## Liste des figures :

<b>Figure 01</b> : Schéma de la spermatogenèse et organisation du testicule. (De Boeck Université.2007).....	3
<b>Figure 02</b> : Schéma de la regulation hormonale et la fonction reproductrice masculine (Faculté de Médecine d'Alger. (2014)).....	6
<b>Figure 03</b> : Appareil génital masculin (Dessin Michel Saemann - Archives Larousse).....	7
<b>Figure 04</b> : Anatomie détaillée du testicule par (G. Tobelem 1983).....	8
<b>Figure 05</b> : Schéma des différentes étapes de l'ovogenèse (Sadler,2020).....	9
<b>Figure 06</b> : Schéma de la régulation hormonale de la fonction ovarienne(Nelson, 2022).....	11
<b>Figure 07</b> : Schéma de l'appareil génital féminin (Moore et al., 2019).....	12
<b>Figure 08</b> : histologie d'ovaire immature humain au stade fœtal (~8 mois ) Gartner, L. P., & Hiatt, J. L. (2021).....	13
<b>Figure 09</b> : Classification des articles selon les paramètre étudiés.....	17
<b>Figure 10</b> : histogramme comparatif qui illustre les forces et faiblesses des différentes stratégies méthodologiques selon plusieurs critères d'analyse.....	26
<b>Figure 11</b> : graphique radar qui visualise clairement les profils comparés des quatre stratégies méthodologiques.....	26
<b>Figure 12</b> : histogramme de la radiosensibilité selon le sexe et l'age.....	33
<b>Figure 13</b> : Schéma des Mécanismes biologiques de effets des radiations sur la reproduction.....	35



## Liste des tableaux :

<b>Tableau I</b> : tableau représentatif des hormones hypothalamiques, hypophysaires et testiculaires dans la régulation de la spermatogenèse .....	5
<b>Tableau II</b> : présentation des articles sélectionnées autour de l'impact des radiations sur la reproduction .....	18
<b>Tableau III</b> : l'ensemble des articles étudiés avec leurs problématiques et objectif.....	20
<b>Tableau IV</b> : ensemble des méthodologies partagées par groupe d'article.....	25
<b>Tableau V</b> : regroupement des articles selon la fertilité (masculine/féminine) et le type de radiation.....	30
<b>Tableau VI</b> : tableau effets des radiations ionisantes sur la fertilité en fonction des doses reçues chez les deux sexes.....	32



## Liste des abréviations :

- **ADN** : Acide DésoxyriboNucléique Molécule porteuse de l'information génétique.
- **AMH** : Anti-Müllerian Hormone Hormone anti-müllérienne, marqueur de la réserve ovarienne.
- **CAT** : Catalase – Enzyme antioxydante (présente dans les mécanismes de défense contre les ROS)
- **Comet Assay** : Test des comètes – Méthode de détection des cassures d'ADN dans des cellules individuelles
- **Do** : Dose réduisant la survie à 37% Dose de radiation qui réduit la survie cellulaire à 37%, utilisée en radiobiologie.
- **FSH** : Follicle Stimulating Hormone – Hormone folliculo-stimulante
- **GPx** : Glutathione Peroxidase – Enzyme antioxydante
- **Gy** : Gray Unité de dose absorbée de radiation (1 Gy = 1 joule/kilogramme).
- **HDR** : High Dose Rate Taux de dose élevé
- **LDR** : Low Dose Rate Taux de dose faible
- **LET** : Linear Energy Transfer – Transfert linéaire d'énergie
- **LH** : Luteinizing Hormone – Hormone lutéinisante
- **MRI** : Magnetic Resonance Imaging Imagerie par résonance magnétique (mentionnée dans certains contextes médicaux).
- **MV** : MegaVolt Unité d'énergie des photons dans les faisceaux radiothérapeutiques.



- **OER** : Oxygen Enhancement Ratio Ratio d'amélioration de l'oxygène, mesure de l'effet de l'oxygène sur la radiosensibilité.
- **PCR** : Polymerase Chain Reaction Technique d'amplification de l'ADN (mentionnée dans certains articles connexes).
- **POF** : Premature Ovarian Failure Insuffisance ovarienne prématuée, arrêt prématué de la fonction ovarienne.
- **REMN** : Rayonnements électromagnétiques non ionisants – Champs électromagnétiques d'usage quotidien
- **RF-EMF** : Radiofrequency Electromagnetic Fields Champs électromagnétiques de radiofréquence, émis par les téléphones portables, Wi-Fi, etc.
- **ROS** : Reactive Oxygen Species Espèces réactives de l'oxygène, molécules impliquées dans le stress oxydatif.
- **SOD** : Superoxyde Dismutase – Enzyme antioxydante
- **TUNEL** : Terminal deoxynucleotidyl transferase dUTP Nick End Labeling – Test de détection de l'apoptose



## Sommaire :

### **Introduction .**

### **Synthèse bibliographique**

### **Partie I : La reproduction**

I.1 Généralités sur la reproduction

I.2. Physiologie de la reproduction

I.2.1 Spermatogenèse

- Regulation hormonal
- Rappels anatomique

I.2.2. Ovogenèse

- Regulation hormonal
- Rappels anatomique

### **Partie II : Impact des radiations sur la reproduction:**

II.1 Nature et classification des radiations

II.2.1. Radiations ionisantes

II.2.2. Radiations non ionisantes

### **Matériel et Méthodes**

I. Le cheminements de notre projet:

II. Objectif

III. La nature des données

IV. Les critères d'inclusions et d'exclusions des articles

IV.1 Les critères d'inclusions

IV.2. Les critères d'exclusion



## **Résultat et Discussion :**

I. Interprétation

II. Analyse critique et comparative des stratégies méthodologiques utilisées

III. Analyse critique et comparative des résultats d'articles regroupés selon la thématique

## **conclusion**



## Introduction :

Les radiations font partie de notre environnement depuis toujours, qu'elles soient naturelles (rayonnement cosmique, tellurique, radon) ou artificielles (applications médicales, industrielles, militaires ou nucléaires). Avec l'avancée des technologies radiologiques, des télécommunications, des scanners médicaux et de la production d'énergie nucléaire, la présence de ces radiations s'est intensifiée à l'époque moderne. Ces expositions, qu'elles soient ionisantes (rayons X, gamma, particules alpha ou bêta) ou non ionisantes (ondes électromagnétiques, radiofréquences, micro-ondes), soulèvent des inquiétudes croissantes quant à leurs effets sur la santé humaine. (**Zhou et al., 2018 ; Gresits et al., 2020**)

Le système reproducteur est considéré comme l'un des plus sensibles, en particulier les cellules germinales qui sont très vulnérables aux agents génotoxiques. Une exposition chronique ou aiguë aux radiations peut entraîner des altérations de la spermatogénèse et de l'ovogenèse, des troubles endocriniens, une diminution de la fertilité, ainsi que des anomalies embryonnaires qui peuvent être transmissibles aux générations futures. Ces effets peuvent varier en fonction du type, de la dose et de la durée de l'exposition, mais aussi en fonction de l'âge, du sexe et de l'état physiologique des individus exposés (**Wyrobek et al., 2007 ; Aitken & De Iuliis, 2010**)

il devient nécessaire de s'interroger :

Quelles sont les conséquences biologiques des radiations sur la reproduction humaine dans un environnement où leur exposition est de plus en plus fréquente ? Quels sont les mécanismes en jeu et comment peut-on diminuer leurs effets négatifs pour protéger la fertilité et la santé reproductive des populations concernées ?

L'objectif de cette étude est revisiter les effets des radiations ionisantes et non ionisantes sur la reproduction humaine en identifiant leurs origines et en examinant les mécanismes biologiques en jeu. Nous cherchons également à comparer les conséquences sur la reproduction masculine et féminine, à étudier les risques transgénérationnels et à recommander des mesures de radioprotection pour réduire ces effets.



## Partie I: la reproduction

### I.1. Généralités sur la reproduction

La reproduction est un processus biologique fondamental permettant la production de nouveaux individus d'une espèce à partir d'individus préexistants, assurant ainsi la continuité de l'espèce. Elle est une des fonctions vitales communes à tous les êtres vivants.

Il existe deux grands types de reproduction : reproduction sexuée et reproduction asexuée

La reproduction sexuée est présente chez la majorité des organismes multicellulaires eucaryotes, y compris les humains.

Chez l'humain, la reproduction sexuée est un processus complexe qui implique la fusion de deux cellules reproductrices appelées gamètes (spermatozoïde mâle et ovule femelle). Cette fusion, appelée fécondation, donne naissance à un zygote, cellule unique qui est le point de départ d'un nouvel individu. (Hireche, S. (s.d.).

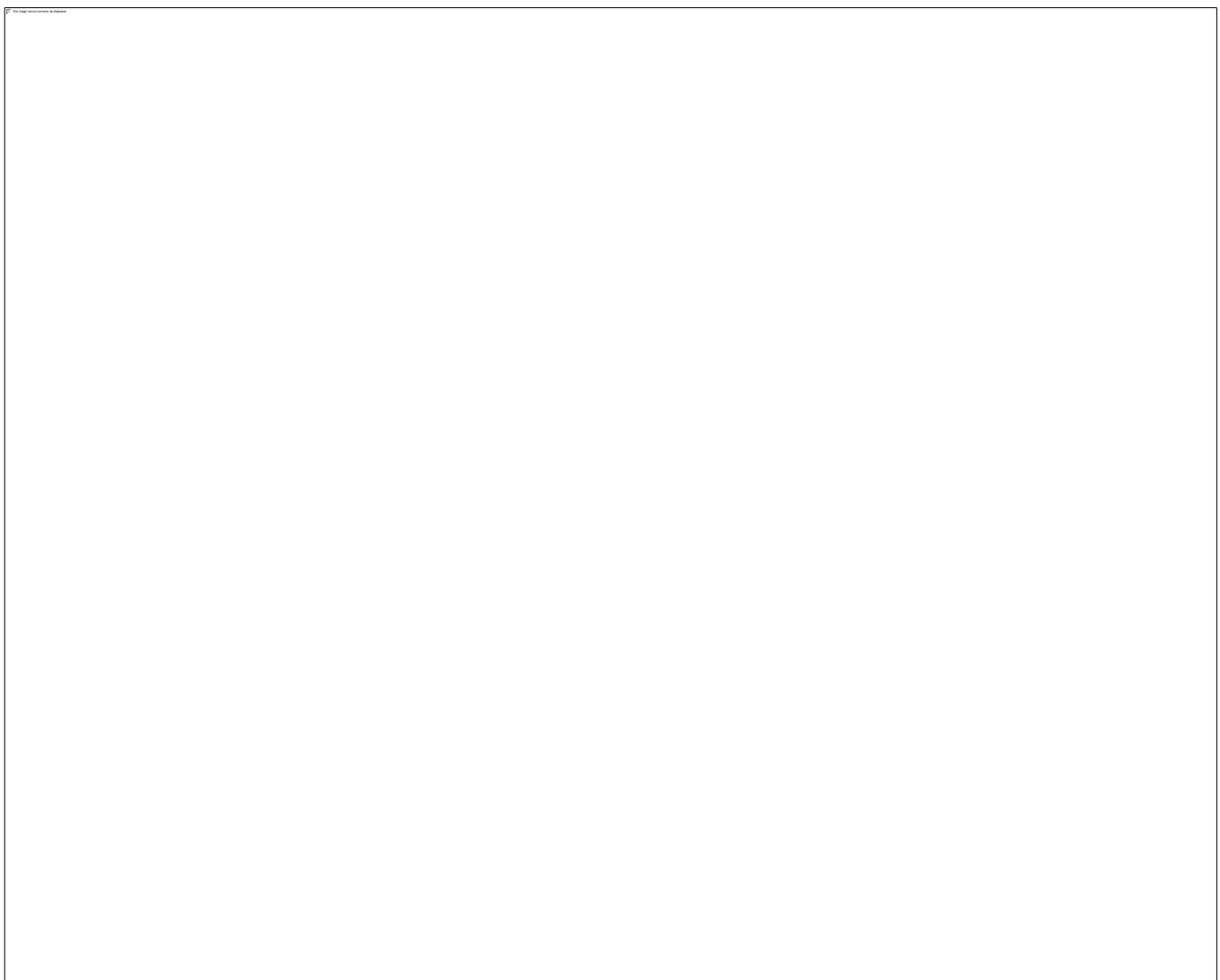
Le système endocrinien assure une coordination fine entre les organes reproducteurs et les besoins physiologiques pour garantir la reproduction. (MSD Manuals. (2025)

Les radiations ionisantes peuvent nuire à la reproduction en fonction de différents facteurs environnementaux tels que la dose, la durée d'exposition et la sensibilité des tissus reproducteurs. (Meistrich, M. L. (2013)

## I.2 La physiologie de la reproduction

### I.2.1. Spermatogénèse

La spermatogenèse est le processus de formation des spermatozoïdes dans les tubes séminifères des testicules. Elle se déroule en trois grandes étapes clés :



**Figure 1** Schéma de la spermatogenèse et organisation du testicule. (**De Boeck Université.2007**)

- Phase de multiplication (spermatocytogenèse)

Les spermatogonies, cellules souches diploïdes situées à la périphérie des tubes séminifères, subissent des mitoses successives. Cette phase permet à la fois le maintien du stock de spermatogonies et la production de spermatocytes primaires diploïdes ( $2n$ ) qui entreront en méiose.

- Phase de maturation (méiose)

Les spermatocytes primaires subissent la première division méiotique (méiose I) pour donner deux spermatocytes secondaires haploïdes ( $n$ ), puis ces derniers réalisent la deuxième division méiotique (méiose II) pour produire quatre spermatides haploïdes. Cette étape réduit de moitié le nombre de chromosomes et génère la diversité génétique.

- Phase de différenciation (spermio-génèse)

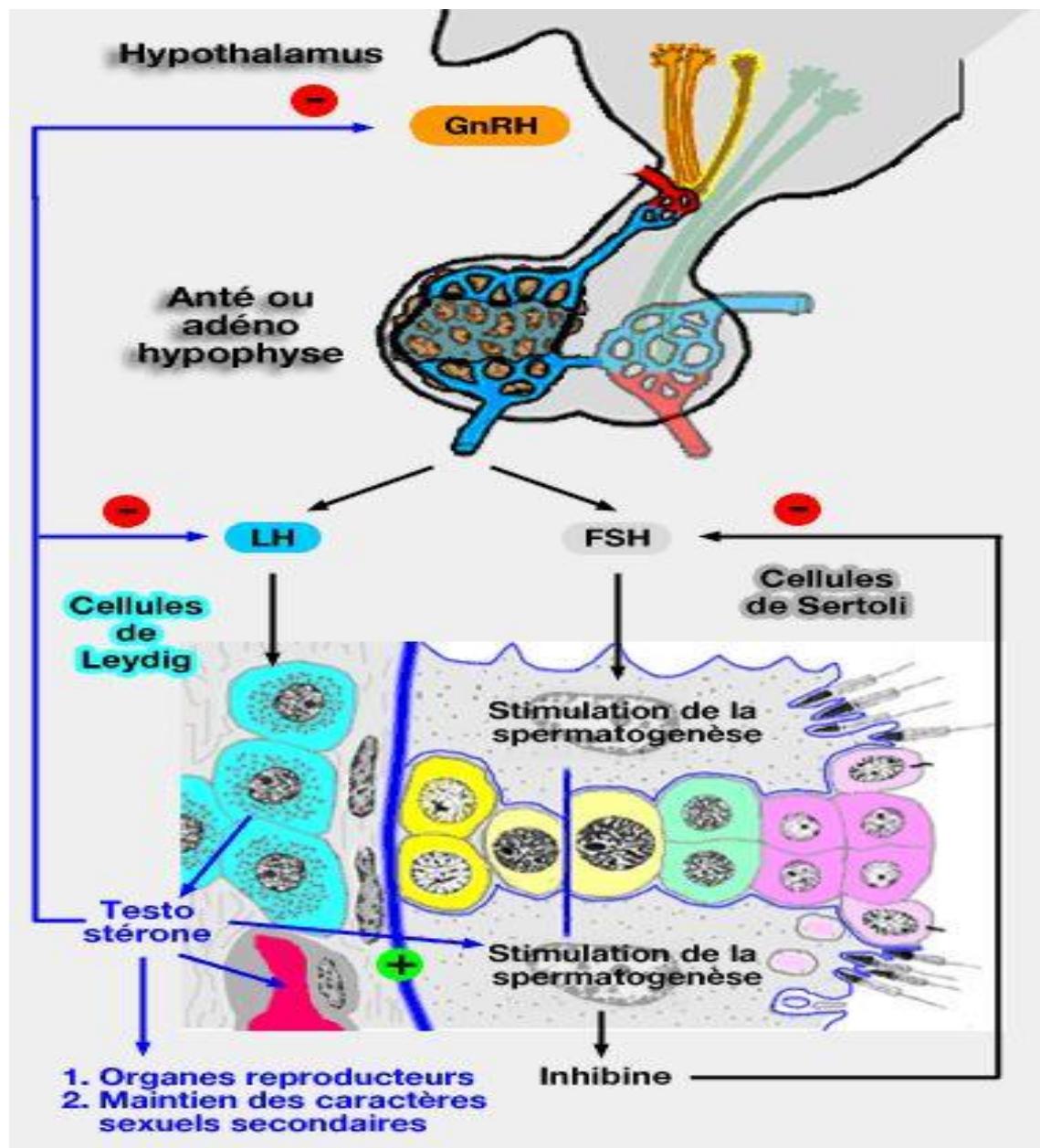
Les spermatides, initialement rondes, se transforment en spermatozoïdes matures par des modifications morphologiques importantes : condensation du noyau, formation de l'acrosome (vésicule enzymatique), développement du flagelle (queue) pour la mobilité, et élimination de l'excès de cytoplasme. Cette phase ne comporte pas de division cellulaire. (**Silber, S. J. (2018)**)

- **La régulation hormonale :**

la spermatogenèse dépend étroitement de l'axe hypothalamo-hypophysio-testiculaire. La gonadolibérine (GnRH) stimule la sécrétion de FSH et LH par l'hypophyse. La FSH agit sur les cellules de Sertoli pour soutenir la maturation des cellules germinales, tandis que la LH stimule les cellules de Leydig à produire de la testostérone, hormone essentielle à la différenciation des spermatozoïdes (**Tesarik & Mendoza, 2017**).

**Tableau I:** tableau représentatif des hormones hypothalamiques, hypophysaires et testiculaires dans la régulation de la spermatogenèse (**Manuels MSD, 2025 : Bilan hormonal et troubles de la spermatogenèse**)

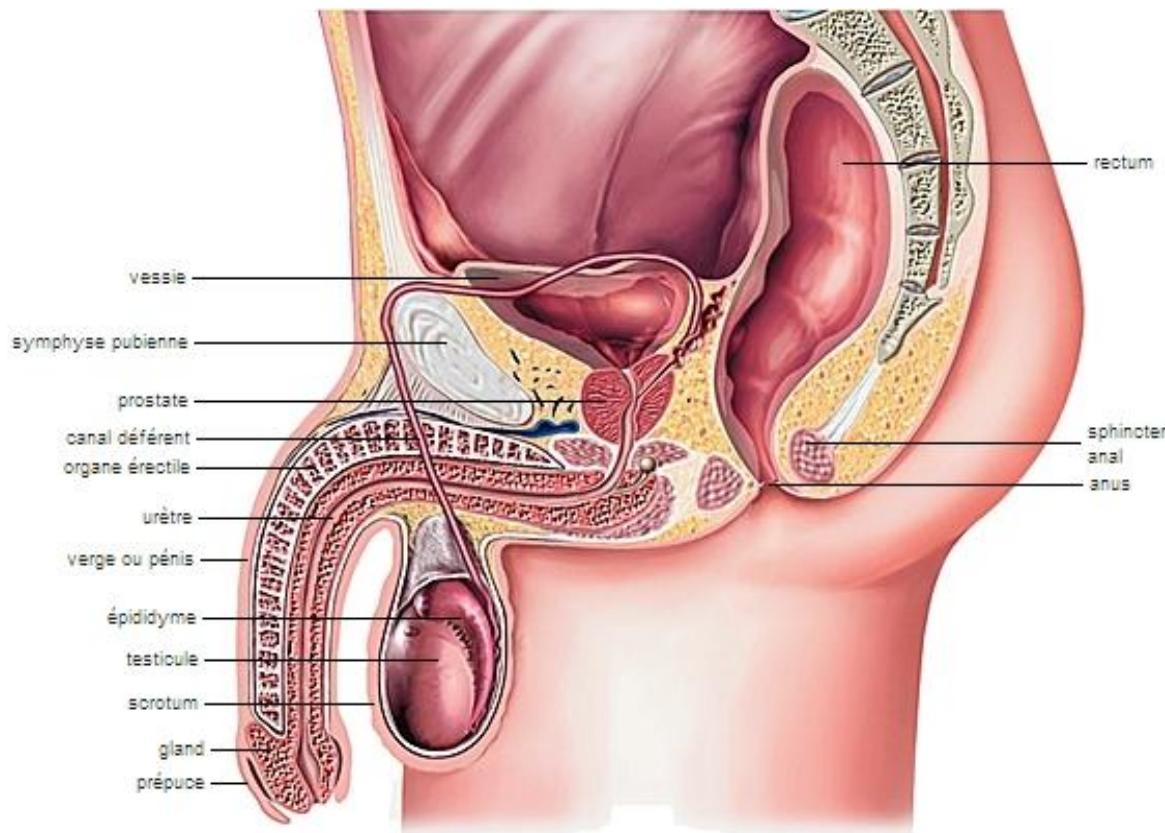
Hormone/molécule	Site de production	Cible principale	Role dans la spermatogenèse	Mécanisme/Effet
GnRH (Gonadolibérine)	Hypothalamus	Hypophyse antérieure	Stimule la sécrétion pulsatile de LH et FSH	Contrôle l'axe hypothalamo-hypophysotesticulaire, déclenche la cascade hormonale.
LH (Hormone lutéinisante)	Hypophyse antérieure	Cellules de Leydig (testicules)	Stimule la production de testostérone	Induit la synthèse de testostérone, essentielle à la virilisation et au déclenchement de la spermatogenèse.
FSH (Hormone folliculo-stimulante)	Hypophyse antérieure	Cellules de Sertoli	Stimule la croissance testiculaire, la prolifération des spermatogonies, et soutient la spermatogenèse	Favorise la production de protéines (ex : ABP) qui concentrent la testostérone localement, stimule les mitoses.
Testostérone	Cellules de Leydig	Tubes séminifères (cellules de Sertoli et germinales)	Indispensable à la progression de la spermatogenèse et au maintien des caractères sexuels secondaires	Agit localement par diffusion, crée un environnement favorable à la maturation des spermatozoïdes
Inhibine	Cellules de Sertoli	Hypophyse antérieure	Exerce un rétrocontrôle négatif sur la sécrétion de FSH	Régule finement la production de FSH pour équilibrer la spermatogenèse.
Activine	Cellules de Sertoli (et autres)	Hypophyse antérieure	Effet inverse de l'inhibine, stimule la sécrétion de FSH	Régule finement la production de FSH pour équilibrer la spermatogenèse.



**Figure 2 :** Schéma de la regulation hormonale et la fonction reproductrice masculine  
(Faculté de Médecine d'Alger. (2014)).

- Rappels anatomique:

L'appareil génital masculin est un ensemble d'organes assurant la production, la maturation, le transport des spermatozoïdes, ainsi que la sécrétion des hormones sexuelles mâles.



**Figure 3 : Appareil génital masculin (Dessin Michel Saemann - Archives Larousse)**

L'appareil génital masculin comprend plusieurs organes répartis en quatre groupes principaux :

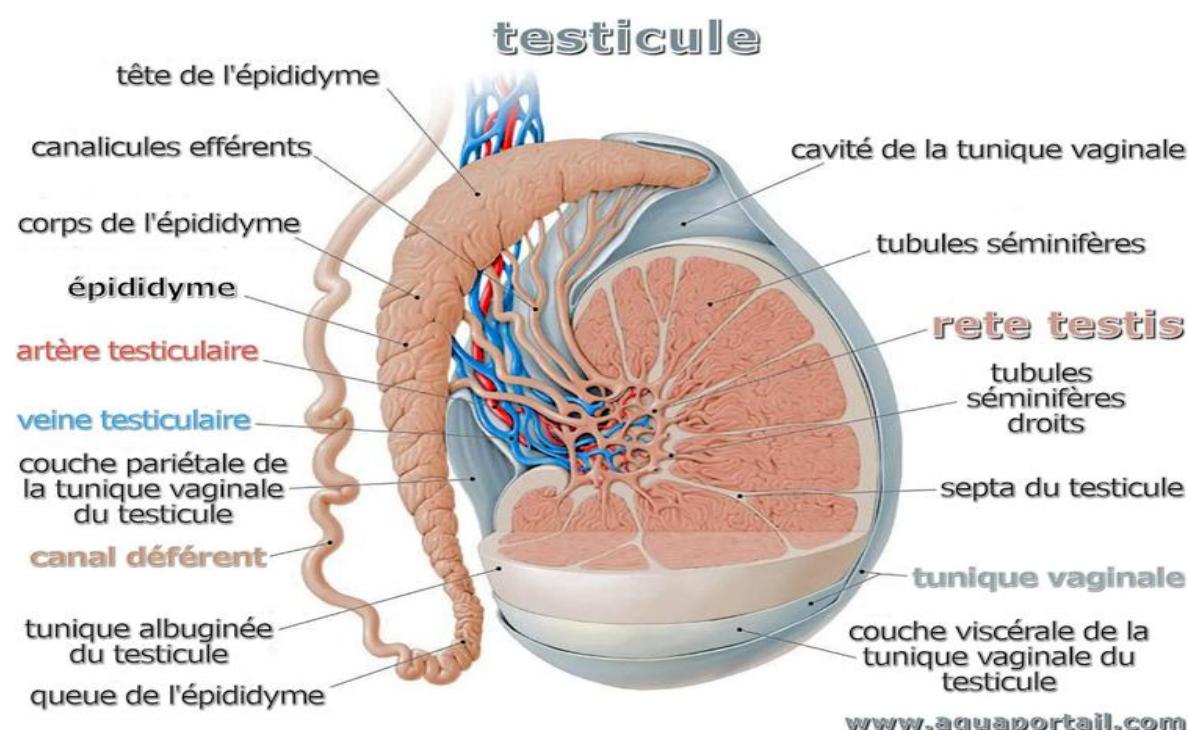
- Les testicules : gonades mâles, responsables de la production des spermatozoïdes (fonction exocrine) et de la sécrétion des hormones sexuelles mâles, principalement la testostérone (fonction endocrine).
- Les voies spermatiques : canaux assurant le transport, la maturation et le stockage des spermatozoïdes. Ils comprennent les tubes droits, le rete testis, les cônes efférents, l'épididyme, le canal déférent et les canaux ejaculateurs.
- Les glandes annexes : vésicules séminales, prostate et glandes bulbo-urétrales, qui produisent les sécrétions constituant le plasma séminal, milieu nutritif et protecteur des spermatozoïdes.

- Les organes génitaux externes : le pénis (organe érectile permettant la copulation) et le scrotum (sac cutané contenant les testicules).

### Les testicules:

#### Morphologie:

Les testicules sont les glandes sexuelles mâles primaires essentielles à la reproduction. Ils sont situés dans le scrotum en nombre de deux, de forme ovoïde et mesurant environ 4 à 5 cm de long pour 2,5 cm de large. Leur emplacement à l'extérieur de la cavité abdominale permet de maintenir une température inférieure de 2 à 4 °C à celle du corps, favorable à la spermatogenèse. **Sadler, T. W. (2018)**



**Figure 4: Histologie détaillée du testicule par (G. Tobelem 1983)**

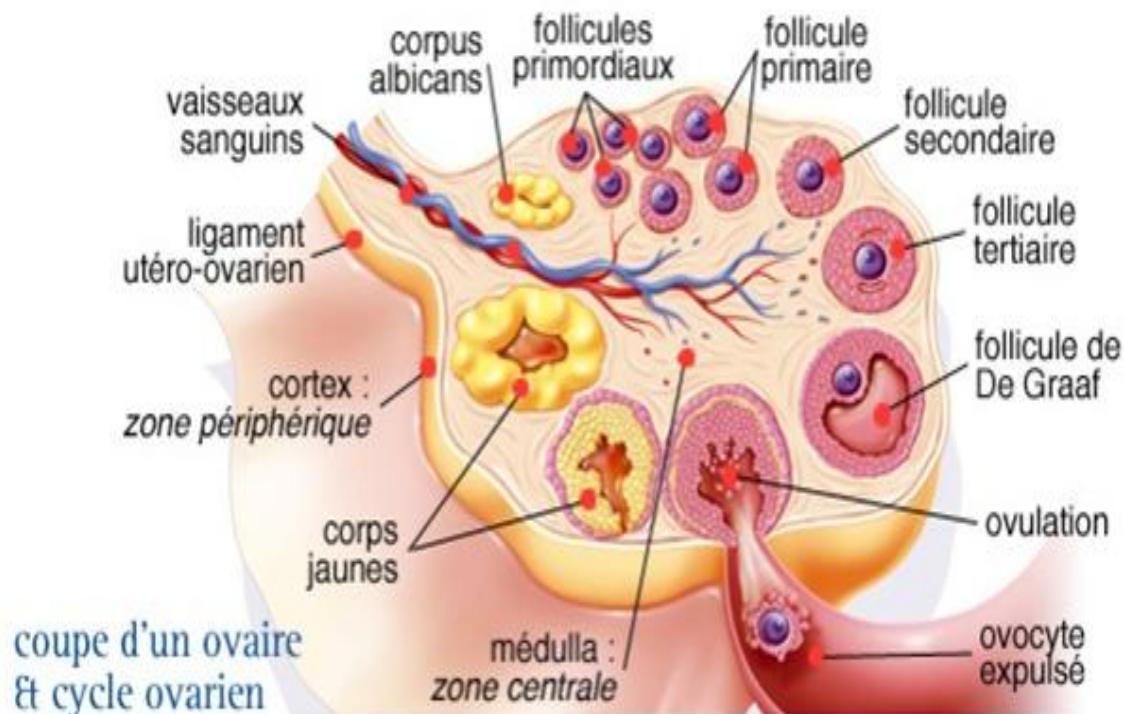
#### Histologie:

Chaque testicule est enveloppé d'une capsule fibreuse appelée albuginée, divisée en lobules contenant 1 à 4 tubes séminifères où se déroule la production des spermatozoïdes. Ces tubes sont soutenus par des cellules de Sertoli et entourés de cellules de Leydig produisant la testostérone. Cette hormone joue un rôle crucial dans le développement des caractères sexuels masculins, la libido et la régulation de la spermatogenèse. **(Gartner, L. P., & Hiatt, J. L. (2013) Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2018)**

## I.2.2. Ovogénèse:

L'ovogénèse est le processus biologique par lequel les ovules (gamètes femelles) sont produits et maturés dans les ovaires des mammifères. Ce processus se déroule en plusieurs étapes clés, principalement dans les ovaires :

- Phase de prolifération : Les ovogonies, cellules germinales souches diploïdes, se multiplient par mitose avant la naissance.
- Phase d'accroissement : Certaines ovogonies se différencient en ovocytes primaires, qui augmentent en taille et accumulent des réserves nutritives nécessaires à la méiose.
- Phase de maturation : L'ovocyte primaire entre en méiose I, mais cette division est interrompue en prophase I jusqu'à la puberté. À chaque cycle menstruel, un ovocyte primaire reprend la méiose I pour donner un ovocyte secondaire haploïde et un premier globule polaire.
- Ovulation : L'ovocyte secondaire est libéré de l'ovaire, entouré d'un follicule ovarien.
- Fécondation : Si l'ovocyte secondaire est fécondé, il termine la méiose II, formant un ovule mature et un second globule polaire. (**Faculté de Médecine d'Oran. (2020) Ovogenèse, cours PDF**) (**GFMER. (s.d.) Ovogenèse**)

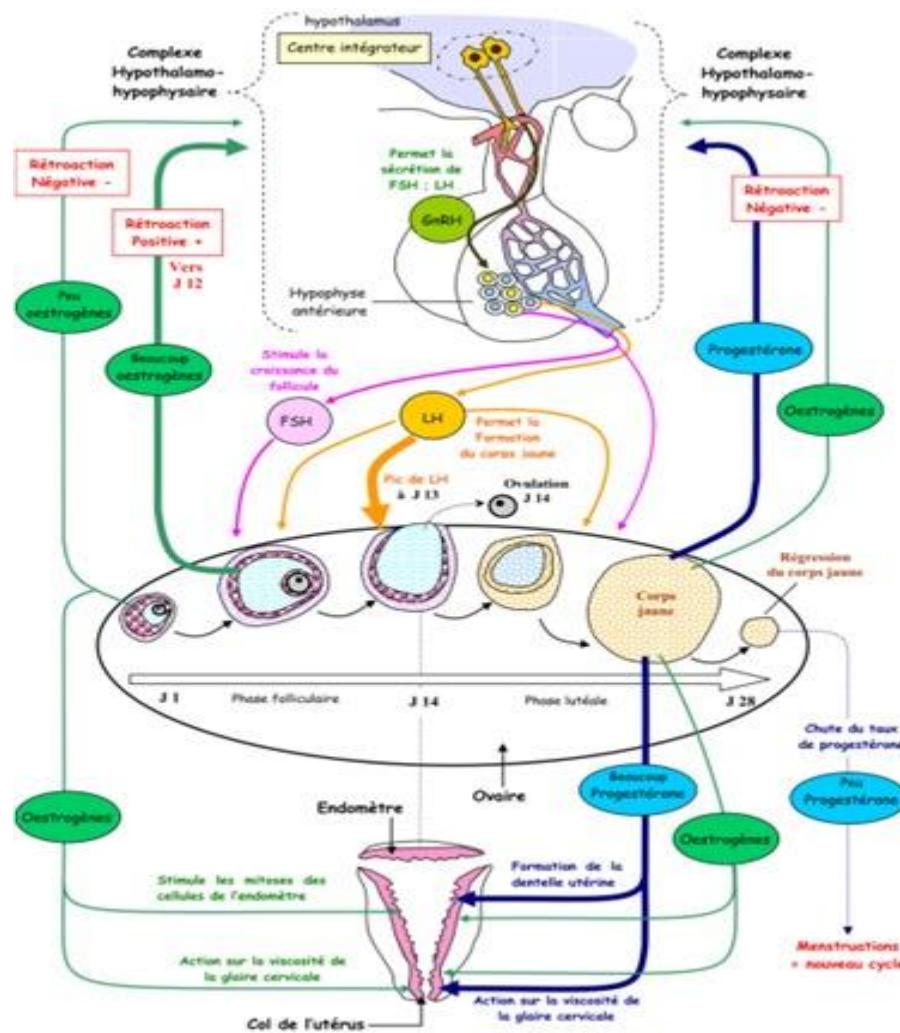


**Figure 05:** Schéma des différentes étapes de l'ovogénèse (Sadler,2020)

## • La régulation hormonale

la régulation hormonale de l'ovogenèse repose sur un système complexe d'interactions entre l'hypothalamus, l'hypophyse et les ovaires, orchestré principalement par la GnRH, la FSH, la LH, les œstrogènes et la progestérone.

- GnRH (gonadolibérine), sécrétée par l'hypothalamus de façon cyclique, stimule l'hypophyse antérieure à libérer la FSH (hormone folliculo-stimulante) et la LH (hormone lutéinisante).
- La FSH agit sur les follicules ovariens en favorisant leur croissance et la maturation des ovocytes, ainsi que la production d'œstrogènes par les cellules de la granulosa.
- La LH déclenche l'ovulation en provoquant la rupture du follicule mature et stimule la transformation du follicule rompu en corps jaune, qui sécrète la progestérone.
- Les œstrogènes favorisent le développement des organes génitaux, l'épaississement de la muqueuse utérine et modulent la viscosité de la glaire cervicale pour faciliter la fécondation.
- La progestérone prépare la muqueuse utérine à la nidation et empêche une nouvelle ovulation par rétrocontrôle négatif sur la sécrétion de LH.
- Ces hormones ovaries exercent également un rétrocontrôle négatif sur l'hypophyse et l'hypothalamus, régulant finement la production de FSH et LH pour assurer un cycle harmonieux. (**MSD Manuals. (2023)**).



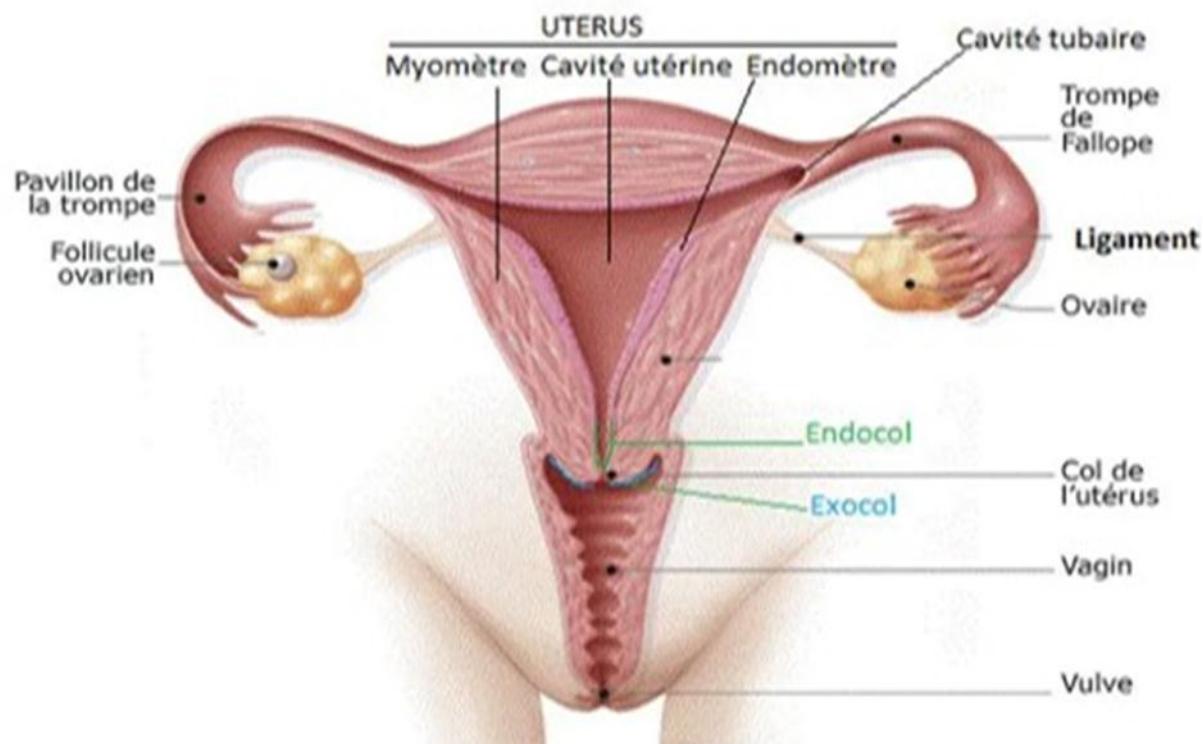
**Figure 06 :** Représentation de la régulation hormonale de la fonction ovarienne (Nelson, 2022)

- **Rappels anatomique:**

L'appareil génital féminin est un ensemble d'organes spécialisés dans la reproduction, la gestation et la parturition. Il comprend des organes externes (appelés vulve) et des organes internes (situés dans la cavité pelvienne), qui jouent un rôle essentiel dans la reproduction ils permettent la fécondation, la nidation et le développement embryonnaire (Reed & Carr, 2018).

- Le vagin : canal musculaire d'environ 8–10 cm reliant la vulve à l'utérus. Il permet la pénétration du pénis, l'évacuation du flux menstruel et constitue le canal de naissance.
- L'utérus : organe creux en forme de poire, composé de trois couches (endomètre, myomètre, périmètre), destiné à accueillir et nourrir l'embryon/fœtus. Il comprend le corps, l'isthme et le col de l'utérus (cervix).
- Les trompes de Fallope (ou trompes utérines) : deux conduits qui captent l'ovocyte libéré par l'ovaire et où a lieu la fécondation. Elles se divisent en quatre segments : infundibulum, ampoule (siège de la fécondation), isthme et partie interstitielle.

- Les ovaires : glandes pairées, de forme ovale, qui produisent les ovocytes et sécrètent des hormones sexuelles (œstrogènes et progestérone). Chaque ovaire est composé d'une médullaire vasculaire et d'un cortex contenant les follicules ovariens (**Horne et al., 2020**).



**Figure 07 :** Schéma de l'appareil génital féminin (**Moore et al., 2019**)

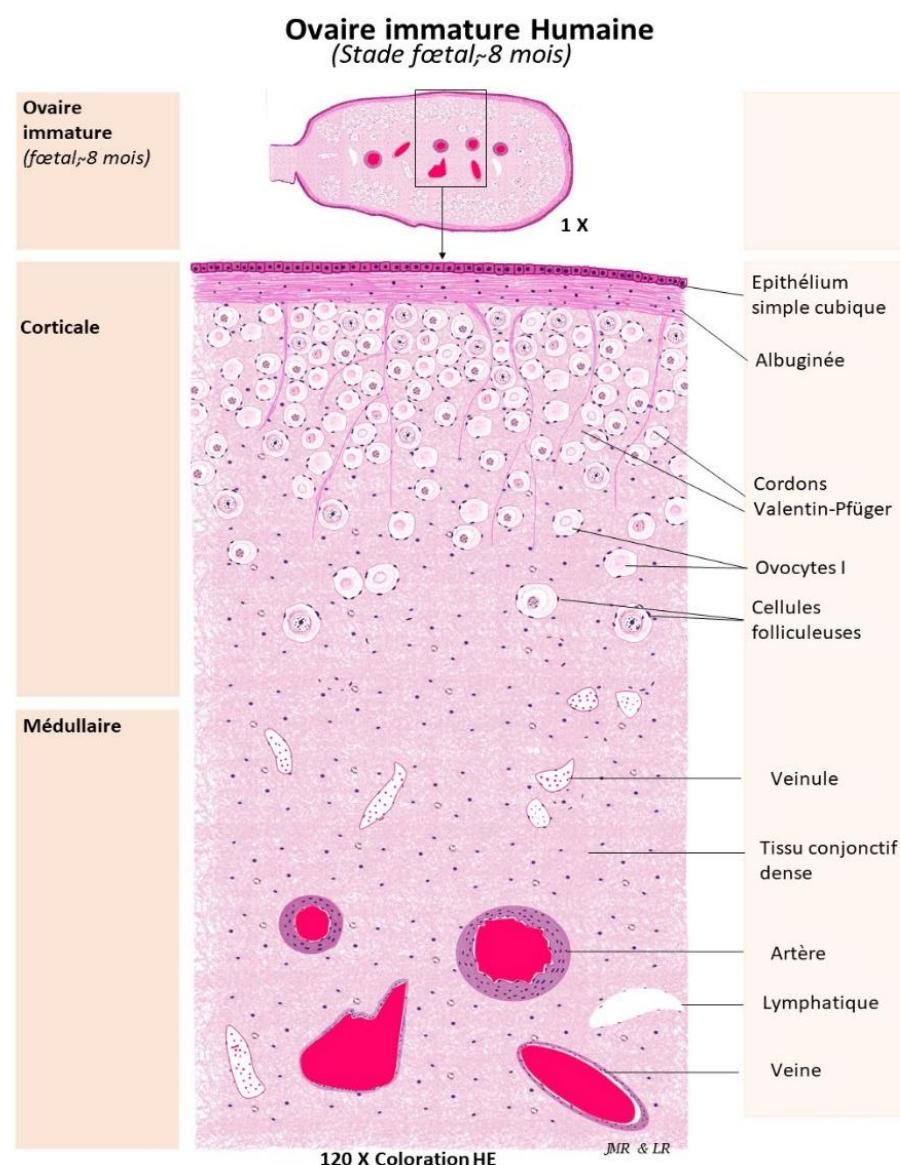
### Les ovaires :

#### Morphologie :

Les ovaires sont des organes pairs, de forme ovoïde et légèrement aplatis, mesurant environ 3 à 5 cm de long, 1,5 à 3 cm de large et 1 cm d'épaisseur, pour un poids moyen de 5 à 10 g. Ils sont localisés dans la fosse ovarienne, de part et d'autre de l'utérus, dans la cavité pelvienne. Leur surface est lisse chez la femme jeune et devient progressivement bosselée avec l'âge à cause des cicatrices d'ovulation. Sur leur face antéro-médiale se trouve l'hilum ovarien, par lequel passent les vaisseaux sanguins, lymphatiques et nerfs. Les ovaires sont vascularisés par l'artère ovarienne et innervés par le plexus ovarien (**Wentzell et al., 2021 ; Coad & Dunstall, 2022**).

## Histologie:

- Le cortex ovarien, en périphérie, contient les follicules ovariens à différents stades de développement (primordiaux, primaires, secondaires, de Graaf), les corps jaunes (post-ovulatoires), et du tissu conjonctif riche en cellules fusiformes. C'est la zone où se déroule l'ovogenèse.
  - La médulla ovarienne, située au centre, est formée de tissu conjonctif lâche, contenant de nombreux vaisseaux sanguins, lymphatiques et nerfs.
- L'ovaire est recouvert à sa surface par un épithélium germinatif cubique simple, sous lequel se trouve une couche de tissu conjonctif appelée albuginée ovarienne (**Reed & Carr, 2018 ; Sammut et al., 2018 ; Horne et al., 2020**).



**Figure 08 :** histologie d'ovaire immature humain au stade fœtal (~8 mois) **Gartner, L. P., & Hiatt, J. L. (2021)**

## II.Les radiations :

### II.1. Nature et classification des radiations :

Les radiations sont des formes d'énergie émises sous forme d'ondes électromagnétiques ou de particules. Elles se divisent en deux grandes catégories :

Radiations non ionisantes UV, micro-ondes, radiofréquences, EMF de très basse fréquence (ELF). Bien que leur énergie soit insuffisante pour ioniser, ils peuvent induire du stress oxydatif, modifier la fonction enzymatique (ex : baisse de SOD et GPX chez les soudeurs) ou provoquer certains effets cancérogènes controversés. **Lévesque, B. (2021)**

Radiations ionisantes (rayons X, rayons gamma, particules alpha et bêta, neutrons) Leur énergie est suffisante pour arracher des électrons et provoquer des ionisations. Ces interactions peuvent entraîner des cassures simples ou doubles brins dans l'ADN, avec effets à la fois déterministes et stochastiques

Les radiations ionisantes ont assez d'énergie pour casser les liaisons moléculaires, altérant ainsi l'ADN des cellules. **Belyakov, O. V., et al. (2022).**

### II.2. Impact des radiations sur la reproduction:

#### II.2.1 Rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants peuvent avoir des effets délétères sur la reproduction, dépendant de la dose, de la durée d'exposition et de la sensibilité des tissus reproducteurs :

- Chez l'homme : des doses supérieures à 0,35 Gy peuvent entraîner une aspermie (absence de spermatozoïdes), parfois réversible. Au-delà de 2 Gy, l'aspermie peut devenir permanente. À des doses très élevées (>15 Gy), la fonction des cellules de Leydig (production de testostérone) est aussi affectée. (**Ogilvy-Stuart, A.L. & Shalet, S.M. (1993)**)
- Chez la femme : la sensibilité ovarienne varie avec l'âge. Une dose de 4 Gy peut provoquer 30% de stérilité chez les jeunes femmes, et 100% chez les femmes de plus de 40 ans. L'irradiation pelvienne peut aussi entraîner des dommages utérins, des fausses couches et des accouchements prématurés. (**Journal of Reproductive Health Management 2025**)
- Effets sur les gamètes : les rayonnements peuvent altérer la qualité et la quantité des gamètes, diminuer le nombre d'ovules ou de spermatozoïdes, et provoquer des anomalies génétiques transmissibles à la descendance.
- Effets sur l'embryon et le fœtus : l'exposition pendant la grossesse augmente le risque de malformations, de retard de croissance, de fausses couches et de cancers chez l'enfant à naître. (**J. Lallemand 1984**)

## II.2.2 Rayonnements non ionisants

Les effets des rayonnements non ionisants (Wi-Fi, téléphones portables, micro-ondes) sur la fertilité sont moins bien documentés, mais plusieurs études suggèrent un impact négatif, notamment sur la fertilité masculine :

- Altération de la qualité du sperme : diminution de la mobilité, de la vitalité et du nombre de spermatozoïdes.
- Mécanismes possibles : production accrue d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), fragmentation de l'ADN, effets thermiques locaux.
- Facteurs aggravants : durée d'exposition, proximité de la source, densité de puissance.

Sur la fertilité féminine :

Sur les ovaires et les follicules

Les radiations non-ionisantes, telles que les radiofréquences, les micro-ondes et les champs électromagnétiques, ne possèdent pas suffisamment d'énergie pour ioniser les atomes. Cependant, elles peuvent quand même perturber la fonction cellulaire par d'autres mécanismes

Une exposition à ces radiations peut entraîner une augmentation du stress oxydatif, en augmentant la production de radicaux libres dans l'utérus et les ovaires. Cela peut inhiber la croissance cellulaire et causer des dommages à l'ADN.

Des altérations hormonales ont également été observées, avec des modifications des niveaux de progestérone, d'œstrogène et d'autres hormones reproductives. Cela peut perturber le cycle menstruel et la fertilité.

De plus, à des niveaux très élevés de radiations (rarement atteints dans la vie quotidienne), la chaleur locale générée peut avoir un impact sur la fonction ovarienne ou embryonnaire.

- Diminution de la réserve ovarienne : Des études animales montrent une augmentation de l'atrézie folliculaire (mort des follicules), une altération de la structure des ovocytes et une réduction du nombre de follicules matures.
- Dégénérescence cellulaire : Les radiations non-ionisantes peuvent provoquer des changements morphologiques dans les ovocytes et les cellules de la granulosa, essentiels pour la maturation des ovules



## I. Le cheminement de notre projet:

Au début de mes recherches, mon travail de fin d'études portait sur l'insémination artificielle chez le tigre de benghal, un sujet innovant et ambitieux dans le domaine de la reproduction animale.

Pour concrétiser ce projet, nous avons établi des partenariats avec plusieurs établissements spécialisés, notamment le CNAAG (Centre National d'Insémination Artificielle et d'Amélioration Génétique), le Jardin d'Essai d'El Hamma comme lieu principal de pratique, et nous avons également sollicité la collaboration du zoo de Ben Aknoune. Plusieurs déplacements ont été effectués, accompagnés de réunions et de la présentation d'un projet détaillé résumant l'ensemble de notre travail.

La réponse des établissements concernés a d'ailleurs été positive. Cependant, malgré ces efforts et l'engagement de tous, des contraintes imprévues liées à l'inaccessibilité des animaux, au manque de matériel adéquat et aux difficultés logistiques se sont posées. À la mi-juin, il nous a été officiellement annoncé qu'il ne serait pas possible de réaliser la phase pratique du projet.

Face à cette situation, et afin d'assurer la continuité de mon travail de recherche, j'ai été contrainte de réorienter mon thème vers un autre sujet pertinent : les radiations et leurs impacts sur la reproduction.

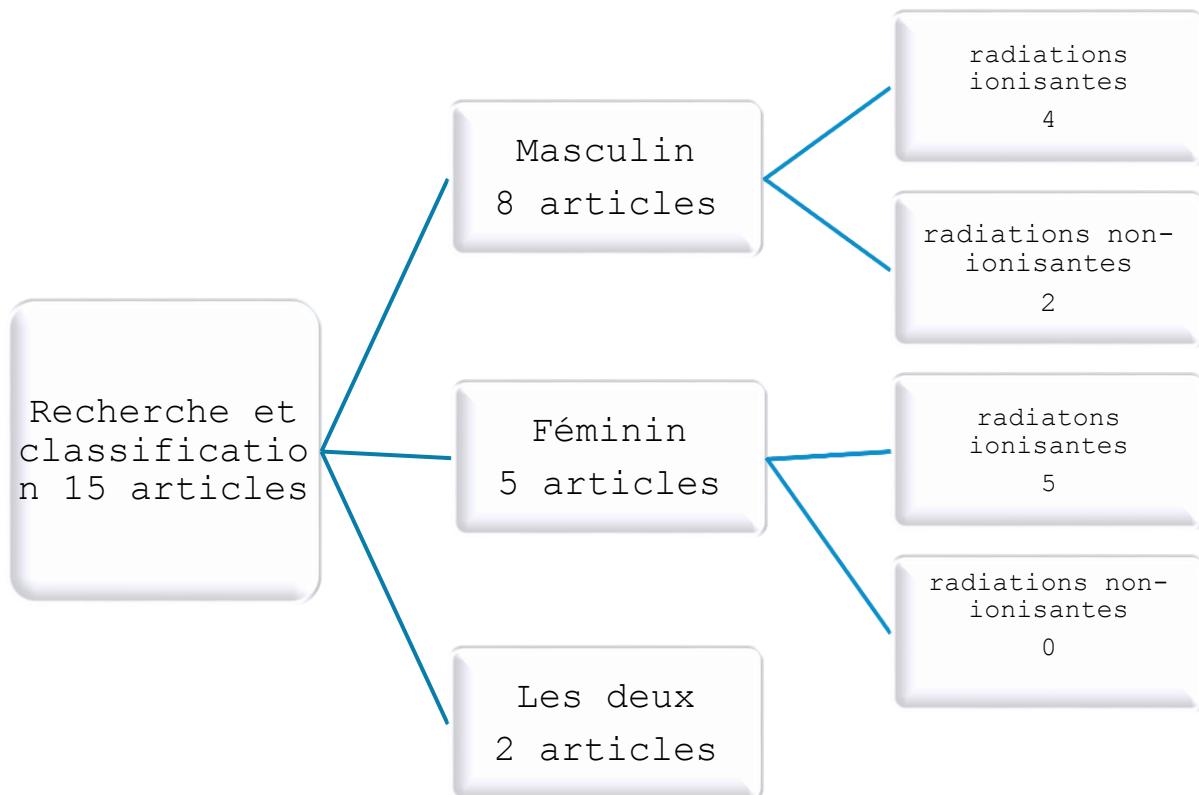
Ce nouveau thème, bien qu'éloigné du sujet initial, reste en lien avec la physiologie de la reproduction et constitue une problématique actuelle et scientifiquement riche à explorer.

## II. Objectif :

L'objectif de ce travail est de mettre la lumière sur:

- L'impact des radiations sur la fertilité masculine et féminine, en étudiant les altérations fonctionnelles (qualité du sperme, survie des ovocytes, fonction utérine) et les perturbations hormonales associées.
- Les mécanismes biologiques sous-jacents (dommages à l'ADN, stress oxydatif, apoptose, altérations cellulaires) responsables des effets délétères des radiations sur les organes reproducteurs.

Pour avoir un aperçu sur leffet des radiations sur la reproduction ( chez l'homme et la femme) nous avons analysé 15 articles



**Figure 09 :** Classification des articles selon les paramètre étudiés

### III. La nature des données :

Nous avons sélectionné les publications sur l'impact des radiations sur la reproduction en fonction des informations du tableau ci-dessous.

**Tableau II** : présentation des articles sélectionnés autour de l'impact des radiations sur la reproduction

Sites de téléchargement	Mots clés	Langue	Année de publication	Nombre d'articles
Google scholars	-Radiations ionisantes, radiations non ionisantes, -fertilité masculine - fertilité féminine -infertilité -effets biologiques -les dommages génétiques	anglais	1969 - 2023	15 articles

### IV. Les critères d'inclusions et d'exclusions des articles :

Pour mener à bien notre étude sur l'impact des radiations sur la reproduction, nous avons défini des critères pour restreindre notre sélection d'articles.

#### IV.1 Les critères d'inclusions:

Le lien avec la thématique :

- Les articles traitent des effets des radiations, qu'elles soient ionisantes ou non ionisantes, sur la reproduction, incluant la fertilité, la spermatogenèse, l'ovogenèse, la fonction utérine et les risques génétiques.
- Ils examinent les mécanismes biologiques tels que les dommages à l'ADN, le stress oxydatif et l'apoptose, ainsi que les conséquences cliniques comme l'infertilité, les complications obstétricales et les altérations hormonales.
- Ces travaux portent également sur la préservation de la fertilité et la radioprotection en cas d'exposition aux radiations.

## Types d'espèces étudiées

- Les recherches portent sur l'être humain (adultes, enfants, patients atteints de cancer, populations exposées à des conditions professionnelles ou environnementales spécifiques).
- Des études sont également menées sur des modèles animaux adaptés à la reproduction humaine, principalement des rongeurs tels que les souris et les rats.
- Enfin, des études *in vitro* sont réalisées en utilisant des cellules germinales humaines ou animales.

Les études menées peuvent être de différents types :

- études cliniques (cohortes, cas-témoins, études observationnelles sur des patients exposés),
- études expérimentales sur des animaux (expositions contrôlées, analyses histologiques, dosimétrie),
- études *in vitro* (cultures cellulaires, analyses de fragmentation de l'ADN, tests de viabilité) ou encore des revues systématiques ou narratives et des méta-analyses synthétisant les effets des radiations sur la reproduction.

## IV.2. Les critères d'exclusion :

Ils sont fondés sur tout ce qui n'est pas en accord avec notre sujet ou nos objectifs.

- Articles non traitant des effets des radiations sur la reproduction, mais se concentrant sur d'autres systèmes organiques comme les cancers, la neurologie ou la dermatologie. Ces études ne fournissent pas de données sur la fertilité, la fonction reproductive ou les mécanismes associés.
- Études sur des espèces non humaines (plantes, invertébrés, bactéries) qui ne peuvent pas être directement appliquées à la reproduction humaine.

**Tableau III :** L'ensemble des articles étudiés avec leurs problématiques et objectif

Titre de l'article	Problématique	Objectif
A Brief Overview of Radiation-Induced Effects on Spermatogenesis and Oncofertility	Quels sont les effets des radiations sur la production de spermatozoïdes et quelles sont les conséquences éthiques et médicales des mutations génétiques transmissibles aux descendants ?	Étudier les conséquences des radiations sur la production de spermatozoïdes et les risques de transmission génétique sur plusieurs générations, tout en abordant les différentes techniques de préservation de la fertilité chez les hommes (comme la radiothérapie par microfaisceaux)
Radiations and Female Fertility	Comment les radiations peuvent-elles causer l'insuffisance ovarienne et les dysfonctions utérines ? Comment la cryoconservation peut-elle aider à atténuer ces effets ?	Étudier comment les radiations affectent la fonction reproductive des femmes (ovaire, utérus, axe hypothalamo-hypophysaire) et discuter des moyens pour préserver la fertilité
Genotoxic Risks to Male Reproductive Health from Radiofrequency Radiation	Comment les ondes des téléphones et du Wi-Fi peuvent-elles affecter la fertilité masculine à travers des altérations génétiques comme les micronoyaux et les aberrations chromosomiques ?	Analyser les potentielles menaces des ondes radiofréquences (RF) sur la santé reproductive des hommes, notamment en ce qui concerne les dommages à l'ADN et le stress oxydatif
The Impact of Radiotherapy on Fertility, Pregnancy, and Neonatal Outcomes	Comment l'irradiation affecte-t-elle la ménopause précoce, les fausses couches et les anomalies placentaires en fonction de la dose et de la localisation (crânio-spinale, pelvienne) ?	Faire une synthèse des effets à long terme de la radiothérapie sur la fertilité des femmes, les résultats des grossesses et les risques pour les nouveaux-nés
	En quoi les radiations ionisantes impactent-elles la spermatogenèse	Analyser comment la radiothérapie peut affecter la fertilité masculine en étudiant les processus biologiques en jeu et les

Radiation effects on male fertility	et la fertilité des hommes ? Quels sont les mécanismes en jeu, les doses critiques, et les solutions pour récupérer ou préserver la fonction reproductive après une exposition ?	implications cliniques. Sensibiliser les professionnels de la santé aux risques de toxicité pour les gonades associés aux traitements par irradiation et proposer des solutions pour préserver la fertilité des patients atteints de cancer.
Impact of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation on Male Infertility: An assessment of the mechanism and consequences	Quels effets ont les rayonnements sur le sperme des hommes exposés au quotidien ? Comment ces rayonnements influencent la qualité du sperme et la santé reproductive ?	Évaluer les effets des rayonnements électromagnétiques (REM) non ionisants (émis par les téléphones portables, ordinateurs, Wi-Fi, etc.) sur la fertilité masculine
Radiation dose to testes and risk of infertility from radiotherapy for rectal cancer	Comment mesurer avec précision la dose absorbée par les testicules pendant une radiothérapie pelvienne et quels facteurs techniques impactent cette dose et le risque d'infertilité chez les patients ?	Quantifier la dose de radiation reçue par les testicules lors de la radiothérapie pour un cancer rectal et d'évaluer le risque d'infertilité masculine associé
Effect of Ionizing Radiation on Human Health	Comment trouver un équilibre entre les avantages des radiations et la protection de la santé humaine ?	présente les effets des radiations ionisantes sur la santé humaine, en expliquant leurs sources, types et mécanismes d'action biologiques. Il détaille également les effets à court et à long terme (aigus et chroniques) et insiste sur l'importance des mesures de protection contre les risques dans les pratiques médicales, industrielles et environnementales

Radiations and male fertility	comment les radiations, qu'elles soient ionisantes ou électromagnétiques (radiofréquences), ont un impact sur la qualité du sperme et la capacité de reproduction chez les hommes ?	examiner comment les radiations affectent la fertilité des hommes en explorant les mécanismes biologiques en jeu, les effets cliniques détectés et les conséquences sur la santé reproductive des hommes exposés à ces radiations. Elle cherche également à mettre en lumière les limites des connaissances actuelles et à proposer des orientations pour les futures recherches afin de préserver au mieux la fertilité masculine face à ces risques.
The Impact of Uterine Radiation on Subsequent Fertility and Pregnancy Outcomes  (L'impact de l'irradiation utérine sur la fertilité et les issues de grossesse)	Comment examiner la fertilité et les risques de grossesse chez les femmes ayant subi une irradiation utérine pendant l'enfance ou à l'âge adulte?	explorer les conséquences de l'irradiation de l'utérus sur la fertilité et la santé des grossesses. Des recommandations cliniques seront formulées pour les femmes désireuses de concevoir après un traitement anticancéreux. Les seuils de doses, complications et interventions pour améliorer la fonction utérine seront également abordés
"Effect of ionizing radiation on the male reproductive system"	L'article examine les effets des radiations ionisantes (RI) sur le système reproducteur masculin, en particulier dans un contexte où l'exposition à ces radiations, notamment d'origine médicale et professionnelle, est en augmentation. Il soulève des questions sur les mécanismes biologiques sous-jacents, tels que les dommages à l'ADN, les perturbations de la spermatogenèse et les risques pour la fertilité masculine, ainsi que les	Etudier les effets des radiations ionisantes sur la fertilité masculine et formuler des recommandations pour protéger la santé reproductive. Cela concerne les risques liés à l'exposition professionnelle et médicale, ainsi que l'amélioration des techniques d'imagerie pour réduire les doses

	contradictions concernant les effets des faibles doses de radiation (comme l'hypothèse de l'hormesis).	
Effect of ionizing radiation on the female reproductive system	Quels sont les effets des radiations ionisantes sur le système reproducteur féminin, en mettant en avant les risques pour la fertilité, la santé des ovaires et les complications pendant la grossesse ?	analyse les impacts des rayonnements ionisants sur le système reproducteur des femmes, en se concentrant sur les ovocytes et la fertilité
Effects of Radiation on the Reproductive System	comment l'exposition aux radiations ionisantes (naturelles, médicales, accidentelles ou professionnelles) affecte le système reproducteur humain (homme et femme), en particulier en ce qui concerne la fertilité, les risques de mutations génétiques transmissibles à la descendance, et les conséquences sur la santé reproductive à court et long terme.	Analyser comment les rayonnements impactent la fertilité en examinant les différentes voies d'altération telles que les dommages à l'ADN, l'apoptose des cellules germinales et les perturbations hormonales. Évaluer les risques liés aux radiations en fonction de facteurs tels que le type de rayonnement (LET élevé vs faible), la dose et le stade de développement du système reproducteur (âge, puberté). Proposer des solutions pour préserver la fertilité, comme la cryoconservation des gamètes ou l'utilisation d'analogues de la GnRH. Combler les lacunes de recherche en se concentrant sur les effets des faibles doses de rayonnement et en explorant des approches innovantes, telles que les thérapies par cellules souches pour

		régénérer les ovocytes ou les spermatozoïdes
Environmental radiation and male reproduction  (Radiation environnementale et reproduction masculine)	Dans quelle mesure l'exposition aux radiations environnementales affecte la santé reproductive des hommes et quelles sont les voies d'exposition les plus critiques pour les cellules reproductrices ?	Évaluer les effets des radiations environnementales sur la fertilité masculine, en se concentrant sur la toxicité des radiations sur les testicules, la sensibilité des cellules germinales et les impacts de l'exposition avant et pendant la grossesse sur la fertilité masculine
The Effects of Radiation on Rodent and Human Ovaries  (Les effets des radiations sur les ovaires des rongeurs et des humains)	Quels sont les effets des radiations sur la fonction ovarienne et la fertilité en fonction de l'âge d'exposition, de la dose reçue et du type de cellules touchées ?	Étudier et mettre en parallèle les conséquences des radiations ionisantes sur les ovaires de souris et de femmes, ainsi que leur influence sur la survie des cellules, la fertilité, la période de reproduction et le risque de développement de tumeurs. Déterminer les moments clés de sensibilité des ovaires à l'irradiation en fonction de l'âge et du stade cellulaire

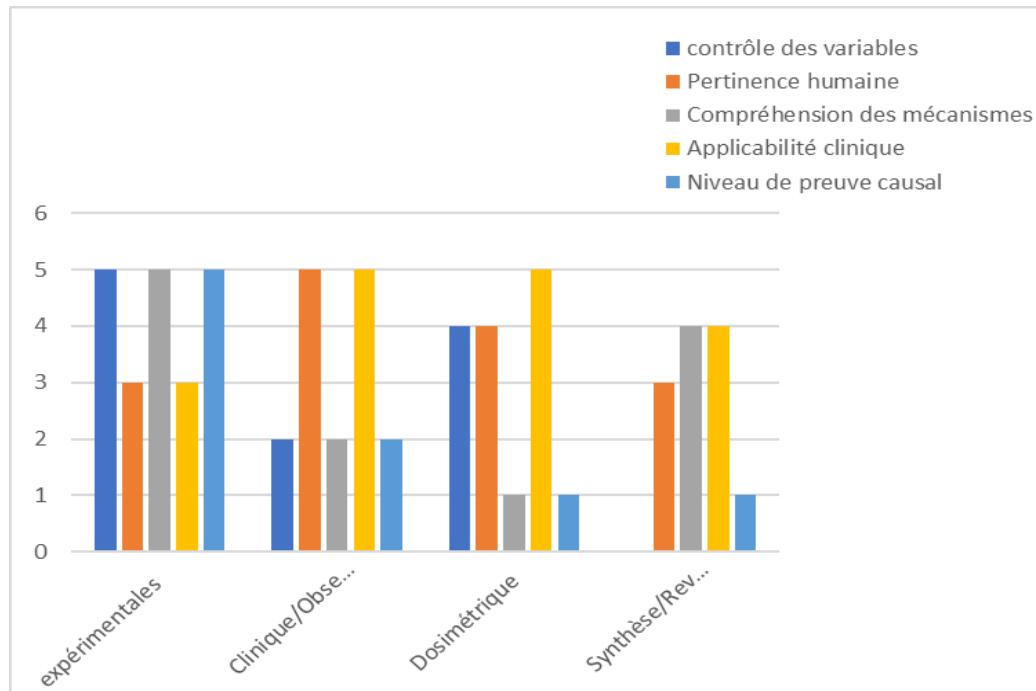


Nous avons synthétisé dans un tableau la méthodologie de chaque article voir l'annexe, puis réalisé un tableau résumant les méthodologies communes à un groupe d'articles vois ci-dessous

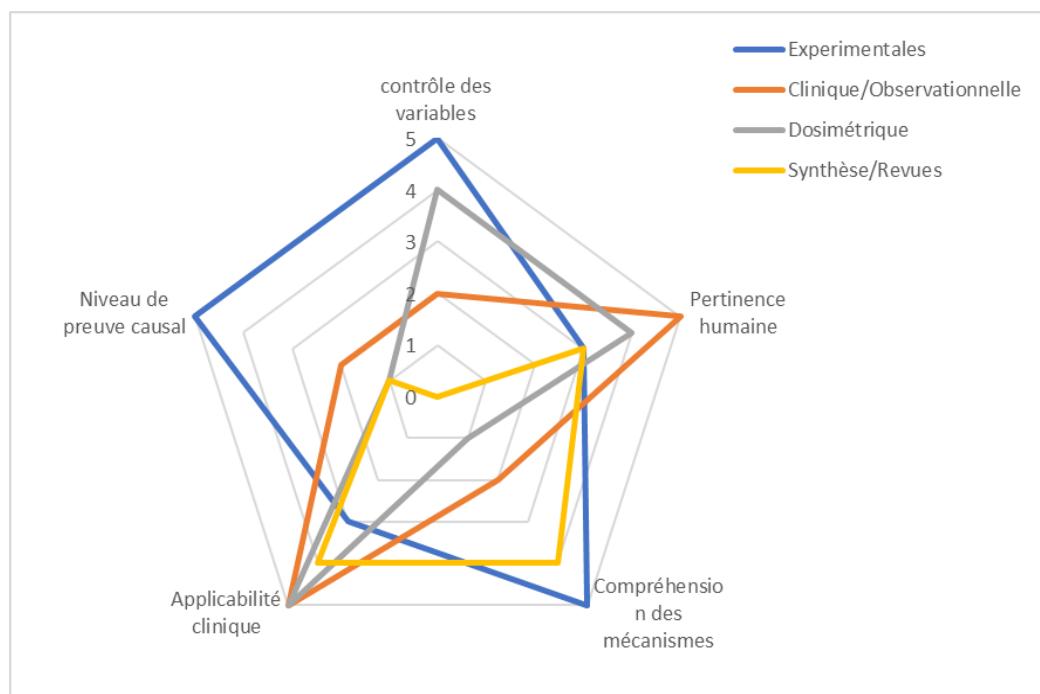
**Tableau IV** : ensemble des méthodologies partagées par groupe d'article

Stratégies méthodologique	Méthodes principales	Objectifs spécifiques	Articles associés
Etudes expérimentales (in vivo / in vitro / animales)	<ul style="list-style-type: none"><li>Exposition contrôlée de modèles animaux (souris, rats, drosophiles) aux radiations</li><li>- Cultures cellulaires exposées aux RF ou rayons ionisants</li><li>- Tests biologiques : Comet assay, TUNEL, dosage ROS, analyse hormonale</li><li>- Microscopie, histologie, analyse de sperme</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Évaluer les effets cellulaires et tissulaires des radiations</li><li>- Déterminer les seuils de radiosensibilité (testicules, ovaires)</li><li>- Identifier les dommages à l'ADN et au matériel génétique</li><li>- Étudier les mécanismes de toxicité reproductive</li></ul>	1 3 6 11 12 13 15
Etudes cliniques et observationnelles	<ul style="list-style-type: none"><li>- Suivi de patients irradiés (cancer, exposition accidentelle ou professionnelle)</li><li>- Analyses hormonales (FSH, AMH, etc.)</li><li>- Imagerie : échographie, IRM</li><li>- Enquêtes épidémiologiques, données hospitalières</li><li>- Analyse des issues de grossesse</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Évaluer l'impact des radiations sur la fertilité humaine réelle</li><li>- Déterminer les marqueurs prédictifs (insuffisance ovarienne, azoospermie)</li><li>- Étudier les anomalies congénitales et complications obstétricales</li><li>- Comparer groupes exposés / non exposés</li></ul>	2 4 10 13 14 8
Etudes dosimétriques / simulations physiques	<ul style="list-style-type: none"><li>- Utilisation de fantômes anthropomorphiques</li><li>- Mesures in vivo de dose testiculaire</li><li>- Modélisation physique (épaisseur, angle, distance, protection)</li><li>- Calculs de dose absorbée (Gray, LET)</li><li>- Courbes dose-réponse</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Quantifier l'exposition réelle aux rayons</li><li>- Identifier les paramètres influençant la dose reçue par les organes reproducteurs</li><li>- Évaluer l'efficacité des dispositifs de protection</li><li>- Déterminer les seuils critiques de stérilité</li></ul>	7 13 15
Revues de littérature et synthèses interdisciplinaires	<ul style="list-style-type: none"><li>-Analyse croisée de données issues d'expériences animales, cliniques, et épidémiologiques</li><li>- Intégration de résultats radiobiologiques et toxicologiques</li><li>- Comparaison (ionisantes vs non-ionisantes)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Résumer les connaissances actuelles</li><li>- Identifier les tendances générales</li><li>- Guider la prévention, la radioprotection, et préservation de fertilité</li><li>- Proposer des approches thérapeutiques alternatives</li></ul>	5 6 9 13 14

Voici un histogramme comparatif qui illustre clairement les forces et faiblesses des différentes stratégies méthodologiques selon plusieurs critères d'analyse



**Figure 10 :** histogramme comparatif qui illustre les forces et faiblesses des différentes stratégies méthodologiques selon plusieurs critères d'analyse



**Figure 11 :** graphique radar qui visualise clairement les profils comparés des quatre stratégies méthodologiques

## I. Interprétation :

### Histogramme :

- Les études expérimentales obtiennent des scores élevés en contrôle des variables et compréhension des mécanismes, mais sont moins applicables directement à l'humain.
- Les études cliniques/observationnelles sont les plus pertinentes pour la réalité humaine et les applications médicales, mais ont un contrôle méthodologique plus faible.
- Les études dosimétriques se distinguent par leur utilité pratique et leur précision, mais n'explorent pas les effets biologiques.
- Les revues/synthèses offrent une vision globale mais n'apportent pas de preuve directe ni de données originales.

### Radar :

Voici le graphique radar qui visualise clairement les profils comparés des quatre stratégies méthodologiques :

- L'axe "Contrôle des variables" est dominé par les études expérimentales.
- L'axe "Pertinence humaine" et "Applicabilité clinique" montre la supériorité des études cliniques et dosimétriques.
- Les synthèses brillent par leur capacité à intégrer les connaissances mais ont peu de valeur causale directe.
- La preuve causale est principalement générée par les études expérimentales.

## II. Analyse critique et comparative des stratégies méthodologiques utilisées :

L'analyse comparative des stratégies méthodologiques à travers les représentations graphiques, notamment l'histogramme groupé et le diagramme radar, met clairement en évidence les spécificités, les atouts et les limites de chaque approche utilisée dans les études sur les effets des radiations sur la reproduction. Les études expérimentales, dominantes dans le corpus, affichent des scores élevés en matière de contrôle des variables, de preuve causale et de compréhension des mécanismes biologiques. Cette force méthodologique leur permet d'établir des relations précises entre dose et effets, en identifiant les processus moléculaires tels que les dommages à l'ADN, le stress oxydatif ou l'apoptose des cellules germinales. Toutefois, leur transposabilité aux situations humaines réelles est limitée par des différences biologiques interespèces, des conditions expérimentales souvent aiguës, et l'absence de facteurs confondants présents chez l'homme.

En revanche, les études cliniques et observationnelles s'imposent comme les plus pertinentes d'un point de vue humain et médical, ce que reflète leur position dominante sur les axes « applicabilité clinique » et « pertinence humaine » du radar. Elles permettent de mettre en lumière les conséquences des radiations sur la fertilité réelle, à travers des données hormonales, échographiques et des suivis de grossesse. Leur limite réside dans un faible contrôle des

variables, rendant plus difficile l'attribution directe des effets observés à la seule exposition aux radiations. Elles sont également plus sujettes aux biais de sélection et à l'influence de traitements associés (chimiothérapie, chirurgie, et autre).

Les études dosimétriques, bien que moins nombreuses, se distinguent par leur forte applicabilité clinique et précision technique, comme le montre leur bon positionnement sur les axes de quantification et de contrôle. Grâce à des outils comme les fantômes anthropomorphiques ou les calculs *in vivo*, elles permettent d'évaluer les doses réellement reçues par les organes reproducteurs, condition essentielle pour l'optimisation des protocoles de radiothérapie. Leur limite principale est l'absence d'évaluation biologique, ce qui nécessite de combiner leurs résultats avec ceux des études expérimentales ou cliniques pour en tirer des conclusions sur la santé reproductive.

Enfin, les synthèses et revues méthodologiques offrent une vision transversale et intégrée des résultats issus de différentes disciplines. Elles sont particulièrement utiles pour formuler des recommandations, identifier les lacunes de la recherche et proposer de nouvelles pistes d'étude. Néanmoins, leur faible niveau de preuve directe et leur dépendance à la qualité des données primaires limitent leur poids dans l'établissement de relations causales.

En somme, ces représentations graphiques illustrent la complémentarité des stratégies méthodologiques : aucune ne suffit à elle seule pour appréhender toute la complexité des effets des radiations sur la reproduction. Une approche intégrative, associant expérimentation rigoureuse, observation clinique, modélisation dosimétrique et synthèse critique, s'avère essentielle pour produire des connaissances solides, transposables et utiles à la prévention et à la prise en charge médicale.

### **L'apport des expérimentations animales:**

Les études expérimentales, menées *in vivo* sur des modèles animaux (souris, rats, drosophiles) ou *in vitro* sur des cellules reproductrices humaines ou animales, représentent un pilier fondamental pour l'exploration des mécanismes biologiques et moléculaires des radiations. Ces approches permettent d'observer de manière précise les effets dose-dépendants sur la spermatogenèse, l'ovogenèse, les dommages à l'ADN ou encore le stress oxydatif (**Ray & Choudhuri, 2011; Wdowiak et al., 2019 ; Gautam et al., 2020**). Ces modèles permettent aussi d'étudier la radiosensibilité des cellules germinales, les seuils critiques de stérilité ou les altérations chromosomiques transmissibles aux générations suivantes (**Lindop, 1969 ; Kesari, Agarwal & Henkel, 2018**). Toutefois, leur extrapolation à l'humain reste limitée, en raison des différences physiologiques interespèces et des modèles d'exposition souvent aigus, qui ne reflètent pas toujours les situations réelles d'exposition chronique à faibles doses. Pour pallier cette limite, les résultats expérimentaux doivent être interprétés en parallèle avec les observations cliniques et les données épidémiologiques .

Les études expérimentales, largement utilisées dans les travaux sur les modèles animaux ou cellulaires, offrent une puissance méthodologique remarquable pour établir une relation de cause à effet, explorer les mécanismes moléculaires impliqués dans la radiosensibilité des cellules germinales, et définir les seuils critiques de.

### Qu'en est-il de l'approches clinique?

En complément des approches expérimentales, les études cliniques et observationnelles occupent une place essentielle, notamment pour documenter les effets des radiations sur la fertilité humaine. Celles-ci s'appuient sur des évaluations hormonales (FSH, AMH, estradiol), des examens d'imagerie (échographie transvaginale, IRM) et le suivi des issues de grossesse chez des patients ayant reçu une radiothérapie ou ayant été exposés accidentellement à des rayonnements ionisants (**Teh et al., 2014 ; Marci et al., 2018 ; Wo & Viswanathan, 2020**). Ces études sont très pertinentes d'un point de vue clinique. Elles sont indispensables pour établir des seuils de déplétion ovarienne, d'azoospermie, ou de complications obstétricales liées à la radiothérapie.

### Limites des doses de radiation

Les études dosimétriques, quant à elles, visent à estimer avec précision les doses de radiation reçues par les organes reproducteurs à l'aide de mesures sur fantômes anthropomorphiques, de calculs physiques ou de logiciels de planification de radiothérapie. Ces travaux sont particulièrement utiles pour optimiser les protocoles thérapeutiques, évaluer l'efficacité des protections gonadiques et anticiper les risques d'infertilité iatrogène (**Mazonakis et al., 2006 ; Chaturvedi & Jain, 2019**). Leur principale limite réside dans l'absence d'analyse des effets biologiques directs, ce qui nécessite une interprétation conjointe avec des données cliniques et expérimentales pour prédire l'impact réel sur la fertilité.

Les études dosimétriques apportent une contribution essentielle dans la quantification précise des doses reçues par les gonades, et jouent un rôle clé dans l'amélioration des protocoles de radiothérapie et de radioprotection. En revanche, elles ne permettent pas d'analyser les conséquences biologiques directes des expositions.

Certains travaux ont permis de mieux cerner les mécanismes de radiosensibilité et les seuils critiques d'exposition (**De Felice et al., 2019 ; Fukunaga et al., 2022**). Cependant, leur niveau de preuve reste faible. Leur force réside dans leur valeur synthétique et normative, surtout lorsqu'elles intègrent des recommandations pour la protection de la fertilité.

Ainsi, aucune stratégie ne peut, à elle seule, répondre à l'ensemble des questions que soulèvent les effets des radiations sur la reproduction. Il est donc recommandé d'adopter une approche combinée, intégrative et interdisciplinaire, associant expérimentation, observation clinique, modélisation dosimétrique. Cette approche garantit une compréhension plus complète et une meilleure transposition des résultats vers la prévention des risques et la prise en charge reproductive des patients exposés.

Ci-dessous, un tableau résumant les résultats des articles en fonction des thématiques

**Tableau V** : regroupement des articles selon la fertilité (masculine/féminine) et le type de radiation

Thématique/radiation	Ionisante	Non-Ionisante	Ionisante / Non-ionisante
Fertilité masculine	1,5,7,11	3,6	9,14
Fertilité féminine	2,10,12,15,4	-	
Mixtes	13,8		

### **III. Analyse critique et comparative des résultats d'articles regroupés selon la thématique:**

#### **Effets des radiations sur la fertilité masculine**

Les études montrent que les radiations ionisantes, comme celles utilisées en radiothérapie, ont un effet délétère sur la spermatogenèse. (**Fukunaga et al. 2022**) soulignent que l'exposition aux radiations peut induire des dommages directs à l'ADN des cellules germinales, entraînant une réduction de la production de spermatozoïdes et une altération de leur qualité. Ces effets sont dose-dépendants et peuvent mener à une infertilité temporaire ou permanente.

L'impact des radiations non-ionisantes, notamment les radiofréquences (ex. téléphones portables), est également préoccupant. (**Kaur, Rai et Singh 2023**) mettent en évidence des risques génotoxiques, notamment une augmentation du stress oxydatif dans les cellules testiculaires, ce qui peut provoquer des anomalies spermatiques. **Gautam et al. (2020)** confirment que l'exposition prolongée à ces radiations peut contribuer à une infertilité masculine croissante, bien que les mécanismes précis nécessitent encore des recherches approfondies.

(**Mazonakis et al. (2006)** ont quant à eux étudié l'impact des doses de radiation reçues par les testicules lors de radiothérapies pour le cancer rectal, montrant que même des doses relativement faibles peuvent compromettre la fertilité. **De Felice et al. (2019)** et **Kesari et al. (2018)** insistent sur la nécessité de stratégies de protection et de préservation de la fertilité chez les patients soumis à des traitements radiothérapeutiques.

Enfin, (**Wdowiak et al. (2019)** et d'autres travaux sur l'environnement (radiations naturelles ou industrielles) confirment que l'exposition chronique aux radiations peut affecter la qualité du sperme et la fonction testiculaire, avec des implications pour la santé reproductive à long terme.

## 2. Effets des radiations sur la fertilité féminine

Du côté féminin, les radiations ionisantes ont également des effets délétères sur les ovaires et l'utérus. **Marci et al. (2018)** expliquent que l'exposition aux radiations peut entraîner une diminution de la réserve ovarienne, une perte des follicules ovariens et une altération de la fonction endocrine, ce qui peut provoquer une ménopause précoce.

L'étude de Wan Tinn Teh et al. souligne que la radiation de l'utérus peut compromettre la capacité à mener une grossesse à terme, avec des risques accrus de fausses couches, de naissances prématurées et de retard de croissance intra-utérin. **Skrzypek et al. (2019)** confirment ces effets en détaillant les dommages cellulaires et vasculaires induits par les radiations dans le tissu utérin.

L'étude historique de **Patricia J. Lindop (1969)** sur les ovaires de rongeurs et humains a posé les bases de la compréhension des effets des radiations sur la fertilité féminine, montrant une sensibilité élevée des follicules ovariens aux radiations, ce qui a été confirmé par des recherches plus récentes.

### Effets des radiations ionisantes sur la fertilité masculine :

Des doses supérieures à 2,5 Gy provoquent une destruction irréversible des cellules germinales, entraînant une stérilité permanente. Les dommages à l'ADN et le stress oxydatif jouent un rôle majeur dans cette toxicité. La dose et le fractionnement de l'exposition influencent la gravité des effets.

### Effets des radiations ionisantes sur la fertilité féminine :

L'irradiation des ovaires peut réduire la réserve folliculaire, provoquer une ménopause précoce et altérer la fonction endocrine. L'utérus irradié présente des risques accrus de fausses couches et de complications obstétricales

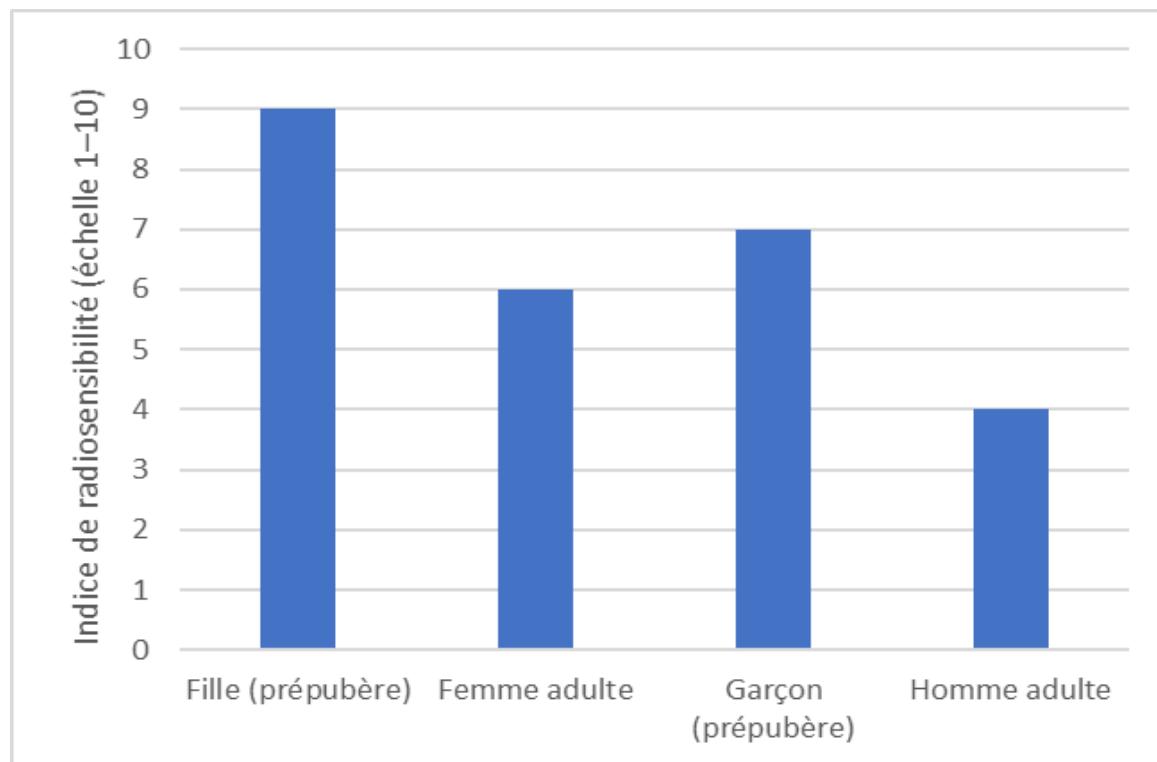
**Tableau VI** : tableau effets des radiations ionisantes sur la fertilité en fonction des doses reçues chez les deux sexes **Mazonakis et al. (2006)**, **Teh et al. (2014)**, **Skrzypek et al. (2019)**, **Wdowiak et al. (2019)** et **Fukunaga et al. (2022)**

Dose reçue	Effets chez la femme	Effets chez l'homme
< 1 Gy	Peu d'effets visibles à court terme, mais diminution possible de la réserve ovarienne si exposition répétée (surtout chez les jeunes filles)	Légère réduction de la spermatogenèse possible. Les spermatogonies de type A peuvent résister. Pas de stérilité attendue.
1-2 Gy	Début d'atteinte significative de la réserve folliculaire, particulièrement chez les filles prépubères ; risque d'insuffisance ovarienne prématurée	Dépression temporaire de la spermatogenèse, avec réduction du nombre et de la qualité des spermatozoïdes ; récupération possible en quelques mois
2-4 Gy	Forte perte folliculaire (>50 %) ; apparition d'aménorrhée et stérilité possible selon l'âge. Risque élevé si exposition en période prépubère	Risque d'azoospermie temporaire élevé ; oligospermie fréquente. Possibilité de récupération selon la dose cumulée et la présence de cellules souches spermatogoniales intactes
4-5 Gy	Stérilité probable si la patiente est jeune ou proche de la ménopause. Risque d'atteinte irréversible de la fonction utérine.	Azoospermie fréquente, souvent irréversible si > 6 Gy ; atteinte des cellules de Sertoli et de Leydig possible, menant à baisse de testostérone
> 6 Gy	Stérilité quasi certaine. Risque élevé de ménopause induite, fibrose utérine, fausses couches ou échecs d'implantation en cas de grossesse future	Stérilité permanente dans la plupart des cas ; dommages aux cellules germinales, testiculaires et à l'ADN. Risques de mutations transmissibles

Les femmes, et en particulier les jeunes filles prépubères, présentent une forte radiosensibilité ovarienne. Selon **Teh et al. (2014)** **Skrzypek et al. (2019)**, une dose de seulement 2 Gy peut détruire jusqu'à 50 % de la réserve folliculaire, avec un risque élevé de stérilité définitive si la patiente est jeune. Les rayonnements induisent la mort des ovocytes via l'apoptose et endommagent le stroma ovarien. Les effets deviennent irrémédiables au-delà de 4–6 Gy, avec des conséquences telles que ménopause précoce, fibrose utérine et fausses couches (article 10, 12, 15).

La spermatogenèse est aussi sensible, mais l'homme adulte présente une meilleure capacité de récupération grâce à la présence continue de spermatogonies souches. D'après **Wdowiak et al. (2019)**, une irradiation à 1–2 Gy réduit la qualité du sperme mais permet une reprise de la

spermatogénèse en quelques mois. En revanche, au-delà de 4 Gy, le risque d'azoospermie devient élevé, et au-delà de 6 Gy, la stérilité est souvent **permanente** (**De Felice et al., 2019 ; Gautam et al., 2020 ; Fukunaga et al., 2022**). Les dommages touchent non seulement les cellules germinales mais aussi les cellules de soutien (Sertoli, Leydig).



**Figure 12 :** histogramme de la radiosensibilité selon le sexe et l'âge

- Les filles prépubères présentent la plus forte radiosensibilité (indice 9), en raison de leur grande réserve folliculaire fixe et immature.
- Les garçons prépubères suivent (indice 7), car leurs spermatogonies immatures sont sensibles aux effets des radiations.
- La radiosensibilité diminue chez l'adulte, en particulier chez les hommes (indice 4), qui présentent une capacité de régénération plus importante.

L'histogramme met en évidence des variations importantes de radiosensibilité des tissus reproducteurs en fonction du sexe et de l'âge, ce qui a des implications critiques en radioprotection et en médecine reproductive. Il en ressort que les individus prépubères, en particulier les filles, présentent une radiosensibilité nettement plus élevée que les adultes, quel que soit le sexe.

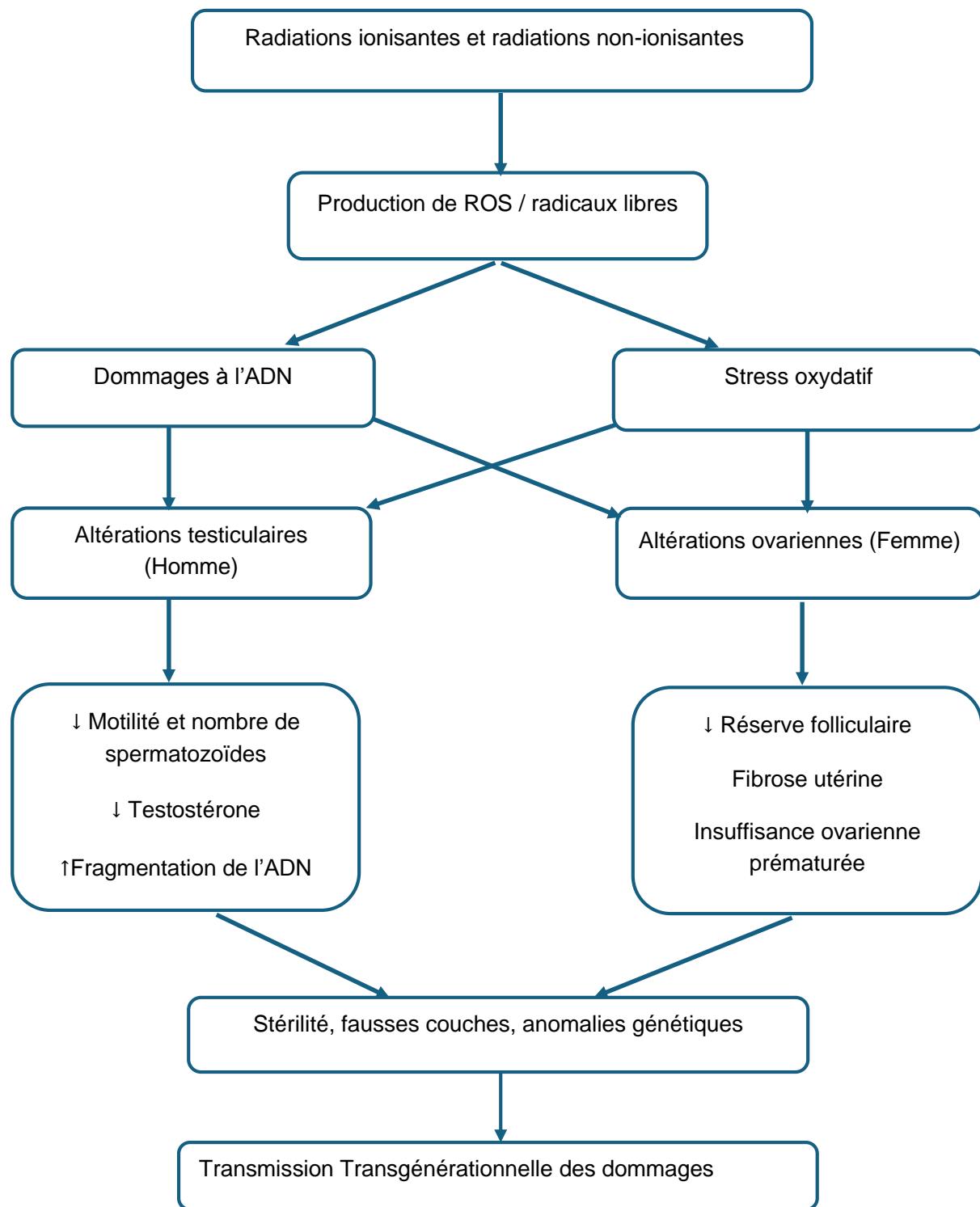


Chez les filles prépubères, l'indice de radiosensibilité est maximal (9/10). Cela s'explique par la présence d'une grande réserve de follicules primordiaux, non renouvelables, qui sont hautement vulnérables aux dommages de l'ADN et à l'apoptose induite par les radiations. Une dose relativement faible (2 à 3 Gy) peut entraîner une stérilité irréversible, comme démontré dans les études de **Teh et al. (2014)** et **Skrzypek et al. (2019)**. Le fait que la réserve ovarienne soit fixée dès la naissance et ne puisse être régénérée rend cette population particulièrement sensible.

Les garçons prépubères affichent aussi une radiosensibilité importante (7/10), bien que légèrement inférieure à celle des filles. Avant la puberté, les cellules germinales sont en division limitée, mais restent vulnérables à l'induction de dommages génotoxiques, pouvant perturber le développement ultérieur de la spermatogenèse.

En comparaison, les adultes présentent une radiosensibilité modérée chez les femmes (6/10) et relativement faible chez les hommes (4/10). Chez la femme adulte, bien que le nombre de follicules ait diminué, une irradiation modérée peut encore accélérer la déplétion folliculaire et provoquer une ménopause précoce. Chez l'homme adulte, les spermatogonies en division constante sont sensibles, mais la spermatogenèse peut se rétablir si les cellules souches ne sont pas entièrement détruites (**Wdowiak et al., 2019** ; **Fukunaga et al., 2022**).

Ce profil met en lumière l'importance d'adapter les protocoles de radiothérapie, de radioprotection ou d'exposition professionnelle en fonction de l'âge et du sexe du patient, et de recourir, si nécessaire, à des techniques de préservation de la fertilité (transposition ovarienne, cryoconservation du sperme ou des ovocytes).



**Figure 13 :** Schéma des Mécanismes biologiques de effets des radiations sur la reproduction



## Explication des effets nocifs des radiations sur les organes de reproduction à travers les mécanismes biologiques.

Les effets délétères des radiations sur les organes reproducteurs résultent de mécanismes biologiques complexes, affectant à la fois la structure, la fonction et l'intégrité génétique des cellules germinales et des tissus gonadiques. Les rayonnements ionisants (comme les rayons X, gamma ou alpha) interagissent directement avec l'ADN ou indirectement via la radiolyse de l'eau, entraînant la formation de radicaux libres et d'espèces réactives de l'oxygène (ROS). Ces espèces hautement réactives provoquent des cassures simple et double brin de l'ADN, des mutations, une fragmentation de l'ADN spermatique, et un stress oxydatif important, affectant la viabilité des cellules germinales (**Wdowiak et al., 2019 ; Gautam et al., 2020 ; Kaur et al., 2023**).

Chez l'homme, les cellules les plus sensibles sont les spermatogones, particulièrement vulnérables aux faibles doses de radiation (<1 Gy), ce qui peut entraîner une azoospermie temporaire ou permanente selon la dose cumulée reçue (**De Felice et al., 2019 Fukunaga et al., 2022**). Les ROS induits perturbent aussi l'activité des enzymes antioxydantes (SOD, catalase), compromettant l'équilibre redox des testicules. Cela se traduit par une détérioration des paramètres spermatiques (motilité, morphologie, concentration), une altération des membranes cellulaires et une réduction de la testostérone produite par les cellules de Leydig (**Kesari et al., 2018**).

Chez la femme, les follicules primordiaux, non renouvelables, sont également très radiosensibles. Une exposition même modérée peut entraîner une apoptose folliculaire massive, une déplétion de la réserve ovarienne, voire une insuffisance ovarienne prématuée (Marci et al., 2018 ; Skrzypek et al., 2019). De plus, les dommages vasculaires et fibrosants au niveau du myomètre et de l'endomètre compromettent la vascularisation utérine, réduisent la réceptivité endométriale, et augmentent les risques d'ischémie, d'atrophie, et de complications obstétricales telles que les fausses couches ou les accouchements prématurés (**Teh et al., 2014 ; Wo & Viswanathan, 2020**).

Ces effets biologiques dépendent également de facteurs comme l'âge à l'exposition, la dose cumulée, le type de rayonnement (à haut ou bas transfert linéaire d'énergie), et la durée d'exposition (exposition aiguë versus chronique). Des études ont aussi souligné la radiosensibilité plus importante des femmes jeunes et des sujets prépubères, en raison de la dynamique cellulaire intense au sein des gonades à ces périodes de la vie (**Lindop, 1969 ; Ray & Choudhuri, 2011**).



Ce travail a permis de mettre en lumière l'impact des radiations, ionisantes et non ionisantes, sur la reproduction humaine et animale.

D'un point de vue méthodologique, les approches expérimentales se sont révélées essentielles pour comprendre les mécanismes biologiques (dommages à l'ADN, stress oxydatif, apoptose), tandis que les études cliniques ont permis d'évaluer les effets réels chez les patients exposés.

En analysant les 15 études récentes et pertinentes, nous avons montré comment les radiations peuvent altérer profondément les fonctions reproductrices en affectant la qualité des gamètes, les organes reproducteurs, les hormones sexuelles, et même la viabilité des générations futures.

Les effets observés sont dose-dépendants, influencés par le type de rayonnement, la durée d'exposition, le sexe, l'âge et le stade de développement des individus exposés.

Les simulations dosimétriques et les revues interdisciplinaires ont quant à elles contribué à affiner la compréhension des seuils de danger et à formuler des recommandations de radioprotection.

L'analyse comparative des stratégies méthodologiques confirme qu'aucune méthode ne peut, à elle seule, répondre à toutes les problématiques.

C'est pourquoi une approche intégrée combinant expérimentations animales, analyses cliniques, modélisations physiques et synthèses critiques est indispensable.

Elle permet non seulement de mieux comprendre les effets des radiations sur la fertilité, mais aussi de proposer des mesures concrètes de prévention, de préservation de la fertilité et d'accompagnement des patients exposés à des traitements radiatifs ou à des expositions environnementales.



## References

- Aitken, R. J., & De Iuliis, G. N. (2010). On the possible origins of DNA damage in human spermatozoa. *Molecular Human Reproduction*, 16(1), 3–13.
- Belyakov, O. V., et al. (2022). Radiation effects on reproductive functions: current knowledge and future directions. *Reproduction*, 164(6), R205–R222.
- Chaturvedi, A., & Jain, V. (2019). Effect of ionizing radiation on human health. *International Journal of Plant and Environment*, 5(3), 200–205.
- Coad, J., & Dunstall, M. (2022). *Anatomy and Physiology for Midwives* (5th ed.). Elsevier Health Sciences.
- De Felice, F., Marchetti, C., Palaia, I., Ostuni, R., Muzii, L., & Tombolini, V. (2019). Radiation effects on male fertility. *Andrologia*, 51(1), e13267.
- Environmental radiation and male reproduction
- Faculté de Médecine d’Oran. (2020). Ovogenèse, cours PDF.
- Fukunaga, H., Yokoya, A., & Prise, K. M. (2022). A brief overview of radiation-induced effects on spermatogenesis and oncofertility. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(2), 1032.
- Gautam, R., Kumar, S., Singh, N., & Dutt, A. (2020). Impact of non-ionizing electromagnetic radiation on male infertility. *Andrologia*, 52(5), e13554.
- GFMER. (s.d.). Ovogenèse.
- Gresits, I., Forgách, É., Pálinskás, L., Rácz, G., Kovács, K., & Somosy, Z. (2020). Radiation-induced changes in the reproductive system: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 78, 103407.
- Horne, A. W., Critchley, H. O., & Saunders, P. T. (2020). Physiology and anatomy of the female reproductive system. *Obstetrics, Gynaecology & Reproductive Medicine*, 30(4), 117–125.
- Horne, A. W., Critchley, H. O., & Saunders, P. T. (2020). Physiology and anatomy of the female reproductive system. *Obstetrics, Gynaecology & Reproductive Medicine*, 30(4), 117–125.
- J. Lallemand (1984). Effets des rayonnements ionisants sur le développement in utero. *Radioprotection*, 19(1):37-54.
- Journal of Reproductive Health Management (2025). Ionizing radiation and reproductive health: Impacts and mitigation strategies
- Kaur, K., Rai, S., & Singh, S. (2023). Genotoxic risks to male reproductive health from radiofrequency radiation. *Reviews on Environmental Health*.
- Kesari, K. K., Agarwal, A., & Henkel, R. (2018). Radiations and male fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 16, 118.
- Lévesque, B. (2021). Environnement et santé publique – Fondements et pratiques. Chapitre 16 : Rayonnements non ionisants. Université de Montréal.



- Lindop, P. J. (1969). The effects of radiation on rodent and human ovaries. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 62(9), 925–928.
- Manuels MSD, 2025 : Bilan hormonal et troubles de la spermatogenèse
- Marci, R., Graziano, A., Piva, I., Lo Monte, G., Soave, I., Patrelli, T. S., & Caserta, D. (2018). Radiations and female fertility. *Journal of Endocrinological Investigation*, 41(2), 185–192.
- Mazonakis, M., Damilakis, J., Varveris, H., & Gourtsoyiannis, N. (2006). Radiation dose to testes and risk of infertility from radiotherapy for rectal cancer. *Oncology Reports*, 15(3), 729–733.
- Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2018). Clinically Oriented Anatomy (8th ed.). Wolters Kluwer.
- MSD Manuals. (2023). Endocrinologie de la reproduction féminine.
- Ogilvy-Stuart, A. L., & Shalet, S. M. (1993). Effect of radiation on the human reproductive system. *Environmental Health Perspectives*, 101(Suppl 2), 109–116.
- Ray, P. D., & Choudhuri, R. (2011). Effects of radiation on the reproductive system. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 4(3), 163–168.
- Reed, B. G., & Carr, B. R. (2018). The normal menstrual cycle and the control of ovulation. Endotext.
- Reed, B. G., & Carr, B. R. (2018). The normal menstrual cycle and the control of ovulation. Endotext. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279054/>
- Sadler, T. W. (2018). Langman's Medical Embryology (14th ed.). Wolters Kluwer.
- Sammut, M., Fraser, H. M., & Saunders, P. T. (2018). Anatomy and physiology of the ovary. *British Journal of Hospital Medicine*, 79(9), 520–525.
- Silber, S. J. (2018). The physiology of spermatogenesis: a meticulous process that requires optimal conditions. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 35(5), 657–664
- Skrzypek, M., Wdowiak, A., Bojar, I., & Wdowiak, A. (2019). Effect of ionizing radiation on the female reproductive system. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 26(1), 25–28.
- Teh, W. T., Stern, C., Chander, S., & Hickey, M. (2014). The impact of uterine radiation on subsequent fertility and pregnancy outcomes. *BioMed Research International*, 2014, 482968.
- Tesarik, J., & Mendoza, C. (2017). Hormonal regulation of spermatogenesis and sperm maturation. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 15(1), 29
- Université Médicale Constantine 1. (2021). TD N°3 : Régulation hormonale de l'ovogenèse.
- Université Médicale d'Alger. (2018). TD N°3 Contrôle hormonal de l'ovogenèse.
- Wdowiak, A., Wdowiak, A., & Bojar, I. (2019). Effect of ionizing radiation on the male reproductive system. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 26(1), 18–24.



- Silber, S. J. (2018). The physiology of spermatogenesis: a meticulous process that requires optimal conditions. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 35(5), 657–664.
- Skrzypek, M., Wdowiak, A., Bojar, I., & Wdowiak, A. (2019). Effect of ionizing radiation on the female reproductive system. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 26(1), 25–28.
- Teh, W. T., Stern, C., Chander, S., & Hickey, M. (2014). The impact of uterine radiation on subsequent fertility and pregnancy outcomes. *BioMed Research International*, 2014, 482968.
- Tesarik, J., & Mendoza, C. (2017). Hormonal regulation of spermatogenesis and sperm maturation. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 15(1), 29.
- Université Médicale Constantine 1. (2021). TD N°3 : Régulation hormonale de l'ovogenèse.
- Université Médicale d'Alger. (2018). TD N°3 Contrôle hormonal de l'ovogenèse.
- Wdowiak, A., Wdowiak, A., & Bojar, I. (2019). Effect of ionizing radiation on the male reproductive system. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 26(1), 18–24.
- Wentzell, E., Downes, K. L., & Bradley, K. (2021). Ovarian morphology and clinical implications: What can imaging tell us? *Radiographics*, 41(5), 1303–1320.
- Wo, J., & Viswanathan, A. N. (2009). Impact of radiotherapy on fertility, pregnancy, and neonatal outcomes in female cancer patients. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 73(5), 1304–1312.
- Wyrobek, A. J., Eskenazi, B., Young, S., Arnheim, N., Tiemann-Boege, I., Jabs, E. W., ... & Marchetti, F. (2007). *Advances in the understanding of male-mediated reproductive risks*. *Mutation*
- Zhou, H., Randers-Pehrson, G., Waldren, C. A., Vannais, D., Hall, E. J., & Hei, T. K. (2018). Induction of a bystander mutagenic effect of alpha particles in mammalian cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(5), 2099–2104.

## Annexes

**Tableau I:** L'ensemble des articles étudiés avec leurs stratégies de méthodologie

Titre	méthodologie	but
1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Expériences sur des modèles animaux (souris, drosophile)</li> <li>2. Études de données cliniques et observations humaines issues de patients humains exposés à la radiothérapie</li> <li>3. Analyses radiobiologiques moléculaire</li> <li>4. Les nouvelles approches thérapeutiques (radiothérapie par microfaisceaux)</li> </ol>	<p>Pour évaluer les effets génotoxiques des radiations sur les cellules germinales et les générations suivantes (observer la sensibilité des spermatogonies aux radiations et les mécanismes biologiques impliqués)</p> <p>Pour examiner les effets dose dépendants sur la fertilité masculine, la récupération spermatogénétique et les seuils de dose pour l'azoospermie permanente ou temporaire</p> <p>Pour détecter des dommages d'ADN et des effets cellulaires</p> <p>Pour la préservation de la fertilité masculine lors des traitements oncologiques</p>
2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Études de données expérimentales animales et observations cliniques humaines</li> <li>2. Évaluation de la réserve ovarienne par <ul style="list-style-type: none"> <li>• dosage hormonal (FSH, estradiol, hormone anti-müllérienne AMH)</li> <li>• Échographie transvaginale</li> </ul> </li> </ol>	<p>Pour décrire les effets de la radiothérapie sur la réserve ovarienne, la fonction utérine et la fertilité</p> <p>Pour évaluer la réserve ovarienne chez les patientes exposées aux radiations</p>
3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Études <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>In vitro</i> exposition de cellules de Leydig et spermatozoïdes à des radiofréquences en laboratoire</li> <li>• <i>In vivo</i> exposition des rongeurs à des radiofréquences</li> </ul> </li> <li>2. Technique d'évaluation de la génotoxicité <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comet assay (test des comètes)</li> <li>• Test de micronoyaux</li> <li>• Analyses des aberrations chromosomiques</li> </ul> </li> </ol>	<p>Pour évaluer les dommages à l'ADN et autres marqueurs de génotoxicité</p> <p>Pour observer les effets sur la spermatogenèse, la qualité du sperme et les tissus testiculaires</p> <p>Permet de mesurer les cassures de l'ADN dans les cellules individuelles</p> <p>Détecté la formation de micronoyaux, indicateur de dommages chromosomiques</p> <p>Pour la recherche de modifications structurelles ou numériques des chromosomes</p> <p>Pour mesurer la fréquence d'échanges entre chromatides sœurs, marqueurs de dommages à l'ADN</p> <p>Pour l'évaluation de la production d'espèces réactives de l'oxygène</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Échanges de chromatides sœurs</li> <li>• Dosage du stress oxydatif et des ROS</li> <li>• TUNEL assay</li> </ul> <p>3. Analyse des paramètres biologiques</p>	(ROS) après exposition, impliquées dans le stress oxydatif et les dommages à l'ADN Pour détecter la apoptose et les cassures de l'ADN dans les spermatozoïdes Observation des effets sur la morphologie testiculaire, le nombre et la motilité des spermatozoïdes, la production de testostérone, et l'intégrité de l'ADN spermatique.
4	<p>1. Analyse des données cliniques et épidémiologiques :</p> <p>2. Utilisation de modèles mathématiques (notamment celui de Wallace et al.)</p> <p>3. Évaluation hormonale et imagerie :</p> <p>4. Analyse des résultats concernant l'efficacité de techniques comme la transposition ovarienne</p>	Évaluation des conséquences hormonales, la fonction ovarienne, la fonction utérine, et les complications obstétricales chez des patientes traitées par radiothérapie pour estimer la dose de radiation provoquant une déplétion ovarienne significative et prédire l'âge d'apparition d'une insuffisance ovarienne prématûrée selon la dose reçue et l'âge de la patiente. Synthèse des études mesurant les hormones (FSH, LH, estradiol) et les volumes ovariens par échographie pour évaluer la réserve ovarienne post-radiothérapie.  pour limiter les effets délétères de la radiothérapie sur la fertilité.
5	<p>1. Analyse des modèles expérimentaux et cliniques</p>	Discussion des modèles animaux historiques (souris irradiées) pour comprendre les mécanismes de toxicité testiculaire.  Analyse des données issues d'accidents nucléaires, d'irradiation professionnelle, d'expérimentations humaines et de patients traités par radiothérapie.

	2. Synthèse des seuils de dose et des temps de récupération	pour l'apparition de l'oligospermie, de l'azoospermie temporaire ou permanente.
6	1. Synthèse des recherches in vivo et in vitro:  2. Évaluation des paramètres biologiques et biochimiques	<ul style="list-style-type: none"><li>• in vivo, des expérimentations sont menées sur des modèles animaux tels que des rats, des souris et des drosophiles qui sont exposés à différentes sources de REMN. L'objectif est d'évaluer les effets de ces champs électromagnétiques sur la spermatogenèse, la morphologie des testicules, la motilité et la viabilité des spermatozoïdes, ainsi que les taux hormonaux.</li><li>• in vitro, des spermatozoïdes humains ou animaux sont exposés à des REMN en laboratoire afin de mesurer les dommages causés à l'ADN, la fragmentation, la motilité et l'activité enzymatique.</li><li>• Analyse de la quantité de radicaux libres (ROS) et de l'oxydation des tissus testiculaires et des spermatozoïdes, ainsi que mesure du stress oxydatif. Évaluation des enzymes antioxydantes (SOD, catalase, GPx) et des indicateurs de peroxydation lipidique. Analyse des modifications hormonales (testostérone, FSH)</li><li>• les effets thermiques tels que l'élévation de la température scrotale et les effets non thermiques comme l'altération des canaux calciques, le stress oxydatif et les dommages à l'ADN discussion également des mécanismes moléculaires</li></ul>

	3. Analyse des mécanismes d'action	impliqués tels que l'activation des canaux calciques voltage-dépendants, la génération de ROS et les modifications épigénétiques.
7	1. Tests effectués sur un fantôme  2. Mesures in vivo :  3. Protection :  4. Calculs	<ul style="list-style-type: none"><li>• Un fantôme avec une forme anthropomorphique a été exposé à des rayons de photons, en faisant varier la taille des champs, la distance entre le champ et les testicules, l'épaisseur du tissu simulé, et en utilisant des coins</li><li>• La quantité de radiation reçue par les testicules a été mesurée chez cinq patients lors de leur première séance de radiothérapie.</li><li>• Deux types de protège-testicules ont été évalués pour voir s'ils sont efficaces pour réduire la dose de radiation</li><li>• : Une méthode simple a été développée pour estimer la quantité de radiation reçue par les testicules en fonction des paramètres du traitement.</li></ul>
8	1. Classification des rayonnements ionisants : (alpha, bêta, gamma, rayons X)  2. Evaluation des origines et niveau d'exposition	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pour évaluer le mode d'action, la capacité à pénétrer et les risques associés</li><li>• Pour faire une distinction claire entre sources naturelles et artificielles, avec mise en évidence des niveaux d'exposition dans différents contextes (environnement, médecine, industrie).</li><li>• Les radiations provoquent des effets déterministes (immédiats, dose-dépendants) et stochastiques (aléatoires, à long terme) avec des dégâts</li></ul>

	<p>3. Étude des Effets biologiques des radiations :</p> <p>4. Données cliniques et épidémiologiques :</p> <p>5. Mesures de protection efficaces :</p>	<p>détaillés aux cellules (dommages à l'ADN, mutations).</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Des études montrent une corrélation entre exposition prolongée ou intense et augmentation des risques de maladies (cancers, troubles génétiques).</li><li>• Présentation des équipements et des protocoles pour réduire significativement l'exposition aux radiations.</li></ul>
9	<p>1. Étude sur les effets biologiques des radiations et des mécanismes moléculaires impliqués,</p> <p>2. Regroupement des données issues d'études expérimentales (in vivo et in vitro) et cliniques</p> <p>3. Analyse des effets des radiofréquences (RF-EMF) et des rayonnements ionisants.</p> <p>4. Analyse des impacts cliniques sur la fertilité masculine et la santé reproductive,</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• comprendre l'impact des radiations sur les cellules reproductrices.</li><li>• pour évaluer l'impact des radiations sur la qualité du sperme et la fonction testiculaire,</li><li>• Comparaison de leurs impacts selon le type de radiation</li><li>• pour la prévention des risques.</li></ul>
10	<p>1. Échographie (ultrasonographie)</p> <p>2. Imagerie par résonance magnétique (IRM)</p> <p>3. Suivi des issues de grossesse</p> <p>4. Suivi de traitements adjuvants</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• pour mesurer le volume utérin, l'épaisseur endométriale, et la vascularisation.</li><li>• pour détecter des modifications morphologiques post-radiques (fibrose, atrophie, ischémie)</li><li>• prévalence de fausses couches, accouchements prématurés, poids de naissance, etc</li><li>• comme l'administration d'hormones sexuelles, de pentoxifylline et de tocophérol, pour voir s'ils améliorent la fonction utérine.</li></ul>

11	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Étude des processus biologiques</li><li>2. Résultats d'expériences sur des souris, rats, poissons et insectes exposés à diverses doses de rayonnement.</li><li>3. Regroupement d'études cliniques sur des hommes exposés professionnellement ou accidentellement (personnel médical, mineurs, liquidateurs de Tchernobyl, etc.).</li><li>4. Discussion des seuils de dose pour les effets déterministes et stochastiques.</li></ol>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pour étudier les effets des radiations sur les cellules reproductrices et l'ADN</li><li>• Montrer l'impact des doses sur la production de spermatozoïdes, la capacité de reproduction et l'hérédité.</li><li>• Analyser l'impact sur la qualité du sperme, la fertilité et la santé génétique.</li><li>• Évaluer les risques pour la santé publique et la radioprotection.</li></ul>
12	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Présentation des résultats d'expériences sur des modèles animaux exposés à divers niveaux d'irradiation</li><li>2. Différences entre expositions aiguës et chroniques : forte dose en peu de temps vs faibles doses sur le long terme.</li><li>3. Analyse des mécanismes biologiques et moléculaires dans l'étude du stress oxydatif, des dommages à l'ADN, des mécanismes de réparation cellulaire et du rôle des ROS.</li><li>4. compilation des données sur les doses seuils entraînant la stérilité en fonction de l'âge et du stock folliculaire disponible</li><li>5. Discussion sur les marqueurs utilisés pour évaluer les effets des rayonnements ionisants sur la fertilité (dommages à l'ADN, anomalies chromosomiques, perte de follicules...).</li></ol>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comprendre la radiosensibilité des cellules germinales féminines et prévoir les effets chez l'homme.</li><li>• Comparaison de radiosensibilité et de conséquences biologiques en fonction du type d'exposition.</li><li>• expliquer l'impact des rayonnements ionisants sur les cellules reproductrices et leur influence sur la fertilité.</li><li>• déterminer les niveaux de risque en fonction de ces facteurs pour les femmes exposées à des rayonnements ionisants.</li><li>• Identifier les outils de suivi et de diagnostic des effets des rayonnements ionisants sur la fertilité.</li></ul>

13	<ol style="list-style-type: none"><li>1. études menées sur des populations exposées de manière accidentelle ou professionnelle, telles que les survivants d'Hiroshima et Nagasaki, les travailleurs de Tchernobyl, les mineurs d'uranium et les peintres au radium.</li><li>2. Études expérimentales sur des modèles animaux consistant en la compilation et l'analyse des résultats d'expériences menées sur différents animaux tels que des souris, des rats, etc., exposés à diverses doses de radiations ionisantes</li><li>3. analyse dosimétrique et radiobiologique présenter les concepts de dose absorbée (en gray et en rad) et de transfert linéique d'énergie (LET), ainsi que comparer les radiations à haut et bas LET (comme les rayons alpha, gamma, X...).</li><li>4. études cliniques et épidémiologiques humaines:, analyser des cohortes de patients traités par radiothérapie, des femmes enceintes exposées à des examens radiologiques, ainsi que des populations vivant dans des zones contaminées.</li><li>5. Analyse des dommages à l'ADN causés par la radiation, y compris les cassures simples et doubles, le stress oxydatif, la formation de radicaux libres et les altérations chromosomiques.</li><li>6. Résumé des risques liés aux radiations et des recommandations internationales en matière de protection.</li></ol> <ul style="list-style-type: none"><li>• Étudier l'impact des radiations sur la reproduction humaine en se basant sur des données épidémiologiques et historiques.</li><li>• observer les effets de la dose et du temps de réponse sur la fertilité, la spermatogenèse, l'ovogénèse et la transmission génétique.</li><li>• expliquer pourquoi certains types de radiations sont plus nocifs pour les tissus reproducteurs, et comment la dose absorbée influence la gravité des effets sur ces tissus.</li><li>• évaluer l'incidence de la stérilité, des fausses couches, des malformations congénitales et des anomalies génétiques chez l'être humain.</li><li>• Comprendre les lésions irréparables ou transmissibles aux générations suivantes induites par la radiation.</li><li>• Définir des seuils de sécurité pour guider la prévention, en particulier pour les professionnels de la santé et les patients.</li></ul>
----	--

14	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Évaluation de l'exposition aux radiations environnementales :</li><li>2. Analyse des paramètres spermatiques :</li><li>3. Études épidémiologiques : Collecte et analyse de données cliniques et démographiques sur des populations exposées aux radiations</li><li>4. Comparaison entre groupes exposés et non exposés :</li><li>5. Synthèse des mécanismes biologiques :</li></ol>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mesure et estimation des doses de rayonnements ionisants reçues par des populations ou individus dans différents environnements</li><li>• Étude de la qualité du sperme, incluant la concentration, la motilité, la morphologie des spermatozoïdes, souvent réalisée par des méthodes standardisées d'analyse de sperme.</li><li>• pour évaluer l'impact sur la fertilité masculine.</li><li>• Analyse statistique pour identifier des différences significatives liées à l'exposition aux radiations.</li><li>• Récapitulatif des connaissances sur les effets des radiations sur les cellules germinales masculines, notamment les dommages à l'ADN et le stress oxydatif.</li></ul>
----	--	--

15	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Études expérimentales sur les animaux, principalement les souris et les rats, portant sur l'irradiation localisée ou totale du corps à différentes doses et à différents âges. Les chercheurs ont suivi la survie cellulaire en comptant les ovocytes sur des coupes sériées d'ovaires, observé la déplétion des populations cellulaires ovarielles et réalisé des analyses morphologiques et histologiques, notamment à l'aide de microscopies optique et électronique</li><li>2. Étude des effets de l'irradiation sur la capacité reproductive à différents âges et doses.</li><li>3. Analyse de la corrélation entre la survie cellulaire et la fonction reproductive.</li></ol>	<ul style="list-style-type: none"><li>• pour observer les effets de l'irradiation sur les follicules, la mort cellulaire et les changements ultrastructuraux, comme le nombre de mitochondries par ovocyte.</li><li>• Déterminer si l'irradiation provoque des dommages génétiques transmissibles à la descendance, et identifier les périodes de plus grande sensibilité génétique.</li><li>• Observer si l'irradiation ovarienne augmente le risque de développement de tumeurs ovarielles, ce qui éclaire les risques à long terme pour la santé</li></ul>
----	---	---

	<ol style="list-style-type: none"><li>4. Élaboration de courbes dose-réponse pour évaluer la radiosensibilité en fonction de l'environnement.</li><li>5. Suivi des mutations génétiques, anomalies chromosomiques et développement de tumeurs ovariennes après irradiation.</li></ol>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Quantifier la sensibilité des différentes populations cellulaires ovariennes à la radiation, comparer l'effet de différents environnements (air, hypoxie), et établir des seuils de dose pour la perte cellulaire ou fonctionnelle.</li><li>• Identifier les périodes de la vie ou les stades de développement cellulaire les plus sensibles aux radiations, afin de mieux cibler la prévention et la protection.</li></ul>
--	---	---

**Tableau II : L'ensemble des résultats de chaque articles étudiés**

Titre	Résultats	Conclusion
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les testicules sont très sensibles à la radiation. Une dose de 0,11 Gy peut réduire la production de spermatozoïdes et à partir de 3-5 Gy, la stérilité peut devenir permanente. La récupération de la spermatogenèse varie en fonction de la dose : moins de 1 Gy nécessite 9-18 mois pour récupérer, mais plus de 2-6 Gy entraîne une azoospermie permanente.</li> <li>• En radiothérapie, le fractionnement des doses peut retarder la récupération et réduire le seuil de stérilité. Les faibles débits de dose (LDR) peuvent causer plus de dommages testiculaires que les doses élevées (HDR), contrairement à d'autres tissus</li> <li>• Ces radiations provoquent des dommages à l'ADN, un stress oxydatif et des effets non spécifiques sur les cellules germinales.</li> <li>• Les effets transgénérationnels des radiations restent sujet à controverse, avec des différences entre les études menées sur les animaux et celles menées sur les humains.</li> <li>• La radiothérapie peut avoir un impact sur la fonction testiculaire, mais de nouvelles stratégies telles que la radiothérapie à micro-faisceaux pourraient permettre de préserver la fertilité.</li> </ul>	<p>La spermogénèse est affectée par la radioactivité et les effets dépendent de la quantité de rayonnement, de sa répartition et du débit de dose. La possibilité d'effets transgénérationnels demeure un sujet de débat. Il est crucial de poursuivre les études pour améliorer la préservation de la fertilité chez les individus traités par radiothérapie.</p>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les radiations ionisantes peuvent endommager les follicules ovariens, entraînant une insuffisance ovarienne prématuée et des troubles utérins tels que la fibrose et l'atrophie.</li> <li>• les effets des radiations non ionisantes sur le corps suscitent des débats, mais peuvent provoquer un stress oxydatif au niveau des ovaires.</li> <li>• Il est crucial d'évaluer la réserve ovarienne, en se basant sur des marqueurs comme l'AMH et les follicules antraux, pour prédire la</li> </ul>	<p>Les radiations, en particulier celles qui sont ionisantes, ont un impact significatif sur la fertilité chez les femmes en affectant les ovaires, l'utérus et les niveaux hormonaux. L'ampleur de cet effet varie en fonction de la dose de radiation, de l'âge et du type de radiation. C'est pourquoi il est essentiel d'évaluer la réserve ovarienne et de offrir des options de préservation de la fertilité aux patientes présentant un risque élevé</p>

	<p>fertilité après une exposition aux radiations.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• il est recommandé de préserver la fertilité en envisageant des techniques comme la congélation d'ovocytes ou de tissu ovarien avant de commencer un traitement médical.</li></ul>	
3	<ul style="list-style-type: none"><li>• L'exposition aux radiofréquences entraîne un stress oxydatif important qui endommage l'ADN des spermatozoïdes et des cellules de Leydig.</li><li>• Les recherches menées en laboratoire et sur des animaux montrent une augmentation de la fragmentation de l'ADN, des aberrations chromosomiques et une diminution de la qualité du sperme.</li><li>• certaines études ne montrent pas d'effets significatifs, mettant en lumière la variabilité des résultats en fonction des protocoles utilisés.</li></ul>	<p>Il est possible que l'exposition aux radiofréquences augmente le risque de dommages génotoxiques dans le système reproducteur masculin en provoquant principalement un stress oxydatif accru, ce qui pourrait affecter la fertilité et la santé génétique des spermatozoïdes.</p>
4	<ul style="list-style-type: none"><li>• La radiothérapie affecte les hormones et peut entraîner des perturbations du cycle menstruel et de la fertilité.</li><li>• Elle peut également altérer la fonction utérine, augmentant ainsi les risques de fausses couches et de complications obstétricales.</li><li>• Après une irradiation ovarienne, il est fréquent de connaître une ménopause précoce, dont l'impact dépend de la dose et de l'âge.</li><li>• Pour réduire les risques de dysfonction ovarienne, la transposition des ovaires peut être une option à considérer.</li></ul>	<p>La radiothérapie a un impact important sur la fertilité et la santé reproductive des femmes, nécessitant ainsi une communication précise et des méthodes de préservation appropriées.</p>
5	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les radiations ionisantes peuvent endommager les cellules germinales, entraînant une baisse de la quantité de spermatozoïdes (oligospermie) ou leur absence totale (azoospermie) de manière temporaire ou permanente, en fonction de la dose reçue.</li><li>• Les cellules de Leydig sont plus résistantes, mais une exposition à une</li></ul>	<p>Avant de commencer une radiothérapie, il est important d'évaluer son impact sur la fertilité masculine et de prendre des mesures pour la préserver.</p>

	<p>forte dose de radiation peut tout de même réduire la production de testostérone.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Après une exposition à une faible dose, la spermatogenèse peut se rétablir, même si la récupération est lente et incomplète en cas d'exposition à des doses élevées.</li> <li>Les études cliniques et expérimentales convergent pour établir des seuils critiques en termes de dose de radiation.</li> </ul>	
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les REMN causent du stress oxydatif, perturbent la spermatogenèse et altèrent les spermatozoïdes.</li> <li>Les mécanismes incluent l'activation des canaux calciques, la production excessive de ROS et des modifications épigénétiques</li> <li>Les études animales et in vitro montrent des effets négatifs, mais les preuves humaines sont limitées.</li> </ul>	Les REMN représentent une menace potentielle pour la fertilité masculine via des mécanismes oxydatifs et moléculaires, nécessitant une meilleure compréhension et des mesures de précaution.
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>La quantité de rayonnement reçue par les testicules dépend de la taille, de la distance et de l'épaisseur des tissus du champ irradié. L'utilisation de protections spécifiques diminue cette exposition</li> <li>Les boucliers gonadiques sont particulièrement efficaces pour réduire la dose reçue, mais leur efficacité varie en fonction du type de protection utilisé.</li> <li>Une méthode de calcul précise a été développée pour estimer avec précision la dose de rayonnement reçue par les testicules, et cette méthode a été validée par des mesures in vivo.</li> </ul>	Pendant la radiothérapie pelvienne, il est important de prendre en compte la dose reçue par les testicules. Cette dose peut être estimée et réduite efficacement en utilisant des protections adaptées et en planifiant correctement le traitement. Une récente étude propose un outil pratique pour protéger la fertilité des patients atteints de cancer du rectum.
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distinguer les sources d'exposition naturelles des sources artificielles, en mettant en lumière les niveaux d'exposition selon les différents contextes tels que l'environnement, la médecine et l'industrie.</li> <li>Les effets biologiques des radiations ont été compris, avec des effets</li> </ul>	Les faibles niveaux de rayonnements ionisants, y compris le rayonnement de fond naturel, peuvent entraîner des risques pour la santé humaine comme le cancer et les mutations génétiques. La déréglementation des déchets radioactifs pourrait augmenter

	<p>déterministes (immédiats, dose-dépendants) et stochastiques (aléatoires, à long terme) ainsi que les mécanismes cellulaires détaillés tels que les dommages à l'ADN et les mutations.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Des données cliniques et épidémiologiques ont montré une corrélation entre une exposition prolongée ou intense aux rayonnements et une augmentation des risques de maladies telles que les cancers et les troubles génétiques.</li><li>• L'efficacité des mesures de protection a été soulignée, mettant en avant les équipements et protocoles permettant de réduire significativement l'exposition aux rayonnements.</li><li>• Des recommandations pratiques ont été proposées, incluant des mesures concrètes pour limiter les risques tout en tenant compte des avantages médicaux et des dangers potentiels.</li></ul>	<p>l'exposition de la population et de l'environnement, avec des conséquences potentiellement graves sur plusieurs générations. Il est crucial d'appliquer des normes strictes de sécurité pour toutes les activités liées aux rayonnements et de maintenir des mesures de protection rigoureuses pour limiter les effets sur la santé publique et l'environnement.</p>
9	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les ondes radiofréquences provenant des différents appareils électroniques comme les téléphones portables, le Wi-Fi, les micro-ondes et les ordinateurs portables peuvent altérer les paramètres spermatiques. Elles entraînent une diminution du nombre, de la mobilité et de la viabilité des spermatozoïdes, ainsi qu'une augmentation des anomalies morphologiques.</li><li>• De plus, ces radiations RF-EMF peuvent endommager l'ADN et causer un stress oxydatif en augmentant la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS). Cela peut entraîner des cassures de l'ADN, une fragmentation accrue et une instabilité génomique chez les spermatozoïdes.</li><li>• Les effets des ondes radiofréquences peuvent également affecter les enzymes et les hormones impliquées dans la spermatogenèse et la motilité des spermatozoïdes. Le taux de</li></ul>	<p>L'utilisation des radiations non ionisantes, en particulier celles provenant des téléphones portables, du Wi-Fi, des micro-ondes et des ordinateurs portables, est nocive pour la fertilité masculine. Cela se traduit par des altérations des spermatozoïdes, des dommages à l'ADN, un stress oxydatif accru et des perturbations hormonales. Ces effets sont influencés par la dose d'exposition et sont plus graves en cas d'exposition prolongée ou rapprochée. Les radiations ionisantes présentent un risque encore plus grand de stérilité et de mutations génétiques. Il est essentiel de prévenir ces effets en limitant l'exposition et en utilisant des antioxydants pour protéger la fertilité masculine contre l'augmentation de la pollution électromagnétique dans l'environnement.</p>

	<p>testostérone peut chuter et la fonction des cellules de Leydig peut être perturbée.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Des études in vitro et in vivo ont montré que ces effets sont dose-dépendants, c'est-à-dire qu'ils varient en fonction de la durée, de la fréquence, de la puissance et de la proximité de l'exposition aux sources de RF-EMF.</li><li>Il est important de noter que les radiations ionisantes, telles que les rayons X et gamma, sont encore plus nocives et peuvent causer des mutations, des cassures chromosomiques et une stérilité à des doses élevées.</li><li>Pour se protéger contre les dommages induits par les RF-EMF, l'utilisation d'antioxydants tels que la mélatonine et les extraits de thé vert a montré un effet protecteur chez l'animal.</li></ul>	
10	<ul style="list-style-type: none"><li>Les radiations ont des effets physiologiques sur l'utérus, provoquant une diminution de son volume, une atrophie de l'endomètre et du myomètre. Ils entraînent également une fibrose, une ischémie locale et une réduction de l'élasticité de l'utérus, ainsi que des dommages vasculaires entraînant une mauvaise vascularisation de l'utérus.</li><li>Les échographies et IRM montrent une réduction de la taille de l'utérus, un amincissement de l'endomètre et une réduction de la vascularisation utérine après irradiation. Ces effets sont plus graves chez les filles irradiées avant ou pendant la puberté.</li><li>Ces dommages peuvent entraîner une réduction de la fécondité et augmenter les complications de grossesse telles que les fausses couches, les accouchements prématurés et les faibles poids de naissance. Ces risques sont accrus avec des doses élevées de radiation.</li><li>Certaines thérapies, comme le traitement hormonal substitutif chez certaines patientes ou l'association de</li></ul>	<p>Il est important de noter que l'irradiation de l'utérus peut avoir des conséquences graves sur sa capacité à concevoir une grossesse. Surtout si elle est administrée à forte dose ou avant la puberté. Les complications possibles comprennent une diminution de la fertilité, des fausses couches, des accouchements prématurés et des bébés de faible poids. Par conséquent, il est essentiel d'évaluer soigneusement l'état de l'utérus avant d'envisager une grossesse, en utilisant des techniques telles que l'IRM ou l'échographie. Dans le cas de femmes fortement irradiées, une grossesse naturelle n'est généralement pas recommandée, et d'autres options comme la gestation pour autrui peuvent être envisagées. Des traitements comme les hormones ou la combinaison de pentoxifylline et de vitamine E pourraient être bénéfiques pour la fonction utérine, mais des études</p>

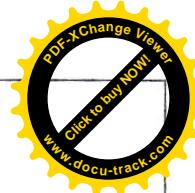
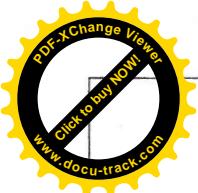
	<p>pentoxifylline et de tocophérol, montrent des résultats prometteurs pour réduire la fibrose et améliorer les caractéristiques utérines, mais ces traitements ont leurs limites.</p>	supplémentaires sont nécessaires pour confirmer leur efficacité.
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'exposition aux rayonnements ionisants a un impact important sur la fertilité des hommes car elle endommage l'ADN des cellules germinales, causant des cassures qui peuvent être transmises aux générations futures. Ces rayonnements affectent la qualité du sperme en réduisant sa mobilité, en augmentant les anomalies morphologiques et en fragmentant le matériel génétique.</li> <li>• Les effets varient en fonction de la dose reçue : des doses faibles peuvent entraîner une infertilité temporaire, tandis que des doses plus élevées peuvent provoquer une stérilité permanente. Les individus exposés professionnellement ou accidentellement montrent des altérations génétiques et des problèmes au niveau du sperme.</li> <li>• Cette étude met en avant l'importance de surveiller l'exposition aux rayonnements et de mettre en place des mesures de protection pour préserver la fertilité masculine et limiter les risques génétiques pour la descendance.</li> </ul>	<p>Il est crucial de surveiller l'exposition aux radiations ionisantes chez les hommes en âge de procréer, surtout ceux travaillant dans des secteurs comme la radiologie médicale, la médecine nucléaire, la radiothérapie oncologique, les mines ou l'aviation. Les travailleurs de l'industrie minière sont également touchés par l'exposition naturelle aux radiations.</p> <p>Il est important de prendre en compte les risques pour la fertilité masculine liés aux radiations médicales, car elles peuvent avoir un impact négatif sur la production de spermatozoïdes. Il est donc essentiel d'optimiser les techniques de réduction de doses en imagerie médicale, en particulier lors de la tomodensitométrie (CT scan), pour protéger la santé reproductive.</p>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les ovocytes des femmes sont très sensibles aux radiations, avec une dose létale médiane estimée en dessous de 2 Gy. Cette sensibilité varie en fonction de l'âge et de la réserve folliculaire disponible, diminuant avec le temps.</li> <li>• Les seuils de dose pour la stérilité varient également en fonction de l'âge : 20,3 Gy à la naissance, 18,4 Gy à 10 ans, 16,5 Gy à 20 ans et 14,3 Gy à 30 ans. Ces doses reflètent la diminution du nombre de follicules ovariens au fil du temps.</li> </ul>	les faibles doses d'irradiation dans l'environnement n'ont pas l'air de nuire à la fertilité des femmes. En revanche, des expositions à fortes doses, telles que celles lors de radiothérapies ou d'accidents nucléaires, peuvent provoquer de graves dommages au système reproducteur féminin et impactent la fertilité ainsi que la santé reproductive.

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les faibles doses de radiations environnementales n'ont pas d'effets significatifs sur la fertilité ou les résultats de grossesse des femmes. En revanche, des doses élevées, comme celles reçues lors de traitements de radiothérapie ou d'expositions accidentelles, peuvent entraîner des problèmes de fertilité, une diminution de la réserve ovarienne, voire une ménopause précoce.</li><li>• Les radiations ionisantes peuvent causer du stress oxydatif, des dommages à l'ADN des ovocytes, des mutations, des aberrations chromosomiques et même la mort cellulaire.</li><li>• Le retard de la maternité dans la population, associé à une exposition cumulative aux facteurs environnementaux, peut augmenter les risques liés aux radiations et contribuer à la baisse de la fertilité chez les femmes.</li></ul>	
13	<p>Les radiations ionisantes ont des effets sur l'ADN, entraînant des cassures simples et doubles, une augmentation des radicaux libres et un stress oxydatif dans les cellules reproductrices. Les cassures double brin sont particulièrement préoccupantes car elles peuvent provoquer des mutations et une instabilité génomique.</p> <p>Les radiations affectent la fertilité en causant une diminution du nombre de spermatozoïdes, des problèmes de spermatogenèse et même la stérilité chez les hommes. Chez les femmes, cela peut entraîner une diminution de la réserve ovarienne, augmentant le risque de ménopause précoce ou d'infertilité après une forte exposition.</p> <p>Les radiations peuvent également provoquer des anomalies chromosomiques transmises à la descendance, mais les études n'ont pas montré clairement d'augmentation des malformations génétiques dans la génération suivante. Les expositions élevées pendant la grossesse peuvent entraîner des complications</p>	Les radiations ionisantes ont des effets délétères sur les systèmes reproducteurs masculin et féminin, allant de l'infertilité à l'augmentation du risque de maladies génétiques et de complications pendant la grossesse. Les effets dépendent de la dose, du type de rayonnement, de l'âge et du sexe, et peuvent toucher plusieurs générations en cas d'exposition massive.



	<p>telles que des fausses couches et des anomalies du développement chez les nouveau-nés.</p> <p>Les radiations perturbent l'axe hormonal régulant la reproduction, entraînant des troubles de la puberté, des cycles menstruels et de la production hormonale chez les adultes. Les études épidémiologiques montrent une altération de la santé reproductive dans les populations exposées, avec des effets variables en fonction de la dose, de la durée et de l'âge d'exposition.</p>	
14	<p>L'exposition aux radiations environnementales peut affecter la qualité du sperme chez les hommes, avec une diminution de la concentration et de la motilité des spermatozoïdes, ainsi que des anomalies morphologiques. Il existe une corrélation dose-réponse, indiquant que plus l'exposition aux radiations est élevée, plus les altérations spermatiques sont graves. Cela peut entraîner une réduction de la fertilité masculine, voire une stérilité partielle ou complète dans certaines populations. Les dommages à l'ADN des cellules germinales et le stress oxydatif sont des mécanismes biologiques suggérés pour expliquer ces effets. En outre, la susceptibilité aux radiations peut varier en fonction de facteurs génétiques, nutritionnels et environnementaux. Des recommandations doivent être envisagées pour minimiser ces impacts sur la santé reproductive des hommes.</p>	<p>Les radiations ionisantes, même à faibles doses, peuvent nuire à la fertilité masculine en altérant la qualité du sperme, notamment sa concentration, sa mobilité et sa forme. Ces effets nocifs sont dus aux dommages causés aux cellules germinales, en particulier à leur ADN, par les radiations. Il est important de surveiller de près les personnes exposées et de prendre des mesures préventives pour limiter cette exposition. En résumé, protéger contre les radiations environnementales est crucial pour préserver la santé reproductive masculine et éviter des risques à long terme pour la fertilité.</p>
15	<p>Les ovaires sont sensibles aux radiations, entraînant une diminution rapide des ovocytes, surtout chez les jeunes. Même de faibles doses de rayons X causent une perte importante d'ovocytes, avec une relation dose-survie exponentielle. L'impact des radiations varie selon l'âge, et la fertilité diminue avec la dose mais peut être compensée. L'irradiation ovarienne peut augmenter le risque de mutations génétiques et de tumeurs, surtout si elle a lieu peu avant l'ovulation.</p> <p>Effets sur l'humain :</p> <p>Chez la femme, la réserve ovarienne est fixée à la naissance et diminue naturellement avec l'âge. L'irradiation accélère cette déplétion, pouvant conduire à une ménopause précoce ou à l'infertilité selon la dose reçue.</p>	<p>Les ovaires sont sensibles aux radiations, en particulier lorsqu'ils sont immatures. La perte d'ovocytes est irréversible, mais la fertilité fonctionnelle peut persister grâce à une utilisation efficace des ovocytes restants. Le risque génétique est plus élevé lors d'une exposition juste avant ou pendant la maturation des ovocytes. Il est crucial de protéger les ovaires lors d'expositions aux radiations, en particulier chez les jeunes filles et les femmes en âge de procréer</p>





République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université de Blida-1



Faculté des Sciences de la Nature et de la vie

Département de biologie

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : Biologie et physiologie de la reproduction

Thème :

Les radiations et leur impact sur la reproduction : étude analytique

Présenté par :

**Ait Hamadouche Meriem**

Soutenu :

**16 juillet 2025**

Soutenu devant le jury:

Président : M Kalem.A MCA ISV/USDB1

Examinateuse : Mme. Tarzaali.D MCA USDB1

Encadreur : M.BESSAAD.A MCA USDB1

Année Académique : 2024/2025

*avis favorable*  
*TARZAAALI D.*  
*(en 3 coul)*  
*07/10/2025*