



**INSPE Académie de Limoges**  
**Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation**  
**Second degré**

**Professeur de Physique-Chimie**

**2023/2024**

**Place de l'histoire des sciences dans le programme de chimie de  
STL-SPCL (Sciences et Technologies de Laboratoire,  
enseignement spécifique Sciences Physiques et Chimiques en  
Laboratoire)**

**Audrey Fiachetti**

Recherche encadrée par

**Nathalie Douteau**

Professeure agrégée de Physique-Chimie



## Remerciements

---

Je tiens tout d'abord à remercier Madame Nathalie Douteau, ma directrice de mémoire, qui m'a permis de pouvoir intervenir dans sa classe de Terminale STL, afin de réaliser une séance d'histoire des sciences. Elle m'a également conseillée sur la rédaction de mon mémoire, durant mes deux années de master.

Je souhaite également remercier Monsieur Jérôme Fatet, qui m'a aidée à réaliser ma séance historique, en m'apportant ses connaissances en histoire des sciences, mais aussi en me fournissant le matériel nécessaire au bon déroulement de mes expériences.

Je remercie également Madame Isabelle Madrange, pour son soutien pendant mon master et son aide précieuse lors de la réalisation de manipulations.

Merci à Monsieur Ulf Bossel, un expert en matière de piles à combustible, qui m'a partagé généreusement son ouvrage *The Birth of the Fuel Cell (1835-1845). Complete Correspondence between Christian Friedrich Schoenbein and William Robert Grove* ».

Enfin, je remercie ma famille d'avoir participé à la réussite de mes projets, pour son soutien et pour le temps passé à la relecture de ce mémoire.

## Droits d'auteurs

---

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



# Table des matières

---

Introduction.....	5
1.Présentation de la problématique.....	6
2. État des lieux de la place de l'histoire des sciences dans les programmes scolaires.....	7
2.1. Bulletin Officiel de Terminale STL-SPCL, programme de 2019.....	7
2.2. Historique de la place de l'histoire des sciences dans les programmes scolaires.....	9
3. La place de l'histoire des sciences dans les manuels scolaires.....	12
3.1. Manuels numériques.....	12
3.1.1. Les collections numériques SPCL – Académie de Montpellier – Chapitre : oxydo-réduction.....	13
3.1.2. Les collections numériques – Physique-Chimie et Mathématiques STL – Académie de Montpellier – Chapitre : Piles.....	14
3.2. Manuels en format papier.....	17
3.2.1. Présentation du manuel Physique-Chimie Terminale spécialité – édition Hatier.....	17
3.2.2. Analyse du chapitre Evolution spontanée d'un système chimique – Constitution et transformations de la matière.....	18
4. L'histoire des sciences dans un enseignement quotidien.....	21
4.1. Pourquoi introduire l'histoire des sciences en Terminale STL ?.....	21
4.2. Quelles sont les spécificités des classes de lycées technologiques ?.....	23
4.3. Histoire des sciences relative à l'oxydo-réduction.....	24
4.4. Étude de terrain.....	29
4.4.1. Présentation de l'établissement.....	29
4.4.2. Présentation de la classe.....	30
4.4.3. Place de la séance dans la progression.....	30
4.4.4. Analyse a priori.....	31
4.4.4.1 Objectifs.....	31
4.4.4.2 Déroulé de la séance.....	32
4.4.4.3 Compétences abordées.....	34
4.4.5. Analyse a posteriori.....	34
Conclusion.....	38
Références bibliographiques.....	39
Table des annexes.....	42

## Introduction

---

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du travail encadré de recherche du Master MEEF Second degré en Physique-Chimie. Il concerne le sujet suivant « La place de l'histoire des sciences dans le programme de chimie de STL-SPCL ». Plus en détail, le sujet propose d'intégrer habilement l'histoire des sciences et de l'actualité scientifique dans le programme de terminale STL-SPCL en chimie et développement durable. Et cela, en prenant en compte plusieurs objectifs qui sont les suivants :

- Susciter l'intérêt des élèves en prenant en compte leurs difficultés ainsi que les contraintes de temps liées à la longueur du programme officiel et aux échéances (évaluations des compétences expérimentales, écrit de spécialité, grand oral).
- Donner une vision authentique de la physique et de la chimie.
- Transmettre une culture scientifique et permettre aux élèves de faire face aux évolutions scientifiques et technologiques qu'ils rencontreront dans leurs activités professionnelles.

Tout d'abord, l'histoire des sciences et techniques est une discipline scientifique qui étudie l'évolution des concepts et avancées techniques ou technologiques au cours de l'histoire, les intégrant dans leur contexte sociologique et culturel. Ce rapport de recherche présente la problématique choisie ainsi que les différentes parties qui composent ce mémoire.

Ainsi, celui-ci permet de prendre connaissance de l'état d'avancement des recherches sur le sujet.

# 1. Présentation de la problématique

---

Il peut être intéressant de se demander comment introduire l'histoire des sciences dans un cours de Terminale STL. En effet, selon J.ROGER, premier président de la Société Française d'Histoire des Sciences et des Techniques :

*« L'histoire des sciences et des techniques, par la réflexion qu'elle permet sur les réalités de notre monde, doit être un élément essentiel de cette culture de demain ».*

La problématique à laquelle ce travail de recherche s'intéresse est donc la suivante :

**Quelle est la place de l'histoire des sciences dans les programmes et manuels scolaires, et comment est-il possible de l'introduire dans un cours d'oxydo-réduction en Terminale STL – SPCL ?**

Afin de répondre à cette problématique, il semble intéressant, dans un premier temps, d'analyser les programmes de l'Éducation Nationale, autant actuels que passés, afin de voir la place qui est occupée par l'histoire des sciences. Ensuite, j'étudierai la place de l'histoire des sciences dans les livres scolaires, ceux-ci étant une interprétation des programmes scolaires disponibles dans le bulletin officiel. Les manuels pourront être à la fois numériques ou en version papier.

Dans un second temps, l'intérêt d'introduire l'histoire des sciences dans un enseignement quotidien sera discuté.

Enfin, la dernière partie de ce mémoire abordera les spécificités des classes de lycées technologiques. Une partie théorique de l'histoire des sciences de l'oxydo-réduction, et plus particulièrement des piles, sera faite. Puis seront exposés la méthodologie envisagée et le protocole de recherche qui sera mis en œuvre au cours de la deuxième année de Master sur le terrain auprès des élèves. Dans cette partie, il sera proposé une activité documentaire ou expérimentale portant sur l'histoire des sciences. Un retour sur cette activité pourra ensuite être fait sous forme d'un questionnaire portant sur l'intérêt des élèves pour celle-ci, ou bien d'une évaluation.

## 2. État des lieux de la place de l'histoire des sciences dans les programmes scolaires

---

### 2.1 Bulletin Officiel de Terminale STL-SPCL, programme de 2019

Compte tenu du fait que ce mémoire de recherche se fait dans le cadre de ma formation en master MEEF, il me semble essentiel d'appuyer mes recherches sur le Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, et plus précisément sur la partie « Chimie et développement durable ».

Les programmes des enseignements des spécialités de biochimie-biologie-biotechnologies, de sciences physiques et chimiques en laboratoire, et de physique-chimie et mathématiques de la classe terminale de la série technologique STL, sont définis par l'arrêté du 19-7-2019 publié au BO spécial n° 8 du 25 juillet 2019.

Dans un premier temps, le préambule précise que l'un des objectifs de la formation des élèves est de :

*« transmettre une culture scientifique et ainsi permettre aux élèves de faire face aux évolutions scientifiques et technologiques qu'ils rencontreront dans leurs activités professionnelles ».*<sup>1</sup>

De plus, une phrase aborde la place de l'histoire des sciences dans le programme :

*« Chaque fois que cela est possible, une mise en perspective de ces savoirs avec l'histoire des sciences et l'actualité scientifique est mise en œuvre. ».*<sup>2</sup>

Ce programme n'évoque pas de façon plus précise ce qui doit être abordé en histoire des sciences. On peut donc en conclure que l'ensemble du programme doit être traité et mis en parallèle avec l'histoire des sciences.

Ce document permet également de savoir plus précisément quels sont les contenus abordés en Terminale STL.

---

1 - Extrait du programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de terminale STL – page 2  
<https://eduscol.education.fr/document/23104/download>

2 - Extrait du programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de terminale STL – page 4  
<https://eduscol.education.fr/document/23104/download>

La partie chimie et développement durable est constituée des chapitres suivants :

- **Composition des systèmes chimiques**

Solubilité

Acides et bases

Conductivité

Oxydo-réduction

- **Synthèses chimiques**

Aspects macroscopiques

Mécanismes réactionnels

Ce mémoire portera principalement sur le thème « Composition des systèmes chimiques », chapitre « Oxydo-réduction », qui fera l'objet d'une d'expérimentation en classe.

Muriel Guedj, chercheuse à LIRDEF (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Éducation et Formation) à l'Université de Montpellier a écrit un article en 2014 qui interroge sur la place de l'épistémologie et de l'histoire des sciences pour améliorer la professionnalité des enseignants de physique-chimie.<sup>3</sup>

Selon les termes du dictionnaire du CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales), « l'épistémologie » est une « Partie de la philosophie qui a pour objet l'étude critique des postulats, conclusions et méthodes d'une science particulière, considérée du point de vue de son évolution, afin d'en déterminer l'origine logique, la valeur et la portée scientifique et philosophique. »

Dans une première partie, l'article décrit l'état des lieux de la place accordée à l'épistémologie et à l'histoire des sciences dans les programmes scolaires, les concours d'enseignement et la formation des enseignants de sciences physiques. Selon l'auteure, l'histoire des sciences n'est pas abordée explicitement dans les programmes scolaires, au-delà des préambules.

En effet, selon l'auteure, « très peu de déclinaisons dans les programmes concernent explicitement des éléments d'histoire des sciences », ce qui a pour conséquence « l'impossibilité

---

3 - M. GUEDJ L'épistémologie et l'histoire des sciences et des techniques peuvent elles aider les futurs enseignants de sciences physiques dans l'exercice de leur métier ? Regards portés pour une ingénierie de formation. Bernard A, Dell'Angelo M, de Montgolfier S, Godfroy AS, Huchette M, Mayrargue A, et al., éditeurs. SHS Web of Conferences. 2014  
[https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2014/10/shsconf\\_shst2013\\_01004.pdf](https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2014/10/shsconf_shst2013_01004.pdf)

pour les enseignants de se saisir de ces aspects pourtant largement développés dans les préambules qui coiffent les programmes ».

Il s'agirait donc là d'un obstacle au développement de l'enseignement de l'histoire des sciences et techniques.

Concernant les écrits des concours d'enseignement, les questions portant sur l'histoire des sciences auraient une place restreinte.

Les programmes scolaires actuels indiquent donc que l'histoire des sciences doit être enseignée, sans parfois beaucoup de précision. Cette volonté d'inclure des éléments historiques dans l'enseignement secondaire a-t-elle été toujours présente ?

## **2.2. Historique de la place de l'histoire des sciences dans les programmes scolaires**

Danielle FAUQUE, dans un article publié dans le BUP (Bulletin de l'Union des Physiciens) affirme que l'aspect historique dans l'enseignement scientifique français n'est pas nouveau.<sup>4</sup>

En effet, la SFHST, la Société Française d'Histoire des Sciences et des Techniques, a été fondée le 29 janvier 1980. A son commencement, ses objectifs étaient de favoriser les rencontres entre les chercheurs lors de congrès qu'elle organise en moyenne tous les trois ans.

Lors de son premier colloque, sur le thème de l'Enseignement de l'histoire des sciences aux scientifiques, deux cents participants appartenant aux disciplines mathématiques, physiques et chimiques principalement, se sont réunis.

Par ailleurs, la première conférence générale de l'UNESCO (l'Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture) en 1946 a souligné l'importance de l'histoire des sciences, comme étant un « projet d'importance cardinale pour l'histoire de la culture humaine »<sup>5</sup>

Concernant l'évolution de la présence de l'histoire des sciences dans les programmes officiels de l'enseignement secondaire, c'est lors de la réforme des lycées de 1979, que l'histoire des sciences et des techniques, dans l'enseignement des sciences physiques, apparaît pour la première fois

---

4 - D. FAUQUE La dimension historique dans l'enseignement scientifique secondaire en France - Lycée Stanislas - Paris – GHDSO Université Paris XI - 91405 Orsay - BUP (Bulletin de l'union des physiciens) Vol. 92 - Avril 1998 <http://materiel-physique.ens-lyon.fr/Logiciels/CD%20N%C2%B0%203%20BUP%20DOC%20V%204.0/Disk%201/TEXTES/1998/08030623.PDF>

5 - D. FAUQUE La « longue marche » d'un enseignement de l'histoire des sciences et des techniques. Tréma. 1 oct 2006;(26):34-47. <https://journals.openedition.org/trema/83>

dans les classes littéraires. Les expériences d'enseignement qui en ont découlé ont ensuite été prises en compte lors de la rédaction des programmes de 1993.

En 1993, la dimension historique et la culture scientifique apparaissent donc comme l'un des principes directeurs.

Un des quatre exercices de l'épreuve écrite du baccalauréat scientifique peut être un texte historique ; ce fut le cas en 1996, à propos de la gravitation.

Il est possible de faire un état des lieux concernant les programmes scolaires et l'histoire des sciences, et notamment de la réforme de 1993. Le tableau suivant résume de façon synthétique le poids consacré à l'histoire des sciences, en terme de volume horaire, dans les séries générales du lycée :

Année	Horaire cours*	Horaire TP*	Total horaire : T	Poids de l'histoire des sciences : HS	Pourcentage de l'HS / T
Seconde	60 h	(45 h)	105 h	1,5 h	1,4
Première S tr. com.	75 h	(45 h)	120 h	1 + (1,5) h	2,1
Première S option	0 h	(45 h)	45 h	(6) h	13,3
Terminale S tr. com.	98 h	(36 h)**	134 h	4 + (3) h	5,2
Terminale S spécialité	0 h	(48 h)	48 h	(3) h	6,2
Première L	45 h en moyenne		45 h	diffusé dans tout le programme 25 % max de l'horaire	
Terminale L	20 h		20 h	1 à 2 h diffusé dans tout le programme 5 à 10 %	
* Valeur approximative effective.					
** Les TP (travaux pratiques) s'étalent sur vingt-quatre semaines.					

*Tableau récapitulatif du poids de l'histoire des sciences dans la réforme de 1993<sup>6</sup>*

De façon globale, la place de l'histoire des sciences dans la totalité des horaires de cours correspond à moins de 6 % pour la série scientifique et la seconde générale.

Cependant, en première scientifique, pour les cours d'options, la part d'histoire des sciences correspond à 13,3 %.

6 - D. FAUQUE La dimension historique dans l'enseignement scientifique secondaire en France - Lycée Stanislas - Paris – GHDSO Université Paris XI - 91405 Orsay - BUP (Bulletin de l'union des physiciens) Vol. 92 - Avril 1998  
<http://materiel-physique.ens-lyon.fr/Logiciels/CD%20N%C2%B0%203%20BUP%20DOC%20V%204.0/Disk%201/TEXTES/1998/08030623.PDF>

On remarque que pour les séries littéraires, l'enseignement de l'histoire des sciences occupe une place bien plus importante en terme de proportions, bien que le taux horaire de cours de sciences reste bien sûr plus faible que dans les séries scientifiques.

Concernant le collège, c'est dans les nouveaux programmes de quatrième et de cinquième, parus en 2005<sup>7</sup>, que l'histoire des sciences et des techniques est présente. Ces programmes indiquent de manière explicite ce qui doit être enseigné en histoire des sciences.

Par exemple, dans le chapitre « Intensité et Tension : Deux grandeurs électriques issues de la mesure », les enseignants doivent aborder les travaux d'Ampère et de Volta.

En parallèle à l'évolution des programmes, en 1996, un groupe d'enseignants s'est réuni autour de l'inspecteur général Jean-Michel BERNARD, afin de proposer un ouvrage contenant des études documentaires. Soutenu par l'éducation nationale, cet ouvrage intitulé *La gravitation* est paru en 1997, à destination des enseignants.

Ainsi, l'introduction de l'histoire dans les programmes de sciences physiques n'est pas une nouvelle idée, même si au cours du temps, elle a parfois été encouragée, ou au contraire éclipsée.

---

7 - Programmes des collèges Physique-Chimie – Classe de quatrième (2005) : [https://www.education.gouv.fr/bo/BoAnnexes/2005/hs5/annexe4\\_3.pdf](https://www.education.gouv.fr/bo/BoAnnexes/2005/hs5/annexe4_3.pdf)

### 3. La place de l'histoire des sciences dans les manuels scolaires

---

#### 3.1. Manuels numériques

La série STL-SPCL ne possède pas de manuel scolaire en version papier ; il existe cependant le manuel numérique intitulé « Les collections numériques SPCL – Académie de Montpellier »<sup>8</sup>.

Ces collections numériques s'adressent aux élèves et professeurs de la série STL-SPCL. Elles ont été créées par des enseignants de toute la France, et ce travail a été piloté par l'inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche.

La production de ces collections relève de la mission d'accompagnement et de formation de la DGESCO (Direction Générale de l'Enseignement Scolaire) qui apporte son concours aux réseaux nationaux de ressources pour l'enseignement technique.

La direction générale de l'enseignement scolaire « élabore la politique éducative et pédagogique et assure la mise en œuvre des programmes d'enseignement des écoles, des collèges, des lycées et des lycées professionnels. »<sup>9</sup>

Certaines collections ne sont que partiellement achevées mais il a été privilégié une mise à disposition de ces ressources pour les enseignants au fur et à mesure de leur élaboration.

Une fois terminée, chaque collection numérique traitera tout le programme du module d'enseignement correspondant.

Ce mémoire portera plus particulièrement sur le chapitre traitant de l'oxydo-réduction.

---

8 - Les collections numériques SPCL – Académie de Montpellier Cours : Chimie et développement durable Terminale [Internet] Disponible sur: <https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/course/view.php?id=61>

9 - Site du ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse : [www.education.gouv.fr](http://www.education.gouv.fr)

### 3.1.1 - Les collections numériques SPCL – Académie de Montpellier - Chapitre : oxydo-réduction

Dans ce chapitre, il est proposé 3 activités, une fiche d'exercice et une fiche de synthèse.

Lorsque l'on accède au chapitre<sup>10</sup>, une image suivie d'un paragraphe explicatif apparaît.



Energy Observer est le premier navire à Hydrogène. Il fait le tour du monde depuis 2017 avec une autonomie énergétique. Il produit du dihydrogène par électrolyse de l'eau de mer. Ce combustible lui permet ensuite de faire fonctionner une pile pour avancer sans rejet de produits carbonés. Quelles électrodes assurent les transferts d'électrons ? Comment ces phénomènes permettent-ils de doser une solution ?

Ici, en tant qu'introduction au chapitre, une image d'un navire à Hydrogène est proposée : l'Energy Observer. Les piles à hydrogène sont donc introduites dans un contexte de l'actualité. Cela peut permettre aux élèves de ce rendre compte des différentes applications de celles-ci, en particulier en insistant sur le fait qu'elles peuvent contribuer à acquérir une autonomie énergétique, en parallèle de l'obtention du dihydrogène par électrolyse de l'eau de mer. La question de l'utilisation de l'énergie est donc évoquée et peut faire référence aux enjeux énergétiques actuels.

Une première activité traite de la loi de Nernst. Dans celle-ci, aucun parallèle historique n'est proposé, ni actualité scientifique.

Les activités 2 et 3 s'intitulent respectivement « solution anti-chlorose » et « Vitamine C », et ont pour but de faire réaliser des titrages. Ces activités se situent donc dans un contexte, avec un premier document qui explicite la chlorose des végétaux ou ce qu'est la vitamine C.

---

10 - Les collections numériques SPCL – Académie de Montpellier Cours : Chimie et développement durable Terminale – Chapitre Oxydo-réduction [Internet] Disponible sur: <https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/course/view.php?id=61&section=4>

Concernant les exercices, ceux-ci sont mis en contexte avec des applications dans le quotidien, comme l'éthylotest, les piles rechargeables ou l'eau de javel, ou encore avec des applications passées, comme l'utilisation jusqu'à la fin du XIXème siècle d'un pigment jaune à base de sulfure de cadmium (le jaune de cadmium).

Ces contextes peuvent être intéressants et donner un sens à l'exercice, mais ils ne sont pas pour autant très développés concernant l'actualité scientifique ou l'histoire des sciences.

Enfin, la fiche de synthèse du cours ne contient quant à elle que les éléments essentiels au cours et ne fait pas part d'éléments historiques ou d'actualité scientifique concernant les phénomènes d'oxydo-réduction.

### 3.1.2 - Les collections numériques - Physique-Chimie et Mathématiques STL – Académie de Montpellier - Chapitre : Piles

La notion d'oxydant et de réducteur est également contenue dans le programme de physique-chimie et mathématiques de Terminale STL, dans le thème : *Transformation de la matière*, partie *Réactions d'oxydo-réduction*.

Cette partie concerne de façon explicite les piles.

Couple oxydant / réducteur (redox). Équations de demi-réaction.	- Définir l'oxydant et le réducteur d'un couple redox, dans le cadre du modèle par transfert d'électrons. - Écrire une équation de demi-réaction.
Réaction d'oxydo-réduction.	- Citer et donner la formule de quelques oxydants ou réducteurs usuels, gazeux (dihydrogène, dioxygène, dichlore) ou en solution aqueuse (diode, eau oxygénée, ion fer(II)). - Écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction en milieu acide.
Demi-pile, pile, pont salin.	- Représenter une pile comme l'association de deux demi-piles reliées par un pont salin. Préciser la polarité, le nom de chaque électrode, le sens de déplacement des électrons, du courant et des ions (y compris dans le pont salin).
Anode, cathode.	- Écrire l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile à partir de la polarité de la pile et des couples redox impliqués.
Quantité d'électricité.	- Déterminer la quantité d'électricité disponible dans une pile à partir des quantités de matière initiales. <b>Capacité expérimentale :</b> - Réaliser une pile et mesurer la tension pour identifier l'anode et la cathode, l'oxydant et le réducteur.

*Extrait du programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STL*  
<https://eduscol.education.fr/document/23107/download> - page 8

Les collections numériques de l'académie de Montpellier proposent des ressources pour le chapitre intitulé « Piles », de Terminale STL Physique-chimie et Mathématiques. <sup>11</sup>

Ce chapitre est composé de deux activités, d'une fiche de synthèse et d'une fiche d'exercices. La première activité est intitulée « l'histoire des piles ».

Le premier document présente « les différentes piles au fil du temps », c'est à dire ici : la pile Volta, la pile Leclanché, la pile Daniell et les piles alcalines.

Il contient également une vidéo résumant les origines des piles sur le site Mediachimie : <https://www.mediachimie.org/ressource/la-pile-%C3%A9lectrique-tout-commenc%C3%A9-avec-des-grenouilles>

Cette vidéo est particulièrement intéressante car elle apporte beaucoup d'informations sur l'invention des premières piles, en partant de la théorie de l'électricité animale de Galvani, puis de l'invention de la pile Volta, de la bouteille de Leyde et enfin de la décomposition de l'eau en dihydrogène et en dioxygène. Cette vidéo illustre bien le fait que les découvertes scientifiques sont bien souvent l'œuvre de plusieurs chercheurs.

Le document 2 propose un extrait de la lettre adressée par Volta au président de la Royal Society en 1800.

Il peut être intéressant pour les élèves de lire comment pouvait être expliquée une expérience, dans les années 1800.

Il aurait pu être utile de rappeler ce qu'est la Royal Society dans cette activité, pour mieux situer le contexte historique de cette époque.

La Royal Society, dont le nom complet est Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge (traduit en français par « Société royale de Londres pour l'amélioration des connaissances naturelles ») est une institution fondée en 1660, dont le but est de faire la promotion des sciences. Sa devise est "Nullius in verba", ce qui signifie "ne croire personne sur parole" et donc son objectif est d'établir la vérité dans le domaine scientifique, en se basant uniquement sur les expériences.

Cependant, ce document n'est pas vraiment exploité dans les questions auxquelles les élèves doivent répondre.

---

11 - Collections numériques de l'académie de Montpellier, ressources de Terminale STL Physique-chimie et Mathématiques : <https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/course/view.php?id=62&section=4>

Bien que la deuxième activité expérimentale propose de réaliser une pile Daniell, aucun élément historique n'est ajouté, ni même une description plus poussée de cette pile. L'auteur a sans doute considéré que ces éléments étaient déjà inclus dans la première activité.

Les exercices proposés dans ces ressources numériques ne font pas référence à l'histoire des sciences. On peut souligner que l'exercice 6 fait référence à l'actualité scientifique, à travers les piles au lithium (qui sont utilisées couramment par les particuliers).

La fiche de synthèse de ce chapitre ne contient également aucune référence à l'histoire des sciences ni à l'actualité scientifique, comme pour le chapitre étudié précédemment dans ce rapport.

En conclusion, ces ressources numériques contiennent quelques éléments d'histoire des sciences ou d'actualité scientifique et on peut noter la volonté des auteurs de les faire apparaître.

Cependant, ces éléments ne sont pas répartis de manière équitable entre les chapitres, certains en contenant beaucoup plus que d'autres.

Dans certains chapitres, ceux-ci pourraient être développés davantage.

Les éléments d'histoire des sciences ou d'actualité scientifique n'étant pas intégrés dans la partie cours, les élèves peuvent en conclure rapidement que ceux-ci ne sont pas importants.

### 3.2. Manuels en format papier

La classe de Terminale STL n'ayant pas de manuels version papier, j'ai décidé d'étudier les manuels en format papier de la classe de Terminale générale, spécialité physique-chimie.

Le chapitre correspondant est : Evolution spontanée d'un système chimique.

Transformation spontanée modélisée par une réaction d'oxydo-réduction.	<i>Illustrer un transfert spontané d'électrons par contact entre réactifs et par l'intermédiaire d'un circuit extérieur.</i>
Pile, demi-piles, pont salin ou membrane, tension à vide.	Justifier la stratégie de séparation des réactifs dans deux demi-piles et l'utilisation d'un pont salin.
Fonctionnement d'une pile ; réactions électrochimiques aux électrodes.	Modéliser et schématiser, à partir de résultats expérimentaux, le fonctionnement d'une pile.
Usure d'une pile, capacité électrique d'une pile.	Déterminer la capacité électrique d'une pile à partir de sa constitution initiale.
Oxydants et réducteurs usuels.	<i>Réaliser une pile, déterminer sa tension à vide et la polarité des électrodes, identifier la transformation mise en jeu, illustrer le rôle du pont salin.</i> Citer des oxydants et des réducteurs usuels : eau de Javel, dioxygène, dichlore, acide ascorbique, dihydrogène, métaux. Justifier le caractère réducteur des métaux du bloc s.

Extrait du Programme de physique-chimie de terminale générale, spécialité physique-chimie – page 9

#### 3.2.1 Présentation du manuel Physique-Chimie Terminale spécialité – édition Hatier

Cet ouvrage, contenant 638 pages, est divisé en 19 chapitres, couvrant les 4 thèmes du programme de spécialité physique-chimie de Terminale générale.

Chaque chapitre est construit selon le schéma suivant :

- La première page, contenant le titre du chapitre est suivie des prérequis et des objectifs de celui-ci. S'en suit une présentation de poursuite d'études ou d'un métier.
- La seconde page contient le plus souvent une photo illustrant le sujet du chapitre, puis un paragraphe intitulé « Histoire des sciences » ou « Actualité scientifique ».
- Deux parties intitulées « Révisions » et « Échauffements » sont en général incluses dans le chapitre. Elles permettent de faire quelques rappels des notions des années précédentes avant d'introduire de nouvelles connaissances.
- Plusieurs activités expérimentales ou documentaires sont proposées. Elles contiennent une introduction, l'objectif visé, plusieurs documents, une série de questions et un bilan amenant les élèves à se poser des questions également.
- Une partie cours, illustrée par des exemples imagés.

- Des exercices « Les bons réflexes ». Ceux-ci sont corrigés et proposent des exemples de mauvaises réponses à ne pas faire.
- Des exercices résolus.
- Des exercices, répartis en trois catégories : Appliquer, S'entraîner et Approfondir.
- Une dernière partie d'exercices et de résolution de problèmes « Bac – Préparer l'écrit » et « Bac – Préparer le grand oral ».

Ainsi, les chapitres sont répartis dans les thèmes comme suit :

Constitution et transformations de la matière – 9 chapitres

Mouvement et interactions – 5 chapitres

Énergie : conversions et transferts – 1 chapitre

Ondes et signaux – 4 chapitres

Ici, le chapitre Evolution spontanée d'un système chimique, du thème Constitution et transformations de la matière, sera regardé plus précisément.

### **3.2.2 - Analyse du chapitre Evolution spontanée d'un système chimique - Constitution et transformations de la matière**

Ce chapitre commence avec une image illustrant l'effet de la corrosion sur les toitures de cuivre.

Puis, une frise chronologique est proposée dans la partie intitulée « Histoire des sciences – La saga des chimistes norvégiens ».<sup>12</sup>

Il peut être intéressant d'utiliser cette représentation sous forme de frise chronologique. En effet, celle-ci représente un moyen clair et organisé de représenter des données, et permet aux lecteurs de repérer plus facilement les événements dans le temps.

De plus, les scientifiques présentés ici ne font pas partie des noms les plus connus, et il peut être intéressant de montrer aux élèves que les découvertes scientifiques sont souvent l'œuvre d'un grand nombre de chercheurs.

Parmi les quatre activités proposées (trois activités expérimentales et une activité documentaire), deux semblent avoir un intérêt à être abordées ici.

---

<sup>12</sup> - Disponible dans l'annexe 1

L'activité expérimentale s'intitulant « Transfert spontané d'électrons » propose de mettre en évidence le transfert spontané d'électrons, et les transformations électrochimiques associées, ainsi que d'exploiter ces résultats pour fabriquer une pile.<sup>13</sup>

Dans l'introduction, un schéma accompagné d'une phrase indique que la première pile électrochimique a été inventée par Alessandro Volta en 1800.

Cependant, cette activité propose de réaliser une pile à l'aide d'une lame de fer et d'une lame de cuivre, alors que la pile Volta était quant à elle fabriquée à l'aide de plaques de zinc et de plaques de cuivre.

Cela n'étant pas précisé dans l'activité, il est possible que les élèves fassent un parallèle un peu rapide entre le point historique qui est fait et l'activité expérimentale réalisée.

Une seconde activité, documentaire cette fois, aborde l'avenir de la pile à combustible.<sup>14</sup>

Cette activité ne mentionne pas l'inventeur de la pile à combustible mais elle se focalise sur l'avenir de celle-ci.

Ainsi, cette activité s'inscrit dans le cadre de la transition écologique, et mentionne qu'un projet de loi sur la mobilité envisage de supprimer les moteurs thermiques. Elle invite les élèves à une réflexion sur les avantages et les inconvénients de la pile à combustible.

Cette activité n'est donc pas ancrée dans l'enseignement de l'histoire des sciences, mais plutôt dans l'actualité scientifique.

Concernant le cours, celui-ci mentionne quelques points de l'histoire des sciences, comme Lewis ayant inventé des schémas qui portent son nom, et Faraday qui a donné son nom à une constante.<sup>15</sup>

L'essentiel du cours est ensuite résumé en une page, et ne fait aucunement référence à l'histoire des sciences.

En ce qui concerne les exercices, l'histoire des sciences est abordée dans l'exercice 52 intitulé « Pile Daniell »<sup>16</sup>, ou encore dans le paragraphe « Pour info » de l'exercice 58, à propos de la pile à auge.<sup>17</sup>

Finalement, le nom de l'inventeur de la pile à combustible apparaît dans l'exercice 65, à propos de leur utilisation par la NASA.<sup>18</sup> Il semble cependant y avoir un problème avec cet exercice, car celui-ci ne comporte aucune question, et donc ne sera probablement jamais traité en classe.

---

13 - Disponible dans l'annexe 2

14 - Disponible dans l'annexe 3

15 - Disponible dans les annexes 4 et 5

16 - Disponible dans l'annexe 6

17 - Disponible dans l'annexe 7

18 - Disponible dans l'annexe 8

En terme d'actualité scientifique, la résolution de problème de l'exercice 66 aborde le thème de la micropile à combustible<sup>19</sup>, et un paragraphe de la partie « BAC Préparer le grand oral » indique la mise au point d'une biopile par les chercheurs du CNRS des universités Grenoble Alpes et de San Diego.<sup>20</sup>

De façon générale, ce livre accorde à l'histoire des sciences et l'actualité scientifique une place relativement faible. On ne se rend pas vraiment compte des obstacles qui ont été franchis au cours de l'histoire, à travers les exemples donnés. Les découvertes scientifiques ne sont pas vues comme une aventure humaine.

Cette pauvreté peut être mise en relation avec l'absence de référence explicite à l'histoire des sciences dans les programmes scolaires de terminale générale.

Dans le cours, ce manuel accorde à l'histoire des sciences une place relativement anecdotique.

Il n'y a pas d'activité uniquement centrée sur l'histoire des sciences, bien que les références à celle-ci restent en général identifiables par une indication « Histoire des sciences ». Les concepteurs de ces manuels ont sans doute eu la volonté de mettre en avant l'histoire des sciences, mais cependant celle-ci reste principalement superficielle ou anecdotique.

---

19 - Disponible dans l'annexe 9  
20 - Disponible dans l'annexe 10

## 4. L'histoire des sciences dans un enseignement quotidien

---

### 4.1 Pourquoi introduire l'histoire des sciences en Terminale STL ?

Il est possible de se demander quel est l'intérêt d'introduire l'histoire des sciences en Terminale STL. En effet, on peut s'interroger sur l'importance d'introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement secondaire.

Michel Morange propose une réponse à cette question, dans son livre rédigé à la suite d'une conférence donnée le 26 octobre 2006 intitulée « Les chercheurs ont-ils besoin d'histoire ? ». <sup>21</sup> Ici, il ne s'intéresse pas uniquement à l'introduction de l'histoire des sciences dans le cadre de l'enseignement secondaire, mais plutôt dans un cadre plus large de recherche scientifique.

L'objectif de ce livre est de montrer que l'histoire des sciences est utile à la construction de la connaissance scientifique.

Elle permet de prendre du recul par rapport à un projet de recherche, par exemple.

Il existe un mythe selon lequel le découvreur scientifique « est vu comme un savant jeune, en partie ou totalement ignorant des connaissances antérieures et des modèles proposés par ses aînés. C'est dans cette ignorance qu'il trouverait la force et l'audace d'aborder des questions restées jusqu'alors sans réponses, de franchir des obstacles considérés comme infranchissables. Il serait capable, par son ignorance même, de voir les questions sous un angle nouveau. »

Or, en vérité, les nouveaux modèles sont souvent élaborés grâce à un ensemble de connaissances accumulées. En général, le découvreur est capable de jeter un regard nouveau sur des connaissances scientifiques déjà acquises, mais il n'est pas pour autant ignorant.

De plus, certains scientifiques ont directement besoin d'histoire, c'est le cas des astronomes qui ont par exemple retrouvé dans les observations chinoises ou grecques la description de cataclysmes célestes dont ils observent aujourd'hui les traces résiduelles.

Il existe plusieurs justifications concernant la contribution de l'histoire dans l'enseignement des sciences :

- la première est ancienne : l'histoire des sciences est la meilleure manière d'apprendre « la » méthode scientifique ou, à l'inverse, d'éviter les erreurs et les pertes de temps.<sup>22</sup>

---

21 - M. Morange À quoi sert l'histoire des sciences ? Ed. 1 [Internet]. Editions Quae; 2008 . Disponible sur: <https://univ-scholarvox-com.ezproxy.unilim.fr/catalog/book/docid/40000971?searchterm=histoire%20des%20sciences>

22 - F. Balibar, 1995, « Pasteur enseignant-chercheur », in : Françoise Balibar et Marie-Laure Prevost, eds., Pasteur : cahiers d'un savant, Paris, CNRS Éditions, p. 81-89

- la deuxième est que l'histoire des sciences permet d'apporter une culture scientifique générale. Cette culture générale pourrait consister en des dates et repères, afin de mieux situer les connaissances acquises, mais aussi dans la découverte de l'existence d'autres sciences, d'autres objets d'étude et d'autres questionnements.

Concernant les chercheurs, l'histoire des sciences peut être vue comme un outil favorisant le dialogue des chercheurs avec la société, afin de pouvoir communiquer efficacement le contenu et les objectifs de leurs recherches par exemple.

La mise en perspective historique aide à mieux orienter le travail, éviter de perdre du temps sur des voies déjà explorées.

Elle permet aussi d'éviter les mauvaises pratiques scientifiques. En effet, les travaux historiques permettent de mieux voir l'origine de ces dysfonctionnements, les contextes qui favorisent le développement de mauvaises pratiques, et ainsi prendre des mesures qui visent à encourager de bonnes pratiques.

Jean-Louis MARTINAND (École Normale Supérieure de Cachan) a écrit un article intitulé « Histoire et didactique de la physique et de la chimie »<sup>23</sup>, paru dans la revue Didaskalia en 1993, qui permet de s'interroger sur les résistances concernant l'enseignement de l'histoire des sciences. Selon lui, il existe un débat entre deux visions : une présentant la physique comme une science naturelle, et une la présentant comme une science théorique et expérimentale. Dans la première vision, l'histoire des sciences permettrait de donner une ligne directrice, mais il manquerait alors une structure intellectuelle. Dans la seconde vision, la théorie serait bien présente mais il serait difficile de laisser une place à l'histoire.

Ainsi, pour introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement, il existerait plusieurs conditions.

La première condition consiste à dire que, pour que l'histoire des sciences puisse s'intégrer à l'éducation scientifique, il faudrait modifier les fins mises en avant.

Pour cela, il faudrait donner un sens à cet enseignement pour que, par exemple, les élèves puissent se rendre compte des obstacles qui ont été franchis au cours de l'histoire.

Il faudrait également inscrire l'acculturation scientifique dans une approche d'ensemble des relations Sciences/Techniques/Structures et évolutions sociales.

Selon les termes du dictionnaire du CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales), l'acculturation correspond à des « modifications qui se produisent dans un groupe culturel [concernant la manière d'agir, de percevoir, de juger, de travailler, de penser, de parler] par

---

23 - J.L. Martinand Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? Didaskalia. 1993;2(1):89-99.  
[https://www.persee.fr/doc/didas\\_1250-0739\\_1993\\_num\\_2\\_1\\_929](https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1993_num_2_1_929)

suite du contact permanent avec un groupe (généralement plus large) appartenant à une autre culture. »

Enfin, l'appropriation de la science pourrait être vue comme une aventure humaine, et pas seulement comme l'acquisition de connaissances, qu'elles soient théoriques ou instrumentales. (selon H ; Nielsen et P. Thomsen en 1986, à la conférence de Munich sur l'éducation scientifique et l'histoire de la physique).

La seconde condition réside dans le fait de changer la conception ou le type d'activité proposé aux élèves.

Pour cela, il faut mettre en place des activités de documentation, qui auront une place significative et une fonction fondamentale. La science doit être considérée comme un objet de communication.

La troisième condition est de mettre à disposition des outils documentaires pertinents. En effet, les textes mis à disposition des élèves doivent être compréhensibles et accessibles, sans être noyés sous les introductions ou les notes.

## **4.2 Quelles sont les spécificités des classes de lycées technologiques ?**

Les séries technologiques sont organisées en grands secteurs d'activités : industrie et développement durable, biotechnologies et expérimentations de laboratoire, management et gestion, secteur de la santé et du social.

Il existe huit séries technologiques :

- sciences et technologies de laboratoire (STL)
- sciences et techniques du théâtre, de la musique et de la danse (S2TMD)
- sciences et technologies de l'hôtellerie et de la restauration (STHR)
- sciences et technologies de l'agriculture et du vivant (STAV)
- sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)
- sciences et technologies du design et des arts appliqués (STD2A)
- sciences et technologies du management et de la gestion (STMG)
- sciences et technologies de la santé et du social (ST2S)

En classe de Terminale STL, les élèves reçoivent un enseignement de 13 heures de la spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire (SPCL), ce qui est un nombre d'heures relativement important en comparaison avec la classe de terminale générale, spécialité physique-chimie (6 heures).

L'enseignement technologique est caractérisé par une utilisation de méthodes pédagogiques inductives. Cela signifie que les théories sont déduites de cas particuliers. Cette méthode invite les élèves à extraire des notions à partir de situations concrètes ; ils sont mis en situation de découverte, afin d'aller du concret vers l'abstrait.

Ces méthodes sont donc appliquées à des objets d'étude concrets, comme alternative aux enseignements purement abstraits de la voie générale.

L'objectif de cet enseignement est la poursuite d'études supérieures. Celles-ci peuvent se faire en BTS, DUT puis licence professionnelle, ou même en diplôme d'ingénieur ou master.

Les épreuves de spécialité ont lieu relativement tôt dans l'année. En 2023, elles ont eu lieu les 20, 21 et 22 mars. De ce fait, tous les chapitres ne sont pas traités avant les examens.

### 4.3 Histoire des sciences relative à l'oxydo-réduction

Concernant l'expérimentation que je mettrai en place durant l'année 2023-2024, je souhaiterais qu'elle porte sur le chapitre Oxydo-réduction, et plus particulièrement sur les piles à combustibles.

Cette notion est contenue dans le thème Chimie et développement durable, partie Composition des systèmes chimiques du programme de Terminale STL – SPCL.

Voici quelques capacités exigibles :

- écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction en milieu acide ou basique
- déterminer le potentiel d'un couple donné en utilisant la relation de Nernst, la composition du système étant donnée
- calculer une constante d'équilibre à partir des potentiels standard.

La notion d'oxydant et de réducteur est également contenue dans le programme de physique-chimie et mathématiques, dans le thème : *Transformation de la matière*, partie *Réactions d'oxydo-réduction*.<sup>24</sup>

Cette partie concerne de façon explicite les piles.

Voici quelques capacités exigibles :

- écrire une équation de demi-réaction.
- représenter une pile comme l'association de deux demi-piles reliées par un pont salin.

---

24 - Programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STL <https://eduscol.education.fr/document/23107/download>

- écrire l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile à partir de la polarité de la pile et des couples redox impliqués.

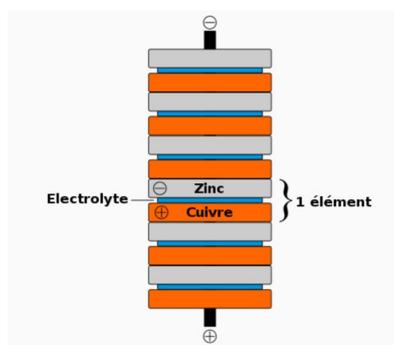
Voici quelques piles historiques sur lesquelles il peut être intéressant de s'attarder.

### La pile Volta

Le mot « pile » a été inventé en 1800. Il correspondait à un assemblage successif de rondelles de zinc et de cuivre avec des rondelles de carton imbibées d'une solution saline, sur une baguette de bois. Alessandro Volta, physicien et chimiste italien constata qu'il ressentait une petite décharge électrique en touchant les deux extrémités de la pile formée. De plus, deux fils métalliques en contact avec le haut et le bas de la pile montraient une petite étincelle quand on les rapprochait. En 1881, l'unité de tension électrique devient le « volt », en hommage au savant italien.



Source : lelivrescolaire.fr



Source : <https://www.missionenergie.goodplanet.org>

Volta décrit ses recherches dans une publication de la Royal Society of London<sup>25</sup>.

Il fait ainsi part de « quelques résultats frappants ». Tout d'abord, Volta fait une description de sa pile. Il compare les effets de celle-ci à l'organe naturel de la torpille, et veut donc l'appeler « organe électrique artificiel ». Concernant les effets de cette pile, celle-ci est capable, au bout d'environ 20 étapes, de faire donner des signes à l'électromètre de Cavallo, mais aussi de frapper les doigts avec lesquels on vient toucher ses deux extrémités (la tête et le pied de la colonne), ce qui ressemble à ce que fait éprouver une bouteille de Leyde faiblement chargée. Plus la taille de la pile augmente et plus les effets ressentis sont forts.

La méthode scientifique utilisée par Volta pour tester les effets de sa pile est parfois un peu douteuse; en effet, celui-ci teste sa pile en faisant passer un courant dans différentes parties du

<sup>25</sup> - *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1800, [http://www.bibnum.education.fr/sites/default/files/VOLTA\\_PHILOSOPHICAL\\_TRANSACTIONS-texte.pdf](http://www.bibnum.education.fr/sites/default/files/VOLTA_PHILOSOPHICAL_TRANSACTIONS-texte.pdf)

corps, telles que le front, les paupières ou encore le nez, mais également dans les plaies et blessures.

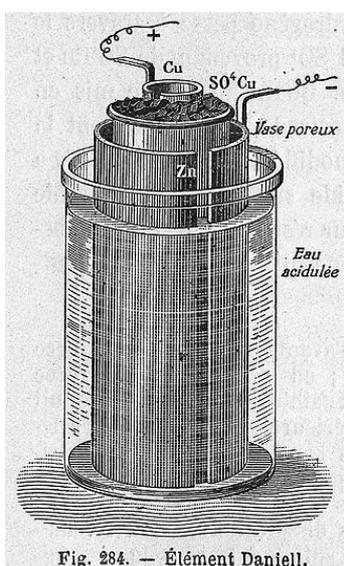
Il évoque également le sens du goût lorsque le courant passe sur sa langue, ressentant ainsi une saveur acide ou alcaline, mais également le sens de la vue et de l'ouïe. Concernant cette dernière, Volta ressent « une espèce de craquement à secousse, ou pétilllement, comme si quelque pâte ou matière tenace bouillonnait ».

Il finit son rapport en concluant que son appareil est dans le fond « le même que l'organe naturel de la torpille [et lui] ressemble encore pour la forme. ».

### La Pile Daniell

Par nécessité d'avoir des sources de courants sûres et constantes afin d'utiliser le télégraphe, John Daniell améliore la pile Volta en 1836. Celle-ci est constituée d'une électrode de cuivre qui plonge dans une solution contenant des ions  $\text{Cu}^{2+}$  et d'une électrode en zinc qui plonge dans une solution contenant des ions  $\text{Zn}^{2+}$ . Les deux solutions sont séparées par une paroi poreuse, qui permet le déplacement des ions.

La pile Daniell permet de corriger certains défauts de la pile Volta : elle est plus simple à construire, plus facile à utiliser, et sa tension est constante.



Source : Leçons de Physique ; Éditions Vuibert et Nony

## Les piles à combustible

Une pile à combustible est un dispositif assurant une conversion d'énergie chimique en énergies électrique et thermique.

Elle permet de produire un courant électrique continu en utilisant un combustible et un comburant. L'intérêt de ces piles réside dans le fait que le combustible est en général plus abondant et moins polluant que les couples redox utilisés dans une pile.

La première pile à combustible a été inventée en 1839 par William Robert Grove.

En 1932, ses travaux ont été repris par Francis Thomas Bacon, qui a mis au point les premiers prototypes de piles à dihydrogène.

Ces piles ont été utilisées par la NASA dans des missions telles que Apollo et Gemini. Mais elles peuvent également avoir un intérêt dans le milieu du transport, avec l'apparition des voitures à hydrogène.

Selon le livre écrit par Ulf Bossel, et paru en 2000, intitulé : *The Birth of the Fuel Cell, 1835-1845: Including the First Publication of the Complete Correspondence from 1839 to 1868 Between Christian Friedrich Schoenbein, Discoverer of the Fuel Cell Effect, and William Robert Grove, Inventor of the Fuel Cell*, le terme pile à combustible a pour la première fois été employé dans un journal scientifique britannique en janvier 1839, par le scientifique suisse Christian Friedrich Schoenbein.

La première courte note de l'Anglais William Robert Grove sur la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène par le platine est parue le mois suivant, mais Grove a ensuite perfectionné le phénomène pour en faire une source d'énergie technique pratique qu'il a ensuite développée et qu'il a appelée "pile à gaz", mais que nous appelons aujourd'hui "pile à combustible".

Grove est donc l'inventeur de la pile à combustible (en 1845) mais c'est Schoenbein qui a découvert cet effet en 1838.

En 1838, William R. Grove travaillait à la mise au point de la "cellule de Grove", une puissante batterie platine-zinc. La force électromotrice d'une "cellule de Grove" était remarquable pour l'époque : 1,8 à 2 volts.



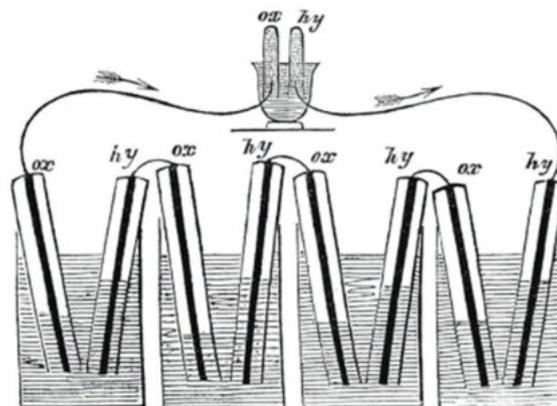
*"Grove Cell" construite par Watkins à Londres se lon les spécifications de Grove et Schoenbein  
Photo : Deutsches Museum München (Musée allemand de Munich)*

Schoenbein s'est dans un premier temps intéressé à l'origine de l'électricité voltaïque et à l'interaction chimique aux interfaces entre les électrodes et l'électrolyte. Il a découvert l'ozone.

Dans un rapport détaillé en allemand datant de décembre 1838, Schoenbein a avancé une théorie de l'effet observé (pile à combustible), qui se rapproche beaucoup de la compréhension d'aujourd'hui, sauf qu'il devait trouver un substitut au proton encore inconnu. Il a postulé l'existence d'un "suboxyde d'hydrogène" qui transporte l'hydrogène de l'anode à la cathode où il se combine à l'oxygène pour former de l'oxyde d'hydrogène ou de l'eau.

Ainsi, en 1838, Schoenbein avait déjà reconnu que l'hydrogène agit comme moyen de transport pour le courant électrique de l'anode à la cathode, que le combustible dominant est l'hydrogène, et que la réaction dominante de la pile à combustible a lieu à la cathode, où l'hydrogène entrant réagit chimiquement avec l'oxygène pour former de l'eau.

Grove publie un article en 1842, dans lequel il expose un système à quatre cellules avec un petit électrolyseur ou un voltamètre qui utiliserait le courant généré par la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène.



*Expérience de Grove en 1842  
Source : The Birth of the Fuel Cell 1835 -1845*

Il apprend rapidement à associer les cellules entre elles et finit par former un assemblage de près de cinquante cellules du type illustré sur l'image ci-dessus.

Il enregistre différents effets avec ce dispositif, comme le fait qu'une décharge électrique peut être ressentie par 5 personnes se tenant par les mains sans pour autant les blesser, tandis qu'un même choc reçu par une seule personne devient douloureux pour le receveur.

Pourtant, la plus importante observation faite avec ce processus est sûrement le fait que l'hydrogène se consomme deux fois plus vite que l'oxygène. Cette observation, réalisée par son assistant, permet à Grove de déterminer la stœchiométrie fondamentale de la pile à combustible :



À partir de ce constat, Grove continue ses recherches et publie régulièrement ses avancées. Il submerge la communauté scientifique avec des preuves sur les piles à combustible.

#### **4.4 Étude de terrain**

Dans cette dernière partie, une proposition pédagogique est présentée afin d'introduire l'histoire des sciences dans le chapitre Oxydo-réduction en Terminale STL-SPCL. Cette proposition s'appuie sur les recherches effectuées dans le cadre de ce mémoire.

L'expérimentation en classe de Terminale se fait sous la forme d'une activité documentaire et expérimentale.

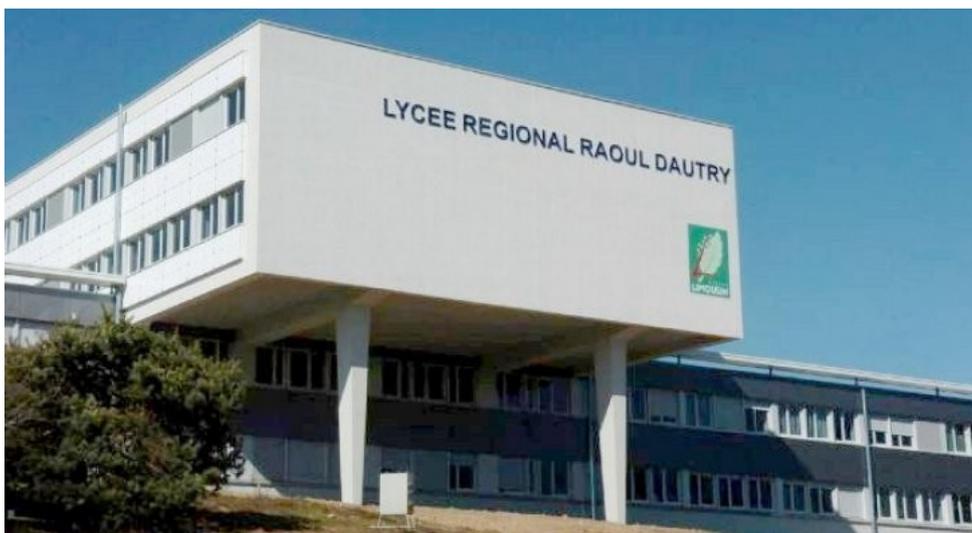
##### **4.4.1 Présentation de l'établissement**

La séance s'est déroulée au lycée Raoul Dautry, situé au 14 Rue du Puy Imbert, à Limoges.

Cet établissement accueille environ 850 lycéens. Ces derniers peuvent y suivre une série générale, technologique (STI2D, STL Biotechnologies, STL SPCL) ou encore professionnelle (Maintenance des systèmes de production connectés, Procédés de la Chimie, de l'Eau et des Papiers Cartons, Pilote de Lignes de Production).

Le lycée comporte également trois sections : une section d'excellence sportive (Hockey sur glace), une section européenne anglais et une section sportive football.

Enfin, après l'obtention du baccalauréat, le lycée propose plusieurs BTS, notamment Analyses de Biologie Médicale, BioAnalyses et Contrôles, Pilotage de Procédés.



Devanture du lycée Raoul Dautry

#### 4.4.2 Présentation de la classe

Cette séance s'est déroulée dans une classe de Terminale STL-SPCL, composée de 12 élèves. Parmi eux, on peut noter la présence d'un élève à besoin particulier, pour qui il est nécessaire de fournir un document en taille A3, afin de permettre sa bonne lecture.

#### 4.4.3 Place de la séance dans la progression

La séance s'est déroulée le 14 décembre 2023. Elle prend place dans le chapitre Oxydo-réduction, à la fin de celui-ci.

Les points du B.O abordés sont les suivants :

- Réactions d'oxydo-réduction

Les réactions d'oxydo-réduction sont introduites à l'aide du nombre d'oxydation qui permet d'identifier l'oxydant et le réducteur d'une réaction ainsi que le nombre d'électrons échangés au cours de la réaction. L'étude de la constitution et du fonctionnement d'une pile permet de faire le lien avec la partie « Énergie : conversions et transferts » qui présente la pile comme un outil de stockage d'énergie. De nombreuses réactions d'oxydo-réduction se déroulent en conditions biologiques, par exemple dans la chaîne respiratoire. Ces réactions mettent en jeu des couples redox biochimiques comme  $\text{NAD}^+/\text{NADH}$ ,  $\text{FAD}/\text{FADH}_2$  ou les cytochromes contenant un ion fer(II).

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydant, réducteur, nombre d'oxydation.	- Déterminer le nombre d'oxydation d'un élément dans une espèce inorganique. - Identifier l'oxydant et le réducteur dans une réaction donnée à l'aide du nombre d'oxydation.
Couple oxydant / réducteur (redox). Équations de demi-réaction.	- Définir l'oxydant et le réducteur d'un couple redox, dans le cadre du modèle par transfert d'électrons. - Écrire une équation de demi-réaction. - Citer et donner la formule de quelques oxydants ou réducteurs usuels, gazeux (dihydrogène, dioxygène, dichlore) ou en solution aqueuse (diode, eau oxygénée, ion fer(II)).
Réaction d'oxydo-réduction.	- Écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction en milieu acide.
Demi-pile, pile, pont salin.	- Représenter une pile comme l'association de deux demi-piles reliées par un pont salin. Préciser la polarité, le nom de chaque électrode, le sens de déplacement des électrons, du courant et des ions (y compris dans le pont salin).
Anode, cathode.	- Écrire l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile à partir de la polarité de la pile et des couples redox impliqués.
Quantité d'électricité.	- Déterminer la quantité d'électricité disponible dans une pile à partir des quantités de matière initiales. <b>Capacité expérimentale :</b> - Réaliser une pile et mesurer la tension pour identifier l'anode et la cathode, l'oxydant et le réducteur.

Extrait du B.O de Terminale STL – enseignement de physique-chimie et mathématiques (page 8)

Pour assurer le bon déroulement de cette séance, certains prérequis sont nécessaires :

- notions de couples oxydant-réducteur
- écriture des demi-équations électroniques
- écriture d'une réaction d'oxydo-réduction en milieu acide

Ces prérequis ont été vus en début de chapitre, en classe de Terminale STL.

La séance présentée ici se déroule donc en fin de chapitre, une fois que toutes les notions nécessaires à son bon déroulement ont été acquises.

Voici un extrait de la progression suivie par la classe jusqu'au mois de décembre :

#### -Synthèses chimiques :

- Fiche de données de sécurité (FDS). Rendement de synthèse. Optimisation du rendement. Facteurs cinétiques. Chimie verte (par exemple : procédé sol-gel)
- Distillation fractionnée. Hydrodistillation. Extraction, recristallisation.
- Spectroscopies UV-visible, IR et RMN.)

#### - Oxydo-réduction

Réaction d'oxydo-réduction. Tests d'identification. Électrode de référence : électrode standard à hydrogène (ESH). Potentiel, potentiel standard. Relation de Nernst. Quotient de réaction, constante d'équilibre. Blocage cinétique. Titrages redox directs et indirects.

La séance présentée ici se situe donc à la suite de ces chapitres.

### **4.4.4. Analyse a priori**

#### **4.4.4.1 Objectifs**

Les **objectifs scientifiques** de cette séance sont les suivants :

- Réaliser une pile.
- Mesurer la tension pour identifier l'anode et la cathode, l'oxydant et le réducteur.
- Identifier la transformation mise en jeu.
- Illustrer le rôle du pont salin.

Des **objectifs pédagogiques** sont aussi présents :

- Prendre conscience de la façon dont les piles ont été mises en évidence et étudiées par le passé.
- Susciter l'intérêt des élèves en abordant des notions par le biais historique.

Enfin, une **capacité expérimentale** est également abordée :

- Réaliser une pile et mesurer la tension pour identifier l'anode et la cathode, l'oxydant et le réducteur.

#### 4.4.4.2 Déroulé de la séance

Pour réaliser ces objectifs, les élèves travailleront **en binômes**. Ils sont disposés sur des paillasses (4 élèves par paillasse, sur un total de 3 rangées). Le matériel dont les élèves devront se servir est situé dans des armoires ou sous des hottes, contre les murs.

Bien que le travail se fasse en binôme, il sera demandé à chaque élève de remettre un compte rendu de l'activité, car les deux dernières questions doivent se faire de façon individuelle.

La séance se découpe en plusieurs parties.

Dans un premier temps, une **vidéo** est montrée aux élèves, celle-ci est disponible sur le lien suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=zjODUq8bStY>

Les élèves doivent visionner cette vidéo et répondre aux questions posées. Préalablement, une lecture des questions a été faite, pour que les élèves les gardent en mémoire lors du visionnage de la vidéo.

Le but de cette partie est de montrer dans quel contexte la pile de Volta a été inventée, ainsi que quelques découvertes réalisées grâce à son utilisation.

Une des difficultés envisagées ici est que les élèves aient du mal à trouver les réponses aux questions en ne regardant qu'une seule fois la vidéo, car certaines informations peuvent parfois être données un peu rapidement.

Pour palier cela, la vidéo pourra être visionnée une deuxième fois, celle-ci ne durera que 3 minutes environ.

Dans une seconde partie, **deux documents** sont proposés aux élèves. Le premier permet de fournir quelques informations sur Alessandro Volta, et notamment de mettre en évidence qu'il a donné son nom à l'unité de la tension (le Volt).

Le second document est un extrait de *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1800* dans lequel une description de la pile de Volta est faite, ainsi qu'un schéma correspondant.

Ce texte contient un mot que les élèves ne connaissent probablement pas : le mot « humeur ». La première question consiste donc à donner une définition de ce mot. L'enseignant demande oralement aux élèves ce qu'ils pensent que ce mot signifie.

Enfin, dans la troisième partie de cette activité, une réflexion théorique sur la pile est demandée, à travers plusieurs questions permettant de guider les élèves ; puis l'objectif sera de reproduire la pile de Volta avec le matériel fourni.

Le matériel disponible pour chaque groupe de TP est le suivant :

- 1 multimètre
- 2 pinces crocodile
- 2 fils électriques
- 3 plaques en cuivre
- 3 plaques en zinc
- solution saturée en chlorure de sodium NaCl
- 1 bécher de 50 mL
- 1 petite assiette
- 1 torchon
- feutrine

La liste du matériel disponible est fournie aux élèves.

Dans cette troisième partie, les élèves travaillent en binôme, de façon autonome. L'enseignant circule dans la classe pour vérifier l'avancée des élèves et répondre à leurs questions.

Une difficulté attendue ici est l'écriture de la transformation mise en jeu. En effet, il est nécessaire que les élèves trouvent quels sont les réactifs mis en jeu pour faire réagir les bonnes espèces ensemble.

Enfin, deux questions plus personnelles sont posées aux élèves (le sujet du TP est disponible en annexe). Ils doivent répondre à celles-ci de façon individuelle. Leurs réponses permettront de se rendre compte des difficultés qu'ils ont pu avoir et de leur intérêt pour l'activité.

Voici un minutage estimé de la séance, qui a une durée totale d'1h45 environ :

- Entrée en classe : 5 min
- Introduction à l'activité : 5 min
- Visionnage de la vidéo, réponse aux questions et correction de ces premières questions : 20min
- Lecture des documents, discussion sur ceux-ci et réponse à la question 1 : 10 min
- Travail en autonomie des élèves (réponse aux questions puis manipulation) : 45 min
- Correction et rangement du matériel : 20 min

#### 4.4.4.3 Compétences abordées

Différentes compétences sont présentes au sein de cette activité :

- **S'approprier** (lors du visionnage de la vidéo, puis lors de la lecture des deux documents proposés)
- **Réaliser** : Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité
- **Communiquer** : échanger entre pairs mais aussi communiquer à l'écrit (les élèves rendent un travail écrit)

Ces compétences n'ont pas été évaluées durant la séance.

#### 4.4.5 Analyse a posteriori

La séance s'est déroulée comme prévu dans la partie analyse a posteriori de ce rapport.

En effet, les élèves se sont montrés impliqués durant l'ensemble de la séance, en se montrant attentifs et en participant de manière active.

Ceux-ci ont répondu à l'oral aux questions qui leur étaient posées, ainsi qu'à l'écrit. Des élèves ont également participé à la correction de l'activité proposée à la fin de la séance, en passant au tableau.

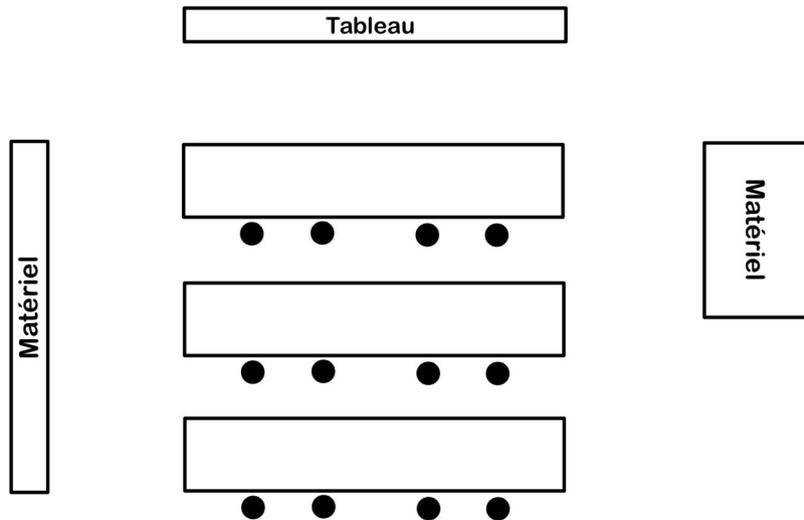
Le seul point négatif que l'on peut relever concerne le matériel. En effet, certaines plaques de cuivre ou de zinc fournies par l'établissement étaient particulièrement petites et/ou gondolées, ce qui rendait l'empilement à réaliser plus difficile.

Cependant, tous les élèves ont quand même pu réaliser la manipulation.

Les consignes données ont été bien respectées de façon générale et les élèves ont eu le temps de finir le travail qui leur avait été demandé. Un seul élève n'a pas répondu aux deux questions plus personnelles qui étaient posées à la fin de l'activité.

La vidéo a été visionnée deux fois, car après un rapide sondage fait auprès des élèves, il s'est avéré qu'ils n'avaient pas pu relever toutes les informations qui leur étaient demandées après un unique visionnage. La vidéo a donc été repassée, ce qui n'était pas dérangeant au niveau du timing de la séance car la vidéo ne durait que trois minutes environ.

Concernant la disposition des élèves dans la classe, ceux-ci étaient par binôme, disposés de la façon suivante :



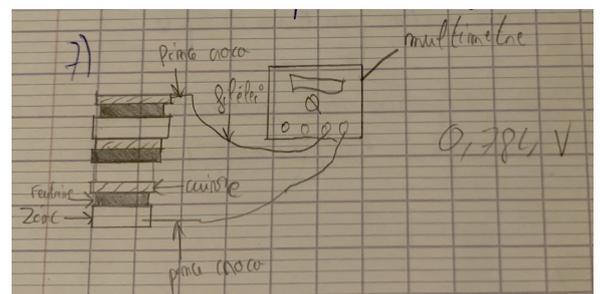
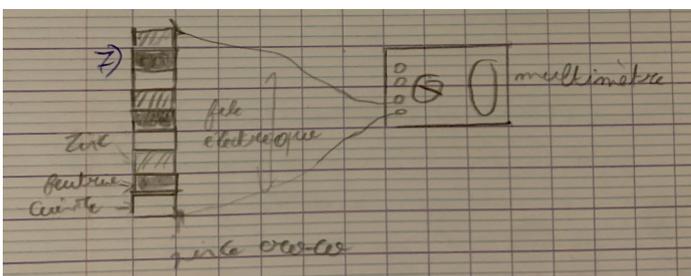
Légende :  
● : élève

### Schéma de la disposition des élèves dans la salle

L'intérêt de cette disposition des élèves dans la salle réside dans le fait qu'ils puissent ainsi travailler en binôme, et disposer d'assez de place pour réaliser les expériences sans avoir à changer de place au cours de la séance.

On peut relever certaines erreurs faites par les élèves.

Tout d'abord, certains élèves n'ont pas su représenter correctement un voltmètre, selon son symbole normé.



### Schémas de la manipulation, réalisés par deux élèves

Ici, les élèves ont dessiné le voltmètre, ne se rappelant peut-être pas de son symbole, ou ne pensant pas à l'utiliser dans cette situation. Cela est peut-être dû au fait que les élèves ne l'ont pas utilisé depuis plusieurs années. En effet, il s'agit d'une notion qui a été vue au collège.

Enfin, la plupart des erreurs ont été faites lors de l'écriture des demi-équations associées à chaque couple ou lors de l'écriture de l'équation de fonctionnement de la pile.

Voici un tableau récapitulatif des résultats obtenus aux deux dernières questions posées aux élèves :

<b>Quelle question de ce TP vous a paru la plus difficile et pourquoi ?</b>					
Question n°	1	3	4	6	Aucune
Nombre de réponses	3	2	2	2	1
<b>Quelle partie de ce TP avez vous la plus appréciée et pourquoi ?</b>					
	Manipulation	Vidéo	Documents	Aspect Historique	
Nombre de réponses	4	3	2	1	

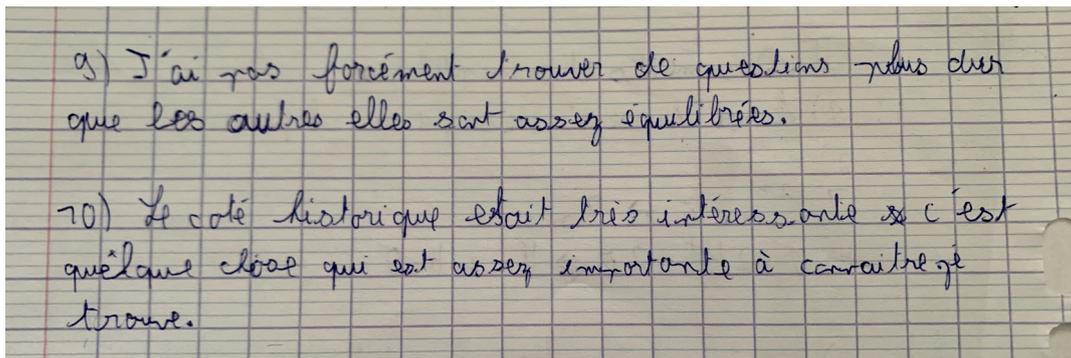
Concernant la question qui a paru la plus difficile aux élèves, il ressort ici qu'il s'agit de la première question dans laquelle il fallait définir le mot « humeur ».

De façon majoritaire, il ressort de ces réponses que les élèves ont le plus apprécié la partie manipulation expérimentale de l'activité. Ces réponses semblent logiques au vu de leur cursus scolaire, la filière technologique, qui met particulièrement en avant la pratique expérimentale.

Il ressort également des réponses des élèves qu'ils ont apprécié l'utilisation d'un support vidéo leur présentant les aspects historiques. Cette variété de supports utilisés a ainsi permis de capter l'attention des élèves.

Ces élèves ont donc aimé connaître l'aspect historique de l'expérience qui leur était présentée, notamment à travers une vidéo.

Extrait d'une copie d'élève :



Cet élève n'a pas trouvé de question plus difficile que les autres et a apprécié le côté historique de l'activité, soulignant qu'il s'agit d'un aspect important à connaître.

Il est donc possible de conclure que l'apport historique dans cette activité expérimentale a permis à une partie des élèves de s'intéresser davantage à l'activité, tout en leur apportant une culture scientifique générale.

## Conclusion

---

Durant ce mémoire, nous avons pu faire un état des lieux de la place de l'histoire des sciences dans les programmes scolaires, montrant ainsi que l'introduction de l'histoire dans les programmes de sciences physiques n'est pas une nouvelle idée, même si au cours du temps, elle a parfois été encouragée, ou au contraire éclipsée.

Puis, la place de l'histoire des sciences dans les manuels scolaires, qu'ils soient numériques ou en format papier, a été discutée. Il a été constaté que ces manuels contiennent quelques éléments d'histoire des sciences ou d'actualité scientifique et on peut noter la volonté des auteurs de les mettre en valeur.

Toutefois, l'un des principaux soucis réside dans le fait que la place accordée à l'histoire des sciences et à l'actualité scientifique est relativement faible. On ne se rend pas vraiment compte des obstacles qui ont été franchis au cours de l'histoire, à travers les exemples donnés. Les découvertes scientifiques ne sont pas vues comme une aventure humaine.

Après une présentation de quelques piles historiques sur lesquelles il peut être intéressant de s'attarder, une activité historique portant sur la pile Volta a été proposée et réalisée dans une classe de Terminale STL-SPCL.

## Références bibliographiques

---

- Programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de terminale STL : <https://eduscol.education.fr/document/23104/download>
- M. GUEDJ L'épistémologie et l'histoire des sciences et des techniques peuvent elles aider les futurs enseignants de sciences physiques dans l'exercice de leur métier ? Regards portés pour une ingénierie de formation. Bernard A, Dell'Angelo M, de Montgolfier S, Godfroy AS, Huchette M, Mayrargue A, et al., éditeurs. SHS Web of Conferences. 2014 [https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2014/10/shsconf\\_shst2013\\_01004.pdf](https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2014/10/shsconf_shst2013_01004.pdf)
- D. FAUQUE La dimension historique dans l'enseignement scientifique secondaire en France - Lycée Stanislas - Paris – GHDSO Université Paris XI - 91405 Orsay - BUP (Bulletin de l'union des physiciens) Vol. 92 - Avril 1998 <http://materiel-physique.ens-lyon.fr/Logiciels/CD%20N%C2%B0%203%20BUP%20DOC%20V%204.0/Disk%201/TEXTES/1998/08030623.PDF>
- CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales)
- D. FAUQUE La « longue marche » d'un enseignement de l'histoire des sciences et des techniques. Tréma. 1 oct 2006;(26):34-47. <https://journals.openedition.org/trema/83>
- Programmes des collèges Physique-Chimie – Classe de quatrième (2005) : [https://www.education.gouv.fr/bo/BoAnnexes/2005/hs5/annexe4\\_3.pdf](https://www.education.gouv.fr/bo/BoAnnexes/2005/hs5/annexe4_3.pdf)
- Site du ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse : [www.education.gouv.fr](http://www.education.gouv.fr)
- Les collections numériques SPCL – Académie de Montpellier  
Cours : Chimie et développement durable Terminale [Internet] Disponible sur: <https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/course/view.php?id=61>
- Les collections numériques SPCL – Académie de Montpellier  
Cours : Chimie et développement durable Terminale – Chapitre Oxydo-réduction [Internet] Disponible sur: <https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/course/view.php?id=61&section=4>
- Collections numériques de l'académie de Montpellier, ressources de Terminale STL  
Physique-chimie et Mathématiques : <https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/course/view.php?id=62&section=4>
- M. Morange À quoi sert l'histoire des sciences ? Ed. 1 [Internet]. Editions Quae; 2008 .  
Disponible sur: <https://univ-scholarvox-com.ezproxy.unilim.fr/catalog/book/docid/40000971?searchterm=histoire%20des%20sciences>
- F. Balibar, 1995, « Pasteur enseignant-chercheur », in : Françoise Balibar et Marie-Laure Prevost, édés., Pasteur : cahiers d'un savant, Paris, CNRS Éditions, p. 81-89
- JL. Martinand Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? Didaskalia. 1993;2(1):89-99. [https://www.persee.fr/doc/didas\\_1250-0739\\_1993\\_num\\_2\\_1\\_929](https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1993_num_2_1_929)
- Programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STL <https://eduscol.education.fr/document/23107/download>

- Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1800, [http://www.bibnum.education.fr/sites/default/files/VOLTA\\_PHILOSOPHICAL\\_TRANSACTI  
ONS-texte.pdf](http://www.bibnum.education.fr/sites/default/files/VOLTA_PHILOSOPHICAL_TRANSACTI<br/>ONS-texte.pdf)
- U. Bossel - The Birth of the Fuel Cell, 1835-1845: Including the First Publication of the Complete Correspondence from 1839 to 1868 Between Christian Friedrich Schoenbein, Discoverer of the Fuel Cell Effect, and William Robert Grove, Inventor of the Fuel Cell.

## **Place de l'histoire des sciences dans le programme de chimie de STL-SPCL**

---

L'histoire des sciences et techniques est une discipline scientifique qui étudie l'évolution des concepts et avancées techniques ou technologiques au cours de l'histoire, les intégrant dans leur contexte sociologique et culturel.

Ce mémoire de recherche fait un état des lieux de la place de l'histoire dans les programmes scolaires, puis dans les manuels scolaires, ces derniers étant une interprétation des programmes scolaires disponibles dans le bulletin officiel.

Puis, dans le cadre de ce master, la notion d'histoire des sciences est abordée au sein d'une activité pédagogique, portant sur le chapitre d'oxydo-réduction de la classe de Terminale STL, et plus particulièrement sur les piles.

---

Mots-clés : Histoire des sciences, piles, culture scientifique

## **The place of the history of science in the STL-SPCL chemistry curriculum**

---

The history of science and technology is a scientific discipline that studies the evolution of concepts and technical or technological advances over the course of history, integrating them into their sociological and cultural context.

This dissertation takes stock of the place of history in school curricula, and then in school textbooks, the latter being an interpretation of the curricula available in the official bulletin.

Then, within the framework of this Master's degree, the notion of the history of science is tackled within a teaching activity, focusing on the redox chapter of the Terminale STL class, and more specifically on batteries.

---

Keywords : History of science, batteries, scientific culture

## Table des annexes

---

Annexe 1.....	43
Annexe 2.....	44
Annexe 3.....	45
Annexe 4.....	46
Annexe 5.....	47
Annexe 6.....	48
Annexe 7.....	49
Annexe 8.....	50
Annexe 9.....	51
Annexe 10.....	52
Annexe 11.....	53

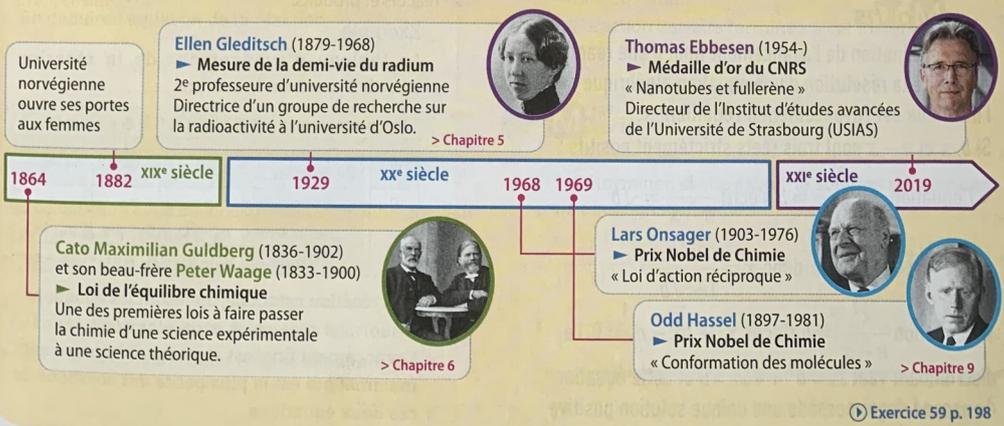


La rénovation de la toiture de la tour centrale du château de Frontenac dans la ville de Québec au Canada met en lumière l'effet de la corrosion : les plaques de cuivre (initialement orangées) s'oxydent spontanément au contact de l'air et de l'eau et deviennent vertes.

## HISTOIRE DES SCIENCES

### La saga des chimistes norvégiens

La Norvège, qui ne compte que 5 millions et demi d'habitants est le pays d'origine de grands scientifiques et tout particulièrement de très brillants chimistes.



## Activité expérimentale

### ★ 3 Transfert spontané d'électrons

Une pile électrochimique convertit l'énergie chimique en énergie électrique en canalisant le transfert d'électrons associé à une réaction d'oxydoréduction.

**Objectif** Mettre en évidence le transfert spontané d'électrons et les transformations électrochimiques associées, exploiter ces résultats pour fabriquer une pile\*.



La première pile électrochimique est la pile inventée par Alessandro Volta en 1800.

#### Protocole 1 Système $\text{Fe}_{(s)}$ et $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ au contact

- Dans un tube à essais, introduire 5 mL de la solution de sulfate de cuivre et ajouter deux spatulées de poudre de fer.
- Boucher et agiter énergétiquement le tube à essais.
- Laisser décanter. Observer le dépôt de cuivre sur la surface du fer.
- Transvaser 2 mL de la solution obtenue dans un tube à essais et ajouter la solution d'hydroxyde de sodium. Observer le précipité formé. Sa couleur verdâtre est révélatrice de la présence d'ion  $\text{Fe}^{2+}$  dans la solution.

#### Matériel et produits

- Tubes à essais, 2 béchers de 100 mL
- Poudre de fer
- Pont salin
- Solution d'hydroxyde de sodium concentrée
- Solution de sel de Mohr de concentration en ions  $\text{Fe}^{2+}$   $0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- Solution de sulfate de cuivre de concentration  $0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- Voltmètre, ampèremètre et dipôle ohmique de résistance  $R = 10 \Omega$
- Lame de fer et lame de cuivre

#### Protocole 2 Système Fer et Cuivre séparés

- Dans un bécher de 100 mL, verser environ 50 mL de la solution de sulfate de cuivre et introduire la lame de cuivre.
- Dans un second bécher de 100 mL, verser environ 50 mL de la solution de sel de Mohr et introduire la lame de fer.
- Placer le pont salin de telle sorte qu'il trempe dans les deux solutions. Une pile est formée.
- Placer un voltmètre entre les deux plaques. Mesurer la tension à vide  $U_0$  entre les lames. Inverser éventuellement les bornes du voltmètre pour obtenir une valeur positive.
- Remplacer le voltmètre par un ampèremètre en série avec un dipôle ohmique et mesurer la valeur  $I$  de l'intensité du courant. Inverser éventuellement les bornes pour obtenir une valeur positive.
- Observer l'évolution de l'intensité  $I$  au cours du temps et de la coloration de la solution de sulfate de cuivre.



#### Questions

- 1 Réaliser le protocole 1. À l'aide des observations, écrire la réaction chimique se produisant dans le système contenant du fer et des ions cuivre au contact.
- 2 a. Réaliser le protocole 2. Déduire du sens de branchement du voltmètre la polarité de la pile. Déduire du sens de branchement de l'ampèremètre le sens du courant et le sens des électrons dans le circuit.  
b. Les couples mis en jeu sont  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  et  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$ , en déduire les demi-équations au niveau de chaque lame métallique, et vérifier la cohérence de ces demi-équations avec toutes les observations faites au cours du fonctionnement de la pile.

#### Bilan

- La réaction d'oxydoréduction est-elle la même dans les deux protocoles ?
- Réaliser un schéma de la pile faisant apparaître les transformations chimiques dans chaque bécher et le mouvement des électrons, le sens du courant extérieur et le mouvement des ions dans le pont salin.

COMPÉTENCES ÉVALUÉES

1 Réa • Ana/Rai 2 a. Réa • App b. Val Bilan Val • Com

↳ Cours 3 p. 185

\* Réaliser une pile est une capacité expérimentale exclue du programme de la partie pratique de l'épreuve.

180 Thème 1 • Constitution et transformations de la matière

## Activité documentaire

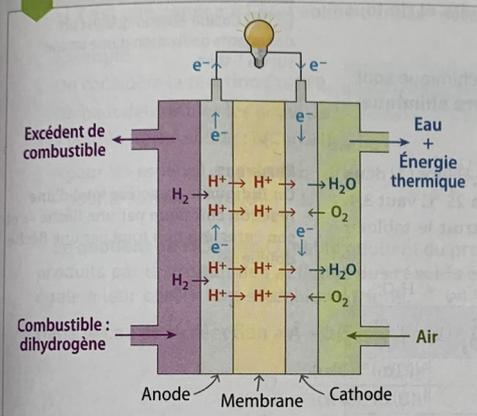
### 4 L'avenir de la pile à combustible

Le projet de loi sur la mobilité envisage de supprimer les moteurs thermiques, à l'horizon 2040. Cela peut être facilité par le développement des piles à combustibles qui pourront équiper les véhicules électriques.

**Objectif** Évaluer les avantages et les inconvénients de la pile à combustible.



#### 1 Schéma d'une pile à combustible



#### 2 Caractéristiques de véhicules

	Thermique	Électrique à pile à combustible
Autonomie	Jusqu'à 1 200 km	Jusqu'à 600 km
Rejet de CO <sub>2</sub>	108 g/km	Nul
Coût en carburant au 100 km	De l'ordre de 10 €	De l'ordre de 6 €
Prix d'achat avec bonus écologique	30 000 €	65 000 €
Réservoir	Simple coque	Blindé (H <sub>2</sub> est explosif)

#### 3 Production du dihydrogène

« Aujourd'hui, 95 % de l'hydrogène est produit à partir d'hydrocarbures (pétrole, gaz naturel et charbon), solution la moins coûteuse. Cependant, ce processus est émetteur de CO<sub>2</sub>, gaz à effet de serre. Les industriels envisagent de plus en plus de produire l'hydrogène [...] en recourant à des énergies décarbonées. L'enjeu reste toutefois le coût de ce mode de production bien plus onéreux à ce jour que celui du réformage. »

**Article**  
Tout savoir sur l'hydrogène  
[hatier-clic.fr/pct181](http://hatier-clic.fr/pct181)

Propos de Guy Maisonnier, ingénieur économiste, in « Tout savoir sur l'hydrogène », IFP Énergie nouvelles, article disponible à l'adresse [hatier-clic.fr/pct181](http://hatier-clic.fr/pct181)

#### Vocabulaire

**Membrane** : interface équivalente au pont salin permettant le passage des ions et des gaz entre les électrodes. Elle est souvent en fluoropolymère.



#### Questions

- Fonctionnement de la pile à combustible (doc. 1)**
  - Quelles sont les espèces chimiques qui réagissent lors du fonctionnement de la pile ? Quelles sont celles qui sont rejetées ?
  - Écrire l'équation de fonctionnement de la pile. En déduire les demi-équations aux électrodes. Indiquer quelles espèces traversent la membrane.
- Avantages et inconvénients de la pile à combustible (doc. 2 et 3)**  
Pour les questions suivantes, on pourra s'aider d'un moteur de recherche en complément des documents fournis.
  - Quelles sont les sources de dihydrogène utilisées ?
  - Quel risque présente un réservoir de dihydrogène dans une voiture ?
  - Quel problème peut poser la membrane lors de son retraitement ?
  - Quel gaz à effet de serre n'est pas rejeté par les piles à combustible ?

#### Bilan

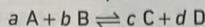
- Construire un tableau présentant les avantages et inconvénients d'un véhicule utilisant une pile à combustible (sans mettre de valeurs).
- L'utilisation de la pile à combustible semble-t-elle déjà d'actualité ?

① Cours 3 p. 185 et 4 p. 187

## 2 Évolution d'un système

### a. Quotient de réaction $Q_r$

- On considère un équilibre chimique entre 4 espèces :



Les espèces A, B, C et D peuvent désigner des espèces dissoutes en solution aqueuse, le solvant, ou des espèces solides appelées précipités. L'activité (doc. 3)  $\alpha$  d'une espèce X dans un mélange réactionnel est une grandeur sans dimension :

- si X est une espèce en solution :  $\alpha(X) = \frac{[X]}{c^0}$  avec  $c^0 = 1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ;
- si X est le solvant (l'eau en solution aqueuse) :  $\alpha(X) = 1$  ;
- si X est une espèce à l'état solide dans le mélange :  $\alpha(X) = 1$ .

#### Exemple

On considère la réaction  $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ .

On peut déterminer les activités :

- pour la forme solide :  $\alpha(\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})) = 1$  ;
- pour les espèces en solution :  $\alpha(\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^0}$ ,  $\alpha(\text{Cu}^{2+}(\text{aq})) = \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{c^0}$  ;
- pour le solvant :  $\alpha(\text{H}_2\text{O}(\ell)) = 1$ .

- Le **quotient de réaction**  $Q_r$  est le quotient du produit des activités des produits par le produit des activités des réactifs élevées à la puissance égale à leur coefficient stœchiométrique.

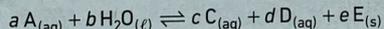
Dans le cas de la réaction  $a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$ , il vaut :

$$Q_r = \frac{(\alpha(C))^c (\alpha(D))^d}{(\alpha(A))^a (\alpha(B))^b}$$

C'est une grandeur sans dimension.

Pour alléger les notations des quotients de réaction en solution aqueuse les activités du solvant et des solides, qui sont égales à 1, ne sont pas écrites.

En solution aqueuse, le quotient de réaction de la réaction à un instant  $t$  :



a pour expression :

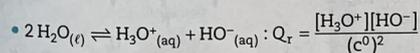
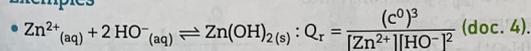
$$Q_r = \frac{[C]^c [D]^d (c^0)^a}{[A]^a (c^0)^c (c^0)^d} = \frac{[C]^c [D]^d (c^0)^a}{[A]^a (c^0)^{c+d}}$$

où  $c^0 = 1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Il est sans dimension.

Pour le calcul, toutes les concentrations sont exprimées en  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . L'expression du quotient de réaction peut alors être simplifiée :

$$Q_r = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a}$$

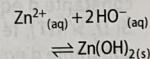
#### Exemples



Ⓛ Exercices 29 p. 193 à 32 p. 194



**Doc. 3** Le physicien et chimiste américain Gilbert Newton Lewis (1875-1946) est l'inventeur des schémas qui portent son nom, et de la notion d'activité. Il semble que sa brouille avec son ancien professeur Nernst soit la raison de manœuvres opérées par un membre du comité Nobel pour le priver de ce prix.



**Doc. 4** Précipité d'hydroxyde de zinc (II)  $\text{Zn}(\text{OH})_2(\text{s})$  apparaissant quand on ajoute quelques gouttes de soude (hydroxyde de sodium) à une solution d'ions zinc (II).

### c. Usure d'une pile électrochimique

Une pile est un **système chimique hors d'équilibre** qui va évoluer spontanément vers l'état d'équilibre. Il y a **usure de la pile** avec diminution des quantités de l'oxydant Ox<sub>1</sub> à la borne positive et du réducteur Red<sub>2</sub> à la borne négative. Lorsque l'équilibre est atteint, la réaction s'arrête, l'intensité du courant délivré et la tension à vide à ses bornes sont nulles, et la pile est dite **usée** (doc. 11).

#### Exemple

À l'état initial dans une pile cuivre-zinc :

- L'électrode de zinc de masse  $m_{Zn,i} = 13,1$  g, soit  $n_{Zn,i} = \frac{m_{Zn,i}}{M_{Zn}} = 0,20$  mol plonge dans un litre de solution dont la concentration initiale est  $[Zn^{2+}]_i = 0,50$  mol·L<sup>-1</sup>.

- L'électrode de cuivre de masse  $m_{Cu,i} = 12,7$  g soit  $n_{Cu,i} = \frac{m_{Cu,i}}{M_{Cu}} = 0,20$  mol plonge dans un litre de solution dont la concentration initiale est  $[Cu^{2+}]_i = 0,50$  mol·L<sup>-1</sup>.

Le quotient de réaction initial vaut  $Q_{r,i} = \frac{[Fe^{2+}]_i}{[Cu^{2+}]_i} = \frac{0,5}{0,5} = 1,0$ .

$Q_{r,i}$  est nettement inférieur à la constante d'équilibre  $K(25\text{ °C}) = 1,9 \times 10^{37}$ , le système évolue donc spontanément dans le sens direct jusqu'à disparition complète du réactif limitant qui est ici le zinc Zn.

Lorsque l'électrode de zinc a disparu, la pile est usée.

### d. Capacité d'une pile

La **capacité d'une pile Q** est égale à la charge électrique qui circule pendant la durée complète de son fonctionnement, de l'état initial à son usure complète. Si l'intensité de fonctionnement  $I$  pendant sa durée de vie  $\Delta t$  est constante, alors :

$$Q = I \times \Delta t$$

$Q$  en coulombs (C)  
 $I$  en ampères (A)  
 $\Delta t$  en secondes (s)

- La capacité de la pile dépend des quantités de réactifs disponibles à l'instant initial. En effet, la charge électrique qui circule dans le circuit est la valeur absolue de celle des électrons qui sont échangés lors de la réaction d'oxydoréduction. C'est pourquoi on ajoute une colonne au tableau d'avancement pour déterminer la quantité de matière d'électrons échangés.

* Av. : Avancement		$n_2 \text{Ox}_1 + n_1 \text{Red}_2 \rightleftharpoons n_2 \text{Red}_1 + n_1 \text{Ox}_2$				$z = n_1 n_2$
Av. *	Quantité de matière...	...de Ox <sub>1</sub>	...de Red <sub>2</sub>	...de Red <sub>1</sub>	...de Ox <sub>2</sub>	...d'e <sup>-</sup> échangés
0	...apportée	$o_1$	$r_2$	$r_1$	$o_2$	0
$x$	...en cours	$o_1 - n_2 x$	$r_2 - n_1 x$	$r_1 + n_2 x$	$o_2 + n_1 x$	$n_1 n_2 x$
$x_f$	...finale	$o_1 - n_2 x_f$	$r_2 - n_1 x_f$	$r_1 + n_2 x_f$	$o_2 + n_1 x_f$	$n_1 n_2 x_f$

- La valeur absolue de la charge de l'électron vaut  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C. La constante d'Avogadro vaut  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>. On en déduit la valeur absolue de la charge électrique molaire des électrons :

$$Q_m = e \times N_A = 9,65 \times 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Cette quantité est appelée constante de Faraday et notée  $F$  (doc. 12).

- On en déduit la charge électrique circulant dans le circuit entre l'état initial et l'état final :  $Q = n_1 n_2 x_f F = z x_f F$  avec  $z = n_1 n_2$ .



Doc. 11 Les piles usées sont récupérées, on évite ainsi de polluer l'environnement, et on recycle les métaux et oxydes qu'elles contiennent.

#### Ne pas confondre

$Q_r$  : quotient de réaction

$Q$  : capacité d'une pile

#### Remarque

La constante d'Avogadro  $N_A$  traduit qu'une mole contient  $6,02 \times 10^{23}$  entités.



Doc. 12 Michael Faraday (1791-1867), physicien et chimiste britannique, a donné son nom à une constante, la constante de Faraday, qui est la valeur absolue de la charge électrique transportée par une mole d'électrons.

**46 Taux d'avancement**

Effectuer un calcul

Une solution aqueuse d'acide lactique  $C_3H_6O_3$ , l'un des acides présents dans le lait, de volume  $V = 100 \text{ mL}$  et de concentration  $c = 0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  a un pH égal à 2,1. La base conjuguée est l'ion lactate  $C_3H_5O_2^-$ .



- Écrire l'équation de la transformation.
- Calculer la quantité de matière  $n_0$  d'acide lactique introduit et les valeurs des avancements, maximal  $x_{\text{max}}$  et  $x_f$  à l'état final d'équilibre.
- Calculer le taux d'avancement final  $\tau_f$ .
- Calculer la constante d'équilibre  $K$  de la réaction.

**47 Comparaison entre deux acides**

Effectuer un calcul - Exploiter un énoncé

$S_1$  est une solution aqueuse d'un acide  $A_1H$  de concentration  $c_1 = 3,7 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .  $S_2$  est une solution aqueuse d'un acide  $A_2H$  de concentration  $c_2 = 7,9 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Leurs pH sont égaux à 3,1.

- Calculer la concentration en ions  $H_3O^+$  dans chacune des solutions.
- La réaction de l'un des deux acides avec l'eau est totale. Déterminer lequel.
- Déterminer la constante d'équilibre  $K$  de la réaction de l'autre acide avec l'eau.

**48 Énigme** À l'oral

Formuler des hypothèses

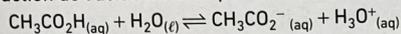
L'équilibre chimique est atteint dans une solution aqueuse, siège d'une réaction  $A_{(aq)} + B_{(aq)} \rightleftharpoons C_{(aq)}$ . On ajoute l'espèce C dans la solution en changeant à peine son volume.

- Dans quel sens se produit la réaction ?

**49 Quotient de réaction et taux d'avancement**

Effectuer un calcul

La réaction de l'acide éthanóïque avec l'eau est :



Trois solutions d'acide éthanóïque de concentration  $c$  sont préparées. On mesure leur pH à l'équilibre.

Solution	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$c$ (en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$
pH	3,4	3,9	4,5

- Calculer le taux d'avancement de la réaction pour chacune des trois solutions. Commenter le résultat.
- Calculer le quotient de réaction à l'équilibre pour chacune des trois solutions. Commenter le résultat.

**50 Équation d'une pile**

Utiliser un modèle

Une pile nickel-cadmium est constituée de deux demi-piles mettant en jeu les couples oxydant-réducteur  $Cd^{2+}_{(aq)}/Cd_{(s)}$  et  $Ni^{2+}_{(aq)}/Ni_{(s)}$ . L'électrode de nickel est oxydée.

- Écrire les demi-équations des réactions se produisant au niveau de chaque demi-pile et l'équation de fonctionnement de la pile.

**51 Pile cuivre-étain**

Utiliser un modèle - Schématiser une situation

La pile cuivre-étain est fabriquée avec une lame de cuivre Cu dans une solution d'ions  $Cu^{2+}$  et d'une lame d'étain Sn dans une solution d'ions  $Sn^{2+}$ . Les solutions sont reliées par un pont salin. La pile alimente une lampe.

- Le pont salin libère des cations vers la demi-pile  $Cu^{2+}_{(aq)}/Cu_{(s)}$ . En déduire les demi-équations des réactions ayant lieu au niveau de chaque demi-pile et préciser leur nature.
- Faire un schéma de la pile en indiquant les déplacements de porteurs de charge à l'intérieur et à l'extérieur de la pile.

**52 Pile Daniell**

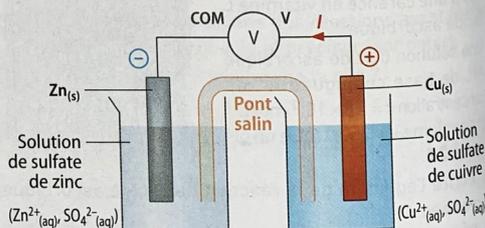
Utiliser un modèle

La pile Daniell fut inventée par le chimiste britannique John Daniell en 1836 et permit le développement quelques années plus tard du télégraphe, qui nécessite une source autonome, sûre et stable d'énergie électrique pour générer un signal. Le brevet pour l'invention du télégraphe électrique fut déposé en 1840 par le scientifique américain Samuel Morse. Il utilise le célèbre « code Morse », où une succession de points (impulsion électrique brève) et de traits (impulsion électrique longue) permet un codage des lettres et des chiffres. La constitution de la pile Daniell est donnée ci-dessous.

Histoire des sciences



John Daniell (1790-1845)



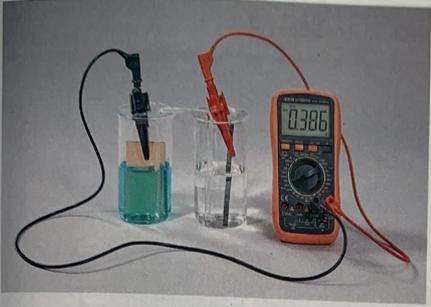
- À l'aide de la polarité de la pile, déterminer la demi-équation se produisant dans la demi-pile contenant le cuivre.
- Faire de même pour la deuxième demi-pile.
- En déduire l'équation bilan de la transformation lorsque la pile débite un courant électrique.
- Comment évolue la concentration en ions cuivre lors du fonctionnement de la pile ? Comment la neutralité électrique de chaque compartiment est-elle assurée ?

APPLIQUER
S'ENTRAÎNER
APPROFONDIR

**53 Un document, une question**  
Utiliser un modèle

On dispose d'une solution de concentration  $c_1 = 0,60 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  en ions cuivre  $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ , d'une solution de concentration  $c_2 = 0,15 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  en ions  $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$ , d'une lame d'argent, d'une lame de cuivre et d'un pont salin.

La photographie montre la pile réalisée et la mesure de sa tension à vide.



La réaction  $2 \text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{Cu}_{(\text{s})} \rightleftharpoons 2 \text{Ag}_{(\text{s})} + \text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$  a pour constante d'équilibre  $K = 2,1 \times 10^{10}$ .

- Le pôle positif de la pile est-il cohérent avec les données ?

**54 Choix d'une électrode** À l'oral  
Faire preuve d'esprit critique

On désire réaliser une demi-pile mettant en jeu le couple oxydant-réducteur  $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}/\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ . Les réactions suivantes sont presque totales :

- $2 \text{Fe}^{3+} + \text{Fe} \rightarrow 3 \text{Fe}^{2+}$
- $\text{Pt}^{2+} + 2 \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Pt} + 2 \text{Fe}^{3+}$

L'argent réagit faiblement avec l'ion  $\text{Fe}^{3+}$  car la constante d'équilibre  $K$  est de l'ordre de 0,3.

- Pourquoi doit-on disposer d'une électrode ?
- On plonge une électrode de fer dans la solution qui contient les ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ . Que se passe-t-il ?
- On plonge une électrode d'argent dans la solution qui contient les ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ . Que se passe-t-il ?
- On plonge une électrode de platine dans la solution qui contient les ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ . Que se passe-t-il ?
- Une électrode formée d'un matériau qui n'est pas l'oxydant ou le réducteur du couple étudié doit être inerte, c'est-à-dire qu'elle ne doit pas réagir avec les espèces en présence. Quelle est la meilleure électrode pour obtenir une demi-pile fer (III)/fer (II) ?

**55 Énigme** À l'oral  
Utiliser un modèle • Faire preuve d'esprit critique

La mise en solution du chlorure de sodium dans l'eau a pour équation  $\text{NaCl}_{(\text{s})} \rightleftharpoons \text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ . Sa constante d'équilibre à  $25^\circ\text{C}$  vaut  $K = 33$ . On introduit  $m = 100 \text{ g}$  de  $\text{NaCl}_{(\text{s})}$  dans  $V = 1 \text{ L}$  d'eau pure.

- L'état final est-il un état d'équilibre ?

**56 Pile au lithium**  
Effectuer un calcul

Une pile au lithium utilise comme réactifs le métal lithium Li et le dioxyde de manganèse  $\text{MnO}_2$ . On considère que la réaction a lieu en milieu basique.

Les couples oxydant-réducteur mis en jeu sont  $\text{Li}^+_{(\text{aq})}/\text{Li}_{(\text{s})}$  et  $\text{MnO}_2_{(\text{s})}/\text{MnO}(\text{OH})_{(\text{s})}$ .

Donnée  
L'ampère heure est une unité de capacité :  $1 \text{ Ah} = 3\,600 \text{ C}$

- Écrire les demi-équations des réactions d'oxydo-réduction se produisant dans la pile. En déduire l'équation de fonctionnement de la pile.
- Calculer les masses minimales de lithium et de dioxyde de manganèse nécessaires pour que la pile ait une capacité  $Q = 50 \text{ mAh}$ .



**57 Capacité d'une pile**  
Effectuer un calcul

Une pile met en jeu les couples  $\text{Al}^{3+}/\text{Al}$  et  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$ . Le métal aluminium est oxydé et la pile débite un courant d'intensité  $I = 175 \text{ mA}$ .

- Écrire les deux demi-équations mises en jeu lors du fonctionnement de la pile.
- Relier la quantité de matière d'électrons échangés  $n_e$  à la quantité de matière d'ions  $n_{\text{Al}^{3+}}$  aluminium formés.
- Lors du fonctionnement, la quantité de matière d'ions aluminium formés vaut  $n_{\text{Al}^{3+}} = 7,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$ . En déduire la capacité  $Q$  de la pile.
- En déduire la durée totale  $\Delta t$  de fonctionnement de la pile jusqu'à usure complète.

**58 Variation de masse des électrodes**  
Effectuer un calcul

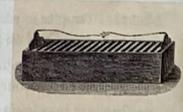
On réalise une pile mettant en jeu les deux couples oxydant-réducteur  $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}/\text{Ni}_{(\text{s})}$  et  $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}/\text{Zn}_{(\text{s})}$ . La réaction mise en jeu lors du fonctionnement de la pile est :

$$\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{Zn}_{(\text{s})} \rightleftharpoons \text{Ni}_{(\text{s})} + \text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$$

La masse de l'électrode de nickel a diminué de  $m = 0,15 \text{ g}$  en une durée  $\Delta t = 1 \text{ h } 30 \text{ min}$  de fonctionnement de la pile débitant une intensité  $I$  constante.

- Écrire les deux demi-équations mises en jeu lors du fonctionnement de la pile.
- Quelle est la quantité de matière  $n_{\text{Ni}}$  perdue par l'électrode de nickel ? En déduire la quantité de matière d'électrons échangés  $n_e$  lors du fonctionnement de la pile.
- En déduire la valeur de  $I$ .

Pour info  
Le docteur William Cruickshank, chimiste et chirurgien britannique, a inventé en 1802 la pile à auge, où les paires de plaque de zinc et de nickel (ou cuivre ou argent) sont « empilées » horizontalement et non verticalement comme dans la pile de Volta.



Chapitre 6 • Évolution spontanée d'un système chimique 197

APPLIQUER
S'ENTRAÎNER
APPROFONDIR

### 63 Calcul d'un avancement final

Effectuer un calcul • Utiliser un modèle

Un bécher contient un volume  $V_1 = 20,0$  mL d'une solution de chlorure de cadmium ( $\text{Cd}^{2+}_{(aq)}$ ,  $2 \text{Cl}^{-}_{(aq)}$ ) de concentration  $c_1 = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  et un volume  $V_2 = 10,0$  mL d'une solution de chlorure de fer (II) ( $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$ ,  $2 \text{Cl}^{-}_{(aq)}$ ) de concentration  $c_2 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . On place une lame de fer dans la solution.

Données Couples oxydant-réducteur :  $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe} \bullet \text{Cd}^{2+} / \text{Cd}$

- Écrire l'équation bilan de la réaction qui se produit.
- Construire le tableau d'avancement de la réaction.
- Exprimer la constante d'équilibre en fonction de l'avancement à l'état d'équilibre.
- Sachant que la constante d'équilibre  $K$  vaut 23, déterminer la valeur de l'avancement final.
- Déterminer la masse  $m$  de cadmium formée.

### 64 Classement électrochimique des métaux

Effectuer un calcul • Utiliser un modèle

Voici quatre observations expérimentales.

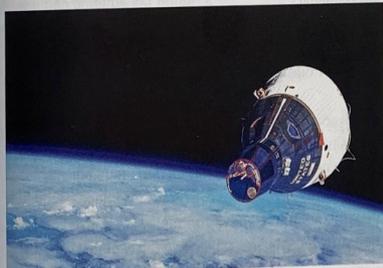
- En plongeant une tige de fer  $\text{Fe}_{(s)}$  dans une solution contenant des ions  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ , la tige se décompose et la solution se décolore.
- Le pôle négatif d'une pile argent  $\text{Ag}_{(s)}$ /cuivre  $\text{Cu}_{(s)}$  est la lame de cuivre.
- Une demi-pile avec une électrode en or  $\text{Au}_{(s)}$ , est le pôle positif de toute pile dont la deuxième demi-pile a une électrode en argent, cuivre, fer ou zinc.
- Une demi-pile  $\text{Zn}^{2+}_{(aq)}/\text{Zn}_{(s)}$ , est le pôle négatif de toute pile dont la deuxième demi-pile a une électrode en or, argent, cuivre ou fer.

■ Le métal  $M_1$  est plus précieux que le métal  $M_2$  si l'ion  $M_1^{n_1+}$  réagit spontanément avec le métal  $M_2$ . Classer les métaux  $\text{Fe}_{(s)}$ ,  $\text{Ag}_{(s)}$ ,  $\text{Cu}_{(s)}$ ,  $\text{Au}_{(s)}$  et  $\text{Zn}_{(s)}$  selon ce critère.

### 65 En avant vers l'espace

Effectuer un calcul

Le principe des piles à combustible a été découvert par l'électrochimiste William Grove en 1839, mais leur utilisation réelle ne date que des années 1960, à l'occasion des programmes spatiaux de la NASA. Ces piles alimentaient en électricité les ordinateurs de bord des vaisseaux Gemini et Apollo et fournissaient l'eau de consommation.



La capsule spatiale GEMINI 7 (NASA, 1965).

Les piles à combustible, type hydrogène/oxygène, présentent deux avantages : elles font appel à des réactifs disponibles en grande quantité et elles sont non polluantes car elles libèrent de l'eau.

Le principe de fonctionnement est simple : la cellule de réaction est composée de deux électrodes séparées par un électrolyte (comme l'acide phosphorique  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Elle est alimentée en dihydrogène et en dioxygène en continu.

Le fonctionnement de la pile repose sur une réaction d'oxydo-réduction entre les couples  $\text{H}^+_{(aq)}/\text{H}_2_{(g)}$  et  $\text{O}_2_{(g)}/\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ .

1. a. Quelle est la nature des porteurs de charges à l'extérieur de la pile ?

b. Légendez le schéma de la pile, en indiquant le sens conventionnel de circulation du courant électrique / et le sens de circulation des porteurs de charges à l'extérieur de la pile reliée à un moteur.

2. a. Écrire les demi-équations électroniques pour chaque couple mis en jeu, quand la pile débite.

b. En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu dans la cellule de réaction.

3. Le réactif réduit, est appelé « combustible » de la pile.

a. Parmi les espèces chimiques présentes dans les couples, laquelle constitue le combustible ? Justifier la réponse en définissant la réaction de réduction.

b. Préciser sur quelle électrode se produit la réduction. Cette électrode est-elle le pôle positif ou négatif de la pile ?

4. Dans un véhicule motorisé fonctionnant grâce à une pile à combustible, on estime à  $m_{\text{H}_2} = 1,5$  kg la masse de dihydrogène nécessaire pour parcourir 250 km.

a. Calculer la quantité de matière de dihydrogène  $n_{\text{H}_2}$  correspondant à cette masse, puis le volume de dihydrogène  $V_{\text{H}_2}$  en mètres cubes ( $\text{m}^3$ ), dans les conditions où le volume molaire vaut  $V_m = 24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

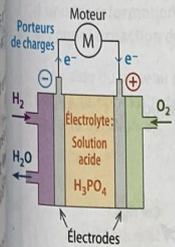
b. À l'aide de la loi de Mariotte (à température constante, le produit de la pression  $P$  par le volume  $V$  est constant pour un gaz), proposer un moyen de réduire l'espace occupé par ce gaz, en restant à température ambiante, pour la quantité de matière  $n_{\text{H}_2}$  de gaz, calculée précédemment.

5. Dans la navette spatiale, les piles à combustibles débitaient un courant d'intensité  $I = 200$  A.

a. Calculer la charge électrique  $Q$  libérée en  $\Delta t = 24$  h.

b. En déduire la quantité de matière  $n_p$  des porteurs de charge, ayant circulé dans le circuit de la navette, pendant 24 heures et la quantité de matière  $n_{\text{H}_2}$  de dihydrogène consommé.

Adapté du sujet de Bac Afrique, 2003.



Porteurs de charges

Moteur

Électrolyte : Solution acide  $\text{H}_3\text{PO}_4$

Électrodes

Chapitre 6 • Évolution spontanée d'un système chimique 199

Audrey Fiachetti | Mémoire de Master MEEF | INSPE Limoges | 2022/2024  
Licence CC BY-NC-ND 3.0

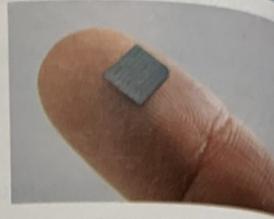
50

# BAC Préparer l'ÉCRIT

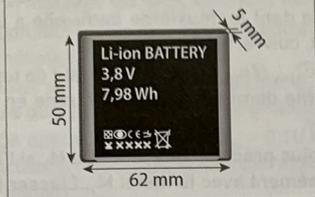
## 66 Résolution de problème Une micropile à combustible

Depuis le milieu des années 2000, des chercheurs développent une nouvelle source d'énergie qui pourrait être utilisée dans les téléphones portables : la micropile DMFC (Direct Méthanol Fuel Cell).

Adapté du sujet de Bac Asie, 2016.



Doc. 1 Batterie de téléphone portable



Doc. 3 Évaluation des performances

L'énergie  $E_f$  (en joules) fournie par une batterie ou une pile est égale au produit de la capacité  $Q$  (en coulombs) qu'elle peut fournir par la tension électrique  $U$  (en volts) sous laquelle cette charge est débitée :

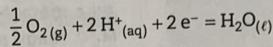
$$E_f = Q \times U$$

Le rendement d'une micropile est le quotient de l'énergie électrique utilisable  $E_u$  (celle affichée sur la pile) par l'énergie fournie :  $\eta = \frac{E_u}{E_f}$

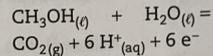
Doc. 2 La pile DMFC

La pile à combustible DMFC utilise du méthanol liquide pour produire de l'énergie. Dans ce type de pile, le méthanol est stocké dans un réservoir qui peut être rechargé rapidement. Les équations des réactions aux électrodes s'écrivent :

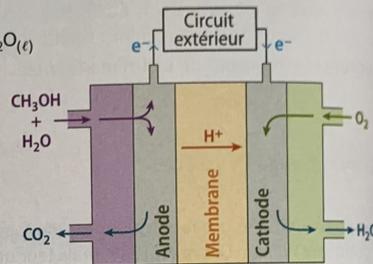
• À la borne positive :



• À la borne négative :



La tension de fonctionnement de la pile DMFC vaut  $U = 0,50 \text{ V}$ . Son rendement vaut  $\eta = 40 \%$ .



### Données

- Constante de Faraday (valeur absolue de la charge molaire électronique) :  $F = Q_m = 96,5 \times 10^3 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Masse volumique du méthanol :  $\rho(\text{méthanol}) = 0,792 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- Conversion d'unités d'énergie :  $1 \text{ Wh}$  (prononcer watt heure) =  $3\,600 \text{ J}$

### PROBLÈME

Calculer le volume du réservoir de méthanol d'une micropile DMFC assurant la même autonomie (donc stockant la même énergie utilisable) au téléphone qu'une batterie Li-ion.

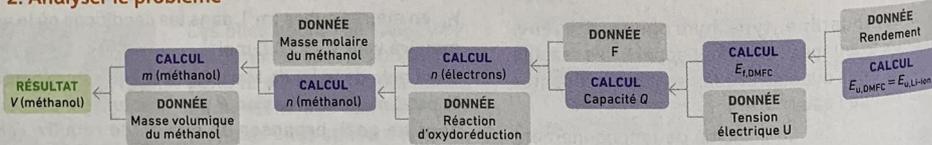
### DES CLÉS POUR RÉUSSIR

► Fiche Résoudre un problème p. 599

#### 1. S'approprier le problème

L'énergie utilisable par la batterie lithium-ion est fournie dans le doc. 1. Celle de la micropile est liée à la quantité de matière, donc au volume de méthanol dans le réservoir.

#### 2. Analyser le problème



#### 3. Réaliser les calculs et les raisonnements

- Les différentes étapes du calcul utilisent les différentes relations données dans l'énoncé.
- Le passage de la quantité de matière d'électrons à celle de méthanol nécessite l'écriture de la réaction d'oxydoréduction à partir des deux demi-équations (doc. 2).

#### 4. Communiquer ► Fiche Résoudre un exercice p. 598

#### 5. Valider

Le volume du réservoir peut être comparé à celui de la micropile.

Corrigé  
hatier-clic.fr/pct200

# BAC Préparer le GRAND ORAL

PRÉSENTER UNE QUESTION

**Doc. imprimable**  
Un exemple de support  
hatier-clic.fr/pct203

## ? Comment peut-on protéger les éoliennes offshore contre la corrosion ?

Fiche Préparer le Grand Oral p. 596

→ **Mener la recherche pendant l'année**

**Mots-clés**  
oxydoréduction • corrosion • métal • construction navale • anode sacrificielle • protection électrochimique des métaux • cote officielle des prix des métaux

**Sources à privilégier**

- Les fiches « techniques de l'ingénieur »
- Les encyclopédies en ligne (Wikipédia)

→ **Choisir une étude de cas**

La corrosion est observable dans le bâtiment, les travaux publics, le transport, la construction navale, les structures offshore, etc. On pourra choisir un cas particulier concret, observer les effets de la corrosion et les techniques développées pour s'en protéger. L'idéal est de pouvoir aller sur place et de rencontrer un responsable.

→ **Proposition de plan et pistes d'étude** [TEMPS 1]

**Préambule**  
Pourquoi j'ai choisi cette question.

**1. L'oxydation en milieu marin**

- Oxydants dans l'air et dans l'eau responsables de la corrosion des métaux
- Réaction d'oxydoréduction spontanée

**2. Protection du mât d'une éolienne**

- Effets de la corrosion sur le mât d'une éolienne offshore
- Modélisation de la corrosion d'un métal et de sa protection par anode sacrificielle (Exercice 61 p. 198)

**Ouverture**

- Quelle est la durée de vie d'une anode sacrificielle ?
- Comment décrire les autres dispositifs appelés « protection cathodique » et « passivation » ?

**Projet d'orientation**

L'industrie navale et les structures offshore sont particulièrement concernées par la lutte contre la corrosion.

[TEMPS 3]

**Bons réflexes à l'oral**

**Qualité de l'argumentation**  
Il faut bien connaître les équations d'oxydoréduction qui modélisent l'action des oxydants sur les métaux.

**Construction de l'argumentation**  
Il faut faire un lien précis entre la description des phénomènes observés et leur modèle théorique.

**Questions possibles du jury** [TEMPS 2]

- Qu'est-ce qu'un métal ?
- Comment fabrique-t-on une demi-pile ? une pile ?
- Qu'est-ce qu'une anode ? une cathode ?
- Comment peut-on prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système ?
- Quel est le coût de la lutte contre la corrosion ?

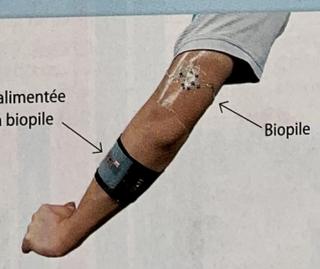
**AUTRES IDÉES POUR CHOISIR SA QUESTION**

› **Évolution spontanée des systèmes**

- Comment choisir la température pour favoriser une réaction chimique à l'échelle industrielle ?
- Comment expliquer l'intoxication au monoxyde de carbone et la thérapie par caisson hyperbare par la théorie des équilibres chimiques ?

› **Technologie et évolution des piles**

- Comment diminuer la taille d'une pile ?
- Comment augmenter la capacité d'une pile ?
- L'évolution technologique des piles est-elle écologiquement responsable ?



Des chercheurs du CNRS, des universités Grenoble Alpes et de San Diego ont mis au point cette biopile, souple et utilisant des biocarburants présents dans la sueur.

Chapitre 6 • Évolution spontanée d'un système chimique 203

### TP - La pile Volta

Les piles sont devenues des éléments omniprésents de notre vie quotidienne et l'objet d'un marché mondial considérable.

En 1800, Alessandro Volta réalise ce qui sera la première pile : il entasse des disques de deux métaux différents, le zinc et le cuivre séparés par des rondelles de carton imbibées d'eau salée. Le premier générateur de courant continu était né.

**Problématique : Comment la pile Volta a-t-elle été inventée et quel est son principe de fonctionnement ?**

Objectif : Réalisation d'un montage reproduisant la pile Volta.

#### Document 1 : Alessandro Volta



Alessandro Volta  
1745 - 1827

La pile construite par Volta est capable de fournir un courant électrique de longue durée.

Le savant italien en a fait la démonstration à l'Académie des sciences de Paris, en présence de Napoléon Bonaparte. Volta montre à ce dernier que si l'on touche avec la langue les deux bornes de la pile, on ressent un picotement intense, désagréable et qui dure tout le temps du contact.

La Royal Society lui décerne la médaille Copley, une récompense pour des recherches remarquables dans le domaine des sciences physiques.

En 1881, l'unité de tension électrique devient le « volt », en hommage au savant italien.

#### Document 2 : Extrait de *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1800

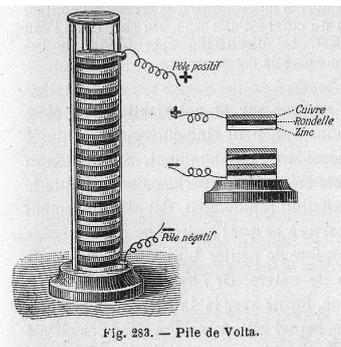


Fig. 283. — Pile de Volta.

« L'appareil dont je vous parle, et qui vous étonnera sans doute, n'est que l'assemblage d'un nombre de bons conducteurs de différente espèce, arrangés d'une certaine manière. 30, 40, 60 pièces, ou davantage, de cuivre, ou mieux d'argent, appliquées chacune à une pièce d'étain, ou, ce qui est beaucoup mieux, de zinc, et un nombre égal de couches d'eau, ou de quelque autre humeur qui soit meilleur conducteur que l'eau simple, comme l'eau salée, la lessive, ou des morceaux de carton, de peau, bien imbibés de ces humeurs ; telles couches interposées à chaque couple ou combinaison des deux métaux différents, une telle suite alternative, et toujours dans le même ordre, de ces trois espèces de conducteurs, voilà tout ce qui constitue mon nouvel instrument ; qui imite, comme j'ai dit, les effets des bouteilles de Leyde. »

## **Questions :**

### **I – Vidéo**

A l'aide de la vidéo, répondre aux questions suivantes :

- Quelle est l'hypothèse de Galvani concernant les causes des contractions du muscle de la grenouille ?
- D'où vient le nom de pile ?
- Quel est le nom de l'instrument donnant des petites décharges électriques, utilisé dans des foires ?
- A quoi cet instrument est-il comparé ?
- A quoi la pile de volta est-elle comparée ?
- Citer quelques découvertes qui ont pu être réalisées grâce à l'utilisation de cette pile.

### **II – Documents et manipulation**

- 1) Le mot « humeur » est employé dans le document 2, que signifie-t-il ?
- 2) Sachant que les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans la pile Volta sont :  $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}/\text{Zn}_{(\text{s})}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}/\text{H}_{2(\text{g})}$ , écrire les demi-équations associées à chaque couple.
- 3) Identifier la transformation mise en jeu
- 4) Sachant qu'à la cathode il se produit une réduction et qu'à l'anode, il se produit une oxydation, associer chaque borne de la pile à la demi-équation correspondante.
- 5) Quel matériau joue le rôle de pont salin ici ?
- 6) Quelle est la nature des porteurs de charges qui peuvent se déplacer dans la feutrine ?
- 7) Sachant que le matériel disponible est le suivant :
  - 1 multimètre
  - 2 pinces croco
  - 2 fils électriques
  - 3 plaques en cuivre
  - 3 plaques en zinc
  - une solution saturée en chlorure de sodium NaCl
  - feutrine

Proposer un schéma de l'expérience à réaliser pour reproduire la pile de Volta et mesurer sa tension.

Faire vérifier au professeur.

- 8) Réaliser l'expérience et mesurer la différence de potentiel aux bornes de cette pile. Cette différence de potentiel est-elle cohérente avec le schéma du document 2 ?
- 9) Quelle question de ce TP vous a paru la plus difficile et pourquoi ?
- 10) Quelle partie de ce TP avez vous la plus appréciée et pourquoi ? (vidéo, documents, manipulation...)