

# **Olympiades de géosciences - 2016**

Académies de Guadeloupe et Martinique  
et AEFÉ

Épreuve écrite du 13 avril 2016

Durée de l'épreuve : 4h

Le sujet se compose de trois exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

La calculatrice est autorisée.

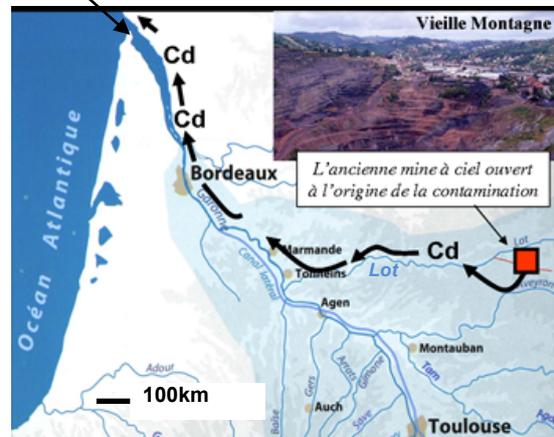
# Exercice 1 - L'estuaire de la Gironde pollué aux métaux lourds

La découverte par l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) de concentrations très élevées de cadmium (Cd), un élément chimique classé parmi les métaux lourds, a entraîné, en 1996, l'interdiction de toute production ou tout ramassage de coquillages sur les rives de la Gironde.

Cette pollution avait pour origine des déchets produits par l'activité d'une entreprise située dans l'Aveyron, à environ 400 km de l'estuaire de la Gironde.

En juillet 2014, le préfet a signé l'autorisation de commercialisation d'une huître affinée dans les marais du Médoc, situés le long de l'estuaire de la Gironde

Estuaire de la Gironde



(image : [http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=eq\\_ea\\_flash03](http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=eq_ea_flash03))

## Questions :

**Vous vous demandez comment un tel site minier a pu engendrer une pollution si importante des cours d'eau et en particulier du Lot.**

**Vous voulez également savoir si l'évolution récente de la situation dans l'estuaire de la Gironde signifie qu'aucune pollution au cadmium à partir du Lot ne peut désormais se reproduire. Partez à la pêche aux informations pour répondre à ce double questionnement !**

## Document 1 : le site industriel de Viviez 1a : l'histoire d'un site

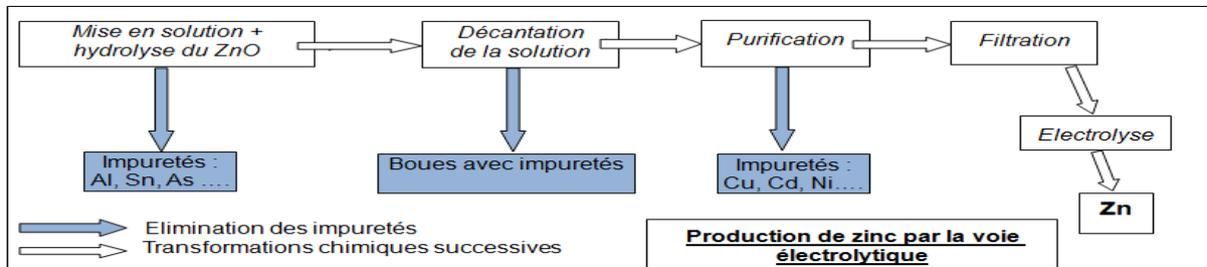
L'« usine de Viviez », située dans l'Aveyron a été fondée en 1855. Entre 1855 et 1930, le zinc était produit par voie thermique. Puis, dès 1922, a débuté la production de zinc par voie électrolytique. Ces deux modes de production ont été à l'origine de déchets riches en cadmium. Durant la période d'exploitation minière, l'extraction de zinc a conduit indirectement à la production de 10 000 tonnes de cadmium. En 1987, le site a arrêté la production de zinc brut et des travaux de réhabilitation du site de Viviez ont débuté en 2002.



### 1b : quelques traitements métallurgiques du minerai de zinc

Les minerais exploités dans le sous-sol sont très généralement constitués d'un mélange d'oxydes ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ou de sulfures ( $\text{PbS}$ ,  $\text{ZnS}$ ). Ils constituent la matière première à partir de laquelle il est possible d'obtenir des éléments chimiques très concentrés et donc utilisables dans différents secteurs industriels.

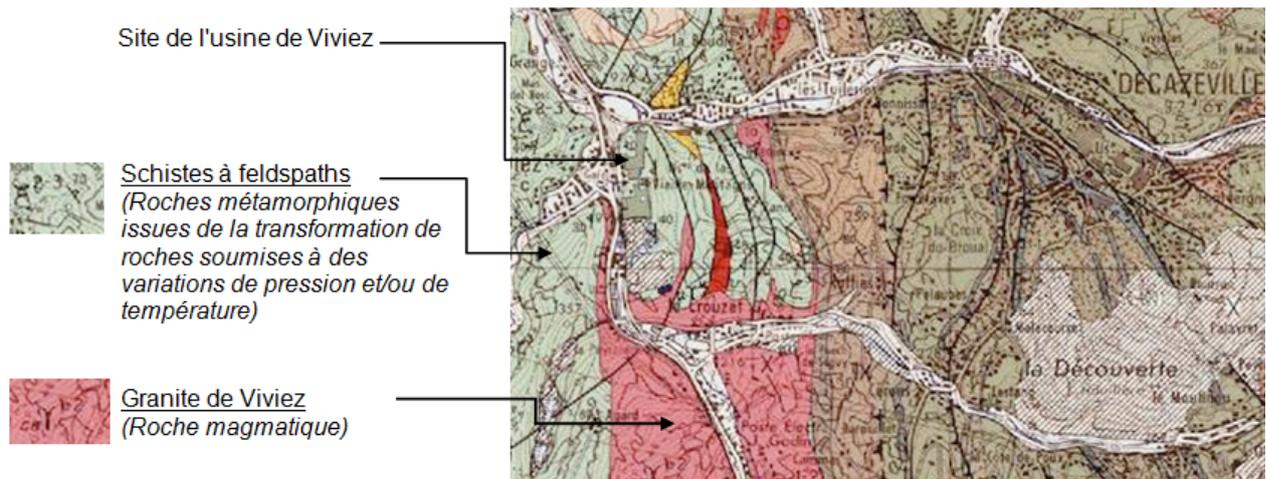
Le schéma ci-dessous présente de manière simplifiée certains traitements permettant de purifier et concentrer le zinc.



### Document 2 : contexte géologique local

L'usine est située sur la bordure occidentale du bassin de Decazeville qui appartient à un bassin d'effondrement d'une vingtaine de km de long et d'environ 8 km de large. Ce bassin se caractérise par des dépôts sédimentaires datés de la fin de l'ère Primaire

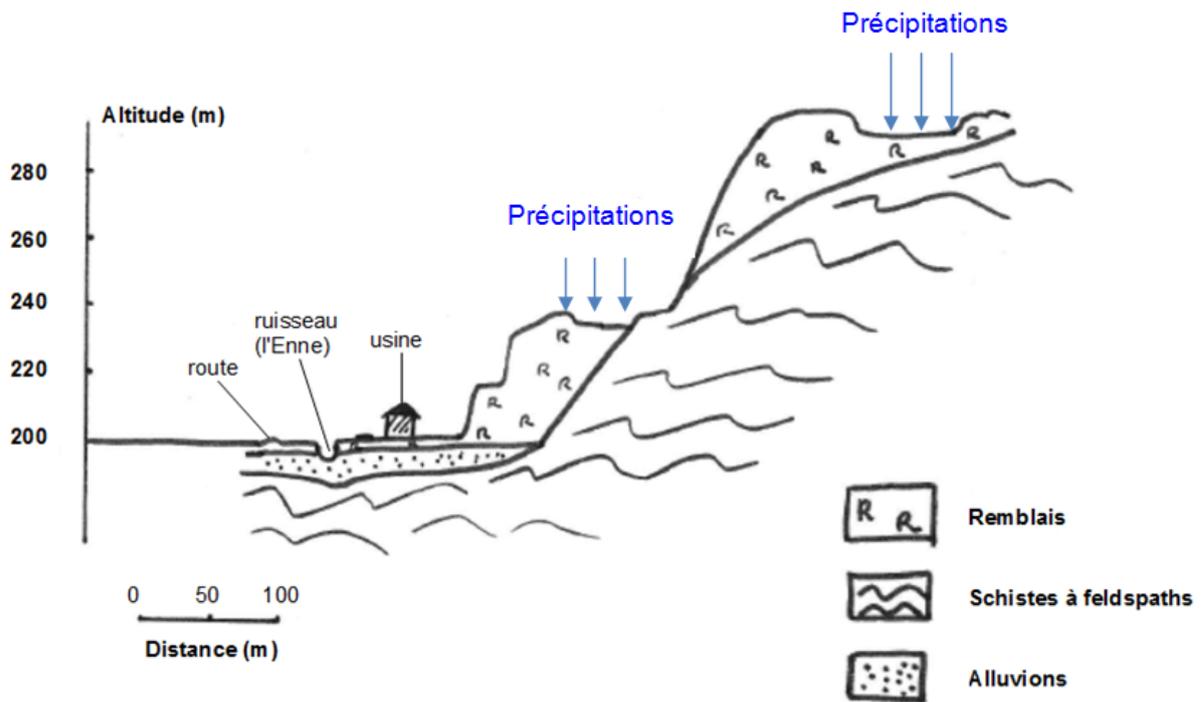
Extrait de la carte géologique de Decazeville au 1/50 000 éditions du BRGM



### Document 3 : les crassiers du site de Viviez

Une fraction des résidus de l'activité de l'usine depuis 1871 a été stockée sous la forme d'accumulations de déchets appelés crassiers. Ces derniers ont été en partie utilisés pour former des remblais de plusieurs mètres de haut comme indiqué dans le schéma ci-dessous. Ces remblais reposent, d'une part, sur des schistes qui constituent les reliefs autour de l'usine et, d'autre part, sur les alluvions qui sont des dépôts de sédiments apportés par un cours d'eau (ici, il s'agit d'un ruisseau appelé l'Enne).

Coupe schématique au niveau des remblais du site de Viviez



(D'après <http://infoterre.brgm.fr/rapports/87-SGN-369-MPY.pdf>)

### Document 4 : quelques propriétés des roches vis à vis de l'eau

Les aquifères sont des formations géologiques qui permettent la circulation et le stockage des eaux souterraines. Ils se caractérisent par une forte, voire très forte, perméabilité. À l'opposé, certaines roches ne laissent pas l'eau circuler. Ces roches sont donc très peu perméables. Le tableau ci-dessous indique la perméabilité de différentes roches. Il exprime ainsi l'aptitude de ces roches à se laisser traverser par un fluide (liquide ou gaz). K correspond au coefficient de perméabilité ;

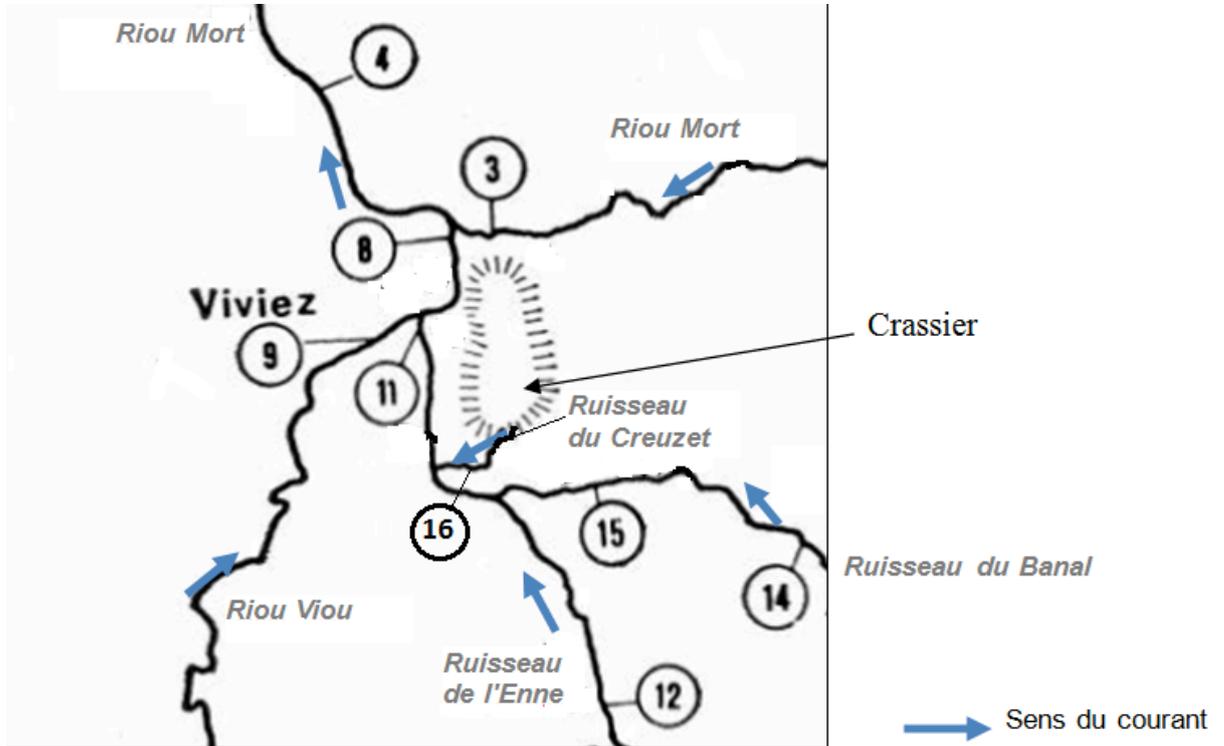
	Graviers	Alluvions	Calcaire	Granite	Argiles	Schistes
Perméabilité K en m.s <sup>-1</sup>	$1 > K > 10^{-2}$	$10^{-2} > K > 10^{-4}$	$10^{-2} > K > 10^{-6}$	$10^{-5} > K > 10^{-10}$	$10^{-7} > K > 10^{-10}$	$10^{-5} > K > 10^{-10}$
	Très forte perméabilité	forte perméabilité		Perméabilité faible		

Remarque : les remblais qui constituent les crassiers du site de Viviez présentent une forte perméabilité.

**Document 5 : qualité de l'eau autour du site de l'usine de Viviez**

**5a. Carte du réseau hydrographique local**

Le document ci-dessous présente les cours d'eau du bassin de Decazeville, ainsi que la localisation du crassier, c'est-à-dire d'une zone de stockage de déchets de l'usine. Les numéros correspondent à des sites d'analyse de la qualité de l'eau.



**5b. Mesures de la concentration en cadmium sur différents cours d'eau**

Des stations ont été choisies sur différents ruisseaux autour du site de l'usine de Viviez pour réaliser des mesures de concentration en cadmium (Cd), chaque mois entre avril et novembre 1978. Les mesures correspondent à des valeurs moyennes à partir des résultats de 8 prélèvements (les valeurs minimales et maximales sont indiquées entre parenthèses).

Cours d'eau	Riou-Mort		Riou-Viou		Ruisseau de l'Enne		Ruisseau du Creuzet
Station	3	4	8	9	11	12	16
Concentration de Cd (mg.L-1)	< 0.02	0.85 (0.57 – 1.24)	1.28 (0.78 – 2.14)	< 0.02	1.97 (0.96 – 2.73)	< 0.02	12.4 (4.2 – 32.8)

source : <http://www.limnology-journal.org/articles/limn/pdf/1978/01/limn1978141p113.pdf>

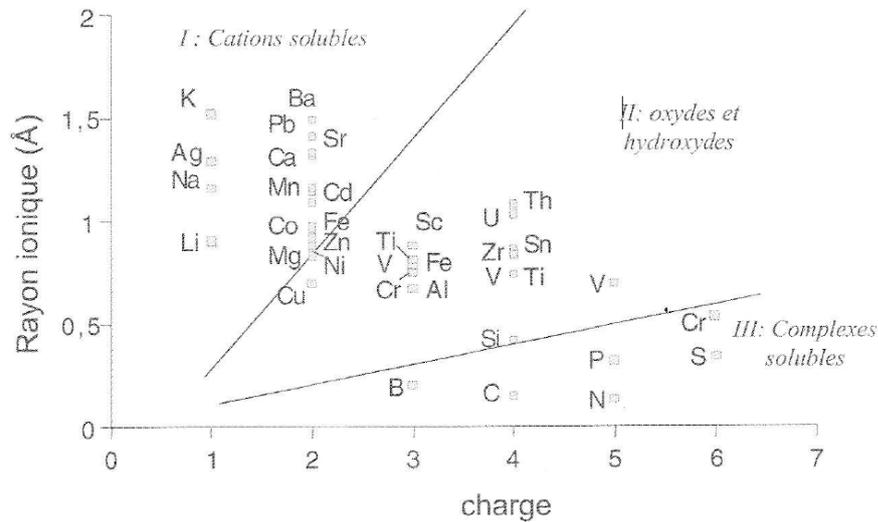
## Document 6 : le transport des éléments chimiques

Dans les roches perméables, l'eau peut circuler verticalement depuis la surface vers des couches plus profondes et participer ainsi au transport de certains éléments chimiques sous forme soluble. La solubilité des éléments chimiques varie selon certaines de leurs propriétés : leur charge (z) et leur rayon ionique (r). Le diagramme ci-dessous permet de positionner différents ions en fonction de ces deux paramètres.

Groupe I :  
éléments  
toujours  
solubles.

Groupe II :  
éléments qui  
peuvent  
précipiter ou  
rester dissous.

Groupe III :  
éléments  
toujours  
solubles.



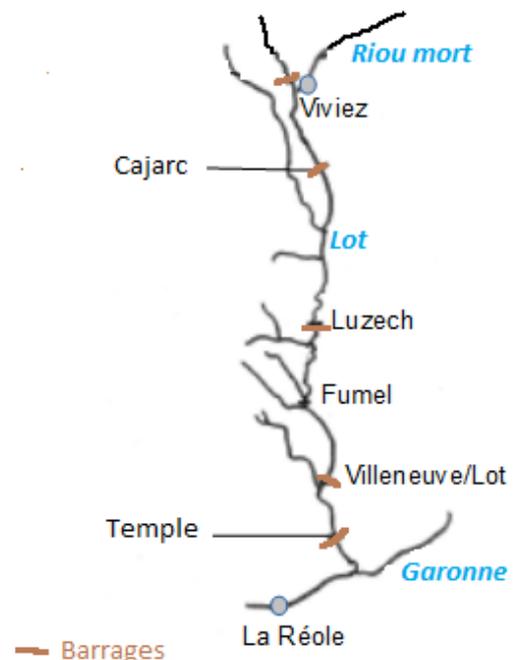
### Diagramme de Goldschmidt

(d'après *Chimie et pollution des eaux souterraines* de O. Atteia; édition Lavoisier ; 2015)

## Document 7 : système fluvial du Lot, sites et résultats d'analyses

### 7a : cartographie des principaux barrages et des sites de carottages

À partir des années 1930, la vallée du Lot a été aménagée, avec la construction d'une dizaine de barrages hydroélectriques permettant d'assurer une production électrique importante. Le document ci-contre présente une cartographie du Lot avec ses principaux barrages. Plus récemment, après l'arrêt des activités de l'usine et le confinement des crassiers, des chercheurs ont évalué les quantités de cadmium stockées dans la vallée du Lot. Trois campagnes de carottage ont été réalisées en juin 2001 sur des retenues de barrage (Cajarc et le Temple) et dans l'ensemble des sédiments du Lot, situés après la confluence avec le Riou-Mort. Pour chaque site, les carottages ont été effectués à l'aide d'un carottier qui permet de prélever des carottes sédimentaires pour en analyser le contenu. Le tableau ci-dessous indique les stocks de Cd, Zn, Pb et Cu



## 7b : estimation des quantités de métaux stockés dans les sédiments du Lot

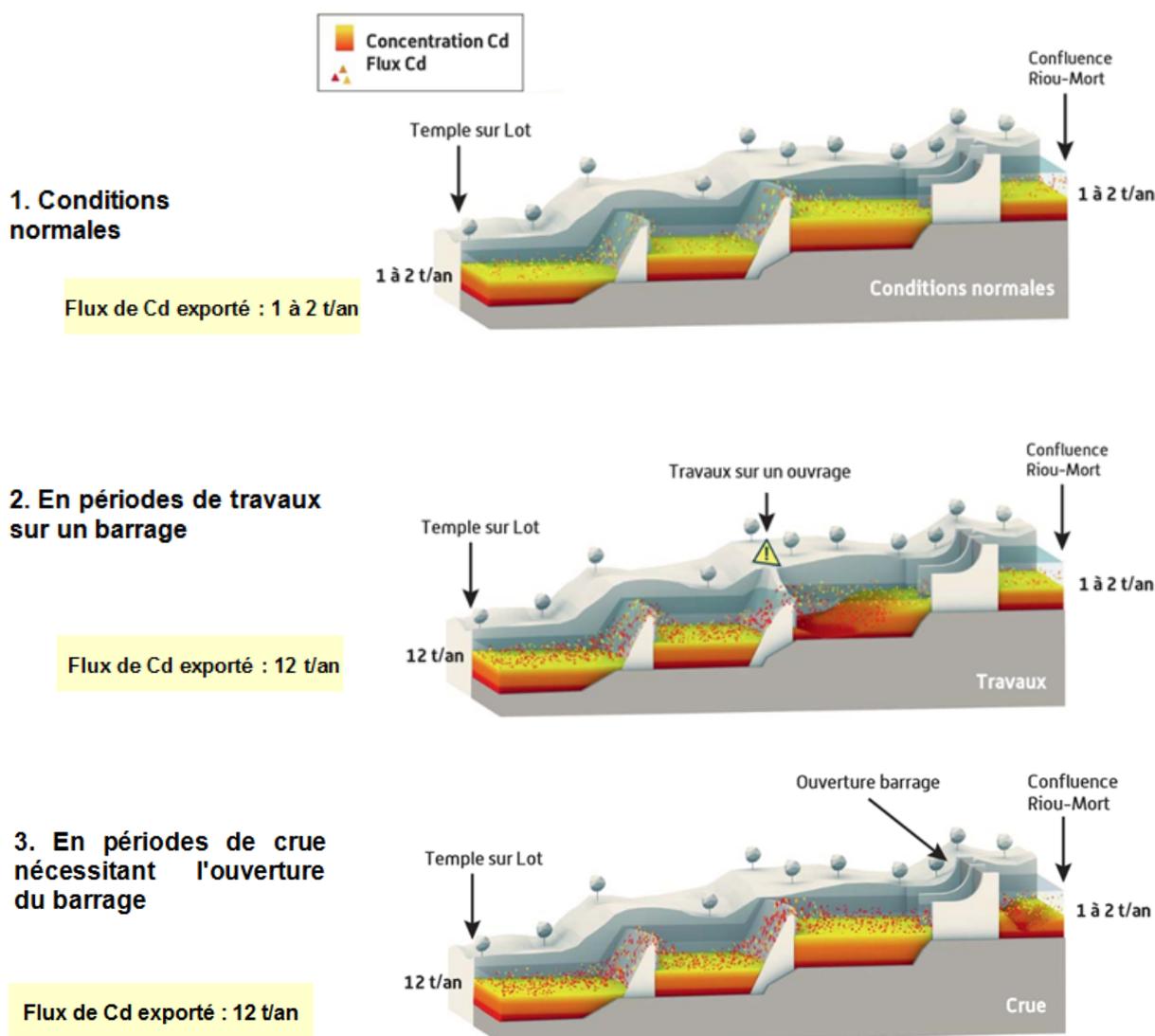
source : [http://grenet.drimm.u-bordeaux1.fr/pdf/2003/AUDRY\\_STEPHA\\_NE\\_2003.pdf](http://grenet.drimm.u-bordeaux1.fr/pdf/2003/AUDRY_STEPHA_NE_2003.pdf)

	Stocks métalliques (en tonnes)			
	Cd*	Zn	Pb	Cu
<b>Cajarc</b>	23,1	1086 ± 138	111 ± 45	25,4 ± 18,5
<b>Temple</b>	55	2750 ± 385	264 ± 116	99 ± 49
<b>Lot</b>	207 ± 42	10039 ± 1448	1003 ± 341	300 ± 207

\* Données de Lapaquellerie et al. (1995)

## Document 8 : transfert du cadmium dans la rivière Lot

Dans des conditions hydrologiques normales (sans crues, ni sécheresse), le cadmium a tendance à être stocké dans les sédiments qui s'accumulent au niveau des barrages du Lot. Cependant, on estime qu'une à deux tonnes de cadmium sont exportées chaque année par le Lot vers la Garonne.



(source : [http://oai.eau-adour-garonne.fr/oai-documents/60822/GED\\_0000000.pdf](http://oai.eau-adour-garonne.fr/oai-documents/60822/GED_0000000.pdf))

## Exercice 2 -QUEL CIRQUE !

Dans la région Languedoc-Roussillon, le cirque de Navacelles est formé par un méandre<sup>1</sup> recoupé, ou abandonné, de la rivière la Vis entre le causse du Larzac au sud et le causse de Blandas au nord. La valeur esthétique de ce site est très forte puisque deux belvédères, face à face, permettent de le dominer. Alors que certains spectateurs voient dans ce cirque une île ou encore une huître géante, la légende raconte que le cirque de Navacelles est une empreinte de sabot laissé par le cheval de Gargantua.

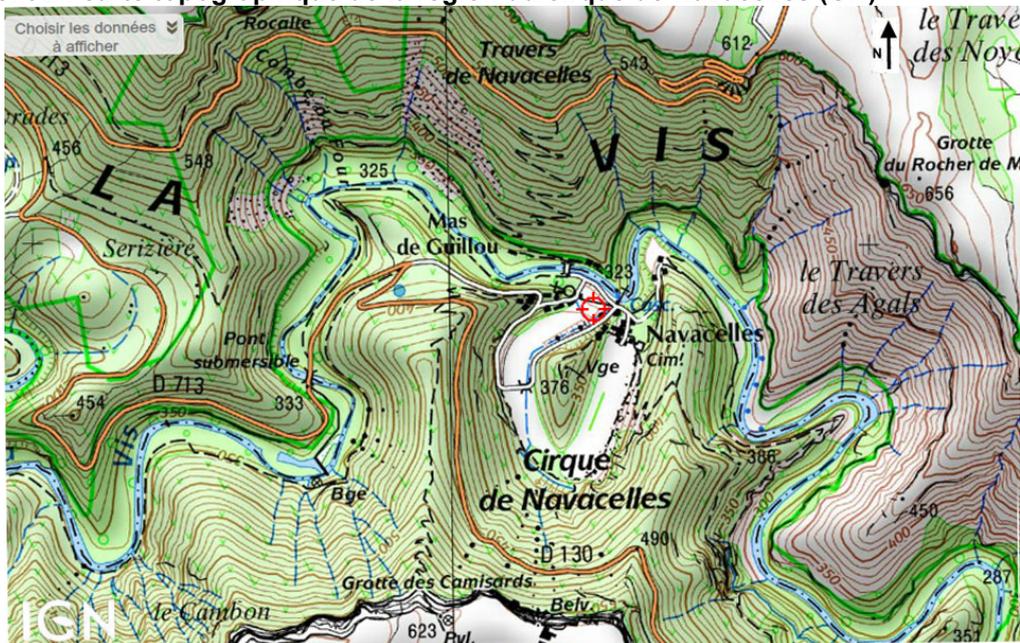
**QUESTION - À l'aide des documents fournis, proposer une explication à la formation du cirque de Navacelles, en précisant notamment les différents temps géologiques de son façonnement jusqu'à la période actuelle.**

**Document 1 : vue panoramique du cirque de Navacelles avec le méandre abandonné par la Vis (vue prise du belvédère sud en direction du nord)**



Source : Wikipédia (H. Moreau GFDL)

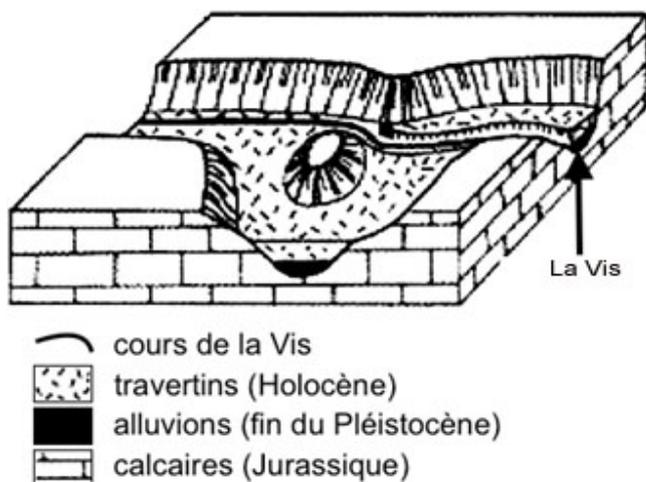
**Document 2 : carte topographique de la région du cirque de Navacelles (GN)**



Source : <http://infoterre.brgm.fr>

<sup>1</sup> Méandre : sinuosité que décrit un cours d'eau. Un méandre abandonné est un bras isolé (ou mort) d'un ancien cours d'eau.

**Document 3 : représentation schématique de la succession des couches géologiques du cirque de Navacelles**



*D'après M.AMBERT ; Vulgarisation et valorisation du patrimoine géologique et géomorphologique en Languedoc-Roussillon : retour d'expériences ; BAGF ; 2009*

Remarque : les alluvions sont des sédiments des cours d'eau composés, selon les régions traversées et la force du courant, de galets, de gravier et de sable. La fraction la plus fine des alluvions correspond à des argiles et des limons.

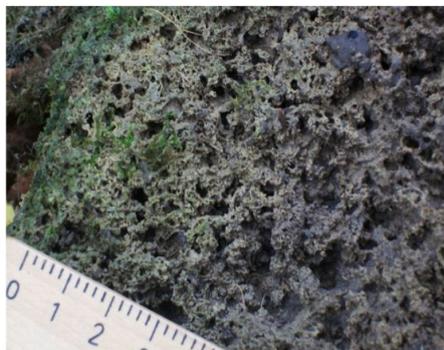
*D'après Dictionnaire de Géologie ; Dunod ; 2010*

**Document 4 : extrait de l'échelle des temps géologiques**

Période	Epoque	Age (en Ma)	
Quaternaire	Holocène	0	
	Pléistocène		-0,01
Pliocène		Sup.	-1,8
		Moy.	
	Inf.		
Tertiaire	Néogène	Sup.	-5,3
		Moy.	
		Inf.	
	Oligocène		-23,5
		Sup.	-34
		Moy.	
	Paléogène	Inf.	-53
			-65
	Crétacé	Supérieur	
Inférieur		-96	
Jurassique	Supérieur	-135	
	Moyen	-154	
	Inférieur	-180	
		-205	

*D'après <http://espace-svt.ac-rennes.fr>*

**Document 5 : présentation d'une roche : le travertin**



**Un échantillon de travertin montrant un aspect poreux**

Source : <http://www4.ac-nancy-metz.fr/base-geol/>

Le travertin est une roche sédimentaire calcaire continentale, plus ou moins vacuolaire, grise à jaunâtre, grossièrement litée. La précipitation des carbonates est favorisée par la libération du CO<sub>2</sub> dissous par dépressurisation aux griffons (ouverture par où sort l'eau) des sources et par les turbulences au pied des cascades. Les travertins actuels sont riches en aragonite, mais ce minéral recristallise ensuite en calcite. L'aspect caverneux est dû en partie à la disparition, par fermentation, des débris végétaux encroûtés de carbonates d'origine biochimique.

*D'après Dictionnaire de Géologie ; Dunod ; 2010*

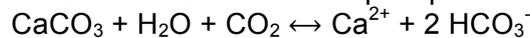
## Document 6 : rôle de l'Homme sur la dynamique karstique

Dans le Languedoc, il y a environ 1 000 ans, la déforestation et la mise en culture se sont accompagnées d'un accroissement du ruissellement avec érosion des sols, ce qui a gêné la croissance des algues et des mousses intimement associées au dépôt de travertins. De plus, les impacts de l'Homme sur les paysages ont modifié les propriétés des eaux : ces dernières présentaient une plus grande agressivité au détriment des dépôts de travertins précédents. Cette agressivité est à la fois chimique et mécanique.

*D'après M. AMBERT et P. AMBERT ; Karstification des plateaux et encaissement des vallées au cours du Néogène et du Quaternaire dans les Grands Causses méridionaux (Larzac, Blandas) ; Géologie de la France ; 1995*

## Document 7 : Réactions de précipitation/dissolution des carbonates

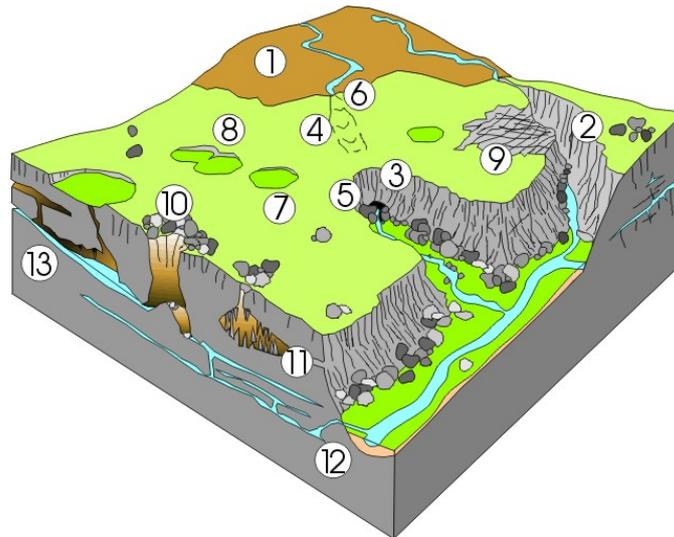
Le calcaire, composé de carbonate de calcium insoluble ( $\text{CaCO}_3$ ), se transforme, sous l'action de l'eau chargée en  $\text{CO}_2$ , en bicarbonate soluble dans l'eau ( $\text{HCO}_3^-$ ). Cette réaction est réversible : une augmentation du taux de  $\text{CO}_2$  dans l'eau favorise la dissolution du calcaire, alors qu'un abaissement du taux favorise sa précipitation et son dépôt.



## Document 8 : un type de relief affectant les pays calcaires : le karst

Tout massif calcaire est fissuré, aussi bien en surface qu'en profondeur. En ruisselant à la surface du plateau calcaire, les eaux, chargées en  $\text{CO}_2$  et légèrement acides, pénètrent dans les fissures et dissolvent la roche.

Les fissures s'agrandissent et finissent par former de véritables galeries dans lesquelles coulent des rivières souterraines. Quand le plafond d'une galerie s'effondre, un canyon se forme.



(1) terrains non karstiques ; (2) canyon ; (3) reculée ; (4) vallée sèche ; (5) résurgence de rivière ; (6) perte ; (7) doline ; (8) ouvala ; (9) lapiez ; (10) aven ; (11) grotte ; (12) source vauclusienne ; (13) rivière souterraine.

## Exercice 3 - Des aurores polaires... en France !

Dans la nuit du 17 au 18 mars 2015, des aurores ont été observées dans le ciel de Delme en Lorraine (voir carte ci-contre) comme nous le montre le cliché ci-dessous de Guillaume Hobam membre d'un collectif de chasseurs d'orages. "C'est vraiment exceptionnel ! On ne voit cela peut-être qu'une seule fois dans une vie !" a confié Kévin Leclerq, un autre membre de ce collectif.



### Document 1 : aurore rougeâtre dans le ciel lorrain

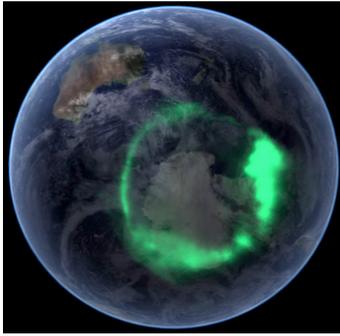


Journaliste pour une revue locale lorraine, vous êtes chargé(e) d'écrire un article sur ce phénomène exceptionnel.

Pour cela, en vous appuyant sur les documents 1 à 12, rédigez l'article en expliquant :

- ce qu'est une aurore polaire et son observation habituellement aux pôles ;
- le caractère exceptionnel d'une observation d'une aurore dans le ciel lorrain la nuit du 17 au 18 mars 2015 ;
- la couleur rougeâtre de cette aurore.

## Document 2 : localisation d'une aurore polaire



Une aurore polaire (également appelée aurore boréale dans l'hémisphère nord et aurore australe dans l'hémisphère sud) est un phénomène lumineux caractérisé par des voiles extrêmement colorés dans le ciel nocturne [...].

Les aurores se produisent principalement dans une zone annulaire justement appelée « zone aurorale » (entre 65 et 75° de latitude).

Source : Document modifié du site <http://planet-terre.ens-lyon.fr/>

## Document 3 : le Soleil, une étoile en activité

Le Soleil éjecte en permanence des particules (électrons et ions positifs) à une vitesse allant de 400 à 800 km.s<sup>-1</sup> : c'est le vent solaire. Lors des éruptions solaires (image ci-contre), la vitesse du vent solaire peut atteindre 2500 km.s<sup>-1</sup> et, à certaines périodes dites de forte activité, ces éruptions solaires peuvent engendrer un supplément de rayonnement dans les domaines visibles, UV, X et radio, voire se traduire par l'émission de particules de hautes énergies.

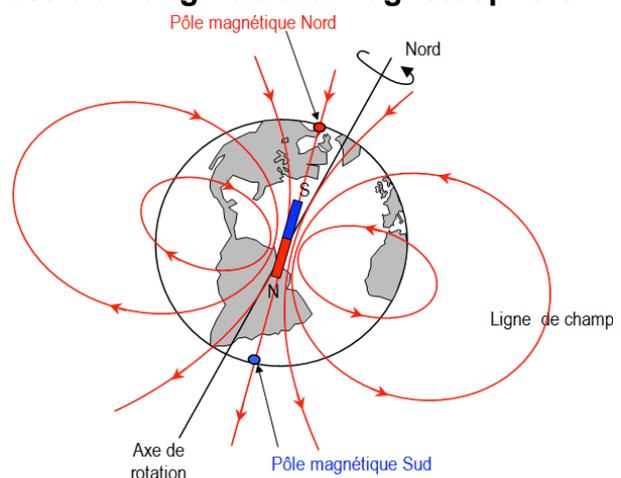


En période de forte activité solaire, les éruptions solaires sont plus nombreuses et plus intenses : la vitesse du vent solaire et la densité de particules chargées émises par le Soleil augmentent. Cela entraîne une perturbation plus importante du champ magnétique terrestre. [Source : Photo du satellite de la NASA SDO, 2013]

## Document 4 : le champ magnétique terrestre à l'origine de la magnétosphère

Véritable bouclier invisible, la magnétosphère est engendrée par les mouvements de convection à l'intérieur du noyau externe terrestre, majoritairement composé de fer liquide. Semblables à celles d'une barre aimantée, les lignes de champ connectent entre eux le pôle Sud et le pôle Nord magnétiques. Elles protègent notre planète des particules chargées (électrons, protons, ions) venant de l'espace. Sans la magnétosphère, la vie ne serait pas possible sur la planète Terre.

Source : Document modifié du site <http://svt.ac-dijon.fr/>



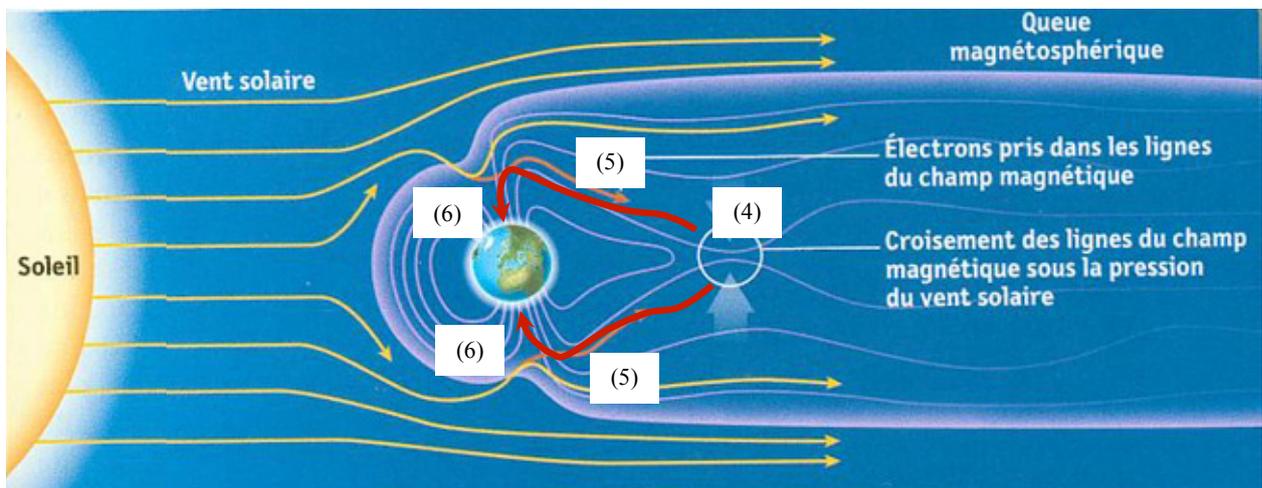
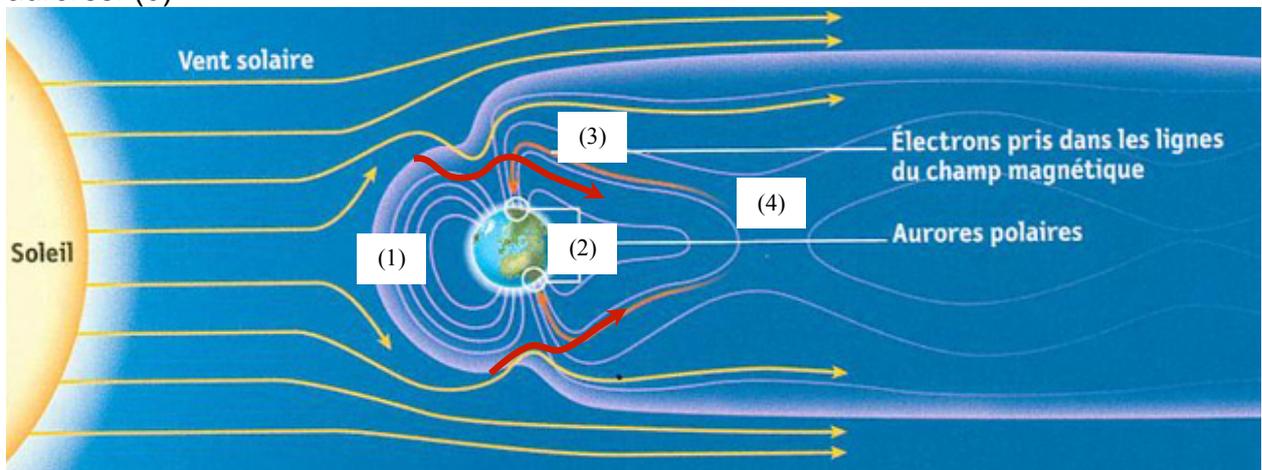
## Document 5 : effet des vents solaires sur la magnétosphère terrestre

Le vent solaire vient frapper de plein fouet notre magnétosphère : celle-ci se retrouve alors comprimée côté "jour" (1) et allongée côté "nuit" (2).

Les particules du vent solaire se déplacent le long des lignes de champ comme des trains sur des rails. (3)

Lorsque les vents solaires sont plus intenses, les lignes de champ peuvent se rapprocher, se croiser et parfois fusionner entre elles : on appelle ce phénomène « reconnexion ». (4)

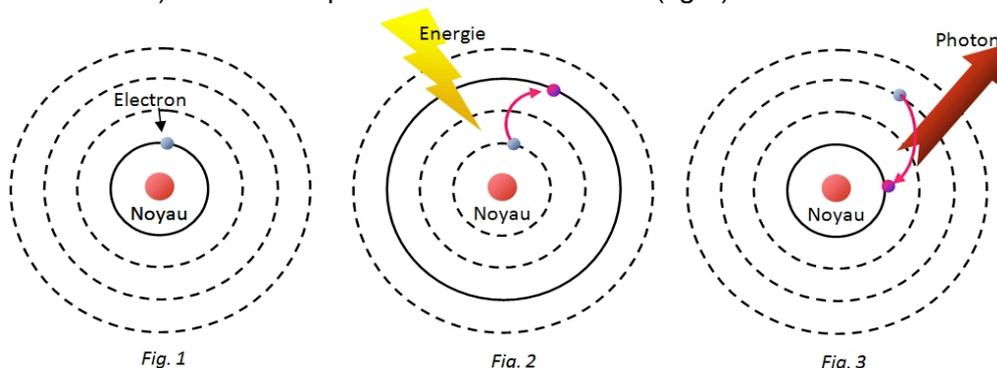
Ces reconnexions magnétiques libèrent une grande quantité d'énergie transmise aux particules sous forme d'énergie thermique et cinétique. Propulsées à grande vitesse, les particules peuvent alors emprunter cet "aiguillage" pour s'engouffrer vers la Terre. (5) Elles rencontrent alors la haute atmosphère, produisant de spectaculaires aurores. (6)



Sources : Document modifié de *Pour la science*, juin 2008 et <http://www.sciencesetavenir.fr>

**Document 6 : effets de particules chargées sur les atomes de l'atmosphère**

Chaque atome existant dans l'Univers possède une structure électronique qui lui est propre (répartition des électrons de son nuage). Dans leur état fondamental, les électrons n'émettent pas de lumière, car ils occupent leur état de plus basse énergie (exemple de l'atome d'hydrogène à un électron : fig. 1). Lorsque les particules chargées des vents solaires rencontrent les électrons des atomes de l'ionosphère (partie haute de l'atmosphère), ceux-ci entrent dans un état excité, c'est-à-dire que les électrons des couches internes de l'atome vont migrer vers les couches externes (fig. 2). Ils gagnent ainsi de l'énergie. Les électrons, désormais dans une situation très instable, vont retourner sur leur couche originelle, à l'état normal. Ils réémettent alors l'énergie absorbée lors de la collision sous forme de photons, particules élémentaires de la lumière, dans une longueur d'onde (et donc une couleur) caractéristique de l'atome considéré (fig.3).



Source : <http://acces.ens-lyon.fr>

**Document 7 : une palette de couleurs aurorales**

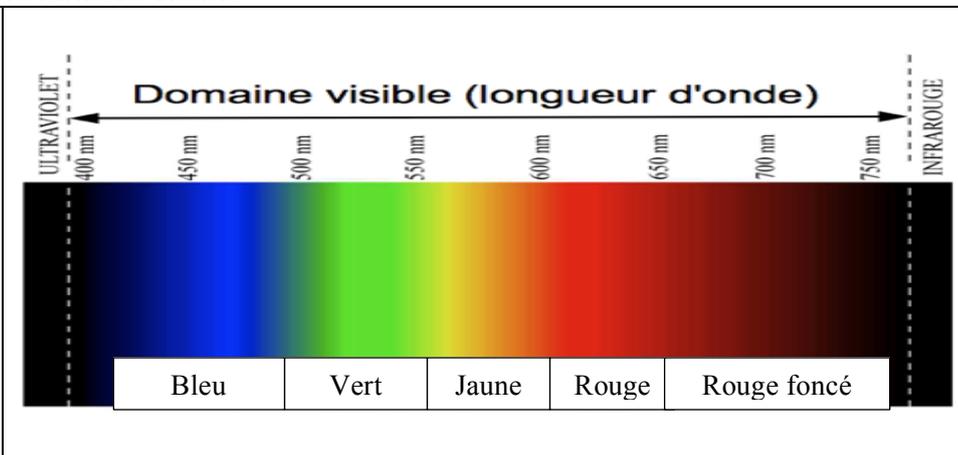
**7a : relation entre atome ou molécule atmosphérique et longueur d'onde**

Les aurores polaires se produisent dans la haute atmosphère entre 60 et 1000 km d'altitude. On observe différentes couleurs d'aurore qui dépendent de l'atome ou de la molécule percutée. Chaque atome ou molécule atmosphérique percuté(e) par une particule chargée du vent solaire émet dans une longueur d'onde spécifique.

Longueur d'onde émise (nm)	Atome ou molécule percuté(e)	Altitude (en km)
390-430	Diazote (N <sub>2</sub> )	1000
660-680	Azote (N)	65-90
560	Dioxygène (O <sub>2</sub> )	90-150
630-640	Oxygène (O)	>150
650	Hydrogène (H)	120

**7b : le spectre de la lumière visible**

On appelle spectre de la lumière l'ensemble des longueurs d'onde dont elle est constituée. Le spectre visible se situe entre 400 et 800 nanomètres. Chaque longueur d'onde du spectre visible correspond à une couleur allant du bleu au rouge. (1 nm = 10<sup>-9</sup>m)  
 Source : Université Joseph Fourier



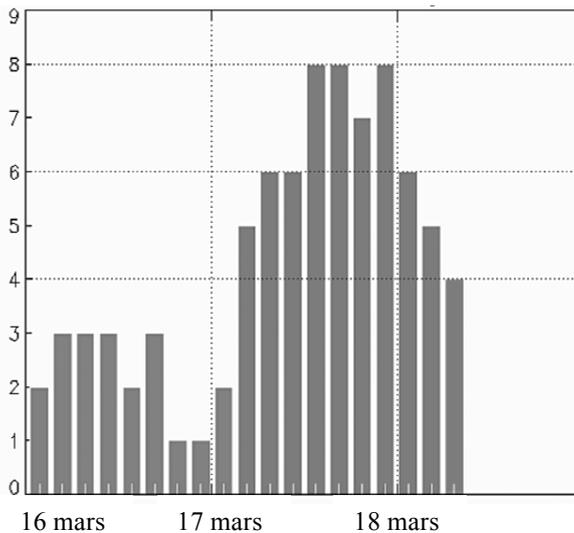
**Document 8 : évolution de l'indice Kp et signification**  
**8a : lien entre l'indice Kp et l'activité aurorale**

Indice Kp	Latitude géomagnétique	Activité aurorale
0	≥66.5°	Très faible à faible
1	≥64.5°	
2	≥62.4°	
3	≥60.4°	
4	≥58.3°	Moyenne
5	≥56.3°	Forte à extrêmement forte
6	≥54.2°	
7	≥52.2°	
8	≥50.1°	
9	48.1°	

L'indice Kp correspond à l'intensité de la perturbation du champ magnétique de la Terre due aux effets des particules solaires. Plus l'indice Kp est élevé et plus le champ magnétique est perturbé : Kp va de 0 (calme) à 9 (très perturbé). La latitude géomagnétique de la Lorraine est de l'ordre de 50° [Source : document modifié du site <http://www.spaceweatherlive.com>]

**8b : relevés de l'indice Kp entre le 16 et le 18 mars 2015**

Indice Kp



[Source : Document modifié du site <http://www.swpc.noaa.gov>]

**Document 9 : enregistrements par le satellite NOAA le 17 mars entre 14h et 20h**

- de l'évolution de la densité des particules solaires arrivant sur Terre



- de l'évolution de la vitesse des particules solaires arrivant sur Terre



Source : Document modifié du site <http://www.swpc.noaa.gov/>