

SESSION 2026

---

**AGRÉGATION EXTERNE**  
Concours spécial docteur

Section

**SCIENCES DE LA VIE, SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**Étude de dossier scientifique**

*Le candidat est conduit à analyser et à présenter un dossier scientifique, fourni par le jury, tant dans sa dimension scientifique (intérêts, résultats obtenus) que dans ses dimensions éducatives, professionnelles ou citoyennes.*

*Le dossier peut contenir des données scientifiques (et/ ou technologiques) en langue anglaise.*

Durée : 4 heures

---

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout autre dictionnaire et de tout matériel électronique (y compris la calculatrice) est rigoureusement interdit.

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

**NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.**

**Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.**

**Tournez la page S.V.P.**

**INFORMATION AUX CANDIDATS**

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie. Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

**AGRÉGATION SPÉCIAL DOCTEUR**  
**Sciences de la vie, de la terre et de l'univers**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAD	1600D	102	8085





## **Le Cadmium : Perturbation Anthropique et Reprotoxicité**

Le sujet comprend 3 parties indépendantes que vous traiterez successivement.

Vous indiquerez clairement sur votre copie chacune des parties.

## Partie 1 : Introduction

En vous basant sur les 2 documents suivants et sur vos connaissances, vous construirez un schéma montrant la ou les relations entre le cadmium présent dans l'environnement, son assimilation par les animaux et ses implications pour l'être humain. Ce schéma sera adapté à des élèves de lycée et accompagné d'un texte concis en français servant de légende au schéma.

<b>World Health Organization (WHO) cadmium guidelines</b>
<p><b>Provisional tolerable monthly intake</b></p> <p>The Joint Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) established a provisional tolerable monthly intake for cadmium in 2010 of 25 µg/kg body weight, based on meta-analysis of epidemiological studies on the relationship between urinary cadmium and beta-2-microglobulin (a marker of renal tubular effects). In light of the long half-life of cadmium in humans, the Committee decided to express the tolerable intake as a monthly value.<sup>7</sup></p>
<p><b>Drinking-water</b></p> <p>The guideline for cadmium in drinking-water is 3 µg/L.<sup>13,16</sup></p>
<p><b>Air</b></p> <p>The guideline for cadmium in air is 5 ng/m<sup>3</sup> (annual average).<sup>8</sup></p>

Source : World Health Organization, *Exposure to cadmium: a major public health concern*, 1 May 2019, WHO REFERENCE NUMBER: WHO/CED/PHE/EPE/19.4

**Geometric mean concentrations of cadmium in selected tissues of marine animals. Data are from Neff (1997a). Concentrations are µg/g dry wt.**

<b>Taxon</b>	<b>Tissue</b>	<b>No. of Samples</b>	<b>Geometric Mean Concentration</b>
Lobsters	Muscle	9	0.36
Crabs	Digestive Gland	6	27.28
	Muscle	15	0.17
Fish	Digestive Gland	7	4.36
	Muscle	128	0.10
Marine Birds	Liver	16	2.60
	Muscle	2	0.44
	Liver	10	3.17
Marine Mammals	Kidney	10	16.85
	Muscle	22	0.33
	Blubber	7	0.46
	Liver	43	3.26
	Kidney	32	8.23

### Précisions :

La concentration en cadmium (Cd) dans l'océan est de 0.07 µg/l.

La « Geometric Mean Concentration » est une méthode mathématique réduisant l'influence des valeurs extrêmes (hautes et basses) dans le calcul de la moyenne.

Liver = foie ; kidney = rein ; blubber = graisse

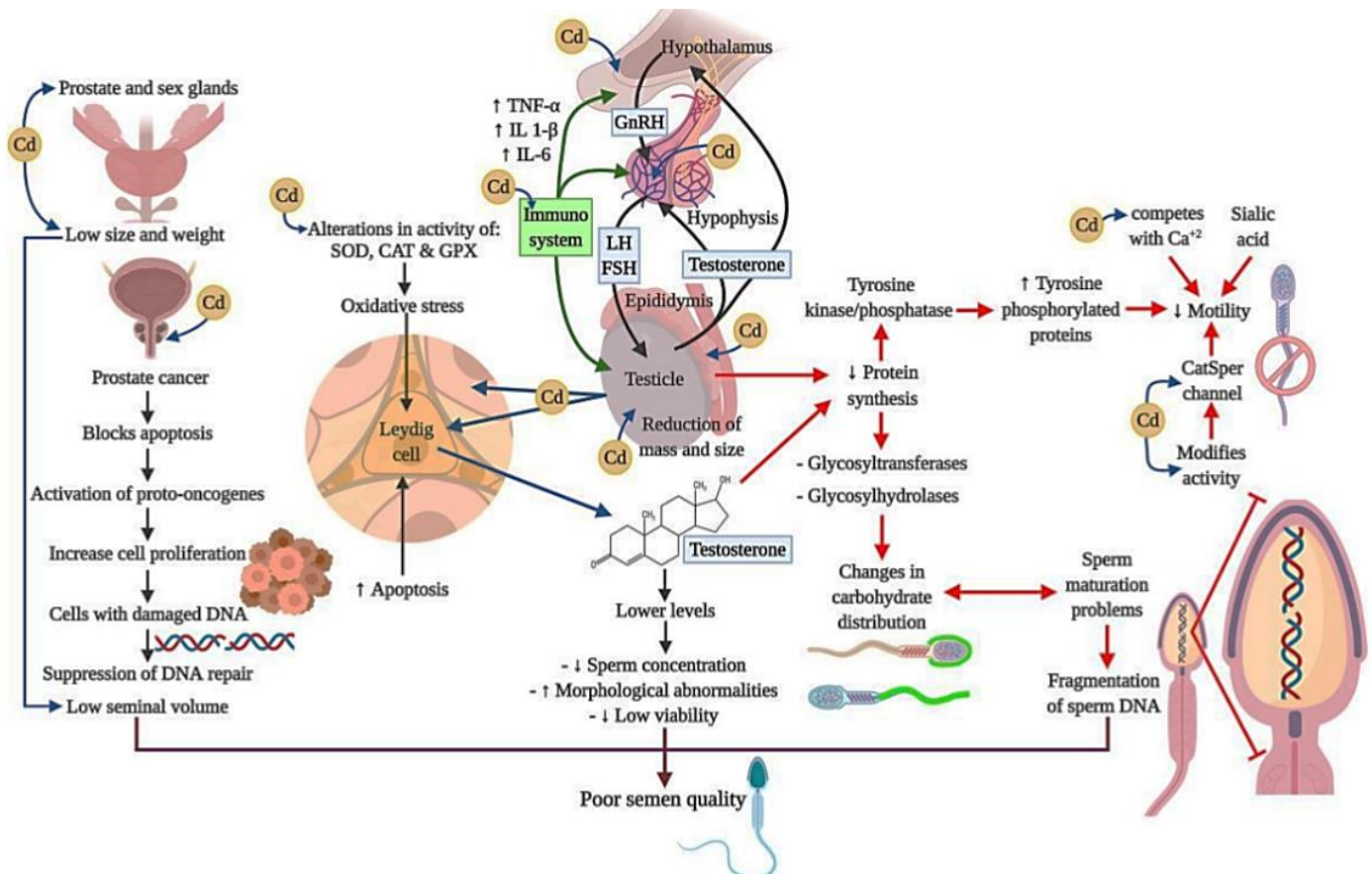
Source : *Cadmium in the Ocean*, J.M., Neff, December 2002, DOI:10.1016/B978-008043716-3/50006-3 In book: *Bioaccumulation in Marine Organisms* (pp.89-102);

## Partie 2 : L'axe gonadotrope mâle et ses perturbations par le Cadmium

Vous présenterez l'organisation fonctionnelle de l'axe gonadotrope mâle des Mammifères en lien avec la production de gamètes et les fonctions de reproduction afin d'identifier les niveaux de perturbation provenant de substances présentes dans l'environnement.

Puis, à partir de vos connaissances et de l'exploitation rigoureuse de tous les documents, vous produirez un texte raisonné et argumenté pour montrer comment le cadmium peut interférer avec le contrôle de l'axe gonadotrope mâle. Le numéro du document exploité sera précisément indiqué à chaque fois qu'il y sera fait référence.

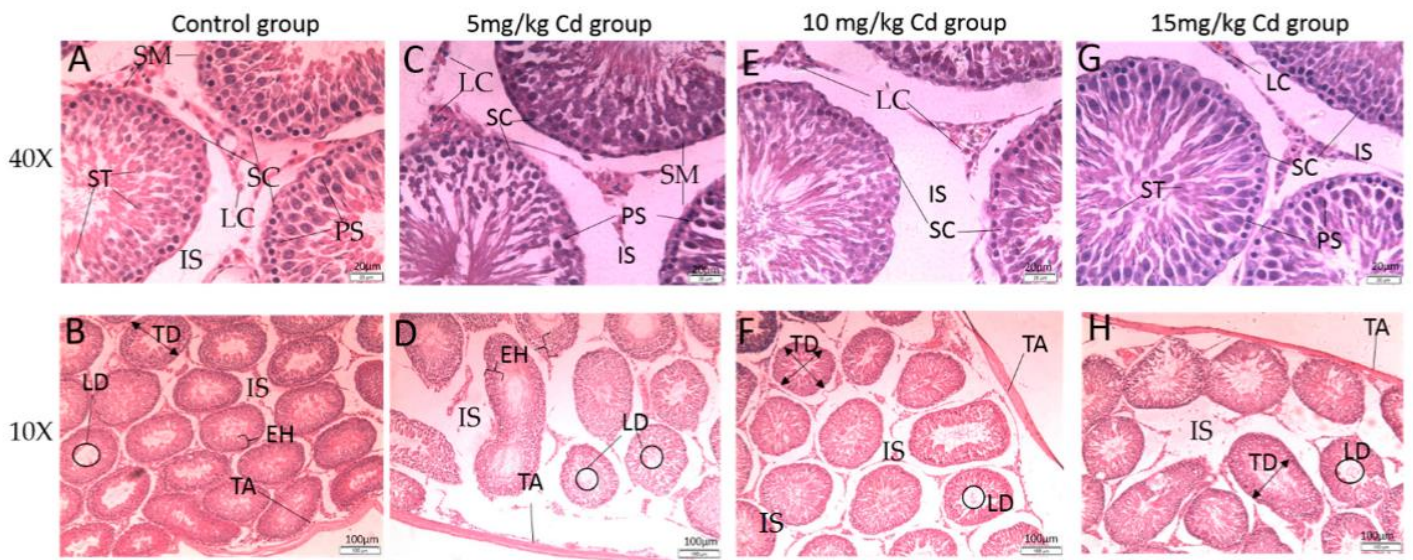
### Document 1 : Neuroendocrine effects of cadmium exposure



Cadmium alters the oxidative stress, the signaling pathways, and interrupts neuroendocrine processes. These actions cause serious damages in male reproductive organs such as the prostate, the testis and the epididymis, and prevents processes like steroidogenesis, spermatogenesis, and epididymal maturation. Besides, Cadmium can induce adverse effects in immune system through the cytokines. All these alterations may compromise the reproductive capacity.

### Document 2 : Effets de l'exposition au cadmium sur le fonctionnement testiculaire

Pendant 17 jours, 24 rats mâles adultes sont gavés avec 1,5 mL de solution saline (control) ou une solution contenant 5, 10, ou 15 mg de cadmium par kg de poids corporel par jour. Après 17 jours, les rats sont euthanasiés et leurs testicules prélevés. Des coupes de 5µm d'épaisseur sont réalisées et colorées à l'hématoxyline-éosine (Fig2-A). Les paramètres suivants sont quantifiés : l'espace entre les tubes séminifères (IS), l'épaisseur de l'albuginée (TA), le diamètre des tubes séminifères (TD), l'épaisseur de l'épithélium du tube séminifère (EH) et le diamètre de la lumière du tube séminifère (TD).



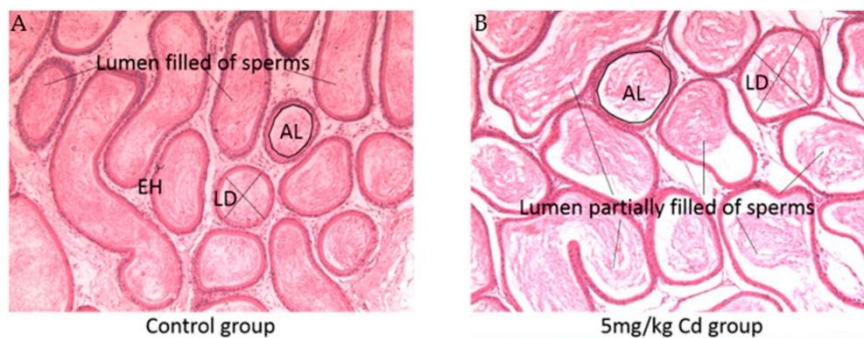
LC: Leydig cells, SM; smooth muscle, ST: spermatids, PS: primary spermatocytes, SC: Sertoli cells,

Groups	Interstitial Space	Thickness of the Tunica Albuginea ( $\mu\text{m}$ )	Diameter of the Seminiferous Tubules ( $\mu\text{m}$ )	Height of the Epithelium ( $\mu\text{m}$ )	Diameter of the Tubular Lumen ( $\mu\text{m}$ )
Control	63.58 $\pm$ 4.61	36.45 $\pm$ 1.5	235.34 $\pm$ 5.95	70.98 $\pm$ 2.02	92.51 $\pm$ 3.50
5 mg/kg	60.45 $\pm$ 4.54	33.33 $\pm$ 1.53	244.04 $\pm$ 4.73	76.13 $\pm$ 2.71	95.30 $\pm$ 5.81
10 mg/kg	23.96 $\pm$ 2.67 <sup>a***, b***</sup>	23.26 $\pm$ 0.67 <sup>a***, b***</sup>	273.6 $\pm$ 7.17 <sup>a***, b***</sup>	89.72 $\pm$ 3.53 <sup>a***, b**</sup>	90.59 $\pm$ 3.33
15 mg/kg	24.58 $\pm$ 2.84 <sup>a***, b***</sup>	36.23 $\pm$ 3.2 <sup>c***</sup>	258.14 $\pm$ 7.67	92.58 $\pm$ 3.08 <sup>a***, b**</sup>	53.02 $\pm$ 2.44 <sup>a***, b***, c***</sup>

All values are expressed as mean  $\pm$  SEM (<sup>a</sup> = comparison to control, <sup>b</sup> = comparison to 5 mg/kg group, <sup>c</sup> = comparison to 10 mg/kg group. Probability: \*\* =  $p < 0.01$  and \*\*\* =  $p < 0.001$ )

**Fig. 2-A.** coupes de testicules colorées à l'hématoxyline-éosine chez des rats ayant reçu une solution saline (control), 5 (5mg/kg Cd) 10 (10mg/kg Cd), ou 15 (15mg/kg Cd) mg de cadmium par kg de poids corporel par jour et quantifications de paramètres histologiques associées.

Les épидидymes sont également prélevés. Des coupes de 5 $\mu\text{m}$  d'épaisseur sont réalisées et colorées à l'hématoxyline-éosine (**Fig2-B**).



**Fig. 2-B.** coupes d'épididyme colorées à l'hématoxyline-éosine chez des rats ayant reçu une solution saline (control) ou 5 (5mg/kg Cd) mg de cadmium par kg de poids corporel par jour. Des résultats similaires sont obtenus pour les doses 10 et 15 mg/kg.

En parallèle de cette étude, une autre cohorte de rats reçoit soit une solution saline, soit une solution de cadmium à 22mg/kg de poids corporel pendant 9 semaines. Après euthanasie, leur épидидyme est prélevé et son contenu en spermatozoïdes est analysé conjointement à la concentration plasmatique en testostérone. Le taux de survie des spermatozoïdes est déterminé une heure après le prélèvement (**Fig2-C**).

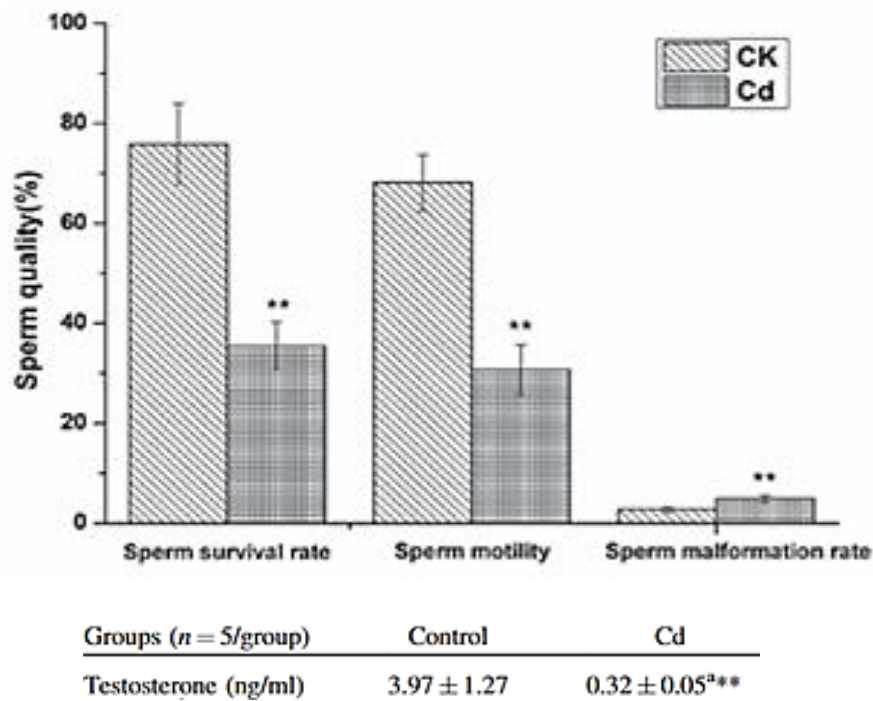


Fig. 2-C. Concentration plasmatique en testostérone et taux de survie des spermatozoïdes, pourcentage de spermatozoïdes motiles et taux de spermatozoïdes avec malformations dans l'épididyme de rats traités avec une solution saline (CK ou Control) ou avec une solution contenant du cadmium (Cd).

**Document 3 : Effets de l'exposition au cadmium sur les cellules de Sertoli in vitro**

Des cellules de Sertoli sont purifiées et incubées avec des solutions contenant 0 (groupe A), 10µM (groupe B), 20µM (groupe C), 40µM (groupe D) ou 80 µM (groupe E) de cadmium. Après lyse des cellules, on réalise des RT-PCR détectant l'ARNm de la transferrine, indicateur fonctionnel des cellules de Sertoli et détectant l'ARNm de l'androgen binding protein. Cette protéine est sécrétée par les cellules de Sertoli sous influence de la FSH. Elle permet notamment la concentration de la testostérone et de la dihydrotestostérone dans le tube séminifère. (Fig3-A)

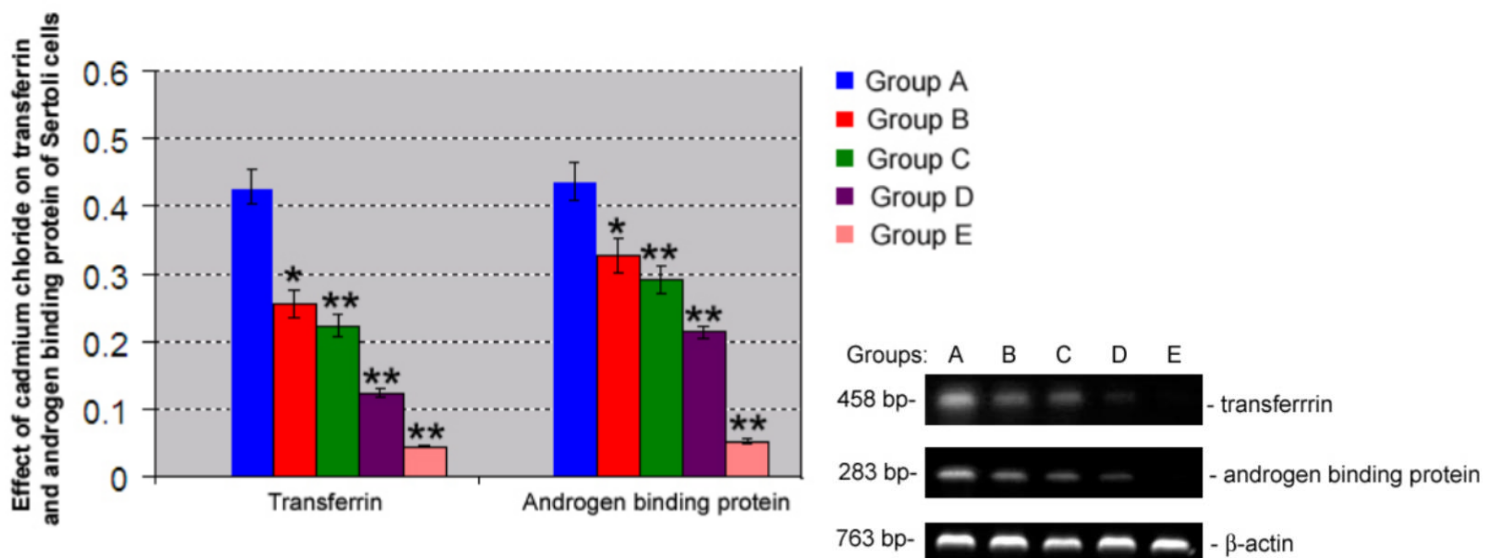
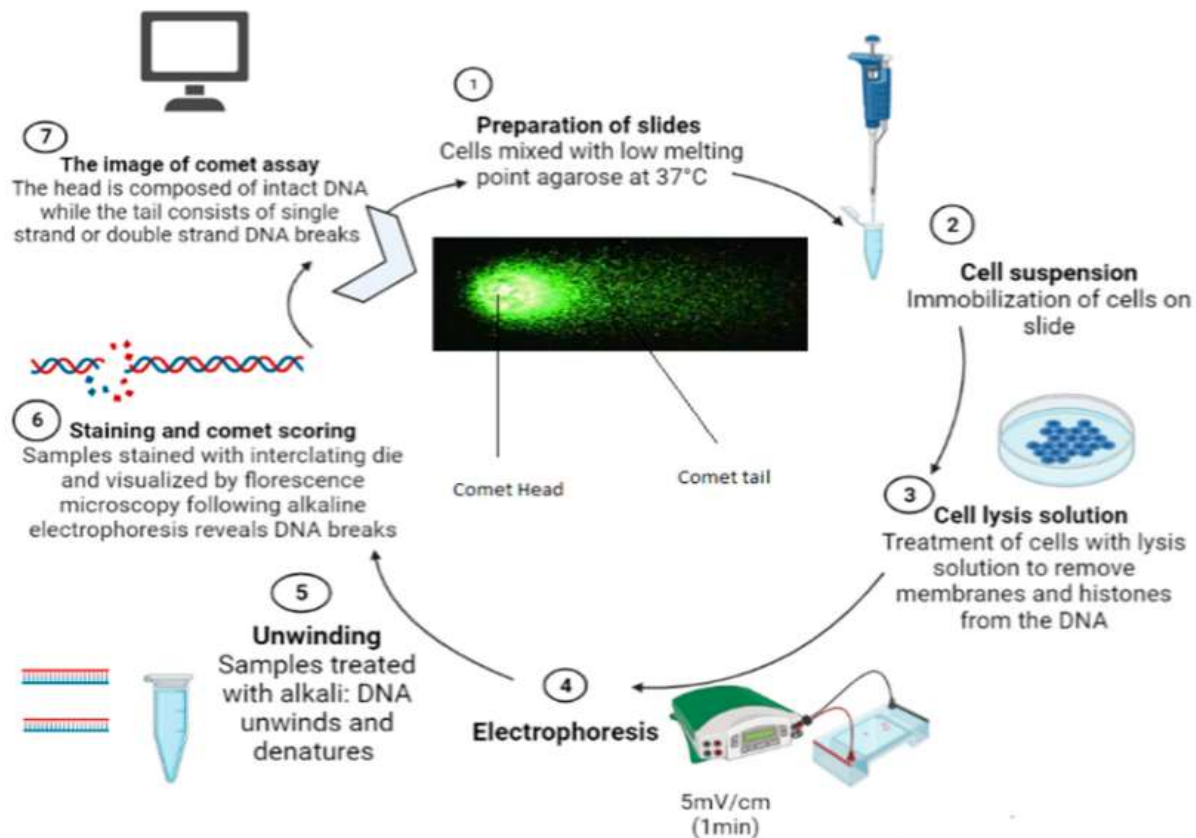


Fig. 3-A. Résultats de la RT-PCR détectant la transferrine et l'androgen binding protein et quantifications associées pour des cellules de Sertoli traitées avec 0 (groupe A) 10µM (groupe B), 20µM (groupe C), 40µM (groupe D) ou 80 µM (groupe E) de cadmium. Compared to control group A, "\*" indicated significant difference (p < 0.05), "\*\*\*" indicated extremely significant difference (p < 0.01)

Les cellules de Sertoli du groupe A et du groupe B sont étalées sur une lame recouverte d'agarose. Elles sont incubées avec un tampon de lyse contenant des protéases et des lipases. Après plusieurs rinçages, les lames sont placées dans un appareil à électrophorèse. À l'issue de l'électrophorèse, un agent intercalant de l'ADN fluorescent en rouge est ajouté et la lame est observée au microscope à fluorescence. Ce test nommé Comet assay permet de mettre en évidence les fragmentations de l'ADN (**Fig3-B**). Les résultats obtenus sont présentés **Fig3-C**.



**Fig. 3-B.** Principe expérimental du « comet assay »



**Fig. 3-C.** Comet assay réalisé sur des cellules de Sertoli traitées avec 0 (groupe A) ou avec 10μM (groupe B) de cadmium. Observation représentative. Les résultats quantifiés indiquent une différence significative. Scale bars in A and B = 10 μm. La disposition des bornes lors de l'électrophorèse sont représentées par les symboles + et -.

### Sources :

- Neuroendocrine effects of cadmium exposure on male reproductive functions. Marcela Arteaga-Silva et al., 2021.
- Effects of paternal cadmium exposure on the sperm quality of male rats and the neurobehavioral system of their offspring. Xiaoguo Zhao et al., 2015.
- Comparative analysis of antioxidants against cadmium induced reproductive toxicity in adult male rats. Sarwat Jahan et al., 2014.
- Damage to the testicular structure of rats by acute oral exposure of cadmium. Tariq Iqbal et al., 2021.
- Cadmium suppresses the proliferation of piglet Sertoli cells and causes their DNA damage, cell apoptosis and aberrant ultrastructure. Ming Zhang et al., 2010.
- An Overview of Comet Assay Application for Detecting DNA Damage in Aquatic Animals. Xuan Lu et al., 2021.

### Partie 3 : Le cycle naturel du Cadmium et ses perturbations anthropiques

Vous présenterez, à travers l'exemple de la Seine, le cycle naturel du Cadmium et les perturbations de ce cycle par les activités humaines à travers des valeurs quantifiées. Vous expliquerez également quelles sont les sources de Cadmium utilisées par l'Homme à l'origine des perturbations du cycle naturel.

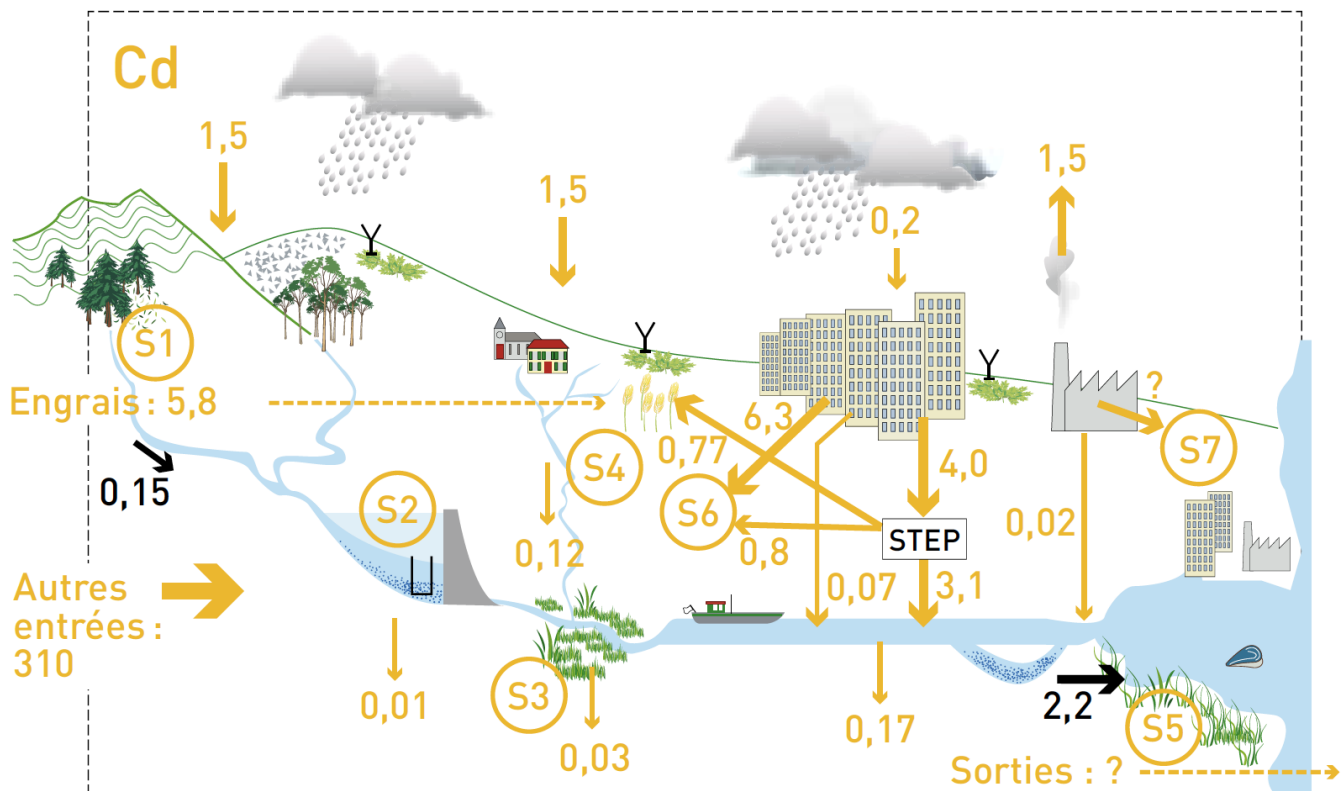
En vous basant sur les 3 documents fournis et sur vos connaissances, vous construirez un texte raisonné et argumenté. Il comprendra obligatoirement :

- une exploitation de tous les documents afin de compléter vos connaissances par des données et des informations précises. Le numéro du document exploité sera précisément indiqué à chaque fois qu'il y sera fait référence.
- un schéma expliquant la formation des phosphorites du Maroc et la concentration du cadmium (Cd) dans ces roches.

#### Document 1 : le cycle du cadmium dans le bassin de la Seine

Doc 1.1 : les flux de Cadmium dans le bassin de la Seine

S1 : sols forestiers, S2 : réservoirs d'eau artificiels, S3 : plaine alluviale, S4 : sols cultivés, S5 : estuaire, S6 : déchets urbains, S7 : déchets industriels. Flux en tonnes/an (valeurs estimées sur les années 1994-2003). STEP : station d'épuration des eaux usées.



Source : Les métaux dans le bassin de la Seine - Comprendre d'où proviennent et comment circulent les métaux dans un bassin versant fortement exposé aux pressions humaines. Daniel R. Thevenot, Laurence Lestel, Marie-Hélène Tusseau-Vuillemin, Jean-Louis Gonzales, Michel Meybeck. Agence de l'Eau Seine-Normandie, 7, pp.60, 2009, Collection du programme PIREN-Seine, Jean-Marie Mouchel; Gilles Billen, 978-2-918251-06-4. hal-01087744

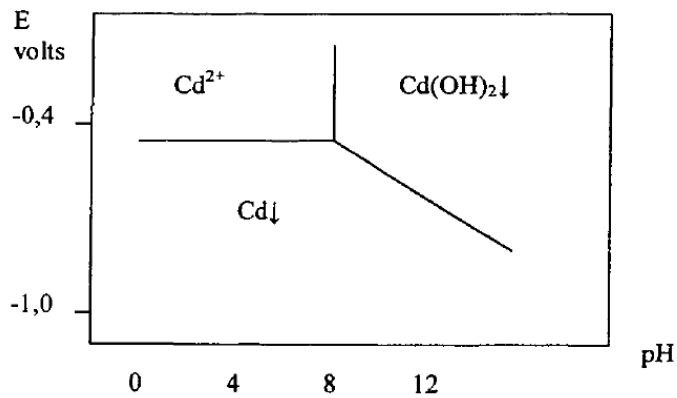
Document 1.2 : détails des flux des différents éléments métalliques dans le bassin de la Seine en amont du barrage de Poses. **Attention seule l'étude du Cadmium (Cd positionné dans la 2ème colonne) est attendue.**

Poses est un village situé sur la Seine, à mi-chemin entre Paris (200km) et l'estuaire de la Seine (200km). Le débit annuel de la Seine au niveau de Poses est de  $1.3 \cdot 10^{13}$  litres/an.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>A. Apports au bassin versant</b>								
<b>A.1 Apports aux sols</b>								
Dépôts atmosphériques		3,2	9,9	316	0,75	45,6	205	1109
Engrais		5,8	29	7,2		7,2	1,4	29
Epandage de boues de station d'épuration d'eaux usées		0,35	5,1	31		2,0	15	83
<i>Sous-total des apports aux sols</i>	<i>n.d.</i>	<i>9,3</i>	<i>44</i>	<i>355</i>	<i>n.d.</i>	<i>54,7</i>	<i>221</i>	<i>1221</i>
<b>A.2 Stockage et mise en décharge</b>								
Matériaux de dragage fluvial		0,17	4,7	3,1	0,04		4,3	14
Mise en décharge de boues de station d'épuration d'eaux usées		0,77		69			33	183
Mise en décharge de sables de réseau d'assainissement	0,7	0,19	4,0	26,3	0,44	2,6	62	163
Mise en décharge d'ordures domestiques	7,6	6,1	278	1589	4,55	72,8	1206	1517
<i>Sous-total de stockage et mise en décharge</i>	<i>8,3</i>	<i>7,2</i>	<i>286</i>	<i>1688</i>	<i>5,03</i>	<i>75</i>	<i>1305</i>	<i>1876</i>
<i>Sous-total des apports au bassin versant (A.1 + A.2)</i>	<i>n.d.</i>	<i>16,5</i>	<i>n.d.</i>	<i>2042</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>1527</i>	<i>3097</i>
<b>B. Apports directs en rivière</b>								
<b>B.1 Apports généraux</b>								
Erosion naturelle	<i>n.d.</i>	0,15	10,0	10,5	0,02	18,9	14	42
<b>B.2 Fuites anthropiques</b>								
Rejets des zones rurales		0,12		3	0,02		2,1	5
Eau usée rejetée après traitement		3,1		39			38	134
Rejets des déversoirs d'orage		0,07		10			10	77
Rejets industriels directs en rivière	0,2	0,02	5,6	4	0,02	3,2	1,1	35
<i>Sous-total des fuites anthropiques</i>	<i>n.d.</i>	<i>3,3</i>	<i>n.d.</i>	<i>56</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>51</i>	<i>250</i>
<i>Sous-total de l'érosion et des fuites (B.1 + B.2)</i>	<i>n.d.</i>	<i>3,4</i>	<i>n.d.</i>	<i>66</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>65</i>	<i>292</i>
<b>C. Rétentions associées à la rivière</b>								
Réservoirs (S2)		0,01	2,3	1,2	0,0045		0,63	0,7
Plaine fluviale (S3)		0,03	3,2	1,70	0,013		1,3	2,5
Dragage fluvial		0,17	4,7	3,1	0,040		4,3	14,0
<i>Sous-total de rétention fluviale</i>	<i>n.d.</i>	<i>0,21</i>	<i>10,2</i>	<i>5,9</i>	<i>0,057</i>	<i>n.d.</i>	<i>6,2</i>	<i>17,2</i>
<b>D. Sortie à l'embouchure (Poses)</b>								
Métaux fixés sur des particules		1,8	87	84	1,25		88	315
Métaux dissous		0,4	17	25	0,12		9	135
Sortie totale	<i>n.d.</i>	<i>2,2</i>	<i>104</i>	<i>109</i>	<i>1,37</i>	<i>n.d.</i>	<i>96</i>	<i>450</i>
<i>Sortie - rétention - érosion / apports directs en rivière [(D - C - B.1) / B.2] (%)</i>	<i>n.d.</i>	<i>56%</i>	<i>n.d.</i>	<i>166%</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>150%</i>	<i>156%</i>
<i>Sortie - rétention - érosion / apports au bassin et en rivière [(D - C - B.1) / (A + B.2)] (%)</i>	<i>n.d.</i>	<i>9%</i>	<i>n.d.</i>	<i>4%</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>5%</i>	<i>12%</i>

Tableau 4 : Flux métalliques annuels sur le bassin de la Seine à l'amont de Poses (moyenne 1994-2003) : incertitudes probablement supérieures à 20% (t/an). n.d. : valeur non disponible.

**Document 2 : le comportement du Cadmium dans l'environnement**



Formes du Cadmium (Cd) en fonction du pH et des potentiels redox (les valeurs négatives indiquent un pouvoir réducteur croissant du couple  $\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}$  (Oxydant/Réducteur). Dans l'océan (pH = 8.2), le cadmium dissous ( $\text{Cd}^{2+}$ ) possède une concentration 0.07  $\mu\text{g/l}$ . Dans les zones côtières (apports fluviaux) et en mer Méditerranée dans les zones d'upwelling (c'est à dire des lieux de remontées d'eau profonde), ces concentrations augmentent fortement : 0.2 à 1 et 10  $\mu\text{g/l}$  respectivement.

Source : Émilie Gérard. *Caractérisation du cadmium phytodisponible des sols par méthodes isotopiques. Sciences agricoles. Institut National Polytechnique de Lorraine, 2000*

### Document 3 : les sources géologiques de Cadmium

Document 3.1 : Les relations entre la teneur en cadmium du sol et la nature du sol

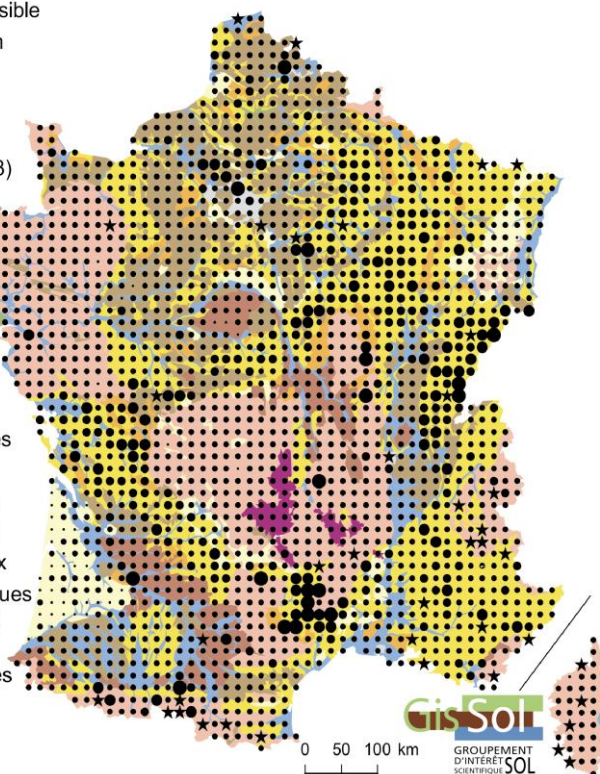
Les teneurs en cadmium total des horizons de surface (0-30 cm) des sols de France

Teneur en cadmium total  
en  $\text{mg.kg}^{-1}$

- ★ prélèvement impossible
- < seuil de détection
- 0,02 - 0,50
- 0,50 - 1,00
- 1,00 - 2,00
- > 2,00 - (max : 5,53)

Matériaux parentaux

- Pas d'information
- Dépôts alluviaux, marins ou glaciaires
- Roches calcaires
- Matériaux argileux
- Matériaux sableux
- Matériaux limoneux
- Formations détritiques
- Roches cristallines et migmatites
- Roches volcaniques
- Autres roches



Source : Gis Sol, RMQS, 2011 ; Inra, BDGSF, 1998.

Document 3.2 : Contenu en Cadmium dans les principaux gisements de phosphorites. Le phosphate des phosphorites est principalement utilisé pour la fabrication des engrais (source Sheldon 1987, FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations)

Cd content and dominant minerals in different phosphate rocks.

	Cd content ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Intensity of peak at $2\theta : 29^\circ$ (CPS)	Dominant minerals
PR1 (Wyoming USA)	1.45	176	Fluoapatite
PR2 (Florida USA)	3.31	193	Hydroxyapatite
PR3 (Idaho USA)	199	1521	Hydroxyapatite, carbonate fluorapatite
PR4 (Morocco)	507	2858	Carbonate fluorapatite
PR5 (Sludanka Russia)	0.15	136	Hydroxyapatite
PR6 (Okinawa Japan)	29.5	358	(Hydroxyapatite)

(« intensity of Peak at  $2\theta$  » est en relation avec la caractérisation de la matière (angle de diffraction) permettant de caractériser les formes minérales, le détail de la méthode n'est pas attendu).

Source : SS Mar et M. Okazaki. Investigation of Cd contents in several phosphate rocks used for the production of fertilizer, 2012, DOI:10.1016/j.microc.2012.03.020

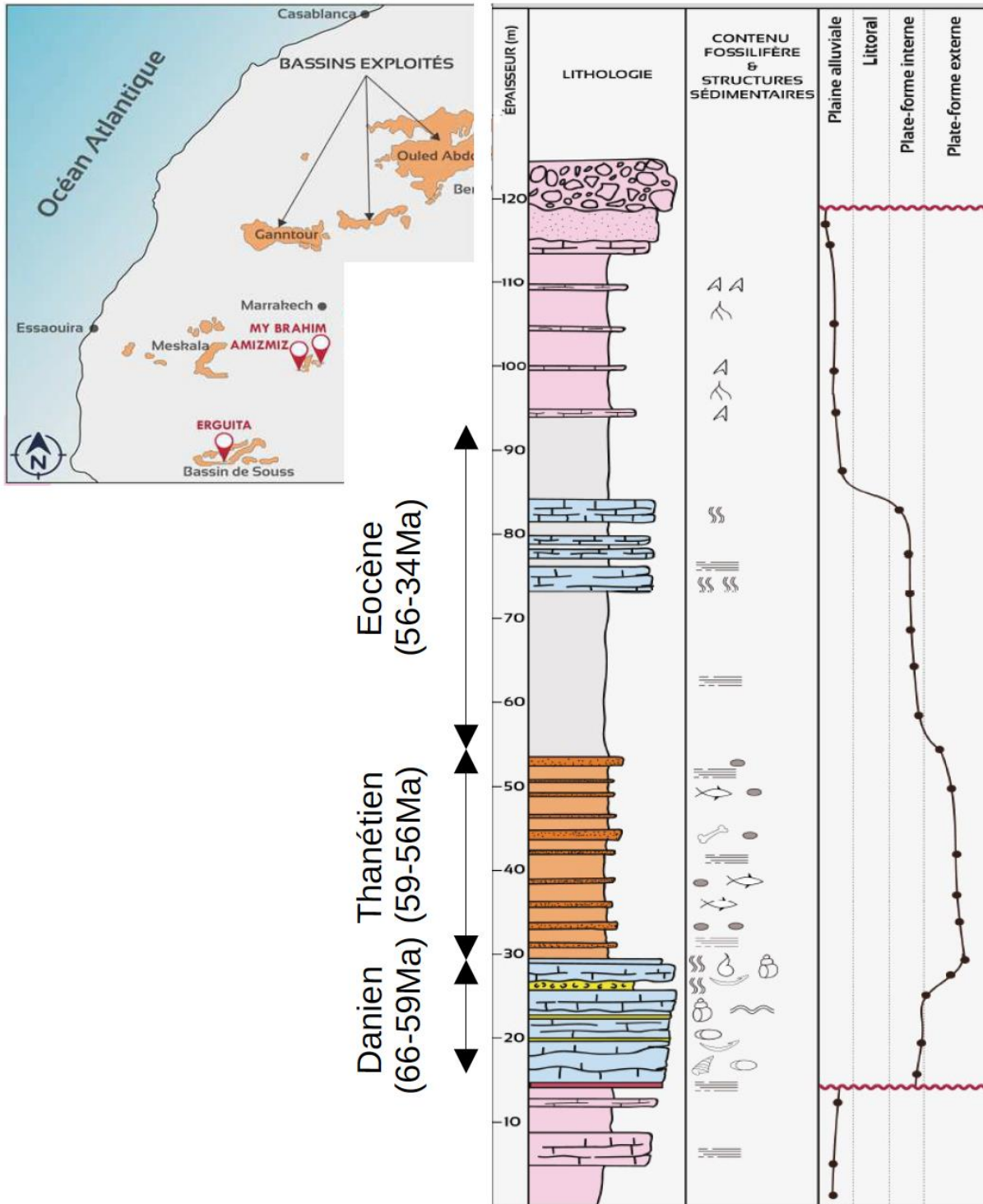
Document 3.3 : Les phosphorites marocaines et leur environnement de formation

Lithofaciès phosphatés formés in-situ (Maroc, affleurement dans la zone d'Amizmiz). (A1) Marnes phosphatées primaires finement laminées. (A2) Marno-calcaire contenant des péloïdes phosphatés primaires  
MP : marnes phosphatées pp : péloïde



Source : Radouan El Bamiki. *Étude géologique des occurrences phosphatées du Haut-Atlas Marocain : Compréhension des contrôles géologiques sur l'accumulation du phosphate.* Université Montpellier; Université Cadi Ayyad (Marrakech, Maroc), 2020. Français. NNT : 2020MONTG075. Tel-03341306

Log stratigraphique, environnement de dépôt et association de faciès de la série phosphatée d'Amizmiz.

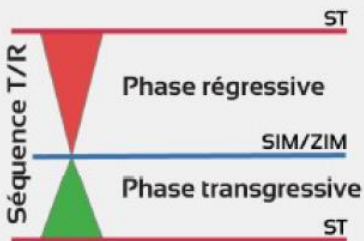


# LÉGENDE

## Groupes lithologiques :

Domaine continental		Conglomerat
		Grès
		Paléosol
		Argile rouge
		Carbonate lacustre
Domaine marin		Calcaire
		Lumachelle
		Calcarénite
		Calcaire dolomitique
		Marne
Phosphate		Phosphate primaire (pristine)
		Phosphate vanné (granulaire)
		Lags phosphatés
		Phosphate dans les karsts
		Phosphate turbiditique

## Séquences :



## Fossiles :

	Charophytes
	Bivalves
	Turritelles
	Cardita
	Thersiteidae
	Echinoïde
	Nautiloïde
	Matériel fossilifère indifférencié
	Foraminifère
	Foraminifère benthique
	Porites
	Vértebrés
	Dents
	Restes de poissons
	Racines
	Ostracodes
	Annélides
<b>Bioturbation :</b>	
	Modérée
	Intense

## Structures sédimentaires :

	Laminations horizontales
	Rides de courant
	Stratifications obliques
	Rides de vagues
	Litage oblique en mamelons (HCS)

## Autres éléments :

	Gypse
	Ooïds
	Péloïdes
	Nodules & concrétions
	Perforation
	Karst
	Erosion

## Contacts lithologiques :

	net
	graduel
	érosionnel